

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

LAIMA MURALIENĖ

STRUKTŪROS ĮTAKA MEGZTŲ
ORTOPEDINIŲ KOMPRESINIŲ
ĮTVARŲ SAVYBĖMS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (T 008)

2019, KAUNAS

Disertacija rengta 2015–2019 metais Kauno technologijos universiteto Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Medžiagų inžinerijos katedroje. Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas:

Prof. dr. Daiva MIKUČIONIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija, T 008)

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:

<http://ktu.edu>

Redagavo:

Dr. Gabija Bankauskaitė

© L. Muralienė, 2019

ISBN 978-609-02-1635-4

Leidinio bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos nacionalinės Martyno Mažvydo bibliotekos Nacionalinės bibliografijos duomenų banke (NBDB).

TURINYS

SIMBOLIŲ IR SANTRUMPŲ SĄRAŠAS.....	5
ĮVADAS	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	9
1.1. Kompresijos terapijos ir tekstilinių kompresinių priemonių taikymas medicinoje	9
1.2. Kompresinių gaminių klasifikavimas	13
1.3. Kompresinių įtvarų konstrukcija, sudėtis ir gamyba	19
1.3.1. Kompresinių įtvarų gamybos būdai	19
1.3.2. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami pluoštai ir siūlai	21
1.3.3. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami pynimai	23
1.3.4. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami netašūs elementai	24
1.4. Kompresinių gaminių generuojamos kompresijos vertinimo ir nustatymo metodikos	26
1.5. Megztinių kompresinių medžiagų elgsena ir savybės.....	30
1.5.1. Megztinių kompresinių medžiagų elgsena ir savybės tempimo metu	30
1.5.2. Megztinių medžiagų elgsena ir savybės įrašos relaksacijos metu.	32
1.5.3. Megztinių medžiagų elgsenos simuliacijos ir savybių prognozavimas.....	34
1.6. Kompresinių gaminių komforto savybės	36
1.7. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	38
2. METODINĖ DALIS	41
2.1 Tyrimo objektas	41
2.1.1 Baigtiniai įtvarai	43
2.1.2 Skirtingų pynimų gaminių elementai	44
2.1.3 Gaminio elementai su netašiais elementais	47
2.2. Tyrimų metodika.....	49
2.2.1 Mezginio sandaros rodiklių nustatymo metodika.....	49
2.2.3 Tempimo charakteristikų nustatymo metodika	49
2.2.4 Relaksacijos proceso analizė	50
2.2.5 Kompresijos skaičiavimo metodika	51
2.2.6 Laidumo orui nustatymo metodika.....	51
2.2.7 Stabilizavimo metodika	52
2.2.8 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika	52
3. TYRIMŲ REZULTATAI.....	54
3.1 Stabilizavimo proceso įtakos mezginio mechaninėms savybėms tyrimas...54	
3.1.1 Stabilizavimo įtaka mezginio struktūros parametrams.....	54

3.1.2 Stabilizavimo įtaka mezginių tempimo charakteristikoms.....	55
3.2 Gaminio struktūros įtakos tempimo jėgai ir generuojamai kompresijai tyrimas	56
3.2.1 Mezginio pynimo įtaka tempimo jėgai.....	56
3.2.2 Elastomerinio siūlo parametrų įtaka tempimo jėgai.....	58
3.2.3 Netęsių elementų įtaka tempimo jėgai	61
3.3 Antropometrinių duomenų įtakos generuojamai kompresijai tyrimas.....	66
3.4 Relaksacijos proceso įtakos generuojamai kompresijai tyrimas	70
3.4.1 Baigtinio gaminio relaksacijos proceso tyrimas	70
3.4.2 Gaminio elementų relaksacijos proceso tyrimas	74
3.4.2.1 Ilgalaikė relaksacija	75
3.4.2.2 Trumpalaikė relaksacija	78
3.5 Kompresinio mezginio komforto savybių tyrimas.....	92
3.5.1 Mezginio pynimo įtaka laidumui orui	92
3.5.2 Mezginio ištiesos įtaka laidumui orui ir kilpos geometrijai.....	93
3.6 Rekomendacijos ortopedinių kompresinių įtvarų generuojamos kompresijos ir laidumo orui vertinimui.....	97
4. IŠVADOS	103
5. LITERATŪROS SĄRAŠAS	105
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS	119

SIMBOLIŲ IR SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

A – kilpos žingsnis, mm
 B – kilpos aukštis, mm
 F – tempimo jėga, N
 F – Fisher kriterijus
 G – Cochran kriterijus
 h – gaminio aukštis, m
 l – kilpos ilgis, mm
 l_e – elastomerinio siūlo ilgis mezginio raporte, mm
 L_N – gaminio ilgis, m
 N – eksperimento taškų skaičius
 P – kompresija, kPa
 PA – poliamidiniai siūlai
 PET – polietilenteraftalatiniai siūlai
 P_h – horizontalusis tankumo koeficientas, cm^{-1}
 P_v – vertikalusis tankumo koeficientas, cm^{-1}
 PU – poliuretaninginiai siūlai
 R – laidumas orui, $\text{dm}^3/(\text{m}^2\text{s})$
 R^2 – apibrėžties koeficientas
 S – vidutinė kvadratinė nuokrypa
 S^2 – dispersija
 S_B – bandomasis plotas, cm^2
 T – siūlų ilginis tankis, tex
 T_s – elastomerinio siūlo šerdies ilginis tankis, tex
 t – temperatūra, $^{\circ}\text{C}$
 V – variacijos koeficientas, %
 q_v – oro sraudo debitas, dm^3/min
 δ_a – santykinė atsitiktinė paklaida, %
 φ – oro drėgnis, %
 \bar{x} – eksperimentinių rezultatų vidurkis

