

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

Meilė Znamenskaitė

**DAUGIASLUOKSNIŲ MEDŽIAGŲ SIUVAMUMO TYRIMAS
IR VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Jurgita Domskienė

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

DAUGIASLUOKSNIŲ MEDŽIAGŲ SIUVAMUMO TYRIMAS
IR VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aprangos mados inžinerija (kodas 621J40004)

Vadovas

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

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Vardenis Pavardenis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Meilė Znamenskaitė
(data)

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui(-ei) *Meilei Znamenskaitei*

1. Magistro baigiamojo Projekto tema
Daugiasluoksnių medžiagų siuvamumo tyrimas ir vertinimas

2. Užbaigto Projekto atidavimo terminas *2016 m. birželio 6 d.*

3. Darbo tikslas:
Ištirti šiuolaikinių daugiasluoksnių medžiagų siuvamumą, pritaikant teorinį siuvamumo vertinimo kriterijų, ir įvertinti medžiagų pažeidimo pradūrimo adata metu dydį ir pobūdį.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos:
Baigiamieji darbai rašomi taisyklinga lietuvių kalba. Apiforminant darbą, būtina vadovautis šalyje galiojančiomis raštvedybos taisyklėmis. Mokslinis darbas turi teikti naujas žinias aprangos inžinerijos ir technologijos mokslo teorijai ar praktikai. Neleistinas studento nesąžiningumas, plagijavimas.

5. Pradiniai Projekto duomenys:
10 daugiasluoksnių medžiagų bei kontrolinė medžiaga.

6. Projekto teksto struktūra
Titulinis ir antraštinis lapai, santrauka lietuvių ir anglų kalbomis, turinys, įžanga, literatūros apžvalga, tyrimų metodika (medžiagų charakteristikoms gauti, pradūrimo jėgai ir sujungimų kokybei nustatyti, siuvamumui vertinti), eksperimentinių tyrimų rezultatai ir analizė, išvados, literatūros sąrašas.

7. Grafinės Projekto dalies sudėtis
Konferencijoje „Pramonės inžinerija 2016“ pristatytas plakatas.

8. Projekto tiriamosios dalies vadovė
Doc.dr. Vaida Dobilaitė

Magistrantas:

(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....

(vardas, pavardė, parašas, data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Meilė Znamenskaitė

(Studento vardas, pavardė)

Aprangos mados inžinerija (621J40004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Daugiasluoksnių medžiagų siuvamumo tyrimas ir vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 15 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Meilės Znamenskaitės**, baigiamasis projektas tema „Daugiasluoksnių medžiagų siuvamumo 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)

Znamenskaitė, Meilė. Daugiasluoksnių medžiagų siuvamumo tyrimas ir vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Jurgita Domskienė (tiriamosios dalies vadovė doc. dr. Vaida Dobilaitė); Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Polimerų ir tekstilės technologija.

Reikšminiai žodžiai: *daugiasluoksnės medžiagos, pradūrimo jėga, siuvamumas, pažeidimai*.

Kaunas, 2016. 63 p.

SANTRAUKA

Sparčiai tobulėjant technologijoms, kuriamos naujos medžiagos, o jų savybės ir elgsena perdirbant ne visada išsamiai ištiriama. Medžiagų elgsenos apdirbimo metu prognozavimas yra būtinas, siekiant užtikrinti efektyvų darbą ir inovatyvaus gaminio kokybę, o tam reikia žinoti medžiagos charakteristikas.

Baigiamojo projekto tikslas – ištirti šiuolaikinių daugiasluoksnių medžiagų siuvamumą, pritaikant teorinį siuvamumo vertinimo kriterijų, ir įvertinti medžiagų pažeidimo pradūrimo adata metu dydį ir pobūdį. Šiam tikslui pasiekti buvo atliekami pradūrimo bei siūlių stiprumo bandymai, vertinami medžiagų pažeidimai adata siuvant, skaičiuojamas siuvamumo koeficientas. Tiriamų medžiagų elgsena ir nustatyti rodikliai palyginti su išsamiai išnagrinėtomis ir aprašytomis tekstilės medžiagomis.

Šio darbo pagrindu buvo parengtas pranešimas „Daugiasluoksnių medžiagų pradūrimas“ jaunųjų mokslininkų konferencijai „Pramonės inžinerija 2016“, vykusiai 2016 metų balandžio 28 dieną. Pranešimo bendraautorės – doc. dr. Jurgita Domskienė ir doc. dr. Vaida Dobilaitė.

Znamenskaitė, Meilė. *Investigation and Evaluation of Multilayer Materials Sewability*: Master's thesis / supervisor assoc. prof. Jurgita Domskienė (experiments supervised by assoc. prof. Vaida Dobilaitė). The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Key words: *multilayered material, multilayers, penetration force, sewability, puncture damage*.

Kaunas, 2016. 63 p.

SUMMARY

Today's fast-moving technological progress results in the creation of multiple new materials, a lot of which may not be thoroughly investigated due to the lack of time. The anticipation and prognosis of a material's behaviour during processing is necessary to ensure quality of the finished product and effective distribution of resources. For that, knowledge about the material is needed.

This work aims to investigate multilayer materials that have not yet been evaluated, and test evaluating them with currently available methods. In order to do so, tests for needle penetration force, seam strength and visual material damage by needle have been conducted, and sewability coefficient has been calculated and evaluated in regards to the specific materials, comparing them to everyday fabrics.

An article „Penetration of multilayer materials“ based on this thesis was prepared for the conference „Pramonės inžinerija 2016“, which took part on the 28th of April 2016. Assoc. prof. Jurgita Domskienė and assoc. prof. Vaida Dobilaitė were co-authors of the publication.

TURINYS

ĮVADAS	2
1. LITERATŪROS APŽVALGA	3
1.1 Šiuolaikinių tekstilės medžiagų perdirbamumo į aprangos gaminius problematika	3
1.2 Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų panaudojimas aprangos gaminiuose: analogų analizė ...	4
1.3 Tekstilės medžiagų savybių įtaka aprangos gamybos procesams	6
1.4 Medžiagos pradūrimo adata proceso analizė	7
1.5 Literatūros apžvalgos apibendrinimas	12
2. TYRIMŲ METODIKA	13
2.1 Tekstilės medžiagų sandaros ir mechaninių charakteristikų nustatymas	13
2.2 Tekstilės medžiagų pradūrimo jėgos nustatymas	15
2.3 Junginių iš daugiasluoksnių tekstilės medžiagų tyrimai	17
2.4 Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų siuvamumo vertinimo metodika	20
3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	21
3.1 Tekstilės medžiagų pradūrimo jėgos rezultatų analizė	21
3.2 Junginių iš daugiasluoksnių tekstilės medžiagų kokybės analizė	28
3.3 Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų siuvamumo vertinimas	38
TYRIMO REZULTATAI, IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	42
LITERATŪROS ŠALTINIAI	43
PRIEDAI	47
1 priedas. Tiriamų medžiagų pradūrimo jėgos vertės, sklaida ir paklaidos	48
2 priedas. Tiriamų medžiagų pažeidimų dydžio vertės, sklaida ir paklaidos	53
3 priedas. Tiriamų medžiagų siūlių stiprumo vertės, sklaida, paklaidos bei pastabos	56
4 priedas. Koreliaciniai ryšiai	57
5 priedas. Konferencijos plakato kopija	62
6 priedas. Baigiamojo projekto aprašomosios dalies elektroninė laikmena	63

ĮVADAS

Šiandieniniame pasaulyje naujos medžiagos kuriamos tokiu tempu, jog daug jų iširti paprasčiausiai nebelieka laiko. Naujos medžiagos yra naudojamos klasikiniuose gamybos procesuose, dažnai remiantis žinomomis į jas panašių medžiagų charakteristikomis, o tai gali būti rizikinga. Kuriant naują medžiagą padarytas medžiagos struktūros pakeitimas gali drastiškai pakeisti jos savybes, išderinti mechanizmus arba tiesiog nebetikti numatomam gaminiui.

Šiame darbe siekiama iširti šiuolaikines daugiasluoksnes medžiagas, jų siuvamumą ir patikrinti, ar joms tinkami įprastiniai šio rodiklio vertinimo metodai. Šitam tikslui pasiekti pasirenkamas siuvamumo vertinimo metodas, iširiamos medžiagų charakteristikos - praduriamumas, siūlių kokybė - ir lyginamos su nuodugniai aprašytų vienasluoksnių medžiagų rodikliais. Parinktos daugiasluoksnės medžiagos, su kuriomis atliktų pradūrimo ar siuvamumo tyrimų rezultatų šiuo metu nėra.

Tikimasi, jog gauti rezultatai padės efektyviau planuoti inovatyvių gaminių gamybos procesą, įvertinti rizikas, pasirinkti tinkamą medžiagos tipą numatomiems gaminiams, išvengti ar iki minimumo sumažinti adatos mechanizmo strigimo ir lūžimo tikimybę, ar pateikti kitas rekomendacijas.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Šiuolaikinių tekstilės medžiagų perdirbamumo į aprangos gaminius problematika

Sparčiai tobulėjant technikai ir technologijoms, sukuriama daugybė naujų medžiagų, kurios leidžia apsaugoti žmogų, dirbantį pavojingus darbus, ir netgi padidinti šių darbų efektyvumą [1]. Pavyzdžiui, kol nebuvo panaudoti nedegūs pluoštai, ugniagesiai dirbdavo dėvėdami paprastus drabužius, todėl jie negalėdavo prisitarti prie ugnies ar patekti į degančio pastato vidų. Naujų medžiagų bei technologijų dėka tai tapo įmanoma. Šiandien apsauginė apranga yra viena iš specialiosios aprangos šakų ir naudojama daugelyje sričių: nuo mikroorganizmų nepraleidžiančių chirurginių kaukių iki smūgiams atsparių naftos platformų darbininkų pirštinių. Inovatyvūs gaminiai ir medžiagos pritaikomi ne tik specializuotiems darbams, bet ir kasdienybėje.

Viena šių sąlygiškai naujų medžiagų grupių – tai daugiasluoksnės medžiagos. Daugiasluoksne vadinama tokia medžiaga, kurią sudaro du ar daugiau skirtingos medžiagos sluoksnių; jie gali būti net ir keleto atomų storio [2]. Naujų medžiagų daugėja per greitai, kad jas visas būtų galima aprašyti teoriškai ir ištirti. Negana to, dauguma atliekamų tyrimų [3–6] nagrinėja tik šių medžiagų eksploatacines - pralaidumą orui, termoizoliacines, hidrofiliškas charakteristikas - o ne technologines ar perdirbamumo savybes. Vis dėlto, mokslininkų teigimu, žinios apie medžiagų perdirbamumo savybes yra būtinos norint efektyviai planuoti gaminių gamybą bei užtikrinti kokybišką išvaizdą [7]. Tai ypač aktualu specialiajai aprangai, kuri gaminama iš ypatingų savybių medžiagų – jos gali būti atsparios ar pernelyg imlios karščiui, dulkėms, būti sunkiai praduriamos ar pjaunamos.

Tokia medžiagų elgsena taip pat gali lemti gatavos produkcijos kokybę – dažnai dirbantys žmonės atsisako naudotis apsauginėmis priemonėmis motyvuodami, kad jiems nepatogu. Tai itin paplitęs atvejis medžiagų supjovimo cechuose, kur naudojamos įvairios apsauginės, dažnai iš metalo pagamintos pirštinės. Grupė amerikiečių mokslininkų tyrė specialių uniformų dėvėjimo įtaką darbo efektyvumui ir pasiūlė „gaminio nepatogumo indekso“ sistemą, kuri turėtų padėti ją lengviau įvertinti, tačiau konstatavo, jog nenustačius, kaip konkretūs gaminio parametrai jį dėvint paveikia vienus ar kitus atliekamo darbo aspektus, prognozuoti jo patogumo beveik neįmanoma. Pagrindiniai įvardijami apsaugos priemonių trūkumai – šiluminis diskomfortas, judesių ribotumas bei darbo našumo sumažėjimas [8]. Bent dalies šių nepatogumų būtų galima išvengti nuodugniau ištiriant naudojamas medžiagas, įvertinant gaminių konstrukcijas bei parenkant tinkamus apdorojimo režimus.

Specialiaja gali būti laikoma ne tik apsauginė, bet ir padidinto funkcionalumo, ergonomiškumo apranga, prieinama paprastiems vartotojams. Vienas pavyzdžių – dviejų komponentų daugiasluoksnio audinio tyrimai, atlikti rusų mokslininkų. Pasirinktą medžiagą sudaro du pagrindiniai sujungti sluoksniai – viršutinis, atsparus dildymui bei padengtas ugniai atsparia danga, ir gerą vėdinimą bei higieną užtikrinantis vidinis. Nustatyta, jog tokios iš kelių sluoksnių suauostos medžiagos pasižymi eksploatacinių

savybių kombinacijomis, kurias sunku gauti kitais metodais: specifiniu medžiagos storio ir tamprumo santykiu, apsauga ir porėtumu [9]. Tokia medžiaga tinkama gaminiams be pamušalo siūti ir padeda rasti kompromisą tarp apsauginių bei ergonomiškų pluoštų.

Nuolat tobulinami ir tekstilės bei aprangos gamybos procesuose naudojami įrenginiai. T. Matsuo atliktoje inovacijų apžvalgoje iki 2008-ųjų metų priskaičiuojama daugiau nei 60 įvairių medžiagų savybių, kurios matuojamos įvairiais metodais, ir 14 įtaisų, naudojamų paruošiamuosiuose bei gamybos procesuose, kategorijų [10]. Mokslininkas pažymi, kad visus prietaisus vienija jų panaudojimas tekstilės srityje, bet galima išskirti dvi pagrindines naujovių atsiradimo sritis: mašinos, kurias valdyti turi žmogus, ir mašinos, kur visas ar beveik visas procesas automatizuotas pasitelkiant mechatroniką ir IT. Taip pat paminėta, kad informacija apie kai kuriuos įmonių sukurtus naujus įrenginius nėra prieinama, tad tikrieji progreso mastai veikiausiai yra didesni. Taigi turime naujas medžiagas, apdorojamas naujais įrenginiais, su galimai sunkiai prognozuojamais rezultatais.

1.2. Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų panaudojimas gaminiuose: analogų analizė

Inovatyvios medžiagos naudojamos ne tik aprangai gaminti – jos taip pat sutinkamos buityje, aksesuaruose, namų apyvokos reikmenyse ir kitur. Šiems daiktams taip pat svarbus medžiagų elgsenos prognozavimas, ypač kai kalbama apie daugiasluoksnes medžiagas, tačiau informacijos šita tema trūksta.

Dėl šios priežasties buvo pasidomėta daugiasluoksnių medžiagų pritaikymu daugelio naudojamuose gaminiuose. Analogų apžvalga pateikiama 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų panaudojimas gaminiuose: analogai




Nr.	Gaminys	Aprašymas
1	 <p>(Panaudoti paveikslėliai iš [11, 12].)</p>	Užmaunamas neopreninis kelio įtvaras, apspaudžiantis bei sutvirtinantis sąnarį, ir neopreninis čiurnos įtvaras, užsegamas bei reguliuojamas Velcro juostomis, suteikiantis stabilumą. Įtvarus rekomenduojama naudoti po traumų, pėdos lūžio, jie tinka tiek kairėje, tiek dešinėje pusėje, nevaržo judesių, maloniai šildo. Gamyboje naudojamas „Neo Tex“ neoprenas [11, 12].
2	 <p>(Panaudotas paveikslėlis iš [13].)</p>	Neopreniniai šortai, fiksuojami Velcro juoste juosmens srityje. Puikiai tinka sportuoti: šortų vidus padengtas prakaitą sugeriančiu medvilniniu audiniu. Šortai vizualiai lieknina – apspaudžia ir pakelia, tačiau nevaržo judesių [13]. Skirtingų gamintojų kataloguose siūlomi įvairūs modeliai.

Lentelės tęsinys 5 puslapyje.

1.1 lentelė. Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų panaudojimas gaminiuose: analogai (tęsinys)

Nr.	Gaminys	Aprašymas
3	 <p data-bbox="416 633 703 660">(Panaudotas paveikslėlis iš [14].)</p>	<p data-bbox="735 262 1487 394">Atšvaitas – erdvinis žaisliukas, pasiūtas iš medžiagos su šviesą atspindinčiu sluoksniu. Tokių atšvaitų galima įsigyti ir Lietuvos parduotuvėse (2015-ųjų lapkričio mėnesio žiniomis).</p> <p data-bbox="735 461 1487 544">Šį asortimentą atitinka įmonės 3M siūloma medžiaga - <i>3M™ Scotchlite™ 8910 Silver Fabric</i>.</p>
4	 <p data-bbox="421 952 708 978">(Panaudotas paveikslėlis iš [15].)</p>	<p data-bbox="735 678 1487 757">Krepšys nešiojamajam kompiuteriui. Pasiūtas iš tvirtos medžiagos su paminkštinančiu užpildu.</p>
5	 <p data-bbox="421 1393 708 1420">(Panaudotas paveikslėlis iš [16].)</p>	<p data-bbox="735 992 1487 1377">Vaikiškas vežimėlis. Šiems produktams yra taikomi griežti standartai; naudojamos medžiagos turi būti netoksiškos, nedegios, gerai laikyti spalvą [16]. Taip pat vežimėliai dažnai turi medžiaginius gaubtus nuo lietaus, kurie turi nepraleisti lietaus ir vėjo. Šios savybės pasiekiamos specialia apdaila arba danga. Dažniausiai asortimente naudojami PU arba silikonu dengti PE mišiniai. Seniau naudoti PVC, švino, ftalatų junginiai dabar yra uždrausti.</p>
6	 <p data-bbox="376 1677 663 1704">(Panaudotas paveikslėlis iš [17].)</p>	<p data-bbox="735 1433 1487 1619">Atšvaitinė juosta. Skirtingi variantai gali būti siuvami arba klijuojami ant drabužių, siekiant pagerinti žmogaus matomumą tamsiuoju paros metu. Sudaryta iš megztinės medžiagos pagrindo bei minkšto laminuoto šviesą atspindinčio sluoksnio.</p>
7	 <p data-bbox="325 1984 612 2011">(Panaudotas paveikslėlis iš [18].)</p>	<p data-bbox="735 1715 1487 1901">Medžiaga lauko palapinėms su PVC danga. Skirtingos sudėties šio asortimento gaminių siūlės dažnai būna klijuojamos, tačiau naudojant medžiagas su tekstiliniu pagrindu jos gali būti ir siuvamos [18].</p>

Lentelės tęsinys 6 puslapyje.

Nr.	Gaminys	Aprašymas
8	 <p data-bbox="379 495 663 517">(Panaudotas paveikslėlis iš [19].)</p>	<p data-bbox="735 208 1493 443">Lietpaltis. Neperšlampančios tačiau garams laidžios medžiagos gali būti papildomai padengtos tam tikromis plėvelėmis ar dangomis. Lietpalčiams ir laisvalaikio drabužiams dažniausiai naudojamos polivinilchlorido, poliuretano bei etileno propileno kopolimerų ir terpolimerų dangos [20].</p>
9	 <p data-bbox="419 891 703 913">(Panaudotas paveikslėlis iš [21].)</p>	<p data-bbox="735 533 1493 869">Nuo ugnies apsauganti apranga. Ugniagesių drabužiai – itin sudėtingos konstrukcijos; paprastai naudojami keturi medžiagų, pasižyminčių skirtingomis savybėmis, sluoksniais, o kai kurios iš jų gali būti ir daugiasluoksnės. Dažniausiai naudojama metaaramidinė medžiaga, tačiau chemiškai apdorojus kai kurias įprastas medžiagas – poliesterį, viskozę ir t.t. – jų atsparumo ugniai gali užtekti gaminiams, saugantiems nuo liepsnos [22].</p>
10	 <p data-bbox="360 1205 644 1227">(Panaudotas paveikslėlis iš [23].)</p>	<p data-bbox="735 925 1493 1205">Švarkas aktyviam sportui. Dabar jau daug aprangos gaminama panaudojant GoreTex™ membraną, kurios pagrindinės gerosios savybės – pralaidumas orui ir nepralaidumas vandeniui. Šiame modelyje panaudota technologija, sujungianti tris atskirus sluoksnius į vieną; visas gaminys sveria 133 gramus. Taip apdorotos medžiagos taip pat gali būti laikomos daugiasluoksnėmis [23].</p>

Visas pagrindines pateiktuose analoguose panaudotas medžiagas galima vadinti daugiasluoksnėmis. Šiuo metu itin išpopuliarėjo neoprenas: iš jo siuvami ne tik įtvarai, kompresiniai drabužiai bei dėklai, bet ir mados kolekcijos, pavyzdžiui, sijonai [24]. Neoprenas – tai komercinis medžiagos pavadinimas. Neoprenas yra daugiasluoksnė medžiaga, sudaryta iš išorinio tekstilės (dažniausiai nailono, t. y. poliamido) megzto sluoksnio, ir vidinio polichlorpreno, t. y. kaučiuko, sluoksnio. 1-asis analogas, kelio įtvaras, yra paprastos konstrukcijos, tačiau 2-asis jau kiek sudėtingesnis – šortuose yra net keletas siūlių, kurių atlikimas gali sudaryti problemų apdirbant didelio storio ir sluoksnių skirtingų savybių medžiagas. Panašios struktūros yra ir trijų sluoksnių medžiaga, panaudota 4-ajame analoge: vidinis poliuretano putų sluoksnis įterptas tarp viršutinio ir apatinio tekstilės sluoksnių.

O štai 5-ojo analogo medžiagos yra dengtos: poliuretano arba etileno propileno kopolimerų danga, užnešta ant tekstilės medžiagos pusės, yra plona, todėl dangos paviršiuje lieka tekstilės siūlų kontūrai. Kai kurių medžiagų danga pakankamai stora tam tikriems raštams atspausti; tai sumažina slidumą. EPM dangos taip pat naudojamos lietpalčiams bei lengviems brezentams dengti, PU dangos – neperšlampamiems orui laidžiams drabužiams bei gelbėjimosi liemenėms lėktuvuose [20].

3-ojo ir 6-ojo analogų medžiagas sudaro tekstilės pagrindas (atitinkamai audinys ir megztinė medžiaga) ir šviesą atspindintis sluoksnis. Kaip matyti iš parinktų pavyzdžių, atšvaitinės juostos gali būti prisiuvamos prie specialios paskirties ar kasdien nešioti skirtų drabužių – ypač dažnai naudojamos vaikiškai aprangai dekoruoti. Iš šviesą atspindinčios medžiagos gali būti gaminami įvairūs žaislai ir kiti elementai. Tokias ir panašias medžiagas siūlo įmonė 3MTM.

7-asis analogas gali būti gaminamas iš skirtingos sudėties medžiagų, kurios gali būti sulydomos arba siuvamos ir hermetizuojamos. Paprastai palapinėms, tentams ir pan. skirtos medžiagos yra daugiasluoksnės su laminuotomis dangomis. Dažnai naudojami tankūs poliesteriniai audiniai. Iš jų gaminami gaminiai yra siuvami. Šiame asortimente randama ir 100 % PVC medžiagų.

8-asis analogas priklauso asortimentui, kur gali būti naudojamos ir įprastos medžiagos – tai priklauso nuo modelio, gaminio paskirties ir t.t. Lietpalčiai gaminami iš itin tankių audinių, pro kuriuos neprasigeria vanduo, tačiau jų viršutinis sluoksnis gali būti gaminamas ir iš dengtų medžiagų, siekiant dar labiau išryškinti jo pageidaujamas savybes.

9 ir 10 analogai pasižymi sudėtingomis medžiagų sluoksnių sistemomis: gaisrininkų aprangai konstruojami nedegus, neperšlampamas, šilumą sulaikantis bei pamušalinis sluoksniai [22], kurie gali būti papildomai dengti ar apdoroti (tai ypač taikoma išoriniam sluoksniui; gali būti naudojamas anglies pluoštas, PVC dangos ir t.t.) o 10-ame analoge naudojama GoreTexTM medžiaga, kurią, įskaitant membraną, gali sudaryti net 5 sluoksniai. Šiuo atveju naudojama sudėtinga daugiasluoksnė medžiaga.

Daugiasluoksnės medžiagos taip pat naudojamos minkštųjų baldų, aprangos aksesuarų (rankinių, pirštinių) gamybai, kuriami originalūs mados gaminiai ir pan. Visiems šiems gaminiams yra svarbus medžiagų elgsenos paruošimo ir gamybos metu prognozavimas.

1.3. Tekstilės medžiagų savybių įtaka aprangos gamybos procesams

Kaip minėta anksčiau, gaminant aprangą svarbu žinoti naudojamų medžiagų savybes, kad būtų galima tinkamai parinkti apdirbimo mechanizmų parametrus. Aprangos gamybai aktualios medžiagų savybės veikiant dėvėjimo lygio apkrovoms. Esant mažoms apkrovoms, tekstilės medžiagų savybes rekomenduojama nustatyti specialiais prietaisais. Šiuo metu plačiai naudojamos dvi objektyvaus savybių įvertinimo sistemos KES-F bei FAST [25]. Pirmoji sistema nustato audinių tįsumą, lankstumą, šlyties charakteristikas bei storį, ir pagal šiuos įverčius leidžia prognozuoti medžiagos siuvamumą. FAST sistema matuoja medžiagos atsparumą tempimo, lenkimo, šlyties bei suspaudimo deformacijai ir yra greitesnė bei pigesnė.

Slovėnų mokslininkės Pavlinič ir Geršak teigia, jog žinios apie medžiagų savybes – tįsumą, šlytį, tempimo apkrovą – yra būtinos, norint efektyviai planuoti gaminio gamybą bei užtikrinti kokybišką išvaizdą [7]. Jos išanalizavo 300 įvairios sudėties pavyzdžių, su kuriais buvo atliekamos gamybos procesą

simuliuojančios operacijos.

Nustatyta, jog nepriklausomai nuo žaliavų, smarkiai tempiamos medžiagos struktūra buvo iškraipoma. Mažai atsparios šlyčiai medžiagos kėlė problemų sukirpimo metu, raukšlėjosi arba praslydinėjo siūlės. Itin atsparios šlyčiai medžiagos buvo sunkiai formuojamos ir jungiamos. Optimalus KES-F sistema gaunamo šlyties koeficiento įvertinimas – 0,6–0,9.

