



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Monika Benaitienė

**VARGINIMO ĮTAKOS AUDINIŲ SU FASONINIAIS SIŪLAIS MECHANINĖMS
SAVYBĖMS TYRIMAS**

Magistro projektas

Vadovas

dr. doc. Audronė Ragaišienė

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
Doc. Dr. Vaida Jonaitienė

**VARGINIMO ĮTAKOS AUDINIŲ SU FASONINIAIS SIŪLAIS MECHANINĖMS
SAVYBĖMS TYRIMAS**

Magistro projektas

Tekstilės inžinerija (621J40002)

Vadovas

Doc. dr. Audronė Ragaišienė

Recenzentas

Doc. dr. Eglė Kumpikaitė

Darbo mokslinis konsultantas

m. dr. Daiva Milašienė

Projektą atliko

Monika Benaitienė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Monika Benaitienė

(Studento vardas, pavardė)

Tekstilės inžinerija (621J40002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Varginimo įtakos audinių su fasoniniais siūlais mechaninėms savybėms tyrimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės 29 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Monikos Benaitienės** baigiamasis projektas tema „Varginimo įtakos audinių su fasoniniais siūlais mechaninėms savybėms tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Turinys

Įvadas	5
1. Literatūros apžvalga	8
1.1 Fasoninių siūlų apibūdinimas ir asortimentas.....	8
1.2 Audinių apibūdinimas.....	10
1.3 Audinių trinties savybės ir jų nustatymo būdai	12
1.4 Tekstilės medžiagų varginimo proceso tyrimų rezultatai.....	15
1.5 Tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimai.....	20
1.6 Apibendrinimas	22
2. Metodinė dalis	23
2.1 Tyrimo objektas	23
2.2 Tyrimo metodika	24
3. Tyrimo rezultatai	27
3.1 Audinių su fasoniniais siūlais atauduose sandaros analizė.....	27
3.2 Nevargintų ir vargintų audinių mechaninių savybių tyrimo rezultatai.....	31
3.3 Varginimo ciklą įtakos audinių mechaninėms savybėms tyrimas.....	37
3.5 Audinių mechaninių savybių priklausomybės nuo paskubos dydžio tyrimas.....	41
4. Išvados.....	45
5. Literatūros sąrašas	46

Paveikslai

1.1 pav. Standartinė sudėtingos sandaros siūlo schema	8
1.2 pav. Tekstilės medžiagų gamyboje naudojami skirtingi pynimai	11
1.3 pav. Trinties nustatymo prietaisas su smogtuvu.....	13
1.4 pav. Skirtingų pynimų audinių pradūrimo deformacijos	13
1.5 pav. Procentinis vidutinės dinaminės trinties jėgos pokytis: a) tarp sausos medžiagos ir sintetinio paviršiaus; b) tarp šlapios medžiagos ir sintetinio paviršiaus	14
1.6 pav. Medvilninio siūlo struktūra a) nevarginti siūlai; b) po 2500 varginimo ciklų	15
1.7 pav. Standumo degradacija ataudų ir metmenų kryptimis po varginimo.....	17
1.8 pav. Kompozitų išilginę kryptimi suskilinėjimas varginimo metu	18
1.9 pav. Kompozitų mechaninės savybės: a) pradinis tempimo modulis b) trūkimo jėga c) ištįsa	21
2.1 pav. Audinių įtvirtinimas tarp varginimo įrenginio plokštelių.....	25
2.2 pav. 6 varianto audinių mechaninių savybių nustatymo tyrimas	25
3.1 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais trūkimo jėgos diagramos	37
3.2 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais ištįsos diagramos	37
3.3 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais trūkimo darbo diagramos.....	38
3.4 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo jėgos diagramos.....	38
3.5 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, ištįsos diagramos	39
3.6 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo darbo diagramos	39
3.7 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo jėgos diagramos	40
3.8 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, ištįsos diagramos	40
3.9 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo darbo diagramos	40
3.10 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų audinių su jais trūkimo jėgai	42
3.11 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka $N = 5 \cdot 10^5$ ciklų vargintų audinių su jais trūkimo jėgai	42
3.12 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka 1 mln. ciklų vargintų audinių trūkimo jėgai	42
3.13 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų audinių su jais trūkimo ištįsai.....	43
3.14 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka $N = 5 \cdot 10^5$ ciklų vargintų audinių su jais trūkimo ištįsai...	43
3.15 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka 1 mln. ciklų vargintų audinių trūkimo ištįsai	43

Lentelės

1.1 lentelė. Fasoninių siūlų tipai	9
1.2 lentelė. Varginimo tipai	16
1.3 lentelė. Audinių elastingumo rezultatai po suteiktos apkrovos	18
1.4 lentelė. Audinių deformacijos plokštumoje ir už plokštumos	19
2.1 lentelė. Fasoninių siūlų gamybos parametrai ir jų geometriniai rodikliai	23
3.1 lentelė. Darbe naudotų spiralinės/banguotos sandaros fasoninių siūlų ir su jais pagamintų audinių nuotraukos	27
3.2 lentelė. Darbe naudotų fasoninių siūlų, kuriuose efektai pasikartoja periodiškai, ir su jais pagamintų audinių nuotraukos	28
3.3 lentelė. Darbe naudotų fasoninių siūlų, kuriuose efektai pasikartoja neperiodiškai, ir su jais pagamintų audinių nuotraukos	30
3.4 lentelė. Nevargintų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos	32
3.5 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos.....	32
3.6 lentelė. Vargintų $N = 10^6$ kartų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos.....	32
3.7 lentelė. Nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	33
3.8 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	33
3.9 lentelė. Vargintų $N = 10^6$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	34
3.10 lentelė. Nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	35
3.11 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	35
3.12 lentelė. Vargintų $N = 10^6$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos	36

Naudotos formulės

1. Bandymų aritmetinis vidurkis	26
2. Vidutinė kvadratinė nuokrypa	26
3. Dispersija	26
4. Absoliutinė atsitiktinė paklaida	26
5. Santykinė atsitiktinė paklaida	26
6. Variacijos koeficientas	26

Varginimo įtakos audinių su fasoniniais siūlais mechaninėms savybėms tyrimas/**Magistro projektas/Autorius – M. Benaitienė/Vadovas – Doc. dr. A. Ragaišienė/ KTU, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 – psl. 49, pav. 26, 17 lentelių.**

SANTRAUKA

Viena plačiausiai naudojamų sudėtingos sandaros siūlų rūšių yra fasoniniai siūlai. Naudojant fasoninius siūlus galima gauti įvairius, dažnai, savitus, tekstilės medžiagų efektus, kurie suteikia audiniui išskirtinumą. Dėl šių priežasčių didžiausia dalis fasoninių siūlių naudojama aprangos pramonėje, aukštojoje madoje. Tačiau, šie siūlai naudojami ir kitų tekstilės medžiagų gamyboje, ypač, techninėje tekstilėje. Šio darbo tikslas – išaudus audinius su fasoniniais siūlais atauduose, išanalizuoti varginimo proceso įtaką audinių mechaninėms savybėms.

Šio tyrimo objektas yra 14 variantų audinių su skirtingos sandaros fasoniniais siūlais atauduose. Suprojektuoti audiniai galėtų būti naudojami ir automobilių sėdynių apmašalų gamyboje. Audiniai buvo varginami skirtingais varginimo ciklais, t. y. 500 000 kartų ir 1 000 000 kartų. Be to, audiniai buvo varginami esant $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, siekiant maksimaliai pasunkinti varginimo aplinką, taip imituojuojant galimas audinių eksploatacijos sąlygas. Kitame šio darbo etape buvo nustatytos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių su skirtingos sandaros fasoniniais siūlais atauduose mechaninės savybės – trūkimo jėga, ištįsa ir trūkimo darbas bei įvertinta varginimo proceso įtaka tirtų audinių mechaninėms savybėms. Be to, buvo įvertinta fasoninių siūlų gamybos metu naudotos paskubos įtaka audinių su šiais siūlais mechaninėms savybėms.

Darbe nustatyta, kad vargino procesas bei skirtingi varginimo ciklų skaičiai turi įtakos tirtų audinių su fasoniniais siūlais atauduose mechaninėms savybėms. Gauta, kad nėra priklausomybės tarp fasoninių siūlų gamybos metu naudotos paskubos bei audinių su šiais siūlais mechaninių savybių.

Investigation of Fatigue Influence on Mechanical Properties of Fabrics with Fancy Yarns/ **Master's Project/ Author – M.Benaitienė/ Supervisor – associate prof. dr. A.Ragaišienė/ KTU, Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology. Kaunas, 2015 – pages 49, Pictures 26, 17 Tables.**

SUMMARY

One of the most widely used kinds of complex structure yarns are fancy yarns. Fancy yarns enable to obtain various, often distinctive, textile effects providing exclusivity to fabric. For these reasons, the majority of fancy yarns are used in the clothing industry and high fashion. However, these yarns are also used in the production of other textiles, in particular, in technical textiles. The aim of this work is to weave fabrics with fancy yarns in the weft, and to analyse the impact of the fatigue process on mechanical properties of fabrics.

The object of research are 14 variants of fabrics with fancy yarns of different structure in the weft. Designed fabrics may be used in the manufacture of car seat upholstery. Fabrics were stressed in different fatigue cycles, i.e. 500 000 and 1 000 000 cycles. In addition, fabrics were stressed at the temperature of -25°C to maximize the stressing environment, and to mimic conditions in the use of fabric. The next stage of this work the mechanical properties of fabrics (breaking force, elongation and breaking work) were determined before and after fatigue with different number of cycles. Also, the impact of the fatigue process on mechanical properties of the analysed fabrics was evaluated. In addition, the impact of overfeed used during the manufacturer of fancy yarns to mechanical properties of fabrics of these yarns was determined.

It was found in the study that the fatigue and the different number of cycles of fatigue affect mechanical properties of tested fabrics with fancy yarns in the weft. It was found that there is no correlation between overfeed used in the manufacture of fancy yarns, and mechanical properties of fabrics with these yarns.

Ivadas

Pasaulyje yra daugybė skirtingų rūšių fasoninių siūlų su skirtingos sandaros elementais, kurie gaminami – sukimo, verpimo, tekstūravimo ir kitais būdais. Šie siūlai, nuo įprastų skiriasi išoriniais požymiais, tokiais kaip blizgumas, matiškumas, spalvinėmis savybėmis. Taip pat šie siūlai turi savitą, jiems būdingą sandarą. Naudojant fasoninius siūlus galima gauti įvairius, dažnai savitus, tekstilės medžiagų efektus – sudaryti reljefą, juostas, langelius, išgauti matiškumo ar blizgumo efektą ir kt. Dėl šių priežasčių didžiausia dalis fasoninių siūlų naudojama aprangos pramonėje ir aukštojoje madoje. Iš tekstilinių medžiagų plačiausiai yra naudojami austi audiniai. Tai sudėtingos struktūros tekstilinė medžiaga, kuri gaunama dėsningai supinant dvi statmenas siūlų sistemas. Austų audinių mechaninės savybės priklauso nuo pasirinkto pluošto, jo orientacijos ir struktūros, siūlų tankumo audinyje ir siūlų ilginio tankio.

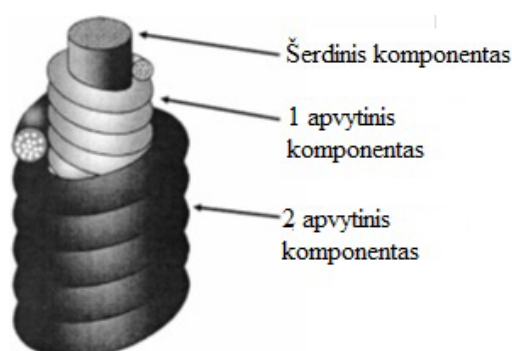
Skirtinga siūlų struktūra ir pluoštų parametrai, bei varginimo ciklų skaičius turi didelę įtaką tekstilės medžiagų nuovargiui. Dėvint gaminį, visi audiniai yra veikiami tiesioginių ar netiesioginių jėgų, kurios audinį veikia skirtingomis kryptimis. Audiniai yra lankstomi, tempiami, gniuždomi. Pagrindinės deformacijos, nuo kurių priklauso mechaninės savybės – lenkimas, tempimas ir sukimas. Todėl, kai tekstilinė medžiaga patiria mechaninių savybių nuovargį, ji plyšta. Nuovargio būseną yra daugelio procesų, tame tarpe trinties, dilumo ir valkšnumo, rezultatas.

Literatūroje yra dažnai aprašoma fasoninių siūlų ir tekstilinių medžiagų gamyba, savybės, tačiau audinių su fasoniniais siūlais varginimo proceso įtaka mechaninėms savybėms mažai nagrinėta. Šio darbo tikslas – išaudus audinius su fasoniniais siūlais atauduose, išanalizuoti varginimo proceso įtaką audinių mechaninėms savybėms.

1. Literatūros apžvalga

1.1 Fasoninių siūlų apibūdinimas ir asortimentas

Siūlų, sudarytų iš įvairios sandaros ir savybių verpalų (vienagijų ir daugiagijų), gamyba leidžia išplėsti ir įvairinti audinių, mezginių bei kitų tekstilės medžiagų asortimentą, pagerinti tekstilės medžiagų kokybę [1]. Yra daugybė skirtingų siūlų, kurie skiriasi sudedamaisiais komponentais, gamybos būdais ir parametrais [2]. Tačiau naujovės, kurios modifikuoja esamas gamybos technologijas, leidžia plėsti siūlų asortimentą. Naudojant specialias programas siūlams gali būti suteikiami struktūrinai pokyčiai. 1.1 paveiksle pavaizduota standartinė sudėtingos sandaros siūlo schema, kurioje siūlas sudarytas iš trijų komponentų – šerdinio ir dviejų efektinių komponentų [3].



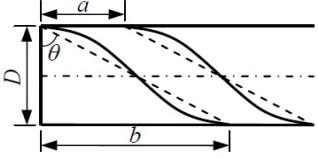

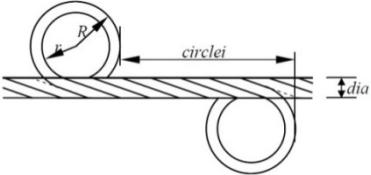
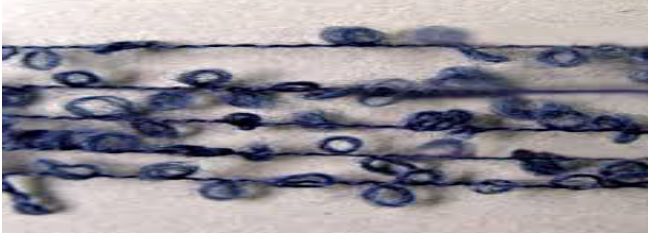
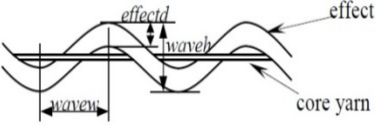
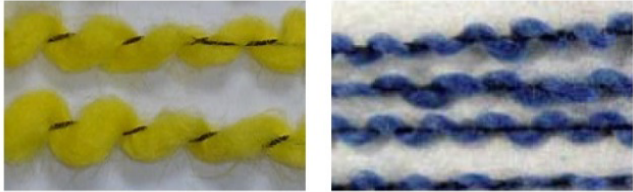


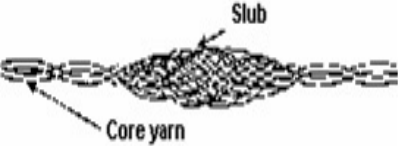
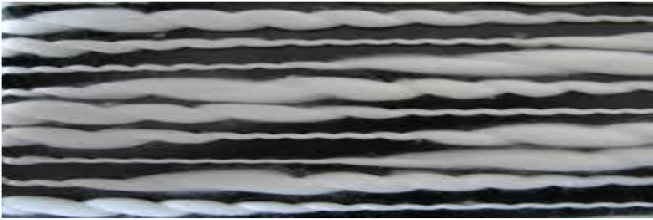
1.1 pav. Standartinė sudėtingos sandaros siūlo schema

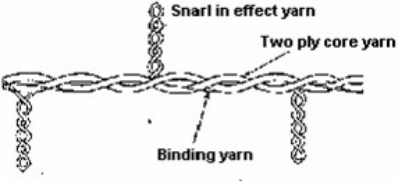
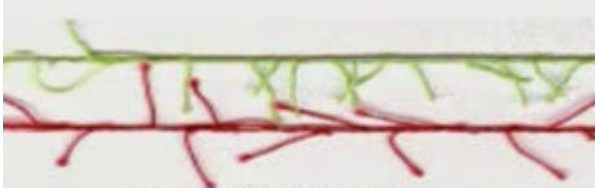
Viena iš plačiai naudojamų sudėtingos sandaros siūlų rūšių – fasoniniai siūlai. Tai siūlai, kurie nepriklausomai nuo gamybos būdo (gaminami specializuotais ar nespecializuotais įrenginiais), yra pirminiai ir antriniai. Jie nuo įprastų lygių, vienspalvių siūlų skiriasi išoriniais požymiais: blizgumu, matiškumu, spalviniais ir sandaros požymiais. Fasoninių siūlų sandara priklauso nuo jų technologinio gamybos proceso, komponentų pluoštinės sudėties, fasoninį siūlą sudarančių komponentų skaičiaus bei technologinio įrenginio užtaisymo parametrų [4]. Fasoniniai siūlai dažniausiai gaminami sukimo technologija, tačiau norint gauti norimus efektus, kartu naudojami ir kiti procesai – karšimas, traukimas, verpimas, tekstūravimas ir kt. [5]. Metodai, kurie suteikia galimybę pagaminti platų fasoninių siūlų asortimentą skirstomi tiesioginius ir netiesioginius. Fasoniniai siūlai pagaminti tiesioginiais metodais yra gaminami įprastomis verpimo ar sukimo mašinomis panaudojant papildomus įtaisus įmontuotus mašinoje. Netiesioginiais metodais siūlai yra gaminami visiškai pakeičiant įprastinį verpimo būdą, pvz.: fasoninio sukimo suktuvais, mezgimo mašinomis, kt. [6].