IVADAS

Tiriamosios problemos pagrindimas ir darbo aktualumas. Medicininės tekstilės gaminiai - sritis, kurioje būtinas didelis projektavimo tikslumas. Natūralu, kad su žmogaus sveikata susijusių gaminių kokybei yra keliami itin aukšti reikalavimai. Ne išimtis ir megzti ortopediniai kompresiniai įtvarai, kurie yra priskiriami medicininės tekstilės neimplantuojamų gaminių grupei. Norint pagaminti aukštos kokybės gaminį, atitinkantį keliamus medicinos, komforto, estetikos ir kitus reikalavimus, svarbu atsižvelgti į visus projektavimo ir gamybos etapus. Nors pastarąjį dešimtmetį atliekama vis daugiau megztų ortopedinių kompresinių įtvarų mokslinių tyrimų, jų vis dar nepakanka. Ilgą laiką didžiausias susidomėjimas megztais kompresiniais gaminiais buvo susijęs su kompresinių kojinių ypatybių tyrimo ir tobulinimo klausimais. Mokslininkai gana ilgai neskyrė gana dėmesio megztiems ortopediniams kompresiniams įtvarams. Minėti gaminiai dažniausiai buvo projektuojami ar skirstomi į kompresijų klases remiantis kompresinių kojinių gamybos ar skirstymo metodika. Yra žinoma daug skirtingų kompresijos vertinimo metodų, sukurtų vertinti kompresines kojines. Be to, daug kompresijos vertinimo metodikų yra pagrįstos gaminio ištempimo metu generuojamos kompresijos verte, neatsižvelgiant į dėvėjimo metu galimus kompresijos pokyčius. Paminėtina, kad ortopedinių įtvarų ir kompresinių kojinių sandara, paskirtis ir indikacijų priežastis yra skirtinga, o šiuos gaminius vienija tik apspaudimo jėgos poreikis. Tai leidžia teigti, kad megztų ortopedinių įtvarų projektavimas ir gamybos procesas galimai nėra optimaliausi. Taigi tikėtinas žaliavų, darbo jėgos ir laiko pereikvojimas bei gaminiams keliamų reikalavimų netenkinimas. Atsižvelgus į minėtas priežastis, trūksta mokslinių tyrimų, skirtų kompresiniams ortopediniams įtvarams analizuoti. Itin aktualus optimalusis ir tikslesnis projektavimas bei kompresijos ir kitų savybių vertinimas.

Megztų kompresinių gaminių panaudojimo sritys įvairios, o gamybos apimtys didelės. Lietuvoje ir visame pasaulyje veikia daug šių produkciją gaminančių įmonių: Lietuvoje įsikūrusios įmonės AB „Ortopedijos technika“, UAB „Ortopagalba“, UAB „Pirmas žingsnis“ ir kt. Be minėtų įmonių produkcijos, vartotojus dažnai pasiekia ir pasaulyje gerai žinomų prekės ženklų gaminiai, pavyzdžiui, „Sigivaris®“, „Bauerfriend®“, GmbH „OttoBock“ ir t. t.

Šiuo metu megzti kompresiniai ortopediniai gaminiai yra skirstomi pagal kompresinėms kojinėms pritaikytas kompresijos klases. Iš esmės, šios klasės tinka ir kompresiniams įtvarams skirstyti, tačiau skirtingose Europos ar pasaulio valstybėse egzistuoja įvairios kompresijos klasių apibrėžtys. Tai reiškia, kad, atsižvelgus į skirtingus galiojančius standartus, skirtingose valstybėse tas pats gaminyje gali priklausyti skirtingoms kompresijos klasėms. Be to, nėra tikslios prevencinių, sportinių ir gydomųjų kompresinių įtvarų apibrėžties. Kadangi kompresinių įtvarų gamyba nėra ilgametė ir gali būti laikoma santykiškai nauja, o mokslinių tyrimų poreikis yra didelis, tad kompresinių įtvarų projektavimo ir gamybos procesai taip pat nėra standartizuoti. Tai reiškia, kad skirtingų šalių ar skirtingų įmonių vidiniai standartai tarpusavyje nesuję. Taigi vartotojas, įsigydamas produktą, nebūtinai yra įsitikinęs, kad šis atitinka savybes, kurių jis pageidauja.

Pastaruoju metu žmogaus sveikata ar jos gerovės užtikrinimas tampa vis griežčiau kontroliuojamu objektu. Šiuo atveju įvairiais aspektais, kaip sveikatinimo ar prevencijos objektas analizuojama medicininės tekstilės sritis. Kadangi įvairios paskirties medicininės tekstilės gaminių gamyba nuolat auga, svarbu atkreipti dėmesį ir į gamybos procesų tvarumą, atliekų ar netinkamos produkcijos kiekių mažinimą. Per pastaruosius kelis dešimtmečius itin padidėjo kompresinių medicininės tekstilės produktų gamybos apimtys ir padaugėjo panaudojimo sričių. Įtvarus, neatitinkančius keliamų reikalavimų generuojamai kompresijai dėl mišrios pluoštinės sudėties, dažnai sudėtinga perdirbti. Todėl netikslus įtvarų projektavimas gali nulemti ne tik žaliavų poreikį, bet ir netikslingą gamybos procesų vykdymą, ir taip sumažinti gaminamos produkcijos ir gamybos tvarumą bei draugiškumą aplinkai. Dėl šių priežasčių kompresinių medicininės tekstilės gaminių tyrimų aktualumas yra itin didelis.

Darbo tikslas – nustatyti skirtingos kompresinių mezginių struktūros įtaką generuojamai kompresijai, dėvėjimo komfortui ir sukurti tikslesnius kompresijos ir laidumo orui vertinimo metodus.

Darbo uždaviniai:

- 1) nustatyti stabilizavimo proceso įtaką kompresinių mezginių savybėms;
- 2) nustatyti gaminių struktūros įtaką generuojamai kompresijai;
- 3) ištirti ilgalaikės ir trumpalaikės įrašos relaksacijos įtaką generuojamos kompresijos pokyčiui;
- 4) nustatyti kompresinio mezginio laidumo orui pokyčius dėvėjimo metu;
- 5) sukurti ortopedinių kompresinių įtvarų generuojamos kompresijos ir laidumo orui vertinimo metodus, įvertinant savybių pokytį eksploatacijos metu;
- 6) sudaryti rekomenduojamą ortopedinio kompresinio įtvaro projektavimo eigą ir kompresinių bei komforto savybių vertinimo rekomendacijų rinkinį.