Lenkiamojo standumo koeficientas nustatytas 0,04–0,1 ribose. Lenkiamasis standumas apskaičiuojamas pagal formulę $B=Wc^3$, kai W – paviršinis tankis, o c – nulinkusios medžiagos dalies ilgis. Esant mažesniems savybės įverčiams ir po sukirpimo, ir siuvant raukšlėjosi, buvo sunkiai užtikrinamos tiesios siūlės, o klojant jas reikėjo kelis kartus taisyti. Labai dideliu lenkiamuoju standumu pasižyminčios medžiagos klojant buvo itin nestabilios, siuvant adata likdavo skylutės, o dygsniai būdavo nevienodo ilgio. Detalės, ypač lenktais kraštais, buvo sunkiai jungiamos, neišlaikydavo lyginimo metu suteiktos formos.

Paprastesnį metodą tekstilės medžiagų siuvamumui tirti pasiūlė KTU mokslininkės V. Dobilaitė ir K. Dapkūnienė. Įvertinusios daugybę medžiagos perdirbamumui įtaką turinčių veiksnių, šios tyrėjos pasiūlė jį vertinti siuvamumo koeficientu. Koeficientas skaičiuojamas kaip medžiagos vidutinės pradūrimo jėgos ir jos kontūrinio tankio santykis [26]. Nustatyta, jog koeficientui viršijant 0,65, medžiaga praktiškai negali būti naudojama drabužių gamybai. Tyrimo apibendrinime teigiama, kad svarbu nustatyti koreliacijos tarp tekstilės medžiagų savybių bei pageidaujamo perdirbamumo lygio laipsnį. Eksperimentas buvo atliktas su vienasluoksnėmis megztinėmis medžiagomis, tačiau metodas galimai tinka ir kitokioms medžiagoms tirti.

Mokslininkai iš Irano taip pat pasiūlė vertinti medžiagos (tyrimo atveju, džinsinio audinio) siuvamumą tam tikra verte (angl. *sewability value*), tačiau šio koeficiento nustatymas buvo kur kas sudėtingesnis: vykdoma trimatė pradūrimo rezultatų grafinė analizė, o siuvamumo vertė išreiškiama kaip taškų, patenkančių už apskaičiuotos ribos, santykis [27]. Geromis perdirbamumo savybėmis pasižyminčios medžiagos buvo įvertintos 0–10 %, o štai medžiagos, kurių siuvamumo vertė viršijo 20 %, laikomos prastai siuvamomis. Taip pat patvirtinta, jog pradūrimo jėga šiuo atveju yra proporcinga adatos skersmeniui.

1.4. Medžiagos pradūrimo adata proceso analizė

Siuvamumo koeficiento [28] nustatymas potencialiai yra pakankamas ir greitas (reikalingi tik trys parametrai: vidutinė pradūrimo jėga, medžiagos storis bei paviršinis tankis) būdas įvertinti medžiagų perdirbamumui, tačiau pastaruoju metu pradūrimo eksperimentai atliekami su įprastinėmis medžiagomis, pavyzdžiui, džinsu.

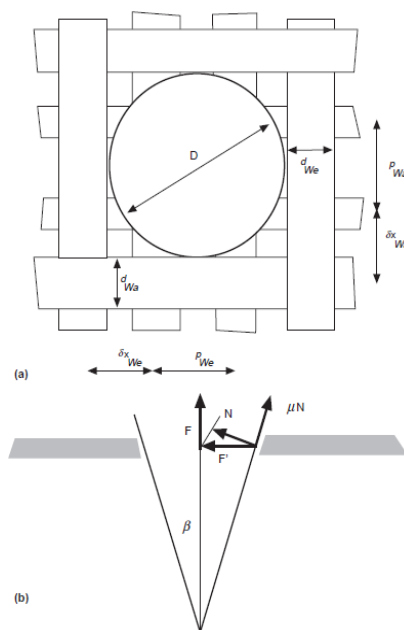
Tarp naujausių tyrimų – ir daugiau KTU mokslininkų darbų. Ištyrus pramoninio skalbimo įtaką džinsiniams audiniams nustatyta, jog jų pradūrimo jėga sumažėja. Didžiausias pokytis gaunamas

apdorojant medvilninę medžiagą enzimais [29]. Tačiau tolesni tyrimai parodė, jog siuvant keletą audinio sluoksnių šio pokyčio reikšmė labai sumažėja. Taip pat pradūrimo jėgos supanašėja siuvant po keletą sluoksnių skirtingos sudėties medžiagų, nors siuvant po vieną sluoksnį su kantavimo juostelėmis šios vertės gaunamos labai skirtingos [30].

Taip pat buvo atlikti tyrimai ryšiiui tarp medžiagos ir siūlų savybių bei pažeidimų, atsirandančių siuvant didelio greičio pramoninėmis mašinomis, surasti [31, 32]. Nustatyta, kad susiūtoje vietoje pluoštų stiprumo sumažėjimą daugiausiai sąlygoja jų tūsumas, o siuvimo siūlai labiausiai pažeidžiami dėl lenkimo ir trinties į adatą dygsnio užtraukimo metu. Labiausiai pažeidžiami medvilniniai siuvimo siūlai.

G. K. Stylios ir R. Zhu tyrė megztinių medžiagų pažeidimus siuvant pasitelkę dideliu greičiu fotografuojančią kamerą, kuria fiksuodavo įvairias adatos padėtis. Buvo patvirtintos ankstesnių tyrimų išvados, rodančios, jog medžiagą pradūrimo metu veikiantys faktoriai (siūlo įtempimas, trintis (tarp siūlo ir siūlo bei adatos ir siūlo), adatos dydis bei siūlų tankumas) gali lemti medžiagos pažeidimus. Mokslininkai teigia, jog pažeidimų intensyvumas mažėja, didėjant adatos plokštelės angos matmenims bei esant stambesnėms medžiagą sudarančioms kilpelėms, taip pat naudojant adatas apvaliu smaigaliu (angl. *ball-point*) [32].

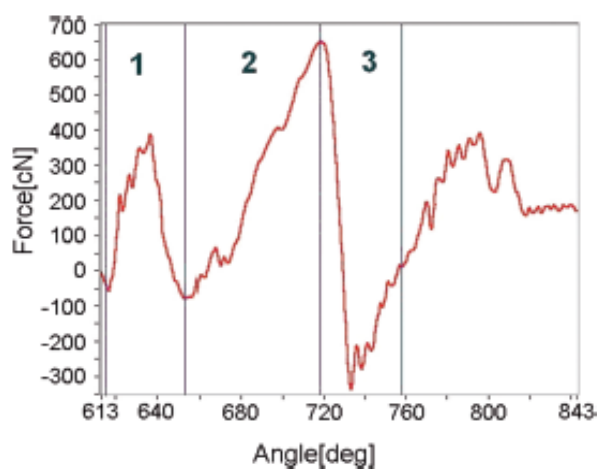
Šiuo tyrimu rėmėsi S. V. Lomov, mėgindamas sukurti modelį, pagal kurį būtų galima matematiškai prognozuoti medžiagos pradūrimo jėgą [33]. Jis aprašė pradūrimo jėgą funkcija, kurios kintamaisiais būtų metmenų ir ataudų siūlų mechaninės savybės bei pynimas. Mokslininkas sukūrė gana tikslų modelį ir nustatė, jog pradūrimo jėga tiesiogiai priklauso nuo audinio metmenų ir ataudų siūlų geometrinių bei mechaninių charakteristikų, taip pat šių veiksnių: adatos skersmens ir formos, smigimo kampo, audinio metmenų ir ataudų siūlų tankumo bei matmenų, storio, lenkiamojo standumo bei trinties modulių (tarp siūlų, ir tarp adatos bei siūlo).



1.1 pav. Pradūrimo metu adatą veikiančios jėgos. Paveikslas iš [33].

Nuodugnius pradūrimo jėgos pramoninėje siuvimo mašinoje matavimus ir analizę taip pat atliko portugalų mokslininkai [34]. Jie pristatė sistemą, kurioje jėga matuojama į adatą įmontuotu sensoriumi, ir išmatavo adatą veikiančias jėgas viso adatos mechanizmo ciklo metu (schema pateikiama 2 pav.). Didžiausios adatą veikiančios jėgos fiksuojamos smaigaliui pradėdant smigti į medžiagą, ir visai adatai smingant gilyn prieš pat pradėdant judėti kita kryptimi. Buvo atliktos trys serijos eksperimentų atskirai vertinant šių veiksnių įtaką: adatos numerio, medžiagos apdorojimo bei adatų su pažeistais smaigaliais.

Išvadose teigiama, jog pradūrimo jėga – vienas sunkiausiai siuvimo mašinoje išmatuojamų parametru, nes matuojant šiuo metodu galimi triukšmai ir trukdžiai. Nustatyta, jog pradūrimo jėga tam tikram audiniui susijusi su naudojamos adatos numeriu. Kaip labiausiai jėgą sąlygojantis veiksnys buvo įvardytas siuvimo greitis.



1.2 pav. Dūrio jėga įvairiose adatos ciklo fazėse. Paveikslas iš [34].

Trintis tarp siūlo ir adatos ne tik mažina siūlo stiprumą, bet ir lemia adatos įkaitimo procesą. Turku mokslininkų grupė išnagrinėjo audinio savybių įtaką siuvimo adatų kaitimui siuvimo metu [35]. Eksperimento metu nustatyta, jog medvilninių bei vilninių audinių svoris, paviršinis tankis bei storis tiesiogiai proporcingas kylančiai adatų temperatūrai. Pynimo įtaka įkaitimui buvo nereikšminga. Daugiausiai įkaitimą lėmė audinių storis: šiam didėjant, adatą veikė didesnė trintis smigimo į medžiagą ir ištraukimo metu.

Šiandien rinkoje siūloma daugiau nei 100 mašininių adatų rūšių, skirstomų pagal 15 parametru, tarp jų – adatos forma, ilgis, smaigalys bei numeris. Visi šie parametrai daugiau ar mažiau sąlygoja adatos kaitimą. Taip pat šį reiškinį pastebimai veikia siuvimo greitis, siūlų įtempimas ir medžiagų bei pačių mechanizmų šiluminis laidumas bei temperatūra. Gamybos metu adatos gali įkaisti iki 350 °C, o tokio įkaitimo padariniai – pažeistos medžiagos: susilydę siūlai, mazgai, sumažėjęs stiprumas, neestetiskas vaizdas. Megztos medžiagos tokiems pažeidimams yra dar jautresnės [36].

Nors siuvimo adatų gamintojai jas nuolat tobulina siekdami užtikrinti kuo didesnę tvirtumą, mažesnę pasipriešinimą ir kaitimą, tai nepašalina visų siuvimo procese kylančių problemų, ypač įvertinant faktą, jog siuvas medžiagos nuolat keičiasi.

Taip pat tiriamos pradūrimo jėgos vertės konkrečioms medžiagoms. Iraniečiai pamėgino prognozuoti pradūrimo jėgas džinsiniam audiniui naudodami skirtingus tiriamuosius modelius [37]. Buvo atsižvelgta į medžiagos storį, sluoksnių skaičių, pynimą bei adatos numerį. Nustatyta, kad džinsinio audinio pradūrimo jėgą galima prognozuoti 90 % tikslumu, ir pasiūlyta toliau ištirti elastines medžiagas.

Tą atliko turkų mokslininkai, pasirinkę išanalizuoti mišriapluoštį medvilnės ir elastano audinį [38, 39]. Buvo tirama pradūrimo jėga bei elastano gijų pažeidimai. Nustatyta, jog apdaila bei skalbimo temperatūra turi įtakos siūlės kokybei, adatos pradūrimo jėgai bei pažeidimams. Pažeidimų labai sumažėja medžiagą padengus silikonu. Ši apdaila sumažina trintį, o kartu ir pradūrimo jėgą.

Adatai pradūrus medžiagą 100 kartų, būdavo pažeidžiami 20–42 siūlai [38]. Tirtų bandinių siuvamumas prastas, nors apdaila silikonu jį pagerino 30 %. Taip pat pastebėta, jog sintetiniai pluoštai itin lengvai pažeidžiami karščiu, todėl apdaila ir/arba mažesnis siuvimo greitis yra reikalingi, kad išvengtume adatų kaitimo. Mažiau pažeidimų užfiksuota tiriant mažesnio tankumo medžiagas.

Tyrimais nustatyta, jog siuvant megztines medžiagas 65 ir plonesnio numerio adatomis, pažeidimų beveik nefiksuoja, jų taip pat mažiau siuvant megztinę medžiagą eilučių kryptimi.

Itin svarbus momentas – tinkamai parinkti siuvimo adatą. Čia reikalingos žinios apie siuvas medžiagas bei patirtis jų apdorojimo procesuose. Tam taip pat gali būti panaudojamos kompiuterinės programos, kurios gali apskaičiuoti reikiamus adatos parametrus pagal tai, kas žinoma apie medžiagą bei jos apdorojimo režimus, tačiau buvo gauti netikslūs rezultatai siuvant mažiau nei 3 medžiagos sluoksnius.

Taip pat tiriamos ir megztinės medžiagos. Grupė mokslininkų ieškojo ryšio tarp pradūrimo adata jėgos bei gatavo gaminio gaminio iš megztinės medžiagos kokybės [40]. Jie teigia, jog pradūrimo jėga – vienas svarbiausių parametru, turinčių įtakos siūlių kokybei. Nustatyta, jog pernelyg didelės pradūrimo jėgos rezultatas megztoje medžiagoje – pažeistos kilpelės, gadinančios siūlės estetinį vaizdą. Be to, akcentuojama svarba parinkti tinkamo storumo siūlus pagal adatos auselės dydį. Medžiagų skalbimas su minkštikliais pradūrimo jėgą sumažina. Jėgos matavimai atlikti įranga „Nemess 5.0“.

Tyrimų su daugiasluoksnėmis medžiagomis rasti sunku, tačiau buvo atliktas eksperimentas medžiagai su ugniai atsparia apdaila [41]. Išsiaiškinta, jog tokia apdaila padidina medžiagos pradūrimo adata jėgą. Paveikus minkštikliu, ši jėga vėl sumažėdavo, tačiau neprilygdavo neapdorotos medžiagos parametrams. Taip pat ši apdaila suprastino drapiravimąsi bei medžiagos lankstumą; tikėtina, jog tokį poveikį medžiagoms daro dauguma dangų, tačiau daugiau pradūrimo bandymų rasti nepavyko.

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Analizuojant penkis tarptautinius mokslo žurnalus, per pastaruosius 10 metų buvo rasta nedaug straipsnių, kuriuose būtų kalbama apie medžiagų pradūrimo jėgą ir pažeidimus adata. Daugiau medžiagos galima rasti konferencijų pranešimuose, tačiau beveik visi straipsniai nagrinėja klasikinės medžiagos, ir įvairaus jų apdorojimo poveikį. Tai rodo, jog pradūrimo tyrimai pastaruoju metu nėra atliekami su inovatyviomis medžiagomis, nors kasmet atsiranda dešimtys naujų medžiagų, kurios apdorojamos siūliniais sujungimais. Užtikrinant sujungimo kokybę, reikalingos žinios apie medžiagų savybes ir tinkamą adatos bei kitų siuvimo parametrų parinkimą.

Reikia manyti, jog tyrimai su konkrečiomis medžiagomis vis dėlto yra atliekami, tačiau privačiai, įmonių užsakymu ir neskelbiant rezultatų. Yra niša moksliniams komerciškai neįslaptintų medžiagų tyrimams, tai ir planuojama atlikti šiame darbe.

Tarp populiariausių tyrimų sričių – mišrių pluoštų struktūros ir savybių medžiagų tyrimai bei modeliavimas, nauji modeliavimo metodai struktūros ir savybių analizei, įvairių kompozitų taikymas apsauginėje aprangoje, nanodalelių bei netradicinės apdailos panaudojimas kuriant potencialiai naujų savybių medžiagas. Šiuo atveju kalbama apie apdailos įtaką, tačiau papildomi tyrimai išsamiau nustatyti patobulintos medžiagos siuvamumui ne visada atliekami.

Siuvamumo tyrimų su daugiasluoksnėmis medžiagomis nerasta. Tai yra spraga, kurią verta užpildyti, ypač įvertinant tendenciją, kad specialios paskirties medžiagos vis dažniau naudojamos kasdieninei aprangai ir įvairiems mados projektams. Teorinis specialios paskirties daugiasluoksnių medžiagų aprašymas gali ne tik pasiūlyti ar įkvėpti naujų šių medžiagų pritaikymo variantų, bet ir padėti efektyvinti jau esamus.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Tekstilės medžiagų sandaros ir mechaninių charakteristikų nustatymas

Tyrimams parinkta 10 skirtingų daugiasluoksnių medžiagų bei vienasluoksniė kontrolinė medžiaga. Medžiagų sąrašas bei charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje. Parinktos šiuolaikinės medžiagos, iš kurių gaminant įvairios paskirties gaminius gali būti naudojamas siūlinis sujungimas. Su šiomis medžiagomis pradūrimo tyrimai atliekami dar nebuvo arba rezultatai nėra prieinami viešai.

Kontroline medžiaga parinktas džinsinis audinys, nes tai viena labiausiai ištirtų ir aprašytų medžiagų [27-29].

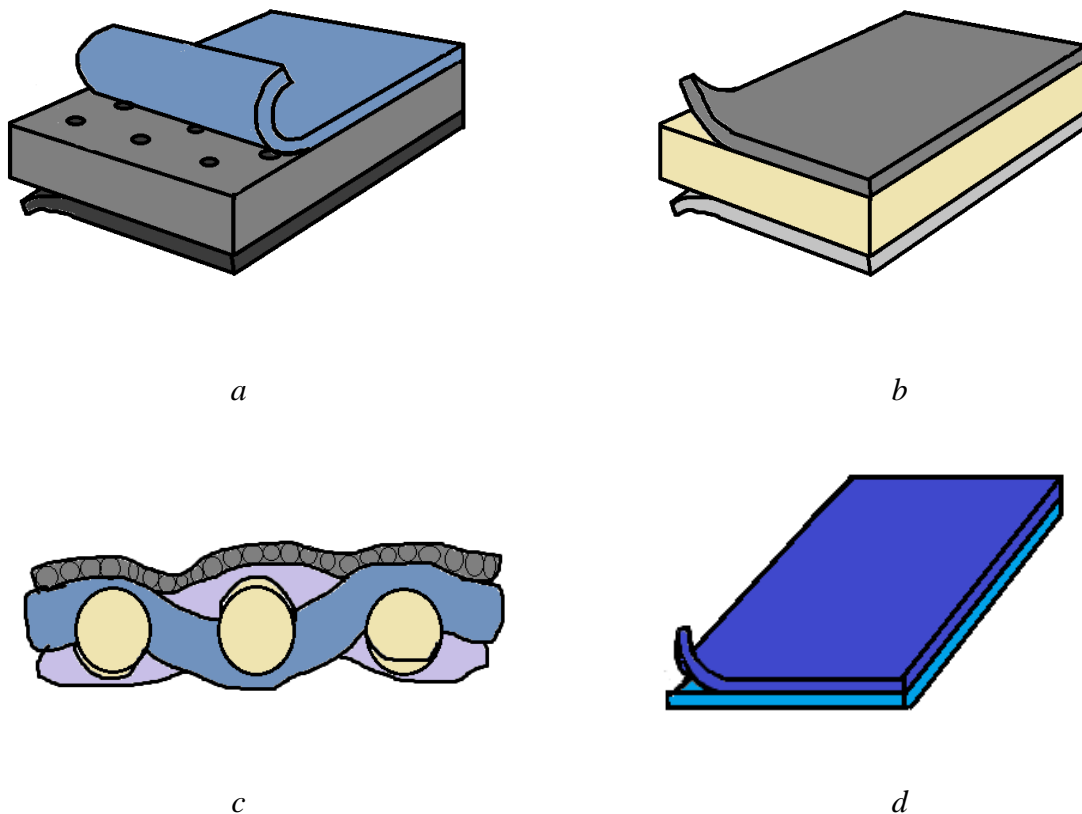
2.1 lentelė. Tiriamos medžiagos

Grupė	Kodas	Storis, mm	Paviršinis tankis, g/m ²	Lenkiamasis standis, μNm	Sudėtis ir trumpas aprašymas	Taikymas
0	D1	0,52	232	43,08	CO, PES audinys su elastano gijomis	Drabužių ir aksesuarų gamyba
I	N1	3,22	649	189,67	Išoriniai sluoksniai megzti iš nailono siūlų, vidurinis sluoksnis – perforuotas polichloroprenas	Įtvarų, dėklų, kompresinių drabužių gamyba
	B1	3,70	251	202,68	Iš PES siūlų megztas apatinis ir austas viršutinis sluoksniai su akytos struktūros PU viduriniu sluoksniu	Minkštųjų baldų gamyba
	K1	4,03	523	860,61	PA siūlų austas viršutinis ir PES siūlų megztas apatinis sluoksniai su PU putų viduriniu sluoksniu	Dėklų gamyba
II	V1	0,46	377	208,60	100 % PES audinys su PU danga blogojoje pusėje	Vaikiškų vežimėlių gamyba
	V2	0,22	140	12,99	100 % PES audinys su PU danga blogojoje pusėje	Vaikiškų vežimėlių gamyba
	A1	0,30	327	30,35	3M™ Scotchlite™ 8910 Silver dvisluoksnis audinys su šviesą atspindinčia danga	Atšvaitų ir šviesą atspindinčių drabužių gamyba
III	A2	0,67	557	128,50	3M™ 8710 Silver Transfer Film laminuota juosta su PES ir CO megztinės medžiagos pagrindu	Atšvaitų gamyba ir drabužių ženklavimas
	A3	1,15	601	759,31	3M™ 7100 High Gloss atšvaitinė trisluoksniė juosta	Atšvaitų gamyba
	T1	1,21	712	442,01	CO megztinė medžiaga su PVC laminatu	Tentų ir dėklų gamyba
	T2	0,33	323	105,30	PA pluošto pagrindas su PVC laminatu	Tentų ir klijuočių gamyba

Išskirtos trys pagrindinės tiriamų daugiasluoksnių medžiagų grupės:

- I – storos medžiagos iš trijų ar daugiau sluoksnių, vienas iš kurių – polimerinis užpildas, naudojamos dėklams, baldams, kompresiniams drabužiams;
- II – sąlygiškai liaunos dengtos medžiagos, turinčios tam tikrą apdailą – ugniai atsparią arba šviesą atspindinčią dangą;
- III – laminuotos medžiagos iš dviejų ar daugiau sluoksnių; mažiau primena įprastą tekstilę.

Daugiasluoksnių medžiagų struktūrinės schemas pateikiamos 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Daugiasluoksnių medžiagų su užpildu struktūra: a – būdinga N1 medžiagai, sudarytai iš trijų sluoksnių, kai, vidurinis – perforuotas chloroprenas; b – būdinga B1 ir K1, sudarytoms iš trijų sluoksnių, kai vidurinis – skirtingos struktūros PU užpildas; c – būdinga V2; audinys su itin plona užnešta danga; d – būdinga likusioms medžiagoms: tekstilės sluoksnis su plona (A1, V1) arba stora (A2, T1) danga, arba du sulydyti ar suklijuoti panašios struktūros sluoksniai (A3, T2)

Tekstilės medžiagų storis nustatomas taikant standartinę metodiką [42], matavimai atlikti 2015 metų birželio 18 dieną. Storio matavimui naudojamas elektroninis stormatis „Schmidt“. Stormačio tikslumas $\pm 0,01$ mm, matavimo plokštelių paviršiaus plotas 2000 mm^2 . Medžiagos prispaudžiamos $1 \pm 0,05$ kPa slėgiu. Bandinys padedamas taip, kad jo visi kraštai būtų už matavimo plokštelės ribų.

Medžiagos matuojamos penkis kartus skirtingose zonose, leidžiant joms susigulėti po prispaudimo kojele 30 sekundžių prieš fiksuojant vertes. Iš gautų verčių skaičiuojama vidutinė vertė:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (2.1)$$

Tekstilės medžiagų paviršinis tankis nustatomas atsižvelgiant į standartą ISO 3801 [43]. Paruošti 10×10 cm dydžio bandiniai sveriami elektroninėmis svarstyklėmis „Kern EG 420-3NM“ su 0,001 g paklaida. Maksimali svėrimo apkrova – 420 g, minimali – 0,02 g. Išmatavus svorio vertes, suskaičiuojamas tiriamosios medžiagos paviršinis tankis g/m².

Medžiagų lenkiamasis standis nustatomas pagal FAST metodiką, naudojant specialų stovą (2.2 pav.) [44]. Paruošiama po tris 5×20 cm dydžio bandinius metmenų ar stulpelių kryptimi, ir stovu matuojamas nusvyrančios bandinio dalies ilgis. Lenkiamasis standis B apskaičiuojamas pagal formulę 2.2.

$$B = W * c^3 * 9,81 * 10^{-6} \quad (2.2)$$

Čia W – medžiagos paviršinis tankis, g/cm², o c – pusė bandinio nusvirusios dalies ilgio, mm.



2.2 pav. Stovas medžiagų lenkiamajam standžiui nustatyti

2.2. Tekstilės medžiagų pradūrimo jėgos nustatymas

Pradūrimo jėgos F_p matavimui naudojama siuvimo mašina „JUKI DDL-8300N“ su programine įranga ir „Eddy Current“ kompiuterinė įranga, prijungta prie mašinos (2.3 pav., a) bei matuojanti pasipriešinimo pradūrimui jėgą [29]. Prietaisai sukalibruoti pagal naudojimosi instrukcijas, pasitelkiant žinomo svorio svarelius. Adatai smingant į medžiagą, registruojamos spaudimui jautrią plokštelę (2.3 pav., b) veikiančios jėgos. Kompiuteris fiksuoja procesą kreivėje (2.4 pav.) bei duomenis pateikia *Excel* lentelėje.