Dažniausiai fasoniniai siūlai yra sudaryti iš kelių komponentų – šerdinio, efektinio ir sutvirtinančiojo. Pagrindinis komponentas siūlo sandaroje yra šerdinis siūlas. Efektas (susukimas į mazgelius, kilpeles ar garankštis) yra formuojamas iš efektinio siūlo, kuris sujungiamas su šerdiniu

siūlu ir dideliu greičiu tiekiamas į sukimo zoną. Šie du komponentai sudaro efektingą ruošinį, kuris vėliau yra sutvirtinamas sutvirtinančiuoju siūlu [5]. 1.1 lentelėje pateikti kelių fasoninių siūlų struktūriniai modeliai ir jų nuotraukos.

1.1 lentelė. Fasoninių siūlų tipai [5, 7 - 11]

Siūlo pavadinimas	Struktūrinis modelis	Nuotrauka
1	2	3
1. Mūlinė fasoninis siūlas	 <p>[5]</p>	 <p>[5]</p>
2. Fasoniniai siūlai su kilpelių efektu	 <p>[5]</p>	 <p>[7]</p>
3. Banguo tieji fasoniniai siūlas	 <p>[5]</p>	 <p>[5]</p>
4. Aksominiai fasoninis siūlas	 <p>[5]</p>	 <p>[8]</p>
5. Fasoniniai siūlai su sąsmaukomis	 <p>[9]</p>	 <p>[10]</p>

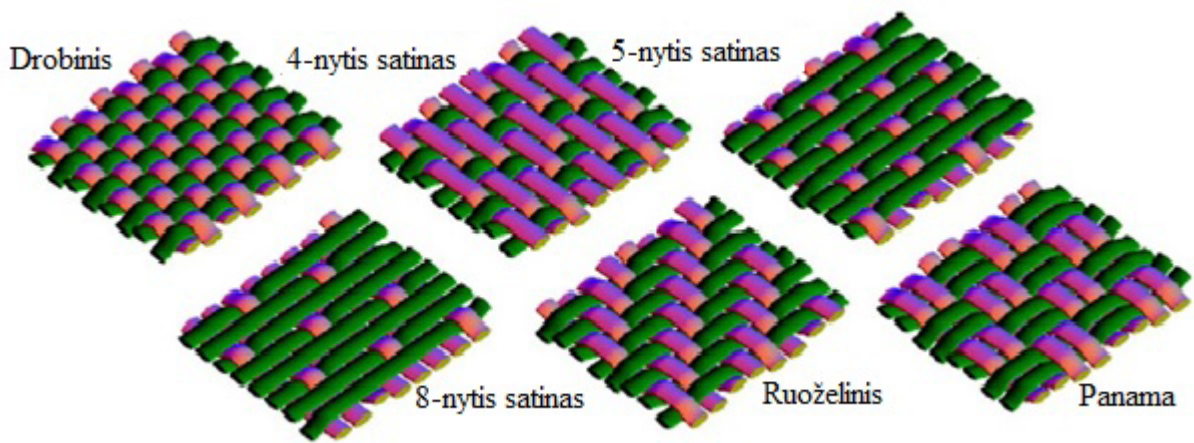
1	2	3
6. Fasoniniai siūlai su garankštimis	 [9]	 [11]

Kaip matyti iš 1.1 lentelėje pateiktų duomenų, fasoniniai siūlai pasižymi labai skirtinga struktūra. Kiekvienos sandaros efektas, suteikia siūlui savito išskirtinumo, patrauklumo. Naudojant šiuos fasoninius siūlus audinių, mezginių ar kt. tekstilinių medžiagų gamyboje, galima išgauti skirtingus, įvairius efektus. Naudojant banguotuosius fasoninius siūlius ar fasoninius siūlus su sąsmaukomis audiniai pasižymi reljefiškumo, banguotumo, minkštumo efektais. Siekiant pūkuotumo, švelnumo efekto – naudojami aksominiai fasoniniai siūlai. Gaminys, pagamintas iš fasoninių siūlų su dideliu efektų skaičiumi (kilpomis, lankais, mazgeliais ir kt.) bus putlus, reljefiško paviršiaus.

Būsimo gaminio išvaizdą lemia fasoninių siūlų efektų plotis, efektų aukštis, atstumas tarp efektų, jų skaičius vienetiniame siūlo ilgyje ir kt. Naudojant fasoninius siūlus galima gauti įvairius, dažnai savitus, tekstilės medžiagų efektus – sudaryti reljefą, juostas, langelius, matiškumo ar blizgumo efektą ir kt. Tekstilės medžiagų paviršiaus savybės yra labai svarbios daugeliu atveju gaminant galutinį produktą. Didžiausia fasoninių siūlų dalis naudojama aprangos pramonėje ir aukštojoje madoje, kadangi jie sukuria išskirtinį dekoratyvinį paviršių. Taip pat jie plačiai naudojami užuolaidoms, portjeroms, staltiesėms, kilimams, baldų, automobilių salonų apmušalams ir įvairiems dekoravimo elementams [4, 12].

1.2 Audinių apibūdinimas

Audiniai yra vieni iš plačiausiai naudojamų tekstilinių gaminių. Be to, jie priskiriami prie labai sudėtingą struktūrą turinčių medžiagų. Audinio gamybos metu, jam suteikiama tam tikra struktūra, kuri įtakoja pačio audinio savybes [13, 14]. Tekstilės gaminiai pasižymi geru metmenų stabilumu visame temperatūros diapazone, geresnėmis išorinio sluoksnio savybėmis, atsparumu smūgiams, prisitaikymu ir plačiomis formavimo galimybėmis. Audinys gaunamas dėsningai supinant dvi statmenas siūlų sistemas. Metmenų siūlas tiesiamas lygiagrečiai audinio ilgiui, o užpildantysis (ataudų) siūlas – statmenai metmenų siūlui. Populiariausi audinių pynimai – drobinis, ruoželinis ir satininis. Šie ir kiti audinių pynimai pateikti 1.2 paveiksle [15, 16].



1.2 pav. Tekstilės medžiagų gamyboje naudojami skirtingi pynimai

Audžiant audinius iš fasoninių siūlų dažniausiai naudojami elementarieji pynimai, kadangi audinys tampa išskirtinis ne dėl savo sudėtingo pynimo, o dėl naudojamų juose siūlų efektų. Norint suteikti prabangos elementaraus pynimo medžiagai, užtenka jausti bent keletą fasoninių siūlų ir gaminytaps patrauklesnis ir įdomesnis [6].

Yra išskiriami 4 pagrindiniai parametrai, nuo kurių priklauso austos medžiagos struktūra [17]:

- Ataudams ir metmenims naudojama žaliava;
- Ataudų ir metmenų ilginiai tankiai;
- Ataudų ir metmenų tankumai;
- Audinio pynimas.

Austi audiniai yra anizotropiniai, lankstūs ir pasižymi skirtingomis viskoelastinėmis savybėmis [14]. Jų mechaninės savybės priklauso nuo pluošto, jo orientacijos ir struktūros, siūlų tankumo audinyje, siūlų ilginio tankio [14, 18]. Buvo pastebėta, kad audinio struktūros parametrai (ataudų tankumas) kinta išėmus audinį iš staklių ir nusistovėjus audinio struktūrai [17]. Siūlų parinkimas audimui yra labai svarbus procesas. Kol kas nėra apskaičiuotų ir suformuluotų tikslių formulių ar lygčių, siejančių verpalų ir audinių stiprumą ir leidžiančių prognozuoti audinių stiprumą, įvertinant verpalų trūkimo jėgą [19].

Malik Z.A. su kolegomis tyrinėjo audinių stiprumą. Buvo sukurti verpalų iš 52 % PET/ 48 % medvilnės pluoštų matematiniai modeliai, pagal kuriuos būtų galima prognozuoti metmenų ir ataudų stiprumą [19].

1.3 Audinių trinties savybės ir jų nustatymo būdai

Daugelis fizikinių audinio savybių (glamžumas, raukšlėtumas, raukšlių atsistatymas) priklauso nuo siūlų lankstumo savybių, o šios, tiesiogiai priklauso nuo pluoštų/plaukelių, sudarančių siūlą, savybių [20].

Didžiausią įtaką viršutinių gaminių kokybei eksploatacijos metu turi šios fizikinės/mechaninės savybės [1]:

- Neglamžumas;
- Stabilumas;
- Kritumas;
- Atsparumas dėvėjimuisi;
- Blizgesys;
- Laidumas orui;
- Tankumas;
- Atsparumas pumpuravimuisi.

Nustatyta, kad austos medžiagos, naudojamos techninės tekstilės srityje, turi būti atsparios daugeliui jas veikiančių deformacijų, o ypač tempimo ir plyšimo apkrovoms [21].

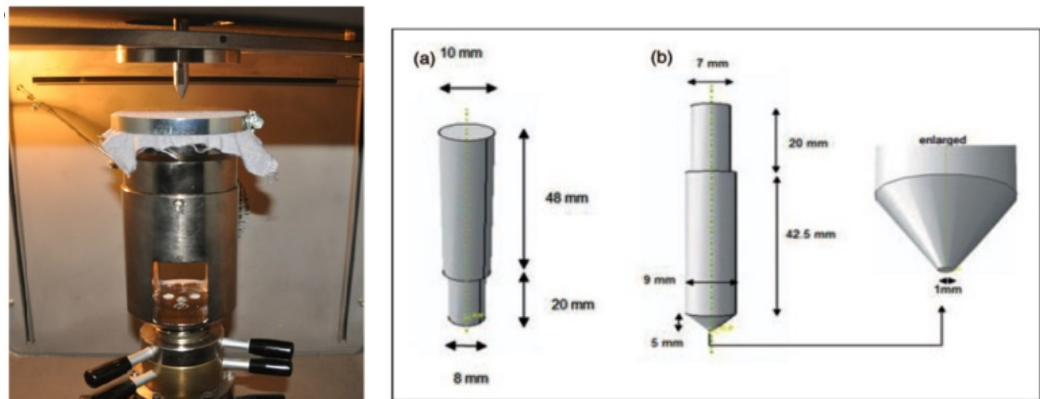
Trintis yra vienas iš svarbiausių veiksnių, lemiančių pluošto elgseną karšimo, traukimo, sukimo procesuose. Taip pat ši savybė turi įtakos siūlo elgsenai audinio formavimo metu. Literatūroje trinties savybės yra gana plačiai aprašytos. Trinties koeficientas, nustatytas mechaniškai trinant medžiagą tarp piršto ir nykščio, labai svarbus įvertinant šiurkštumo laipsnį, lygumą ir kitas paviršiaus savybes [22].

Medžiagos trintį nulemia daug faktorių, tokių kaip pluošto ir mišinio tipai, mišinio proporcijos, siūlų struktūra, medžiagos struktūra ir kt. [6, 9]. Zurek W. ir Frydrych I. savo tyrimuose pastebėjo, kad kuo verpalai yra nevienodesni, tuo trinties jėga yra didesnė [23].

Taigi, trinties rodikliai turi didelę įtaką galutinio produkto charakteristikoms [12]. Žinoma, kad šios tendencijos yra svarbios ir audiniams su fasoniniais siūlais. Nustatyta, kad fasoninių siūlų sandara ir audinio pynimas turi įtakos audinių su jais masei, kuri mažėja veikiant trinties jėgoms. Be to, mažesnės masės audiniai greičiau suplyšta [3].

Dažnai trintis nustatoma naudojant specialų įtaisą (smogtuvą). Šio tipo įrenginys gali būti su skirtingos formos galvutėmis - apvalios, plokščios, smailėjančios ir kt. (žiūr. 1.3 pav.). Galvutė,

įtaisyta į universalų stiprumo matuoklį, spaudžia medžiagos mėginį, kuris yra įtvirtintas ir įtemptas apvalios formos žiede arba kvadratu [21, 24].



1.3 pav. Trinties nustatymo prietaisas su smogtuvu [21, 24]

Ozdemir H, Mert E. atliko tyrimą su septyniais skirtingais audiniais, kurių matmenys 125 x 125 mm. Audiniai buvo pradurti su smogtuvu, smailėjančia ir apvalia galvutėmis, 177,52 N jėga. O Yahya M. F. ir kiti atliko tyrimą su smailėjančia ir plokščia galvutėmis. Šių tyrimų metu gautos didelės trinties jėgos, rodo jog pradūrimas įvyko ne iš karto, tačiau greičiau praduriamas audinys su smogtuvu smailėjančia galvute. Iš 1.4 paveikslo matyti, jog paprastojo drobinio pynimo mėginyje, pradūrimas vyko silpniausiai ir greičiausiai. Taip atsitiko todėl, kad šio audinio siūlų tankumas bei lietimosi taškų skaičius yra didžiausi. Todėl buvo padarytos išvados, jog kuo trinties jėgos yra didesnės, tuo audinys praduriamas greičiau; kuo trinties jėgos yra mažesnės, tuo didesnis pasipriešinimas plyšimo procesui [21,24].



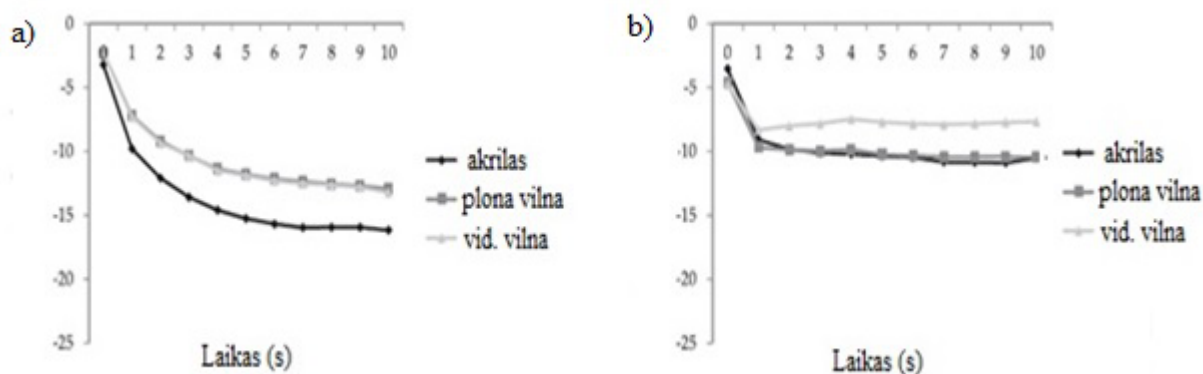
1.4 pav. Skirtingų pynimų audinių pradūrimo deformacijos [13]

Öner E. ir kiti išnagrinėjo medžiagų sąlytį su metalo paviršiumi, medžiagos su medžiaga trinties savybes ir trinties proceso faktorius. Jie nustatė, jog trinties koeficiento vertės, medžiagų pagamintų iš 100 % poliesterio yra žymiai mažesnės negu 100 % medvilnės ar sumaišytų medvilnės/poliesterio pluoštų. Ajayi J. ir Elder H. lygino audinio ir siūlų trintį (medvilnės, vilnos,

akrilo ir viskozės) ir nustatė, kad vilnos siūlai turi aukščiausią trinties jėgą, o akrilo – mažiausią. Padidinus ataudų nustatymų vertes, sumažėja medžiagos trintis visuose audinių pynimų tipuose ir šie rezultatai atitinka medžiagos šiurškumo rezultatus [23, 12, 22].

Jeddi A.A.A ir kiti įrodė, jog medžiagos į medžiagą trintį lemia daug audinio struktūros faktorių: pluošto ir mišinio tipas, siūlo struktūra, rangytumas ir kt. Aplinkos faktoriai, kaip temperatūra, retai turi įtakos trinties savybėms. Arshi A. ir kiti išsiaiškino, kad esant 0–50 °C temperatūrai, trinties parametrai (atsparumas kinetinei jėgai, medžiagos lygumas) nekinta. Taip pat buvo pastebėta, jog visų medžiagų kinetinė trintis yra visada mažesnė negu statinė trintis. Skirtingais momentais, veikiant apkrovoms, trinties santykis mažėja nuosekliai didėjančia apkrova. O Herman D. su kolegomis išanalizavo slydimo greičio poveikį medžiagos trinties savybėms. Rezultatai parodė, kad didėjant slydimo greičiui testo metu, trinties atsparumas taip pat didėjo [22].