Mokslinis darbo naujumas. Kompresinių ortopedinių įtvarų paklausa nulemia didėjančių mokslininkų susidomėjimą šia sritimi. Nors Lietuvos ir pasaulio tyrėjai yra nagrinėję įvairias tampriąsias megztinių medžiagų savybes, tyrimų rezultatai nėra apibendrinti viename rekomendacijų rinkinyje. Be to, siekiant parengti optimalią ir vientisą megztų ortopedinių kompresinių įtvarų projektavimo metodiką, vis dar trūksta tam tikrų tyrimų. Disertacijos rengimo metu atlikti tyrimai ir jų metu suformuotos išvados leido sukurti kompresinių gaminių generuojamos kompresijos ir komforto savybių vertinimo bazinį rekomendacijų rinkinį, vartotiną gaminių projektavimo metu. Šios disertacijos rengimo metu atlikti tyrimai įrodė, kad, norint įvertinti kompresinių gaminių generuojamą kompresiją, būtinas naujas požiūris, atsižvelgiant į įrašos relaksacijos metu patiriamus tempimo jėgos nuostolius. Eksperimentiniai rezultatai atskleidė, kad siūloma kompresijos vertinimo metodika yra tinkama ir vartotina tiek vertinti baigtinius gaminius, tiek gaminių sudarančius elementus, esant skirtingoms ištiesimo vertėms, priklausančioms mažų ištiesimų zonai. Ankstesniuose mokslininkų darbuose buvo pradėti skirtingo santykinio ploto netašų elementų įtakos generuojamos kompresijos vertėms tyrimai. Šioje disertacijoje pateikiamas gerokai platesnis ir detalesnis netašų elementų įtakos vertinimas, atsižvelgiant ne tik į santykinio ploto, bet ir iki šiol neanalizuotų savybių – elemento formos ar krypties – įtaką. Kitas iki šiol nenagrinėtas aspektas – megztų ortopedinių

kompresinių įtvarų komforto savybių vertinimas. Disertacijoje teigiama, kad dėl įtvaro dėvėjimo metu pakintančių megztinės medžiagos struktūros parametrų laidumas orui turėtų būti vertinamas esant eksploatavimą imituojančiai ištiesai. Atsižvelgus į disertacijos rengimo metu gautus duomenis, kompresinio gaminio projektavimas turėtų būti vykdomas tiksliau ir našiau, o optimizuojant gamybos procesą, turėtų būti pagerinti jo ekonominiai rodikliai ir ekologiškumas.

Autorės indėlis. Tiriamieji bandiniai buvo suprojektuoti ir pagaminti tekstilės įmonėse UAB „Ortopagalba“, AB „Ortopedijos technika“ ir UAB „Vegateksa“ (Kaunas, Lietuva). Disertacijos eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti KTU, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto Medžiagų inžinerijos katedroje. Prie šio darbo parengimo prisidėjo mokslinė vadovė prof. dr. Daiva Mikučionienė, KTU darbuotoja dr. Ginta Laureckienė, mokiusi autorę naudotis reikiama laboratorine įranga ir padėjusi atlikti tempimo jėgos nustatymo ir įrąžos relaksacijos laboratorinius tyrimus, bei KTU studentė Ernesta Burokė, padėjusi atlikti dalį tempimo jėgos nustatymo ir įrąžos relaksacijos laboratorinių tyrimų. Tyrimų rezultatų analizė ir interpretacija atlikta disertacijos autorės, atsižvelgus į mokslinės vadovės prof. dr. Daivos Mikučionienės pastabas, korekcijas ir patarimus.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje pateikta glausta kompresinių gaminių, jų gamybai naudojamų žaliavų, pynimų ir papildomų elementų, generuojamos kompresijos vertinimo metodų bei projektavimo ir gamybos procesų apžvalga. Analizuojami kitų tyrėjų atlikti kompresinių medžiagų tempimo jėgos, įrašos relaksacijos ir komforto savybių tyrimai.

1.1. Kompresijos terapijos ir tekstilinių kompresinių priemonių taikymas medicinoje

Medicininė tekstilė – viena iš funkcinės tekstilės sričių, kuriai skiriamas ypatingas dėmesys dėl ryšio su žmogaus sveikata ir fizine gerove. Ši funkcinė tekstilės sritis įvardytina kaip viena sparčiausiai besivystančių tekstilės šakų. Įvairūs medicininės tekstilės gaminiai naudojami ir profesionaliam gydymui, ir profilaktikai ar sveikatos užtikrinimo bei higienos reikmėms tiek sveikatos priežiūros, tiek asmeninio vartojimo sektoriuose. Įprastai medicininės tekstilės gaminiai klasifikuojami į keturias pagrindines grupes: implantuojamos medžiagos, neimplantuojamos medžiagos, ekstrakorporinės priemonės bei higienos ir sveikatos priežiūros prekės [1]. Šios sritys yra tiriamos ir skirtingais aspektais nagrinėjamos moksliniu požiūriu [2–5].

Pagal tekstilės gaminio paskirtį ir atliekamą funkciją, jo gamybai naudojami pluoštai turi pasižymėti tam tikromis savybėmis. Megztiems medicininės paskirties gaminiams naudojami pluoštai gali būti skirstomi į dvi grupes: biologiškai aktyvius (atsparius įvairių mikroorganizmų poveikiui) ir biologiškai neutralius, o kiekvienoje iš grupių galimi du pogrupiai – chirurginės paskirties gaminiams skirti pluoštai arba gaminiams, skirtiems išoriniam gydymui ir profilaktikai [6]. Įprastai medicininėje tekstilėje naudojamų siūlų ir verpalų kokybė nusakoma šiais rodikliais: geometriniais – siūlų ilginiu tankiu, pluošto ilgiu, sukriu, rangytumu; mechaniniais – trūkimo ištįsa, tamprumo moduliū, atsparumu ilgalaikėms ir trumpalaikėms apkrovoms ir t. t.; fizikiniais – laidumu orui, šilumai, vandens garams, higroskopiskumu ir t. t.; cheminiais – atsparumu šviesai, mikroorganizmams, įvairiems cheminiams reagentams ir t. t. [6].

Medicininės tekstilės gamybai gali būti naudojamos įvairios gamybos technologijos ir žaliavos. Šie gaminiai gali būti audžiami, mezgami, pinami ar gaminami iš neaustinių medžiagų [7]. Didžiąją dalį medicininės tekstilės sudaro neaustinės tekstilės gaminiai (apie 60 %), tačiau dažniausiai tai – nesudėtingi vienkartiniai gaminiai. O megzti medicininės tekstilės produktai dažniausiai yra aukštųjų technologijų gaminiai: dirbtinės kraujagyslės, išvaržų tinkleliai, išsiplečiantys metaliniai stentai, erdviniai kompresiniai gaminiai ir pan. [7]. Medžiagos gamybos būdas priklauso nuo gaminio paskirties, funkcijos, ilgaamžiškumo poreikio. Megztos struktūros medžiagos medicininėje tekstilėje vertinamos dėl itin gero lankstumo, tinkamų mechaninių savybių, gero akytumo, laisvos struktūros, santykiškai nesudėtingos formavimo technologijos [7].

