

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Laima Milšiuė

MEGZTŲ ORTOPEDINIŲ ĮTVARŲ KOMPRESINIŲ IR KOMFORTO
SAVYBIŲ TYRIMAS

Magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Daiva Mikučionienė

KAUNAS, 2015

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

MEDŽIAGŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėja
Doc. dr. Vaida Jonaitienė

**MEGZTŲ ORTOPEDINIŲ ĮTVARŲ KOMPRESINIŲ IR KOMFORTO
SAVYBIŲ TYRIMAS**

Magistro projektas

Tekstilės inžinerija (621J40002)

Vadovas

Doc.dr. Daiva Mikučionienė

Recenzentas

Doc. dr. Vaida Jonaitienė

Projektą atliko

DT-3 gr. stud.Laima Milašiūtė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Laima Milašiūtė

(Studento vardas, pavardė)

Tekstilės inžinerija, 621J40002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Megztų ortopedinių įtvarų kompresinių ir komforto savybių tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015m. Gegužės mėn. 29d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Laimos Milašiūtės** baigiamasis projektas tema „Megztų ortopedinių įtvarų kompresinių ir komforto savybių tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Turinys

Turinys	4
Lentelių sąrašas	5
Paveikslų sąrašas	6
SANTRAUKA	7
SUMMARY	8
Įvadas	9
1.1 Kompresiniai medicininės tekstilės gaminiai	10
1.1.1 Kompresinių medicininės tekstilės gaminių klasifikacija	10
1.1.2 Kompresinių gaminių panaudojimo sritys	12
1.1.3 Ortopedinių kompresinių įtvarų asortimentas	14
1.2 Megztų kompresinių įtvarų projektavimas	17
1.2.1 Megztiems kompresiniams įtvarams naudojami pynimai, pluoštai ir siūlai	18
1.2.2 Papildomi elementai megztuose ortopediniuose įtvaruose	20
1.3 Megztų ortopedinių įtvarų komforto savybės	21
1.4 Literatūros apžvalgos apibendrinimas	22
3. Tyrimų metodika	27
3.1 Mezginio sandaros rodiklių nustatymo metodika	27
3.2 Tempimo charakteristikų nustatymo metodika	27
3.2.1 Vienaciklio tempimo charakteristikų nustatymo metodika	27
3.2.2 Daugiaciklio varginimo charakteristikų nustatymo metodika	28
3.2.3 Siūlų tempimo charakteristikų nustatymo metodika	28
3.3 Kompresijos skaičiavimo metodika	29
3.4 Laidumo orui nustatymo metodika	29
3.5 Trinties charakteristikų nustatymo metodika	30
3.6 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika	30
4. Rezultatai ir jų aptarimas	32
4.1. Mezginio sandaros rodiklių nustatymas	32
4.2 Mezginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtakos kompresinėms savybėms tyrimas	33
4.2.1. Netęsaus elemento ir elastomerinių ataudinių siūlų elgsenos tempiant tyrimas	33
4.2.3. Mezginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtakos generuojamai kompresijai tyrimas	40
4.2.3 Kompresijos pokyčių daugiacyklio varginimo metu tyrimas	48
4.3. Mezginio sandaros įtakos komforto savybėms tyrimas	50
4.3.1 Laidumo orui tyrimas	51
4.3.2 Trinties charakteristikų tyrimas	53
5. Išvados	55
Literatūra	56
PRIEDAI	60

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Įvairių šalių kompresijos gaminių standartai ir kompresijos klasės.....	11
2 lentelė. Ortopedinių įtvarų pavyzdžiai ir jų indikacijos.....	15
3 lentelė. Bandinių charakteristikos.....	25
4 lentelė. Netąsaus elemento sudarymui naudoto audinio charakteristikos.....	26
5 lentelė. Megztų bandinių sandaros rodikliai.....	32
6 lentelė. Netąsaus elemento sudarymui pasirinkto audinio parametrai.....	34
7 lentelė. Aтаudinių elastomerinių siūlų tempimo bandymo iki fiksuotos 100 % ištiesos rezultatai..	34
8 lentelė. Tempimo jėga F (N), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies vidutinės vertės, bandinio ištiesai esant 10 % ir 20 %.....	36
9 lentelė. Tempimo bandymų rezultatų matematinės analizės rezultatai.....	36
10 lentelė. Generuojamos kompresijos P (hPa), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies, vidutinės vertės, kai bandinio ištiesa 10 % ir 20 %.....	40
11 lentelė. Procentinis kompresijos pokytis, didinant netąsaus elemento užimamą plotą (lyginant su bandiniais, be netąsaus elemento), vidutinės vertės, kai bandinio ištiesa 10 % ir 20 %.....	46
12 lentelė. Generuojamos kompresijos P (mmHg), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies, vidutinės vertės, kai bandinio ištiesa 10 % ir 20 %.....	47
13 lentelė. Generuojamos kompresijos pokytis po varginimo.....	49
14 lentelė. Bandinių ilgio pokyčiai po pirmojo ir antrojo varginimo etapų.....	50
15 lentelė. Laidumo orui rezultatai.....	51
16 lentelė. Statinės ir dinaminės trinties jėgos ir koeficientų rezultatai.....	53

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Apspaudimo jėgos pasiskirstymas kojos ilgyje.....	17
2.1 pav. Tirtų bandinių siūlų klojimo schemas ataudinį siūlą klojant: a) kiekvienoje mezginio eilutėje; b) kas antroje mezginio eilutėje; c) du ataudinius siūlus kas antroje mezginio eilutėje; d) kas ketvirtoje mezginio eilutėje.....	25
2.2 pav. Bandinio su netąsiu elementu principinis vaizdas.....	26
3.1 pav. Universalus tempimo įrenginys ZWICK/Z005: a) konstrukcijos schema (1 – bandinys, 2 – apatinis spaustuvas, 3 – viršutinis spaustuvas, 4 – jėgos jutiklis); b) spaustuvai, skirti tempti siūlus; c) spaustuvai, skirti tempti plačius bandinius.....	28
3.2 pav. Laidumo orui matavimo įrenginys L14DR.....	29
4.1 pav. Netąsaus elemento sudarymui pasirinkto audinio tempimo kreivės: a) metmenų kryptimi, b) ataudų kryptimi.....	33
4.2 pav. PM grupės bandinių, tempiant iki 20% fiksuotos ištįsios ir kintant netąsaus elemento santykiniam plotui, charakteringosios kreivės: a) – PM_1_1 bandinių grupė, b) PM_1_2 bandinių grupė, c) PM_2_2 bandinių grupė, d) PM_1_4 bandinių grupė.....	33
4.3 pav. Tempimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo ploto, tempiant iki 10% fiksuotos ištįsios: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė.....	37
4.4 pav. Tempimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo ploto, tempiant iki 20% fiksuotos ištįsios: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė.....	38
4.5 pav. Ataudinio siūlo įterpimo įtaka gaminio generuojamai kopresijai, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto: a) esant 10% fiksuotai ištįsiai, b) esant 20% fiksuotai ištįsiai.....	40
4.6 pav. Apspaudimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo ploto esant 10% fiksuotai ištįsiai: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė.....	43
4.7 pav. Apspaudimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo ploto esant 20% fiksuotai ištįsiai: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė.....	44
4.8 pav. Generuojamos kompresijos pokytis po varginimo.....	49
4.9 pav. Mezginio sandaros įtakos laidumui orui tyrimo rezultatai.....	52
4.10 pav. Mezginio sandaros įtakos statinės ir dinaminės trinties koeficientams tyrimo rezultatai.....	53

Megztų ortopedinių įtvarų kompresinių ir komforto savybių tyrimas /Magistro projektas/ Autorius – L.Milašiūtė/ Vadovas – doc. dr. D.Mikučionienė/ Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas, Medžiagų inžinerijos katedra. Kaunas, 2015 - 57 psl., 15 paveikslų, 16 lentelių.

SANTRAUKA

Megzti ortopediniai kompresiniai įtvarai priskiriami neimplantuojamų medicininės tekstilės gaminių grupei. Projektuojant medicininės paskirties kompresinius įtvarus, itin svarbu parinkti reikiamą įtvaro generuojamą apspaudimo jėgą. Jų, kaip ir kitų medicininės tekstilės gaminių, gamyba turi būti reglamentuojama ir atidžiai prižiūrima. Tačiau ortopedinės tekstilės gamybos sritis nėra pakankamai plačiai išnagrinėta, tad projektuojant įtvarus neretai remiamasi kompresinių kojinių projektavimo metodikomis. Būtinis šiuolaikinių gaminių faktorius taip pat yra jų komfortiškumas dėvint. Šio darbo tikslas – ištirti ir nustatyti ortopediniams įtvarams skirtų mezginių struktūros ir konstrukcijos įtaką kompresinėms ir komforto savybėms.

Kompresiniai bandiniai buvo specialiai suprojektuoti šiam tyrimui. Suprojektuoti bandiniai numegzti įmonėje UAB „Ortopagalba“ dviejų adatinių plokščiaja 14E klasės skersinio mezgimo mašina ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje. Siekiant gauti skirtingų kompresinių savybių bandinių variantus, mezginyje kloti dviejų rūšių ataudiniai siūlai keturiais skirtingais tankumais: kiekvienoje mezginio eilutėje, kas antroje mezginio eilutėje, kas ketvirtoje mezginio eilutėje ir po du ataudinius siūlus kas antroje mezginio eilutėje. Bandinių konstrukcijoje buvo suprojektuotas skirtingo santykinio ploto imitacinis netąsus elementas.

Tyrimo metu buvo nustatytas megztų bandinių horizontalusis ir vertikalusis tankumo koeficientai, apskaičiuotas kilpos žingsnis ir kilpų eilutės aukštis. Atlikti bandinių tempimo ir daugiacyklio varginimo bandymai, apskaičiuota bandinio generuojama kompresija, nustatytas bandinių laidumas orui ir trinties koeficientas. Visų bandymų rezultatams buvo atlikti statistiniai skaičiavimai.

Nustatyta tvirta tiesinė tirtų ortopediniams gaminiams skirtų mezginių tempimo jėgos bei gaminio generuojamos kompresijos priklausomybė nuo netąsaus elemento ploto. Taip pat nustatyta, kad lemiamą įtaką tempimo jėgos dydžiui turi ne ataudinio siūlo absoliutinis kiekis mezginio struktūroje, o jo įterpimo tankumas. Tyrimai parodė, kad netąsių elementų įtaka gaminio kompresijai yra ženkli ir gali net pakeisti jo kompresijos klasę. Taip pat nustatyta, kad po daugiacyklio varginimo generuojama kompresija kinta nereikšmingai. Nustatyta, kad laidumui orui įtakos turi ir ataudinio siūlo ilginis tankis, ir įterpimo tankumas – didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai su ataudiniais siūlais kas antroje eilutėje, tačiau šie parametrai neturi reikšmingos įtakos mezginių trinties savybėms.

Investigation of Compression and Comfort Properties of Knitted Orthopaedic Supports
/Master's Thesis/ Author – L.Milašiūtė/ Supervisor – doc.dr. D.Mikučionienė/ Department of
Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of
Technology, Kaunas, 2015 - 57 pages, 15 Figures, 16 Tables.

SUMMARY

Knitted orthopaedic compression supports are classified as not implantable medical textiles group. During design process of medical compression supports, it is essential to pay attention to generated compression value. Manufacturing process of these products, as well as of other medical textile products, has to be regulated and carefully supervised. But the field of knitted orthopaedic supports is not developed wide enough, so during design methodologies and standards of compression socks for venous diseases are often used. Also, one more essential factor of modern products is its comfort. The aim of this study was to investigate influence of structure and construction of compression orthopaedic supports on compression and comfort parameters.

Compression supports knitted samples were designed especially for this study. Samples were knitted in JSC „Ortopagalba“ on a flat double needle bed knitting machine (with an E14 gauge) in rib 1x1 pattern with elastomeric inlay yarns. In order to obtain samples with different compression parameters, two types of inlay yarns were used for insertion in four different densities: in each course, every second course, every fourth course and two yarns in every second course. Samples with different relative surface area of rigid element were designed.

During the study, course and wale densities were measured; course and wale spacing were calculated. Tensile and multi cycle fatigue tests were performed, compression generated by samples was calculated, air permeability and friction characteristics were determined. Statistical analysis was carried out for all experimental results.

It was investigated that there is strong linear dependence between tensile force and compression of knitted orthopaedic fabrics as well as relative area of rigid element. Also it was found that decisive influence on tensile force value has insertion of inlay yarn in the knit structure, but not its absolute amount. Investigations shown, that rigid element has valuable influence to product compression and can even change its compression class. Also, it was found that after multi cycle fatigue generated compression do not differ significantly. It was investigated that air permeability depends on both inlay yarn linear density and insertion density – the highest air permeability have samples with two inlay yarn inserted every second course and these parameters do not have significant influence to knits friction properties.

Ivadas

Pasaulyje kreipiamas vis didesnis dėmesys į medicininei tekstilei skirtų medžiagų projektavimą ir galimybių studijas. Tekstilinės medžiagos medicinoje naudojamos labai įvairiose srityse – nuo chirurginių siūlų ar implantuojamų organų iki įtvarų, vienkartinių tvarsčių ar užklotų. Medicininėms tekstilės medžiagoms, priklausomai nuo jų panaudojimo srities, keliami įvairūs reikalavimai – sterilumas, antibakterinės savybės, biologinis suderinamumas, irumas arba neirumas žmogaus organizme ir t.t. Šių medžiagų gamyba dažniausiai yra griežtai reglamentuojama ir atidžiai prižiūrima.

Kompresiniai tekstilės gaminiai – tai įvairūs kompresiniai ortopediniai įtvarai bei kompresinės kojinės. Šie gaminiai priskiriami medicininės tekstilės neimplantuojamų medžiagų grupei. Plačiausiai ištyrinėtos kompresinės kojinės – tai kompresiniai medicininės paskirties tekstilės gaminiai, naudojami venų ligų gydymui bei jų profilaktikai. Kita kompresinių tekstilės gaminių grupė – kompresiniai ortopediniai įtvarai.

Kompresiniai ortopediniai įtvarai, įvertinus reikiamą apspaudimo jėgą, projektuojami konkrečioms kūno dalims – keliui, čiurnai, riešui ir kt. Ši sritis dar nėra išsamiai išnagrinėta, todėl projektuojant kompresinius ortopedinius megztus įtvarus dažnai remiamasi kompresinių kojinių, kurių kompresiniai parametrai yra standartizuoti, tyrimų duomenimis. Sparčiai vystantis mezgimo technologijoms, sudarančioms sąlygas gaminti sudėtingos struktūros erdvinius gaminius, ortopedinių mezginių asortimentas bei gaminių funkcionalumas taip pat sparčiai plečiasi. Pastaruoju metu ypatingai akcentuojamas funkcinių tekstilės gaminių komfortiškumas, dėvėtojo savijauta ir estetiškas pasitenkinimas. Todėl tyrimai, skirti megztų kompresinių ortopedinių gaminių projektavimui, struktūros parametrų bei funkcinių savybių tarpusavio ryšio nustatymui, yra labai svarbūs.

Lietuvoje kompresinius gaminius gamina tokios įmonės kaip UAB „Ortopagalba“, UAB "Baltic Orthoservice" (plačiau žinoma „Ortho Baltic“ vardu), AB „Ortopedijos technika“ ir kitos. Įvairių gamintojų ortopedinių kompresinių gaminių galima įsigyti Lietuvos vaistinėse ar specializuotose parduotuvėse. Tad šis tyrimas gali būti svarbus ir Lietuvos tekstilės pramonės įmonėms, praplečiant naujai kuriamų gaminių prognozavimo galimybes ir savybių atitiktį keliamiems medicininiams reikalavimams.

1.Literatūros apžvalga

1.1 Kompresiniai medicininės tekstilės gaminiai

Medicininė tekstilė – viena sparčiausiai besivystančių ir besiplečiančių techninės tekstilės šakų [1]. Šiai šakai priskiriami tekstilės gaminiai, naudojami sveikatos ar asmens higienos reikmėms tiek sveikatos priežiūros, tiek asmeninio vartojimo sektoriuose [1]. Galima išskirti tris pagrindines medicininės tekstilės vartotojų grupes: sveiki žmonės, naudojantys profilaktikai skirtus tekstilės gaminius; žmonės, po įvairių traumų ar ligų, naudojantys reabilitacijai skirtus tekstilės gaminius; ligoniai, naudojantys gydymui skirtus tekstilės gaminius [2].

Medicininiai ir sveikatos priežiūrai naudojami gaminiai gali būti megzti, austi arba pagaminti iš neaustinių medžiagų; tik 30 % medicininės tekstilės gaminių yra ne vienkartinio vartojimo, o skirti trumpalaikiam ar ilgalaikiam vartojimui [2]. Medicininę tekstilę galima skirstyti į keturias pagrindines grupes: implantuojamos medžiagos, neimplantuojamos medžiagos, ekstrakorporiniai prietaisai, sveikatos ir higienos prekės [1, 3]. Megzti ortopediniai kompresiniai gaminiai priskiriami neimplantuojamų medžiagų grupei.

Medicininės paskirties megztų gaminių gamybai naudojami įvairių tipų pluoštai, skirstomi į dvi klases – biologiškai aktyvius (atsparius įvairių mikroorganizmų poveikiui) ir biologiškai neutralius [2]. Kiekvienoje klasėje skiriami du poklasiai, į kuriuos medžiagos paskiriamos pagal gaminio paskirtį – chirurginės paskirties gaminiai arba gaminiai, skirti išoriniam gydymui ir profilaktikai [2].

Medicininėje tekstilėje naudojamų siūlų ir verpalų kokybė nusakoma šiais rodikliais:

- geometriniais – siūlų ilginis tankis, pluošto ilgis, sukris, rangytumas;
- mechaniniais – trūkimo ištįsa, tamprumo modulis, atsparumas ilgalaikėms ir trumpalaikėms apkrovoms ir t.t.;
- fizikiniais – laidumas orui, šilumai, vandens garams, higroskopiskumas ir t.t.;
- cheminiais – atsparumas šviesai, mikroorganizmams, įvairiems cheminiams reagentams ir t.t. [2].

1.1.1 Kompresinių medicininės tekstilės gaminių klasifikacija

Specialiosios paskirties megzti kompresiniai gaminiai gali būti profilaktiniai (naudojami profilaktiškai, be gydytojo paskyrimo) ir medicininiai gydomieji (vartojami paskyrus gydytojui) [4]. Šių abiejų grupių kompresiniai gaminiai gali būti skiriami į tris grupes:

1. Kompresiniai kojinių gaminiai;

2. Kompresiniai apatiniai gaminiai;
3. Kompresiniai ortopediniai įtvarai [4].

Kompresinius gaminius taip pat galima klasifikuoti pagal kitus požymius – suteikiamą kompresijos dydį, gaminio matmenis, gaminio tipą (rankovė, kojinė ir pan.), gamybos būdą ar pluoštinę sudėtį [4]. Megzti įtvarai savo ruožtu skirstomi į tokias tris grupes:

1. Prevenciniai įtvarai;
2. Funkciniai įtvarai;
3. Pooperaciniai/reabilitaciniai įtvarai [5].

Pagrindinis skirtumas tarp šių grupių – tai įtvaro generuojamas kompresijos dydis ir apspaudimo jėga [5]. Kompresija - tai jėga, nukreipta tempimo jėgai priešinga kryptimi ir tiesiogiai su ja susijusi [6]. Būtent nuo generuojamos kompresijos į paciento galūnę priklauso įtvaro veiksmingumas ir jo teikiama nauda. Ortopediniai įtvarai taip pat gali būti skirstomi pagal kūno sritis – viršutinių galūnių (pvz., riešo, alkūnės), apatinių galūnių (pvz., kelio, čiurnos) ir stuburo [7].

Europoje kompresiniai gaminiai pagal generuojamos kompresijos dydį skirstomi į keturias kategorijas: pirmoje kategorijoje esantys gaminiai pažymti mažiausiomis kompresinių savybių vertėmis, tuo tarpu esantys ketvirtoje kategorijoje – didžiausiomis kompresinių savybių vertėmis. Plačiausiai naudojami kompresijos matavimo vienetai yra SI sistemos vienetai paskaliai (Pa) ir gyvsidabrio stulpelio aukštis (mmHg) [8]. Įvairių šalių kompresinių gaminių skirstymas pagal kompresijos klases pateikiamas 1 lentelėje.

1 lentelė. Įvairių šalių standartai, apibrėžiantys kompresijos klasę, ir kompresijos klasių ribos [4, 9, 10]

Šalies standartas	Kompresijos klasė			
	I klasė	II klase	III klasė	IV klasė
	Gaminio generuojamas slėgis, mmHg			
Britų standartas BS	14 – 17	18 – 24	25 – 36	>36
Vokietijos standartas RAL–GZ–387/1:2008	15 - 21	23 – 32	34 – 46	≥49
Prancūzų standartas AS-QUAL	10 – 15	15 – 20	20 – 36	>36
Eksperimentinis Europos standartas UNI ENV 12179	15 – 21	23 – 32	34 – 36	>49
JAV standartas	15 – 20	20 – 30	30 – 40	>40

Pirmosios ir antrosios kompresijos klasės gaminiai priskiriami lengvos kompresijos gaminių grupei, trečiosios ir ketvirtosios klasės – stiprios kompresijos gaminių grupei [5]. Pavyzdžiui, lengvos kompresijos profilaktiniais tikslais dėvimų kompresinių kojinių apspaudimo jėga gali būti 8 – 22 mmHg – šios kojinės skiros žmonėms, kuriems tenka ilgai stovėti ar vaikščioti arba turintiems didesnę riziką susirgti venų varikoze [2]. Gaminiai, generuojantys 20 ÷ 30 mmHg slėgį, rekomenduojami esant paprastiems venų kraujotakos sutrikimais, lengvai edemai, kojų nuovargiui, 30 ÷ 40 mmHg – esant vidutinei edemai, stipriai varikozei arba vidutiniam venų nepakankamumu, 40 ÷ 50 mmHg ir daugiau nei 60 mmHg slėgį generuojantys gaminiai – esant stipriai edemai, venų nepakankamumui, potrombozinei limfinei edemai ar elefantiazei (dramblialigei) [11].