Lygios struktūros audinį (sausą ar šlapį) veikia silpniausios trinties jėgos ir trinties koeficientas yra mažiausias. Manoma, kad tai greičiausiai yra dėl to, kad audinio struktūroje nėra pūkų ar kilpų. Sauso pluošto tipas, neturi įtakos dinaminei trinties jėgai, tačiau, kai pluoštas yra šlapias – turi. Šie rezultatai dažniausiai pastebimi vilnos pluošte. Dinaminei trinties didžiausią poveikį turi medžiagos struktūra, nepriklausomai nuo to ar ji yra sausa – ar šlapia. Iš 1.5 paveikslo matyti, jog audiniai iš 100 % akrilo siūlų turėjo didžiausią procentinį skirtumą tarp dinaminės ir statinės trinties rezultatų, sausoje būsenoje, bet šlapijoje būsenoje akrilo ir vilnos pluošto vertės panašios [25].



1.5 pav. Procentinis vidutinės dinaminės trinties jėgos pokytis: a) tarp sausos medžiagos ir sintetinio paviršiaus; b) tarp šlapios medžiagos ir sintetinio paviršiaus [25]

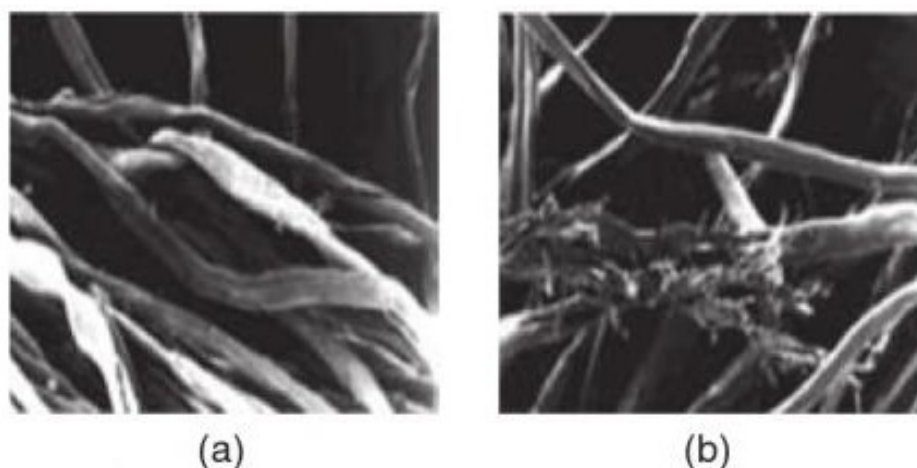
Glamžumas – tai austinių medžiagų deformacija, dažnai sumažinanti estetinį audinio vaizdą. Mokslininkai padarė prielaidą, jog tai galėtų būti ilgalaikė gniuždymo jėga, kuri įgaunama drabužio dėvėjimo metu. Tridimensinė deformacija gali būti sudėtinga neelastinė būseną (įskaitant

viskoelastinę pluošto būseną), kuri susidaro dėl trinties tarp pluošto ir siūlo audinyje. Zhang X. ir kiti įrodė, kad paprastuoju (drobiniu) pynimu austos medžiagos labiau drapiruojausi, negu audiniai austi ruoželinio pynimu. Doustar K. ir kiti ištyrė audinių pynimo bei ataudų tankumo įtaką glamžumo deformacijai. Ištirti 5 skirtingų ataudų tankumų (10, 12, 14, 16 ir 18 cm⁻¹) ir 4 skirtingų pynimų (drobinio, ruoželio 2/2, ruoželio 3/1 ir panamos) medvilniniai audiniai. Nustatyta, kad šlyties standumas yra svarbi mechaninė savybė, nagrinėjant audinio išlenkimo deformacijas. Taip pat buvo pastebėta, kad medvilninis audinys, austas ruoželio 2/2 pynimu, pasižymi mažiausiu šlyties standumu. O tai turi įtakos geresniems išlenkimo parametrams, įskaitant lenkimo varginimą, pasipriešinimą ir histerezę [26].

1.4 Tekstilės medžiagų varginimo proceso tyrimų rezultatai

Medžiagos mechaninių savybių nuovargis - tai medžiagos plyšimas, skilimas arba medžiagos vidinis gebėjimas absorbuoti energiją po daugkartinės deformacijos. Skirtingi siūlų ir pluoštų parametrai bei varginimo ciklų skaičius turi didelę įtaką tekstilės medžiagų nuovargiui. Nustatyta, kad nuovargis priklauso nuo pluošto žaliavos, struktūros, mišinių sudėties [27, 28, 29].

Tekstilės medžiagų nuovargis yra labai svarbus faktorius ne tik tekstilės ir drabužių gamybos metu, bet ir jų apdirbime, naudojime, eksploatacijoje. Tai ypač aktualu techninės ir medicininės tekstilės gaminiams [28]. Nuovargio būseną yra daugelio procesų, tame tarpe trinties, dilumo ir valkšnumo, rezultatas [29].



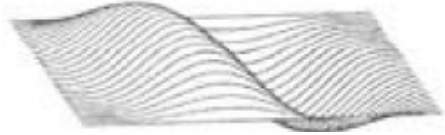
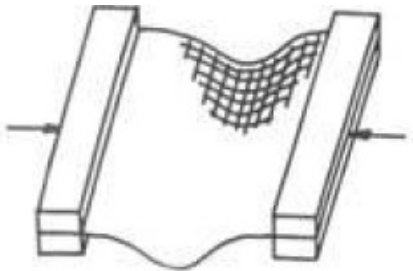

1.6 pav. Medvilninio siūlo struktūra a) nevarginti siūlai; b) po 2500 varginimo ciklų [29]

Kaip matyti iš 1.6 paveikslo, po varginimo siūlo struktūra keičiasi – pluošto plaukeliai išsišakoja, suskilinėja, siūlas tampa nebe toks lygus lyginant su nevarginta būseną. 1.6 pav. b pateikta

siūlo struktūra po 2500 varginimo ciklų. Kaip matoma iš jo, kuo daugiau suteikiama varginimo ciklų, tuo siūlas vis labiau silpnėja, kol galutinai nutrūksta.

1.2 lentelėje pavaizduoti 3 varginimo ciklų tipai: varginimas veikiant šlyties efektui, suspaudimui ir koncentruotai jėgai. Kiekvieno varginimo proceso metu audiniui suteikiama deformacija, dėl kurios audinys arba susilpnėja arba, jei audinys yra atsparus deformacijoms, jo struktūrai įtakos neturi.

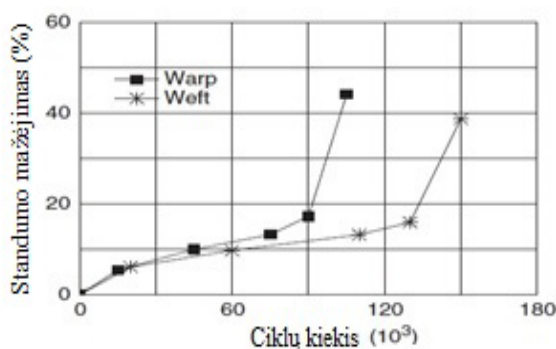
1.2 lentelė. Varginimo tipai [30]

Deformacija	Jėga, kurią reikia įveikti deformacijos metu	Principas
1	2	3
Austos medžiagos deformacija dėl šlyties poveikio	Šlyties, lenkimo ir tempimo	
Austos medžiagos deformacija dėl suspaudimo	Šlyties, lenkimo ir gniuždymo	
Austos medžiagos deformacija dėl koncentruotos jėgos	Suspaudimo pratęsimo, šlyties, lenkimo	

Alibabaei H.R. ir kiti parodė, kad didinant ciklinę apkrovą, medžiagos deformacija (santykis tarp negrįžtamosios deformacijos ir pradinio ilgio) mažėja, tačiau didinant varginimo ciklų skaičių – didėja. Megztų medžiagų ši deformacija yra daug didesnė nei austų. Tai įrodo, kad megztos medžiagos nuvargsta greičiau [31].

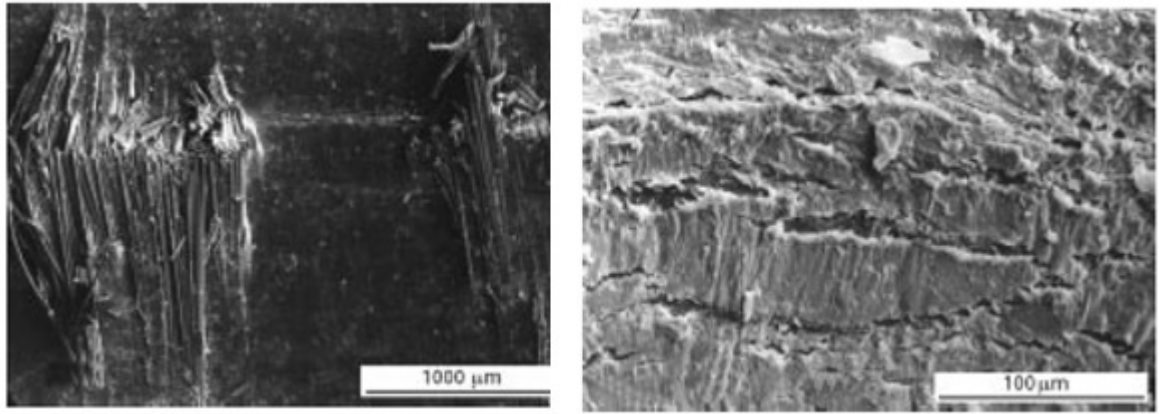
Cai G. ir kiti išanalizavo lenkimo nuovargio įtaką aukštos kokybės polietileno pluoštui. Šiame eksperimente tirtos pluoštas esant 20, 60, 70, 80 ir 120 °C temperatūroms, nustatant 6 cN/tex jėgą ir 60° lenkimo kampą. Tyrimas parodė, kad atsparumas varginimo ciklų skaičiui sumažėja didinant temperatūrą. Gauta, kad esant 120 °C temperatūrai gaminio dėvėjimo trukmė sumažėja iki 30 %. [20]. Minak G. taip pat konstatavo, kad aukšta temperatūra mažina atsparumą varginimui [8]. Manoma, kad taip yra dėl to, jog didinant temperatūrą ji pasiekia lydimosi temperatūrą, o pradėjęs lydėtis pluoštas lengvai plyšta po panaudotos jėgos [32]. Milašienė D. tyrė medžiagų bandinius, kurie buvo varginami, keičiant aplinkos temperatūrą nuo $20 \pm 2^\circ\text{C}$ iki $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ (lankstymo ciklų skaičius $N = 10^5$). Bandymas buvo atlikas su “VAMP” (“Pegasil/ZIPOR”, Portugalija) mašina. Gauti tirtų medžiagų paviršiaus defektai aiškiai matomi jau esant gana žemai lankstymo aplinkos temperatūrai ($\leq -10^\circ\text{C}$) [20, 32, 33].

1.7 paveiksle pateikta audinių standumo degradacija ataudų ir metmenų kryptimis po varginimo proceso. Rezultatai parodė, jog audiniai mažiau nuvargsta ataudų kryptimi, nei metmenų kryptimi. Iš diagramos matyti, jog stabilus etapas (aukščiausias taškas) metmenų kryptimi buvo pasiektas, kai liekamasis standumas buvo sumažintas iki 83 % (9 000 ciklų), o ataudų kryptimi – 84 % (13 000 ciklų) [32].



1.7 pav. Standumo degradacija ataudų ir metmenų kryptimis po varginimo [32]

Kompozitų varginimo procesas, kai medžiaga yra veikiamą cikliniu apkrovimu arba deformacija, turi didelę įtaką jų struktūrai. Po šio proceso padidėja mikroskopiniai defektai, įtrūkimai, pastebimas medžiagos susilpnėjimas. Tyrimo metu buvo pastebėta, kad mezgtos medžiagos buvo standesnės ir nežymiai stipresnės, nei austos medžiagos. Iš 1.8 pav. matyti kompozito suskilinėjimai išilgine kryptimi atsiradę varginimo metu. Atliktus vargintų medžiagų tempimo bandymus, rasta, kad bandiniai vis dar galėtų atlaikyti didelį krūvį, nors keliuose pavyzdžiuose ir buvo stipriai sugadinti (deformuoti) pluoštai - matomi lūžiai visame plote [28].



1.8 pav. Kompozitų išilginę kryptimi suskilinėjimas varginimo metu [28]

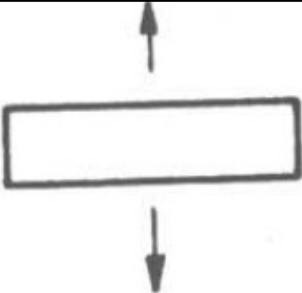
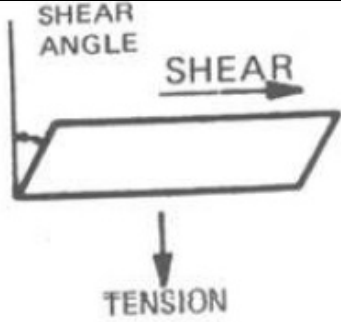

Suteikus tekstilinėms medžiagoms nedideles apkrovas, galima nustatyti elastingumo ir viskoelastines deformacijas. Elastingumo deformacija visiškai atsistato po apkrovos pašalinimo, o viskoelastinė deformacija – po tam tikro laiko. Dunja Š. ir kiti atliko 3 medžiagų tyrimą, suteikiant joms maksimalią 24,5 N apkrovos jėgą. 1.3 lentelėje pateiktas medžiagų elastingumas prieš ir po varginimo. Naudota žaliava – vilna ir elastanas, kiekvienam bandiniui buvo parenkamas skirtingas elastano kiekis. Taip pat TK-2 ir TK 6 elastano siūlas buvo naudojamas ir metmenų ir ataudų kryptimis, o TK-5 tik ataudų. Iš 1.3 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad suteikiant apkrovą ilgesnį laiko tarpą, keičiasi (mažėja) elastingumas, tiek metmenų, tiek ataudų kryptimis [34].

1.3 lentelė. Audinių elastingumo rezultatai po suteiktos apkrovos [34]

Medžiagos Nr.	Nevarginti		Varginti audiniai (suteikiant 24,5 N aprova)							
	Metmenų kryptimi	Ataudų kryptimi	Metmenų kryptimi	Ataudų kryptimi	Metmenų kryptimi	Ataudų kryptimi	Metmenų kryptimi	Ataudų kryptimi	Metmenų kryptimi	Ataudų kryptimi
	Po 0 val		Po 2 val		Po 4 val		Po 7 val		Po 24 val	
TK-2	1,03	1,09	0,77	0,79	0,75	0,77	0,73	0,74	0,70	0,73
TK-5	0,96	1,09	0,76	0,78	0,74	0,76	0,72	0,72	0,70	0,70
TK-6	0,98	0,98	0,73	0,67	0,71	0,64	0,69	0,61	0,65	0,59

Austas medžiagas galima deformuoti plokštumoje ir už plokštumos, tolygiai apkraunant visą bandinį jo plote, o varginimo intensyvumą išlaikant pastovų visą laiką. 1.4 lentelėje pateiktos trijų skirtingų tipų varginimo deformacijos, gaunamos dėl šlyties apkrovos, gniuždymo jėgos ir suteiktos koncentruotos apkrovos [30].

1.4 lentelė. Audinių deformacijos plokštumoje ir už plokštumos [30]

	Deformacija	Jėga, kurią reikia įveikti deformacijos metu	Principas
Plokštumoje	Tempimo (horizontalus sumažėjimas arba prailgėjimas)	Išilginės krypties trintis tarp siūlo ir pluoštų	
Plokštumoje	Šlyties	Siūlų lietimosi trintis, lenkimo ar, atskiriais atvejais, sukimo metu	
Už plokštumos	Lenkimo	Prispaudimo jėga, siūlų lenkimo (trintis tarp siūlo ir pluošto)	

Visi audiniai tiesiogiai ar netiesiogiai yra veikiami skirtingų krypčių jėgomis [24]. Dėl šios priežasties audinio geometrijai turi įtakos įvairūs mechaniniai veiksniai. Yra žinoma, kad šlytis pakeičia tiek audinių, tiek siūlų savybes. Taip pat siūlų skerspjūvio parametrai kinta po tempimo dėl veikiančių jėgų. Lyginant su laminuotomis medžiagomis, 3D audiniai turi didesnę tarpsluoksninį šlyties stiprį ir atsparumą trūkimams. Tačiau pastebima, jog 3D austos medžiagos labai priklauso nuo varginimo ciklų skaičiaus, nors medžiagų sudedamosios dalys (metmenys, ataudai ir Z siūlai) nėra priskiriami prie neatsparių varginimo procesui. Lyginant eksperimentinius ir teorinius modelius, kurie buvo pastebėti metmenų, ataudų ir Z krypties siūlų skerspjūvio taškuose, nustatyta, kad egzistuoja priklausomybė tarp varginimo ciklų skaičiaus ir varginimo proceso geometrijos, jos amplitudės bei perdavimo būdo [35].