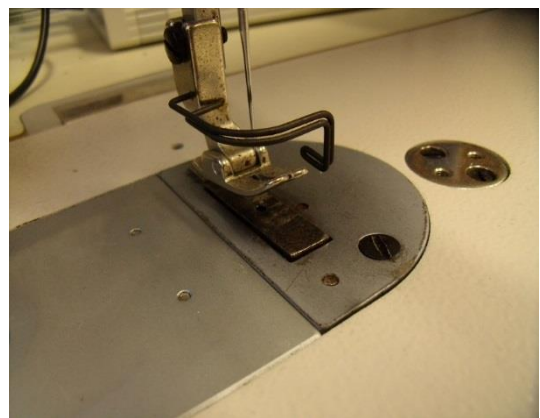
Matavimai atliekami imituojant siuvimo procesą be siūlo; bandinių dydis – 8×12 cm. Plokštelę veikiančios jėgos vertės registruojamos 500 Hz dažniu 5000 ms. Bandymai atliekami su „SCHMETZ“ firmos adatomis su įprastiniu kūgišku smaigaliu, atitinkamai 90, 100 bei 110 numerio, praduriant 1 ir 2 medžiagos sluoksnius ir keičiant dygsnio tankumą: 3, 4 bei 5 dygs/cm.

Gaunami 198 duomenų masyvai, iš kurių atrenkamos pradūrimo momentų reikšmės. Gauti rezultatai apdorojami statistiškai „Excel“ programa: apskaičiuojamas kiekvieno atvejo F_p vidurkis, vidutinis kvadratinis nuokrypis S (formulė 2.3), variacijos koeficientas v , absoliučioji ir santykinė paklaidos [45]. Šie duomenys pateikiami 1 priede.

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.3)$$

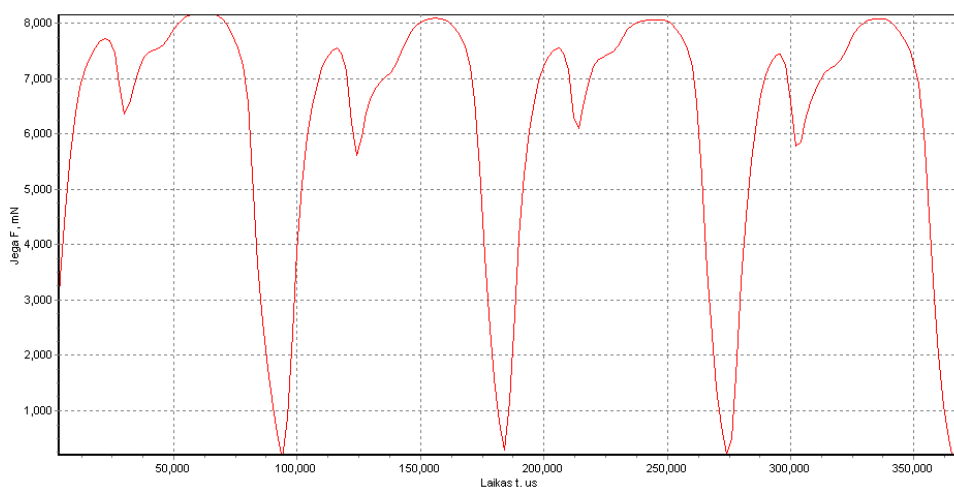


a



b

2.3 pav. Pradūrimo jėgos matavimo įranga: a – kompiuterizuota siuvimo mašina, b – plokštelė



2.4 pav. Tipinė plokštelę pradūrimo metu veikiančių jėgų kreivė (medžiaga T1, praduriama nr. 100 adata 4 dygs/cm tankumu); x ašyje registruojamas laikas, y – pradūrimo jėga F_p , mN. Gauti pikai yra maksimalios pradūrimo jėgos vertės vieno adatos ciklo metu.

Esant didelei duomenų sklaidai (variacijos koeficientui viršijant 15 % tekstilės medžiagoms), atliekamas duomenų patikimumo patikrinimas Grebso metodu [45], kuriuo remiantis įtartinos vertės (pagal formules 2.4 ir 2.5) atmetamos ir skaičiavimai kartojami.

$$X_{max} > x_{vid} + B_a * S \quad (2.4),$$

$$X_{min} > x_{vid} - B_a * S \quad (2.5);$$

čia B_a – Grebso kriterijus, atitinkamai parenkamas pagal atliktų bandymų kiekį.

Jei atmetamų verčių nėra arba jas atmetus vis dar gaunama didelė sklaida, tai aiškinama tekstilės medžiagų struktūros netolygumu: išskirtinai mažos pradūrimo jėgos vertės gaunamos adatai pataikant tarp siūlų ir beveik nesutinkant pasipriešinimo, o išskirtinai didelės – adatai pataikius į siūlų sankirtą ar elastano giją.

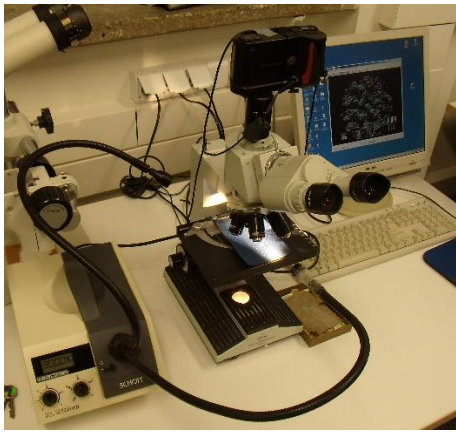
2.3. Junginių iš daugiasluoksnių tekstilės medžiagų tyrimai

Ieškant ryšio tarp pradūrimo jėgos ir gautų siūlių charakteristikų, reikia jas įvertinti. Praktiškiausias siūlinio sujungimo vertinimas – gautos siūlės kokybė. Ji gali būti vertinama daugybe požiūrių, tačiau pagrindiniai siūlių kokybės rodikliai gali būti sugrupuojami taip: mechaniniai, eksploataciniai, deformaciniai, estetiniai bei ekonominiai [46].

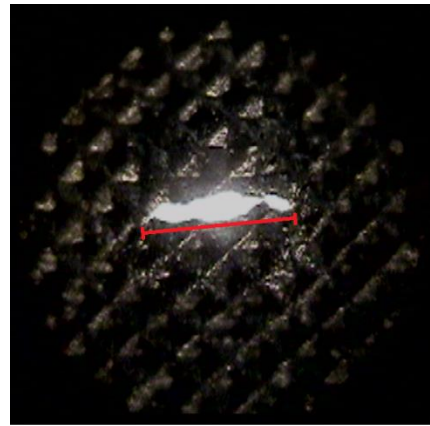
Vienareikšmiškai išrinkti, kurie rodikliai yra svarbiausi, negalima, tačiau estetiniai ir eksploataciniai gana nuodugniai apibūdina pasiūto gaminio elgseną ir išvaizdą. Atsižvelgiant į prieinamą laboratorinę įrangą, nuspręsta įvertinti siūlės dviem aspektais: siūlės tvirtumo (eksploatacinis rodiklis) bei medžiagos pažeidimų siuvant dydžiu (estetinis rodiklis).

Pažeidimų tyrimui naudojami pradūrimo eksperimento bandiniai bei elektroninis mikroskopas „Ascania“ su vaizdo kamera „Nikon Coolpix 4500“ (2.5 pav., a). Gauti vaizdai, padidinti 5–20 kartų, fiksuojami kompiuterine programa „Metric 7.0 PE“. Matavimai atliekami esant 10 kartų didinimui, sukalibruojant dydžius liniuote. Ekrane išmatuoti 507 μm atitiko 1 mm realybėje.

Pažeidimu laikomi nukirsti ar itin smarkiai suveltai siūlai, skylės bei įtrūkimai. Netaisyklingų pažeidimų dydžiu laikomas jų skersmuo didžiausios išmatuotos vertės kryptimi (2.5 pav., b). Matuojama 10 pažeidimų kiekvienai medžiagai bei adatos numeriui, ir vedamas vidurkis. Rezultatai su statistiniais parametrais pateikiami 2 priede.



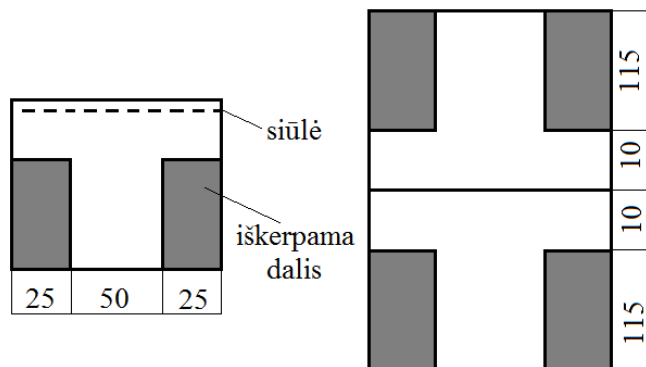
a



b

2.5 pav. Pažeidimų tyrimas: a – darbo vieta, b – pažeidimo matavimas

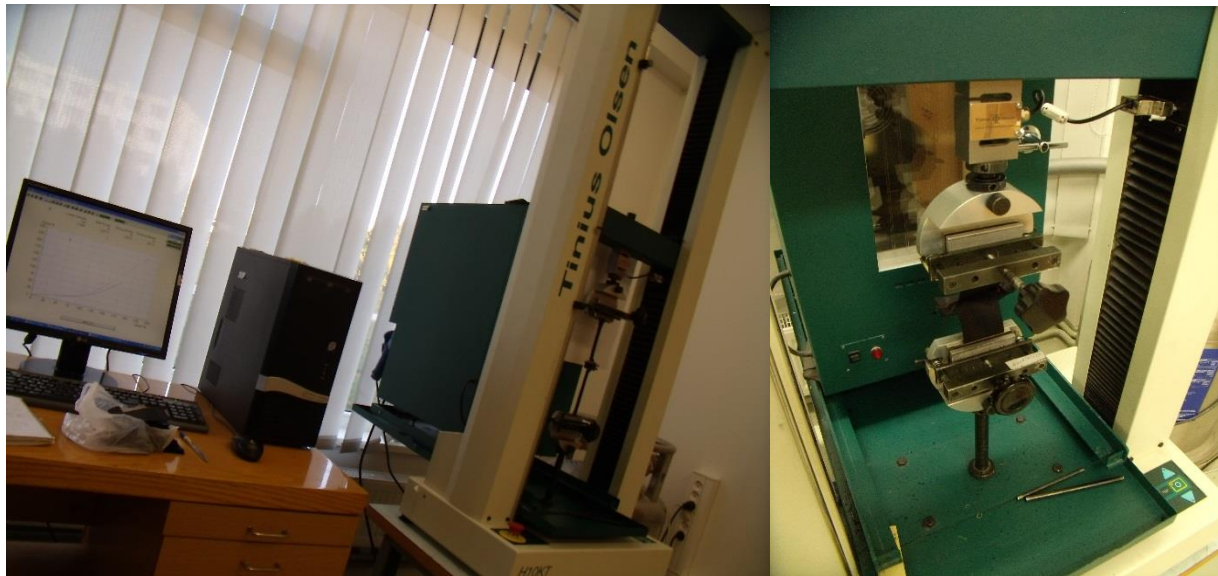
Siūlių stiprumo bandymams paruošiami bandiniai pagal stiprumo nustatymo juostelės metodu metodiką [46]: kerpami *T* formos bandiniai, paliekant užlaidas į šonus tempiamoje srityje, ir susiuvami plačiosiomis dalimis pagal schemą (2.6 pav.).



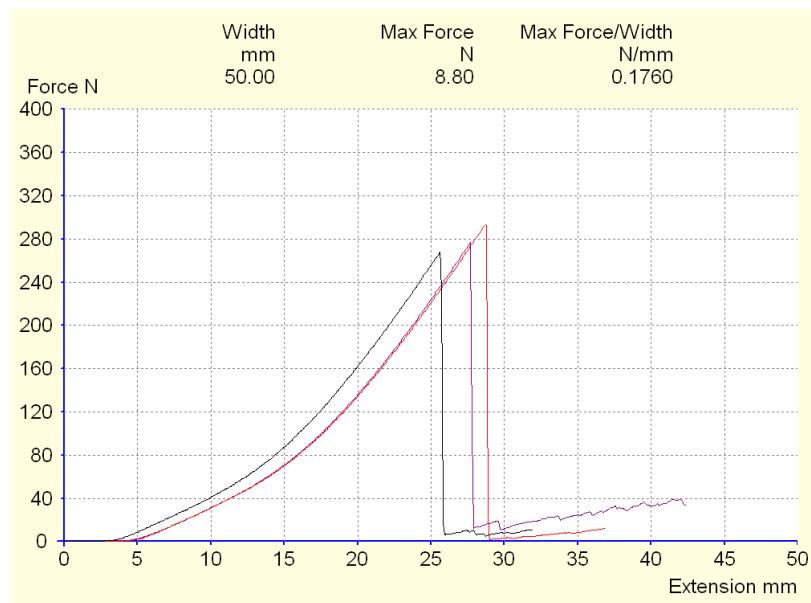
2.6 pav. Bandinio paruošimas (susiuvus ir išskleidus) nustatant stiprumą juostelės metodu

Bandiniai siuvami universalios paskirties siuvimo mašina „Juki DDL-888“, 4 dygs/cm tankumu, uždėtine siūle, paliekant 1 cm pločio užlaidą. Siuvama „Gutermann“ A 302, gamintojo numeris 100, siūlais iš 100 % poliesterio.

Siekiant įvertinti medžiagų pažeidimų įtaką siūlių stiprumui, atliekami siūlių tempimo bandymai iki suardymo. Bandymai atliekami su kompiuterizuota tempimo mašina „Tinius Olsen H10KT“ (2.7 pav.), rezultatai fiksuojami „QMat 5.37 T-Series“ programa.



2.7 pav. Darbo vieta bei tempimo mašinos mechanizmas



2.8 pav. Tipinė siūlės suardymo kreivė, registruojama programoje: x ašyje registruojama ištįsa, y – siūlę veikianti jėga. Kreivių pikai – jėga ir ištįsa siūlės trūkimo momentu.

Tiriama po tris vienodų parametrų ir sudėties bandinius, iš gautų suardymo jėgos verčių apskaičiuojama vidutinė siūlės stiprumo jėga F_{tr} , apskaičiuojamas vidutinis kvadratinis nuokrypis, variacijos koeficientas, absoliučioji bei santykinė paklaidos. Šie duomenys pateikiami 3 priede.

Bandymai neatliekami su medžiagomis A2 ir A3, nes šios medžiagos naudojamos prisiuvant prie drabužių ar daiktų, o junginiai iš jų neformuojami.

2.4. Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų siuvamumo vertinimo metodika

Atlikus šiuos bandymus, tirtų medžiagų siuvamumą patogiausia įvertinti nustatant siuvamumo koeficientą [26], kuris gali būti šiek tiek pakoreguojamas pagal bandymo metodiką. Koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę 2.6:

$$K_S = F_p/\rho \quad (2.6);$$

čia F_p – vidutinė pradūrimo jėga, o ρ – kontūrinis medžiagos tankis, lygus paviršinio tankio ir medžiagos storio santykiui.

Kai koeficiento reikšmės $<0,30$, medžiaga lengvai perdirbama. Jei reikšmė viršijama, reikalingos apdirbimo parametrų korekcijos. Jei koeficientas $>0,65$, medžiaga netinkama formuoti kokybiškus siūlinius sujungimus.

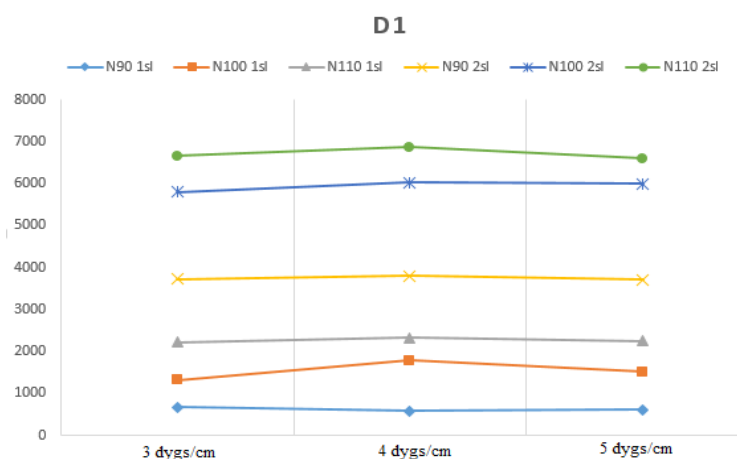
Bandymų rezultatai pavaizduojami grafiškai. Tikrinami koreliaciniai ryšiai tarp ištirtų rodiklių.

3. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

3.1. Tekstilės medžiagų pradūrimo jėgos rezultatų analizė

Kituose tyrimuose [27-29] išmatuotos artimiausio paviršinio tankio džinsinių audinių pradūrimo jėgos vertės siuvant du sluoksnius – 3–4 N, kai adatos nr. 90, 4–6 N, kai adatos nr. 100, ir 6–8 N, kai adatos nr. 110. Šio tyrimo metu gautos kontrolinės medžiagos – džinsinio audinio pradūrimo jėgos vertės patenka į šituos rėmus, taigi gauti rezultatai yra tinkami palyginimui.

Tarp visų medžiagų išmatuotų pradūrimo jėgos verčių ir dygsnio tankumo dėsningo ryšio nėra. 3.1 paveiksle pateikiamas teiginį iliustruojantis pavyzdys su kontroline medžiaga; pradūrimo jėgą pastebimai veikia adatos skersmuo bei siuvamų sluoksnių skaičius, tačiau ji nekinta „siuvant“ skirtingu dygsnio tankumu arba kinta paklaidos ribose. Ši tendencija būdinga visoms tirtoms medžiagoms.



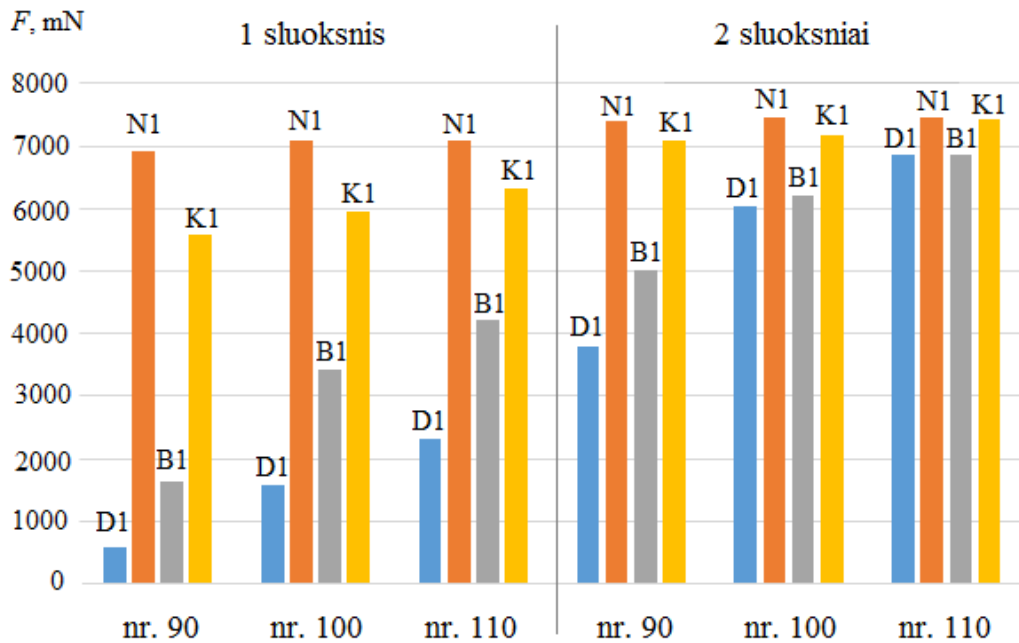
3.1 pav. Pradūrimo jėgos kitimas pradūriant kontrolinės medžiagos vieną arba du sluoksnius skirtingo skersmens adatomis, keičiant dygsnio tankumą

Pradūrimo jėga tiesiogiai proporcinga siuvimo adatos skersmeniui visose medžiagų grupėse. Nė vienos medžiagos pradūrimo metu neužfiksuota adatų lūžių, tačiau pradūriant medžiagą A2, buvo stebimas viršutinio polimerinio medžiagos sluoksnio lydymasis ir apsisūlimas aplink adatą (3.2 pav.).

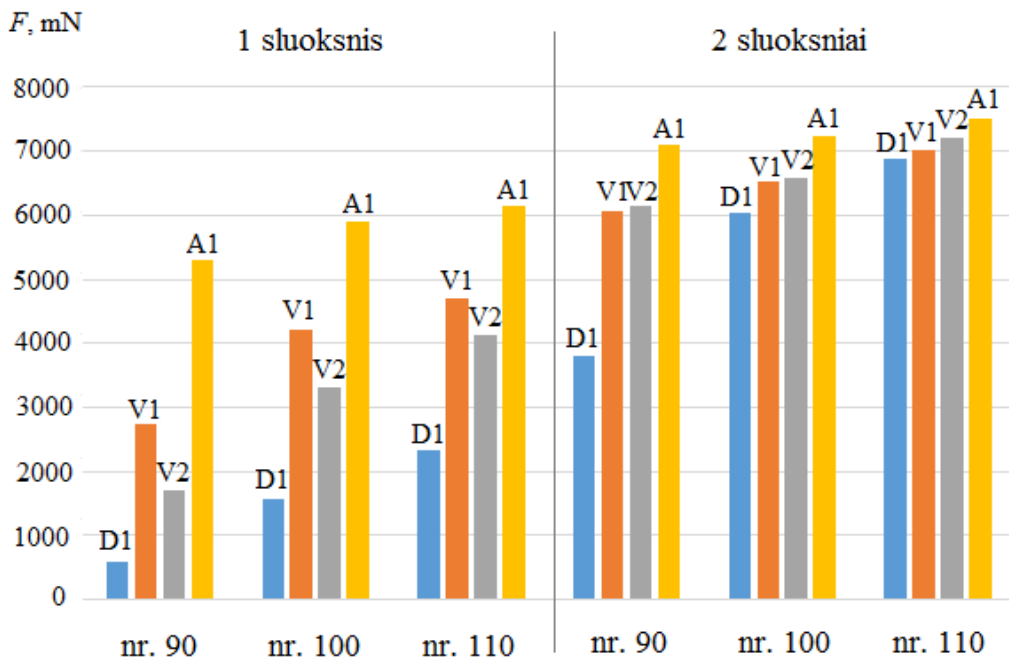


3.2 pav. Polimerinės apnašos ant siuvimo adatos

Tirtų medžiagų pradūrimo jėgos priklausomybė nuo adatos skersmens ir siuvamų sluoksnių skaičiaus pateikiama grupėmis 3.3–3.5 paveiksluose.



3.3 pav. I grupės medžiagų ir kontrolinės medžiagos pradūrimo jėgų priklausomybė nuo adatos skersmens bei siuvamų medžiagos sluoksnių skaičiaus

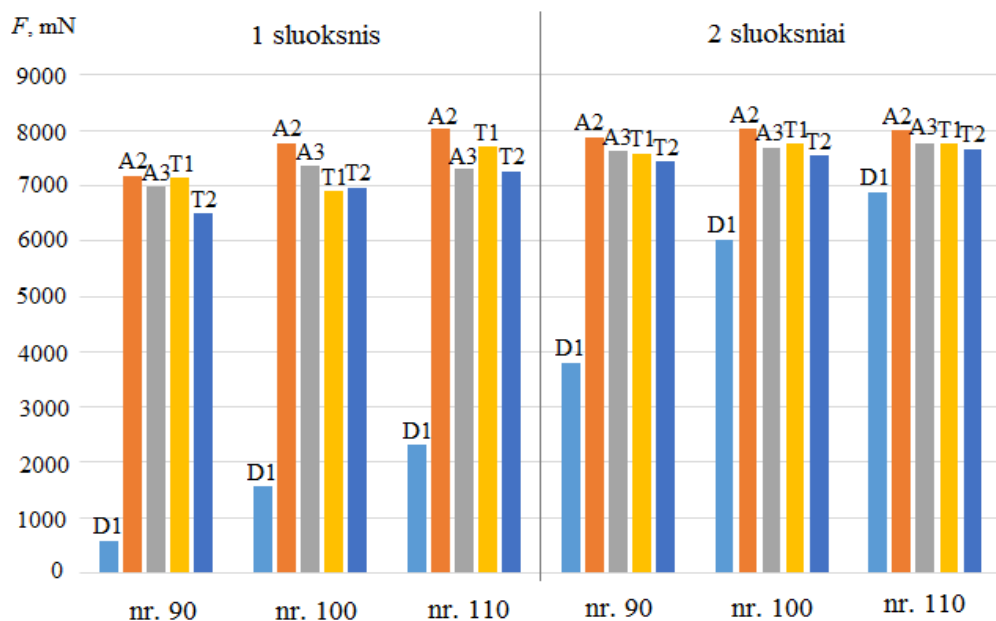


3.4 pav. II grupės medžiagų ir kontrolinės medžiagos pradūrimo jėgų priklausomybė nuo adatos skersmens bei siuvamų medžiagos sluoksnių skaičiaus

I grupės medžiagų rezultatai buvo labai įvairūs nepaisant jų struktūrinių panašumų; medžiagos B1 pradūrimo verčių kitimo kreivė artima kontrolinei medžiagai D1. Neoprenas (N1) elgėsi panašiai į III grupės medžiagas: išmatuota didelė pradūrimo jėga vienam sluoksniui, tačiau padidinus sluoksnių skaičių ji išauga tik 5–6,8 %. Vieno medžiagų sluoksnio pradūrimo jėgos skiriasi labai smarkiai, tačiau daugumos medžiagų rezultatai siuvant du sluoksnius labai panašūs – siekiantys 7–8 N siuvant 110 numerio adata, išskyrus D1 ir B1 medžiagas. B1, nepaisant savo storio, pasižymi mažiausia pradūrimo jėga iš tirtųjų medžiagų, nors jos lenkiamasis standis artimas N1 medžiagai. Daroma prielaida, jog taip yra dėl aktytos jos sluoksnių struktūros.