Dėvėjimo metu gaminiai aptempia reikiamą kūno vietą, taip sukurdami pageidaujamo dydžio kompresiją į galūnę. Ortopedinių įtvarų kompresijos dydis dažiausiai viršija kraujo spaudimo jėgą į kapiliarų sienelės (24 mmHg), tačiau ir mažesnės kompresijos (5 ÷ 15 mmHg) gaminiiais galima pasiekti gerų medicininių rezultatų [12]. Yra dvi skirtingos spaudimo rūšys [8]:

- Statinis spaudimas – tai spaudimas, esantis ir tuomet, kai veikiamos galūnės raumenys yra atsipalaidavę. Pagal Asmussen, statinis apspaudimas veikia paviršiuje esančias kraujagysles;
- Spaudimas judant – tai spaudimas, atsirandantis nuo raumenų išsiplėtimo, kurį sukelia pasipriešinimas spaudimo jėgai. Šiuo atveju raumenims įsitempus apspaudimo jėga gerokai padidėja, o raumenims ilsintis – sumažėja.

Tyrimais nustatyta, kad įtvaro spaudimas į žmogaus galūnę priklauso nuo tempimo jėgos, tempimo deformacijos, lenkimo standumo ir šlyties standumo [13]. Taip pat yra žinoma, kad apspaudimas priklauso nuo įtvaro tipo ir jo elastingumo, pradinio įtempimo prieš įtvirtinant, medžiagos tvirtumo (tvarsčių atveju ir nuo sluoksnių kiekio), įtvaro ar tvarsčio būklės (nusidėvėjimo laipsnio, jau esamo dėvėjimo trukmės, skalbimo ciklų) [8].

1.1.2 Kompresinių gaminių panaudojimo sritys

Kompresiniai medicininiai tekstilės gaminiai priskiriami antrajai, neimplantuojamų medžiagų grupei [1]. Tekstiliniai elastiniai tvarsčiai ir kompresiniai gaminiai naudojami tiesioginei kompresijai arba kaip apsauginė priemonė, siekiant stabilizuoti arba kontroliuoti kūno dalių arba atskirų sąnarių judesius – suteikti kompresiją, fiksuoti ar imobilizuoti reikiamą kūno dalį [8]. Kompresiniai gaminiai gali būti naudojami įvairiose srityse: medicinoje, siekiant pagerinti kraujotaką, potrauminį gijimą, ortopedinius negalavimus ir pan., sporte ar kūno formavimo tikslais [12, 14 – 16]. Pavyzdžiui, šie gaminiai gali būti naudojami po nudegimų likusių randų gydymui, siekiant panaikinti susidariusių randų iškilumą [8, 12, 17, 18]. Kompresinių gaminių dėvėjimas yra itin svarbus kol randai yra aktyvūs ir nesubrendę – šiuo laiko tarpu tokie gaminiai

dėvimi nuolat dienos ir nakties metu, išskyrus trumpas pertraukas, reikalingas asmens higienai [17]. Tokio pobūdžio kompresiniams gaminiams rekomenduojamas 26,6 ÷ 37,4 hPa generuojamas slėgis [18]. Įvairiems kūno raumenims pritaikyti sportui skirti kompresiniai gaminiai naudojami siekiant pagerinti kraujotaką, sumažinti traumų tikimybę ir tuo pačiu pagerinti pasiekiamus sporto rezultatus bei paspartinti raumenų poilsį po sportavimo metu patirto krūvio [12, 15]. Projektuojant sportui skirtus kompresinius gaminius atsižvelgiama į kompresijos taikymo galimybes specifiniams raumenims bei aerodinaminius principus, siekiant sumažinti oro pasipriešinimą didelio greičio sporte [15]. Žinoma, kompresiniai gaminiai taip pat naudojami ir kūno formavimo tikslams – kūno linijų koregavimui, krūtinės pakėlimui, pilvo apimties sumažinimui ir kita [8, 12].

Viena iš medicininės paskirties tamprių megztų medžiagų panaudojimo sričių yra kompresinės kojinės [8, 11, 13, 16,]. Kompresinės kojinės – tai medicininės tekstilės gaminiai, sėkmingai naudojami kompresijos terapijoms, gydant venų ligas ar taikant jų profilaktiką. Venų ligos gali būti paveldimos, sukeltos aplinkos sąlygų ar gyvenimo būdo, šie negalavimai beveik dvigubai dažniau pasireiškia moterų tarpe, negu vyrų [9]. Venų ligos, ypač blauzdų srityse, yra vis dažnėjantis reiškinys. Maždaug pusė suaugusių žmonių tam tikru gyvenimo laikotarpiu kreipiasi į medikus dėl venų ligų, o 10 ÷ 20% žmonių populiacijos kenčia išsiplėtusių venų keliamas problemas [9].

Priklausomai nuo venų ligos stadijos, yra kelios skirtingos chirurginės gydymo procedūros. Kompresinių kojinių dėvėjimas gali būti taikomas kaip nechirurginis būdas venų ligų (variakozės) gydymui ar profilaktikai [1, 9]. Dėvint kompresines kojines, koja patiria išorinį spaudimą, kuris pagerina kraujotakos greitį ir neutralizuoja padidėjusį spaudimą į venų sienelės [9]. Venų varikozei gydyti skirtų kompresinių kojinių veikimo principas pagrįstas tiksliai apskaičiuotu ir visame kojos ilgyje tiksliai paskirstytu slėgiu į venų sienelės – laipsnine kompresija [4]. Tyrimais nustatyta, kad kraujotaka yra greitesnė taikant laipsnišką kompresiją su vidutiniu 25 mmHg apspaudimu [19]. Svarbu pastebėti, kad būtent kompresiniai kojinių gaminiai yra plačiausiai ištyrinėti kompresiniai medicinos gaminiai [4].

Ne mažesnė kompresinių medžiagų panaudojimo medicinoje sritis yra ortopedinių įtvarų gamyba. Ortopediniai megztiniai įtvarai yra medicininės paskirties priemonės, skirtos sutvirtinti po traumos pažeistą kūno vietą [4]. Šie gaminiai, lyginant su kompresinėmis kojinėmis, ne tik generuoja reikiamą spaudimo jėgą, bet ir sutvirtina galūnę, prilaiko raumenis krūvio metu ir t.t. Kompresiniai ortopediniai įtvarai, įvertinus reikiamą apspaudimo jėgą, projektuojami konkrečioms kūno dalims – keliui, čiurnai, riešui ir kita [7, 12, 20, 21]. Ortopediniai įtvarai naudojami po galūnių lūžių, esant sąnarių, raiščių ir raumenų uždegiminiams procesams, po sąnarių išnirimų, esant galūnių parezei ar paralyžiaus reiškiniams (esant kontraktūroms ir deformacijoms) bei kita [22]. Kompresiniams gaminiams keliamus reikalavimus galima skirstyti į dvi grupes – medicininis efektyvumas ir

komfortas dėvint [17]. Bendruoju atveju medicininiai ortopediniai įtvarai turi tenkinti šiuos reikalavimus:

- atitikti individualius kūno matmenis;
- užtikrinti nustatyto dydžio apspaudimo jėgą;
- išsaugoti geometrinę formą ir kompresines savybes ilgalaigio dėvėjimo metu [4].





1.1.3 Ortopedinių kompresinių įtvarų asortimentas

Ortopediniai įtvarai naudojami patyrus įvairaus pobūdžio traumas, esant įgimtiems ortopediniams sutrikimams, sportuojant, dirbant, pooperaciniu ar reabilitaciniu laikotarpiu, įvairių tipų įtvarai gali padėti gydant sumušimus, patempimus, uždegimus, esant sausgyslių susidėvimui, artritui, išvaržoms [4, 24]. Megzti kompresiniai ortopediniai įtvarai gali būti dėvimi esant įvairiems negalavimams, jų panaudojimo galimybės itin plačios. Įvairioms sporto rūšims, remiantis dažniausiai pasitaikančių traumų pobūdžiu ir jų kiekiu, yra sukurta daug apsauginių sportinės tekstilės aprangos detalių [25]. Gamintojai siūlo didelį megztų įtvarų pasirinkimą, priklausomai nuo patirtos traumos ar turimo ortopedinio negalavimo. Ortopedinius įtvarus gamintojai skirsto į viršutinių galūnių (riešams, alkūnėms ir t.t.), apatinių galūnių (keliams, čiurnoms ir t.t.) ir stuburo bei juosmens srities [7]. Įtvarų asortimento ir jų vartojimo tikslų pavyzdžiai pateikiami 2 lentelėje.

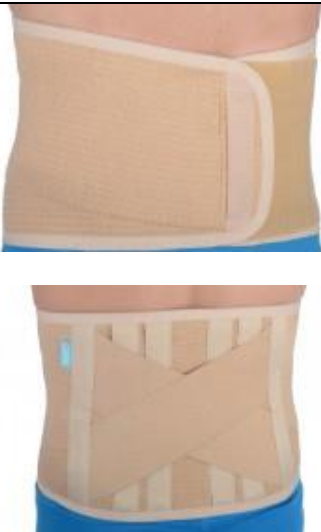
Įvertinus Lietuvos gamintojų siūlomą megztų ortopedinių įtvarų asortimentą ir jų panaudojimo sritis, akivaizdu, jog ši sritis yra itin plati ir reikalaujanti specialių gamybos technologijų. Gaminant medicininės paskirties kompresinius įtvarus svarbu atsižvelgti į visus gamybos metu įtaką galinčius daryti veiksnius. Megzto gaminio sukuriama kompresija priklauso nuo gaminio ploto, formos ir nuo mezginio savybių, kurias lemia žaliava, pynimas ir tiekiamo elastinio siūlo kiekis ir pradinis įtempimas [4].

Ortopediniai įtvarai įprastai gaminami iš medžiagų, turinčių tamprią struktūrą, todėl megztos medžiagos yra itin tinkamos įtvarų gamybai [12]. Geresnėms kompresinėms savybėms gauti medžiagų gamyboje naudojami papildomi tampūs siūlai, paklojami megztoje struktūroje kaip ataudai [12]. Ataudinių siūlų klojimo kryptis daro įtaką mezginio stabilumui ir orientacijos laipsniui: mezginys gali būti orientuotas vertikaliai, horizontaliai, diagonaliai, horizontaliai ir vertikaliai, diagonaliai ir vertikaliai, diagonaliai ir horizontaliai bei visomis minėtomis kryptimis (gaunama daugiaašė sandara) [2].

2 lentelė. Ortopedinių įtvarų pavyzdžiai ir jų indikacijos [7, 21]

Kūno dalis	Įtvaro vaizdas	Vartojimo tikslai
Viršutinės galūnės		
Riešas		<ul style="list-style-type: none"> • Riešo sąnario kanalo sindromui. • Raiščių ir sausgyslių patempimui. • Iš dalies stabilizuoja ir šildo sąnarį.
Alkūnė		<ul style="list-style-type: none"> • Artrozės/artrito sąlygotam tinimui. • Po traumų ir operacijų. • Traumų prevencijai. • Epikondilito atveju. • Skirtas alkūnės sąnario stabilizacijai.
Apatinės galūnės		
Kelis		<ul style="list-style-type: none"> • Kelio sąnario artrozė. • Osteoartritas. • Sinovitas. • Chondritas. • Įvairios kilmės girnelės osteochondropatijos. • Kelio sąnario srities sausgyslių, sąvarinių maišelių (bursų) uždegimai. • Blauzdikaulio šiurkštumos osteochondropatijos. • Traumų prevencija. • Kelio skausmai. • Sąnario kremzlės ligos. • Ydinga girnelės padėtis, nestabilumas. • Kelio sąnario raiščių ir raumenų patempimai.
Čiurna		<ul style="list-style-type: none"> • Sąnario artrozės/artrito sąlygotam tinimui. • Po traumų ir operacijų. • Traumų prevencijai. • Tendomiopatijoms. • Silpniems čiurnos raiščiams. • Čiurnos sąnario raiščių, sausgyslių raumenų pažeidimai ir uždegimai.

2 lentelės tęsinys. Ortopedinių įtvarų pavyzdžiai ir jų indikacijos [7, 21]

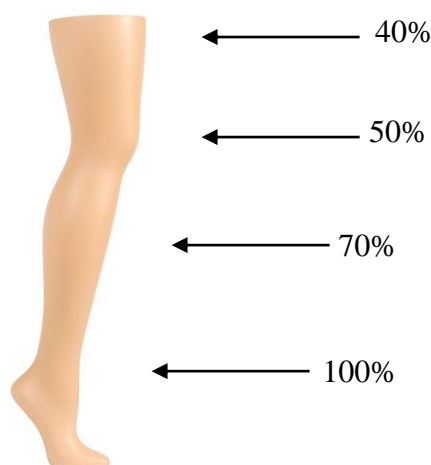
Kūno dalis	Įtvaro vaizdas	Vartojimo tikslai
Apatinės galūnės		
Šlaunis		<ul style="list-style-type: none"> • Po šlaunies raumenų traumų. • Šlaunies raumenų profilaktikai. • Po raumenų patempimo. • Esant daliniam raumenų plyšimui. • Po sumušimo.
Stuburas		
Juosmuo ir nugara		<ul style="list-style-type: none"> • Juosmens skausmas (Lumbago). • Raumenų nepakankamumas, silpnumas. • Disko chirurginis pašalinimas. • Juosmens ir krūtinės apatinės srities diskų išvarža. • Radikulitas. • Juosmens srities sumušimas. • Stuburo osteochondrozė.
Juosmuo ir kryžkaulis		<ul style="list-style-type: none"> • Juosmens srities sumušimas. • Raumenų patempimas. • Stuburo juosmeninės dalies tarpslankstelinei diskozė. • Osteoporozės ir osteochondrozės sąlygotos ligos. • Radikulitas. • Spondilitas. • Juosmens ir krūtinės apatinės srities diskų išvarža. • Silpni nugaros ir pilvo raumenys. • Nekomplikuotas stuburo slankstelių lūžis. • Spondilolistezė. • Po stuburo juosmens srities operacijų.

1.2 Megztų kompresinių įtvarų projektavimas

Moksliniais tyrimais įrodyta, kad kompresinių gaminių mechaninė elgsena, paviršiaus savybės ir matmenys yra svarbiausi veiksniai, nulemiantys gaminių kokybę [25]. Todėl, siekiant dar labiau vystyti šią medicininės tekstilės sritį, labai svarbu tirti minėtas gaminių savybes ir jų daromą įtaką paciento sveikatai.

Projektuojant medicininės paskirties kompresinius įtvarus, itin svarbu parinkti reikiamą įtvaro generuojamą apspaudimo jėgą. Gaminio plotas priklauso nuo jo formos ir konstrukcijos, tačiau dėl erdvinės formos jį apskaičiuoti sudėtinga. Skersinio mezginio plotas gali būti apskaičiuojamas kaip mezginį sudarančių kilpų skaičiaus, kilpų eilutės aukščio ir kilpų žingsnio sandauga [10, 15]. Ši skaičiavimo metodika leidžia iki 5% tikslumu nustatyti mezginio plotą ir yra tinkama visų skersinių pynimų mezginiams [10]. Svarbu pastebėti, kad minėtoji skaičiavimo metodika palengvina ortopedinių gaminių projektavimą ir planuojamos kompresijos įvertinimą.

Iš kompresinių kojinių projektavimo yra žinoma, kad didžiausia apspaudimo jėga tokiuose gaminiuose turi būti čiurnos ir blauzdos srityje, o gaminiui kylant į viršų kompresija turi laipsniškai mažėti [4, 8, 11, 17]. Per didelę kompresijos jėgą gali trikdyti kraujotaką, lėtinti gijimą ar nepageidaujamai prailginti potrauminio gydymo laikotarpį. Apspaudimo jėgos pasiskirstymas kojos ilgyje (laipsninės kompresijos pasiskirstymas) pateikiamas 1 paveiksle. Paveiksle matoma, kad didžiausia apspaudimo jėga turi būti generuojama ties kulkšnimi – 100%, ties blauzda – 70%, ties kelio viršumi – 50%, o ties šlaunimi – 40%. Remiantis įvairiais standartais, apspaudimo jėga ties kulkšnimi (didžiausia įtvaro apspaudimo jėga) nėra vienodai reglamentuojama ir svyruoja nuo 10 mmHg iki 21 mmHg [26]. Tačiau yra rekomenduojama, kad didžiausia apspaudimo jėga neviršytų $40 \div 60$ mmHg [15].



1.1 pav. Apspaudimo jėgos pasiskirstymas kojos ilgyje [4]

Kompresiniai gaminiai gali būti gaminami baigtiniu būdu arba siuvami iš medžiagos pagal kliento išmatavimus [17]. Kompresiniai įtvarai gali būti plokštieji (užsegami) arba apskritieji

(įmaunami) [10]. Todėl megztų kompresinių įtvarų ar jiems skirtų megztų medžiagų gamybai gali būti naudojamos tiek apskritosios, tiek plokščiosios mezgimo mašinos. Apskritosiomis skersinio mezgimo mašinomis dažniausiai yra gaminamos 1 ÷ 3 kategorijos kompresinės kojinės, plokščiosiomis – 2 ÷ 4 kategorijos gaminiai [9]. Įmaunami apskritieji įtvarai gali būti mezgami besiūlio mezgimo būdu. Besiūlio mezgimo privalumai yra ne tik siūlių nebuvimas, kurios galėtų daryti įtaką gaminio fizikinėms savybėms, bet ir mažesnė gamybos kaina, nes išvengiamos papildomos sukirpimo ir siuvimo operacijos, nereikalingi papildomi darbuotojai ir technika, be to gaminiai turi geresnę estetinę išvaizdą, yra lengviau užtikrinamos vienodos gaminio savybės įvairiose jo vietose, išvengiant silpnesnių vietų ties siūlėmis [27].

Projektuojant megztus ortopedinius kompresinius įtvarus dažnai remiamasi kompresinių kojinių, skirtų venų ligų (variakozės) gydymui, projektavimo metodikomis, nes ortopedinių įtvarų projektavimo sritis dar nėra pakankamai gerai ištirta. Tačiau svarbu pastebėti, kad venų ligų gydymui skirtų kompresinių kojinių dėvėjimo paskirtins yra kitokia, kaip ir joms keliami apspaudimo jėgos reikalavimai.

1.2.1 Megztiems kompresiniams įtvarams naudojami pynimai, pluoštai ir siūlai

Skirtingi mezginių pynimai pasižymi skirtingomis savybėmis. Projektuojant kompresinių mezginių pynimus, svarbu atsižvelgti, jog šiuo atveju reikalinga kartu sumegzti dvi siūlų sistemas – pagrindo siūlus ir elastomerinius, kompresiją suteikiančius, siūlus. Elastomerinius siūlus į mezginio struktūrą pasirinktu tankumu galima įterpti kaip ataudinius siūlus, sluoksniuotiniu pynimu (sudarant kilpas) arba pamušaliniu pynimu (sudarant lankus ir tąsas) [15].

Pagrindiniu įtvarui skirtu mezginio pynimu dažnai pasirenkamas ataudinis pynimas, nes jis pasižymi geriausiomis kompresinėmis savybėmis (įterpiami siūlai yra tiesūs ir tempimo metu iškart tempiasi siūlai, o ne tiesinasi kilpos ar lankai), o tam tikros mezginio sritys mezgamos kitais pynimais, priklausomai nuo pageidaujamos erdvinės įtvaro formos šiose vietose. Literatūroje duomenų apie įtvarams naudojamus mezginių pynimus nėra daug. Ortopediniuose įtvaruose dažniausiai naudojami šie pynimai:

- kombinuotasis pynimas – ripsas (pusė Milano lastiko) su ataudiniu siūlu;
- dvispalvis pilnasis žakardinis pynimas;
- dvigubasis ataudinis pynimas;
- kombinuotieji pynimai, kurių struktūroje yra lankų ir tąsų [15].

Ataudiniai siūlai mezginyje gali būti klojami pasirinktu tankumu visame arba reikiamame mezginio plotyje, kaip tąsa, ant adatų nesudarant kilpų ar lankų [2]. Medžiagos, turinčios tampių

siūlą, pasižymi geresnėmis vartojimo savybėmis dėl padidėjusio tamprumo, elastiškumo, formos stabilumo ir lengvos priežiūros [28, 29]. Ataudinių siūlą paklojimo mezginyje kryptis parodo, kuria kryptimi jis bus netąsus arba mažiau tąsus (klojant tamprius siūlus) [2]. Medicininėje tekstilėje dažniausiai naudojami viena kryptimi orientuoti mezginiai.

Tamprių ataudinių siūlą klojimo tankumas mezginyje daro įtaką mezginio slėgiui į galūnę – yra žinoma, kad didinant ataudinio siūlo įterpimo į mežginį tankumą, didėja elastinio ataudinio siūlo šerdinės dalies ilginio tankio įtaka mezginio kompresinėms savybėms [15]. Yra nustatyta, kad įterpus ataudinį siūlą į kas antrą eilutę generuojamas slėgis galūnei sumažėja 1,5 karto, o į kas ketvirtą – 1,9 karto, lyginant su mezginiu, kuriame ataudiniai siūlai įterpti kiekvienoje eilutėje [15]. Taip pat tyrimais nustatyta, kad elastinio ataudinio siūlo šerdinės dalies ilginiam tankiui pakitus iki dviejų kartų, jo įtaka mezginių su tokiu pačiu ataudinio siūlo įterpimo tankumu kuriamam slėgiui varijuoja paklaidų ribose [15]. Didžiausiu generuojamu slėgiu į galūnę pasižymi mezginiai su didžiausiu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (kiekvienoje eilutėje), o mezginiai su dviem ataudiniais siūlais kas antroje eilutėje, esant 10 % ištiesai, generuoja maždaug 20 % mažesnę slėgį, tuo tarpu kas antroje eilutėje įterpus po vieną ataudinį siūlą, mezginio generuojamas slėgis yra tik 7–8 % mažesnis nei mezginio su dviem ataudiniais siūlais kas antroje eilutėje [5]. Slėgio skirtumai mezginių su ataudiniu siūlu, įterptu kas antroje ir kas ketvirtoje eilutėje, yra labai menki, paklaidų ribose [5].