Nepriklausomai nuo medicininės tekstilės gamybos būdo (austi, megzti ar neaustinių medžiagų gaminiai), didesnė produkcijos dalis yra skirta vienkartiniam

naudojimui (pavyzdžiui, operacinės chalatai, paklotai, tvarsčiai ir t. t.). Tik apie 30 % medicininės tekstilės gaminių yra ne vienkartinio vartojimo, o skirti santykiškai ilgalaikiam vartojimui [7]. Natūralu, kad medicininės tekstilės pasaulyje sunaudojama itin daug, tad ekologiniu ir ekonominiu požiūriu siektina medicininės tekstilės gamybos procesų optimizavimo ir kuo mažesnio žaliavų poreikio.

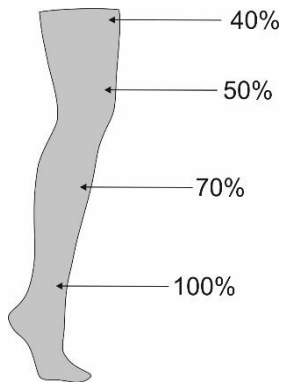
Kompresija – tai apspaudimo jėga, nukreipta tempimo jėgai priešinga kryptimi [8]. Generuojamos apspaudimo jėgos dydis nulemia kompresinio gaminio veiksmingumą ir jo teikiamą naudą ar žalą. Kompresijos matavimo vienetai SI sistemoje yra paskaliai (Pa), tačiau, minint kompresinius tekstilės gaminius, generuojama kompresija dažnai nusakoma gyvsidabrio stulpelio aukščiu – mmHg [9].

Pagal anksčiau aprašytą klasifikaciją, įvairūs medicininiai ir prevenciniai kompresiniai įtvarai ir kitos paskirties medicininiai kompresiniai gaminiai yra priskiriami neimplantuojamų medicininės tekstilės medžiagų grupei [1, 7]. Kompresinei terapijai skirtų tekstilinių gaminių pagrindinė savybė – gebėjimas generuoti apspaudimo jėgą. Kompresinės tekstilės gaminiai medicinoje pradėti naudoti jau prieš kelis dešimtmečius. Pradžioje pagrindinė jų paskirtis buvo randų gydymas (pavyzdžiui, likusių po nudegimų) ir pacientų pooperacinės būklės gerinimas. Nuo XX amžiaus septintojo dešimtmečio itin augo tekstilinių kompresinių gaminių vartojimas medicinos reikmėms. Dabartiniai medicininės paskirties tekstiliniai kompresiniai gaminiai naudojami įvairiose srityse, apimančiose venų ligų gydymą ir profilaktiką, kaulų ir raumenų traumų gydymą, raumenų kontrolę, pooperacinį gydymą ir parengimą protezavimui, kūno formavimą ir t. t. [10].

Medicininėje tekstilėje gali būti nagrinėjamos dvi spaudimo rūšys: statinis spaudimas, esantis ir tada, kai galūnės raumenys yra atsipalaidavę, bei dinaminis spaudimas (spaudimas judant), kylantis dėl raumenų išsiplėtimo, kurį sukelia pasipriešinimas spaudimo jėgai [9]. Remiantis Asmussen, statinis apspaudimas veikia paviršiuje esančias kraujagysles. Dinaminio spaudimo atveju apspaudimo jėga gerokai padidėja įsitempus raumenims, o ilsintis – sumažėja.

Kompresinė terapija medicinoje pasitelkiama įvairiais atvejais. Viena plačiausiai išnagrinėtų sričių – venų ligų gydymas ir profilaktika [9, 11, 12]. Venų ligos yra itin dažnos išsivysčiusiose valstybėse. Tyrimai atskleidė, kad apie pusę pilnamečių asmenų yra konsultavęsi su gydytojais venų ligų klausimais, 5–30 % pilnamečių asmenų susiduria su lėtinėmis venų ligomis, o 10–20 % pacientų patiria venų varikozę [10–14]. Venų ligų atsiradimo priežastys įvairios: paveldimumas, aplinkos sąlygos, gyvenimo būdas. Be to, šiomis ligomis dažniau serga moterys nei vyrai [13]. Venų ligų sukeltus požymius patiria vis daugiau vidutinio amžiaus žmonių. Chroniškas venų nepakankamumas skirstomas į septynias (C0–C6) kliniškes kategorijas: C0 – nėra matomų ar apčiuopiamų venų ligos požymių, C1 – tinklinės ir vorinės venos, C2 – venų varikozė, C3 – edema, patinimas, C4 – venų stazės požymiai odoje, C5 – neatviro venų stazių opos, C6 – aktyvios venų stazių opos [15]. Pažengusių venų ligų stadijose taikomas chirurginis gydymas, o pradinėse stadijose rekomenduojamas kompresinės terapijos gydymas. Venų ligas gydyti taikomos įvairios kompresinės priemonės – nuo stacionarių mechaninių įrenginių [16, 17] iki asmeniniam naudojimui skirtų tekstilinių priemonių, pavyzdžiui, kompresinių kojinių ar tvarsčių [15, 18].

Kompresinių kojinių veikimo principas pagrįstas laipsniška kompresija – tiksliai apskaičiuotu ir visame kojos ilgyje tiksliai paskirstytu slėgiu. Kompresinių kojinių dėvėjimo metu koja patiria išorinį spaudimą, kuris pagerina kraujotakos greitį ir neutralizuoja padidėjusį spaudimą į venų sienelės [13, 19]. Kompresinio gydymo metu didžiausia kompresija taikoma kojos apačioje ir palaipsniui mažėja kylant į viršų (žr. 1.1 pav.): čiurna – 100 %, blauzda – 70 %, virš kelio – 50 %, šlaunis – 40 % [12]. Pagal ligos stadiją, taikoma skirtingo dydžio kompresijos terapija: 10–20 mmHg dydžio kompresija čiurnos srityje rekomenduojama esant venų ligų požymiams, kojų nuovargiui, 20–30 mmHg taikoma skundžiantis venų varikoze, 30–40 mmHg siūloma esant aktyvioms opoms, lengvai edemai, 40–50 mmHg ir daugiau nei 60 mmHg – nustačius lėtinį venų nepakankamumą, stiprią edemą, potrombozinę limfinę edemą ar elefantiazę (dramblialigę) [10, 12, 20, 21].