II medžiagų grupėje pradūrimo jėgos priklausomybė nuo adatos skersmens yra pati ryškiausia, ypač pradūriant vieną medžiagos sluoksnį; su didesnio numerio adata pradūrimo jėga išauga iki 93 % (V2 atveju). Šių medžiagų pradūrimo charakteristikos yra artimiausios įprastoms (kontrolinei medžiagai), kaip ir jų struktūra: dangos sluoksnis yra plonas ir lankstus. Pradūrimo jėga pastebimai išauga tiek siuvant didesnio numerio adata, tiek didinant medžiagos sluoksnių skaičių: beveik dukart V1 bei V2 atveju ir maždaug pusantro karto medžiagai A1.

Priešingai, III grupės medžiagų pradūrimas mažiausiai veikiamas adatos skersmens; čia didžiausias jėgos skirtumas tarp skirtingų adatų siekia 0,6 N, arba vos 8 % pradinės jėgos. Šioje grupėje taip pat fiksuota didžiausia pradūrimo jėga. Tai sąlygoja šių medžiagų struktūra; jų paviršinis tankis didelis, nors jų storis, lyginant su kitomis tirtomis medžiagomis, yra vidutinis (storiausia III grupės medžiaga yra 3 kartus plonesnė už I grupės ploniausią). Skirtingai nei vienasluoksnėse medžiagose (D1), pradūrimo jėga beveik nekinta siuvant daugiau medžiagos sluoksnių ir yra itin didelė pradūriant tik vieną.



3.5 pav. III grupės medžiagų ir kontrolinės medžiagos pradūrimo jėgų priklausomybė nuo adatos skersmens bei siuvamų medžiagos sluoksnių skaičiaus

Tiriant liauniausias medžiagas – D1 bei V2 – pastebima didelė pradūrimo jėgos vertės rezultatų sklaida; šios medžiagos neturi ištisinės dangos, todėl galimas adatos smigimas tarp siūlų arba į siūlų sankirtą, o tai lemia kur kas didesnes ar mažesnes už vidutinę jėgos vertes. Šis reiškinys taip pat pastebimas ir siuvant neopreną – N1. Šitos medžiagos vidurinis sluoksnis yra perforuotas, į struktūrinės skylutes pataikius adatai gaunamos neįprastai mažos vertės.

Daugiau apie konkrečias medžiagas galima sužinoti analizuojant pavienių medžiagų pradūrimą.

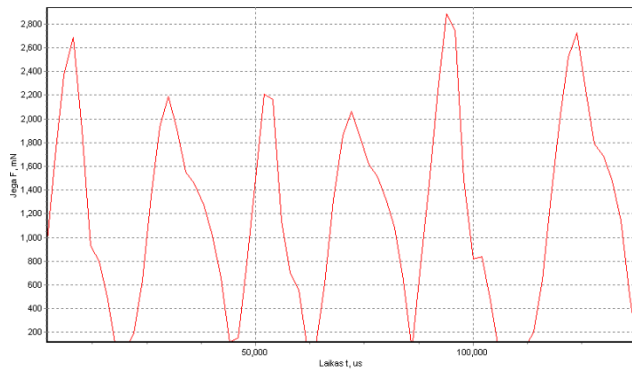
Medžiagos D1 rezultatai rodo itin didelį pradūrimo jėgos padidėjimą esant dviem medžiagos sluoksniams. Visais atvejais duriant du medžiagos sluoksnius jėga išaugo triskart arba daugiau, palyginus su vienu sluoksniu (3.3 pav.), tai taip ryškiai nepastebima kitose medžiagose. Tai susiję su faktu, jog audinio sudėtyje yra elastano; adata pradeda smigti į antrąjį sluoksnį dar visiškai nepradūrusi pirmojo, nes jis tempiasi, dėl to išauga pradūrimo jėga. Didėjant adatos numeriui, skirtumas tarp vieno ir dviejų sluoksnių pradūrimo jėgos mažėja.

Itin didelės, iš bendro konteksto iškrentančios vertės, siejamos su adatos pataikymu į elastano giją arba siūlų sankirtą, mažos – su adatos praslydimu tarp siūlų, nesutinkant daug pasipriešinimo. Minimalios vertės nėra tolimos pagrindinėms, kai praduriami du medžiagos sluoksniai; taip yra todėl, jog adatai pataikius tarp siūlų viename sluoksnyje, kitame tai paprastai nepasikartoja. Gauti rezultatai atitinka tai, ką žinome apie džinsą iš kitų tyrimų.

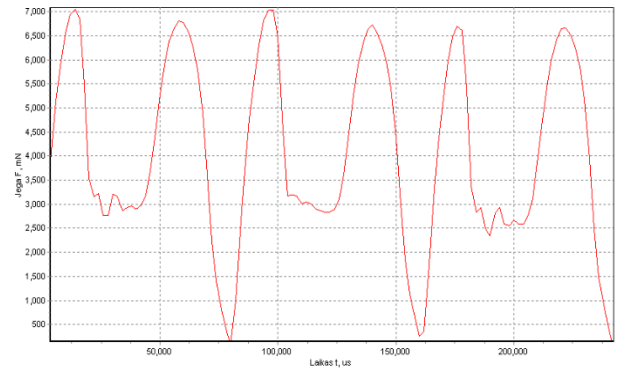
Įdomus medžiagos N1 rezultatas: jėgos vertės labai tolygios, visiškai negauta verčių, kur kas didesnių už vidutinę – tačiau gauta keletas labai mažų verčių. Tai lemia unikali medžiagos struktūra; šiuo atveju daugiausiai jėgos pradūrimui pareikalaujantis sluoksnis – perforuotas polichloropreno užpildas. Išoriniai medžiagos sluoksniai yra megztiniai, tad siūlų perdangos minkštos ir adatos smaigalio pataikymas į įvairias jų vietas rezultatams daug įtakos neturi. Tačiau vidinis sluoksnis yra perforuotas, todėl į skylutę pataikius adatai, pradūrimo jėga ženkliai sumažėja.

Pradūrimo jėgos vertės N1 medžiagai didesnės duriant per du sluoksnius, tačiau skirtumas tarp šios ir vieno sluoksnio jėgos nedidelis, ypač lyginant su anksčiau aprašyta medžiaga D1. Atsižvelgiant į pradūrimo kreivę (3.6 pav.), galima daryti prielaidą, jog dėl didelio medžiagos storio smigdama į du sluoksnius adata praduria vieną ir tik po to, jėgai jau pradėjus mažėti – kitą sluoksnį. Svarbu pastebėti, jog dvigubi pikai taip pat būdingi šios medžiagos vienam sluoksniui, taigi galimai medžiagos sudėtiniai sluoksniai elgiasi tarsi atskiri. Ši tendencija pastebima ir kitų medžiagų, ypač T1, pradūrimo metu.

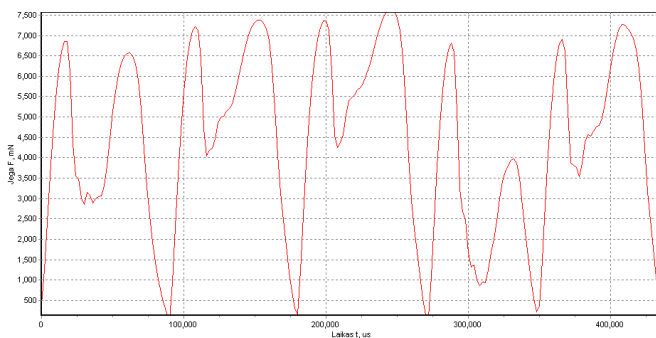
Adatos skersmens įtaka pradūrimo jėgos padidėjimui šioje medžiagoje yra nežymi. Dėl to taip pat galima įtarti užpildą ir jo tamprumą; prasiskverbus adatos smaigaliui, kiaurymė plečiama grynai dėl jo susispaudimo, nėra perstumiamos papildomą trintį pridedančios siūlų sistemos, tad kiaurymės ir šiuo atveju adatos skersmuo tampa mažiau svarbus.



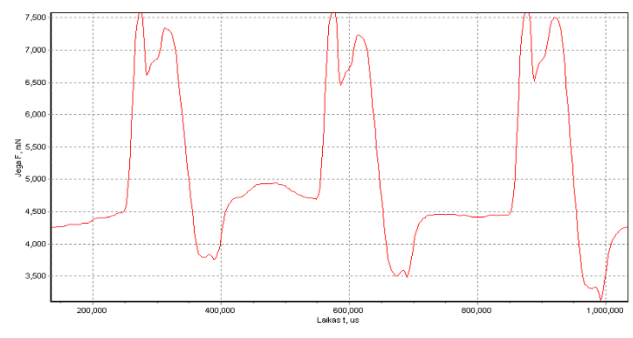
a



b



c



d

3.6 pav. Jėgos, veikiančios plokštelę praduriant medžiagas, kreivės: *a* - D1 vienas, *b* – du sluoksniai; *c* – N1 vienas, *d* – du sluoksniai; siuvant du N1 medžiagos sluoksnius stebimas pastovus jėgos veikimas į spaudimui jautrią plokštelę dėl medžiagos storio.

Medžiagos B1 pradūrimo jėgos vertės parodo proporcingą jėgos priklausomybę nuo adatos numerio bei medžiagos sluoksnių skaičiaus (3.3 pav.). Nors šios medžiagos struktūra iš pirmo žvilgsnio panaši į N1, jos vidurinis užpildas yra minkštesnis ir porėtas, o tai lemia jo lengvesnį pradūrimą bei tempimąsi į antrąjį sluoksnį. Didžiausias skirtumas tarp vieno ir dviejų sluoksnių pradūrimo jėgos gaunamas naudojant 90 numerio adatą; adatos skersmeniui didėjant, šis skirtumas mažėja. Nepaisant didelio storio, šios medžiagos dviem sluoksniams pradurti reikalinga jėga yra mažiausia iš tirtų medžiagų.

Medžiagos K1 tyrimą apsunkino didelis jos storis bei „tirštesnis“ nei B1 užpildas. Dėl to nepavyko išvengti strigimų ir netikslumų. Šiuo atveju taip pat nedidelis skirtumas tarp jėgos, reikalingos pradurti vieną ar du sluoksnius. Analogiškai medžiagai N1, adatos numerio įtaka pradūrimo jėgai yra nedidelė.

Visos I grupės medžiagos (N1, B1, K1) pasižymėjo didžiausiu tarp tiriamų medžiagų storiu, N1 bei K1 medžiagos – ir dideliu paviršiniu tankiu. Nepaisant to, jų pradūrimo jėgos vertės nebuvo didžiausios tarp ištirtų medžiagų; tai galima paaikškinti tuo, kad jos yra minkštesnės nei medžiagos su ištisinėmis polimerinėmis dangomis (A2, A3, T1), nors K1 lenkiamasis standis yra didžiausias.

Didžiausia problema, kylanti siuvant šios grupės medžiagas – sluoksnių sutalpinimas po prispaudimo kojele ir efektyvus perkėlimas. Didelio storio medžiagoms siūti rekomenduojama naudoti specializuotą įrangą, atitinkamai konfigūruoti prispaudimo kojelę. 90 numerio adatos yra tinkamos šioms medžiagoms siūti.

V1 medžiagos pradūrimo jėgų vertės praduriant vieną arba du sluoksnius artėja viena prie kitos, didėjant adatos numeriui. Nepaisant medžiagos nedidelio storio ir vidutinio paviršinio tankio, jos pradūrimui reikalinga sąlygiškai didelė jėga (3.4 pav.).

Vienam V2 medžiagos sluoksniui pradurti reikalinga mažiausia pradūrimo jėgos vertė iš visų tirtųjų medžiagų, kaip ir buvo prognozuojama atsižvelgiant į jos storį bei paviršinį tankį. Tačiau siuvant per du sluoksnius ši vertė šokteli net du kartus, nors skirtumas mažėja didėjant adatos numeriui. Tiriant šią medžiagą taip pat pastebėta didelė rezultatų sklaida, analogiška D1, tačiau tik tais atvejais, kai buvo durinama per vieną medžiagos sluoksnį.

A1 – tai įmonės „3M“ gaminama medžiaga, atspindinti šviesą. Skirtingai nei dauguma tokių medžiagų, ji yra minkšta tarsi paprastas audinys. Tačiau nors gamintojai tikina, jog medžiaga lengvai siuvama, gauti rezultatai rodo, jog ji nėra itin lengvai praduriama. Vienam sluoksniui šios medžiagos pradurti reikalinga beveik tokia pati jėga, kaip medžiagai K1. Tai aiškinama šviesą atspindinčio sluoksnio specifinėmis savybėmis. Taip pat nustatyta, jog siuvant šią medžiagą adatos numerio įtaka nėra itin didelė (3.4 pav.). Tačiau jėgų skirtumas praduriant vieną arba du sluoksnius siekia tik apie pusantro karto.

II grupės medžiagos buvo sunkiau praduriamos, nei galima buvo prognozuoti atsižvelgiant į jų nedidelį storį bei mažą paviršinį tankį – įprastines charakteristikas, su kuriomis paprastai siejama pradūrimo jėga. Tai ypač išryškėja adatai smingant per daugiau nei vieną medžiagos sluoksnį – taigi ši savybė ypač aktuali siuvimo procese.

Pagrindinė šios medžiagų grupės problema – sunkiai prognozuojamas praduriamumas. V2 medžiagą ypač lengva supainioti su, pavyzdžiui, paprastu pamušalu ir parinkti pernelyg plonas adatas, kurios siuvant kelis medžiagos sluoksnius gali lūžti.

A2 – tai „3M“ gaminama juostos pavidalo atšvaitinė medžiaga su megztinės medžiagos pagrindu. Ji gali būti siuvama arba klijuojama ant drabužių. Antrasis metodas yra rekomenduojamas įvertinus tai, jog medžiagos pradūrimo metu pastebėtas medžiagos dangos lydymasis; pradūrus ją kelis kartus, adata „apsivelia“ (3.2 pav.). Be to, šios medžiagos vienam ar dviem sluoksniams reikalinga pradurti jėga skiriasi tik apie 3 % (3.5 pav.). Šios medžiagos vienam sluoksniui pradurti reikalinga jėga – didžiausia iš visų tirtųjų medžiagų, tačiau tam įtakos galėjo turėti ir siuvimo adatos apnašos, nes jos padidino trintį ir adatos faktinį skersmenį.

A3 – tai „3M“ gaminama atšvaitinė juosta, kuri yra pati kiečiausia iš visų tirtų medžiagų, ir antroji pagal lenkiamojo standžio reikšmę. Kaip ir A2 atveju, jėgos, reikalingos pradurti jos vieną ar du sluoksnius, skiriasi tik apie 4 %, o adatos skersmens įtaka beveik neįreikiama.

T1 medžiagos išskirtinumas – siuvant vieną sluoksnį nr. 100 adata, medžiagos pradūrimo jėga yra, priešingai nei visais kitais atvejais, *mažesnė* nei mažesnio numerio. Šis rezultatas patenka į paklaidos ribas, tačiau turint omenyje storą medžiagos lietą dangą ir didelį paviršinį tankį, įmanoma jog nr. 90 adata yra kiek per liauna siūti šią medžiagą.

T2 medžiagos vieno ir dviejų sluoksnių pradūrimo jėgos taip pat skyrėsi mažai, o tas skirtumas toliau mažėjo didėjant adatos numeriui (3.5 pav.).

III grupės medžiagos pasižymėjo vidutiniu storu ir dideliu paviršiniu tankiu tirtųjų medžiagų tarpe. Šių medžiagų vienam sluoksniui pradurti reikalinga jėgos vertė – pati didžiausia. Taip pat akivaizdi neesminė sluoksnių skaičiaus bei adatos numerio įtaka pradūrimo jėgai, skirtingai nei kitų tirtųjų medžiagų. Tai galima paaiškinti išskirtine šių medžiagų struktūra – ištisine danga, kuri yra storesnė už medžiagos tekstilinį sluoksnį, taigi didžioji dalis pradūrimo jėgos tenka būtent jai.

Šios grupės medžiagų pagrindinė problema – sudėtingas siuvamumas. Plonos adatos gali lūžti, itin storos – palikti dideles skylės lietinėje dangoje. Rekomenduojama naudoti nr. 100 adatas.

Atliktas tyrimas parodė, jog prognozuoti daugiasluoksnių medžiagų praduriamumą įvertinant tik jų storį ir paviršinį tankį yra neįmanoma dėl sudėtinių sluoksnių skirtingų savybių: liauna medžiaga gali būti sunkiau siuvama nei didelio storio medžiaga, skirta minkštųjų baldų gamybai.

Taip pat netiksliai praduriamumą apibūdina lenkiamasis standis; nors standžiausios medžiagos K1 ir A3 pasižymi didele pradūrimo jėga, medžiagos A2, kurios jėga didžiausia, standis yra vidutinis tarp tirtųjų medžiagų. Tuo tarpu mažiausiu standumu pasižyminti medžiaga V2 buvo viena lengviausiai praduriamų, tačiau kita tokia medžiaga – B1 – buvo panašaus standžio kaip ir A2.

Tikslumo gali pridėti medžiagos struktūros įvertinimas: laminuotos medžiagos iš dviejų ar daugiau sluoksnių, iš kurių bent vienas yra lietas polimeras, o ne tekstilė, pasižymi didžiausia pradūrimo jėga. O štai toms, kurių danga beveik nepastebima, pradurti reikalinga jėga yra sąlyginai mažesnė; šios medžiagos savo elgsena yra artimesnės įprastoms vienasluoksnėms.

Trisluoksnių medžiagų praduriamumas labiausiai priklauso nuo storo vidurinio sluoksnio savybių, mažiau – nuo tekstilinės dangos tipo (audinio ar megztinės medžiagos), jos tankumo ir storio.

3.2. Junginių iš daugiasluoksnių tekstilės medžiagų kokybės analizė

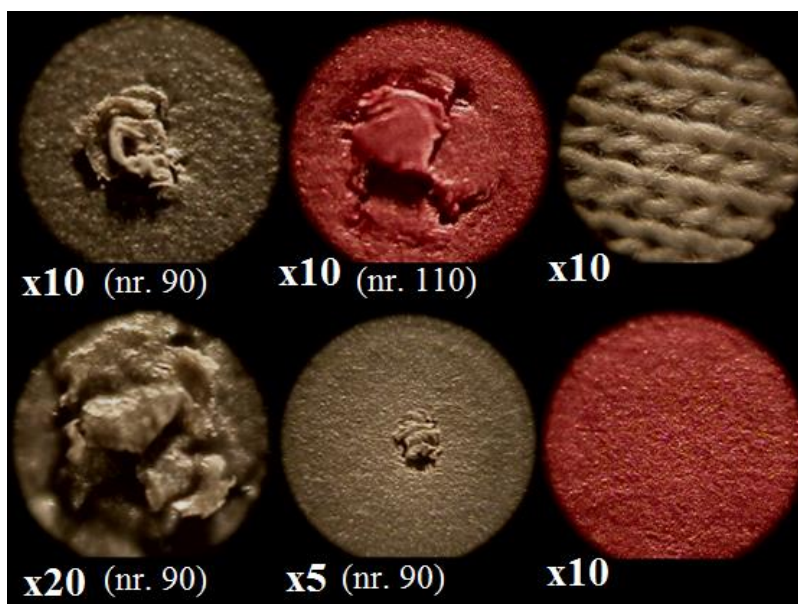
Kokybės analizei buvo atliekami du tyrimai: pažeidimų adata įvertinimas mikroskopu tiriant adatos paliktas žymes ir siūlės stiprumo nustatymas juostelės metodu [46]. Tirtųjų daugiasluoksnių medžiagų pažeidimų dydžiai pateikti 3.1 lentelėje. Išsamūs rezultatai pateikiami 2 priede.

3.1 lentelė. Vidutinės medžiagų pažeidimų dydžio vertės, mm

Kodas		T1	T2	A1	A2	A3	V1
Vidurkis, mm	nr. 90	0,911	0,520	0,799	0,544	0,664	0,506
	nr. 100	0,974	0,552	0,835	0,679	0,639	0,773
	nr. 110	1,609	0,727	0,899	0,703	0,694	0,804

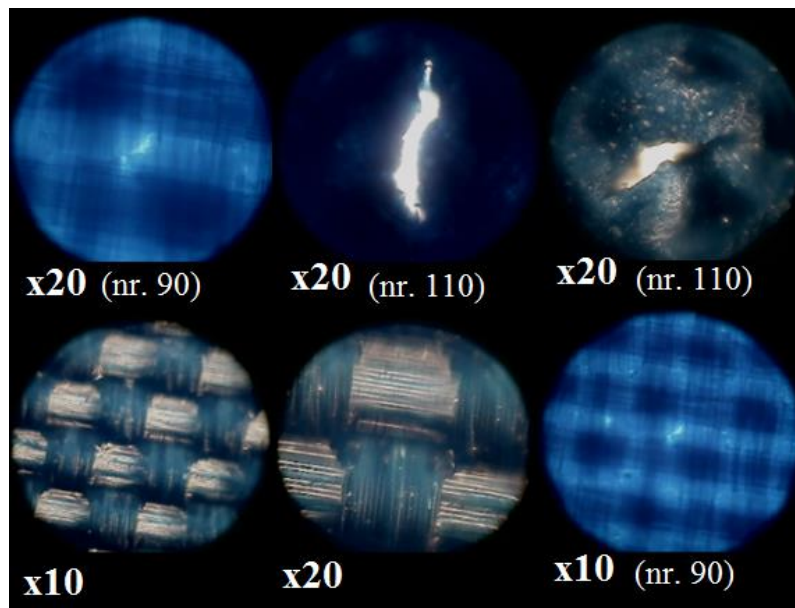
Kaip matoma iš 3.1 lentelės, visose medžiagose pažeidimų dydis išauga didėjant adatos numeriui, išskyrus A3 medžiagą, kur jis išlieka beveik toks pat. Labiausiai pažeidžiamos medžiagos T1 ir A1, dvisluoksnės medžiagos su laminato sluoksniu.

T1 medžiagai (3.7 pav.) būdingi stambūs, suraukti, gerai matomi pažeidimai. Duriant su didžiausio numerio adata, laminatas tarsi iškapojamas gabalais, susukamas į mazgus. Būdinga rožės formos pažeidimų struktūra. Siūlų pažeidimų nepastebėta.



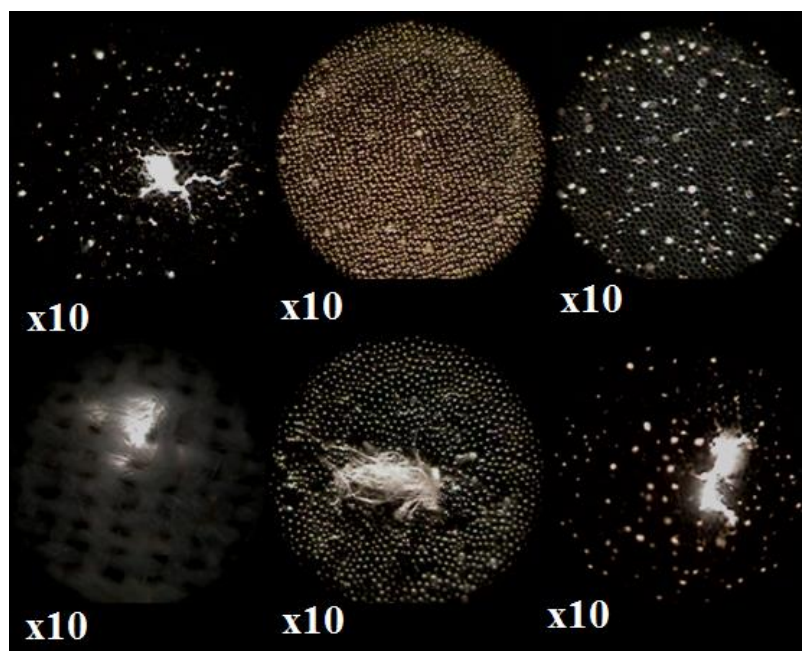
3.7 pav. Medžiagos T1 pažeidimai. Dešinėje matomos abi nepažeistos medžiagos pusės.

T2 medžiagoje pradūrimo metu pluoštai taip pat nebuvo pažeisti, tačiau prakertama danga, tas ypač akivaizdu apšviečiant bandinį iš apačios (3.8 pav.). Abi siūlų sistemos vienos spalvos, tačiau viena jų paveiksle atrodo sidabrinė dėl blizgumo ir šoninio apšvietimo.



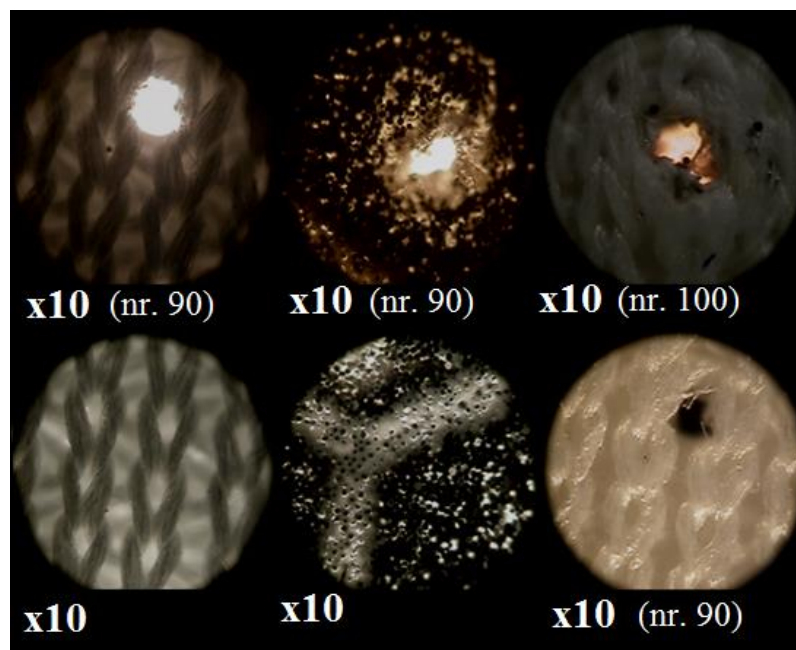
3.8 pav. Medžiagos T2 pažeidimai, stebint iš medžiagos (viršuje kairėje ir apačioje dešinėje) bei iš dangos (viršuje dešinėje ir per vidurį) pusės

A1 medžiagoje (3.9 pav.) randama nukirstų siūlų, tačiau daugiausiai pažeidimų fiksuojama dangoje, kuri yra praplėsiama pradūrimo metu. Pažeidimai efektingai atrodo apšviesti iš apačios.