Metmeniniame mezginyje ataudiniai siūlai taip pat gali būti klojami visame arba pasirinktame jo plotyje. Priklausomai nuo mezginio paskirties, ataudinių siūlą vėrimas į ašlines šukutes gali būti pilnas ir nepilnas [2]. Ataudiniai siūlai paklojami ant senųjų pynimo elementų tarp adatų ir naujai klojamų pagrindo siūlą sistemos elementų, o iš pagrindo siūlą sudaromos naujosios kilpos įtvirtina ataudinius siūlus mezginio struktūroje [2].

Ortopediniai įtvarai skirti dėvėti ilgą laiką ir nuolatos, todėl jų gamybos medžiagos turi pasižymėti geromis komforto savybėmis – geru laidumu orui, prakaito išgarinimu, tinkamomis trinties savybėmis, tačiau taip pat jie turi būti lengvai prižiūrimi, ilgaamžiai ir patrauklios estetiškos išvaizdos. Dėl šių ir kitų priežasčių priežasčių ortopedinių įtvarų gamybai naudojami labai įvairūs pluoštai. Dažnai pasirenkami poliamido (PA), poliesterio (PES), viskozės (V), medvilnės, lyocelio, vilnos arba kitų pluoštų ar jų mišinių verpalai kartu su poliuretano (PU) siūlais [1, 2, 7, 15]:

- Poliamidinis – sintetinis heterograndis pluoštas, vienas labiausiai paplitusių sintetinių pluoštų, pasižymintis geromis mechaninėmis savybėmis, atsparumu trinčiai ir dildymui, aukštomis grįžtamųjų deformacijų vertėmis [17, 30, 31]. Dažniausiai naudojamų poliamido modifikacijų PA6 ir PA6.6 savybės labai panašios [31].
- Poliesterinis – sintetinis pluoštas, mažiausiai komfortiškas iš paminėtųjų ortopedinių įtvarų gamybai naudojamų pluoštų. Poliesterinė medžiaga beveik nesugeria drėgmės, tačiau

pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, gamyba yra sąlyginai nebrangi [17, 30]. Kitomis savybėmis šis pluoštas yra panašus į poliamidinį [32].

- Viskožinis – dirbtinis pluoštas, gaminamas iš gamtinės celiuliozės. Viskožinės medžiagos yra tvirtos, blizgios, minkštos, pasižymi higroskopiskumu, atsparumu spinduliuotei ir šilumos poveikiui.
- Medvilninis – natūralus celiuliozinis pluoštas, vienas plačiausiai pasaulyje naudojamų natūralių pluoštų. Iš medvilninių verpalų dažnai gaminamos medžiagos drabužiams, namų tekstilei ir kita. Medvilnės pluoštas yra minkštas, pasižymi geromis komfortinėmis savybėmis – laidumu orui, gerai sugeria drėgmę, nekaupia statinio krūvio, tačiau yra degus. [31].
- Vilna – natūralus baltyminis gyvūninės kilmės pluoštas. Vilnos pluošto plaukeliai pasižymi banguotumu ir žvyneliais plaukelio paviršiuje. Vilna įtvarų gamyboje naudojama gaminant nugaros ir kryžkaulio įtvarus. Dažniausiai naudojama avių vilna, tačiau dėl specifinių savybių šiam tikslui gali būti pasirenkama ir ožkų, šunų ar kitokia vilna.
- Elastomerinis pluoštas pasižymi geru atsparumu cheminėms medžiagoms, stabilumu veikiant saulės šviesai, atsparumu dildymui [31]. Ištįsa tempiant gali siekti iki 400 – 650% [31].

Kompresinių įtvarų gamyboje ataudiniams siūlams gali būti naudojami apvytiniai ir neapvyti PU siūlai [2]. Tyrimais nustatyta, kad elastinio ataudinio siūlo apvejančiųjų siūlų žaliava ir ilginis tankis mažų ištįsų zonoje reikšmingos įtakos mezginio generuojamai kompresijai neturi – bandymų rezultatų skirtumai gaunami paklaidų ribose [15]. Ekonominiu požiūriu naudingiau naudoti neapvytus siūlus, tačiau šiuo atveju kyla problemų mezgant dėl atsirandančių didelių trinties jėgų tarp siūlo ir mezgimo mašinos tiekimo ir mezgimo sistemų dalių bei dėvėjimo metu galimų nepageidajamų reiškinių siūlų ir odos sąlyčio vietose (odos dirginimo, paraudimo ir pan.) [2]. Todėl dažniausiai naudojami PU siūlai, apvyti medvilniniais, viskožiniais ar poliamidininiais siūlais ar jų deriniais – tokie siūlai ne tik sumažina minėtų nepageidajamų reiškinių tikimybę, bet yra ir tvirtesni bei higieniškesni [2, 15].

1.2.2 Papildomi elementai megztuose ortopediniuose įtvaruose

Projektuojant ilgalaikiam dėvėjimui skirtus ortopedinius įtvarus svarbu atsižvelgti į jų vartotojimo ypatybes. Įtvaras turi būti ne tik patogus ir komfortiškas, tačiau ir nesunkiai užsegamas, užmaunamas ir užtvirtinamas reikiamoje vietoje. Šiam tikslui įvairiose įtvaro vietose naudojami papildomi elementai – prisiuvas ar priklijuojamos kontaktinės juostos, skirtos užsegimui, silikoninės juostelės, apsaugančios nuo nepageidaujamo įtvaro judėjimo ar nuslydimo ir pan.

Kibios kontaktinės juostelės padeda užtvirtinti įtvarą reikiamoje vietoje, padeda užtikrinti didesnę jo stabilumą, palengvina užsidėjimo ir nusiėmimo procesą. Kontaktinės juostos arba diržai gali būti viena iš priemonių kompresijos dydžiui individualiai keisti, taip siekiant maksimaliai padidinti teigiamą įtaką paciento sveikatos pokyčiams.

Papildomi įtvaro minkšti ar kieti elementai taip pat didina netąsių megztos medžiagos zonų kiekį. Profilaktiniuose sportiniuose įtvaruose paminkštinimai naudojami siekiant sumažinti sporto metu patiriamų smūgių žalą (pvz., krentant, remiantis keliu ir pan.). Kai kuriuose gydomuosiuose ortopediniuose įtvaruose minkšti ar kieti elementai atlieka itin svarbią gydomąją paskirtį ir yra būtina ar net svarbiausia įtvaro dalis (pvz., prilaiko kelio girnelę reikiamoje pozicijoje viso potrauminio gijimo metu).

Šie ir kiti papildomi netamprūs elementai įtvaro paviršiuje suformuoja netąsias zonas, kurios daro reikšmingą įtaką mezginio generuojamai apspaudimo jėgai. Nustatyta, kad 7,6 % bendro bandinio ploto užimantis netąsus elementas net ir mažų ištįsų zonoje (esant 10 % ištįsai) padidina mezginio tempimo jėgą iki 15 %, tačiau jei netąsus elementas užima iki 3 % mezginio ploto, mažų ištįsų zonoje jo daroma įtaka kompresijai nėra reikšminga [15].

1.3 Megztų ortopedinių įtvarų komforto savybės

Ortopediniai įtvarai dažniausiai yra skirti ilgalaikiam dėvėjimui, todėl vartotojui labai svarbios ne tik gaminio kompresinės, bet ir dėvėjimo komfortą lemiančios savybės. Medicininės tekstilės gaminiai, tiesiogiai besiliečiantys su oda, turi ne tik nekelti pavojaus dėl naudojamų medžiagų, bet, kaip teigia Pan su bendraautorais[8], taip pat pasižymėti kontaktui su oda tinkamomis mechaninėmis savybėmis.

Komfortas gali būti įvardijamas kaip keturias sudedamąsias turintis jausmas: terminis arba termofiziologinis, sensorinis, dydžio atitikimo (ergonominis) ir psichologinis [24, 33]. Termofiziologinis komfortas priklauso nuo gaminių sudarančios medžiagos laidumo orui, garams, drėgmės sugėrimo ir išgarinimo savybių [33]. Sensorinis komfortas priklauso nuo medžiagos ir odos sąlyčio, alerginių reakcijų, trinties į odą, kutenimo, dūrimo ir t.t. [17]. Sensoriniam komfortui priskiriamos įvairios gaminio keliamos jutiminės savybės, priklausančios nuo jo paviršiaus lygumo, trinties, medžiagų švelnumo ir panašiai. Medžiagos ir žmogaus odos paviršiaus sąveika stimuliuoja sensorinius receptorių, esančius odoje, ir gali sukelti nepatogumo pojūčius, tokius kaip kutenimas, dūrimas, trynimasis ir kita [17]. Ilgą laiką dėvimų chirurgams ir medicinos personalui skirtų medicininės paskirties drabužių ar aprangos detalių fizikinis komfortiškumas tyrinėtas daugelio mokslininkų. Komforto savybės gali nulemti atliekamo darbo kokybę ir efektyvumą, norą dėvėti apsauginius drabužius, kurie gali būti gyvybiškai svarbūs [3]. Tyrinėjant medžiagos ir odos kontakto sąveiką išskiriamos dvi problemos: sąveikos taškų radimas ir sąveikos atsakas [17]. Savo tyrimuose

Smith įvardijo, kad yra dvi pagrindinės diskomforto rūšys: psichologinis ir fiziologinis [17]. Psichologinis komfortas labiausiai susijęs su estetinė gaminio išvaizda ir yra veikiamas aprangos elemento spalvos, gaminio išvaizdos, tinkamo dydžio, madingumo, tinkamumo dėvėjimui, išankstinio nusistatymo. Fiziologinį komfortą sudaro temperatūrinio ir sensorinio komforto pojūčiai. Terminis komfortas priklauso nuo prakaitavimo bei aplinkos ir kūno temperatūrų skirtumo (žmogaus kūnas yra terminio komforto būvyje, kai jo odos temperatūra yra $33 \div 35^{\circ}\text{C}$) [17]. Terminis komfortas pasiekiamas, kai įsivyrėja terminis balansas tarp žmogaus kūno ir aplinkos, žmogaus kūnui atiduodant perteklinį šilumos kiekį [8].

Ortopedinės paskirties mezginiams viena svarbiausių komforto savybių yra laidumas orui [36], turintis užtikrinti gerą odos ventiliaciją ir apsaugą nuo prakaitavimo, bei gaminio trintis į odą, kadangi ortopediniai įtvarai dėvimi dinaminėmis sąlygomis. Atsižvelgiant į ortopedinių įtvarų dėvėjimo specifiką, būtent šios savybės yra itin reikšmingos ir lemenčios įtvaro dėvėjimo patogumą.

Mezginių laidumas orui nusakomas oro kiekiu (srauto debitu), kuris praeina pro ploto vienetą per pasirinktą laiko periodą [2]. Megztos medžiagos laidumą orui lemia medžiagos struktūra, akytumas, apdaila, siūlų ilginis tankis, pluoštinė sudėtis [2, 35 – 38]. Tyrimais yra įrodyta, kad, didėjant kilpos ilgiui, dėl didėjančio megztos medžiagos akytumo didėja ir laidumas orui [35, 36, 39]. Dvivaluoksnių tokiu pačiu pynimu megztų medžiagų laidumas orui priklauso nuo kilpos ilgio, tačiau lyginant skirtingais pynimais megztų mezginių laidumą orui, kilpos ilgis negali būti naudojamas kaip lyginamasis faktorius [39].

Mezginių trintimi vadinama kūnų sąveika sąlyčio vietoje, trukdanti kūnams pasislinkti vienas kito atžvilgiu, kai tarp jų veikia normalinė jėga [2]. Tekstilės medžiagoms be minėtos trinties, atsirandančios veikiant normalinei jėgai, būdingas ir tangentinis pasipriešinimas (kibumas), atsirandantis dėl tekstilės medžiagų paviršiaus nelygumų [2]. Trintis gali būti dviejų rūšių – statinė ir dinaminė. Statinė trintis – tai pasipriešinimo jėga, kurią reikia nugalėti kūnų slydimo pradžioje, kai kūnas pereina iš ramybės būsenos į judėjimo būseną; dinaminė trintis – tai kūno pasipriešinimo tolygiam judėjimui jėga, pasireiškianti reliatyviai judant kūnams [2]. Tyrimais nustatyta, kad statinės ir dinaminės trinties koeficientai yra didesni, bandymą atliekant mezginių eilučių kryptimi, o žemesni – stulpelių kryptimi [40].

1.4 Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Medicininės paskirties kompresiniai tekstiliniai gaminiai itin plačiai naudojami įvairių sveikatos sutrikimų gydymui ir profilaktikai. Plačiausiai išnagrinėti venų ligų gydymui ir profilaktikai skirti kompresiniai gaminiai, jiems keliami reikalavimai, jų kompresinės savybės ir gamybos technologijos. Europoje visi kompresiniai kojinių gaminiai, priklausomai nuo

generuojamos apspaudimo jėgos, skirstomi į keturias standartais apibrėžtas kategorijas. Tačiau vieningo kompresijos klases apibrėžiančio standarto iki šiol nėra.

Projektuojant megztus ortopedinius kompresinius įtvarus dažnai remiamasi kompresinių kojinių, skirtų venų ligų (variakozės) gydymui, projektavimo metodikomis, tačiau svarbu pastebėti, kad venų ligų gydymui skirtų kompresinių kojinių dėvėjimo paskirtins yra kitokia, kaip ir joms keliami apspaudimo jėgos reikalavimai. Ortopediniai įtvarai projektuojami konkrečioms kūno dalims: viršutinių galūnių, apatinių galūnių ir stuburo bei juosmens srities.

Ortopediniai įtvarai įprastai gaminami iš medžiagų, turinčių tamprią struktūrą, todėl megztos medžiagos yra itin tinkamos įtvarų gamybai. Siekiant užtikrinti kompresinėms savybės, medžiagų gamyboje naudojami papildomi tampūs siūlai. Tampūs siūlai mezginio struktūroje gali sudaryti kilpas, lankus arba būti įterpiami kaip ataudai. Tamprių ataudinių siūlų klojimo tankumas mezginyje daro įtaką mezginio slėgiui į galūnę. Ataudiniai pynimai dėl mezginio struktūros savybių pasižymi aukštesnėmis kompresijos vertėmis.

Ortopediniai įtvarai dažniausiai dėvimi ilgą laiką, todėl jų sudėtinės medžiagos turi pasižymėti geromis komforto ir dėvėjimo savybėmis. Dėl šių ir kitų priežasčių priežasčių ortopedinių įtvarų gamybai naudojami labai įvairūs pluoštai. Dažnai pasirenkami poliamido, poliesterio, viskozės, medvilnės, lyocelio, vilnos arba kitų pluoštų ar jų mišinių siūlai, mezginio struktūroje derinami su poliuretaniniais siūlais.

Įtvaras turi būti nesunkiai užsegamas, užmaunamas ir užtvirtinamas reikiamoje vietoje. Šiam tikslui įvairiose įtvaro vietose naudojami papildomi elementai – prisiuvinamos ar priklijuojamos kontaktinės užsegimo juostos, silikoninės juostelės, apsaugančios nuo nepageidaujamo įtvaro judėjimo ar nuslydimo, ir pan. Tokie papildomi elementai įtvaro paviršiuje suformuoja netąsias zonas, kurios gali turėti įtakos mezginio generuojamai apspaudimo jėgai. Tačiau ši sritis dar menkai išnagrinėta.

Projektuojant ilgalaikiam dėvėjimui skirtus įtvarus svarbu atsižvelgti į jų vartojimo ypatybes. Vartotojui labai svarbios ne tik gaminio kompresinės savybės, bet ir dėvėjimo komfortą lemiančios savybės. Šios paskirties mezginiams svarbiausios komforto savybės yra laidumas orui, turintis užtikrinti gerą odos ventiliaciją bei apsaugą nuo prakaitavimo, bei gaminio trintis į odą, kadangi ortopediniai įtvarai dėvimi dinaminėmis sąlygomis.

Atlikus šia tematika paskelbtų literatūros šaltinių analizę, suformuotas magistro baigiamojo darbo tikslas ir uždaviniai.

Šio darbo tikslas – nustatyti ortopediniams įtvarams skirtų mezginių struktūros ir konstrukcijos įtaką kompresinėms ir komforto savybėms.

Darbo uždaviniai:

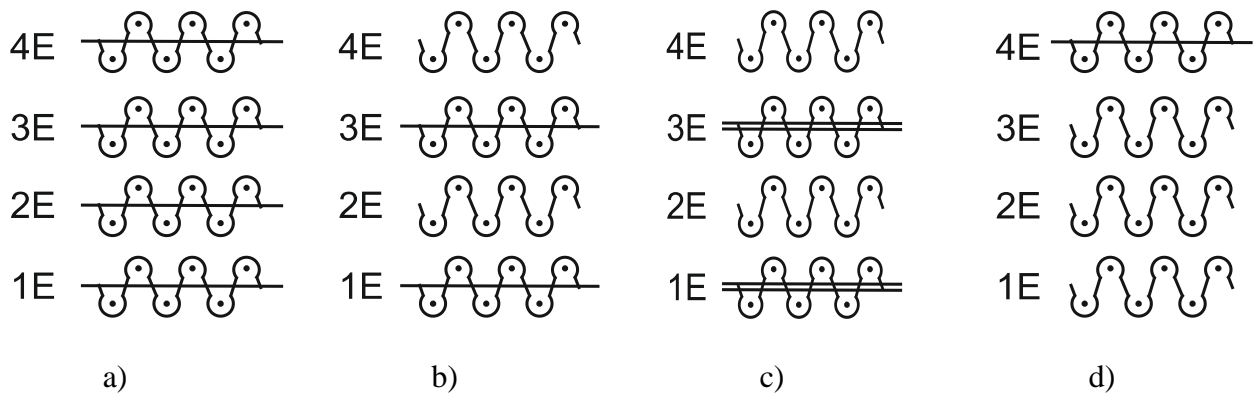
1. Ištirti ir nustatyti mezginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtaką tempimo charakteristikoms.
2. Ištirti ir nustatyti mezginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtaką gaminio generuojamai kompresijai.
3. Ištirti kompresijos pokyčius daugiacyklio varginimo metu.
4. Ištirti ir nustatyti mezginio sandaros įtaką laidumui orui ir trinties charakteristikoms.

2. Tyrimų objektas

Tiriamieji bandiniai buvo specialiai suprojektuoti šiam tyrimui ir numegzti įmonėje UAB „Ortopagalba“ dviejų adatinių plokščiaja 14E klasės skersinio mezgimo mašina CMS 340TC-L (STOLL, Vokietija) ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje. Siekiant gauti skirtingų kompresinių savybių bandinių variantus, ataudiniai siūlai mezginyje kloti skirtingu tankumu:

- ataudinį siūlą klojant kiekvienoje mezginio eilutėje (bandinių grupės PM_1_1 ir P_1_1);
- ataudinį siūlą klojant kas antroje mezginio eilutėje (bandinių grupės PM_1_2 ir P_1_2);
- du ataudinius siūlus klojant kas antroje mezginio eilutėje (bandinių grupės PM_2_2 ir P_2_2);
- ataudinį siūlą klojant kas ketvirtoje mezginio eilutėje (bandinių grupės PM_1_4 ir P_1_4).

Tirtų bandinių siūlų klojimo schemas pavaizduotos 2.1 pav. Bandinių ir jiems megzti naudotų siūlų charakteristikos pateiktos 3 lentelėje.



2.1 pav. Tirtų bandinių siūlų klojimo schemas ataudinį siūlą klojant: a) kiekvienoje mezginio eilutėje; b) kas antroje mezginio eilutėje; c) du ataudinius siūlus kas antroje mezginio eilutėje; d) kas ketvirtoje mezginio eilutėje

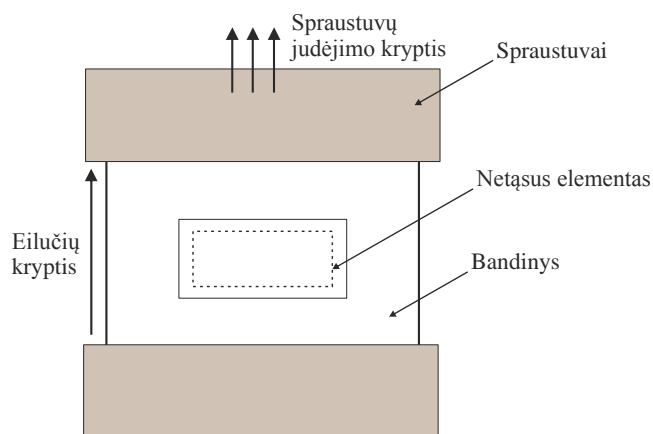
3 lentelė. Bandinių charakteristikos

Pagrindo siūlo sudėtis	Ataudinio siūlo kodas	Ataudinio siūlo sudėtis	Ataudinio siūlo vardinis ilginis tankis	Ataudinio siūlo klojimo raportas	Bandinio kodas
PA 6.6 (7,8 tex) + PU (31 tex) dvigubai apvyti PA 6.6 (4,4 tex)	PM	47,5 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlu ir 4,4 tex medvilniniu verpalu	70 tex	1 siūlas į kiekvieną eilutę	PM_1_1
				1 siūlas kas antrą eilutę	PM_1_2
				2 siūlai į kas antrą eilutę	PM_2_2
				1 siūlas į kas ketvirtą eilutę	PM_1_4
	P	47 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlais	55 tex	1 siūlas į kiekvieną eilutę	P_1_1
				1 siūlas kas antrą eilutę	P_1_2
				2 siūlai į kas antrą eilutę	P_2_2
				1 siūlas į kas ketvirtą eilutę	P_1_4

Netąsaus elemento įtakos mezginio charakteristikoms nustatymui prengti bandiniai su netąsiu elementu centrinėje jų dalyje. Netąsaus elemento imitavimui pasirinktas lininis audinys, užimantis bandiniuose 10 %, 15 %, 20 % ir 25 % santykinio jų ploto. Naudoto audinio charakteristikos pateikiamos 4 lentelėje. Bandinio su netąsiu elementu centrinėje jo dalyje principinis vaizdas pateiktas 2.2 paveiksle.