1.1 pav. Kompresijos pasiskirstymas kojos ilgyje

Kita populiarė kompresinės terapijos pritaikymo sritis – kompresiniai įtvarai. Šiuo atveju tekstiliniai kompresiniai gaminiai ar elastiniai tvarsčiai naudojami tiesioginei kompresijai arba kaip apsauginė priemonė, siekiant apriboti arba kontroliuoti kūno dalių arba atskirų sąnarių judesius: suteikti kompresiją, sutvirtinti, fiksuoti ar imobilizuoti tam tikrą kūno dalį [9, 22]. Ortopediniai kompresiniai įtvarai gali būti skirti įvairioms kūno dalims ir galūnėms, o šių gaminių paskirtis yra platesnė nei kompresinių kojinių. Įtvarai gali būti paskiriami pacientams po galūnių lūžių, esant sąnarių, raiščių ir raumenų uždegiminiams procesams, dėl sąnario išnirimo, nustačius galūnių paralizą ar paralyžius (išryškėjus kontraktūroms ir deformacijoms) bei kitais atvejais [23]. Yra žinoma, kad kompresinė terapija teigiamai veikia pacientų gijimą po traumų, pavyzdžiui, Winge ir bendraautorijų teigimu, kompresijos taikymas po kulkšnies lūžio operacijos sumažina edemą, tikėtina, ir skausmą, skatina sąnario mobilumą [24]. Ortopedinių kompresinių gaminių apspaudimo jėga dažnai yra mažesnė nei kompresinių kojinių, pavyzdžiui, ortopedinis kompresinis kelio įtvaras vidutiniškai generuoja 20–25 mmHg kompresiją [25].

Dar vienas kompresijos taikymo atvejis – randų, atsiradusių nuo nudegimų, gydymas siekiant panaikinti ar sumažinti jų iškilumą [9, 11, 26, 27]. Randų gydymui skirtus kompresinius gaminius rekomenduojama dėvėti tada, kai randas aktyvus ir nesubrendęs [27]. Tokiu atveju šie gaminiai dėvimi nuolat – dieną ir naktį, išskyrus trumpas pertraukas, būtinas asmens higienai palaikyti [27]. Šios paskirties

kompresinius gaminius rekomenduojama naudoti metus, nuolat dėvėti 23 val. per parą, kol sumažėja nepageidaujami randai [10]. Be to, Tejiram ir bendraautorių atlikti tyrimai atskleidė, kad kompresinė terapija gali sumažinti bendrą kolageno kiekį hipertrofiniame rande [28]. Randų gydymui skirtiems kompresiniams gaminiams rekomenduojamas apie 20–30 mmHg generuojamas slėgis [29–31]. Randų gydymui skirti kompresiniai gaminiai gali būti pritaikomi įvairiose kūno vietose: pirštinės, kaukės veidui, kojines, rankovės ir t. t. Komplikuotesnis kompresinės terapijos taikymas galvos ir kaklo sričiai, tačiau ir ši sritis analizuojama bei tobulinami jai skirti gaminiai [32]. Be minėtų panaudojimo sričių, kompresiniai tekstiliniai gaminiai medicinoje taikomi ir kitais tikslais: pooperaciniam gydymui, galūnių parengimui protezavimui, pirmosios pagalbos suteikimui ir pan.

Be medicininės paskirties gaminių, kompresijos teikiama nauda pritaikoma ir kitose srityse [10]. Gana dažni kompresiniai produktai sportinėje tekstilėje, siekiant pagerinti sportinius rezultatus, sumažinti traumų tikimybę, pagerinti kraujotaką ir paspartinti raumenų poilsį po patirto krūvio [26, 33]. Nors medicininė tekstilė ir sportui skirti tekstilės gaminiai iš esmės yra skirtingi produktai, tačiau kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, kompresinių prevencinėms reikmėms skirtų įtvarų atveju sudėtinga įvardyti, ar konkretus gaminyje yra medicininės tekstilės, ar sportinės tekstilės produktas. Be sportinės tekstilės, kompresiniai gaminiai pasitelkiami ir kūno formavimo tikslais, siekiant sukurti patrauklesnę kūno išvaizdą: koreguoti kūno linijas, pakelti krūtinę, sumažinti pilvo apimtį ir pan. [10, 26].

Kompresinio gydymo efektyvumas priklauso ne tik nuo įtvaro generuojamos kompresijos. Apskritai medicininės paskirties kompresiniams gaminiams keliami du pagrindiniai reikalavimai – medicininis efektyvumas ir komfortas dėvint [27]. Komforto trūkumas trumpina dėvėjimo trukmę ir neskatina vartotojų aktyviau naudoti jiems skirtų medicininių produktų.

Kompresinių gaminių dėvėjimo psichologinės ir fiziologinės kliūtys nagrinėtos įvairiuose darbuose [34–37]. Raju ir bendraautorių atliktų tyrimų metu nustatyta, kad tik 21 % pacientų teigia įprastai kompresines kojines dėvintis kiekvieną dieną, o 12 % jas dėvi dažnai, tačiau ne kasdien [38]. Nenoras dėvėti paskirtas kompresines priemones dažniausiai siejamas su šiomis priežastimis: pacientas nevisiškai supranta dėvėjimo tikslą (30 %), pirminio gydymo metu nenustatytas įtvaro poreikis (25 %), pacientas įsitikinęs, kad priemonė neveiksminga (14 %), privaloma cirkuliacija (13 %), nepakankamas komfortas dėvint (8 %), galūnių skausmai (2 %), prasta estetinė gaminio išvaizda (2 %), priemonę sudėtinga užsidėti be pagalbos (2 %), trintis sukelia dermatitą ar niežulį (2 %), ir kitos: gaminio kaina, darbo specifiška ir pan. (2 %) [38]. Vaikai ir paaugliai nurodo kitokias kompresinių gaminių nedėvėjimo priežastis. Montoya ir bendraautorių teigimų, pagrindinė priežastis – diskomfortas dėvint (55 %), nesąmoningumas ir savo sveikatos būklės nesupratimas (45 %), kaip panašaus lygmens aspektai įvardijami sudėtingas priemonės užsidėjimas, nepatraukli išvaizda ar naudos nesuvokimas (35–38 %) [39].