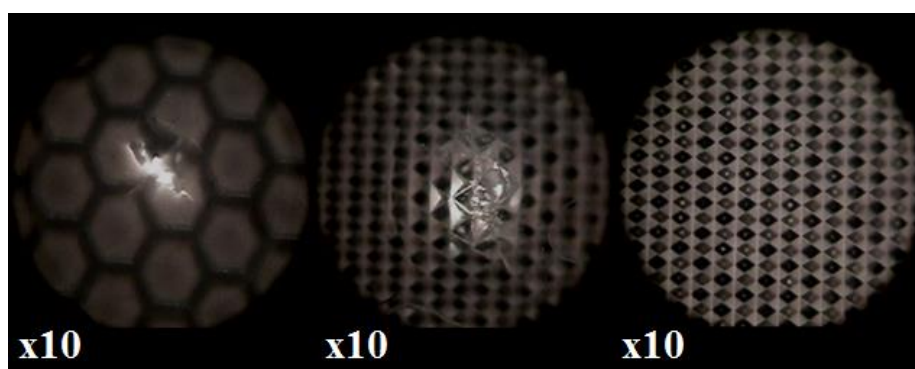
3.9 pav. Medžiagos A1 pažeidimai nr.100 adata. Parodyti pažeisti ir sveiki paviršiai iš spindžiosios pusės, bei perkirsti siūlai iš blogosios pusės (apačioje kairėje).

A2 medžiagoje (3.10 pav.) yra nukirstų siūlų, tačiau daugeliu atvejų adata juos prastūmė į šalis ir pažeidė tik dangą. Šioje medžiagoje pažeidimai – itin taisyklingos formos; iš pradūrimo eksperimento žinome, jog danga linkusi lydytis pradūrimo metu. Tai iš dalies paaiškina apvalias skylutes.



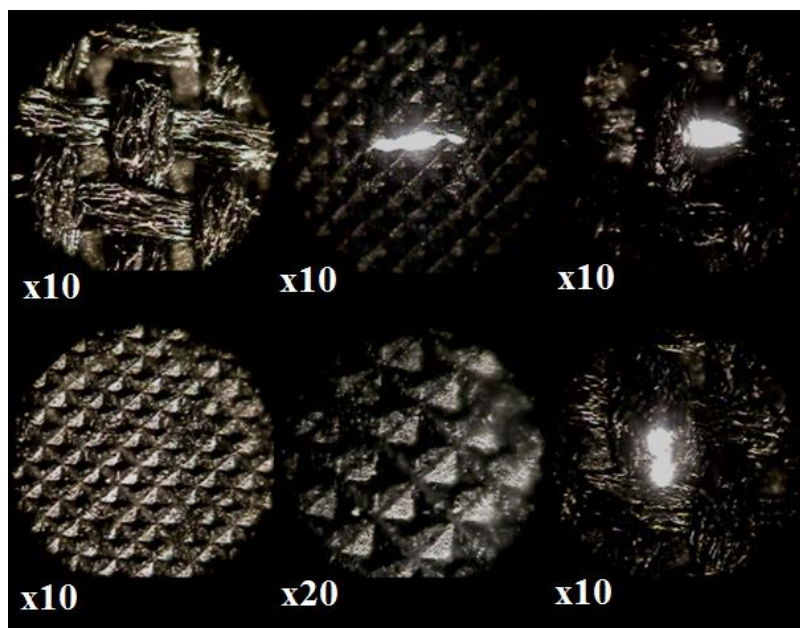
3.10 pav. Medžiagos A2 pažeidimai bei paviršius iš abiejų pusių (apačioje kairėje ir per vidurį)

A3 medžiaga dūrio metu prakertama, pastebima plyšimo požymių (3.11 pav.). Čia nėra pažeidžiamų siūlų, tačiau dūrio vietoje prakertamas ir iškraipomas šviesą atspindintis lieto plastiko sluoksnis.



3.11 pav. Medžiagos A3 pažeidimai nr. 100 adata iš abiejų pusių, bei nepažeistos šviesą atspindinčios dangos vaizdas (jai gauti taikoma mikroskopinių prizmių technologija).

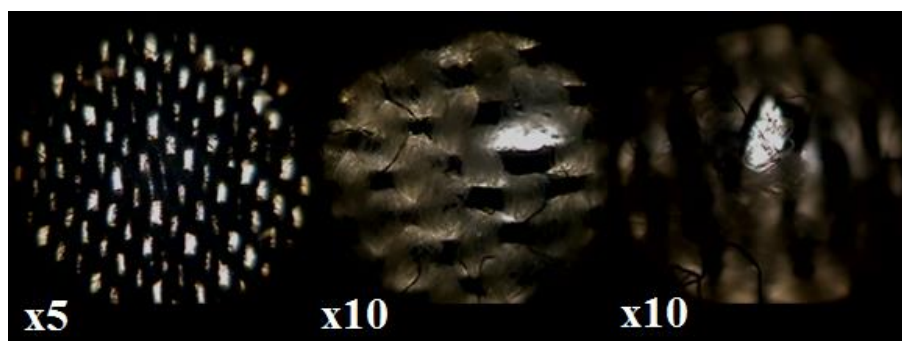
Medžiagoje V1 siūlų pažeidimų užfiksuota labai mažai, tačiau prakertama danga (3.12 pav.). PVC dangos reljefas – mikroskopiškai grublėtas, danga ištisinė, pro ją neprasiskverbia šviesa.



3.12 pav. *Medžiagos V1 pažeidimai nr. 100 adata bei paviršius stebint iš abiejų pusių.*

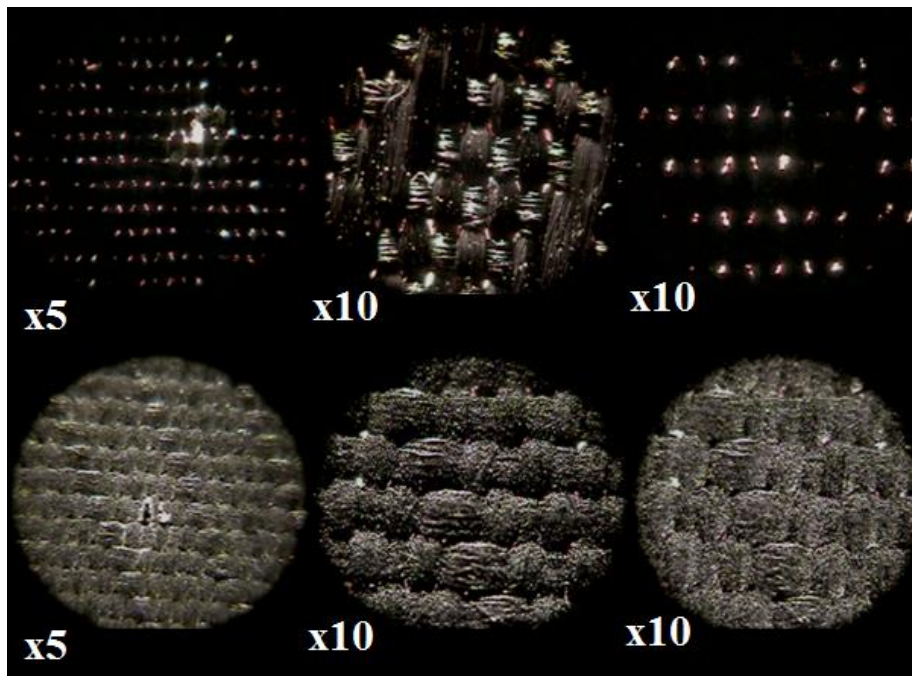
Kitose medžiagose pažeidimų nebuvo galima aiškiai įvertinti. D1 ir V2 medžiagose užfiksuota 4–8 pažeidimai siuvant 110 nr. adata; vidutiniškai 0,523 ir 0,376 mm dydžio. Medžiagoje D1 taip pat rastas vienas pažeidimas nr. 100 adata, 0,605 mm skersmens. Abiejose medžiagose dar rasta struktūrinių nelygumų, kurie galimai yra pažeidimai, ir bandiniuose, pradurtuose 90 nr. adata, tačiau jų dydis yra atitinkamai 0,201 ir 0,261, o vidutinis struktūrinis atstumas (tarpeliai) tarp siūlų – atitinkamai 0,179 ir 0,207 mm, todėl tai galėjo būti vaizdai, fiksuojami dėl medžiagos struktūros.

Kaip jau minėta, medžiagoje D1 tarpeliai tarp siūlų siekia apie 0,04–0,2 mm, tačiau nukirstų siūlų beveik nėra: užfiksuotas vienas toks 0,37 mm dydžio atvejis bandinyje, pradurtame su 90 numerio adata, taip pat vienas 0,605 mm dydžio siuvant 100 numerio adata bei 8 pažeidimai, kurių vidurkis 0,523 mm, duriant su 110 numerio adata. Paviršiaus bei pažeidimo vaizdai pateikiami 3.13 paveiksle.



3.13 pav. *Medžiagos D1 vaizdas apšvietus iš apačios didinant 5 kartus bei didinant 10 kartų apšvietus iš viršaus: paviršius ir pažeidimas nr. 100 adata.*

Medžiagoje V2 pažeidimų dydis beveik nesiskyrė nuo tarpelių tarp siūlų (0,1–0,2 mm), išskyrus didžiausio numerio adatos atvejį, bet net ir tada užfiksuoti tik keturi pastebimi pažeidimai (vidurkis – 0,38 mm). Nustatyta, jog medžiagai būdinga užpurkšta danga, padengianti siūlus, tačiau nesuformuojanti vientiso sluoksnio (3.14 pav.).

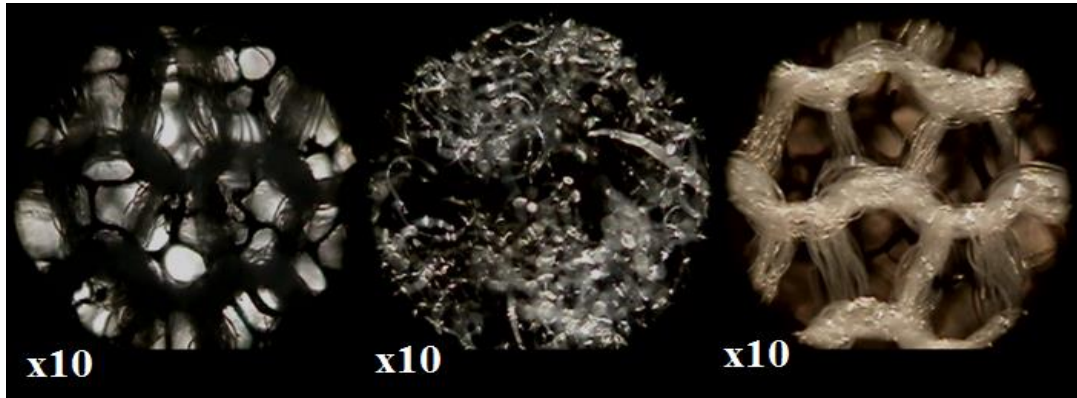


3.14 pav. Medžiagos V2 pažeidimai nr. 110 adata (kairėje) ir padidintas paviršius (dešinėje ir per vidurį), iš gerosios (viršuje) ir blogosios – dangos (apačioje) pusės.

I grupės medžiagų pažeidimai nebuvo matomi pro mikroskopą; pavyko pastebėti tik keletą apveltų siūlų, tačiau jie galimai yra medžiagos struktūros dalis. Nukirstų siūlų neužfiksuota.

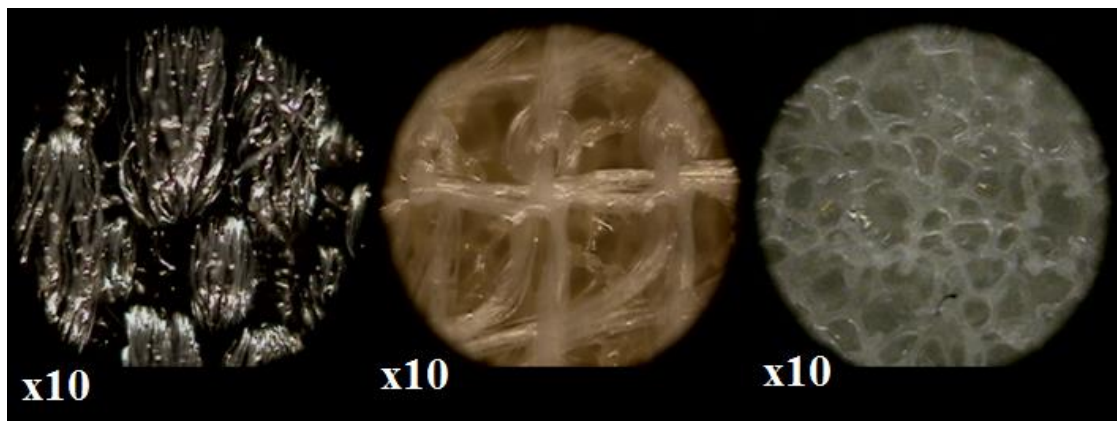
Teigti, jog šios medžiagos siuvimo metu visiškai nepažeidžiamos, negalima, tačiau vizualinis įvertinimas patvirtina, jog pradūrimas adata šių medžiagų siūlių estetiniam vaizdui neigiamos įtakos nedaro, o jo įtaka sujungimo kokybei – minimali.

Medžiagos B1 tyrimas patvirtina ankstesnio bandymo metu iškeltą prielaidą: medžiagos struktūra yra itin kiaura ir nevientisa (3.15 pav.), todėl neįmanoma nustatyti, kurios skylutės galėtų būti pažeidimai, o adata gali lengvai pradurti medžiagą nesutikdama esminio pasipriešinimo.



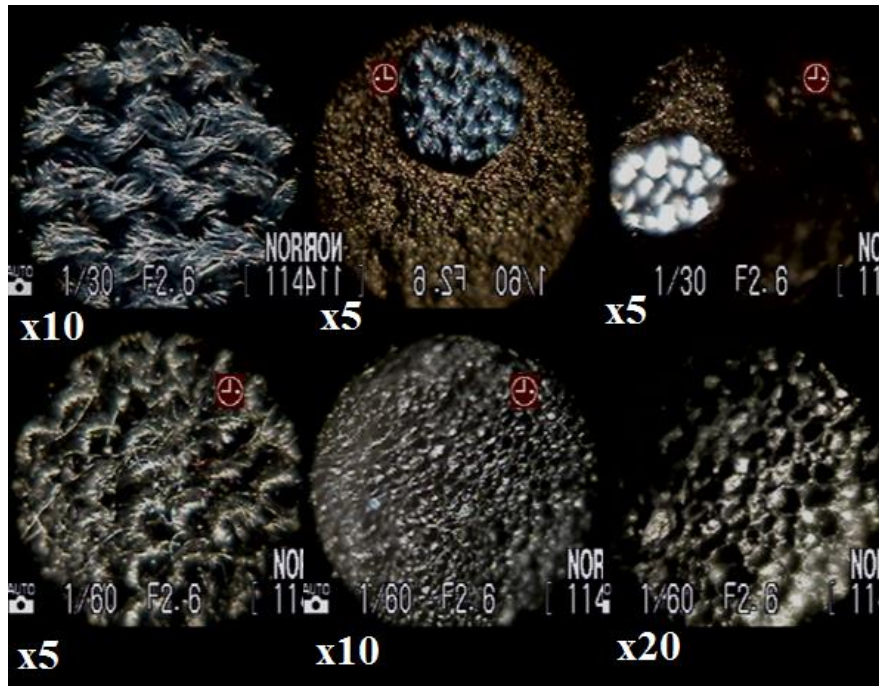
3.15 pav. Medžiagos B1 struktūra iš gerosios (viduryje) ir blogosios pusių

Medžiagos K1 poliuretano sluoksnis yra itin tankus ir visiškai nepraleidžia šviesos, tai paaiškina dideles K1 pradūrimo jėgos vertes. Pažeidimai nematomi nei plika akimi, nei pro mikroskopą nė viename iš trijų medžiagą sudarančių sluoksnių (3.16 pav.).

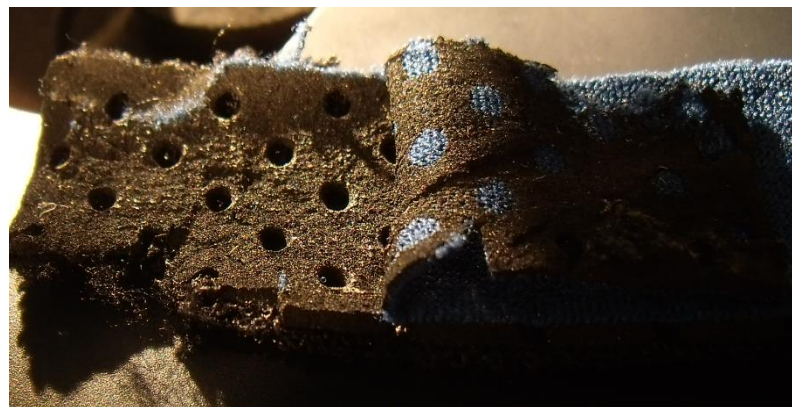


3.16 pav. Medžiagos K1 struktūra, eilės tvarka: iš gerosios ir blogosios pusių, bei vidinio sluoksnio vaizdas, nuplėšus vieną iš išorinių sluoksnių

Taip pat šviesos nepraleidžia ir medžiaga N1 (3.17 pav.), tačiau čia randama struktūrinių tarpelių užpilde. Tai patvirtina prielaidą, jog iš bendro konteksto iškrentančios mažos pradūrimo jėgos vertės galėjo būti gautos adatai pataikant į šias skylutes (3.18 pav.). Abiem medžiagos išoriniams sluoksniams būdinga kilpuota, „plaušėta“ struktūra, todėl, vertinant vizualiai, neįmanoma pasakyti, kurioje vietoje smigo adata. Pažeidimų galimai yra vidiniame sluoksnyje, tačiau medžiagos sluoksnių atskirti jų nepažeidžiant esamomis sąlygomis buvo neįmanoma.



3.17 pav. Medžiagos N1 paviršiaus vaizdas iš abiejų pusių (kairėje), struktūrinės skylutės išdidintas vaizdas apšviečiant iš viršaus ir iš apačios (viršuje) bei vidinio sluoksnio vaizdas prakirpus (apačioje)

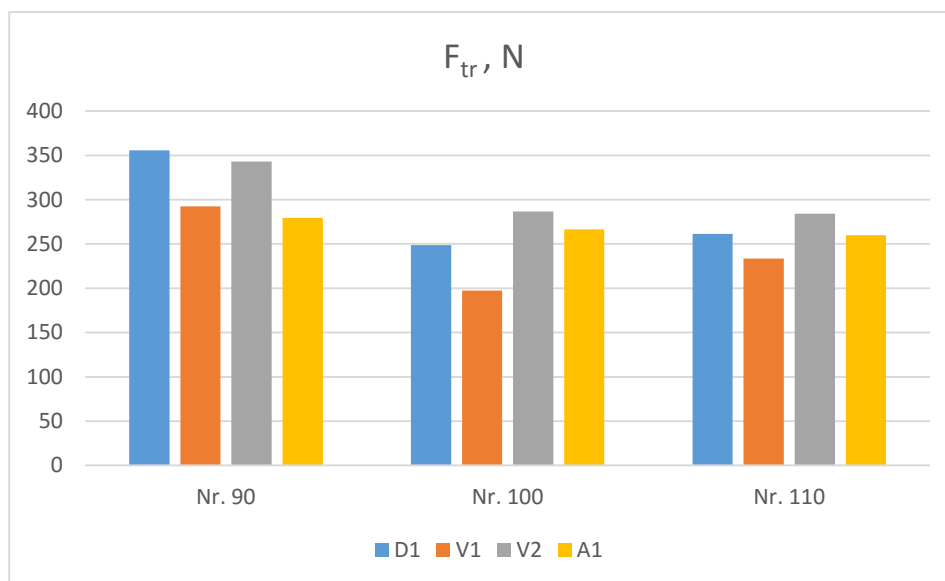


3.18 pav. Neopreno vidinis sluoksnis

Pažeidimai ryškiai matomi visose III grupės medžiagose, bei medžiagose su ištisa danga, todėl šias medžiagas būtina siūti atsargiai, nes siūlių ardyti ir kartoti neįmanoma, neperkerpant detalių. Tai primena odos siuvimo procesą.

Šiuo pagrindu daroma prielaida, jog laminuotų ir dengtų daugiasluoksnių medžiagų charakteristikos gali būti artimos dirbtinėms ir natūralioms odoms; pastarosios taip pat pasižymi sąlyginai nedideliu storiumi ir dideliu paviršiniu tankiu (pavyzdžiui, 1 mm ir 650 g/cm²) [47].

Siūlės trūkimo jėgos tyrimo metu išmatuotų verčių paklaidos (kai trūko siūlai) neviršijo 16,91 % (variacijos koeficientas šiais atvejais neviršijo 6,81 %). Duomenys pateikiami 3 priede. II grupės medžiagų siūlių trūkimo jėgos ryšio su adatos skersmeniu rezultatai pateikiami 3.19 paveiksle.



3.19 pav. Kontrolinės ir II grupės medžiagų dviejų sluoksnių junginiams suardyti reikalingos jėgos

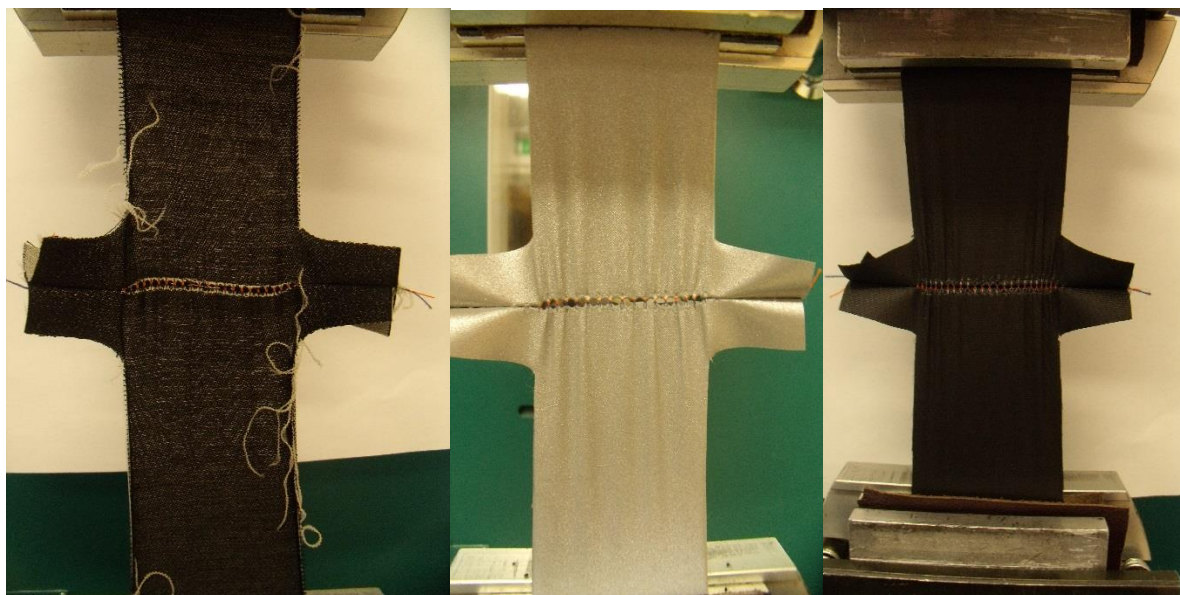
Matoma, jog mažesnio skersmens adata siūtų, taigi mažiau pažeistų medžiagų junginių siūlės yra 7–20 % tvirtesnės, tai priklauso nuo medžiagos. O adatos skersmeniui didėjant šio parametro įtaka mažėja – nr. 100 ir nr. 110 adatomis siūtų medžiagų junginių trūkimo jėgos yra panašios.

Įdomus atvejis liauniausių medžiagų – D1 ir V1. Vertinant bandymų rezultatus, matyti, kad lengviausiai trūksta siūlė, siuvama 100-ojo numerio adata, o siuvant storesne adata siūlės stiprumas nežymiai padidėja. V1 atveju skirtumas gana ženklus, todėl siekiant geriau paaiškinti šį atvejį gali reikėti papildomų tyrimų. Matavimų paklaidos pateikiamos 3 priede.

V2 atveju trūkimo jėga beveik nesiskiria tarp 100 ir 110 adatos numerio, A1 – keičiasi nežymiai. Medžiaga A1 šioje grupėje išsiskiria didžiausia pradūrimo jėga, nes medžiaga yra su vientisa, gumą primenančios struktūros danga, atspindinčia šviesą.

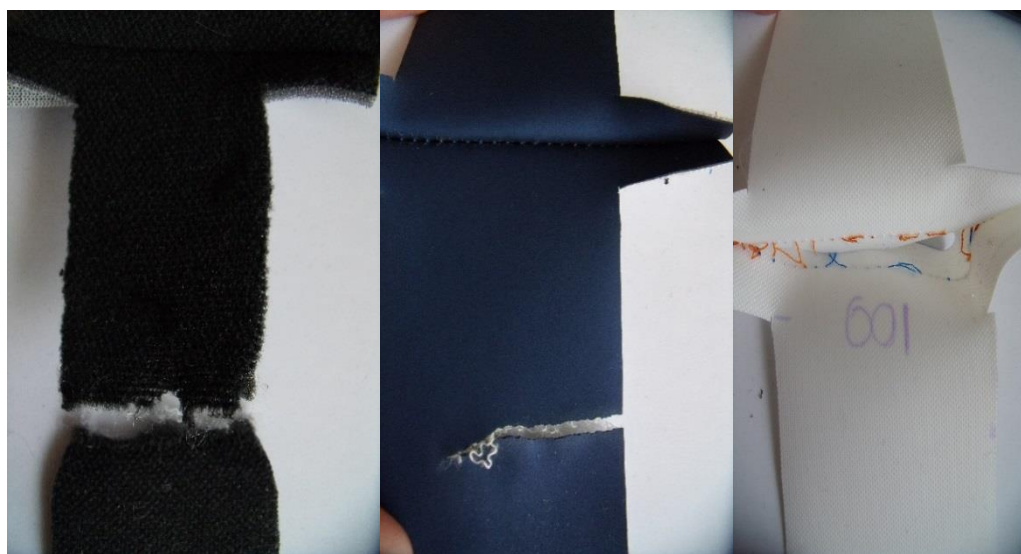
Taip pat nustatyta, jog liauniausių – sąlygiškai nedideliu storiu, paviršiniu tankiu ir pradūrimo jėga tarp tirtųjų pasižyminčių – medžiagų junginiai buvo patys stipriausi. Tai galima paaiškinti anksčiau ištirta šių medžiagų struktūra: jose nėra vientiso, siūlų sistemų paslankumą apribojančio sluoksnio, todėl medžiagos ir siūlės gerai tįsta. Kitos dvi medžiagos pasižymi nestora, tačiau ištisine danga, kuri apribojo medžiagas sudarančių siūlų sistemų laisvumą, todėl tempimo jėga, tenkanti siūlei, buvo didesnė.