4 lentelė. Netąsaus elemento sudarymui naudoto audinio charakteristikos

Siūlų sistema	Siūlų ilginis tankis, tex	Siūlų tankumas, dm ⁻¹
Metmenys	48,5	167,6
Ataudai	64,3	154,4



2.2 pav. Bandinio su netąsiu elementu principinis vaizdas

Lininio audinio elementai prisiūti, paliekant ne mažiau kaip 0,5 cm atstumą nuo elemento krašto iki siūlės. Reikiamus netąsaus elemento matmenis atitinka audinio prisiuvimo matmenys nuo siūlės iki siūlės.

3. Tyrimų metodika

Magistro darbe eksperimentiniai bandymai buvo atlikti standartinėse klimato sąlygose pagal standartą LST EN ISO 139:2005 (temperatūra $t = (20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, oro drėgnis $\varphi = (65 \pm 4) \%$) [41]. Prieš atliekant bandymus, bandiniai ramybės būsenoje šiose sąlygose išlaikyti 24val.

3.1 Mezginio sandaros rodiklių nustatymo metodika

Mezginio horizontalusis P_h ir vertikalusis P_v tankumo koeficientai nustatyti vienetiniame mezginio ilgyje, atitinkamai stulpelių ir eilučių kryptimis, remiantis LST EN 14971:2006 standartu [42]. Naudojantis tekstilininko lupa, penkiose skirtingose atsitiktinėse bandinio vietose buvo apskaičiuotas kilpų skaičius viename centimetre (cm^{-1}). Remiantis gautais duomenimis, apskaičiuotas kilpos žingsnis A ir kilpos aukštis B [43]:

$$A = \frac{10}{P_h}; \quad (1)$$

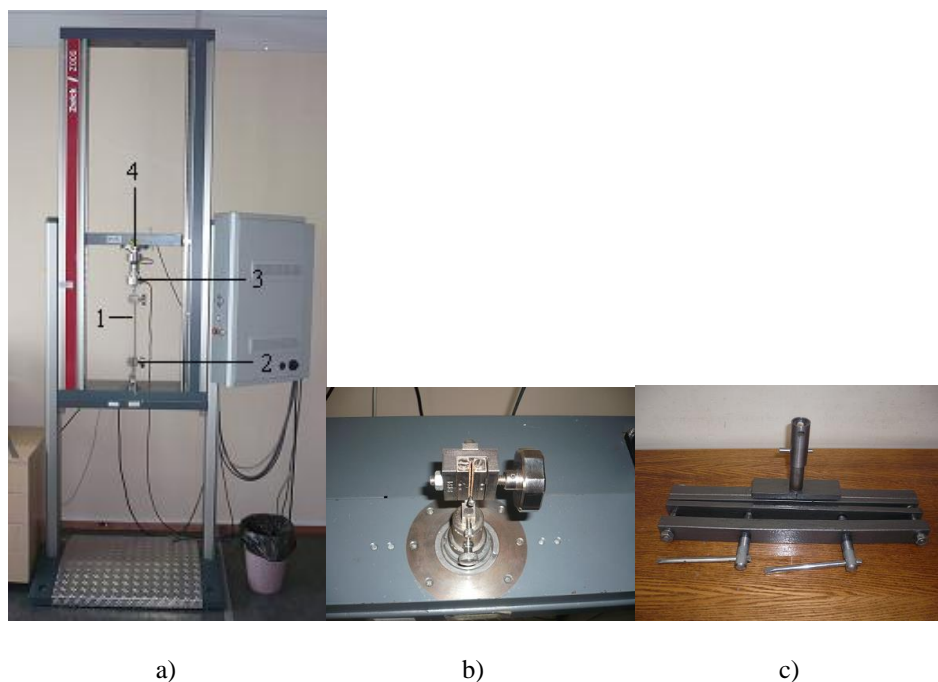
$$B = \frac{10}{P_v}; \quad (2)$$

čia: A – kilpos žingsnis, mm; P_h – horizontalusis mezginio tankumo koeficientas, cm^{-1} ; B – kilpos aukštis, mm; P_v – vertikalusis mezginio tankumo koeficientas, cm^{-1} .

3.2 Tempimo charakteristikų nustatymo metodika

3.2.1 Vienaciklio tempimo charakteristikų nustatymo metodika

Mezginių elgsena tempiant nustatyta universalioje tempimo mašinoje Zwick/Z005 (Vokietija). Tyrimai atlikti remiantis LST EN ISO 13934-1:2000 standartu [44]. Įrenginio principinė schema pateikta 3.1 pav. Mezginių elgsena tempiant tirta bandinius ištempus iki 10 % ir 20 % fiksuotos ištįsos. Megztų bandinių tempimui pagaminti specialūs spaustuvai, pritaikyti platiems megztos struktūros bandiniams. Netąsų elementą imituojančio audinio trūkimo jėga tirta tempiant 5 cm pločio audinio bandinius. Pasirinktas atstumas tarp spaustuvių – 100 mm, tempimo greitis – 100 mm/min. Baigiamajame darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.



3.1 pav. Universalus tempimo įrenginys ZWICK/Z005: a) konstrukcijos schema (1 – bandinys, 2 – apatinis spaustuvai, 3 – viršutinis spaustuvai, 4 – jėgos jutiklis); b) spaustuvai, skirti tempti siūlus; c) spaustuvai, skirti tempti plačius bandinius

Apatinis įrenginio spaustuvai įtvirtintas stacionariai. Viršutinis spaustuvai, sujungtas su jėgos jutikliu, juda vertikalia ašimi. Jo judėjimo kryptis ir greitis valdomi kompiuretine programa. Bandinys įtvirtinamas viršutiniame ir apatiniame įrenginio spaustuose, pradinė bandinio įrąža – 2 N. Bandiniai su netąsiu elementu įtvirtinami taip, kad netąsus elementas patektų tik į bandomąją zoną ir visai nepatektų tarp spaustuvių.

3.2.2 Daugiaciklio varginimo charakteristikų nustatymo metodika

Mezginų elgsena daugiacykliškai tempiant nustatyta naudojantis universalia tempimo mašina Zwick/Z005 (Vokietija). Bandymams pasirinktas 500 mm/min tempimo greitis, atstumas tarp spaustuvių – 100 mm. Kiekvienas bandinys tempiamas 200 tempimo ciklų iki 20% fiksuotos ištįsios. Baigiamajame darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.

3.2.3 Siūlų tempimo charakteristikų nustatymo metodika

Elastomerinių ataudinių siūlų elgsena tempiant nustatyta universalia tempimo mašina Zwick/Z005 (Vokietija), naudojant spaustuvius, skirtus tempti siūlus. Ataudinių siūlų tempimo bandymai atlikti remiantis LST EN ISO 2062:2010 standartu [45]. Siūlai tempti iki 100 % fiksuotos ištįsios. Įvertinus didelį bandomų siūlų tįsumą, pasirinktas 0,5 m pradinis bandinių užtaisymo ilgis.

3.3 Kompresijos skaičiavimo metodika

Gaminio generuojama kompresija apskaičiuota pagal Laplace formulę [8]:

$$P = \frac{2\pi F}{L_N \cdot h} \quad (3)$$

čia: P – gaminio sukeliama kompresija Pa, F – gaminyje veikianti tempimo jėga, N, $L_N \cdot h$ – gaminio plotas (ilgio ir aukščio sandauga), m^2 .

3.4 Laidumo orui nustatymo metodika

Bandinių laidumas orui nustatytas remiantis LST EN ISO 9237:2007 standartu [46]. Bandinių laidumas orui nustatytas prietaisu L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija; 3.2 pav.). Bandymų atlikimui pasirinktas 5 cm^2 ploto žiedo formos bandinio laikiklis. Oro srauto debitas matuotas esant 200 Pa slėgių skirtumui.



3.2 pav. Laidumo orui matavimo įrenginys L14DR

Tiesus plokščias bandinys įtvirtinamas bandinio laikiklyje. Statmenai tekstilinės medžiagos paviršiui lėtai didinamas oro siurbimas, kol pasiekiamas nustatytas slėgių skirtumas; pasiekus stabilias sąlygas, matuojamas oro srauto debitas per tekstilinę medžiagą [47, 48]. Kiekvieno bandinio laidumas orui tirtas penkiose atsitiktinėse bandinio vietose. Baigiamajame darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.

Laidumas orui apskaičiuotas pagal formulę [48]:

$$R = \frac{q_v}{A} \cdot 167 ; \quad (4)$$

čia: R - laidumas orui, $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; q_v – oro srauto debito aritmetinis vidurkis, dm^3/min (l/min); A – bandomasis plotas, cm^2 ; 167 – perskaičiavimo iš $\text{dm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ į $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ koeficientas.

3.5 Trinties charakteristikų nustatymo metodika

Mezginių trinties koeficientas nustatytas naudojantis universalia tempimo mašina Zwick/Z005 (Vokietija). Vežimėlyje įtvirtinti bandiniai tempti 120 mm ilgio staleliu 100 mm/min greičiu. Bandiniai tempti trintį į odą imituojančiu paviršiumi. Tempimo vežimėlio svoris - 1,894 N, vežimėlio matmenys – (62 x 62) mm.

Paruošti 62 mm pločio megztinės medžiagos bandiniai įtvirtinami vežimėlyje taip, kad bandomoji medžiaga gaubtų apatinį vežimėlio paviršių. Tvirtinimo metu bandiniai nėra tempiami, tačiau įtvirtinami užtikrinant, jog bandinys yra gerai priglundęs prie vežimėlio paviršiaus. Trinties bandymai kartojami penkis kartus, darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų statinės ir dinaminės trinties rezultatų vertės.

3.6 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika

Analizuojant eksperimentų duomenis, buvo apskaičiuoti įvairūs statistiniai rodikliai: aritmetinis vidurkis \bar{x} , vidutinė kvadratinė nuokrypa S , absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ_a ir santykinė atsitiktinė paklaida δ_a ir kt. Toliau pateikiamos skaičiavimų formulės ir jų paaiškinimai.

Prieš atliekant rezultatų analizę, apskaičiuojamas aritmetinis vidurkis \bar{x} – vidutinė atliktų bandymų savybės vertė, pagal formulę [49]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (5)$$

čia: x_i – i-tasis bandymo rezultatas, n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Bandymų rezultatų sklaida gali būti įvertinama ir absoliutiniais, ir santykiniais dydžiais. Vidutinė kvadratinė nuokrypa S ir dispersija S^2 bei absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ_a apskaičiuojamos pagal formules [49]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (6)$$

čia: \bar{x} - aritmetinis vidurkis, x_i – i-tasis bandymo rezultatas, $n-1$ – laisvės laipsnių skaičius.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}; \quad (7)$$

čia: \bar{x} - aritmetinis vidurkis, x_i – i-tasis bandymo rezultatas, $n-1$ – laisvės laipsnių skaičius.

$$\Delta_a = \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}}; \quad (8)$$

čia: t_α – Stjudento kriterijus, n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Santykinis rezultatų sklaidos dydis – santykinė atsitiktinė paklaida δ_a , apskaičiuojama pagal formulę [49]:

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{\bar{x}}; \quad (9)$$

čia: \bar{x} - aritmetinis vidurkis, Δ_a – absoliutinė atsitiktinė paklaida.

Eksperimento rezultatams matematinę analizę galima taikyti tik tuomet, kai dispersijos yra vienarūšės, patikrinant tai pagal Cochran kriterijų (dispersijos vienarūšės, jeigu $G < G_{lent}$) [49]:

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum S^2}; \quad (10)$$

čia: S_{max}^2 – maksimalioji eksperimentų taškų dispersija, $\sum S^2$ - visų eksperimento taškų dispersijų suma.

Vienarūšėms dispersijoms apskaičiuojamas visų eksperimento taškų aritmetinis vidurkis \bar{X} , dispersija tarp bandymo vidurkių S_v^2 ir vidutinė bandymų dispersija S_y^2 [49]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i}{N}; \quad (11)$$

$$S_v^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{X})^2}{N-1}; \quad (12)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum S^2}{N}; \quad (13)$$

čia: N – eksperimento taškų skaičius.

Siekiant išsiaiškinti, ar pagal atlikto ekperimento rezultatus galima nustatyti objektyvias empirines priklausomybes, eksperimento informatyvumas patikrinamas Fisher kriterijumi [49]:

$$F = \frac{S_v^2}{S_y^2}. \quad (14)$$

Eksperimentas yra informatyvus ir analizuojamos dispersijos yra nevienarūšės (neadekvačios), jei $F > F_{lent}$ – tokiu atveju gali egzistuoti ryšys tarp tiriamosios savybės ir kintamojo faktoriaus [49].

4. Rezultatai ir jų aptarimas

Šiame skyriuje pateikiami tyrimų metu gauti rezultatai ir jų analizė. Rezultatų analizė atlikta remiantis skaitinėmis ir grafinėmis rezultatų išraiškomis bei lyginant juos su ankstesnių tyrimų rezultatais.

4.1. Mezginio sandaros rodiklių nustatymas

Siekiant nustatyti mezginių sandaros rodiklius, buvo išmatuoti tyrimams paruoštų bandinių horizontaliojo ir vertikaliojo tankumo koeficientai ir apskaičiuotas mezginių kilpos žingsnis ir kilpos aukštis. Mezginių sandaros rodiklių rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Tirtų bandinių sandaros rodikliai

Bandinio kodas	Horizontalusis tankumo koeficientas P_h , cm^{-1}	Vertikalusis tankumo koeficientas P_v , cm^{-1}	Kilpos žingsnis A , mm	Kilpos aukštis B , mm
PM_1_1	7,0	11,5	1,43	0,87
PM_1_2	7,5	12,1	1,34	0,83
PM_2_2	7,3	12,0	1,36	0,83
PM_1_4	7,7	12,0	1,29	0,83
P_1_1	7,0	11,5	1,40	0,87
P_1_2	7,5	11,9	1,33	0,84
P_2_2	7,0	12,0	1,42	0,83
P_1_4	8,0	12,2	1,25	0,82

Išmatuoto horizontaliojo tankumo koeficiento santykinė atsitiktinė paklaida neviršijo 1,8 %, vertikaliojo tankumo koeficiento santykinė atsitiktinė paklaida neviršijo 1,6 %.

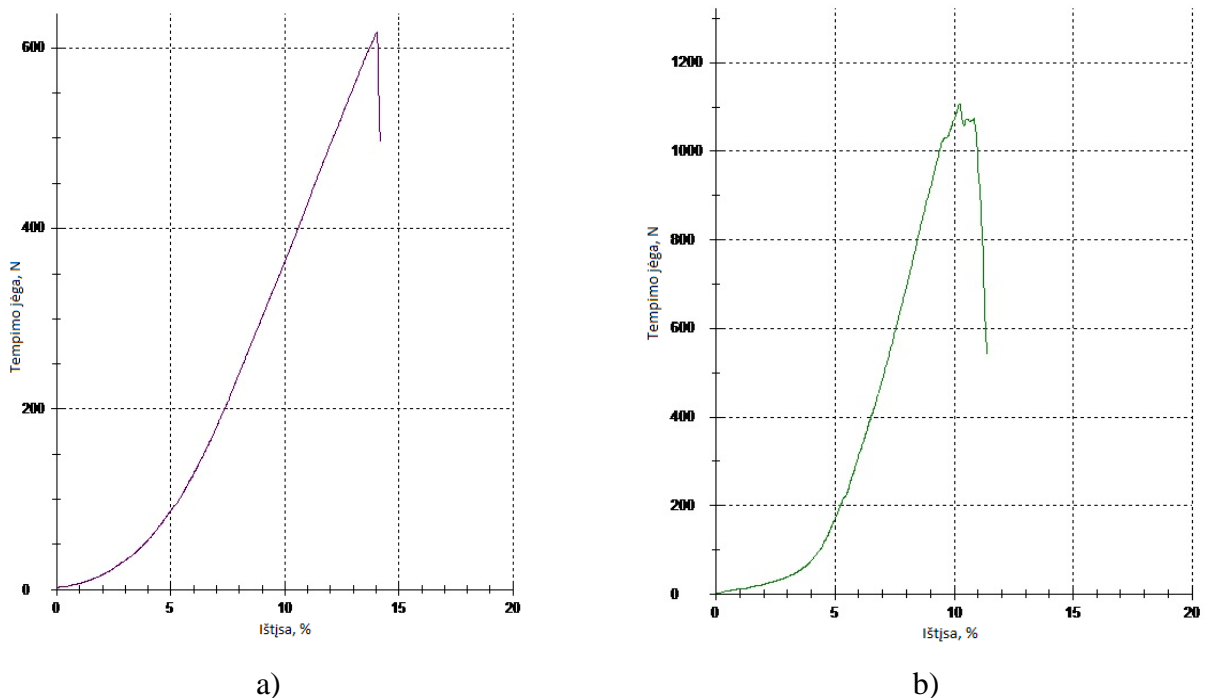
Pateiktoje mezginio sandaros rodiklių lentelėje A.a lentelėje matome, kad didžiausi horizontaliojo ir vertikaliojo tankumų koeficientai (tai yra didžiausias kilpų tankumas) kiekvienoje bandinių grupėje (PM ir P grupėse) yra mezginiuose, kuriuose ataudinis siūlas įterpiamas į kas ketvirtą eilutę (PM_1_4 ir P_1_4 bandinių grupės). Mažiausius tankumo koeficientus galime įvardinti mezginiuose, kuriuose ataudinis siūlas įterpiamas į kiekvieną mezginio eilutę arba abu ataudiniai siūlai įterpiami į kas antrą mezginio eilutę. Didesnis ataudinių siūlų skaičius mezginyje arba didesnis ataudinių siūlų įterpimo mezginio struktūroje tankumas sumažina mezginio tankumą.

Išmatuoti netąsaus elemento imitavimui pasirinkto lininio audinio tankumai: metmenų kryptimi audinio tankumas $167,6 \pm 2,4 \text{ dm}^{-1}$, ataudų kryptimi – $154,4 \pm 2,4 \text{ dm}^{-1}$.

4.2 Mezginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtakos kompresinėms savybėms tyrimas

4.2.1. Netąsaus elemento ir elastomerinių ataudinių siūlų elgsenos tempiant tyrimas

Siekiant imituoti kompresinio įtvoro su netąsiu elementu konstrukciją, bandinio viduryje buvo prisiūtas lininis audinys, kurio tąsumas yra ženkliai mažesnis nei įtvoro pagrindą sudarančio mezginio. Siekiant įsitikinti pasirinkto audinio tinkamumu netąsaus elemento imitavimui, buvo ištirta audinio elgsena tempiant. Atlikus netąsų elementą imituojančio audinio tempimo bandymus gauta, kad audinio trūkimo jėga yra ženkliai didesnė už eksperimentuose naudotą megztų bandinių su netąsiu elementu tempimo jėgą. Atlikus visus bandymus apskaičiuota, kad audinio trūkimo jėga metmenų kryptimi daugiau nei 20 kartų didesnė negu maksimali prognozuojama megztų bandinių tempimo jėga, imituojanti eksploatacijos metu veikinčią jėgą ($F = 26,5 \text{ N}$, kuri pasirinkta atsižvelgiant į ankstesnių tyrimų duomenis [15]), o ataudų kryptimi – didesnė daugiau nei 50 kartų (žr. 6 lentelę). Bandymų metu gauta, kad audinys nutrūksta esant 10 – 14 % ištįsai. Tuo tarpu veikiant didžiausiai tempimo bandymų metu užfiksuotai megztų bandinių tempimo jėgai ($F = 26,5 \text{ N}$), tempiamas audinys patiria tik iki 4 % ištįsą (4.1 pav).



4.1 pav. Netąsaus elemento imitavimui naudojamo audinio tempimo kreivės: a) metmenų kryptimi, b) ataudų kryptimi

Taip pat svarbu paminėti, kad, užtaisant bandinį, audinys nėra suspaudžiamas spaustuvoje kartu su megztu bandiniu, o tik sudaro netąsų elementą bandinio centre, ir tempimo metu dėl ženkliai didesnio tąsumo deformuojamas tik mezginy. Įvertinus bandymų rezultatų duomenis, atliekamam

eksperimentui netąsaus elemento imitavimui pasitinktas audinys yra tinkamas. Tolimesniuose bandymuose minėtas audinys naudotas ataudų kryptimi.

6 lentelė. Netąsaus elemento sudarymui pasirinkto audinio parametrai

Audinio kryptis	Siūlų faktinis ilginis tankis T, tex	Siūlų tankumas P, dm^{-1}	Trūkimo jėga F, N	Trūkimo išťažsa $\varepsilon, \%$	Audinį naudojant netąsaus elemento sudarymui	
					Eksplotacijos metu galimà max tempimo jėga F, N	Audinio išťažsa ε , esant max tempimo jėgai, %
Metmenų	48,5	$167,6 \pm 2,4$	$598 \pm 53,8$	$14,0 \pm 1,0$	26,5	3
Ataudų	64,3	$154,4 \pm 2,4$	$1104 \pm 70,8$	$10,0 \pm 0,5$		4

Siekiant įsitikinti pasirinktų ataudinių siūlų tinkamumu, buvo atlikti elastomerinių siūlų tempimo bandymai. Ataudinių elastomerinių siūlų tempimo iki fiksuotos 100 % išťažsos rezultatai pateikiami 7 lentelėje.