1.5 Tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimai

Pagrindinės trys deformacijos, nuo kurių priklauso, tekstilės pluošto mechaninės savybės, yra: lenkimas, tempimas ir sukimas. Pluošto lenkimo savybės dažnai nustatomos atliekant lenkimo nuovargio testą, kur puošto (medžiagos) deformacijos gaunamos įvertinant lenkimo jėgas. Buvo pastebėta, jog suteikiant lenkimo deformaciją, pluošto atsparumas tempimui silpnėja, didinant varginimo ciklą dažnį. Taip pat, didelę įtaką pluošto mechaninėms savybėms turi patirta įtampa, lenkimo kampas ir temperatūra varginimo proceso metu [20, 35].

Siūlų ištįsa yra viena svarbiausių siūlų kokybę nusakančių charakteristikų. Ji rodo, kiek pailgėja bandinys prieš nutrūkdamas [36]. Siūlų ištįsa turi įtakos gamybos procesui, megztų ar austų audinių dėvėjimuisi ir kokybei. Pastebėta, jog siūlai pasižymintys didesne ištįsa lemia žymiai geresnes audinio savybes. Išskiriami keletas faktorių, nuo kurių priklauso siūlo ištįsa:

- Mašinos parametrai - verpstės greitis, skersmuo, žiedo svoris ir verpimo projekcija;
- Pluošto parametrai - branda, ilgis, stiprumas, pluošto plaukelių ilgis, priemaišų kiekis;
- Siūlų faktoriai – ilginis tankis ir sukrumas [37].

Mwasiagi J.I. ir kiti nagrinėjo daugybę faktorių, kurie gali turėti įtakos siūlo ištįsai. Šie autoriai konstatavo, kad labiausiai siūlų ištįsa priklauso nuo verpalų susukimo, pluoštų mišinio procentinės sudėties siūle, puošto pailgėjimo, siūlo vienodumo, verpstės sukimo greičio [37].

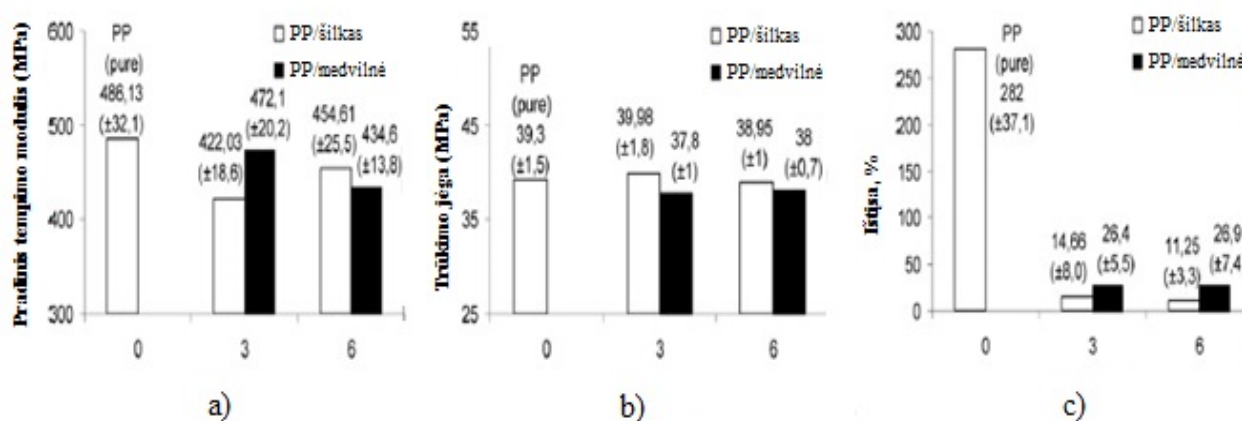
Trūkimo jėga yra vienas svarbiausių rodiklių, įvertinančių audinio mechanines savybes. Ši jėga priklauso ne tik nuo to, kokio stiprumo siūlai parenkami metmenims ir ataudams, bet ir nuo siūlų storio bei audinio pynimo [19]. Medžiagos elastingumo būseną priklauso nuo slydimo ir judėjimo amplitudžių. Pavyzdžiui, kai gijinis siūlas yra veikiamas tempimo jėgos, jo sandaros elementai priklauso nuo tarpusavio molekulių sąveikos. Audinyje šis reiškinys priklauso ne tik nuo gijinio siūlo elgsenos, bet ir nuo audinio struktūros, t. y. slydimo ir judėjimo tarp siūlų audinyje [31].

Nustatyta, kad atsparumas plyšimui ir ištįsa audiniuose yra žymiai geresnė metmenų kryptimi, negu ataudų. Audiniuose, kuriuose siūlai yra labiau banguoti, ištįsa yra didesnė. Todėl didinant apkrovą, siūlų banguotumas išsitempia ir audinyje padidėja ištįsos vertės [24, 37].

Didelio stiprumo 3D audiniai ir kompozitai pagaminti iš aukštos kokybės pluoštų (anglies, aramidinių pluoštų) yra idealios medžiagos, pritaikytos atlaikyti dinaminėms apkrovoms ir pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis didelių deformacijų metu [8]. Yao L. ir kiti lygino 2D audinį su 15 mm storio 3D audiniu, kuris buvo sutvirtintas stiklo pluoštu. Buvo tiriamos statinės audinio savybės jį lenkiant. Gauti rezultatai parodė, jog 3D audinio metmenys ir ataudai pasižymi atitinkamai

21 % ir 5 % didesniu atsparumu tempimo jėgai, 28 % ir 9 % – didesniu tamprumo modulių, 29 % ir 25 % – didesne suspaudimo jėga negu 2D laminuotas audinys. Yao L. ir kolegų padarė išvadą, kad 3D audinio metmenys ir ataudai yra 42 % stipresni, o kitos mechaninės savybės žymiai geresnės nei 2D bandinio [8]. Behera B.K. ir Dash B.P. taip pat lygino 2D su 3D audinius pagamintus iš stiklo pluošto. Jie padarė išvadą, kad 3D audiniai turi didesnę pranašumą dėl trūkimo jėgos ir energijos kaupimo, lyginant su 2D audiniu [38].

Šilkas pasižymi geresnėmis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis, negu kiti gyvulinės kilmės pluoštai. Tasdemir M. ir kiti tyrinėjo kompozitus, pagamintus maišant augalinės ar gyvulinės kilmės pluoštą su sintetiniais pluoštais. 1.9 paveiksle pavaizduotos 100 % PP, šilko/PP ir medvilnės/PP kompozitų mechaninės savybės. Visose 3 diagramose matyti, jog geriausias mechanines savybes turi kompozitas iš 100 % PP.



1.9 pav. Kompozitų mechaninės savybės: a) pradinis tempimo modulis b) trūkimo jėga c) ištįsa

Visų 3 kompozitų panaši trūkimo jėga. Tačiau fiksuotas labai didelis skirtumas ištįsos tyrimuose. Buvo nustatyta, jog mišrioje konstrukcijoje medvilnės ir šilko gijų elgsena skirtinga. Žymiai geresnės mechaninės savybės nustatytos kompozitams, pagamintiems iš PC-PA6/ medvilnės ir šilko, lyginant su HDPE-PP/ medvilnės ir šilko kompozitais [18].

1.6 Apibendrinimas

Viena iš plačiausiai naudojamų sudėtingos sandaros siūlų rūšių – fasoniniai siūlai. Panaudojant fasoninius siūlus galima gauti įvairius, dažnai savitus, tekstilės medžiagų efektus, kurie suteikia audiniui išskirtinumą.

Austos medžiagos priskiriamos prie labai sudėtingą struktūrą turinčių medžiagų. Audžiant suteikiama speciali struktūra, kuri įtakoja audinio savybes. Audinio svarbiausios mechaninės savybės priklauso nuo pluošto, jo orientacijos ir struktūros, siūlų tankumo audinyje, siūlų ilginio tankio bei pynimo.

Skirtingi siūlų ir pluoštų parametrai, taip pat varginimo ciklų skaičius ir temperatūra, turi didelę įtaką tekstilės medžiagų nuovargiui. Po pakartotinių varginimo ciklų, pasiekiamas medžiagų mechaninis nuovargis, kuris vėliau įtakoja mechaninius rodiklius – ištįsą ir trūkimo jėgą. Trintis taip pat turi didelę įtaką galutinio produkto charakteristikoms ypač trūkimui.

Cikliškai varginant tekstilės gaminius po kiekvieno ciklo nespėja relaksuoti atskirose jų vietose atsiradusios sukongcentruotos įtampos, o ilgai deformuojant juos atsiranda nuovargio reiškiniai ir gaminiai gali suirti.

Šiame darbe bus tiriami audiniai su fasoniniais siūlais atauduose, siekiant nustatyti audinio mechanines savybes – trūkimo jėgą, ištįsą, trūkimo darbą, prieš ir po varginimo proceso.

Darbo tikslas – išaudus audinius su fasoniniais siūlais atauduose, išanalizuoti varginimo proceso įtaką audinių mechaninėms savybėms.

Darbo uždaviniai:

- Išauti audinius su fasoniniais siūlais atauduose;
- Išanalizuoti nevargintų audinių mechanines savybes;
- Išanalizuoti skirtingu varginimo ciklų skaičiumi nuvargintų audinių mechanines savybes;
- Išanalizuoti atauduose naudotų fasoninių siūlų sandaros įtaką audinių mechaninėms savybėms.

2. Metodinė dalis

2.1 Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – 14 variantai audinių su skirtingos struktūros fasoniniais siūlais atauduose. Fasoniniai siūlai sudaryti iš 3 komponentų: šerdinis komponentas yra daugiagijai PES siūlai, 8,4 tex; efektinis komponentas - vilnos verpalai, 32 tex, sutvirtinantis komponentas – daugiagijai PES siūlai, 5,6 tex. Fasoniniai siūlai pagaminti pagal “Prenomit” technologiją, fasoninio sukimo mašina “Jantra PrKV-12” (“Jantra”, Bulgaria) su tuščiavidurėmis verpstėmis. Šerdinis ir efektinis komponentai į sukimo zoną tiekiami atskirai vienas nuo kito skirtingais greičiais. Tuščiavidurėje verpstėje abu šie komponentai susukami menamu sukrumu, pagaminant efektinį ruošinį. Po to, efektinis ruošinys tikru sukrumu susukamas su sutvirtinančiuoju komponentu. Šis komponentas fiksuoja efektų padėtį fasoniniame siūle. 2.1 lentelėje pateikti darbe naudotų fasoninių siūlų gamybos parametrai ir jų geometriniai rodikliai [39].

2.1 lentelė. Fasoninių siūlų gamybos parametrai ir jų geometriniai rodikliai [39]

Var. Nr.	Paskuba, η	Sukrumas K, m^{-1}	Fasoninių siūlų ilginis, tex	Efektų skaičius, m^{-1}
1	1.33	533,3	61,35	83,6
2	2.67	533,3	107,8	129,3
3	0.80	320,0	65,1	79,9
4	1.60	320,0	63,0	89,9
5	1.33	800,0	53,2	4,1
6	2.67	800,0	102,6	142,9
7	0.80	480,0	47,6	0
8	1.60	480,0	74,0	107,4
9	1.00	500,0	60,0	62,6
10	2.00	500,0	92,6	130,4
11	2.00	666,7	87,9	114,3
12	1.20	400,0	86,2	122,1
13	1.50	400,0	83,7	100,0
14	1.50	600,0	81,8	111,5

Audinio charakteristika:

1. Pynimas - 1/3 ruoželis;
2. 18 tex × 2 ilginio tankio metmenys, kurių pluoštinė sudėtis yra 55 % vilna ir 45 % PES;
3. Atauđų kryptimi naudojami fasoniniai siūlai bei 18 tex × 2 ilginio tankio siūlai, kurių pluoštinė sudėtis yra 55 % vilna ir 45 % PES, raportu 1:1;
4. Žalio audinio tauđų tankumas – 140 dm⁻¹, o žalio audinio metmenų tankumas – 240 dm⁻¹;
5. Audiniai išausti KTU Tekstilės technologijos katedroje, audimo laboratorijoje STB–2–180 modelio sviediklinėmis audimo staklėmis.

Tolimesniuose darbo etapuose visi audiniai buvo suskirstyti į 3 grupes:

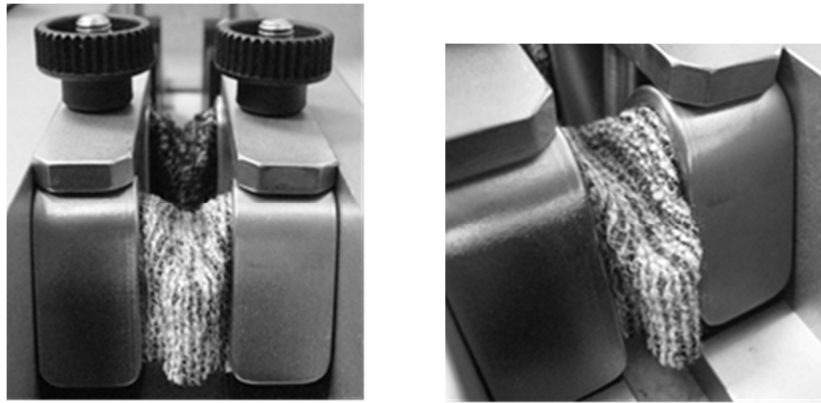
- 1 grupė) Audiniai, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su spiruline/banguota sandara (variantai 5 ir 7);
- 2 grupė) Audiniai, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai juose pasikartojančiais efektais (variantai 12, 13, 8, 11 ir 6);
- 3 grupė) Audiniai, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais (variantai 3, 9, 1, 14, 4, 10 ir 2).

2.2 Tyrimo metodika

Visi 14 audinių variantai buvo sukarpyti ir paruošti 5 x 26 cm dydžio juostelėmis. Audiniai buvo varginami su “Pegasil” EL-15F (Portugalija) varginimo įrenginiu. Bandiniai buvo įtvirtinami tarp plokštelių (žiūr. 2.1 pav.). Audiniai buvo varginami esant -25°C temperatūrai skirtingais varginimo ciklais, t. y.:

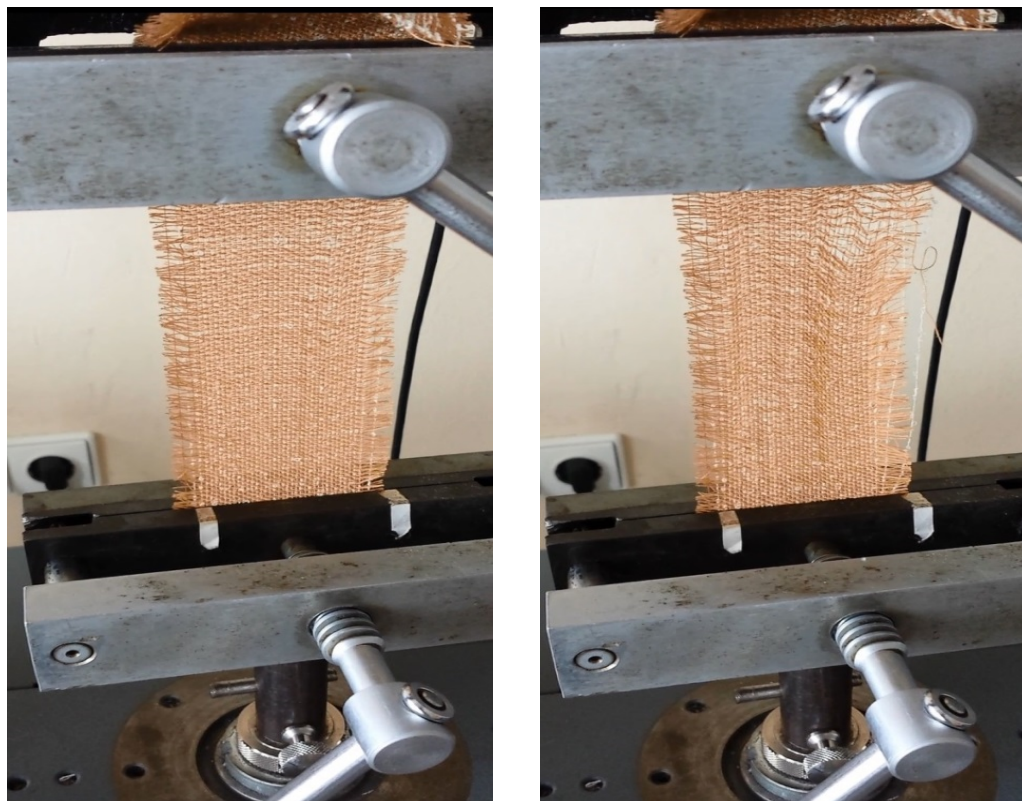
- 500 000 kartų ($N = 5 \cdot 10^5$);
- 1 000 000 kartų ($N = 10^6$).

Kadangi šiame darbe išausti audiniai gali būti naudojami ne tik buitinės paskirties gaminių asortimentui, bet ir techninės paskirties gaminiams (pavyzdžiui, automobilių sėdynių apmušalams), varginimo procesas atliktas esant -25°C temperatūrai. Taip siekta maksimaliai pasunkinti varginimo aplinką, imituojuant realias tokių audinių eksploatacijos sąlygas. Atlikta 5 matavimai kiekvienam audinio variantui. Iš viso ištirta 210 audinių variantai.