Šiuo atveju visada pirmiausia trūko siūlės siūlai, o prieš jiems plystant siūlėje formavosi tarpelis per visą veikiamą zoną (3.20 pav.).



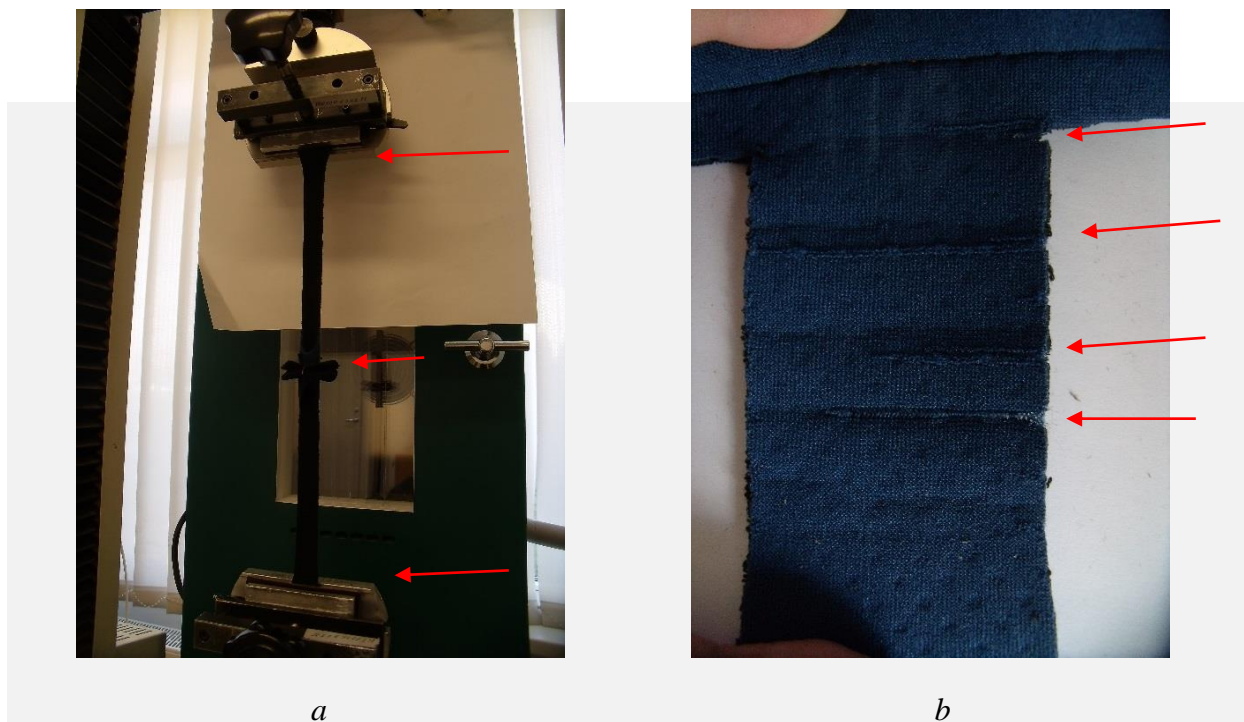
3.20 pav. Medžiagų D1, A1 bei V1 vaizdas tempimo metu

Tiriant kitas medžiagas, iškilo sunkumų: medžiagos B1 ir T1 trūko prie spraustuvų, o T2 buvo perpjaunama siūlės siūlų (3.21 pav.). Daroma išvada, jog siūlės šiuo atveju buvo stipresnės už medžiagą.

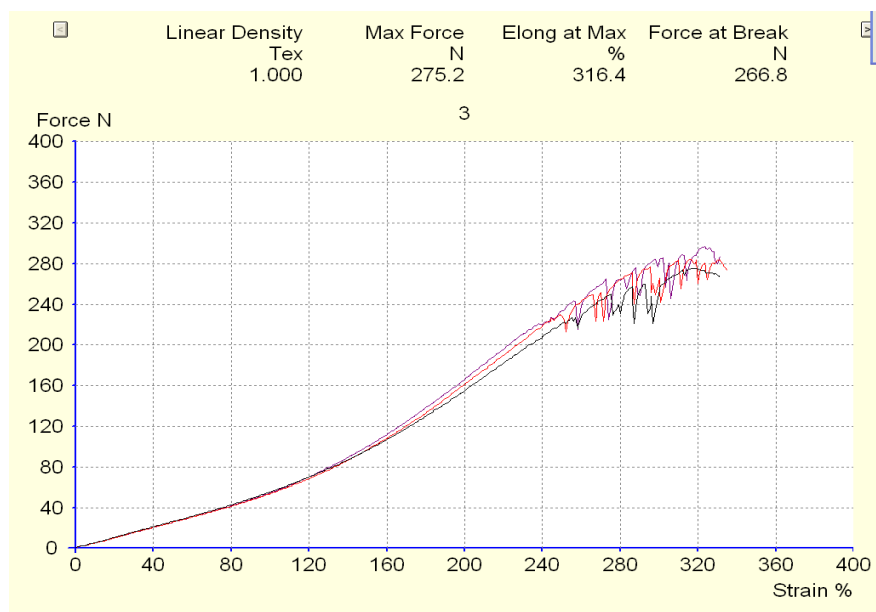


3.21 pav. Medžiagų B1, T1 ir T2 vaizdas po bandymo

Priešingai, tempiant N1 bandinius netrūko nei medžiaga, nei siūlė. Dauguma atvejų bandinys išslysdavo iš spraustuvų pasiekęs didesnę nei 300 % ištįsą (3.22 pav., a), o tempimo jėga peržengus maždaug 220 N ribą imdavo banguoti – kristi ir vėl kilti, brėždama laužytą tempimo kreivę (3.23 pav.). Taip atsitiko dėl medžiagos vidinio sluoksnio – neopreno trūkinėjimo statmenai tempimo krypties. Polimero sluoksnis buvo pažeidžiamas negrįžtamai (3.22 pav., b).



3.22 pav. Medžiagos N1 vaizdas; a – tempimo proceso metu, b – po jo

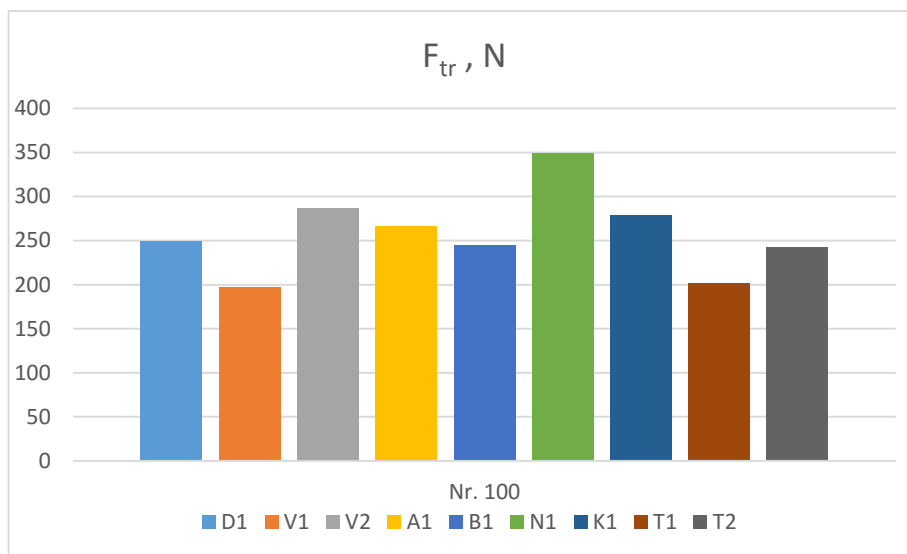


3.23 pav. Programos „QMat“ užfiksuotas medžiagos N1 tempimo jėgos grafikas

Keletą N1 bandinių vis dėlto pavyko suardyti; šiais atvejais trūko siūlai, tačiau medžiagos vidinis sluoksnis taip pat buvo pažeistas tempimo metu.

K1 atveju irgi plyšo siūlai, o medžiagos pažeidimai buvo minimalūs – šios medžiagos vidinis sluoksnis yra tankus ir netamprus, todėl ji beveik netįso tempimo metu.

Toliau pateikiamas visų medžiagų junginių trūkimo jėgos siuvant nr. 100 adata palyginimas (3.24 pav.) įvertinant ir atvejus, kai trūko siūlai, ir atvejus, kai plyšo medžiaga.



3.24 pav. Visų medžiagų siūlių suardymo jėgos, kai siūlė susiuvama nr. 100 adata. D1, V1, V2, A3, N1, K1 atvejais trūko siūlai, B1 bei T1 – trūko medžiaga prie spraustuvų, T2 – plyšo medžiaga ties siūle.

Matoma, jog šiuo atveju, skirtingai nei kituose bandymuose, rezultatai pasiskirstė ne pagal grupes. Lengviausiai suardomi junginiai iš medžiagų V1 ir T1 – pirmoji pasižymi mažesne pradūrimo jėga, antroji – didesniais pažeidimais. Vienintelė jas vienijanti savybė – ištisinė danga ir sąlyginis standumas, nors T1 danga yra keliskart storesnė.

Ankstesniuose tyrimuose nustatyta, jog tekstilės ir porolono sistemų trūkimo jėga yra 5-8% didesnė nei pavienių medžiagų [48], tačiau gauti rezultatai to nepatvirtina, nes baldinė medžiaga B1 trūksta lengviau nei vienasluoksnė D1.

Didžiausia suardymo jėga pasižymi medžiaga N1. Galima daryti prielaidą, jog tai lemia jos išskirtinis tamprumas. Toliau rikiuojasi V2 ir K1 – ir vėl panašūs rezultatai gaunami skirtingų savybių medžiagoms: V2 yra plona ir lanksti, be ištisinės dangos, o K1 – stora ir kieta. Šiuo atveju, siūlės tvirtumas priklauso nuo kitų veiksnių, pavyzdžiui, šlyties bei deformacinių savybių.

3.3. Daugiasluoksnių tekstilės medžiagų siuvamumo vertinimas

Ankstesniu bandymu nustatyta, jog medžiagų pradūrimo jėga nesikeičia, kintant dygsnio tankumui. Kadangi siuvamumo koeficientas tiesiogiai proporcingas pradūrimo jėgai, rezultatai pagal dygsnio tankumą atskirai neskaičiuojami.

Gautos siuvamumo koeficiento vertės tirtoms medžiagoms skirtingomis sąlygomis pateikiamos 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Daugiasluoksnių medžiagų siuvamumo koeficientų priklausomybė nuo adatos skersmens

Kodas		D1	B1	N1	K1	V1	V2	A1	A2	A3	T1	T2
1 sluoksnis												
K _S	nr. 90	0,013	0,248	0,337	0,415	0,036	0,029	0,049	0,087	0,134	0,122	0,066
	nr. 100	0,034	0,536	0,350	0,458	0,052	0,052	0,053	0,093	0,141	0,116	0,070
	nr. 110	0,051	0,620	0,352	0,470	0,050	0,065	0,056	0,096	0,139	0,130	0,074
2 sluoksniai												
K _S	nr. 90	0,084	0,786	0,367	0,552	0,074	0,092	0,066	0,092	0,146	0,129	0,076
	nr. 100	0,134	0,919	0,370	0,553	0,079	0,104	0,066	0,096	0,148	0,130	0,077
	nr. 110	0,149	1,015	0,370	0,573	0,086	0,113	0,068	0,096	0,149	0,132	0,078

Šie rezultatai rodo, jog dauguma tirtųjų medžiagų yra lengvai perdirbamos į aprangos gaminius be jokių apribojimų, išskyrus I grupės medžiagas. Medžiagoms N1 ir K1 rekomenduojama modifikuoti apdorojimo parametrus: naudoti įrangą, skirtą didelio storio medžiagoms siūti (bandymai atlikti su universalios paskirties siuvimo mašina). Galima atlikti bandymus su 80, 70 numerio adatomis - tikėtina, kad mažesnio skersmens adatos padėtų sumažinti pradūrimo jėgą, tačiau tuomet reikėtų iš naujo įvertinti sujungimo kokybę ir stiprumą, nes naudojant mažesnio skersmens adatas turi būti parenkami plonesni siuvimo siūlai. Medžiaga B1, vertinant pagal siuvamumo koeficientą, netinkama jungti siūlėmis.

Analizuojant tiriamąsias medžiagas ir gautus rezultatus, medžiagų vertinimas pagal siuvamumo koeficientą kelia abejonių. Nors medžiaga B1 nėra stipri (sprendžiant pagal tempimo bandymu nustatytą didžiausią suardymo jėgą – 244 N), ir mažai tinkama gaminti aprangą, jos pradūrimo jėga yra mažiausia iš tirtųjų medžiagų (siuvant du sluoksnius siekia 5 - 6,8 N), todėl negalima teigti, kad ji sunkiai perdirbama. Koeficiento vertė nulemta medžiagos savybių: didelio storio ir mažo paviršinio tankio, todėl galima teigti, kad ne visoms medžiagoms įvertinti tinka pasirinktas koeficientas.

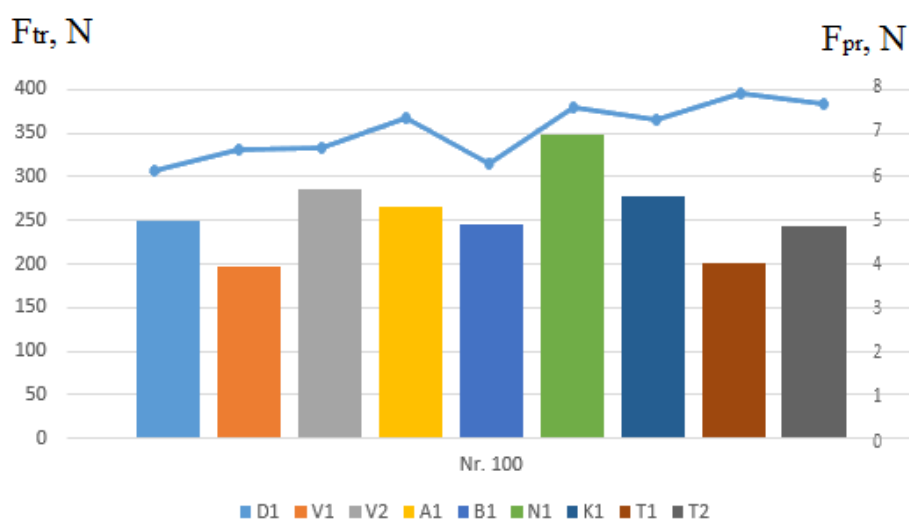
Vertinant pagal gautą siuvamumo koeficientą, jungimui siūlėmis tinkamos medžiagos A3 ir T2, tačiau iš tiesų jos yra probleminės. A3 – tai kieta atšvaitinė juosta, tinkama tik prisiūti ant tekstilės, prastai formuojama, taip pat pasižyminti gana didele pradūrimo jėga (7,7 – 7,8 N). Tai lemia jos struktūra – sluoksniai iš lieto plastiko (2.1 lentelė). To paties storio ir paviršinio tankio vienasluoksnis audinys sudarytas iš persipinančių siūlų sistemų veikiausiai iš tiesų būtų lengvai perdirbamas.

Medžiaga T2 laminuoto PVC sluoksnio dėka yra slidi, o tai apsunkina siuvimą. Be to, siūlių kokybės tyrimo metu nustatyta, jog šios medžiagos sujungimas siūlais yra netvirtas, nes siūlai „pjauna“ medžiagą (didžiausioji siūlės trūkimo jėga 172,93 N, 3.2 skyrelis). Gaminiamis iš medžiagos T2 daug labiau tiktų jungimas klizais arba lydant.

Apibendrinant šiuos rezultatus galima teigti, jog siuvamumo koeficiento metodas nėra pritaikytas įvertinti daugiasluoksnėms medžiagoms, kurios savo sandaros rodikliais gali būti panašios į vienasluoksnius audinius. Siekiant geriau aprašyti tiriamas medžiagas, ieškoma ryšio tarp tirtųjų medžiagų savybių ir gautų rezultatų.

Lygindami pradūrimo ir siūlių tempimo bandymų rezultatus matome, jog ryškios sąsajos tarp medžiagų pradūrimo jėgos ir siūlės stiprumo nėra (3.25 pav.). Nors viena iš didžiausių pradūrimo jėgų (7,5 N) nustatyta medžiagai N1 ir iš šios medžiagos taip pat buvo sudaryta tvirčiausia siūlė (trūkimo jėga - 348,8 N), iš kitos sunkiai praduriamos medžiagos T1 sudaryto junginio stiprumas – vienas mažiausių (206 N). Panašiu siūlės tvirtumu pasižymi dvi visiškai skirtingos medžiagos – V2 ir K1 (atitinkamai 286 ir 278 N), kurios yra mažiausio ir didžiausio lenkiamojo standžio iš tirtųjų medžiagų (2.1 skyrius, 2.1 lentelė), viena su plonu dangos sluoksniu, kita – su poliuretano putų vidiniu sluoksniu. Šios medžiagos neturi artimų charakteristikų.

Daroma išvada, jog nuo pradūrimo jėgos siūlės tvirtumas nepriklauso, tačiau šis rodiklis gali turėti įtaką medžiagos paviršiaus pažeidimo dydžiui ir pobūdžiui, kas neabejotinai lemia siūlės kokybę.

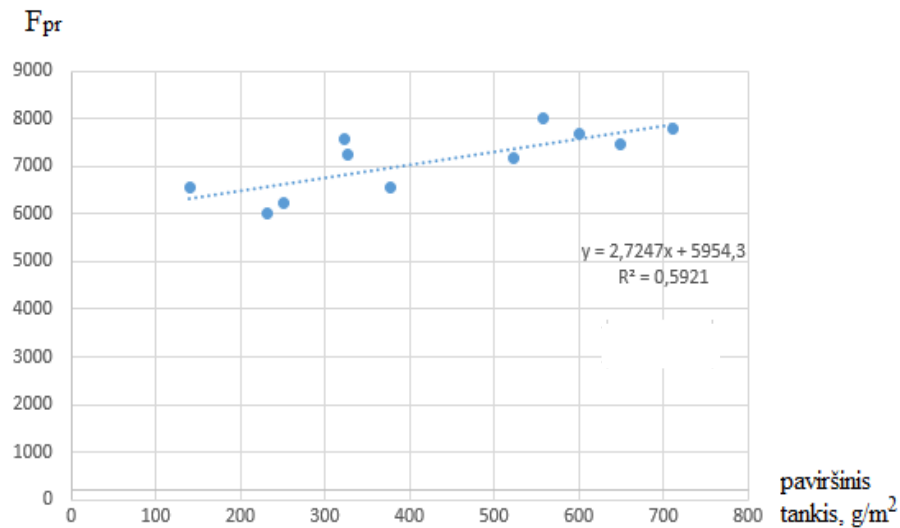


3.25 pav. Medžiagų siūlių stiprumas ir pradūrimo jėga

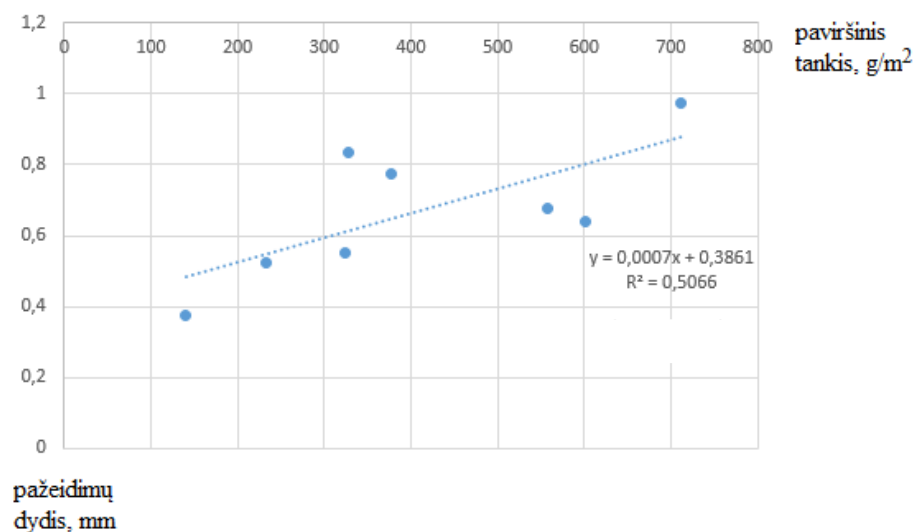
Nors 3.25 paveiksle parodyti dydžiai tiesiogiai nesisieja, galima įžiūrėti tam tikrus dėsningumus. Tikrinamas koreliacinis ryšys tarp bandymų rezultatų. Kadangi junginiui pasiūti reikalingi bent du medžiagos sluoksniai, pradūrimo jėgos vertės taip pat imamos dviem sluoksniams.

Atitinkamai patikrinus visus ryšius, nustatyti silpni (~0,4) koreliaciniai ryšiai tarp pradūrimo jėgos ir pažeidimų dydžio, siūlės trūkimo jėgos ir medžiagos storio, trūkimo jėgos ir pažeidimų dydžio, taip pat lenkiamojo standžio ir storio bei lenkiamojo standžio ir pradūrimo jėgos (4 priedas).

Nustatytas vidutinio stiprumo (0,71–0,77) koreliacinis ryšys tarp pradūrimo jėgos ir paviršinio tankio (3.26 pav.), ir paviršinio tankio bei pažeidimų praduriant dydžio (3.27 pav.).



3.25 pav. Vidutinio stiprumo koreliacinis ryšys ($r=0.77$) tarp tirtų medžiagų pradūrimo jėgos ir paviršinio tankio



3.25 pav. Vidutinio stiprumo koreliacinis ryšys ($r=0.71$) tarp tirtų medžiagų paviršinio tankio ir pažeidimų adata dydžio

Galima teigti, jog yra statistinis ryšys tarp pradūrimo jėgos, pažeidimų dydžio bei medžiagos paviršinio tankio. Remiantis šiais parametrais, gali būti atliekami tolesni tyrimai siuvamumo koeficientui, pritaikytam daugiasluksnėms medžiagoms, apibrėžti.

TYRIMO REZULTATAI, IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Sudaryta dešimties daugiasluoksnių medžiagų tyrimo imtis, suskirstant į 3 grupes pagal pirminį subjektyvų struktūros įvertinimą. Išmatavus tiriamųjų medžiagų praduriamumą nustatyta, jog didžiausią įtaką daugiasluoksnių medžiagų praduriamumui turi medžiagos struktūra ir polimerinio sluoksnio charakteristikos. Medžiagos storio ir paviršinio tankio įvertinimas nėra informatyvus, vertinant medžiagos perdirbimo į gaminius galimybes.

Daugiasluoksnių medžiagų elgseną sunku prognozuoti, tačiau jos paklūsta keletui bendrųjų dėsnių: jų pradūrimui reikalinga jėga didėja didėjant adatos skersmeniui, tačiau skersmens įtaka mažesnė nei siuvant įprastas medžiagas, ir priklauso nuo konkrečių medžiagų struktūros ir charakteristikų visumos.

Dalies tirtų medžiagų (III gr.) sluoksnių skaičius beveik neįtakojo pradūrimo jėgos (pokytis 3–9 %) - tai svarbu, jei norima susiūti skirtingas medžiagas (ypač aktualu atšvaitinėms medžiagoms), nes pradūrimo jėga labai išauga siuvant tik vieną sluoksnį šių medžiagų.

Nustatyta, jog įprastoms medžiagoms taikomi siuvamumo vertinimo kriterijai (siuvamumo koeficientas) nėra tinkami tiksliai apibūdinti daugiasluoksnių medžiagų savybes. Rekomenduojami tolesni tyrimai šioje srityje parenkant ar sukuriant patikimus vertinimo kriterijus.

Rekomenduojama atlikti papildomus tyrimus ir palyginti III grupei artimas daugiasluoksnes medžiagas su dirbtinės ir natūralios odos siuvamumu.

Rekomenduojama tęsti medžiagos paviršiaus pažeidimo adata tyrimus. Sudėtingas susiformuojančio pažeidimo adata kontūras gali būti aprašomas pritaikant kontūro sekimo funkcijas užfiksuoto padidinto vaizdo apdorojimo programose.

Tiriamos medžiagos gali būti perdirbamos į gaminius be specialių apribojimų, išskyrus I grupės medžiagas, kurias siuvant būtina atsižvelgti į storį ir naudoti atitinkamas priemones. A2 ir A3 medžiagas rekomenduojama siūti ne mažesnio nei 100 numerio adatomis ir ne daugiau nei vieną sluoksnį (neįskaitant kitų medžiagų) vienu metu. T2 medžiagą rekomenduojama jungti siūles klijuojant arba lydant. Laminuotoms ir stora danga pasižyminčioms medžiagoms siūti rekomenduojama išbandyti odai skirtas specialios formos adatas bei įrengimus.