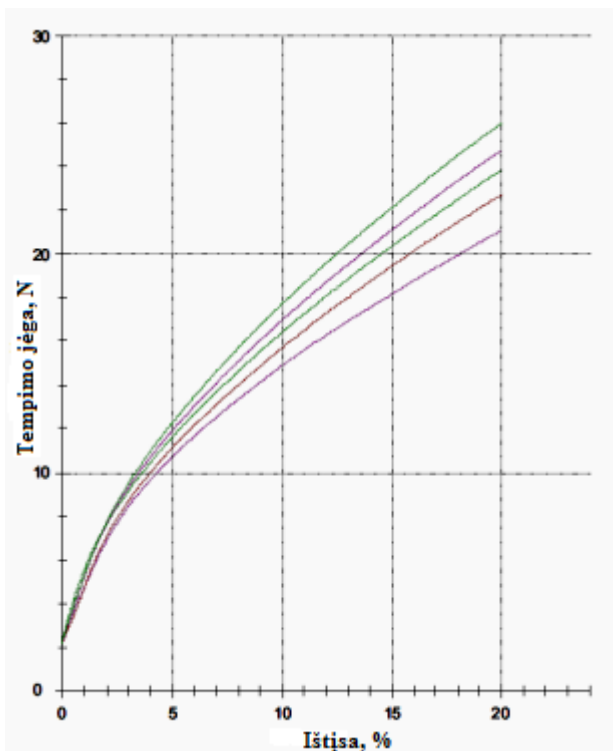
7 lentelė. Ataudinių elastomerinių siūlų tempimo iki fiksuotos 100 % išťažsos bandymo rezultatai

Ataudinio siūlo kodas	Ataudinio siūlo sudėtis	Vardinis ilginis tankis, tex	Tempimo jėga, cN, esant fiksuotai 100 % išťažsai
PM	47,5 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlu ir 4,4 tex medvilniniu verpalu	70 tex	$14,0 \pm 0,1$
P	47 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlais	55 tex	$15,0 \pm 0,1$

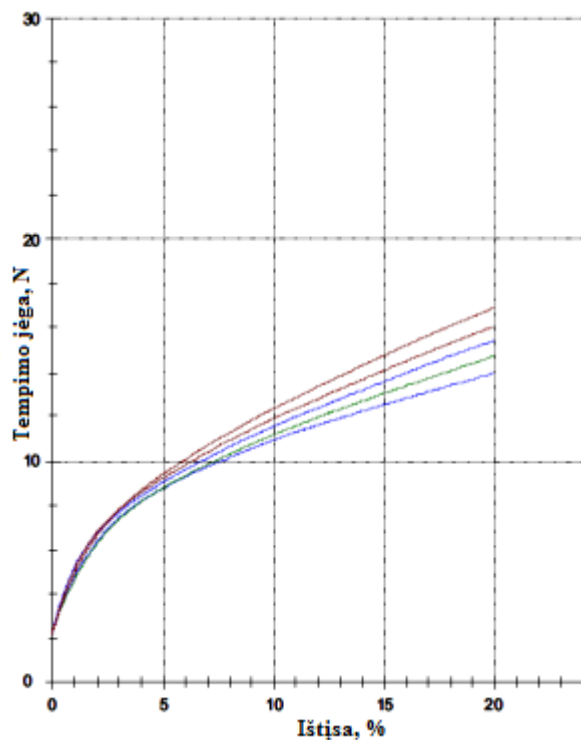
Atlikti mežginio struktūroje naudojamų ataudinių siūlų tempimo bandymai parodė, kad, tempiant ataudinius elastomerinius siūlus iki 100 % fiksuotos išťažsos, kuri yra kelis kartus mažesnė už tokių siūlų trūkimo išťažsą [31, 50], reikalinga tempimo jėga yra $14 \div 15$ cN.

4.2.2. Mežginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtakos tempimo charakteristikoms tyrimas

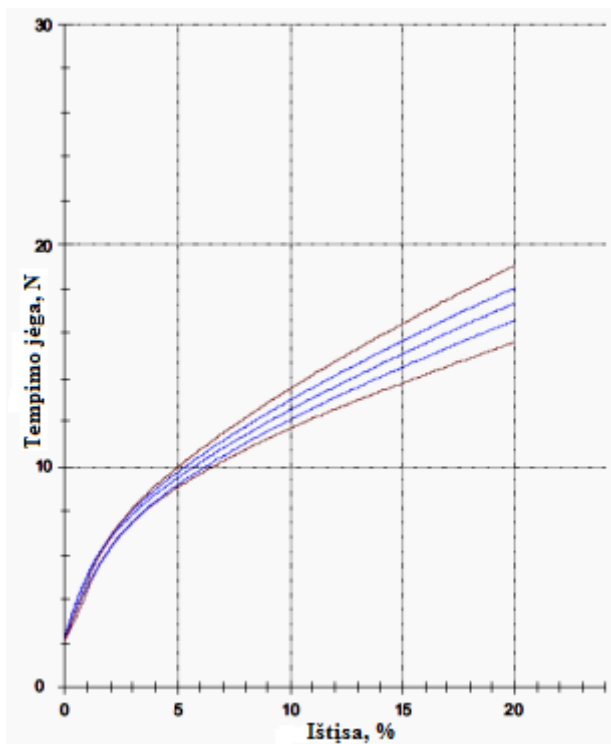
Megztų bandinių su netąsiu elementu tempimo bandymai buvo atliekami iki fiksuotos 10 % ir 20 % išťažsos, kadangi ortopediniai įtvarai dažniausiai yra eksploatuojami iki tokios išťažsos. Rezultatams iliustruoti bandymų metu gautos charakteringos tempimo kreivės (PM bandinių grupės, tempiant iki 20% fiksuotos išťažsos ir kintant netąsaus elemento santykiniam plotui, charakteringosios kreivės) pateikiamos 4.2 paveiksle. Tirtų mežztų bandinių elgsenos tempimo iki fiksuotos 10 % ir 20 % išťažsos metu rezultatai pateikti 8 lentelėje.



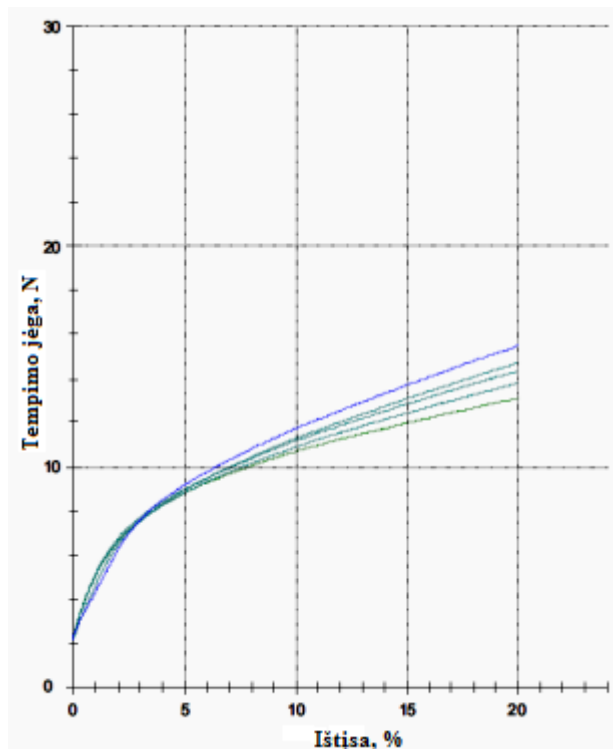
a)



b)



c)



d)

4.2 pav. PM grupės bandinių, tempiant iki 20% fiksuotos ištįsos ir kintant netąsaus elemento santykiniam plotui, charakteringosios kreivės: a) – PM_1_1 bandinių grupė, b) PM_1_2 bandinių grupė, c) PM_2_2 bandinių grupė, d) PM_1_4 bandinių grupė

8 lentelė. Tempimo jėga F (N), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies vidutinės vertės, bandinio ištįsai esant 10 % ir 20 %

Ištįsa	10 %					20 %				
Bandinių grupė	Netąsaus elemento užimama bandinio dalis									
	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %
PM_1_1	15,17	16,04	16,60	16,83	17,58	21,07	22,75	23,87	24,76	26,07
PM_1_2	11,03	11,40	11,64	11,78	12,44	13,96	14,73	15,45	16,07	16,93
PM_2_2	11,59	12,18	12,61	12,76	13,53	15,62	16,70	17,42	18,07	19,08
PM_1_4	10,48	10,78	11,14	11,19	11,59	13,10	13,80	14,31	14,71	15,52
P_1_1	14,99	15,87	16,37	16,64	17,42	20,93	22,22	23,17	24,19	25,31
P_1_2	11,60	12,03	12,39	12,60	13,13	14,90	15,84	16,21	16,97	17,71
P_2_2	12,10	12,73	13,14	13,61	14,00	16,37	17,38	18,14	18,96	19,88
P_1_4	11,47	11,66	12,06	12,28	12,58	13,86	14,79	15,31	15,97	16,76

Visų gautų tempimo bandymų rezultatų santykinės atsitiktinės paklaidos svyruoja tarp 0,6 ÷ 4,7 %. Cochran kriterijaus skaičiavimų rezultatai parodė, kad gautas kriterijus (pateikiama BC lentelėje) yra mažesnis už lentelinį (esant pasikliaujamajai tikimybei 0,95 $G_{lent} = 0,5895$), todėl matematinę analizę šiems rezultatams taikyti galima. Eksperimentas laikomas informatyviu, jei apskaičiuotas Fisher kriterijus yra didesnis už lentelinį (esant pasikliautinajai tikimybei 0,95, $F_{lent} = 6,39$). Bandymų matematinės analizės rezultatai pateikiami 9 lentelėje.

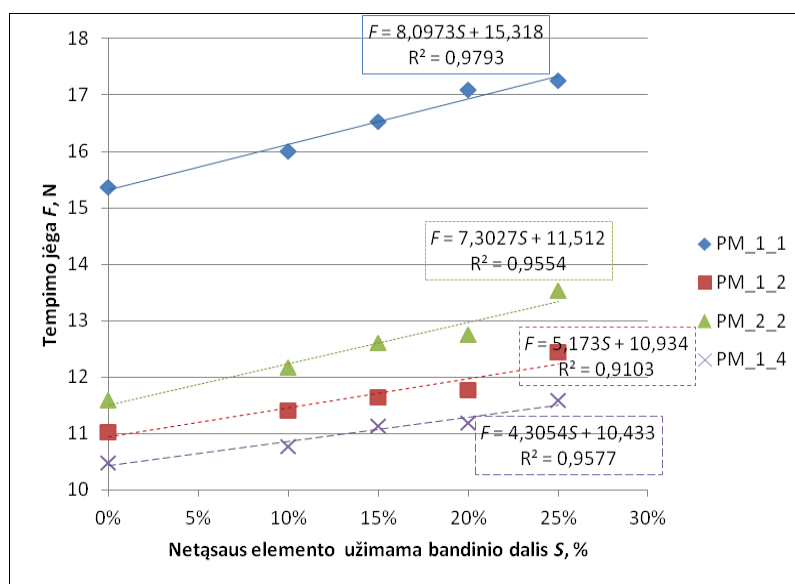
9 lentelė. Tempimo bandymų rezultatų matematinės analizės rezultatai

Bandinys	PM_1_1	PM_1_2	PM_2_2	PM_1_4	P_1_1	P_1_2	P_2_2	P_1_4
Tempiant iki 10% fiksuotos ištįsos								
Cochran kriterijus	0,496	0,399	0,269	0,293	0,330	0,283	0,305	0,373
Fisher kriterijus	25,71	13,40	19,11	4,582	9,84	9,84	42,86	7,20
Tempiant iki 20% fiksuotos ištįsos								
Cochran kriterijus	0,250	0,331	0,342	0,260	0,236	0,261	0,255	0,582
Fisher kriterijus	157,56	86,55	30,69	16,04	20,28	22,27	104,74	17,65

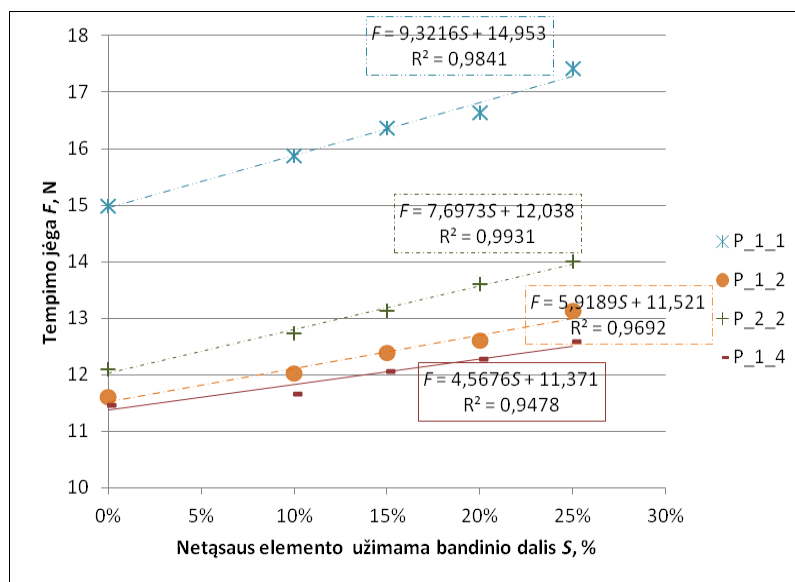
Patikrinus eksperimento informatyvumą Fisher kriterijumi, gauta, kad visos, išskyrus bandymą, kurio metu P_1_4 bandiniai tempiami iki 10% ištįsos, eksperimento rezultatų dispersijos nėra vienarūšės, t.y. eksperimentas yra informatyvus. Minėtojo bandymo metu gautos mažos rezultatų vertės – didėjant netąsaus elemento plotui bandinyje, tempimo jėgos rezultatai lieka artimi. Dėl šių priežasčių ir vertinimo paklaidų bandymo, kurio metu P_1_4 bandiniai tempiami iki 10 %

ištisos, Fisher kriterijus gautas mažesnis už lentelinį, todėl šiuo konkrečiu atveju galima tyrinėti tik mezginių elgsenos tendencijas.

Ataudinio siūlo įterpimo tankumo įtakos tempimo jėgos dydžiui ir tempimo jėgos priklausomybių nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto grafinis vaizdas pateiktas 4.3 ir 4.4 paveiksluose. Gauti rezultatai aiškiai rodo, jog tempimo jėga tiesiškai didėja, didėjant netąsaus elemento užimamam plotui.

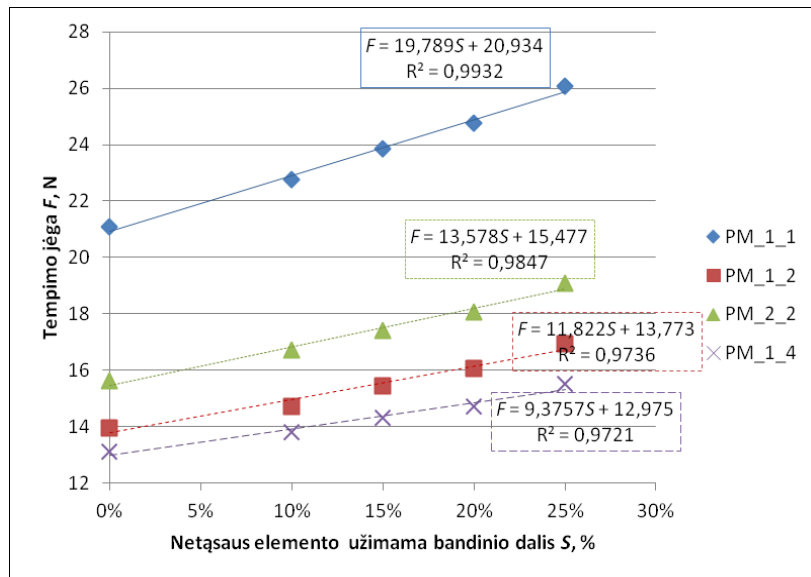


a)

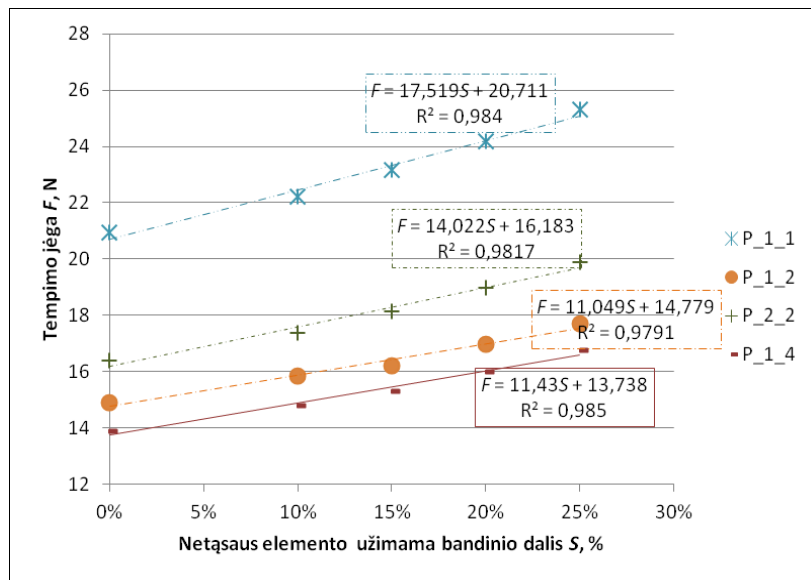


b)

4.3 pav. Tempimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto, tempiant iki 10% fiksuotos ištisos: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė



a)



b)

4.4 pav. Tempimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto, tempiant iki 20% fiksuotos ištiesos: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė

Nagrinėjant mezginio struktūros įtaką tempimo jėgai (4.3 ir 4.4 pav.), aiškiai matoma, kad didžiausia tempimo jėga reikalinga tempiant bandinius su kiekvienoje elutėje įterptu elastomeriniu ataudiniu siūlu (PM_1_1 ir P_1_1 bandinių grupės). Svarbu pastebėti, kad ataudinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus du kartus – nuo maksimalaus (kiekvienoje mezginio eilutėje), iki įterpimo kas antroje mezginio eilutėje – tempimo jėga sumažėja 23 ÷ 34 %, priklausomai nuo ištiesos dydžio ir netąsaus elemento santykinio ploto. Tačiau ataudinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus dar du kartus, t.y. nuo įterpimo kas antroje eilutėje iki įterpimo kas ketvirtoje eilutėje, tempimo jėga sumažėjo tik 1 ÷ 7 %, lyginant su prieš tai minėtu variantu (esant įterpimui į kas antrą eilutę).

Taip pat svarbu tai, kad lemiamą įtaką tempimo jėgos dydžiui turi ne ataudinio siūlo absoliutinis kiekis mezginio struktūroje, o jo įterpimo tankumas. Bandinių su dviem ataudiniais siūlais, įterptais kas antroje mezginio eilutėje, tempimo jėga gauta nuo 19 % iki 26 % (priklausomai nuo ataudinio siūlo ir ištiesos dydžio) mažesnė nei bandinių su įterptu ataudiniu siūlu kiekvienoje eilutėje, nors sunaudojamo ataudinio siūlo kiekis yra toks pats.

Lyginant bandinių su vienodu absoliutiniu ataudinio siūlo kiekiu, tačiau skirtingu jo įterpimo tankumu (lyginant variantus PM_1_1 su PM_2_2 bei P_1_1 su P_2_2), tempimo jėgos skirtumas pastebimas didesnis. Tempiant iki 10 % fiksuotos ištiesos, bandiniams su kiekvienoje eilutėje įterptu ataudiniu siūlu reikalinga didesnė tempimo jėga: bandiniams su ataudiniu siūlu kiekvienoje eilutėje (PM_1_1) reikalinga $3,6 \div 4,1$ N didesnė tempimo jėga negu bandiniams su dviem ataudiniais siūlais kas antroje eilutėje (PM_2_2) (priklausomai nuo netąsaus elemento užimamo ploto), atitinkamai P_1_1 bandiniams – $2,9 \div 3,4$ N didesnė jėga nei P_2_2 bandiniams. Tempiant iki 20 % fiksuotos ištiesos, PM_1_1 bandiniams reikalinga $5,5 \div 7$ N didesnė jėga nei PM_2_2 bandiniams, atitinkamai P_1_1 bandiniams – $4,6 \div 5,4$ N didesnė jėga nei P_2_2 bandiniams. Taigi, siekiant padidinti gaminio generuojamą kompresiją, ataudinių siūlų ilginio tankio didinimas, nekeičiant jo įterpimo tankumo, nėra tikslingas ir neduoda norimų rezultatų, tačiau gerokai padidina gaminio savikainą, o tai nėra naudinga gamybos ekonomijos požiūriu.

Taigi, siekiant ženkliai padidinti tempimo jėgą (pvz., gaminant aukštesnės kompresijos klasės gaminius), tikslinga didinti ataudinio siūlo įterpimo tankumą, o ne jo absoliutinį kiekį ar ilginį tankį. Bandinių su kas antroje eilutėje įterptu vienu ataudiniu siūlu tempimo jėga, tempiant iki 10 % fiksuotos ištiesos, yra tik nuo 0,5 iki 1,1 N mažesnė, nei bandinių, su kas antroje eilutėje įterptais dviem ataudiniais siūlais. Tempiant iki 20 % fiksuotos ištiesos, tempimo jėgos skirtumas yra 1,5 – 2,2 N.