Apibendrinimas. Įvairios paskirties medicininiai ir prevenciniai kompresiniai įtvarai yra priskiriami neimplantuojamų medicininės tekstilės medžiagų grupei. Tekstiliniai kompresiniai gaminiai naudojami įvairiose medicinos srityse. Viena plačiausiai išnagrinėtų sričių – venų ligų gydymas ir profilaktika. Šiam tikslui

vartojamos kompresinės kojinės, kurių veikimo principas pagrįstas laipsniška kompresija. Kita plati kompresinės terapijos pritaikymo sritis – kompresiniai įtvarai. Šiuo atveju tekstiliniai kompresiniai gaminiai ar elastiniai tvarsčiai naudojami tiesioginei kompresijai arba kaip apsauginė priemonė, siekiant apriboti arba kontroliuoti kūno dalių arba atskirų sąnarių judesius – suteikti kompresiją, sutvirtinti, fiksuoti ar imobilizuoti tam tikrą kūno dalį. Viena seniausių tekstilinių kompresinių gaminių taikymo sričių – randų, atsiradusių nuo nudegimų, gydymas, siekiant panaikinti ar sumažinti jų iškilumą. Be medicininės paskirties gaminių, kompresijos teikiama nauda pritaikoma ir kitose srityse, pavyzdžiui, sportinėje tekstilėje.

Žvelgiant iš technologinės pusės, kompresinio gydymo efektyvumą lemia įtvaro generuojamos kompresijos dydis. Atlikti tyrimai parodė, kad kompresinių gaminių gydymo efektyvumas labai priklauso ir nuo vartotojų psichologinio ir fiziologinio komforto – komforto trūkumas trumpina priemonės dėvėjimą.

1.2. Kompresinių gaminių klasifikavimas

Medicininiai kompresiniai gaminiai gali būti skirstomi į grupes pagal įvairius požymius. Įvairios paskirties kompresinius gaminius aprašyti pasitelkiamas daugiapakopis nomenklatūros principas. Apskritai kompresijos terapijai skirti gaminiai gali būti skirstomi pagal elastingumą (standūs arba mažai / vidutiniškai / labai elastingi), kompresijos lygį (mažos / vidutinės / didelės kompresijos), kompresijos generavimo būdą (nuolatinės / nenuolatinės kompresijos, vienasluoksniai / daugiasluoksniai), pluoštinę sudėtį (natūralūs / sintetiniai / cinko pastos / kiti), medžiagos gamybos būdą (megzti / austi / neaustiniai / kiti) [15].

Siekiant pirminio ortopedinio įtvaro identifikavimo, būtinas skirstymas pagal kūno vietą – viršutinių galūnių (pvz., riešo, alkūnės), apatinių galūnių (pvz., kelio, čiurnos), galvos ir stuburo (žr. 1.1 lent.). Šiuo atveju įtvarai gali būti įvardijami kaip skirti galūnėms ar konkrečioms jų dalims, pavyzdžiui, kulkšnies įtvaras.

1.1 lentelė. Kompresinių gaminių klasifikavimas pagal kūno poziciją

Kūno dalis	Pozicija	
Viršutinės galūnės	Riešas	
	Alkūnė	
	Petys	
Apatinės galūnės	Čiurna / kulkšnis	
	Kelis	
	Klubas	
Stuburas	Pilvas (nėščiosioms)	
	Nugara / juosmuo	

Minėta, kad kompresiniai gaminiai gali būti naudojami įvairiose srityse, pavyzdžiui, medicinoje, sporte, kūno formavimo tikslais [11, 26, 40]. Taigi, skirstant kompresinius gaminius pagal gaminio atliekamą funkciją, jie gali būti aprašomi kaip kompresiniai sportinės paskirties produktai, ortopediniai įtvarai, kojinės venų ligų gydymui, pooperacinės paskirties gaminiai, tvarsčiai, bigės gaminiai ir movos, randų gydymo gaminiai (kaukės, rankovės, pirštinės ir t. t.), nėštumo ir pogimdyvinio periodo gaminiai, produktai kūno formavimui ir kiti. Naujausia kompresijos

pritaikymo sritis – išmanieji kompresiniai gaminiai. Šių gaminių struktūroje integruota dėvima kompresijos fiksavimo ir kartografavimo sistema leidžia vertinti raumenų ir skeleto judesius bei poziciją judėjimo metu [41, 42]. Šio pobūdžio gaminiai, įvardijami kaip naujos kartos kompresijos gaminiai, gali būti pritaikomi kūno judesių stebėsenai ir analizei, traumų prevencijai, sportinėms reikmėms ir pan. Tikėtina, kad tobulėjant minkštosioms integruojamoms jutiklių sistemoms, išmaniųjų kompresinių gaminių pritaikymo sritys gali plėstis. 1.2 lent. pateikiami dažniausi megztų kompresinių gaminių pavyzdžiai ir jų panaudojimo sritys.


1.2 lentelė. Galimos įvairių kompresinių gaminių panaudojimo sritys

Kompresinių gaminių grupė	Paskirtis	Pavyzdys
Kompresiniai sportiniai gaminiai	Pagerinti kraujo ir deguonies cirkuliaciją, paspartinti raumenų atsigavimą po sportinės veiklos, tam tikrais atvejais sumažinti pasipriešinimą ar trintį (pvz., plaukimo apranga).	 [43]
Sportiniai įtvarai	Sutvirtinti ir apsaugoti sąnarius ar raumenis sporto metu (aktualu kontaktiniam sportui ar sportui, kurio metu tikėti dažni kritimai, pavyzdžiui, tinkliniui). Dažni kelio, alkūnės, peties ar nugaros įtvarai [13]. Dažnai naudojami papildomi smūgius amortizuojantys elementai (pvz., porolonas).	 [44]
Medicininiai ortopediniai įtvarai	Skirti traumų prevencijai arba gydymui esant įvairiems sužalojimams, pavyzdžiui, sąnarių, raiščių traumoms, lėtinėms sąnarių ligoms, įgimtoms ortopedinėms ligoms ir pan. Sandaroje gali būti naudojami specialios medicininės paskirties elementai.	 [45]