LITERATŪROS ŠALTINIAI

- [1] – Watkins, S. M. Development of protective clothing [žiūrėta 2014 m. gruodžio 9 d.]. Prieiga per internetą: <http://fashion-history.lovetoknow.com/alphabetical-index-fashion-clothing-history/protective-clothing>.
- [2] – Barbee, T. R. Atomic Engineering With Multilayers [žiūrėta 2016 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://str.llnl.gov/str/Barbee.html>.
- [3] – Maklewska, E., Nawrocki, A., Kowalski, K., Andrzejewska, E., Kuzanski, W. New measuring device for estimating the pressure under compression garments // *International Journal of Clothing Science and Technology*, 2007, vol. 19, iss: 3/4, p. 215–221.
- [4] – Antanavičiūtė, A., Sacevičienė, V., Jucienė, M. Eksploatacinių poveikių įtaka neopreno stiprumui // *Pramonės inžinerija 2015: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2015, p. 18–23.
- [5] – Vitkutė, A., Sacevičienė, V., Masteikaitė, V. Varginimo įtaka laminuotų tekstilės medžiagų standumui // *Gaminių technologijos ir dizainas 2007: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2007, p. 184-187.
- [6] – Šešelgytė, E., Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Arcišauskaitė, R. Daugiasluoksnių tekstilės laminatų vandens garų resorbcijos-desorbcijos tyrimas // *Gaminių technologijos ir dizainas 2007: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*. Kaunas: Technologija, 2007, p. 49-53.
- [7] – Pavlinič, D. Z., Geršak, J. Investigations of the relation between fabric mechanical properties and behaviour // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2003, vol. 15, no. 3/4, p. 231–240.
- [8] – Adams, P. S., Slocum, A. C., Keyserling, W. M. A Model for Protective Clothing Effects on Performance // *International Journal of Clothing Science and Technology*. MCB University Press. 1994, vol. 6, no. 4, p. 6–16.
- [9] – Lomov, S. V., Primachenko, B. M., Truetzhev, N. N. Two-component multilayered woven fabrics: weaves, properties and computer simulation // *International Journal of Clothing Science and Technology*. MCB University Press. 1997, vol. 9, no. 2, p. 98–112.
- [10] – Matsuo, T. Innovations in textile machine and instrument // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2008, vol. 33, no. 9, p. 288–303.
- [11] – „Pes Planus“ katalogas. Neopreninis kelio įtvaras [žiūrėta 2016 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.pesplanus.lt/lt/kelio-itvaras-neopreninis>.
- [12] – „Pes Planus“ katalogas. Neopreninis čiurnos įtvaras [žiūrėta 2016 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.pesplanus.lt/lt/neopreninis-ciurnos-itvaras>.
- [13] – „Idemus“ katalogas. Neopreniniai šortai [žiūrėta 2016 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.idemus.lt/itvarai/klubo-itvarai/neopreniniai-sortai-4700.html>.

- [14] – Minkštas erdvinis atšvaitas [žiūrėta 2015 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.coolkeychain.com/media/images/normal/funny-reflector-animal-shape-keychains-sno-1984-1.jpg>.
- [15] – „Baltic Promo“ katalogas. Kompiuterių dėklai [žiūrėta 2016 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.balticpromo.lt/prekes/kompiuteriu-deklai/>.
- [16] – B-A.eu katalogas. Vaikiški vežimėliai. [žiūrėta 2016 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.b-a.eu/p509010/vezimelis-graco-evo--navy->.
- [17] – Atšvaitinė juosta [žiūrėta 2015 m. lapkričio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://rdp.lt/images/thumbs/14214164362194.jpeg>.
- [18] – Palapinės ir jų charakteristikos [žiūrėta 2016 m. kovo 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://averto.lt/lt/tinklarastis-praktiniai-patarimai/palapines-pavesines-paviljonai/palapines-pavesines-paviljonai>.
- [19] Office System katalogas. Lietpaltis su gobtuvu [žiūrėta 2016 m. gegužės 4 d.]. – Prieiga per internetą: <http://s2.officesystem.lt/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/7/6/7623.jpg.bigimage.jpg.jpg>.
- [20] – Jankauskaitė, V., Fataraitė, E. Polimerinės dangos ir jų formavimas. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2008. 208 p. ISBN 978-9986-38-879-1.
- [21] – DIY Trade katalogas. Gaisrininko apranga [žiūrėta 2016 m. gegužės 4 d.]. Prieiga per internetą: http://img.diytrade.com/cdimg/1686252/24320741/0/1324886866/Fire_Protective_clothing_Fire_suit_Fireman_Clothing.jpg.
- [22] – Abraitienė, A., Valasevičiūtė, L. Naujausias aukštųjų technologijų ir techninės tekstilės asortimentas. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2008. 42 p. ISBN 978-9986-38-857-9.
- [23] – Velonews katalogas. Sportinis švarkas [žiūrėta 2016 m. gegužės 4 d.]. Prieiga per internetą: http://velonews.competitor.com/2015/12/news/gore-tex-active-jacket-aims-for-waterproof-packability_391029.
- [24] – Sijonas iš neopreno [žiūrėta 2016 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.vinted.lt/moteriski-drabuziai/sijonai-iki-keliu/19311628-pustas-sijonas-is-neopreno>.
- [25] – Shishoo, R. L. Importance of mechanical and physical properties of fabrics in the clothing manufacturing process // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 1995, vol. 7 no. 2/3, p. 35–42.
- [26] – Dobilaitė V., Dapkūnienė K. Siuvinių medžiagų perdirbamumo vertinimo kriterijai // *Gaminių technologijos ir dizainas 2008: konferencijos pranešimų medžiaga*. Kaunas: Technologija, 2008, p. 105–109.
- [27] – Haghghat, E., Etrati, S. M., Najjar, S. S. Evaluation of Woven Denim Fabric Sewability based on Needle Penetration Force // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 9, Issue 2, 2014, p. 47–60.

- [28] – Piečaitytė, E., Dobilaitė, V., Žebrauskienė, Z. Skalbimo įtaka džinsinio audinio pradūrimui // Gaminių technologijos ir dizainas: konferencijos pranešimų medžiaga / Kaunas, Technologija, 2010, p. 91–95.
- [29] – Piečaitytė, E., Dobilaitė, V. Sujungimų technologinių parametrų įtaka džinsinio audinio pradūrimui // Gaminių technologijos ir dizainas 2011: konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas. Kaunas: Technologija. ISSN 1822-492X. 2011, p. 88–91.
- [30] – Sundaresan, G., Hari, P. K., Salhotra, K. L. Strength Reduction in and Damage to Fibres during High-speed Sewing in an Industrial Lockstitch Machine // The Journal of The Textile Institute. Taylor & Francis Informa Ltd. 1998, vol. 89, no. 2, p. 422–435.
- [31] – Midha, V. K., Kothari, V. K., Chatopadhyay, R., Mukhopadhyay, A. Effect of high-speed sewing on the tensile properties of sewing threads at different stages of sewing // International Journal of Clothing Science and Technology. Emerald Group Publishing Ltd. 2009, vol. 21, no. 4, p. 217–238.
- [32] – Stylios, G. K., Zhu, R. The Mechanism of Sewing Damage in Knitted Fabrics // The Journal of The Textile Institute. Taylor & Francis Ltd. 1998, vol. 89, no. 2, p. 411–421.
- [33] – Lomov, S. V. A predictive model for the penetration force of a woven fabric by a needle // International Journal of Clothing Science and Technology. Emerald Publishing. 1998, vol. 10, no. 2, p. 91–103.
- [34] – Carvalho, H., Rocha, A. M., Monteiro, J. L. Measurement and analysis of needle penetration forces in industrial high-speed sewing machine // The Journal of The Textile Institute. Taylor & Francis Informa Ltd. 2009, vol. 100, no. 4, p. 319–329.
- [35] – Dal, V., Kayar, M., Akçagün, E. Examination of the Effects of the Physical Properties of Woven Fabrics on the Heating of Sewing Machine Needles // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. 2014, vol. 22, no. 6(108), p. 113–117.
- [36] – Stjepanovič, Z., Strah, H. Selection of suitable sewing needle using machine learning techniques // International Journal of Clothing Science and Technology. Emerald Group Publishing Ltd. 1998, vol. 10, no. 3/4, p. 209–218.
- [37] – Haghghat, E., Etrati, S. M., Najar, S. S. Modeling of needle penetration force in denim fabric // International Journal of Clothing Science and Technology. Emerald Group Publishing Ltd. 2013, vol. 25, no. 5, p. 361–379.
- [38] – Gurarda, A., Meric, B. Sewing Needle Penetration Forces and Elastane Fiber Damage during the Sewing of Cotton/Elastane Woven Fabrics // Textile Research Journal. 2005, no. 8, p. 628–633.
- [39] – Gurarda, A., Meric, B. The Effects of Elastane Yarn Type and Fabric Density on Sewing Needle Penetration Forces and Seam Damage of PET/Elastane Woven Fabrics // Fibres & Textiles in Eastern Europe, vol. 15, no. 4 (63), 2007, p. 73–76.

- [40] – Ujevic, D., Šajatovic, B. B., Doležal, K., Hrženjak, R., Wadsworth, L. Influence of Sewing Needle Penetration Force on the Quality of Knitted Garment // Beltwide Cotton Conferences, Nashville, Tennessee, 8–11 January, 2008. p. 1812–1821.
- [41] – Mamalis, P., Andreopoulos, A., Spyrellis, N. The effect of a durable flame-retardant finishing on the mechanical properties of cotton knitted fabrics // International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 13, no. 2, MCB University Press, 2001, p. 132–144. ISBN 0955-6222.
- [42] – Lietuvos standartas. LST EN ISO 5084:2000. Tekstilė. Tekstilės gaminių ir medžiagų storio nustatymas. Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.
- [43] – Tarptautinis standartas. ISO 3801. Textiles – Woven fabrics – Determination of mass per unit length and mass per unit area.
- [44] – Masteikaitė, V., Dobilaitė, V., Vaitkevičienė, V., Domskienė, J. Aprangos kokybės vertinimas. Laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 95 p.
- [45] – Milašius, R. Tekstilės eksperimento teorija ir praktika. – Kaunas: Technologija, 2011. 44 p. ISBN 9789955258995.
- [46] – Daukantienė, V., Dobilaitė, V., Petrauskas, A., Urbelis, V. Siuvinių gamybos technologija. – Kaunas: Technologija, 2011. 738 p. ISBN 978-609-02-0934-9.
- [47] – Zubauskienė, D., Strazdienė, E., Sacevičienė, V. Dirbtinės odos eksploatacinio stabilumo vertinimas // Gaminių technologijos ir dizainas 2011: konferencijos pranešimų medžiaga / Kaunas: Technologija, 2011, 118-121 p.
- [48] – Zumarienė, J., Strazdienė, E. Tekstilės ir porolono sistemų savybių tempiant analizė // Gaminių technologijos ir dizainas 2007: konferencijos pranešimų medžiaga / Kaunas: Technologija, 2007, 175-179 p. ISSN 1822-492X.

PRIEDAI

1 priedas. Tiriamų medžiagų pradūrimo jėgos vertės, sklaida ir paklaidos.

Duomenys pateikiami 1 priedo lentelėje. Visais atvejais $n=25$, išskyrus D1 ir V2 medžiagų atveju, kur bandinių skaičius $n=15$.

1 priedo lentelė. Pradūrimo eksperimento rezultatai

Medžiagos kodas	D1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm^{-1}	Vidutinė vertė F_{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	665,83	73,74	11,08	56,78	8,53
		4	579,92	83,77	14,45	39,15	6,75
		5	594,32	100,66	16,57	73,53	12,11
	100	3	1321,15	149,40	11,31	83,45	6,32
		4	1568,78	138,76	7,81	116,27	6,54
		5	1516,74	198,46	13,09	132,34	8,73
	110	3	2222,01	300,69	13,53	113,09	5,09
		4	2326,72	374,68	16,10	140,92	6,06
		5	2256,34	321,73	14,26	121,00	5,36
2 sluoksniai	90	3	3730,34	557,91	14,96	274,83	7,37
		4	3798,99	575,37	15,15	300,14	7,91
		5	3712,73	535,51	14,42	238,61	6,43
	100	3	5806,40	491,94	8,47	265,46	4,57
		4	6025,69	504,94	8,38	248,74	4,13
		5	5999,76	493,29	8,22	230,53	3,84
	110	3	6657,47	348,00	5,23	130,88	1,97
		4	6872,84	172,83	2,51	65,00	0,95
		5	6594,20	369,16	5,60	138,84	2,11
Medžiagos kodas	N1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm^{-1}	Vidutinė vertė F_{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	6682,47	546,86	8,18	421,08	6,30
		4	6931,77	431,40	6,22	201,61	2,91
		5	6800,71	396,83	5,80	289,88	4,26
	100	3	7055,34	326,65	4,63	251,52	3,57
		4	7085,14	339,66	4,79	158,74	2,24
		5	6960,40	378,91	5,44	276,79	3,98
	110	3	7053,22	442,83	6,28	340,98	4,83
		4	7098,66	355,64	5,01	166,20	2,34
		5	7224,721	325,72	4,51	237,94	3,29
2 sluoksniai	90	3	7348,34	288,10	3,92	141,92	1,93
		4	7408,05	120,75	1,63	63,09	0,85
		5	7389,97	211,36	2,86	94,18	1,27
	100	3	7476,91	175,35	2,35	86,38	1,16
		4	7464,13	135,23	1,81	70,66	0,95
		5	7438,79	171,19	2,30	76,28	1,03
	110	3	7455,97	182,86	2,45	90,08	1,21
		4	7449,12	228,39	3,07	119,33	1,60
		5	7441,31	176,30	2,37	78,56	1,06

Medžiagos kodas	B1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	1824,58	280,72	15,39	216,15	11,85
		4	1644,52	250,24	15,22	116,95	7,11
		5	1684,74	239,17	14,20	174,71	10,37
	100	3	3643,99	507,42	13,93	390,71	10,72
		4	3437,67	569,38	16,56	266,09	7,74
		5	3658,27	601,41	16,44	439,32	12,01
	110	3	4131,42	675,24	16,34	519,93	12,59
		4	4207,08	721,98	17,161	337,41	8,02
		5	4409,06	602,15	13,66	439,87	9,98
2 sluoksniai	90	3	5382,64	581,35	10,80	286,38	5,32
		4	5003,42	340,61	6,81	177,97	3,56
		5	5329,15	515,53	9,67	229,72	4,31
	100	3	6234,0	603,11	9,68	297,10	4,77
		4	6219,91	487,12	7,83	254,52	4,09
		5	6342,11	482,28	7,60	214,90	3,39
	110	3	6884,21	444,29	6,45	218,86	3,18
		4	6862,77	427,98	6,24	223,62	3,26
		5	6973,233	328,68	4,71	146,46	2,10
Medžiagos kodas	K1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	4812,93	511,45	10,63	393,82	8,18
		4	5574,42	576,24	10,34	269,30	4,83
		5	5387,81	625,19	11,60	456,70	8,48
	100	3	6089,58	503,65	8,27	235,38	3,87
		4	5945,53	505,72	8,51	236,34	3,98
		5	5852,67	732,71	12,52	342,42	5,85
	110	3	5824,62	877,80	15,10	361,65	6,21
		4	6314,59	717,69	11,37	295,688	4,68
		5	6097,73	584,16	9,58	240,68	3,95
2 sluoksniai	90	3	7167,02	78,07	1,09	38,46	0,54
		4	7094,22	181,94	2,57	95,06	1,34
		5	7171,18	137,87	1,92	61,43	0,86
	100	3	6821,17	603,20	8,84	281,90	4,13
		4	7183,31	362,64	5,05	169,48	2,36
		5	7297,97	210,27	2,88	98,27	1,35
	110	3	7332,33	408,34	5,57	291,83	3,98
		4	7443,97	212,38	2,85	99,26	1,33
		5	7435,48	200,29	2,69	93,60	1,26
Medžiagos kodas	A1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	5271,22	522,80	9,92	196,63	3,73
		4	5305,89	410,30	7,73	154,32	2,91
		5	5385,34	264,64	4,91	99,53	1,85

2 sluoksniai	100	3	5768,82	563,42	9,77	196,19	3,40	
		4	5887,36	266,55	4,53	92,81	1,58	
		5	5794,12	242,15	4,18	84,32	1,46	
	110	3	6301,79	333,74	5,30	137,50	2,18	
		4	6152,12	256,83	4,18	105,81	1,72	
		5	6193,46	274,78	4,44	113,21	1,83	
	2 sluoksniai	90	3	7171,22	232,21	3,24	87,33	1,22
			4	7112,11	270,41	3,80	101,70	1,43
			5	7205,67	292,43	4,06	109,98	1,53
100		3	7133,96	190,59	2,67	66,37	0,93	
		4	7236,54	157,52	2,18	64,90	0,90	
		5	7253,85	225,04	3,10	92,72	1,28	
110		3	7451,95	355,75	4,77	146,60	1,97	
		4	7512,70	295,03	3,93	121,55	1,62	
		5	7428,93	279,41	3,76	115,12	1,55	
Medžiagos kodas	A2							
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %	
1 sluoksnis	90	3	7361,58	483,84	6,57	199,34	2,71	
		4	7176,97	500,30	6,97	206,12	2,87	
		5	7254,32	371,35	5,12	152,99	2,11	
	100	3	7730,99	366,35	4,74	282,09	3,65	
		4	7773,71	311,11	4,00	145,40	1,87	
		5	7595,36	366,78	4,83	267,93	3,53	
	110	3	7991,39	332,88	4,17	155,57	1,95	
		4	8038,49	251,67	3,13	117,61	1,46	
		5	7761,04	392,38	5,06	161,66	2,08	
2 sluoksniai	90	3	7654,14	401,42	5,24	197,75	2,58	
		4	7859,67	314,59	4,00	164,37	2,09	
		5	7631,87	383,00	5,02	170,66	2,24	
	100	3	7871,31	288,18	3,66	141,96	1,80	
		4	8023,770	162,81	2,03	85,07	1,06	
		5	7986,631	179,44	2,25	79,96	1,00	
	110	3	7961,48	267,11	3,36	110,05	1,38	
		4	7975,28	271,12	3,40	126,71	1,59	
		5	8002,39	235,52	2,94	110,07	1,38	
Medžiagos kodas	A3							
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %	
1 sluoksnis	90	3	7132,85	412,74	5,79	170,05	2,38	
		4	6987,77	481,19	6,89	198,25	2,84	
		5	7016,07	438,04	6,24	180,47	2,57	
	100	3	7424,35	307,20	4,14	126,57	1,71	
		4	7375,25	322,72	4,38	150,82	2,05	
		5	7211,61	275,82	3,83	128,90	1,79	
	110	3	7286,90	248,44	3,41	116,11	1,59	
		4	7301,39	249,09	3,41	116,41	1,59	
		5	7345,91	265,56	3,62	124,10	1,69	
2 sluoksniai	90	3	7729,15	305,29	3,95	125,78	1,63	
		4	7627,21	324,43	4,25	133,67	1,75	
		5	7589,55	300,69	3,96	123,88	1,63	

	100	3	7787,19	264,96	3,40	109,16	1,40
		4	7681,09	224,95	2,93	92,68	1,21
		5	7711,48	229,21	2,97	94,44	1,23
	110	3	7771,47	288,62	3,71	118,91	1,53
		4	7776,57	246,48	3,17	101,55	1,31
		5	7814,67	262,71	3,36	108,24	1,39
Medžiagos kodas	V1						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm^{-1}	Vidutinė vertė F_{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoks- nis	90	3	3246,98	316,81	9,76	148,06	4,56
		4	2728,39	324,82	11,91	151,802	5,56
		5	2920,78	352,87	12,08	164,91	5,65
	100	3	4246,40	366,14	8,62	171,11	4,03
		4	4198,68	323,61	7,71	133,33	3,18
		5	4356,02	441,54	10,14	181,91	4,18
	110	3	5044,36	418,78	8,30	195,71	3,88
		4	4691,90	415,50	8,86	171,19	3,65
		5	5038,34	519,14	10,30	213,89	4,25
2 sluoks- niai	90	3	6252,0	433,17	6,93	178,47	2,86
		4	6054,12	462,80	7,64	190,67	3,15
		5	6098,56	469,40	7,70	193,40	3,17
	100	3	6385,14	280,21	4,39	115,45	1,81
		4	6539,66	282,22	4,32	116,27	1,78
		5	6460,52	305,16	4,72	125,73	1,95
	110	3	7088,34	297,95	4,20	122,75	1,73
		4	7010,60	462,12	6,59	190,39	2,72
		5	7197,18	310,53	4,32	127,94	1,78
Medžiagos kodas	V2						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm^{-1}	Vidutinė vertė F_{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoks- nis	90	3	1921,05	244,19	12,71	174,52	9,08
		4	1714,96	209,06	12,19	86,13	5,02
		5	1831,04	266,58	14,56	109,830	6,00
	100	3	3012,05	346,46	11,50	161,92	5,38
		4	3312,54	440,32	13,29	205,78	6,21
		5	3468,74	475,03	13,70	222,0	6,40
	110	3	3997,15	359,08	8,98	147,94	3,70
		4	4128,98	504,87	12,27	208,01	5,04
		5	4153,35	497,99	11,99	205,17	4,94
2 sluoks- niai	90	3	5646,37	340,01	6,02	140,09	2,48
		4	6149,05	319,28	5,19	131,54	2,14
		5	5876,08	248,02	4,22	102,18	1,74
	100	3	6848,82	253,15	3,70	118,31	1,73
		4	6573,05	314,23	4,78	146,85	2,23
		5	6609,11	272,65	4,13	112,33	1,70
	110	3	7023,20	199,14	2,84	82,05	1,17
		4	7215,87	239,73	3,32	98,77	1,37
		5	7195,41	216,12	3,0	89,04	1,24
Medžiagos kodas	T1						

		T1					
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	7292,07	414,41	5,68	170,74	2,34
		4	7153,79	468,70	6,55	193,10	2,70
		5	7235,05	470,07	6,50	193,67	2,68
	100	3	6640,92	525,47	7,91	245,57	3,70
		4	6913,16	354,30	5,13	145,97	2,11
		5	6848,79	509,90	7,45	238,30	3,48
	110	3	7389,72	362,75	4,91	125,70	1,70
		4	7706,41	406,56	5,28	140,88	1,83
		5	7656,95	413,59	5,40	143,31	1,87
2 sluoksniai	90	3	7569,17	412,48	5,45	169,94	2,25
		4	7567,59	356,60	4,71	146,92	1,94
		5	7555,72	364,41	4,82	150,14	1,99
	100	3	7490,52	195,36	2,61	80,49	1,08
		4	7776,25	313,77	4,04	129,27	1,66
		5	7653,71	218,32	2,85	89,946	1,18
	110	3	7740,15	314,77	4,07	109,07	1,41
		4	7771,81	301,73	3,88	104,55	1,35
		5	7737,35	351,68	4,55	121,86	1,58
Medžiagos kodas	T2						
	Adatos Nr.	Dygsnio tankumas, cm ⁻¹	Vidutinė vertė F _{pr} , mN	Vidutinis kvadratinis nuokrypis S	Variacijos koef., %	Δ abs. paklaida, mN	Santykinė paklaida, %
1 sluoksnis	90	3	6494,26	352,47	5,43	164,72	2,54
		4	6511,14	321,26	4,93	150,14	2,31
		5	6391,17	266,79	4,17	109,92	1,72
	100	3	6783,01	212,74	3,14	87,65	1,29
		4	6963,11	234,42	3,37	96,58	1,39
		5	6811,15	307,13	4,51	126,54	1,86
	110	3	7073,64	224,18	3,17	92,36	1,31
		4	7262,62	431,22	5,94	177,66	2,45
		5	7250,17	377,66	5,21	155,60	2,15
2 sluoksniai	90	3	7405,84	416,04	5,62	171,41	2,32
		4	7434,72	428,98	5,77	176,74	2,38
		5	7470,77	451,96	6,05	186,21	2,49
	100	3	7526,56	415,15	5,52	171,04	2,27
		4	7557,88	417,66	5,53	172,07	2,28
		5	7587,04	344,85	4,55	142,08	1,87
	110	3	7666,72	427,59	5,58	176,17	2,30
		4	7657,52	432,12	5,64	178,03	2,33
		5	7646,02	419,64	5,49	172,89	2,26

2 priedas. Tiriamų medžiagų pažeidimų dydžio vertės, sklaida ir paklaidos

Eil. Nr.	T1		
	90	100	110
1	1,020388	0,964497	1,66075
2	0,729126	0,848126	1,552268
3	0,76699	1,011834	1,587771
4	0,829126	0,857988	1,759369
5	1,014563	0,889546	1,648915
6	0,994175	1,092702	1,617357
7	0,954369	0,952663	1,426036
8	0,984466	1,179487	1,617357
9	0,9	0,942801	1,52071
10	0,932039	1,084813	1,477318
Vidurkis	0,91165	0,974606	1,608728
s vid. kvadr. nuokrypis	0,1	0,1	0,1
v variacijos koef., proc.	12,9	11,9	6,0
Δ absol. pakl.	0,1	0,1	0,1
δ santyk. pakl., proc.	9,2	14,8	7,4

Eil. Nr.	T2		
	90	100	110
1	0,451456	0,461165	0,673786
2	0,438835	0,482524	0,646602
3	0,636893	0,535922	0,662136
4	0,474757	0,650485	0,876699
5	0,574757	0,547573	0,653398
6	0,524272	0,627184	0,772816
7	0,534951	0,640777	0,68932
8	0,521359	0,472816	0,837864
9	0,525243	0,533981	0,596117
10	0,490291	0,5	0,715534
Vidurkis	0,51966	0,552306	0,726578
s vid. kvadr. nuokrypis	0,1	0,1	0,1
v variacijos koef., proc.	12,6	14,2	12,4
Δ absol. pakl.	0,0	0,1	0,1
δ santyk. pakl., proc.	9,0	17,6	15,5

Eil. Nr.	A1		
	90	100	110
1	0,733728	0,658777	0,666667
2	0,796844	0,786982	0,814596
3	0,932939	0,844181	1,057199
4	0,783037	0,857988	1,069034
5	0,755424	0,822485	0,932939
6	0,674556	0,893491	0,81854
7	0,907298	0,966469	1,017751
8	0,806706	0,846154	0,816568
9	0,83432	0,769231	0,966469
10	0,798817	0,731755	1,094675
Vidurkis	0,798817	0,834566	0,899162
s vid. kvadr. nuokrypis	0,1	0,1	0,1
v variacijos koef., proc.	10,8	10,6	15,9
Δ absol. pakl.	0,1	0,1	0,2
δ santyk. pakl., proc.	7,7	13,2	19,8