Iš 4.3 ir 4.4 paveiksluose pateiktų rezultatų matome, kad tempimo jėga tiesiškai didėja, didėjant netąsaus elemento bandinyje santykiniam plotui. Tiesinė priklausomybė gauta stipri (apibrėžties koeficiento R^2 vertės svyruoja nuo 0,9932 iki 0,9103), todėl pagal pateiktas priklausomybes gali būti tiksliai prognozuojamos tarpinės tempimo jėgos vertės. Lyginant bandinius be netąsaus elemento ir su netąsiu elementu, užimančiu 25 % bandinio ploto, pastebėta, kad, norint bandinius ištempti iki 10 % fiksuotos ištiesos, reikalinga iki 14 % didesnė tempimo jėga, o tempiant bandinius iki 20 % fiksuotos ištiesos – iki 19 % didesnė tempimo jėga. Tai patvirtina ir kitų autorių atlikti tyrimai, kad didinant netąsaus elemento plotą kartu didėja ir pasirinktai ištiesai pasiekti reikalinga tempimo jėga [15].

Apibendrinimas. Atlikus reikiamus bandymus nustatyta, kad bandinių tempimo jėga tiesiškai didėja, didėjant netąsaus elemento bandinyje santykiniam plotui. Gauta stipri priklausomybė

(apibrėžties koeficiento R^2 vertės svyruoja nuo 0,9932 iki 0,9103), todėl pateiktos priklausomybės gali būti naudojamos tarpinių tempimo jėgos verčių prognozavimui. Tempimo bandymais įrodyta, kad didinant netąsaus elemento plotą didėja ir pasirinktai ištiesai pasiekti reikalinga tempimo jėga.

Nustatyta aiški ataudinio siūlo įterpimo tankumo įtaka tempimo jėgos dydžiui. Ataudinio siūlo įterpimą sumažinus nuo maksimalaus įterpimo kiekvienoje meziginio eilutėje iki įterpimo kas antroje elutėje, tempimo jėga sumažėja 23 ÷ 34 % (priklausomai nuo ištiesos dydžio), tačiau įterpimo tankumą sumažinus dar du kartus – iki įterpimo kas ketvirtoje eilutėje, tempimo jėga sumažėj tik 1 ÷ 7 %.

Nustatyta, kad lemiamą įtaką tempimo jėgos dydžiui turi ne ataudinio siūlo absoliutinis kiekis mezginio struktūroje, o jo įterpimo tankumas. Bandinių su dviem ataudiniais siūlais, įterptais kas dvi eilutes, tempimo jėga gauta 19 ÷ 26 % mažesnė nei bandinių su ataudiniu siūlu kiekvienoje eilutėje, nors absoliutinis ataudinio siūlo kiekis yra toks pats. Taigi, siekiant padidinti gaminių tempimo jėgą, keisti tik ataudinių siūlų ilginį tankį, nekeičiant jų įterpimo tankumo, nėra efektyvu ir ekonomiškai nenaudinga.

4.2.3. Meziginio sandaros ir gaminio konstrukcijos įtakos generuojamai kompresijai tyrimas

Tirtų bandinių generuojamos apspaudimo jėgos (generuojamos kompresijos) priklausomybės nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto, tempiant iki fiksuotos 10 % ir 20 % ištiesos, rezultatai pateikiami 10 lentelėje. Apspaudimo jėga apskaičiuota pagal Laplace formulę (3), įvertinančią bandinyje veikiančios tempimo jėgos ir gaminio ploto santykį.

10 lentelė. Generuojamos kompresijos P (hPa), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies, vidutinės vertės, kai bandinio ištiesa 10 % ir 20 %

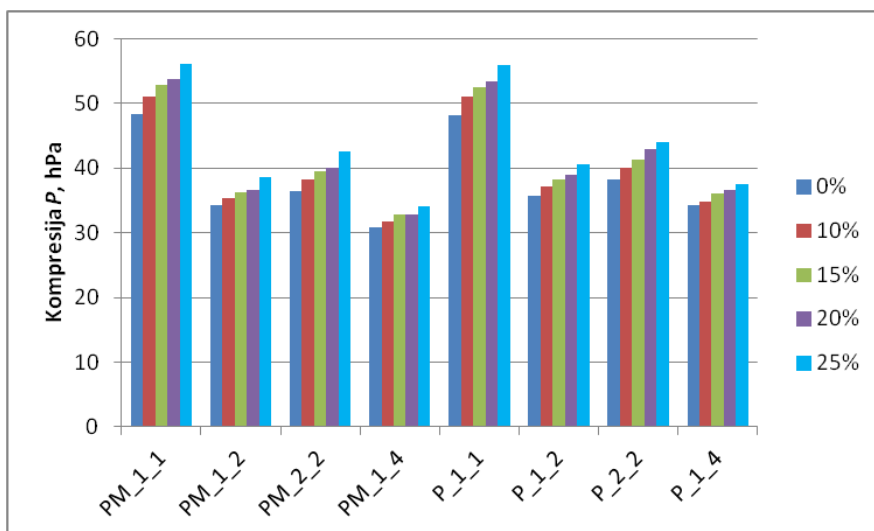
Ištiesa	10 %					20 %				
	Netąsaus elemento užimama bandinio dalis									
Bandinių grupė	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %
PM_1_1	48,4	51,1	52,9	53,7	56,1	67,2	72,5	76,1	78,9	83,1
PM_1_2	34,3	35,4	36,2	36,6	38,7	43,4	45,8	48,0	50,0	52,7
PM_2_2	36,4	38,3	39,6	40,1	42,5	49,1	52,5	54,7	56,8	60,0
PM_1_4	30,8	31,7	32,8	32,9	34,1	38,6	40,6	42,1	43,3	45,7
P_1_1	48,2	51,0	52,6	53,5	56,0	67,3	71,4	74,5	77,7	81,4
P_1_2	35,8	37,2	38,3	39,0	40,6	46,1	49,0	50,1	52,4	54,7
P_2_2	38,2	40,1	41,4	42,9	44,1	51,6	54,8	57,1	59,7	62,6
P_1_4	34,2	34,8	36,0	36,6	37,5	41,3	44,1	45,6	47,6	50,0

Remiantis tyrimų rezultatais, matome, kad generuojama kompresija akivaizdžiai priklauso nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto bandinyje ir yra tiesinio pobūdžio – didinant

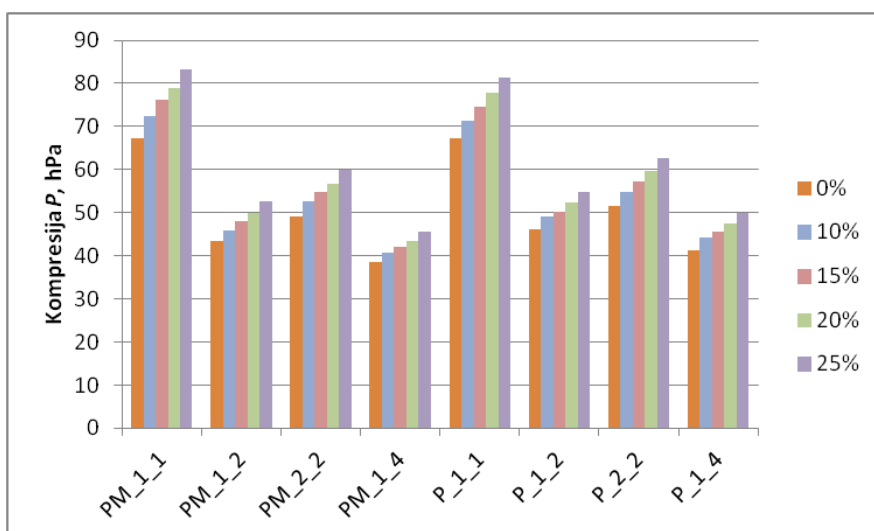
netąsaus elemento užimamą santykinį plotą, tiesiškai proporcingai didėja ir generuojama kompresija. Taip pat aiškiai matoma kompresijos priklausomybė nuo ataudinio siūlo įterpimo mezginyje tankumo – esant maksimaliam ataudinio siūlo įterpimo tankumui gaminys generuoja didžiausią apspaudimo jėgą.

Bandinius be netąsaus elemento tempiant iki 10 % fiksuotos ištiesos, esant didžiausiam ataudinio siūlo įterpimo tankumui (po vieną siūlą į kiekvieną eilutę), pasiekiami 48,2 ÷ 48,4 hPa kompresija, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo. Esant tam pačiam absoliutiniam ataudinio siūlo kiekiui, bet 2 kartus mažesniai įterpimo tankumui (po du siūlus į kas antrą eilutę), generuojama 36,4 ÷ 38,2 hPa, t.y. 20,7 ÷ 24,8 % mažesnė kompresija. Absoliutinį ataudinio siūlo kiekį sumažinus 2 kartus (įterpiant po vieną siūlą į kas antrą eilutę), lyginant su prieš tai minėtu atveju, kai du ataudiniai siūlai įterpiami į kas antrą eilutę, generuojama kompresija sumažėja tik 1,9 ÷ 2,4 hPa, t.y. sumažėja tik 5,8 ÷ 6,3 %, ir siekia 34,3 ÷ 35,8 hPa. Ataudinio siūlo įterpimą sumažinus dar du kartus iki mažiausio ataudinio siūlo absoliutinio kiekio ir įterpimo tankumo (esant įterpimui į kas ketvirtą eilutę) generuojama kompresija siekia 30,8 ÷ 34,2 hPa, t.y. sumažėja 4,5 ÷ 10,2 %, lyginant su variantu, kai ataudinis siūlas įterpiamas į kas antrą eilutę. Lyginant su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (įterpiant po vieną siūlą į kiekvieną eilutę), bandinio generuojama kompresija sumažėja 29 ÷ 36,4 %, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo. Panašus procentinis kompresijos pokytis gaunamas ir bandiniuose su fiksuotu netąsaus elemento santykinio plotu.

Esant 20 % fiksuotai ištiesai, ataudinio siūlo įterpimo tankumo lemiamas procentinis kompresijos pokytis pastebimas didesnis. Lyginant bandinius su tokiu pačiu absoliutiniu ataudinio siūlo kiekiu, bet skirtingu įterpimo tankumu (lyginant PM_1_1 su PM_2_2 ir P_1_1 su P_2_2), kompresija sumažėja 23 ÷ 28%, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto. Ataudinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus 2 kartus (lyginant PM_2_2 su PM_1_2 ir P_2_2 su P_1_2), generuojama kompresija sumažėja 11 ÷ 13 %, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto. Ataudinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus dar 2 kartus (lyginant PM_1_2 su PM_1_4 ir P_1_2 su P_1_4), generuojama kompresija sumažėja tik 9 ÷ 13%, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto. Lyginant su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (įterpiant po vieną siūlą į kiekvieną eilutę), bandinio generuojama kompresija sumažėja 38 ÷ 45 %, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto. Ataudinio siūlo įterpimo įtaka gaminio generuojamai kompresijai pateikiama 4.5 paveiksle.



a)



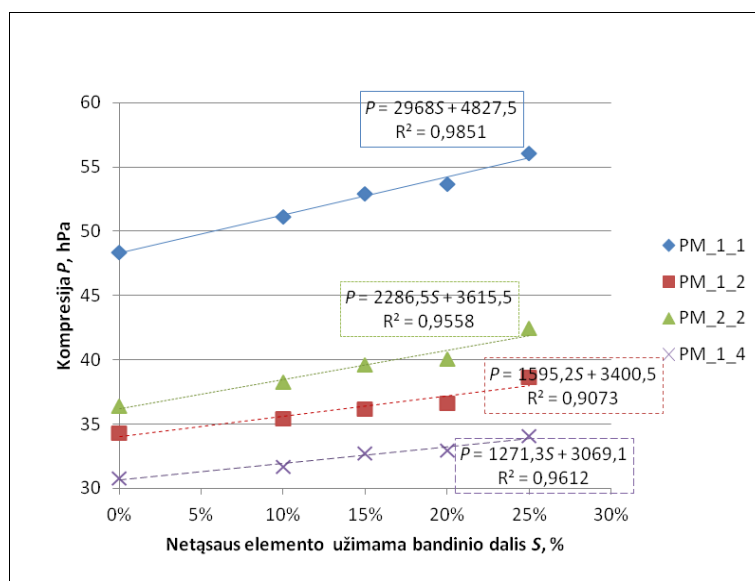
b)

4.5 pav. Ataudinio siūlo įterpimo įtaka gaminio generuojamai kopresijai, priklausomai nuo ataudinio siūlo tipo ir netąsaus elemento užimamo santykinio ploto: a) esant 10 % fiksuotai išťažsai, b) esant 20 % fiksuotai išťažsai

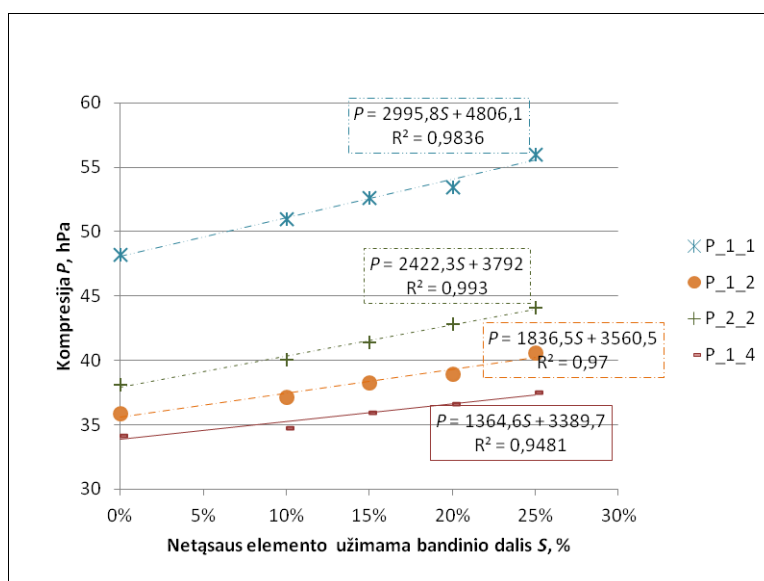
Remiantis gautais rezultatais matome, kad ataudinio siūlo įterpimo į mezginį tankumas daro didelę įtaką generuojamai kopresijai. Varijuojant elastomerinio ataudinio siūlo įterpimo tankumu galima keisti tam tikrų gaminio vietų kopresijos dydį ir taip pagaminti daugiafunkciškesnį gaminį, labiau atitinkantį keliamus medicininius reikalavimus.

Iš kitų autorių darbų yra žinoma, kad netąsaus elemento santykiniam plotui esant iki 3 %, jo įtaka mezginio kopresinėms savybėms nėra svarbi, tačiau didesnę plotą užimantys netąsūs elementai daro reikšmingą įtaką mezginio kopresijai – esant 7,6 % santykinio ploto netąsiam elementui, mezginio tempimo jėga padidėja iki 15 % [15].

Apspaudimo jėgos priklausomybė nuo netšaus elemento užimamo santykinio ploto grafiškai pateikiama 4.6 ir 4.7 paveiksluose.

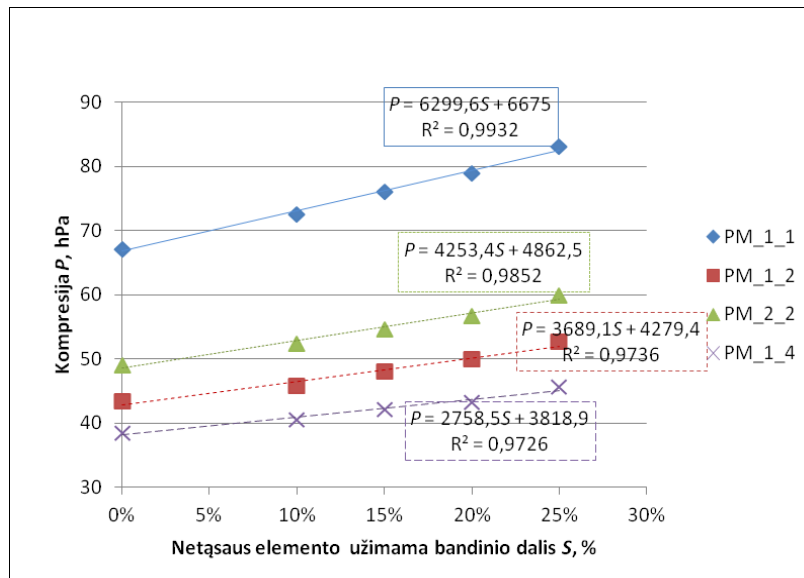


a)

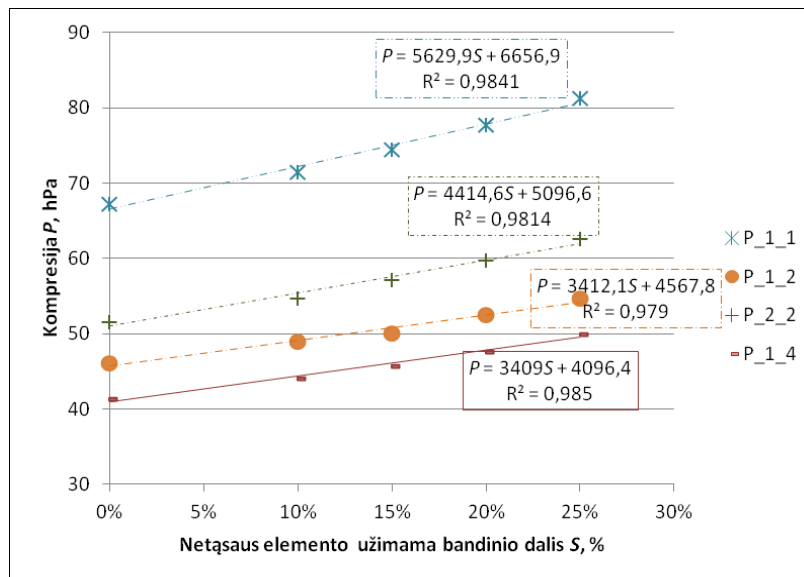


b)

4.6 pav. Apspaudimo jėgos priklausomybė nuo netšaus elemento užimamo santykinio ploto, esant 10 % fiksuotai ištiesai: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė



a)



b)

4.7 pav. Apspaudimo jėgos priklausomybė nuo netšaus elemento užimamo santykinio ploto, esant 20% fiksuotai ištiesai: a) PM bandinių grupė, b) P bandinių grupė

Iš gautų eksperimentinių rezultatų matome, kad, lyginant bandinius be netšaus elemento ir bandinius su mažiausiu pasirinktu (užimančiu 10 % bandinio ploto) netšaus elementu, apspaudimo jėga, esant 10 % fiksuotai ištiesai, padidėja 2 ÷ 6 % (priklausomai nuo ataudinio siūlo iterpimo į mezginį tankumo). Mažiausias kompresijos pokytis (2 ÷ 3 %) pastebėtas bandiniuose su įterptu ataudiniu siūlu į kas ketvirtą mezginio eilutę (PM_1_4 ir P_1_4). Bandiniuose su vienu ataudiniu siūlu, įterptu į kas antrą mezginio eilutę (PM_1_2 ir P_1_2), kompresijos pokytis siekia 3 ÷ 4 %. Tuo tarpu bandiniuose su ataudiniais siūlais, įterptais į kiekvieną mezginio eilutę (PM_1_1 ir P_1_1), ir

bandiniuose su dviem ataudiniais siūlais, įterptais į kas antrą meziginio eilutę (PM_2_2 ir P_2_2), kompresijos jėgos pokytis yra ~5 %. Ataudinių siūlų įterpimo tankumą padidinus dvigubai – nuo įterpimo kas antroje eilutėje iki kiekvienoje eilutėje, generuojama kompresija išauga 1,5 karto, o ataudinio siūlo įterpimo tankumą taip pat padidinus dvigubai – nuo įterpimo kas ketvirtoje eilutėje iki kas antroje eilutėje, generuojama kompresija taip pat padidėja tik 1,1 karto. Tai leidžia teigti, kad meziginiams su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimu, kurie generuoja didesnes kompresijos vertes, gana svarbią įtaką daro net ir nedidelės netąsios zonos, tuo tarpu meziginiams su mažesniu ataudinių siūlų įterpimo tankumu ši įtaka yra pastebimai mažesnė.

Eksperimento rezultatai parodė, kad, esant maksimaliam pasirinktam netąsaus elemento santykinio ploto (tirtuoju atveju – 25 %), bandinio kompresija gali padidėti iki 17 %, tempiant iki 10 % ištįsos, ir iki 24 %, tempiant iki 20 % ištįsos. Kaip ir jau aptartu mažesnio netąsaus elemento santykinio ploto atveju, didžiausias kompresijos pokytis yra bandiniuose su didžiausiu ataudinių siūlų įterpimo tankumu – PM_1_1 ir P_1_1. Šiuo atveju kompresija, priklausomai nuo bandinių grupės, padidėja nuo 16 % (PM_1_1 bandiniuose) iki 17 % (P_1_1 bandiniuose), tempiant iki 10 % ištįsos, o tempiant iki 20 % ištįsos, tempimo jėga padidėja nuo 21, % (P_1_1 bandiniuose) iki 24 % (PM_1_1 bandiniuose). Bandiniuose su ataudiniu siūlu, įterptu į kas antrą eilutę (PM_1_2 ir P_1_2), esant maksimaliam pasirinktam netąsaus elemento plotui, kompresija padidėja nuo 13 % (PM_1_2 bandiniuose) iki 13 % (P_1_2 bandiniuose), tempiant iki 10 % ištįsos, o tempiant iki 20% ištįsos – nuo 19 % (P_1_2 bandiniuose) iki 21 % (PM_1_2 bandiniuose). Bandiniuose su ataudiniu siūlu, įterptu į kas ketvirtą eilutę (PM_1_4 ir P_1_4), minėtu atveju kompresija padidėja nuo 10 % (P_1_2 bandiniuose) iki 11 % (PM_1_2 bandiniuose), tempiant iki 10 % ištįsos, o tempiant iki 20 % ištįsos – nuo 19 % (PM_1_2 bandiniuose) iki 21 % (P_1_2 bandiniuose).

12 lentelėje pateikti apibendrinti kompresijos pokyčio rezultatai, priklausomai nuo netąsaus elemento santykinio ploto ir ataudinio siūlo įterpimo tankumo.