1.2 lentelės tęsinys. Galimos įvairių kompresinių gaminių panaudojimo sritys

Kompresinių gaminių grupė	Paskirtis	Pavyzdys
Kompresiniai tvarsčiai	Plataus panaudojimo produktas, galintis atlikti ir prevencinę, ir pooperacinę paskirtį. Dėl didelio funkcionalumo dažnai naudojami kaip pirmosios pagalbos priemonė traumų atveju.	 <p>[46]</p>
Kompresinės kojinės	Venų ligų prevencijai ir gydymui. Skirstomos į skirtingos vertės kompresijos klases, nulemiančias kojinių paskirtį. Aukščiausios kompresijos klasės kojinių gaminiai gali būti skirti kaip pooperacinio gydymo dalis, kaip kompresinių tvarsčių alternatyva.	 <p>[47, 48]</p>
Pooperaciniai gaminiai	Naudojami po įvairaus pobūdžio medicininių ar plastinių operacijų. Gaminiai skirti įvairioms kūno dalims: kaukės, tamprės, liemenės, dalies kūno kostiumai ir pan. [29].	 <p>[49]</p>
Gaminiai bigės formavimui	Skirti suformuoti bigę po galūnės amputacijos bei pagerinti pooperacinio pjūvio gijimą. Dažnai yra kūgio formos, geriausiai atitinkančios galūnę.	 <p>[50]</p>
Bigės movos	Skirtos užtikrinti saugumą ir pagerinti komfortą bigės ir protezo tiesioginio kontakto metu. Gali būti naudojami papildomi elementai, pagerinantys komforto savybes jautriose vietose.	 <p>[51]</p>

1.2 lentelės tęsinys. Įvairių kompresinių gaminių galimos panaudojimo sritys

Kompresinių gaminių grupė	Paskirtis	Pavyzdys
Gaminiai randų gydymui	Galimos skirtingos kūno pozicijos: veido kaukės, pirštinės, rankovės ir t. t. [29]. Apspaudimo jėga sumažina iškilus rando tikimybę. Galimi papildomi elementai, pavyzdžiui, silikono detalės su gydomaisiais ekstraktais. Vidutinis kompresijos dydis – 25 mmHg [13].	 <p>[50]</p>
Gaminiai nėštumo ir pogimdyviniam periodui	Prilaikantys pilvo diržai rekomenduojami dėvėti antroje nėštumo pusėje. Skirti sumažinti nugaros skausmus, tolygiau paskirstyti didėjančią pilvo svorį, pagerinti koordinaciją, sumažinti griuvimo riziką [52]. Pogimdyviniai gaminiai gali būti vartojami tiek po natūralaus gimdymo, tiek po cezario operacijos.	 <p>[53]</p>
Gaminiai kūno formavimui	Pagerina kūno formą ir silueto linijas. Dažnai dėvimi kaip apatiniai drabužiai, siekiant sukurti mažesnio kūno dydžio efektą ir pagerinti išvaizdą. Dažniausi – įvairūs korsetai, kelnaitės ar kelnės [29].	 <p>[49]</p>
Išmanieji kompresiniai gaminiai	Gaminių struktūroje integruota dėvima kompresijos fiksavimo ir kartografavimo sistema. Gali būti naudojami kūno judesių analizei, vertinti raumenų ir skeleto judesius bei poziciją, traumų prevencijai ir pan. [41].	 <p>[41]</p>

Specialiosios paskirties megzti kompresiniai gaminiai gali būti skirstomi į dvi pagrindines grupes – profilaktiniai (naudojami be gydytojo paskyrimo) ir medicininiai gydomieji (vartojami paskyrus gydytojui). Abiems grupėms priklausančius gaminius galima skirstyti į tris pogrupius: kojinių gaminiai, apatinių rūbų gaminiai ir ortopediniai įtvarai. Medicininiai gydomieji kompresiniai gaminiai taip pat klasifikuojami ir pagal kitus požymius, pavyzdžiui, suteikiamą kompresijos dydį, gaminio matmenis, gaminio tipą (rankovė, kojinė ir pan.), gamybos būdą ar pluoštinę sudėtį [54].

Megzti ortopediniai įtvarai, kaip ir kompresinės kojinės, įprastai skirstomi į tris pagrindines grupes: prevenciniai įtvarai, funkciniai įtvarai ir pooperaciniai ar reabilitaciniai įtvarai. Esminis skirtingoms grupėms priklausančių produktų skirtumas yra gaminio generuojamos kompresijos dydis [55]. Egzistuoja įtvarų, kurie pritaikomi daugiau nei vienai iš minėtų grupių – tai įtvarai, atliekantys ir prevencinę paskirtį, ir pasižymintys specifine funkcija (pavyzdžiui, turi kelio girmelės prilaikymo elementą).

Medicininį ortopedinių įtvarų pasiūla yra itin plati, nepriklausomai nuo įtvaro paskirties ar indikacijos. Dėl šios priežasties medicininės paskirties ortopediniai įtvarai gali būti skirstomi pagal detalesnę įtvaro funkciją ar gamybos būdą. Pavyzdžiui, kompresinio ortopedinio kelio įtvaro sandaroje įterpus skirtingos medicininės paskirties elementus, gaunami skirtingos funkcinės paskirties įtvaro variantai. Pavyzdinė skirtingos funkcijos ortopedinių kelio įtvarų apžvalga pateikta 1.2 pav. Skirtingų kompresinių įtvarų gamybos būdų apžvalga pateikiama kitame skyrelyje.



1.2 pav. Skirtingos paskirties kompresiniai kelio įtvarai: a) kompresinis kelio įtvaras [53]; b) įtvaras su silikoniniu žiedu [56]; c) įtvaras su kelio girmelės juosta [47]; d) įtvaras su apsauga nuo traumų [45]; e) įtvaras su silikoniniu žiedu ir šoniniais stabilizatoriais [45]

Akcentuotina, kad tos pačios pozicijos (pavyzdžiui, kelio) medicininės paskirties įtvarai nebūtinai yra kompresiniai tekstilės gaminiai. Pavyzdžiui, nekompresiniai medicininės paskirties kelio įtvarai gali būti naudojami kaip prevencinės ar potrauminio gydymo priemonės, gydyti sąnarių ligas, kt. Jų pavyzdžiai pateikti 1.3 pav.



1.3 pav. Medicininės paskirties ne kompresiniai kelio įtvarai: a) šildantis vilnos įtvaras [57]; b) šaldantis / šildantis įtvaras su gelio kapsulėmis [58]; c) plastikinis kelio įtvaras [59]; d) kelio girmelės juostelė [60]

Pagal generuojamos kompresijos dydį gaminiai skirstomi remiantis kompresinių kojinių kompresijos klasių standartais. Visuose aptiktuose standartuose nurodomos keturios pagrindinės kompresijų klasės (I–IV klasės), pirmajai klasei priskiriami mažiausios generuojamos kompresijos gaminiai, ketvirtai klasei – didžiausios kompresijos produktai. Tačiau skirtingose šalyse kompresijų klasių apibrėžtys skiriasi (žr. 1.3 lent.) [13, 61]. Pirmųjų dviejų kompresijos klasių apibrėžtys skirtos lengvos kompresijos gaminiams, trečiosios ir ketvirtosios kompresijos klasių – stiprios kompresijos gaminiams [55].