2.1 pav. Audinių įtvirtinimas tarp varginimo įrenginio plokštelių

Audinių mechaniniai rodikliai nustatyti tempimo mašina Zwick/Z005 pagal standarto ISO 13934-1:2013 reikalavimus [40]. Kiekvienas bandinys buvo įtvirtintas tarp dviejų spraustuvių ir tempiamas tol, kol įrenginys fiksuoja trūkimo momentą (žiūr. 2.2 pav.). Tempimo greitis buvo 100 mm/min, atstumas tarp spraustuvių - 100 mm. Tokiu būdu buvo nustatytos svarbiausios tempimo charakteristikos: trūkimo jėga, ištįsa, trūkimo darbas.



2.2 pav. 6 varianto audinių mechaninių savybių nustatymo tyrimas

Visi varginti ir nevarginti pavyzdžiai buvo paliekami išsigulėti patalpoje, standartinėmis klimato sąlygomis, kai patalpos temperatūra $t = (20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, santykinis oro drėgnis $\varphi = (65 \pm 4) \%$ (pagal standarto EN ISO 139:2005 reikalavimus [41]).

Tiriamų audinių statistinių charakteristikų vertės apskaičiuotos pagal žemiau pateiktas formules [42]:

1. Bandymų aritmetinis vidurkis (\bar{x}):
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

čia: n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

2. Vidutinė kvadratinė nuokrypa (S):
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

3. Dispersija (S^2):
$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3)$$

4. Absoliutinė atsitiktinė paklaida (Δ_a):
$$\Delta_a = \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

čia: t_α – Stjudento kriterijus.

5. Santykinė atsitiktinė paklaida (δ_a):
$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (5)$$

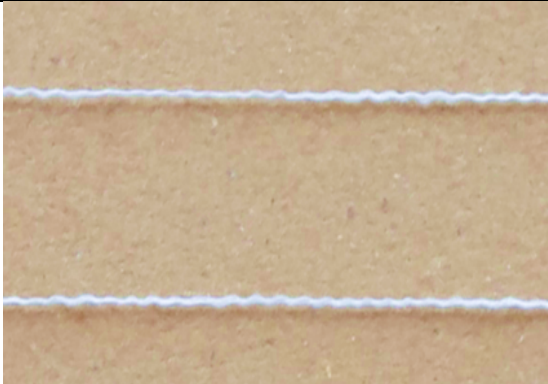

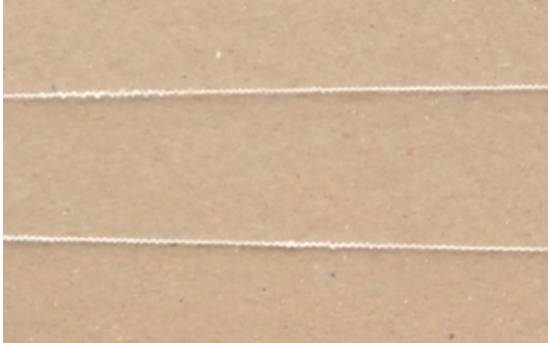

6. Variacijos koeficientas (V):
$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (6)$$

3. Tyrimo rezultatai

3.1 Audinių su fasoniniais siūlais atauduose sandaros analizė

Audiniai išausti STB–2–180 modelio sviediklinėmis audimo staklėmis. Išausta 2 variantai audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais atauduose (žiūr. 3.1 lentelė). Šie audinių variantai išausti naudojant fasoninius siūlus pagamintus su maža paskuba, t. y. 7 varianto siūlų – $\eta=0,8$, o 5 varianto siūlų $\eta=1,33$.

3.1 lentelė. Darbe naudotų spiralinės/banguotos sandaros fasoninių siūlų ir su jais pagamintų audinių nuotraukos

Var.	Siūlo nuotrauka	Audinio nuotrauka
1	2	3
7		
5		

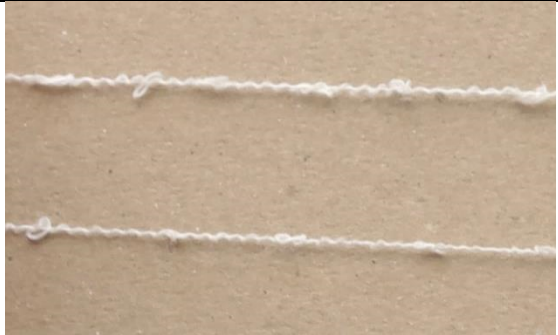

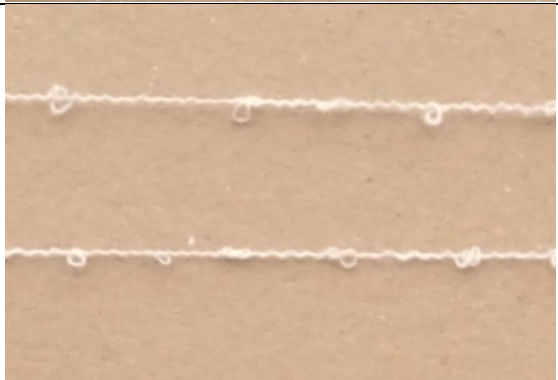

Kaip matyti iš pateiktų nuotraukų, šių variantų audiniai yra pakankamai vienodo paviršiaus, be struktūrinių efektų.

Išausti 5 variantai audinių su fasoniniais siūlais, kuriuose efektai pasikartoja periodiškai (žiūr. 3.2 lentelė). Fasoniniai siūlai naudoti atauduose.





- 12 varianto fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=1,20$; efektai šiuose siūluose pasikartoja periodiškai, kas ~ 1 cm. Juose vyrauja atviros ir uždarnos kilpos bei mazgai.

- 13 variantu fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=1,5$; šiuose siūluose periodiškai (kas $\sim 0,7$ cm) pasikartoja mazgai ir uždaros kilpos.
- 8 variantu fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=1,6$; šiuose siūluose periodiškai (kas $\sim 0,5$ cm) pasikartoja uždaros kilpos.
- 11 variantu siūlų paskuba – $\eta=2,0$; Siūluose vyrauja periodiškai (kas $\sim 0,5$ cm) pasikartojantys mazgai.
- 6 variantu fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=2,67$; šiuose siūluose periodiškai (kas $\sim 0,4$ cm) pasikartoja mazgeliai.

3.2 lentelė. Darbe naudotų fasoninių siūlų, kuriuose efektai pasikartoja periodiškai, ir su jais pagamintų audinių nuotraukos

Var.	Siūlo nuotrauka	Audinio nuotrauka
1 12	2	3
13		
8		





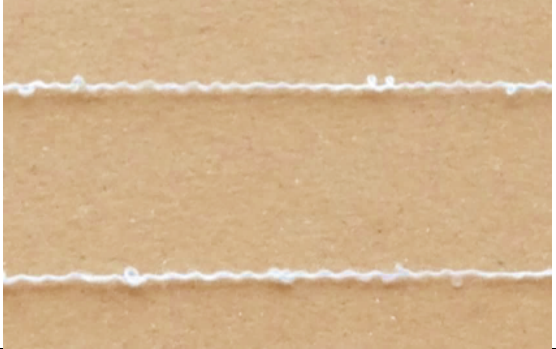

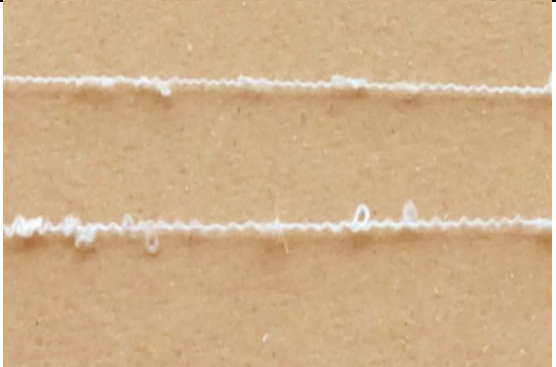

3.2 lentelės tęsinys.

1	2	3
11		
6		

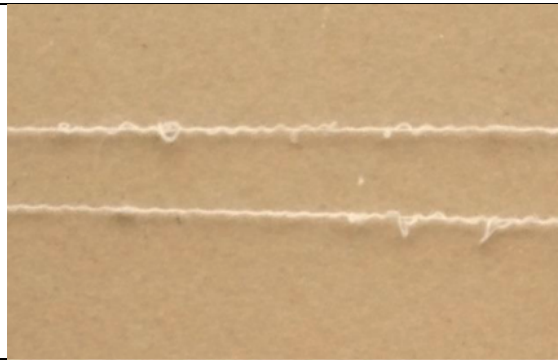



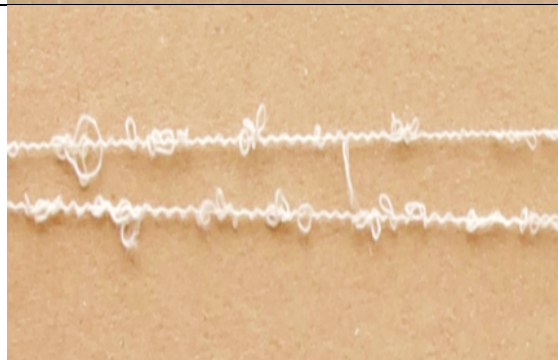

Išsausti 7 variantai audinių su fasoniniais siūlais, kuriuose efektai pasikartoja neperiodiškai, arba dalyje siūlo pasikartoja periodiškai, o dalyje – neperiodiškai, t. y. mišriai (žiūr. 3.3 lentelė).

- 3 varianto fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=0,8$; šiuose siūluose neperiodiškai, su labai dideliais pertrūkiais pasikartoja mažų mazgelių efektas.
- 9 varianto fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=1,0$; šiuose siūluose neperiodiškai, su dideliais pertrūkiais pasikartoja mišrūs mažų matmenų sandaros efektai: mazgeliai ir kilpelės.
- 1 varianto siūluose paskuba $\eta=1,33$; efektai šiuose siūluose pasikartoja neperiodiškai. Juose vyrauja mažų matmenų atviros ir uždaros kilpos bei mazgeliai.
- 14 varianto siūluose paskuba yra $\eta=1,50$; šie siūlai pasižymi periodiškais elementais, kai efektai pasikartoja $\sim 0,5$ cm, bei neperiodiškai išsidėsčiusių efektų elementais. Siūlo struktūroje matyti mazgai, kai kuriuose vietose ir uždaros kilpos.
- 4 varianto fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=1,60$; šiuose siūluose neperiodiškai pasikartoja mažų matmenų mazgelių ar uždarų kilpučių efektas.
- 10 varianto fasoninių siūlų paskuba yra $\eta=2,0$; šiuose siūluose neperiodiškai, didesniais ar mažesniais atstumais vienas nuo kito pasikartoja mazgų ir uždarų kilpų efektas.
- 2 varianto siūluose paskuba didžiausia $\eta= 2,67$; šiuose siūluose neperiodiškai pasikartoja didelių matmenų garankštys ir mazgai.

3.3 lentelė. Darbe naudotų fasoninių siūlų, kuriuose efektai pasikartoja neperiodiškai, ir su jais pagamintų audinių nuotraukos

Var.	Siūlo nuotrauka	Audinio nuotrauka
1	2	3
3		
9		
1		
14		

3.3 lentelės tęsinys.

1	2	3
4		
10		
2		

Kaip matyti iš 3.2-3.3 lentelėse pateiktų nuotraukų, paskuba turi įtakos fasoninių siūlų sandarai, t. y. jai didėjant, didėja ir efektų skaičius siūle bei audinyje. Taigi, didėjant paskubai audiniuose tolydžiai daugėja efektų, jie persigrupuoja ir išsidėsto nevienodai audinio plote. Ši ypatybė ypač svarbi audiniams su fasoniniais siūlais, nes leidžia išvengti nepageidaujamo muaro efekto juose [39].

3.2 Nevargintų ir vargintų audinių mechaninių savybių tyrimo rezultatai

Tiriamųjų audinių mechaninės savybės nustatytos tik ataudų kryptimi, nes būtent šia kryptimi ir buvo naudoti fasoniniai siūlai. 3.4-3.6 lentelėse pateikti nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais atauduose mechaninių savybių – trūkimo jėgos F , išlįsos ε ir trūkimo darbo W tyrimo rezultatai ir jų statistinės charakteristikos.

3.4 lentelė. Nevargintų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Audinių variantai	
			5	7
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	381,2 ± 22,1	463,1 ± 20,5
		S, N	17,8	16,5
		V, %	4,7	3,6
		δ_a , %	5,8	4,4
	ε , %	\bar{x} , %	13,1 ± 1,0	15,0 ± 0,7
		S, %	0,8	0,6
		V, %	6,3	3,8
		δ_a , %	7,6	4,7
	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	5742,0 ± 749,1	8222,0 ± 529,8
		S, Nmm	603,6	426,9
		V, %	10,5	5,2
		δ_a , %	13,0	6,4

3.5 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Audinių variantai	
			5	7
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	387,2 ± 20,0	462,6 ± 21,5
		S, N	19,1	20,5
		V, %	0,3	4,4
		δ_a , %	5,2	4,6
	ε , %	\bar{x} , %	14,1 ± 1,5	15,7 ± 0,7
		S, %	1,4	0,6
		V, %	9,9	4,0
		δ_a , %	10,6	4,5
	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	6430,5 ± 849,9	8666,0 ± 384,4
		S, Nmm	810,2	366,5
		V, %	12,6	4,2
		δ_a , %	13,2	4,4

3.6 lentelė. Vargintų $N = 10^6$ kartų 5 ir 7 variantų audinių mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Audinių variantai	
			5	7
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	386,9 ± 18,4	450,6 ± 27,6
		S, N	14,8	22,2
		V, %	3,8	4,9
		δ_a , %	4,8	6,1
	ε , %	\bar{x} , %	13,5 ± 0,6	14,8 ± 0,6
		S, %	0,5	0,5
		V, %	3,6	3,3
		δ_a , %	4,5	4,1

3.6 lentelės tęsinys.

		Audinių variantai		
		5	7	
Mechaniniai rodikliai	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	6050,0 ± 431,3	7821,0 ± 768,1
		S, Nmm	347,5	618,9
		V, %	5,74	7,9
		δ_a , %	7,1	9,8

Iš 3.4-3.6 lentelėse pateiktų rezultatų matyti, kad, nors abu tiriamieji audiniai yra pagaminti su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais atauduose, visų 7 varianto audinio mechaninių rodiklių vertės yra didesnės.

3.7-3.9 lentelėse pateiktos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, tirtų mechaninių savybių statistinės charakteristikos.

3.7 lentelė. Nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai				
			12	13	8	11	6
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	400,1 ± 10,1	425,2 ± 12,3	349,6 ± 13,9	425,4 ± 5,4	401,8 ± 7,2
		S, N	8,2	9,9	11,2	4,3	5,8
		V, %	2,0	2,3	3,2	1,0	1,4
		δ_a , %	2,5	2,9	4,0	1,3	1,8
	ϵ , %	\bar{x} , %	15,1 ± 0,4	15,8 ± 0,7	12,5 ± 0,8	16,7 ± 0,9	15,9 ± 0,8
		S, %	0,3	0,6	0,5	0,4	0,7
		V, %	2,1	3,6	4,3	2,2	4,3
		δ_a , %	2,7	4,5	6,2	5,4	5,3
	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	6724,0 ± 220,5	7321,0 ± 554,3	5037,0 ± 457,5	7767,0 ± 349,1	7020,0 ± 352,5
		S, Nmm	177,7	446,6	368,6	281,3	284,0
		V, %	2,6	6,1	7,3	3,6	4,1
		δ_a , %	3,3	7,6	9,1	4,5	5,0

3.8 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai				
			12	13	8	11	6
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	404,5 ± 16,8	426,4 ± 12,7	396,0 ± 12,6	429,0 ± 16,1	417,7 ± 12,8
		S, N	16,0	12,1	12,0	15,4	12,2
		V, %	4,0	2,8	3,0	3,6	2,9
		δ_a , %	4,2	3,0	3,2	3,8	3,1

3.8 lentelės tęsinys.