11 lentelė. Procentinis kompresijos pokytis, didinant netąsaus elemento užimamą plotą (lyginant su bandiniais be netąsaus elemento), kai bandinio ištįsa 10 % ir 20 %

Ištįsa	10 %				20 %			
	Netąsaus elemento užimama bandinio dalis							
Bandinių grupė	10 %	15 %	20 %	25 %	10 %	15 %	20 %	25 %
PM_1_1	5,6%	9,3%	11,0%	15,9%	7,9%	13,2%	17,4%	23,7%
PM_1_2	3,2%	5,5%	6,7%	12,8%	5,5%	10,6%	15,2%	21,4%
PM_2_2	5,2%	8,8%	10,2%	16,8%	6,9%	11,4%	15,7%	22,2%
PM_1_4	2,9%	6,5%	6,8%	10,7%	5,2%	9,1%	12,2%	18,4%
P_1_1	5,8%	9,1%	11,0%	16,2%	6,1%	10,7%	15,5%	21,0%
P_1_2	3,9%	7,0%	8,9%	13,4%	6,3%	8,7%	13,7%	18,7%
P_2_2	5,0%	8,4%	12,3%	15,4%	6,2%	10,7%	15,7%	21,3%
P_1_4	1,8%	5,3%	7,0%	9,6%	6,8%	10,4%	15,3%	21,1%

Esant 10 % fiksuotai ištįsai, didžiausias kompresijos pokytis, didinant santykinį netąsaus elemento plotą, būdingas bandiniams, kuriuose ataudinio elastinio siūlo absoliutinis kiekis yra didžiausias (PM_1_1, PM_2_2, P_1_1 ir P_2_2). Mažiausia netąsaus elemento užimamo ploto įtaka kompresijos pokyčiui pasižymėjo bandiniai su mažiausiu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (PM_1_4 ir P_1_4). Esant didesnei, 20 %, fiksuotai ištįsai, netąsaus elemento įtaka kompresijos pokyčiui išauga. Šiuo atveju net ir bandinių su mažiausiu ataudinio siūlo įterpimu (po vieną siūlą į kas ketvirtą eilutę – PM_1_4 ir P_1_4) kompresijos pokytis, esant maksimaliam netąsaus elemento santykiniam plotui, siekia, atitinkamai, 18,4 % ir 21,1 %. Iš mezginių mechanikos teorijos [4] žinoma, kad ašinės deformacijos metu pirmiausia tiesinasi mezginio sandaros elementai, todėl pradinėje stadijoje tam tikrai, nuo pynimo ir siūlų savybių priklausančiai, ištįsai pasiekti reikalinga sąlyginai maža tempimo jėga. Vėliau prasideda kontaktinių taškų pynimo elementų sankirtos vietose persislinkimas, mezginių sudarančių siūlų orientacija, atitinkamai, eilučių ar stulpelių kryptimi, ir tik tada prasideda mezginių sudarančių siūlų deformacija. Jeigu tempiamas ataudinis mežginys (su ataudiniais siūlais, sąlyginai tiesiai paklotais mezginio sandaroje), ataudinių siūlų įtaka tempimo jėgai pasireiškia nuo pradinės mezginio tempimo stadijos (jei tempama ataudinių siūlų klojimo kryptimi). Tačiau elastomeriniai ataudiniai siūlai, dėl jiems būdingos didelės ištįsos, pradinėje mezginio tempimo stadijoje, kai tiesinami struktūros elementai, neturi esminės įtakos tempimo jėgai. Mežzto kompresinio įtvoro konstrukciją papildžius netąsiau elementu, eksploatacinių ištįsų ribose deformacijas patiria likusi mezginio dalis. T.y. sumažėjus sąlyginai lengvai deformuojamam plotui, tai pačiai viso įtvoro ištįsai pasiekti reikalinga didesnė tempimo jėga. Nedidelių ištįsų zonoje (tirtuoju atveju tempiant iki 10 % ištįsos) ataudinio siūlo įterpimo tankumo įtaka tempimo jėgos (o tuo pačiu ir generuojamos kompresijos) dydžiui pasireiškia stipriau nei didesnių ištįsų (20 %) zonoje, nes pradinėje tempimo

deformacijos stadijoje vyksta ataudinių siūlų daugiau (PM_1_1 ir P_1_1 atveju) ar mažiau (PM_1_4 ir P_1_4 atveju) apribotų struktūros elementų išsitiesinimas. Siekiant tiksliau išsiaiškinti kompresinio mezginio elgseną tempimo metu priklausomai nuo netąsaus elemento ploto ir įvertinant ataudinių siūlų kiekį ir tankumą mezginyje, reikalingi tolesni detalesni tyrimai.

Remiantis atlikta kompresinių įtvarų pasiūlos analize, netąsūs elementai naudojami įvairių kompresijos klasių kompresinių gaminių sandaroje. Kaip jau minėta anksčiau, didėjant netąsaus elemento plotui, bandinio kompresija taip pat didėja. Netąsaus elemento sukiamas kompresijos didėjimas gali nulemti gaminio kompresijos klasės pokyčius. Remiantis itin plačiai naudojamu gaminių kompresijos klasę apibrėžiančiu Vokietijos standartu RAL-GZ-387/1:2008, I-ai kompresijos klasei priskiriami gaminiai, generuojantys $15 \div 21$ mmHg slėgį, II-ai klasei – $23 \div 32$ mmHg slėgį, III-iai klasei – $34 \div 46$ mmHg slėgį, IV-ai klasei ≥ 49 mmHG slėgį. Bandinių generuojamo slėgio vertės ($1\text{mmHg} = 133,32$ Pa), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamo santykinio bandinio ploto, kai bandinio ištįsa 10 % ir 20 %, pateikiamos 11 lentelėje.

12 lentelė. Generuojamos kompresijos P (mmHg), priklausomai nuo netąsaus elemento užimamos santykinės bandinio dalies, vidutinės vertės, kai bandinio ištįsa 10 % ir 20 %

Ištįsa	10 %					20 %				
	Netąsaus elemento užimama bandinio dalis									
Bandinių grupė	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %
PM_1_1	36,3	38,3	39,7	40,3	42,1	50,4	54,4	57,1	59,2	62,3
PM_1_2	25,7	26,6	27,2	27,5	29,0	32,6	34,4	36,0	37,5	39,5
PM_2_2	27,3	28,7	29,7	30,1	31,9	36,8	39,4	41,0	42,6	45,0
PM_1_4	23,1	23,8	24,6	24,7	25,6	29,0	30,5	31,6	32,5	34,3
P_1_1	36,2	38,3	39,5	40,1	42,0	50,5	53,6	55,9	58,3	61,1
P_1_2	26,9	27,9	28,7	29,3	30,5	34,6	36,8	37,6	39,3	41,0
P_2_2	28,7	30,1	31,1	32,2	33,1	38,7	41,1	42,8	44,8	47,0
P_1_4	25,7	26,1	27,0	27,5	28,1	31,0	33,1	34,2	35,7	37,5

Iš 11 lentelėje pateiktų rezultatų matome, kad, didėjant netąsaus elemento santykiniam plotui bandinyje ir, atitinkamai, didėjant bandinio generuojamai kompresijai, kai kuriais atvejais net pasikeičia bandinio kompresijos klasė. Esant 10 % fiksuotai ištįsai, bandinio kompresijos klasės pokytis (pagal RAL-GZ-387/1:2008 standartą) gaunamas P_2_2 bandinių grupėje, kai netąsaus elemento santykinis plotas yra 25 %. Esant 20 % fiksuotai ištįsai, bandinio kompresijos klasės perėjimas iš vienos į kitą gaunamas PM_1_4 bandinių grupėje, kai netąsaus elemento santykinis plotas yra ≥ 20 %, P_2_2 bandinių grupėje, kai netąsaus elemento santykinis plotas yra 25 %, P_1_4 bandinių grupėje, kai netąsaus elemento santykinis plotas yra ≥ 10 %.

Remiantis šiais duomenimis, svarbu pastebėti, kad gaminių projektavimo metu turėtų būti skiriamas didelis dėmesys kompresiniuose gaminiuose vartojamų netąsių elementų užimamam santykinio ploto dydžiui. Neįvertintas netąsių elementų užimamas plotas gali ne tik stipriai paveikti gaminio generuojamą kompresiją, bet net ir pakeisti gaminio kompresijos klasę. Tačiau taip pat galima manyti, kad sistemingas netąsių elementų įterpimas į kompresinių gaminių struktūrą (arba atitinkamas minėtų elementų ploto ar kiekio sumažinimas) gali būti vienas iš generuojamos kompresijos reguliavimo būdų.

Apibendrinimas. Bandinių kompresijos rezultatų analizė parodė, kad ataudinio siūlo įterpimo į mezginį tankumas daro ženkliai įtaką gaminio generuojamai kompresijai. Keturis kartus sumažinus ataudinio siūlo įterpimo tankumą, galima gauti iki 45,1% mažesnę apspaudimo jėgą. Taip pat pastebėta, kad generuojamos kompresijos priklausomybė nuo netąsaus elemento užimamo ploto bandinyje yra tiesinio pobūdžio ir, didinant netąsaus elemento užimamą plotą, tiesiškai proporcingai didėja. Ištyrus netąsaus elemento dydžio įtaką kompresijos pokyčiui nustatyta, kad mezginiams su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimu (kiekvienoje mezginio eilutėje) ženkliai įtaką daro net ir nedidelės netąsios zonos, tuo tarpu bandiniams su mažu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (kas ketvirtoje eilutėje) ši įtaka yra mažesnė.

Patikrinus tirtųjų ortopediniams įtvarams skirtų bandinių kompresijos klasės atitiktį po netąsių elementų įterpimo pastebėta, kad netąsių elementų įtaka bandinio generuojamai kompresijai yra ženkli ir gali net pakeisti jo kompresijos klasę. Esant 10 % fiksuotai ištiesai, 10 % santykinio ploto užimantis netąsus elementas sąlygoja $2 \div 6$ % kompresijos padidėjimą, priklausomai nuo ataudinio siūlo kiekio bandinyje. Esant 20 % fiksuotai ištiesai, bandinių su 25 % santykinio ploto užimančiu netąsiu elementu generuojama kompresija padidėja net $18 \div 25$ %. Tai įvertinant būtina pažymėti, kad, siekiant užtikrinti kompresinio gaminio atitiktį tam tikrai kompresijos klasei, gaminių projektavimo metu turi būti įvertintas kompresiniuose gaminiuose vartojamų netąsių elementų užimamas santykinis plotas.

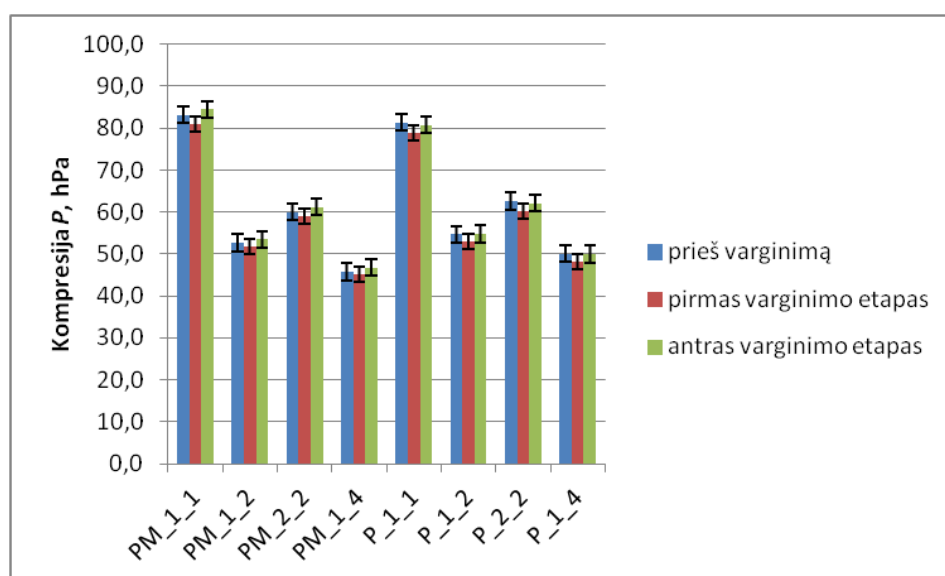
4.2.3 Kompresijos pokyčių daugiacyklio varginimo metu tyrimas

Tirto daugiacyklio varginimo įtakos kompresinėms savybėms rezultatai pateikti 12 lentelėje. Bandiniai buvo varginti du kartus po 200 tempimo ciklų 500 mm/min tempimo greičiu, tempiant iki 20 % fiksuotos ištiesos. Bandymams pasirinkti bandiniai su 25 % santykinio netąsaus elemento plotu. Toks daugiacyklio tempimas imituoja natūralų įtvaro judėjimą pacientui jį dėvint ir judant vidutiniu aktyvumu. Šiuo tyrimu siekta išsiaiškinti bandinių elgseną ir matmenų pokyčius po daugiacyklio varginimo (dėvėjimo). Bandinių ploto santykinė atsitiktinė paklaida neviršijo 1 %, tempimo jėgos daugiacyklio varginimo metu santykinė atsitiktinė paklaida svyruoja tarp 1,4 – 3,5 %.

13 lentelė. Generuojamos kompresijos pokytis po varginimo

Bandinių grupė	Bandinių plotas S , cm ²	Prieš varginimą	Pirmasis varginimo etapas		Antrasis varginimo etapas	
		Kompresija P , hPa	Max tempimo jėga F , N	Kompresija P , hPa	Max tempimo jėga F , N	Kompresija P , hPa
PM_1_1	197,0	83,1	25,4	81,0	26,5	84,5
PM_1_2	202,0	52,7	16,6	51,7	17,2	53,5
PM_2_2	200,0	60,0	18,8	59,0	19,5	61,2
PM_1_4	213,4	45,7	15,3	45,1	15,9	46,7
P_1_1	195,4	81,4	24,5	78,8	25,1	80,8
P_1_2	203,2	54,7	17,1	53,0	17,7	54,8
P_2_2	199,4	62,6	19,1	60,2	19,7	62,1
P_1_4	210,6	50,0	16,1	48,1	16,7	49,9

Kompresijos jėgos pokytis po varginimo grafiškai pateiktas 4.9 paveiksle. Tyrimo rezultatai parodė, kad kompresijos pokyčiai po varginimo nėra ženklūs, svyruoja beveik paklaidų ribose. Po pirmojo varginimo etapo metu bandiniai generavo 1,7 ÷ 3,9 % mažesnę kompresiją nei prieš varginimą. Tačiau po antrojo varginimo etapo bandiniai pasižymėjo šiek tiek didesne pasipriešinimo jėga nei po pirmojo etapo ir skirtingos bandinių grupės generavo nuo 2,5 % iki 4,3 % didesnę apspaudimo jėgą nei po pirmojo varginimo ciklo ir ji buvo artima apspaudimo jėgai prieš varginimą.



4.8 pav. Generuojamos kompresijos pokytis po varginimo

Išmatavus bandinių ilgio pokyčius po pirmojo ir antrojo daugiacyklio varginimo etapų, pastebėta, kad bandiniai, pašalinus apkrovą, grįžta į pradinis matmenis, o ilgio pokyčiai lieka paklaidų ribose. Bandinių ilgio pokyčių matavimų rezultatai pateikiami 14 lentelėje. Bandinių ilgio skirtumas tarp pirmojo ir antrojo varginimo etapų nesiekia 0,5 %.

14 lentelė. Bandinių ilgio pokyčiai po pirmojo ir antrojo varginimo etapų

Bandinių grupė	Pradinis bandinių ilgis, mm	Po pirmojo varginimo etapo		Po antrojo varginimo etapo	
		Bandinių ilgis, mm	Ilgio pokytis, %	Bandinių ilgis, mm	Ilgio pokytis, %
PM_1_1	100	103,5	3,5	103,4	3,4
PM_1_2	100	103,6	3,6	103,3	3,3
PM_2_2	100	102,8	2,8	102,8	2,8
PM_1_4	100	102,6	2,6	102,8	2,8
P_1_1	100	102,8	2,8	102,4	2,4
P_1_2	100	103,0	3,0	102,9	2,9
P_2_2	100	102,8	2,8	102,9	2,9
P_1_4	100	102,7	2,7	102,9	2,9

Verta pastebėti, kad bandinių matmenys po pirmojo varginimo etapo relaksacijos metu grįžo iki pirminių matmenų dydžio. Todėl, bandant paaiškinti padidėjusios tempimo jėgos antrojo varginimo etapo metu reiškinį, galima daryti įvairias prielaidas, pavyzdžiui, kad tempimo jėgos padidėjimas gali būti susijęs su elastomerinių siūlų struktūros pokyčiais pirmojo varginimo metu ir galimai geriau orientuota sandara siūlo ašine kryptimi. Taip pat galima daryti prielaidą, kad tai galimai susiję su mezginio sandaros pokyčiais ar mezginio pagrindą sudarančių siūlų pokyčiais. Tačiau negalima vienareikšmiškai teigti šio reiškinio priežasčių, jų nustatymui reikalingi papildomi tikslesni tyrimai.

Apibendrinimas. Daugiaciklio tempimo tyrimo rezultatai parodė, kad bandinių kompresijos pokyčiai po varginimo etapų nėra reikšmingi ir lemiamos įtakos generuojamai kompresijai neturi. Pirmojo varginimo etapo metu bandiniai generavo 1,7% ÷ 3,9% mažensnę kompresiją nei prieš varginimą. Tačiau antrojo varginimo etapo metu bandiniai pasižymėjo didesne pasipriešinimo tempimui jėga nei pirmojo etapo metu (generavo 2,5 ÷ 4,3 % didesnę apspaudimo jėgą).

4.3. Mezginio sandaros įtakos komforto savybėms tyrimas

Pastaruoju metu atkreiptas ypatingas dėmesys į funkcinių tekstilės gaminių komforto savybes. Tai reiškia, kad dėvėjimui skirti funkciniai tekstilės gaminiai turi ne tik užtikrinti tam tikrus funkcinius poreikius, bet ir tenkinti komforto reikalavimus. Kompresiniai įtvarai dažniausiai dėvimi ilgą laiką arba/ir fizinio aktyvumo metu. Todėl šiuo atveju svarbu, jog kompresinis įtvaras pasižymėtų laidumu orui, kuris sudaro sąlygas perteklinės šilumos atidavimui į aplinką ir apsaugo nuo drėgmės kaupimosi tarp įtvaro ir odos. Taip pat yra svarbios trinties savybės, siekiant užtikrinti, jog oda dėvėjimo metu nebus erzinama ar pažeidžiama.

4.3.1 Laidumo orui tyrimas

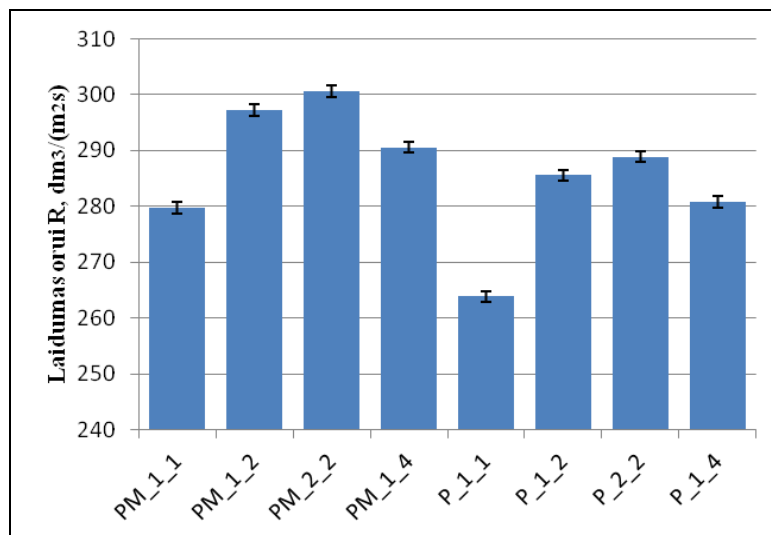
Tirtų kompresinių mezginių sandaros įtakos mezginių laidumui orui tyrimo rezultatai pateikti 15 lentelėje ir 4.9 pav. Oro srauto debitas per 5 cm^2 ploto skritulio formos bandinį matuotas esant 200 Pa slėgių skirtumui. Laidumas orui apskaičiuotas pagal (4) formulę.

15 lentelė. Laidumo orui rezultatai

Bandinys	PM_1_1	PM_1_2	PM_2_2	PM_1_4	P_1_1	P_1_2	P_2_2	P_1_4
Oro srauto debitas q , dm/min	8,4	8,9	9,0	8,7	7,9	8,6	8,7	8,4
Santykinė atsitiktinė paklaida δ , %	3,5	1,9	2,4	1,0	2,6	2,4	1,5	2,2
Laidumas orui R , $\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$	279,7	297,3	300,6	290,6	263,9	285,6	288,9	280,8

Gauti rezultatai parodė, kad didžiausiu laidumu orui pasižymėjo mezginiai, numegzti klojant vieną arba du ataudinius siūlus į kas antrą eilutę (žr. 4.10 pav.). Šiuo atveju, lyginant mezginius su kas antroje eilutėje įterptu vienu ataudiniu siūlu (PM_1_2 ir P_1_2 bandiniai) ir dviem ataudiniais siūlais (PM_2_2 ir P_2_2 bandiniai), laidumo orui verčių skirtumai yra labai menki, t.y. vertės skiriasi paklaidų ribose, atitinkamai, 1,2 % ir 1,3 %.