Eil. Nr.	A2		
	90	100	110
1	0,526627	0,771203	0,629191
2	0,554241	0,761341	0,74359
3	0,550296	0,64497	0,741617
4	0,575937	0,704142	0,706114
5	0,57002	0,502959	0,70217
6	0,599606	0,670611	0,741617
7	0,4714	0,625247	0,670611
8	0,506903	0,747535	0,690335
9	0,56213	0,627219	0,637081
10	0,623274	0,790927	0,64497
Vidurkis	0,544379	0,678501	0,703156
<i>s</i> vid. kvadr. nuokrypis	0,0	0,1	0,0
<i>v</i> variacijos koef., proc.	7,6	13,1	5,7
Δ absol. pakl.	0,0	0,1	0,0
δ santyk.pakl., proc.	5,4	16,3	7,1

Eil. Nr.	A3		
	90	100	110
1	0,666667	0,591716	0,668639
2	0,623274	0,682446	0,64497
3	0,56213	0,534517	0,676529
4	0,719921	0,741617	0,74359
5	0,700197	0,686391	0,737673
6	0,627219	0,550296	0,717949
7	0,731755	0,615385	0,648915
8	0,684418	0,708087	0,710059
9	0,613412	0,583826	0,589744
10	0,573964	0,725838	0,629191
Vidurkis	0,664448	0,638807	0,69354
<i>s</i> vid. kvadr. nuokrypis	0,1	0,1	0,0
<i>v</i> variacijos koef., proc.	8,6	13,4	5,6
Δ absol. pakl.	0,0	0,1	0,0
δ santyk. pakl., proc.	6,1	16,7	7,0

Eil. Nr.	V1		
	90	100	110
1	0,408284	0,696252	0,767258
2	0,428008	0,881657	0,891519
3	0,433925	0,842209	0,672584
4	0,514793	0,739645	0,854043
5	0,544379	0,905325	0,812623
6	0,556213	0,7357	0,747535
7	0,564103	0,688363	0,816568
8	0,597633	0,698225	0,873767
9	0,489152	0,895464	0,725838
10	0,605523	0,846154	0,966469
Vidurkis	0,505917	0,773422	0,804487
<i>s</i> vid. kvadr. nuokrypis	0,1	0,1	0,1
<i>v</i> variacijos koef., proc.	14,3	11,5	9,0
Δ absol. pakl.	0,1	0,1	0,1
δ santyk. pakl., proc.	10,2	14,3	11,2

Medžiaga	D1		
Adatos nr.	90	100	110
	0,374753	0,605523	0,581854
	0,04931		0,587771
	0,179487		0,78501
			0,605523
			0,360947
			0,325444
			0,668639
			0,272189
Vidutinis pažeidimo dydis, mm	0,201183	0,605523	0,523422
Medžiaga	V2		
Adatos nr.	90	100	110
	0,443983		0,427386
	0,13278		0,340249
	0,207469		0,290456
			0,443983
Vidutinis pažeidimo dydis, mm	0,261411		0,375519

3 priedas. Tiriamų medžiagų siūlių stiprumo vertės, sklaida, paklaidos bei pastabos

3.1 priedo lentelė: vidutinės trūkimo jėgos, kai siūlė susiūta nr. 90 adata

Nr. 90	D1	V1	V2	A1
F_{tr} , N	355,73	292,53	342,93	279,47
Vid. kv. nuokrypis s	21,17	15,27	13,61	13,01
Variacijos koef. v , %	5,95	5,22	4,65	4,65
Δ absol. pakl.	52,55	37,91	32,78	32,29
δ santyk. pakl., %	14,77	12,96	11,55	11,55

3.2 priedo lentelė: vidutinės trūkimo jėgos, kai siūlė susiūta nr. 100 adata

Nr. 100	D1	V1	V2	A1
F_{tr} , N	248,82	197,47	286,53	266,53
Vid. kv. nuokrypis s	16,35	7,50	7,94	5,03
Variacijos koef. v , %	6,57	3,80	2,77	1,89
Δ absol. pakl.	40,60	18,62	19,72	12,50
δ santyk. pakl., %	16,32	9,43	6,88	4,69

3.3 priedo lentelė: vidutinės trūkimo jėgos, kai siūlė susiūta nr. 110 adata

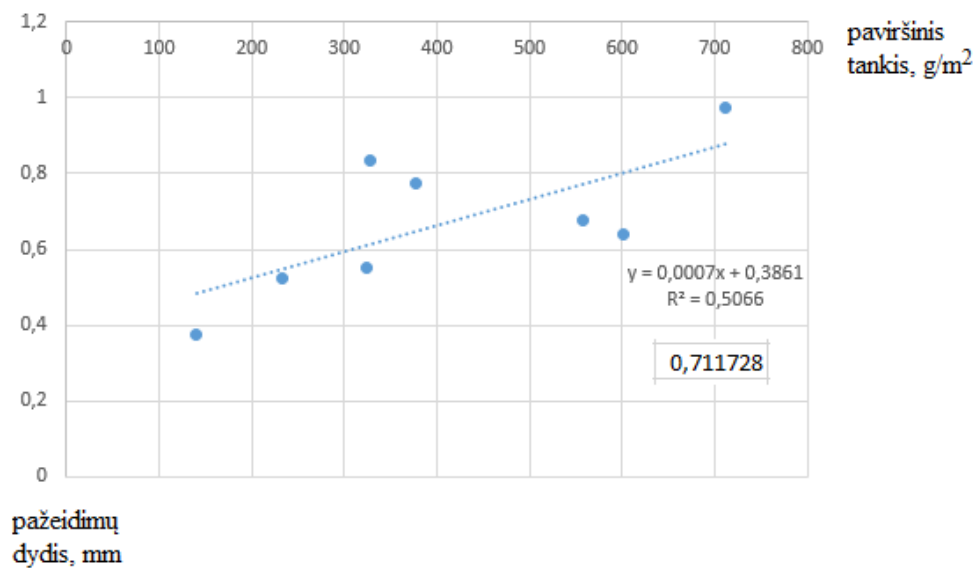
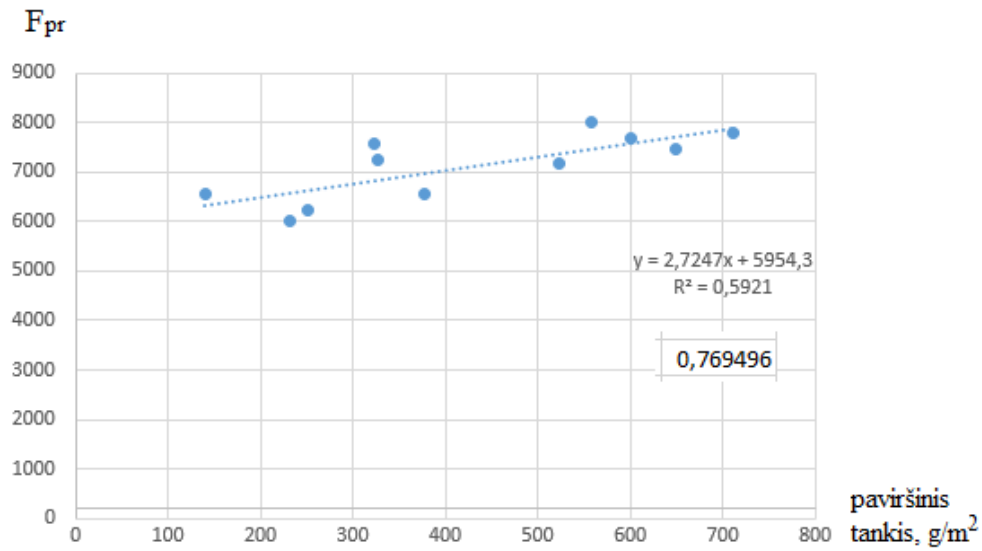
Nr. 110	D1	V1	V2	A1
F_{tr} , N	261,20	233,37	284,0	259,98
Vid. kv. nuokrypis s	7,73	14,28	15,0	17,71
Variacijos koef. v , %	2,96	6,12	5,28	6,81
Δ absol. pakl.	19,18	35,45	37,25	43,97
δ santyk. pakl., %	7,34	15,19	13,12	16,91

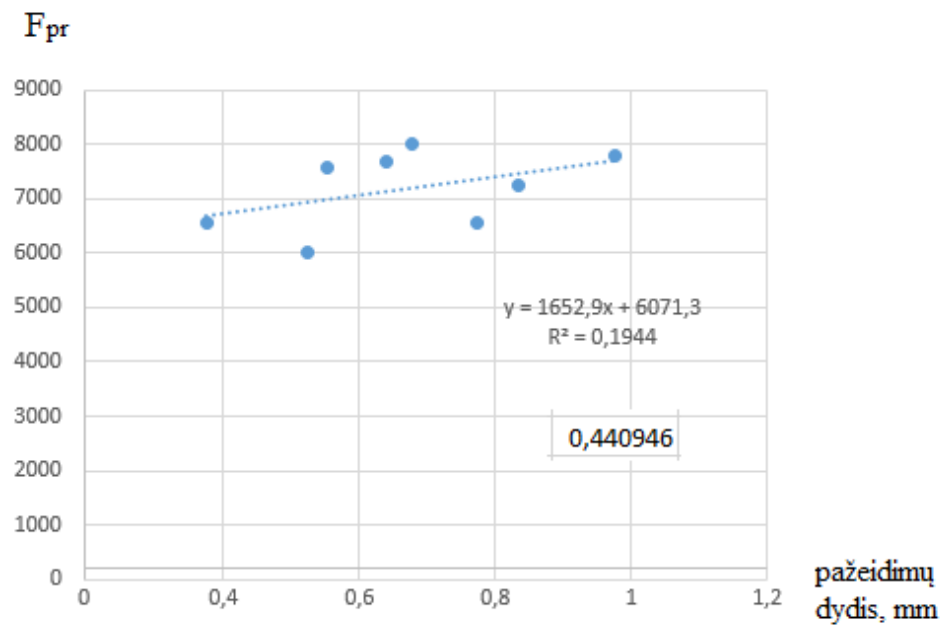
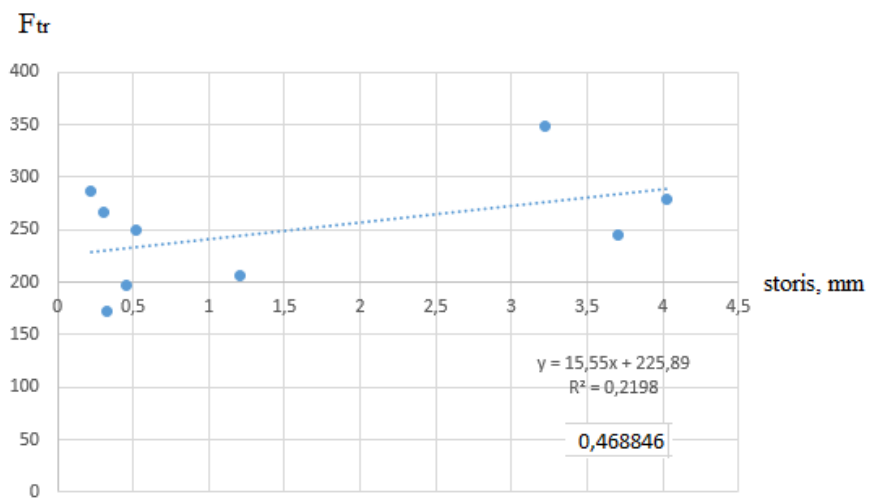
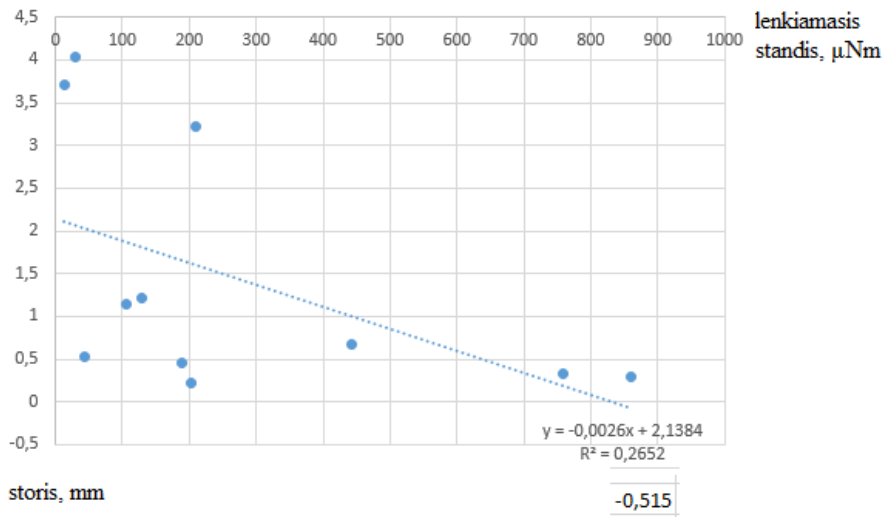
3.4 priedo lentelė: kitų medžiagų vidutinės trūkimo jėgos, kai siūlė susiūta nr. 100 adata

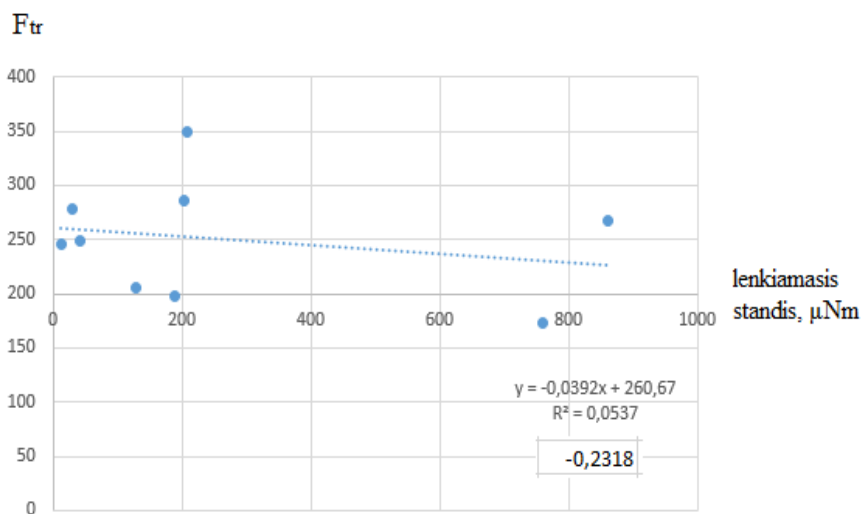
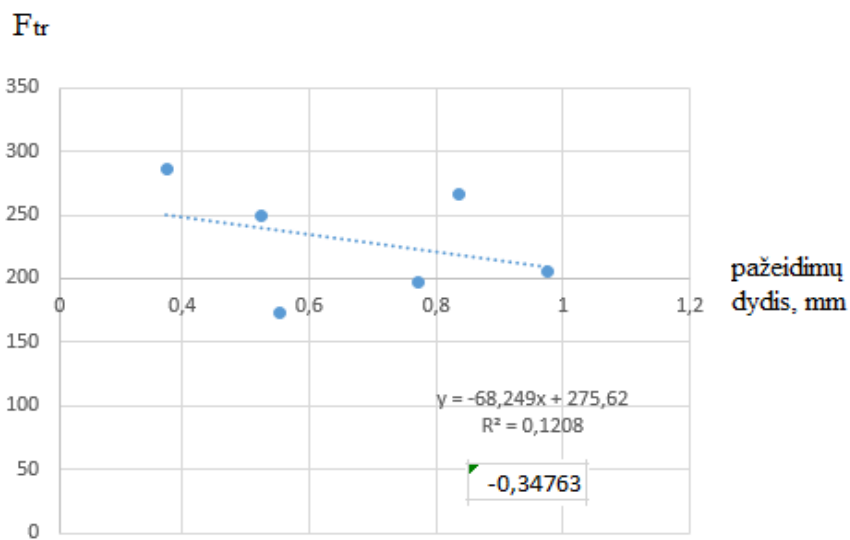
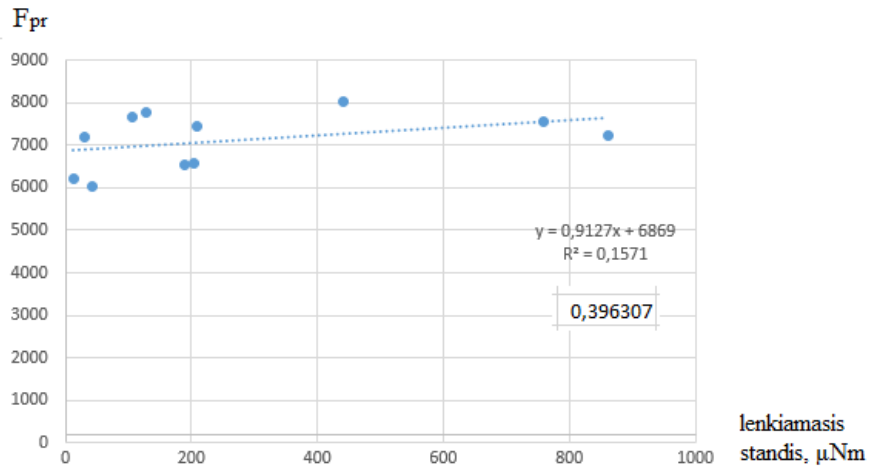
Medžiaga	F_{tr} , N	Vid. kv. nuok. S	Variacijos koef. v , %	Δ abs. pakl.	δ sant. pakl., %	Pastabos
N1	348,80	10,84	3,80	26,91	9,43	Dauguma bandinių išslydo iš spraustuvų; pavykusiuose suardyti trūko siūlai
B1	244,90	11,17	4,56	27,74	11,17	Trūko medžiaga prie spraustuvų
K1	278,40	-	-	-	-	Trūko siūlai; nepakako medžiagos
T1	206,18	10,71	5,20	26,60	12,90	Keliais atvejais trūko medžiaga prie spraustuvų; kitais trūko siūlai
T2	172,93	17,40	10,06	43,20	24,98	Trūko medžiaga siūlės vietoje; siūlai „perpjovė“ medžiagą

4 priedas. Koreliaciniai ryšiai

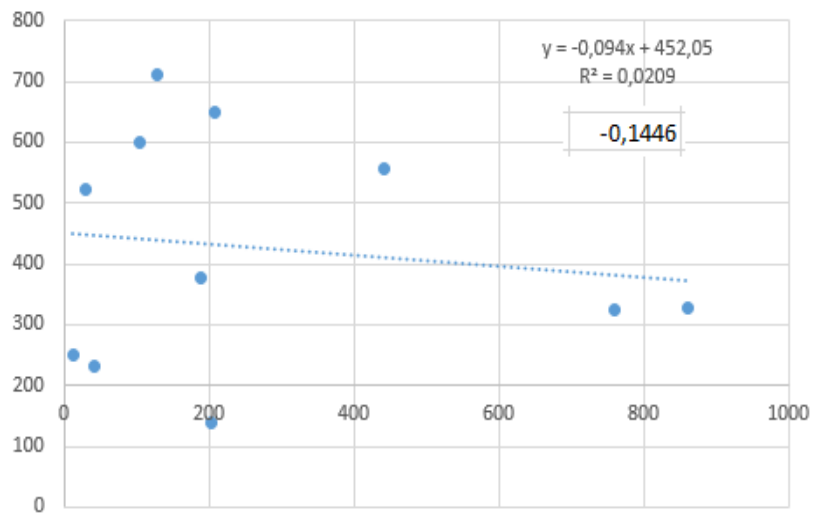
Santrumpos: F_{pr} – pradūrimo jėga, mN; F_{tr} – siūlės suardymo jėga, N. Po lygtimis stambesniu šriftu pateikiamas *Excel* apskaičiuotas koreliacijos koeficientas.





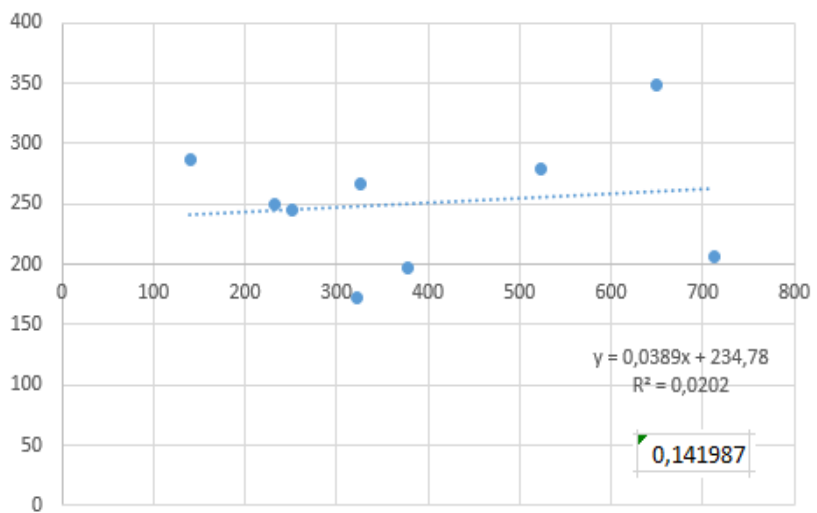


paviršinis tankis, g/m²

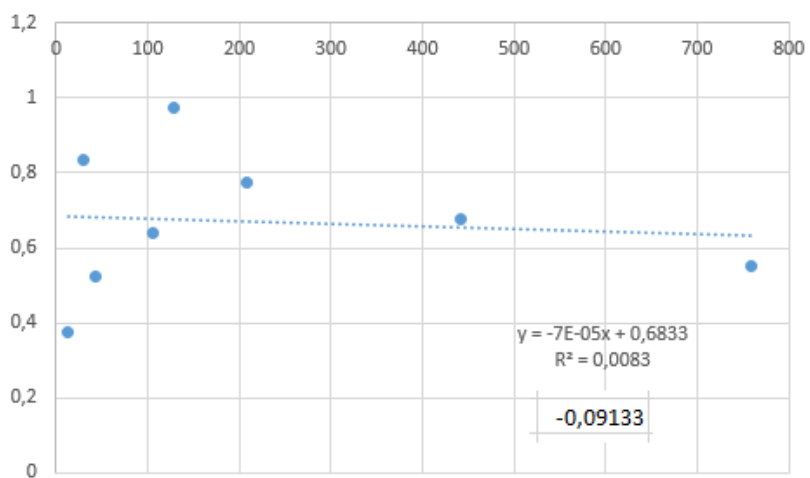


lenkiamasis standis, μNm

F_{tr}

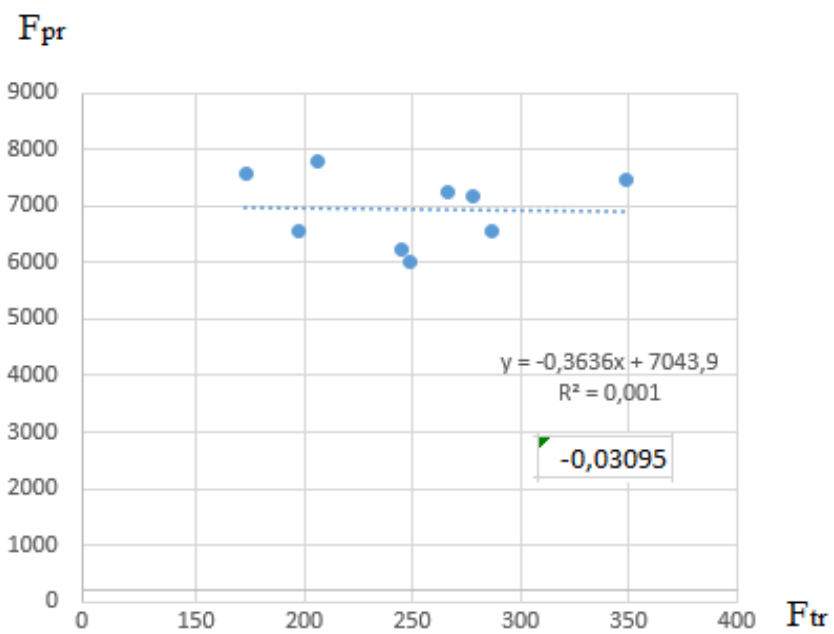
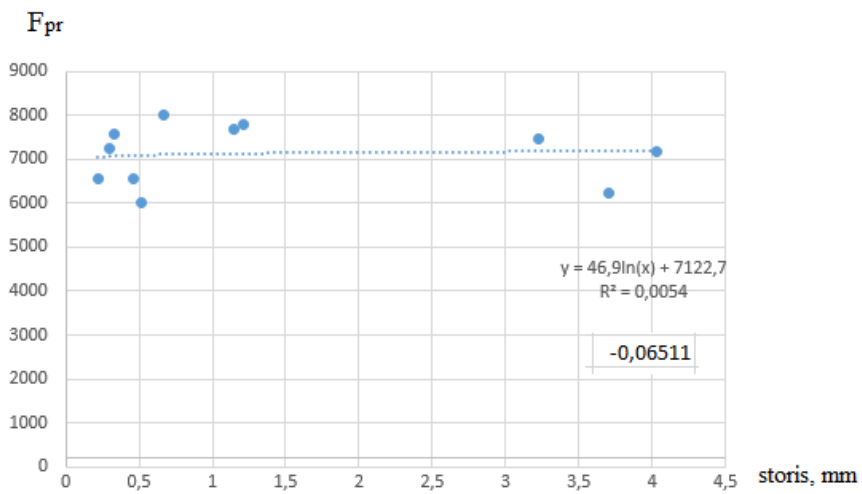


paviršinis tankis, g/m²



lenkiamasis standis, μNm

pažeidimų dydis, mm



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

Meilė Znamenskaitė

**DAUGIASLUOKSNIŲ MEDŽIAGŲ
SIUVAMUMAS IR VERTINIMAS**

Magistro baigiamasis darbas

**Darbo vadovas:
doc. dr. Jurgita Domskienė**

Kaunas, 2016