			Bandinių variantai				
			12	13	8	11	6
Mechaniniai rodikliai	ε, %	\bar{x} , %	15,9 ± 0,5	16,4 ± 0,4	15,0 ± 0,7	16,8 ± 0,6	16,2 ± 0,7
		S, %	0,5	0,4	0,7	0,5	0,7
		V, %	2,9	2,4	4,7	3,2	4,3
		δ _a , %	3,1	2,4	4,7	3,6	4,3
	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	7176,0 ± 490,2	7688,7 ± 362,1	6729,2 ± 504,6	7768,0 ± 481,2	7450,0 ± 374,6
		S, Nmm	467,4	345,2	481,0	458,7	357,1
		V, %	6,5	4,5	7,1	5,9	4,8
		δ _a , %	6,8	4,7	7,5	6,2	5,0

3.9 lentelė. Vargintų N = 10⁶ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai				
			12	13	8	11	6
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	398,0 ± 6,3	405,7 ± 20,9	373,2 ± 9,3	417,4 ± 13,1	413,5 ± 10,7
		S, N	5,1	16,9	7,5	10,5	8,6
		V, %	1,3	4,2	2,0	2,5	2,1
		δ _a , %	1,6	5,2	2,5	3,1	2,6
	ε, %	\bar{x} , %	15,4 ± 0,6	15,7 ± 0,9	13,8 ± 0,6	16,6 ± 0,2	16,0 ± 0,6
		S, %	0,5	0,7	0,5	0,1	0,5
		V, %	3,0	4,4	3,6	0,8	2,9
		δ _a , %	3,7	5,5	4,4	1,0	3,6
	W, Nmm	\bar{x} , Nmm	6763,0 ± 276,4	6963,0 ± 824,1	5766,0 ± 356,6	7588,0 ± 135,3	7248,0 ± 259,9
		S, Nmm	222,7	664,0	287,3	109,0	209,4
		V, %	3,3	9,5	5,0	1,4	2,9
		δ _a , %	4,1	11,8	6,2	1,8	3,6

Iš 3.7-3.9 lentelėse pateiktų rezultatų matyti, kad, nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai išsidėsčiusiais efektais, trūkimo jėga svyruoja nuo 349,6 N iki 425,4 N. Gi, po N = 5 · 10⁵ kartų varginimo ciklą šio rodiklio kitimo ribos labai susiaurėja, t. y. 396,0-429,0 N. Dar daugiau nuvarginus, N = 10⁶ kartų, trūkimo jėgos kitimo ribos vėl padidėja (379,2-417,4 N), bet nevargintų audinių kitimo intervalo nepasiekia. Taigi, galima, konstatuoti, kad lyginant tos pačios grupės audinius (šiuo atveju, tuos, kuriuose naudoti fasoniniais siūlai su periodiškai išsidėsčiusiais efektais), varginimo procesas sumažina trūkimo jėgos verčių variaciją.

Nustatyta, kad tirtų vargintų ir nevargintų audinių ištiesos vertės svyruoja nuo 12,5 % iki 16,8 %, o trūkimo darbo rodiklis kinta 5037,0–7768,0 Nmm intervalo ribose. Nustatyta, kad abiemis šiems rodikliams galioja ta pati tendencija, kaip ir audinių trūkimo jėgos atveju., t. y. varginimo procesas

sumažina audinių ištiesos ir trūkimo darbo verčių variaciją lyginant šios grupės audinius, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais.

Nustatyta, kad šios grupės audiniuose mažiausiomis trūkimo jėgos, ištiesos bei trūkimo darbo vertėmis pasižymi 8 varianto audinys, o didžiausiomis – 11 varianto audinys. Manoma, kad tokiems tyrimų rezultatams turi įtakos juose naudotų fasoninių siūlų sandara, nes 8 varianto audiniuose naudoti siūlai su uždaru kilpelių efektu, o 11 varianto audiniuose – su mazgelių efektu (žiūr. 3.1 lentelė). Taigi, rasta, kad tempiant kilpelinį audinį kilpelės išsitempia greičiau, kol audinyje fiksuojamas trūkimo momentas, negu audiniai, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su mazgelių efektu.

3.10-3.12 lentelėse pateiktos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, tirtų mechaninių savybių statistinės charakteristikos.

3.10 lentelė. Nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai						
			3	9	1	14	4	10	2
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	399,9 ± 21,3	405,8 ± 18,3	376,6 ± 6,7	422,4 ± 19,2	395,9 ± 13,1	354,7 ± 6,9	313,6 ± 10,1
		S, N	17,2	14,7	5,4	15,5	10,6	5,6	8,1
		V, %	4,3	3,6	1,4	3,7	2,7	1,6	2,6
		δ_a , %	5,3	4,5	1,8	4,6	3,3	2,0	3,2
	ϵ , %	\bar{x} , %	14,4 ± 0,9	14,3 ± 0,5	13,5 ± 0,3	16,4 ± 0,8	14,0 ± 0,4	14,1 ± 0,8	11,7 ± 0,3
		S, %	0,7	0,4	0,2	0,6	0,3	0,7	0,2
		V, %	4,9	2,8	1,7	3,8	2,2	4,7	2,1
		δ_a , %	6,1	3,9	2,0	4,7	2,7	5,8	2,6
W, Nmm	\bar{x} , Nmm	6534,0 ± 704,7	6375,0 ± 509,5	5723,0 ± 191,6	7609,0 ± 758,5	6560,0 ± 272,8	5611,0 ± 444,3	4125,0 ± 246,6	
	S, Nmm	567,8	410,5	154,4	611,2	219,8	358,8	198,7	
	V, %	8,7	6,4	2,7	8,0	3,4	6,4	4,8	
	δ_a , %	10,8	8,0	3,3	10,0	4,2	7,9	6,0	

3.11 lentelė. Vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai						
			3	9	1	14	4	10	2
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x} , N	381,5 ± 8,7	399,0 ± 14,9	394,7 ± 10,1	375,1 ± 19,5	387,2 ± 14,7	402,2 ± 12,5	375,1 ± 19,5
		S, N	8,3	14,2	9,6	18,6	14,0	11,9	18,6
		V, %	2,2	3,6	2,4	5,0	3,6	3,0	5,0
		δ_a , %	2,3	3,7	2,6	5,2	3,8	3,1	5,2

3.11 lentelės tęsinys.

			Bandinių variantai						
			3	9	1	14	4	10	2
Mechaniniai rodikliai	$\varepsilon, \%$	$\bar{x}, \%$	14,0 $\pm 0,3$	15,0 $\pm 0,9$	15,2 $\pm 0,1$	15,2 $\pm 0,5$	12,9 $\pm 0,7$	15,5 $\pm 0,8$	15,2 $\pm 0,5$
		S, %	0,3	0,8	0,1	0,5	0,7	0,8	0,5
		V, %	2,1	5,6	0,9	3,0	5,4	5,2	3,0
		$\delta_a, \%$	2,1	6,0	0,7	3,3	5,4	5,2	3,3
	W, Nmm	\bar{x}, Nmm	6073,5 $\pm 232,7$	6696,0 \pm 399,3	6630,0 $\pm 180,6$	6345,0 $\pm 491,0$	5454,2 $\pm 448,5$	7098,3 $\pm 600,5$	6345,0 $\pm 491,0$
		S, Nmm	221,8	380,7	172,2	468,1	427,6	572,5	468,1
		V, %	3,7	5,7	2,6	7,4	7,8	8,1	7,4
		$\delta_a, \%$	3,8	6,0	2,7	7,7	8,2	8,5	7,7

3.12 lentelė. Vargintų $N = 10^6$ kartų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninių savybių statistinės charakteristikos

			Bandinių variantai						
			3	9	1	14	4	10	2
Mechaniniai rodikliai	F, N	\bar{x}, N	374,9 $\pm 15,4$	395,0 $\pm 11,1$	393,1 $\pm 13,9$	410,2 $\pm 12,5$	391,5 $\pm 15,2$	391,7 $\pm 5,8$	388,4 $\pm 13,1$
		S, N	17,5	8,9	11,2	10,1	12,3	4,7	10,6
		V, %	4,7	2,3	2,8	2,5	3,1	1,2	2,7
		$\delta_a, \%$	4,2	2,8	3,2	3,0	3,9	1,5	4,2
	$\varepsilon, \%$	$\bar{x}, \%$	14,6 $\pm 0,7$	14,6 $\pm 0,9$	14,9 $\pm 0,6$	16,1 $\pm 0,2$	14,0 $\pm 0,5$	15,6 $\pm 0,5$	15,6 $\pm 0,7$
		S, %	1,1	0,7	0,5	0,2	0,4	0,4	0,6
		V, %	7,2	4,9	3,1	1,0	2,7	2,4	3,6
		$\delta_a, \%$	5,2	6,1	3,8	1,2	3,4	2,9	5,2
	W, Nmm	\bar{x}, Nmm	6284,0 $\pm 832,0$	6460,0 $\pm 648,1$	6665,0 $\pm 369,1$	7070,0 $\pm 268,4$	6481,0 $\pm 346,4$	6782,0 $\pm 388,7$	6771,0 $\pm 521,0$
		S, Nmm	670,4	522,2	297,4	216,3	279,1	313,2	419,8
		V, %	10,7	8,1	4,5	3,1	4,3	4,6	6,2
		$\delta_a, \%$	13,2	10,0	5,5	3,8	5,3	5,7	7,7

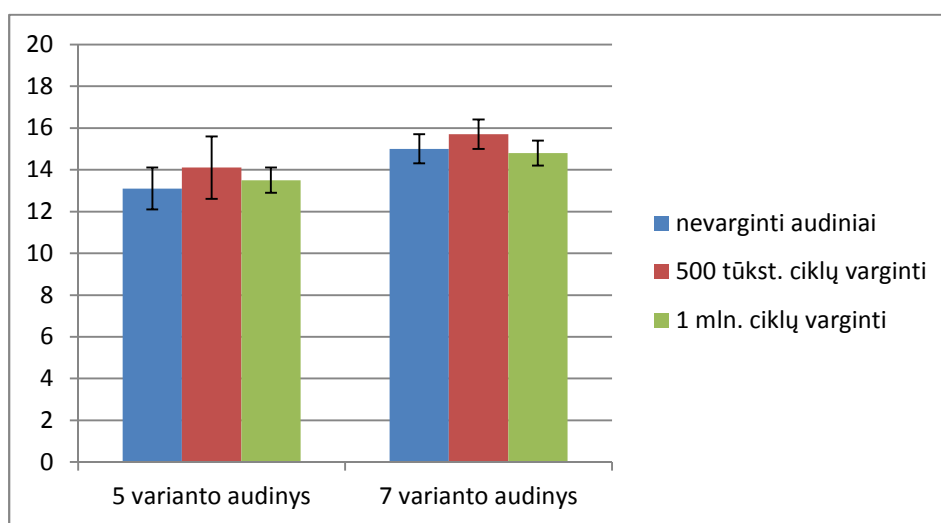
Kaip matyti iš 3.10-3.12 lentelėse pateiktų rezultatų, kad, nevargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai išsidėsčiusiais efektais, trūkimo jėga svyruoja nuo 313,6 N iki 422,4 N. Po $N = 5 \cdot 10^5$ kartų varginimo ciklą šio rodiklio kitimo ribos labai susiaurėja, t. y. 375,1–402,2 N. Dar daugiau nuvarginus, $N = 10^6$ kartų, trūkimo jėgos kitimo ribos vėl padidėja (374,9–410,2 N), bet nevargintų audinių kitimo intervalo nepasiekia. Nustatyta, kad šiems audiniams galioja ta pati tendencija, kaip kitos audinių grupės atveju, t. y. varginimo procesas sumažina audinių ištįsos ir trūkimo darbo verčių kitimo intervalą.

Visų 14 variantų audinių trūkimo jėgos ir trūkimo ištįsos variacijos koeficientai svyruoja nuo 0,8 % iki 8,0 %. Gi, trūkimo darbo ir 5 variantui audinio ištįsos variacija yra šiek tiek didesnė. Minėtu

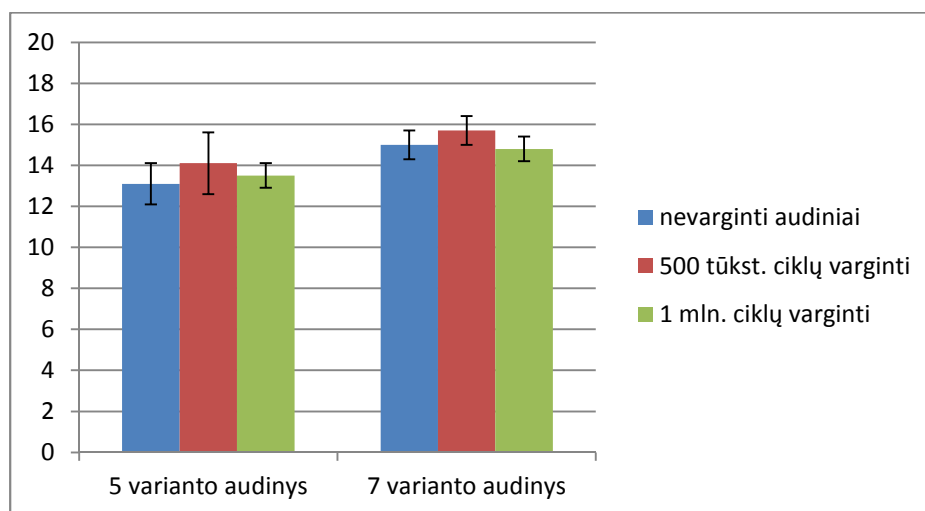
atveju, variacijos koeficientas pasiekia 9,9 %. Kaip žinoma, atliekant tyrimus paklaidos gali atsirasti dėl įvairių priežasčių: matavimo įrenginių paklaidų, aplinkos, tyrėjo ir kitų veiksnių. Be to, nustatyta, kad varginimo procesas neturi įtakos audinių su fasoniniais siūlais mechaninių savybių variacijai, nes jų variacijos koeficientai yra panašūs. Taigi, gauta, kad tyrimų rezultatų sklaida yra maža.

3.3 Varginimo ciklų įtakos audinių mechaninėms savybėms tyrimas

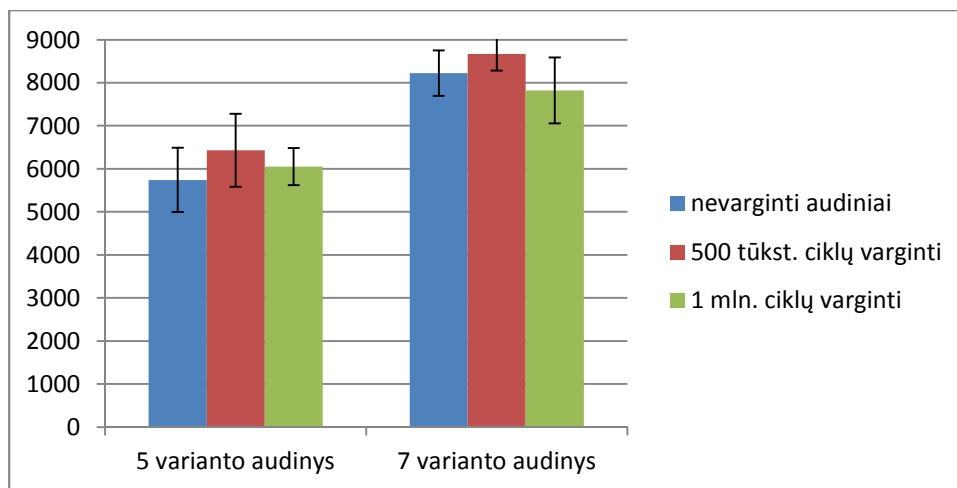
3.1-3.3 paveiksluose pateiktose stulpelinėse diagramose palygintos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais mechaninės savybės – trūkimo jėga F , ištįsa ϵ , trūkimo darbas W .



3.1 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais trūkimo jėgos diagramos



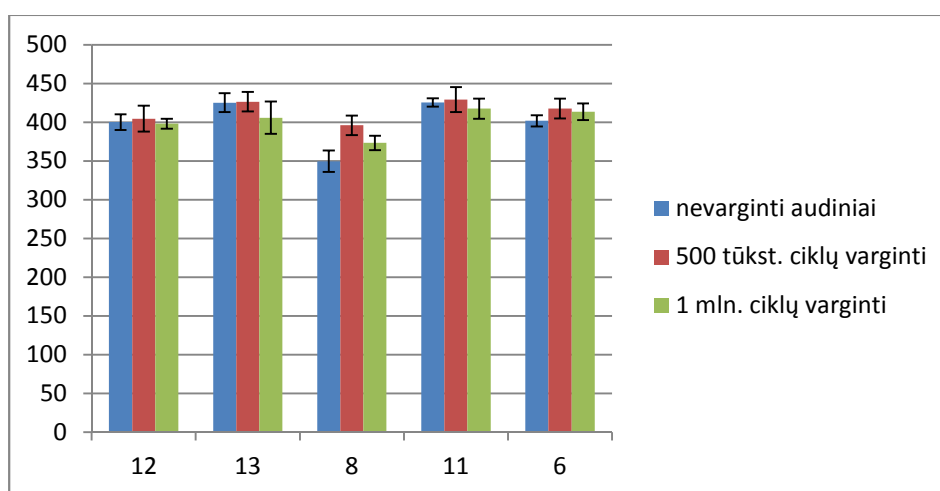
3.2 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais ištįsos diagramos



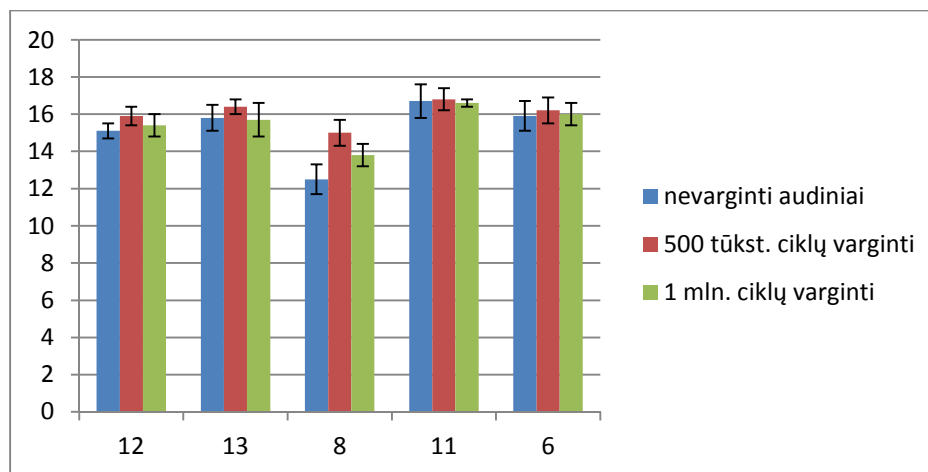
3.3 pav. Audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais trūkimo darbo diagramos

Kaip matyti iš pateiktų diagramų, 5 ir 7 variantų audinių trūkimo jėgai varginimo procesas neturi įtakos, nes šis rodiklis išlieka toks pat ir po varginimo proceso. Šių audinių ištįsa padidėjusi apie 6,0 % po $N = 5 \cdot 10^5$ varginimo ciklų, dar toliau didinant juos vėl sumažėja apie 3,0 %. Panašios ir trūkimo darbo kitimo tendencijos. Be to, gauta, jog 7 varianto audinio trūkimo darbas 30 % didesnis už 5 varianto audinio. Žinoma, kad cikliška varginant audinius po kiekvieno ciklo nespėja relaksuoti atskirose jo vietose atsiradusios sukcentruotos įtampos, o ilgai deformuojant audinius atsiranda nuovargio reiškiniai [36].