Ataudinį siūlą klojant į kas ketvirtą eilutę (PM_1_4 ir P_1_4 bandiniai), laidumas orui, lyginant su atitinkamu variantu, kai ataudiniai siūlai klojami į kas antrą mezginio eilutę (PM_1_2 ir P_1_2 bandiniai), sumažėja taip pat tik 1,7 % – 2,3 %. Mažiausias laidumas orui gautas bandinių su maksimaliu ataudinių siūlų įterpimu (PM_1_1 ir P_1_1 bandiniai). Šių bandinių laidumas orui gautas, atitinkamai, 6,3 % ir 8,2 % mažesnis nei bandinių su kas antroje eilutėje įterptais dviem ataudiniais siūlais. Taip yra dėl mezginio struktūros pokyčių, atsirandančių įterpus papildomus elementus. Į struktūrą įterpti didesnio ilginio tankio nei pagrindo siūlas ataudiniai siūlai skirtingų adatinių suformuotas kilpas atskiria vienas nuo kitų ir sudaro geresnes sąlygas orui prasiskverbti. Tačiau ataudinį siūlą paklojant kiekvienoje eilutėje, oro srauto judėjimas per mežginį pasunkėja, kadangi orui prasiskverbti per didelio tankio PU šerdį yra per sunku.



4.9 pav. Mezginio sandaros įtaka laidumui orui

Laidumo orui tyrimo rezultatai taip pat parodė, kad mezginių su 55 tex ilginio tankio P tipo ataudiniu siūlu (47 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlais) laidumas orui yra nuo 3,5 % (su ataudiniu siūlu kas ketvirtoje eilutėje) iki 6 % (su ataudiniu siūlu kiekvienoje eilutėje) mažesnis nei mezginių su 70 tex ilginio tankio PM tipo ataudiniu siūlu (47,5 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlu ir 4,4 tex medvilniniu verpalu). Tai dar kartą įrodo, kad sąlyginai tiesiai mezginio struktūroje pakloti didesnio ilginio tankio ataudiniai siūlai labiau atskiria skirtingų adatinių suformuotus kilpų sluoksnius, taip sudarydami sąlygas per tam tikrą laikotarpį praeiti didesniai oro srautui. Tai patvirtina ir kitų tyrėjų darbai [35 – 37].

Apibendrinimas. Gauti laidumo orui rezultatai parodė, kad didžiausiu laidumu pasižymėjo mezginiai, numegzti klojant vieną arba du ataudinius siūlus kas dvi eilutes. Į struktūrą įterpti didesnio ilginio tankio nei pagrindo siūlas ataudiniai siūlai skirtingų adatinių suformuotus kilpas atskiria vienas nuo kitų ir sudaro geresnes sąlygas orui prasiskverbti. Mažiausios laidumo orui vertės gautos ataudinį siūlą klojant į kiekvieną eilutę, nes dėl didžiausio elastomerinių siūlų tankumo pasunkėja oro srauto judėjimas per mezginį.

Tyrimo rezultatai rodo, kad ataudinių siūlų ilginis tankis ir įterpimo tankumas turi įtakos mezginių laidumui orui, tačiau ji nėra labai didelė, t.y. nagrinėtu atveju tik iki 8,2 %. Taigi, aukštos kompresinės klasės gaminiams gali būti naudojami mezginiai su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimo tankumu.

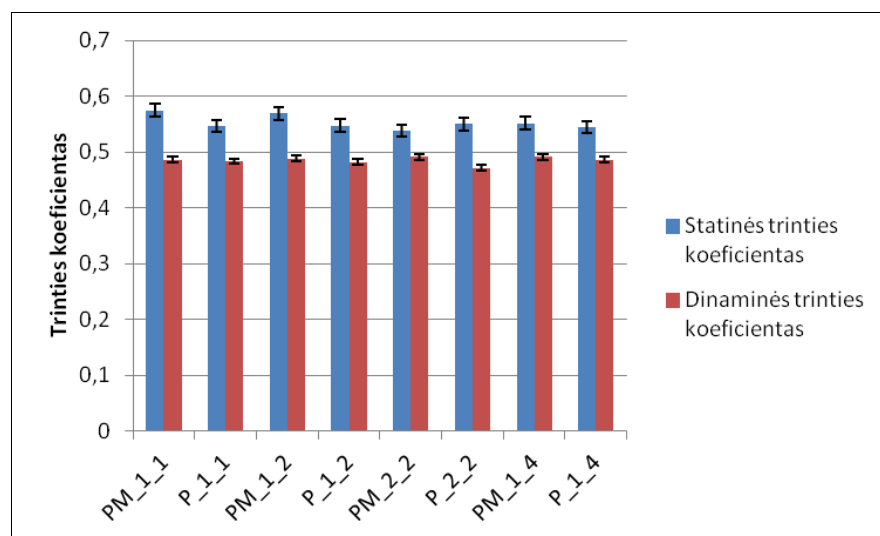
4.3.2 Trinties charakteristikų tyrimas

Siekiant nustatyti, kokią įtaką kompresiniam įtvarui naudojamo mezginio struktūra turi mezginio trinties charakteristikoms, buvo atlikti mezginio trinties į dirbtinę odą bandymai ir nustatyti statinės ir dinaminės trinties koeficientai. Gauti rezultatai pateikti 16 lentelėje.

16 lentelė. Statinės ir dinaminės trinties jėgos ir koeficientų rezultatai

Bandinys		PM_1_1	PM_1_2	PM_2_2	PM_1_4	P_1_1	P_1_2	P_2_2	P_1_4
Trinties jėga <i>F</i> , N	Statinė	1,09	1,04	1,08	1,04	1,02	1,04	1,05	1,03
	Santykinė atsitiktinė paklaida δ , %	2,9	3,9	2,2	4,4	2,7	3,4	4,8	2,1
	Dinaminė	0,92	0,92	0,93	0,91	0,93	0,89	0,93	0,92
	Santykinė atsitiktinė paklaida δ , %	1,1	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	2,6	0,8
Trinties koeficientas	Statinis	0,57	0,55	0,57	0,55	0,54	0,55	0,55	0,54
	Dinaminis	0,49	0,48	0,49	0,48	0,49	0,47	0,49	0,49

Grafinis statinio ir dinaminio trinties koeficientų rezultatų pasiskirstymas pateiktas 4.11 paveiksle.



4.10 pav. Mezginių sandaros įtakos statinės ir dinaminės trinties koeficientams tyrimo rezultatai

Trinties bandymų rezultatai parodė, jog tirtų mezginių ataudinio siūlo įterpimo tankumo įtaka statinės ir ypač dinaminės trinties koeficientui yra labai maža, vertės skiriasi paklaidų ribose, reikšmingesni skirtumai pastebėti tik tuo atveju, kai įterpiami iš karto du siūlai. Tuo atveju trinties koeficiento vertės gautos mažiausios. Taip yra dėl to, kad mezginio paviršius tampa nelygus ir

sumažėja kontaktinis plotas su trinties paviršiumi. Šią išvadą pagrindžia ir tas faktas, jog P varianto mezginių su didesnio ilginio tankio ataudiniais siūlais statinės trinties koeficientas gautas nors ir nežymiai, bet mažesnis nei PM varianto mezginių, kuruose pakloti didesnio ilginio tankio ataudiniai siūlai. Tačiau gauti trinties koeficientų verčių skirtumai yra tokie nedideli, kad vartotojo savijautai įtakos neturi, todėl, pasirenkant geriausiai kompresijos klasę atitinkančią mezginių konstrukciją, trinties aspekto vertinti nebūtina. Trinties savybes daugiau lemia bazinis pynimas (nuo kurio priklauso kontaktinis plotas) ir bazinio pynimo siūlų trinties charakteristikos [51].

Apibendrinimas. Mezginių trinties tyrimo rezultatai parodė, kad ataudinio siūlo įterpimo tankumo mezginių struktūroje įtaka statinės ir ypač dinaminės trinties koeficientui yra labai maža, t.y. vertės skiriasi paklaidų ribose. Taigi, tirtų ataudinių siūlų ilginis tankis ir ataudinių siūlų įterpimo tankumas tirtuose mezginiuose šios komforto savybės nekeičia.

5. Išvados

1. Nustatyta, kad lemiamą įtaką tempimo jėgos dydžiui ir įtvoro generuojamai kompresijai turi ne ataudinio siūlo absoliutinis kiekis mezginio struktūroje, o jo įterpimo tankumas. Bandinių su dviem ataudiniais siūlais, įterptais kas antroje eilutėje, tempimo jėga ir kompresija gauta iki 27 % mažesnė nei bandinių su kiekvienoje eilutėje įterptu ataudiniu siūlu, nors absoliutinis ataudinio siūlo kiekis yra toks pats.
2. Ataudinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus nuo maksimalaus, t.y. kiekvienoje mezginio eilutėje iki kas antroje eilutėje, tempimo jėga ir generuojama kompresija sumažėja 27 ÷ 35% (priklausomai nuo ištiesos dydžio), tačiau įterpimo tankumą sumažinus dar dvigubai – iki įterpimo kas ketvirtoje eilutėje, tempimo jėga sumažėja tik 1 ÷ 7 %.
3. Nustatyta stipri tiesinė tirtų ortopediniamas gaminiams skirtų mezginių tempimo jėgos priklausomybė nuo netąsaus elemento ploto ($R^2 = 0,9932 \div 0,9103$). Kai netąsus elementas užima 25 % gaminio ploto, tempimo jėga yra iki 17 % (esant 10 % ištiesai) ir iki 24 % (esant 20 % ištiesai) didesnė nei gaminio be netąsaus elemento.
4. Didinant netąsaus elemento užimamą plotą gaminyje, jo generuojama kompresija tiesiškai didėja. Netąsiam elementui užimant 25 % ploto, bandinio kompresija išauga iki 17 %, esant 10 % ištiesai, ir iki 24 %, esant 20 % ištiesai.
5. Nustatyta, kad mezginiams su maksimaliu ataudinio siūlo įterpimu (kiekvienoje mezginio eilutėje) ženkliai įtaką daro net ir nedidelės netąsios zonos, tuo tarpu bandiniams su mažu ataudinio siūlo įterpimo tankumu (kas ketvirtoje eilutėje) ši įtaka yra ženkliai mažesnė.
6. Po daugiacyklio varginimo tirtų kompresinių mezginių matmenų ir generuojamos kompresijos pokyčiai svyruoja paklaidų ribose: po pirmojo varginimo etapo generuojama kompresija sumažėjo 1,7 ÷ 3,9 %, po antrojo varginimo etapo bandinių generuojama kompresija vėl išaugo 2,5 ÷ 4,3 %.
7. Nustatyta, kad dėl palankiausių sąlygų orui prasiskverbti per mezginio struktūrą didžiausiu laidumu orui pasižymi mezginiai su dviem ataudiniais siūlais, paklotais kas antroje eilutėje: iki 8,5 % didesniu nei mezginių su ataudiniu siūlu kiekvienoje eilutėje ir iki 3 % didesniu nei mezginių su ataudiniu siūlu kas ketvirtoje eilutėje.
8. Nustatyta, kad ataudinių siūlų sandara bei įterpimo tankumas tirtų mezginių trinties charakteristikoms reikšmingos įtakos neturi: statinės trinties jėga kinta tik 1,02 ÷ 1,09 N ribose, dinaminės trinties jėga kinta tik 0,89 ÷ 0,93 N ribose.
9. Rekomenduojama aukštos kompresijos klasės gaminiams naudoti maksimalų ataudinio siūlo įterpimo tankumą, o žemos kompresijos gaminiams – kas antroje eilutėje. Siekiant, kad gaminyje atitiktų užsiduotą kompresijos klasę, projektavimo metu būtina įvertinti netąsių elementų užimamo santykinio ploto įtaką generuojamai kompresijai.

Literatūra

1. Czjaka R. Development of Medical Textile Market. *Fibres & Textiles in Easter Europe*, Vol. 13, No. 1, 2005, p. 13-15.
2. Čiukas R., Mikučionienė D. Specialiosios paskirties mezginių technologija. Mokomoji knyga. Šiaulių universiteto leidykla, Šiauliai, 2007. p. 99 - 106.
3. Protective Clohing: Managing Thermal Stress. Edited by F. Wang and C. Gao. Cambridge, Woodhead Publishing, 2014. p.472
4. Treigienė R., Mikučionienė D. Mezginių mechanika ir projektavimas. Mokomijo knyga. Kaunas, Technologija, 2012. p. 84.
5. Ališauskienė D., Mikučionienė D., Milašiūtė L. Influence of Inlay-Yarn Properties and Insertion Density on Compression Properties of Knitted Orthopaedic Supports. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol 21, No 6, 2013, p. 74-78.
6. Pelleg J. Mechanical Properties of Materials. Dortrecht, Springer, 2013. p.634.
7. Internetinė prieiga: <http://www.ortopagalba.com/> (peržiūros data 2014.05.03).
8. Handbook of Medical Textiles. Edited by V.T.Bartels. Cambridge, Woodhead Publishing, 2011. p.582.
9. Legner M.. Medical Textiles with Specific Characteristics Produced on Flat Knitting Maschines. Medical Textiles. Proceedings of the International Conference, 24&25 August 1999, Bolton, UK. p. 44 – 55.
10. Ališauskienė D., Mikučionienė D. Skersinių erdvinių kompresinių mezginių ploto skaičiavimo metodika. *Gaminių technologijos ir dizainas*, 2011, p. 221 – 224.
11. Choucair M., Phillips T.J. Compression Theraphy. *Dermatologic Surgery*, Vol.24, 1998, p. 141 – 148.
12. Wang L., Felder M., Cai J.Y. Study of Properties of Medical Compression Fabrics. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*, Vol 4, No 1, 2011, p. 15 – 22.
13. Liu R., *et al.* Fabric Mechanical-Surface Properties of Compression Hosiery and their Effects on Skin Pressure Magnitudes when Worn. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol.18, No. 2(79), 2010, p. 91 - 97.
14. Layshenko I., Gonca V., Viba J. Functional Features of Compressive Knitted Product. *Transport and Engineering*, Vol 24, 2007, p. 200-208.

15. Ališauskienė D. Erdvinių ortopedinių mezginių kompresinių savybių tyrimas. Daktaro disertacija, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija. Kaunas, 2014. p. 93.
16. Perrey S. Compression Garments: Evidence for their Physiological Effects (P208). *The Engineering of Sport* 7, Vol.2, 2008, p. 319 – 328.
17. Biomechanical Engineering of Textiles and Clothing. Edited by Y.Li and X-Q. Dai. Boca Raton, CRC Press, 2006. p.412
18. Maklevska E., Nawrocki A., Ledwon J., Kowalski K. Modelling and Designing of Knitted Products Used in Compressive Therapy. *Fibres & Textiles in Easter Europe*, Vol. 14, No. 5 (59), 2006, p. 111 – 113.
19. Pereira S., et al. A study of the Structure and Properties of Novel Fabrics for Knee Braces. *Journal of Industrial Textiles*, Vol. 36, No. 4, 2007, p. 279 – 300.
20. Internetinė prieiga: <http://www.ortopedija.lt/lt/itvarai> (peržiūros data 2014.11.20).
21. Internetinė prieiga: <http://www.orthobaltic.lt/produktai/ortopediniai-gaminiai.html> (peržiūros data 2014.11.20).
22. Šešok A. Ortopedinės technikos projektavimas ir gamyba: mokomoji knyga. Vilnius, Technika, 2012, p. 6.
23. Internetinė prieiga: <http://www.idemus.lt/itvarai.html> (peržiūros data 2014.11.22).
24. Textiles in sport . Edited by R. Shishoo. Cambridge, Woodhead Publishing, 2005, p.364
25. Liu R., Kwok Y.L, Li Y., Lao T.T. Fabric Mechanical-Surface Properties of Compression Hosiery and their Effects on Skin Pressure Magnitudes when Worn. *Fibres & Textiles in Easter Europe*, Vol. 18, No. 2, p. 91 – 97, 2010.
26. Clark M., Krimmel, G. Lymphoedema and the construction and classification of compression. *Template for Practice: Compression Hosiery in Lymhoedema*, 2006, p. 2-4.
27. New product development in textiles: innovation and production. Edited by L. Horne. Cambridge, Woodhead Publishing, 2012, 203 p.
28. AL-ansary M. Effect of Spandex Ratio on the Properties of Woven Fabrics Made of Cotton/Spandex Spun Yarns. *Journal of American Science*, 2011, Vol 7, No 12, p. 63 – 67.
29. Ališauskienė D., Mikučionienė D. Investigation on alteration of compression of knitted orthopaedic supports during exploitation. *Materials Science*, Vol 18, No 4, 2012, p. 362 – 366.
30. Kumar R.S. Textiles for Industrial Applications. Boca Raton, CRC, 2013, p. 386.
31. Mather R.R., Wardman R.H., The Chemistry of Textile Fibres. Cambridge, Royal Society of Chemistry, 2011, p.367.

32. Cooklin G. *Garment Technology for Fashion Designer*. Oxford, Blackwell Science, 1997, p.152.
33. *Textiles for Protection*. Edited by R.A.Scott. Cambridge, Woodhead Publishing, 2005, p.754.
34. Ozdil N., Marmarali A., Kretzschmar S.D. Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. *International Journal of Thermal Sciences*, Vol 46, 2007, p.1318 – 1322.
35. Mikučionienė D., Milašiūtė L., Baltušnikaitė J., Milašius R. Influence of Plain Knits Structure on Flammability and Air Permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol 20, No 5, 2012, p. 66 – 69.
36. Ogulata R., Mavruz S. Ogulata R.T., Mavruz S. Investigation of Porosity and Air Permeability Values of Plain Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol 18, No 5, 2010, p. 71 – 75.
37. Čiukas R., Abramavičiūtė J. Investigation of the Air Permeability of Socks Knitted from Yarns with Peculiar Properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 18, No.1 (78), 2010, p. 84 – 88.
38. Wilbik-Halgas B., Danych R., Wiecek B., Kowalski K. Air and Water Vapour Permeability in Double-Layered Knitted Fabrics with Different Raw Materials. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 14, No.3 (57), 2006, p.77-80.
39. Bivainytė A., Mikučionienė D. Investigation on the Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. Vol 19, No 3, 2011, p. 69 – 73.
40. Jeddi, A. A. A, Khorram-Toussi, Z., Maleki, V., Yazdanifar, K. Relations between Fabric Structure and Friction: Part II: Weft Knitted Fabrics. *Journal of The Textile Institute*, Vol 95, No 1(6), 2004, p. 359 – 367.
41. LST EN ISO 139:2005. Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka.
42. LST EN 14971:2006 Textiles – Knitted Fabrics – Determination of Number of Stitches Per Unit Length and Unit Area.
43. Vitkauskas A., Milašius V., Čiukas R. Tekstilės medžiagų mechanika. Vadovėlis. Kaunas, Vitae Litera, 2007, p.198.
44. LST EN ISO 13934-1:2000. Textiles – Tensile properties of fabrics – Part 1: Determination of maximum force and elongaion at maximum force using the strip metod. 2000.
45. LST EN ISO 2062:2010. Textiles – Yarns form packages – Determination of single-end breaking force and elongation at breaking using constant rate of extention (CRE tester). 2010.
46. LST EN ISO 9237:2007. Textile – Determination of permeability of fabrics to air. 2007.
47. LST EN ISO 9237:1997. Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas.

48. Matukonis A., Palaima J., Vitkauskas A. Tekstilės medžiagotyra. Vadovėlis. Vilnius, Mokslas, 1989, p.309.
49. Milašius R. Tekstilės eksperimento teorija ir praktika. Mokomoji knyga. Kaunas, Technologija, 2011. p. 46.
50. Milašius R., Stanys S., Adomavičienė M. Techninės tekstilės medžiagos ir jų savybės. Mokomoji knyga. Kaunas, Vitae Litera, 2007.
51. Mikučionienė D., Arbataitis E. Comparative analysis of the influence of bamboo and other cellulose fibres on selected structural parameters and physical properties of knitted fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Vol. 21, No. 3(99), 2013, p. 76-80.

PRIEDAI

Mokslinių publikacijų magistro projekto tema sąrašas

Mokslinės informacijos instituto (ISI) pagrindinio sąrašo leidiniuose (su citavimo indeksu)

1. Ališauskienė, Diana; Mikučionienė, Daiva; Milašiūtė, Laima. Influence of inlay-yarn properties and insertion density on the compression properties of knitted orthopaedic supports // *Fibres and textiles in Eastern Europe*. Lodz : Institute of Chemical Fibres. ISSN 1230-3666. 2013, Vol. 21, no. 6 (102), p. 74-78.

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose

1. Mikučionienė, Daiva; Milašiūtė, Laima; Ališauskienė, Diana. Study of influence of additional details used on compression generated by knitted orthopaedic support // *Magic world of textiles: 7th international textile clothing & design conference*, October 5-8, 2014, Dubrovnik, Croatia: book of proceedings/University of Zagreb. Faculty of Textile technology. Zagreb: University of Zagreb, 2014. ISBN 9789537105549, p. 93-97.

Konferencijų pranešimų medžiagoje

1. L.Milašiūtė, D.Mikučionienė. Ortopedinių tekstilės gaminių kompresinių savybių tyrimas // *Studentų moksliniai tyrimai 2012/2013. Konferencijos pranešimų santraukos*. Vilnius, 2013. ISBN 978-609-417-091-1. p. 504-507.
2. D.Mikučionienė, L.Milašiūtė, D.Ališauskienė. Investigation on Influence of Rigid Element on Compression Properties of Knitted Orthopaedic Support. *The Fiber Society Spring 2014 Technical Conference*. May 21-23, 2014, Liberec, Czech Republic.
3. L.Milašiūtė, D.Mikučionienė. Megztų kompresinių ortopedinių gaminių komforto savybių tyrimas. *Pramonės inžinerija 2014: jaunųjų mokslininkų konferencijos pranešimų medžiaga*, 2014 m. gegužės 8 d./ KTU, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas. Kaunas: Technologija, 2014. ISBN 9786090210772, p. 117-123.

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju magistro projekto vadovei doc.dr. Daivai Mikučionienei ir kitiems tekstilės inžinerijos studijų programos dėstytojams už kantrybę bei patarimus rašant baigiamąjį darbą ir studijų metu suteiktas žinias.