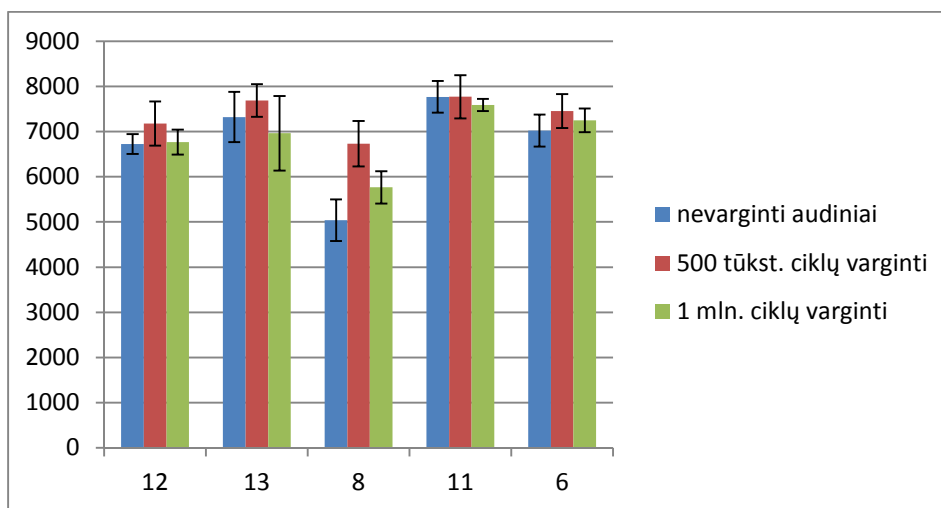
3.4-3.6 paveiksluose pateiktose stulpelinėse diagramose palygintos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninės savybės – trūkimo jėga F , ištįsa ϵ , trūkimo darbas W .



3.4 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo jėgos diagramos



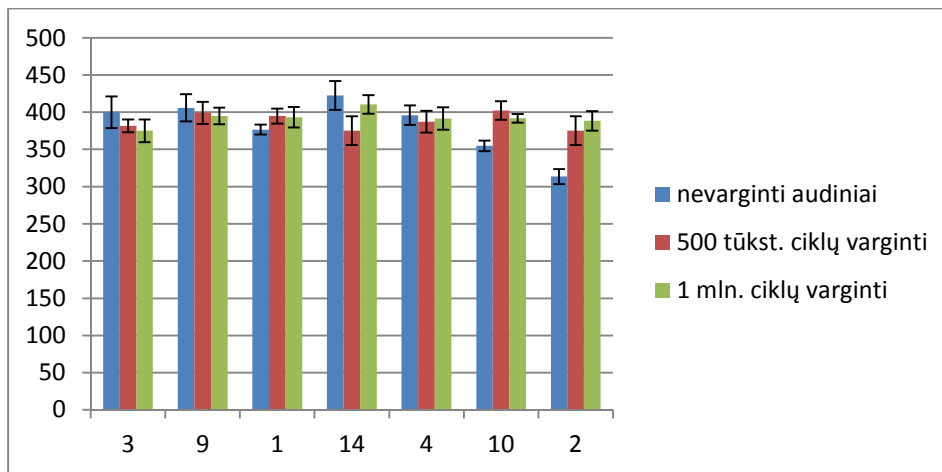
3.5 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, ištįsos diagrammos



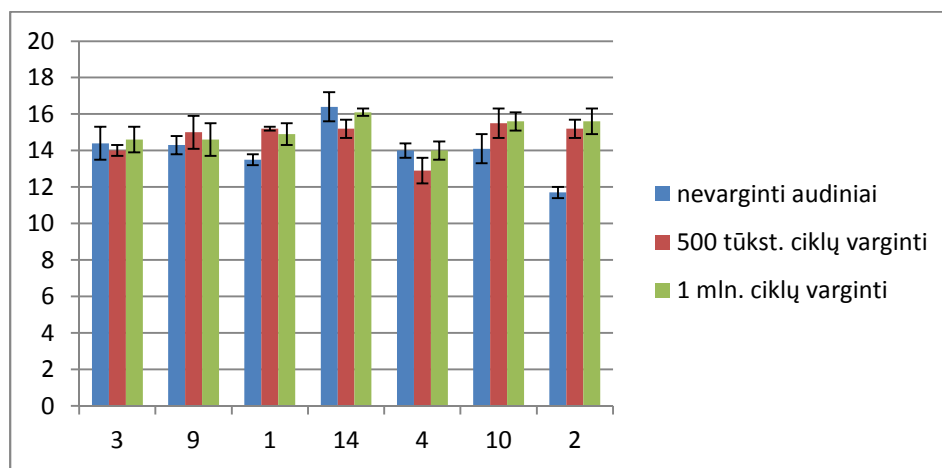
3.6 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su periodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo darbo diagrammos

Kaip matyti iš pateiktų diagramų, 12, 13, 11 ir 6 variantų audinių mechaniniams rodikliams varginimo procesas beveik neturėjo įtakos arba šie rodikliai kito paklaidų ribose. Didžiausią įtaką varginimo procesas turėjo 8 varianto audiniui. Rasta, kad apie 10,0 % padidėję 8 varianto audinio trūkimo jėga ir ištįsa po $N = 5 \cdot 10^5$ varginimo ciklų, toliau varginant sumažėja apie 5,0 %. Trūkimo darbo verčių pokyčiai gauti dar didesni iki 17,0 %.

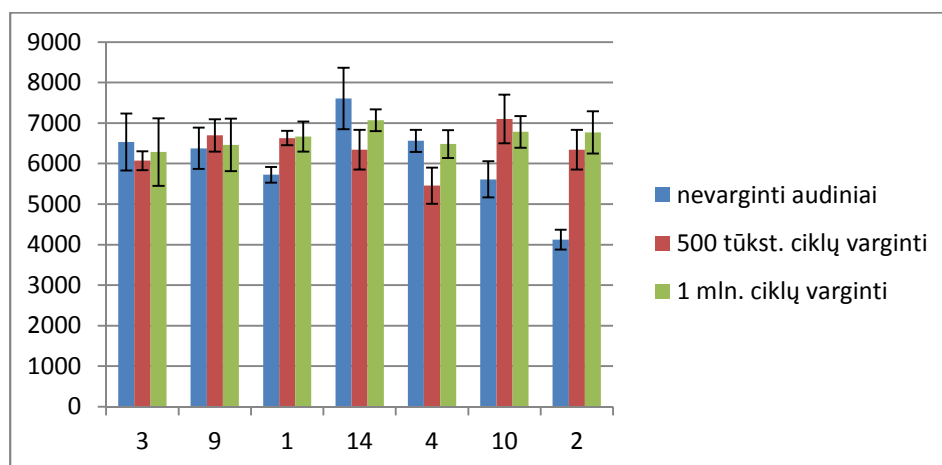
3.7-3.10 paveiksluose pateiktose stulpelinėse diagramose palygintos nevargintų ir skirtingais ciklų skaičiais vargintų audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, mechaninės savybės – trūkimo jėga F , ištįsa ϵ , trūkimo darbas W .



3.7 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo jėgos diagramos



3.8 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, iššjos diagramos



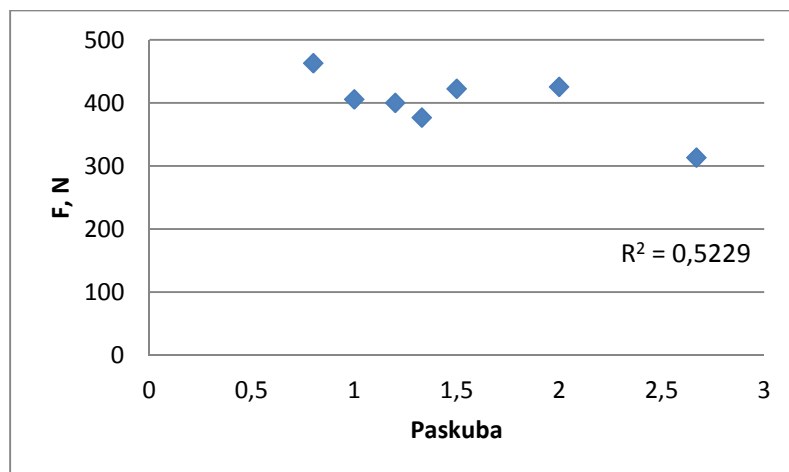
3.9 pav. Audinių, kuriuose naudoti fasoniniai siūlai su neperiodiškai pasikartojančiais efektais, trūkimo darbo diagramos

Kaip matyti iš 3.7-3.9 paveiksluose pateiktų duomenų, 3, 9 ir 4 variantų audinių trūkimo jėga ir ištįsa nepriklauso nuo varginimo proceso, nes jų mechaninių rodiklių vertės kinta paklaidų ribose. Rasta, kad 14 varianto audinių mechaninių rodiklių kitimo tendencijos priešingos aukščiau aptartų audinių su spiralinės sandaros fasoniniais siūlais ar periodiškai pasikartojančiais efektais, t. y. po $N = 5 \cdot 10^5$ varginimo ciklų šie rodikliai sumažėja apie 10,0 %, o toliau varginant padidėja apie 5,0 %. Gi, 1 ir 10 variantų audinių mechaniniai rodikliai šiek tiek padidėja, o toliau varginant – labai nedaug sumažėja. Išsiskiria 2 varianto audinių mechaninių rodiklių kitimo tendencijos – didėjant varginimo ciklų skaičiui jie visi taip pat didėja. Taigi, varginimo procesas šio 2 varianto audiniui turėjo didžiausią įtaką. Nustatyta, kad jo mechaninių rodiklių vertės padidėjo atitinkamai: trūkimo jėgos – 19 %, ištįsos – 25 % ir trūkimo darbo – net 39 %. Manoma, kad tokias tendencijas galėjo lemti išskirtinė šio audinio sandara, nes juose naudoti didelio ilginio tankio fasoniniai siūlai, kuriuose vyrauja didelis skaičius ($129,3 \text{ m}^{-1}$) didelių matmenų garankštys ir mazgai. Taigi, dėl varginimo reiškinų šio audinio struktūra po varginimo labai pasikeitė, efektai tiesinosi, o pats audinys tapo tąsesnis.

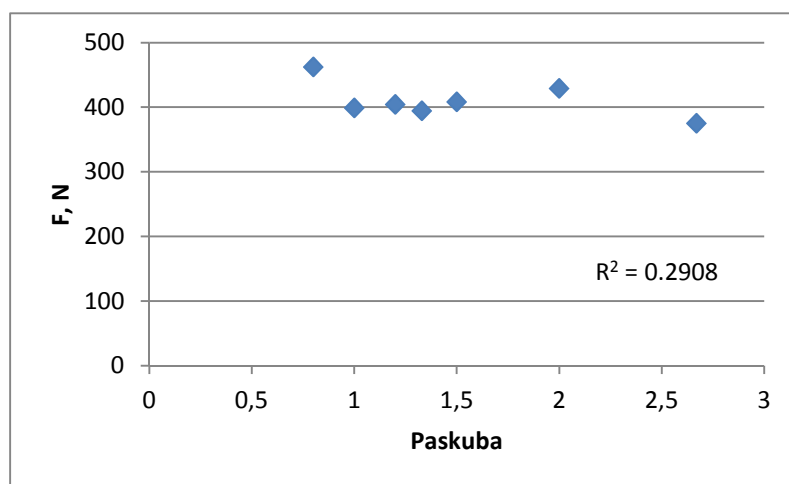
Žinoma, kad varginimo procesas turi tris fazes. Pirmoje (per pirmuosius kelias dešimtis ar šimtus ciklų) varginamų audinių rišlumas padidėja, siūlai tankėja ir dėl trinties sustiprėja siūlų sąveika. Antroje fazėje audinių sandara šiek tiek stabilizuojasi. Trečioje (po keliolikos ar kelių šimtų tūkstančių ciklų) sparčiau yra sandara ir pasireiškia nuovargio reiškiniai [36]. Taigi, apibendrintai galima teigti, kad šiame darbe buvo suprojektuoti audiniai su fasoniniais skirtingų sandarų siūlais atauduose, kurių trūkimo jėgai ir ištįsai varginimo procesas turi mažai įtakos (3–7, 9, 11–13 audinių variantai). Tokie audiniai galėtų būti sėkmingai naudojami automobilių apmušalams. Gi, kitų audinių (daugiausia su fasoniniais siūlais, kuriuose efektai kartojasi neperiodiškai) mechaniniai rodikliai priklauso nuo varginimo proceso ir skirtingi varginimo ciklų skaičiai šiems rodikliams turi įtakos.

3.5 Audinių mechaninių savybių priklausomybės nuo paskubos dydžio tyrimas

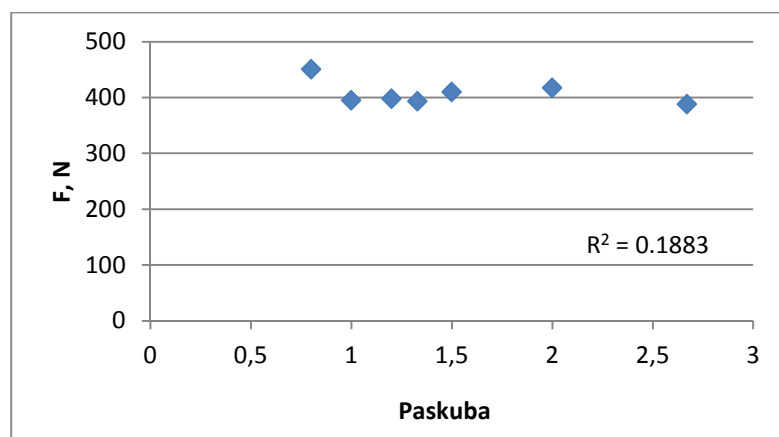
Gaminant fasoninius siūlus yra labai svarbūs jų technologiniai gamybos parametrai. Vienas iš svarbiausių fasoninių siūlų gamybos parametrų – paskuba η . Nuo šio rodiklio labai priklauso siūlo sandara. Kuo paskuba didesnė, tuo siūle susidaro daugiau efektų (mazgų, kilpų, bangelių ir kt.). Audiniuose naudotų fasoninių siūlų paskubos dydžio įtaka nevalgintų ir valgintų skirtingais ciklų skaičiais audinių su jais mechaninėms savybėms pateikta 3.10–3.18 paveiksluose.



3.10 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų audinių su jais trūkimo jėgai

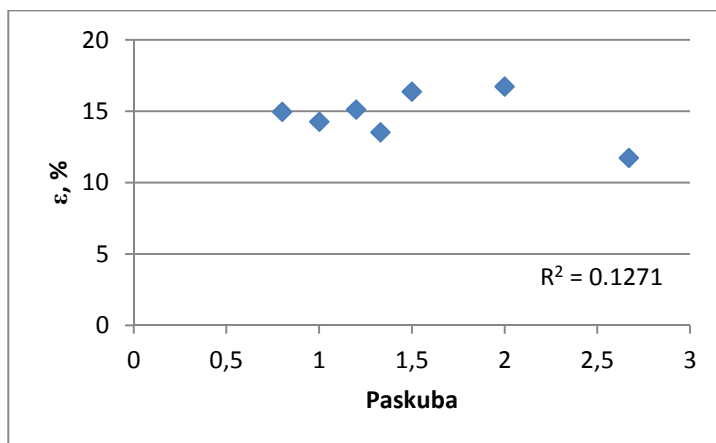


3.11 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka $N = 5 \cdot 10^5$ ciklų vargintų audinių su jais trūkimo jėgai

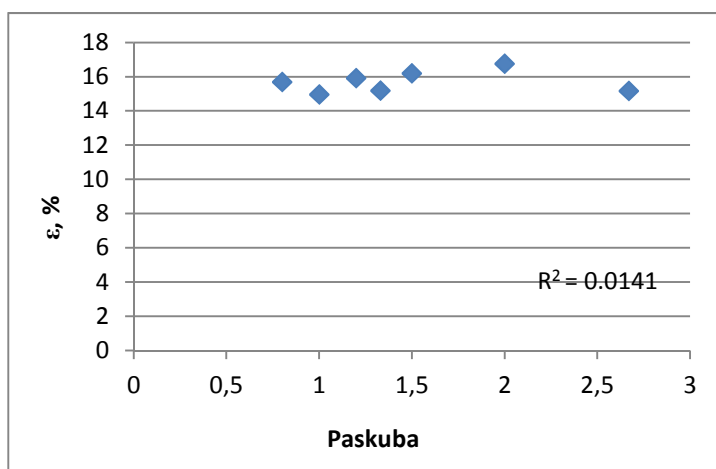


3.12 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka 1 mln. ciklų vargintų audinių trūkimo jėgai

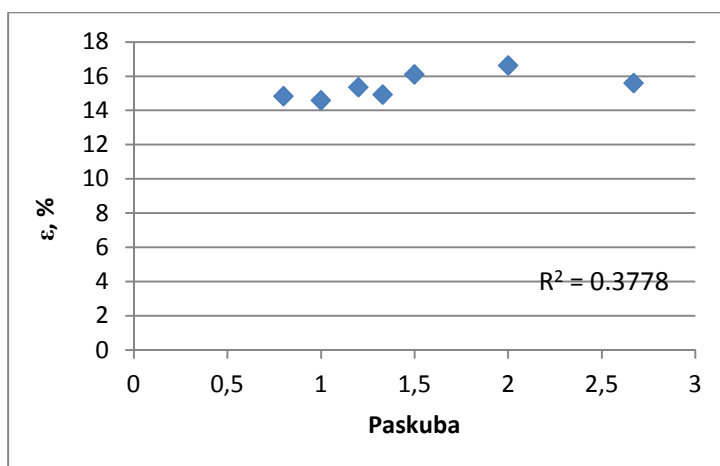
Nustatyta tendencija, kad didėjant fasoninių siūlų paskubos dydžiui audinių su jais trūkimo jėga mažėja. Tačiau priklausomybė tarp šių rodiklių nenustatyta.



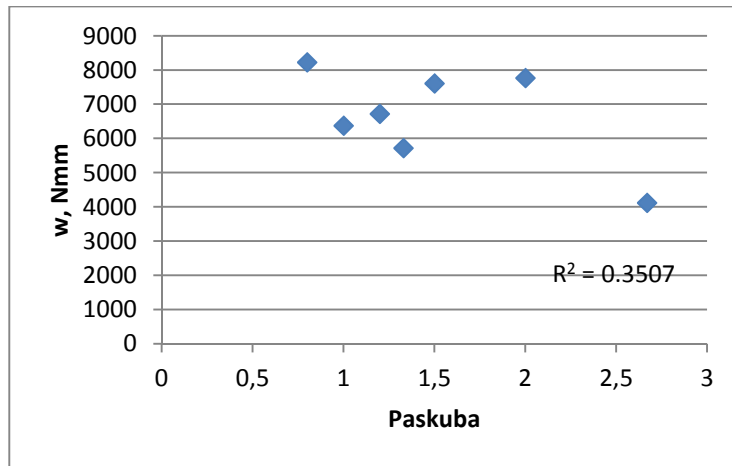
3.13 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų audinių su jais trūkimo ištiesai



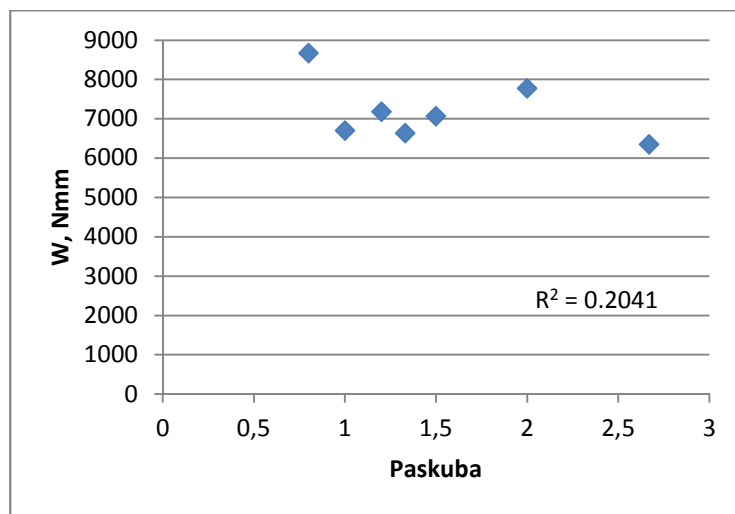
3.14 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka $N = 5 \cdot 10^5$ ciklų vargintų audinių su jais trūkimo ištiesai



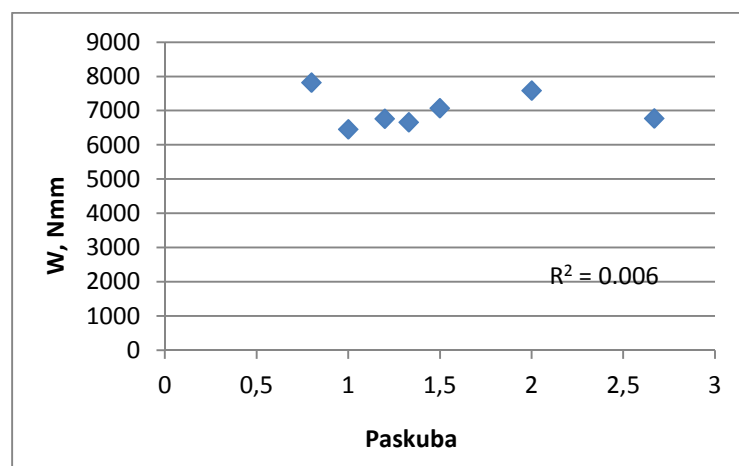
3.15 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka 1 mln. ciklų vargintų audinių trūkimo ištiesai



3.16 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų audinių su jais trūkimo darbui



3.17 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka $N = 5 \cdot 10^5$ ciklų vargintų audinių su jais trūkimo darbui



3.18 pav. Fasoninių siūlų paskubos įtaka 1 mln. ciklų vargintų audinių trūkimo darbui

Kaip matyti iš pateiktų paveikslų, tirtuose audiniuose naudotų fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų ir vargintų skirtingais ciklų skaičiais audinių su jais mechaninėms savybėms nenustatyta.

4. Išvados

1. Suprojektavus ir išaudus 1/3 pynimu 14 variantų audinių ruoželinis su skirtingos sandaros fasoniniais siūlais, nustatyta, kad didėjant audiniuose naudotų siūlų paskubai (0,8–2,67), didėja ir efektų skaičius audinyje, jie persigrupuoja ir išsidėsto nevienodai audinio plote keisdami audinio išvaizdą.
2. Nustatyta, audinių su spiralinės/banguotos sandaros fasoniniais siūlais atauduose, mechaninių rodiklių vertės yra didžiausios. Rasta, kad nevargintų audinių trūkimo jėga kito nuo 313,6 N iki 463,1 N, ištįsa kito 12,5–16,7 % ribose.
3. Nustatyta, kad vargintų $N = 5 \cdot 10^5$ kartų audinių su fasoniniais siūlais atauduose trūkimo jėga kito nuo 375,1 N iki 462,6 N, ištįsa kito 12,9–16,8 % ribose; vargintų $N = 1 \cdot 10^6$ kartų audinių trūkimo jėga kito nuo 373,2 N iki 450,6 N, ištįsa kito 13,5–16,6 % ribose.
4. Rasta, kad lyginant tos pačios grupės audinius (su spiralinės/banguotos sandaros; su periodiškai išsidėsčiusiais efektais ar su neperiodiškai išsidėsčiusiais efektais), varginimo procesas sumažina mechaninių rodiklių verčių kitimo intervalą. Visų 14 variantų audinių rodiklių variacijos koeficientai svyruoja nuo 0,8 % iki 8,0 %.
5. Darbe buvo suprojektuoti audiniai su fasoniniais skirtingų sandarų siūlais atauduose, kurių trūkimo jėgai ir ištįsai varginimo procesas neturi įtakos arba šių rodiklių vertes keičia mažai. Šiai kategorijai priskiriami audiniai su spiralinės sandaros siūlais ar siūlais, kuriuose efektai kartojasi periodiškai. Tokie audiniai galėtų būti sėkmingai naudojami automobilių apmušalams.
6. Nustatyta, kad audinių (daugiausia su fasoniniais siūlais, kuriuose efektai kartojasi neperiodiškai) mechaniniai rodikliai priklauso nuo varginimo proceso ir skirtingi varginimo ciklų skaičiai šioms rodikliams turi įtakos.
7. Tirtuose audiniuose naudotų fasoninių siūlų paskubos įtaka nevargintų ir vargintų skirtingais ciklų skaičiais audinių su jais mechaninėms savybėms nenustatyta.

5. Literatūros sąrašas

1. Grigaitytė S., Ragaišienė A. Audinių su fasoniniais siūlais dilinimo ir laidumo orui tyrimas. Gaminių technologijos ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga 2011. ISSN 1822-492X, p. 216-220.
2. Petrulis D., Petrulytė S. Effect of Manufacturing Parameters of Covered Yarns on the Geometry of Covering Components. Textile Research Journal. Vol. 79(6), p. 526-533.
3. Drobina R. Probabilistic Model of the Figue Durability of Knitted Fabrics Produces from Standard Smooth and Fancy Flame Cotton Yarns. FIBRES & TEXTILE in Eastern Europe 2010, Vol. 18, No. 4(81), p. 75-84.
4. Stalioraitytė K., Ragaišienė A. Fasoninių siūlų su putliaisiais PAN komponentais sandaros tyrimas .Gaminių technologijos ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga 2007. ISSN 1822-492X, p. 39-43.
5. Zhang R., Guo W., Hu Y. Computer Simulation of Fancy Yarns Based on Structural Model of Appearance. International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence 2009, p. 69-72.
6. Barkauskienė D., Petrulytė S. Sudėtingos sandaros siūlų su efektais geometrinių rodiklių prognozavimas. Gaminių technologijos ir dizainas – Konferencijos pranešimų knyga. Kaunas, „Technologija“ 2006, p. 7–10.
7. Fasoninių siūlų tipai. Nuotrauka (2). [žiūrėta 2015-02-27];
Prieiga per internetą: < [http:// www.asia.ru/en/ProductInfo/1417973.html](http://www.asia.ru/en/ProductInfo/1417973.html)>.
8. Fasoninių siūlų tipai. Nuotrauka (4). [žiūrėta 2015-02-27];
Prieiga per internetą: < http://www.craftyarncouncil.com/new_yarns.html>.
9. Fasoninių siūlų tipai. Struktūrinis modelis (5, 6). [žiūrėta 2015-02-27];
Prieiga per internetą: < <http://textilelearner.blogspot.com/2013/02/fancy-yarn-types-and-classification-of.html>>.
10. Fasoninių siūlų tipai. Nuotrauka (5). [žiūrėta 2015-02-27];
Prieiga per internetą: < http://www.msyarn.com/english/jie_news/2008424102454.html>.
11. Fasoninių siūlų tipai. Nuotrauka (6). [žiūrėta 2015-02-27];
Prieiga per internetą: < <http://textileapex.blogspot.com/2014/10/fancy-yarn-structures.html>>.

12. Sölar V., Öner E., Okur A. Roughness and frictional properties of cotton and polyester woven fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 2013, Vol. 38, p. 349-356.
13. Malčiauskienė E., Milašius A., Laureckienė G., Milašius R. Influence of Weave into Slippage of Yarns in Woven Fabric. *Materials science* 2011, Vol. 17, No. 1, p. 47-51.
14. Dixit A., Mali H.S. Modeling techniques for predicting the mechanical properties of woven – fabric textile composites: a review. *Mechanics of composite materials* 2013, Vol. 49, p. 3-30
15. Kelkar A.D., Tate J.S., Bolick R. Structural integrity of aerospace textile composites under fatigue loading. *Materials Science and Engineering* 2006, B 132, p. 79-84.
16. Matukonis A., Milašius V., Katunskis J. Audimas. Vilnius „Mokslas“, 1983.
17. Lazarevičiūtė L., Adomaitienė A., Kumpikaitė E. Skirtingos pluoštinės sudėties audinių geometrinė analizė. *Gaminių technologijos ir dizainas. Konferencijos pranešimų medžiaga 2010*, ISSN 1822-492X, p. 243-246.
18. Tasdemir M., Akalin M., Kocak D., Usta I., Mardan N. Investigation of Properties of Polymer/Textile Fibre Composites. *International Journal of Polymeric Materials* 2010, 59, p. 200-214.
19. Malik Z.A., Hussain T., Tanwari A. Predicting Tensile Strength of Yarns Required for Producing PET/Cotton Blend Woven Fabric of a Pre-defined Tensile Strength. *Fibres and Polymers* 2010, Vol. 1, No. 3, p. 487-493
20. Cai G., Shi X., Yu. W. Apparatus for Measuring the Bending Fatigue Properties of High Performance Polyethylene Fibre. *FIBRES & TEXTILE in eastern Europe* 2012, 20, 4(93), p. 37-40.
21. Yahya M. F., Ghani S. A., Salleh J. Effect of impactor shapes and yarn frictional effects on plain woven fabric puncture simulation. *Textile Research Journal* 2014, Vol. 84(10), p. 1095-1105.
22. Arshi A., Ali Jeddi A.A., Monghadam M.B. Modeling and optimizing the frictional behavior of woven fabrics in climatic conditions using response surface methodology. *The Journal of The Textile Institute* 2012, Vol. 103, No. 4, p. 356-369.
23. Kilic G.B., Sölar V. Frictional properties of cotton – Tencel yarn spun in different spinning system. *Textile Research Journal* 2012, 82(8), p. 755-765.

24. Ozdemir H., Mert E. The effects of fabric structural parameter on tensile, bursting, and impact strengths of cellular woven fabrics. *The Journal of The Textile Institute*, 2013, Vol. 104, No. 3, p. 330-338.
25. Amber R.R.V., Lowe B.J., Niven B.E., Laing R.M., Wilson C.H., Collie S. The effect of fiber type, yarn structure and fabric structure on the frictional characteristics of sock fabrics. *Textile Research Journal*, 2015, Vol.85(2), p. 115-127.
26. Doustar K., Najar S.S., Maroufi M. The effects of fabric design and weft density on bagging behavior of cotton woven fabrics. *The Journal of The Textile Institute* 2010, Vol. 101, No. 2, p. 135-142.
27. Moazzeni N., Hasani H., Shanbeh M. Effect of material and fabric parameters on fatigue value of weft knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 2014, Vol. 39, p. 130-134.
28. Gilchrist M. D., Svensson N., Shishoo R. Fracture and fatigue performance of textile commingled yarn composites. *Journal of Materials science* 1998, 33, p. 4049 – 4058.
29. Elektroninė prieda: Fatigue Failure of Textile Fibres. Edited by Mohsen Mirafteb. Woodhead Publishing in Textile, 2009, p. 10, 135.
30. Yazdi A.A., Amirbayat J. Evaluation of the basic low stress mechanical properties (bending, shearing and tensile). *International Journal of Clothing* 2000, Vol. 12, No. 5, p. 311-330.
31. Jeddi A.A.A., Otaghsara M.R.T., Alibabaei H.R. Investigation of fatigue behaviour of warp knitted fabrics under cyclic tension. *Plastics, Rubber & Composites* 2004, Vol. 33, Issue 4, p. 141-148.
32. Yao L., Rong Q., Shan Z., Qiu Y. Static and bending fatigue properties of ultra-thick 3D orthogonal woven composites. *Journal of composite materials* 2012, 47(5), p. 569-577.
33. Daiva M. Effect of environment temperature on fatigue properties of laminated leather. *Mechanika* 2007, Nr. 6(68), p. 45-48.
34. Dunja Š., Jelka G., Rado F. Prediction of Stress Relaxation of Fabrics with Increased Elasticity. *Textile Research Journal* 2006, Vol. 76(10), p. 742-750.
35. Hou Y., Jiang L., Sun B., Gu B. Strain rate effects of tensile behaviors of 3-D orthogonal woven fabric: Experimental and finite element analyses. *Textile Research Journal* 2013, 83(4), p. 337-354.
36. A. Matukonis, J. Palaima, A. Vitkauskas. *Tekstilės medžiagotyra*. Vilnius „Mokslas“, 1989.

37. Mwasiagi J.I., Huang X., Wang X. Performance of Neural Network Algorithms during the Prediction of Yarn Breaking Elongation. *Fibres and Polymers* 2008, Vol. 9, No. 1, p. 80-86.
38. Behera B.K., Dash B.P. An Experimental Investigation into the mechanical behaviour of 3D Woven Fabrics for Structural Composites. *Fibres and Polymers* 2014, Vol. 15, No. 9, p. 1950-1955.
39. Ragaišienė A. Fasoniniai siūlai: savybių analizė ir kūrimas. Daktaro disertacija. *Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08T)*, Kaunas, 2003, p. 59.
40. International standard ISO 13934-1:2013 Textiles -- Tensile properties of fabrics -- Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method.
41. International standard ISO 139:2005. Textiles--Standard atmospheres for conditioning and testing.
42. Milašius R. Tekstilės eksperimento teorija ir praktika. Kaunas „Technologija“, 2011.