1.3 lentelė. Skirtinguose standartuose pateikiamos kompresijos klasių apibrėžtys

Šalies standartas	Kompresijos klasė			
	I klasė	II klasė	III klasė	IV klasė
	Gaminio generuojamas slėgis, mmHg			
Didžiosios Britanijos standartas BS 661210:2018	14–17	18–24	25–36	>36
Vokietijos standartas RAL–GZ–387/1:2008	15–21	23–32	34–46	≥49
Prancūzijos standartas AFNOR NF S97-114:2011	10–15	15–20	20–36	>36
Eksperimentinis Europos standartas UNI ENV 12179	15–21	23–32	34–36	>49
JAV adaptuotas RAL-GZ standartas	15–20	20–30	30–40	>40

Žemiausias kompresijos vertes generuojantys gaminiai yra skirti naudoti profilaktiškai, pavyzdžiui, šio tipo kompresines kojines galima įsigyti be gydytojo paskyrimo ir dėvėti norint sumažinti kojų nuovargį ilgalaikio stovėjimo ar vaikščiojimo metu. Profilaktiniai gaminiai taip pat naudotini patiriant padidėjusią venų varikozės susirgimų riziką. Didėjant kompresinio gaminio klasei, didėja gaminio generuojama kompresija ir kinta gaminio pritaikomumas konkrečiu ligos atveju, pavyzdžiui, 20÷30 mmHg slėgį generuojantys gaminiai naudotini esant lengvai

edemai, 30÷40 mmHg – vidutinei edemai, o 40÷50 mmHg ir daugiau nei 60 mmHg – stipriai edemai [12].

Apibendrinimas. Kompresiniai gaminiai gali būti skirstomi pagal elastingumą, kompresijos lygį, kompresijos generavimo būdą, pluoštinę sudėtį, gamybos būdą. Galimas skirstymas pagal kūno poziciją: viršutinių galūnių, apatinių galūnių ir stuburo. Be to, kompresiniai gaminiai skirstomi pagal funkciją. Specialiosios paskirties kompresiniai gaminiai gali būti profilaktiniai ir medicininiai gydomieji, abiem atvejais galimi trys pogrupiai: kojinių gaminiai, apatiniai gaminiai ir ortopediniai įtvarai.

Apskritai kompresiniai įtvarai skirstomi į prevencinius, rehabilitacinius ar pooperacinius. Kiekvienos paminėtos gaminių grupės produktai gali būti skirstomi pagal kūno poziciją ar kitus parametrus. Ortopediniai įtvarai skirstomi į tris pagrindines grupes: prevenciniai, funkciniai ir pooperaciniai ar rehabilitaciniai įtvarai. Ortopedinių įtvarų skirstymas pagal kompresijos dydį paremtas kompresinių kojinių kompresijos klasių standartais. Galimos keturios kompresijos klasės (I–IV): žemiausios klasės gaminiai generuoja mažiausias kompresijos vertes, aukščiausios – didžiausias.

1.3. Kompresinių įtvarų konstrukcija, sudėtis ir gamyba

Ortopediniai kompresiniai įtvarai dažniausiai gaminami iš minkštų elastingos struktūros medžiagų, gebančių generuoti kompresiją. Megztos medžiagos pasižymi visomis išvardytomis savybėmis, todėl yra itin patrauklios ir dažnai naudojamos gaminti kompresinius įtvarus [26, 62–65]. Megzti kompresiniai įtvarai gali būti įvairių formų, jie pritaikomi gydant skirtingas traumas ar susirgimus.

Projektavimo ir gamybos metu svarbu įvertinti įvairius parametrus, galinčius turėti įtakos baigtinio gaminio generuojamai kompresijai. Cheng ir bendraautorių teigimu, medžiagos generuojama kompresija yra glaudžiai susijusi su jos mechaninėmis savybėmis [66]. Žinoma ir tai, kad megzto gaminio tempimo jėga ir generuojama kompresija priklauso nuo gaminio formos, ploto ir megztinės medžiagos savybių: žaliavos savybių, pynimo, elastinio siūlo kiekio ir pradinio įtempio [54]. Kompresinių įtvarų gamyboje naudojami įvairūs gaminio generuojamos kompresijos keitimo būdai: skirtingos įtvaro generuojamos kompresijos vertės gali būti gaunamos keičiant megztinės medžiagos tankumą, mezginio pynimą, ataudinio elastomerinio siūlo parametrus ir kitais būdais.

1.3.1. Kompresinių įtvarų gamybos būdai

Megzti kompresiniai tekstiliniai gaminiai gali būti gaminami skirtingais būdais – metmeniniu arba skersiniu būdu tiek plokščiosiomis, tiek apskritosiomis mezgimo mašinomis; gaminami kaip megzti besiūliai produktai arba siuvami iš megztinės ar kitokios medžiagos, pavyzdžiui, daugiasluoksnių medžiagų. Besiūliai produktai dažniausiai yra skirti masinei gamybai, gaminami konkretūs dydžiai, juos sudėtingiau personalizuoti. Siūti produktai gaminami susiuvant iš plokščios medžiagos iškirptas ar išmegztas detales. Kai kuriais atvejais tai yra vienintelis būdas, leidžiantis pagaminti įtvarą iš pasirinktos medžiagos. Pabrėžtina, kad siūtiniai įtvarai turi daugiau trūkumų – sunkiau pasiekti tinkamą anatominę formą, įtvaro struktūroje

yra daug sujungimo taškų (siūlių). Sujungimo taškų vietose yra didesnė nemalonaus pojūčio dėvint ar trinties tikimybė, padidėja kompresijos nevienodumo atskiruose taškuose pavojus.

Megztos medžiagos pasižymi tampria struktūra, todėl yra itin tinkamos ir dažnai pasirenkamos kompresinių gaminių gamybai [26]. Kompresiniams ortopediniams gaminiams dažniausiai pasirenkamos megztinės medžiagos, pagamintos apskritosiomis ar plokščiosiomis skersinio mezgimo mašinomis, tačiau metmeninio mezgimo mašinos taip pat plačiai naudojamos įvairios paskirties kompresinių megztinių medžiagų gamybai [15, 67]. Mažos kompresijos klasėms (I–II klasėms) priskiriamos venų ligų gydymui skirtos kompresinės kojinės dažnai gaminamos apskritosiomis mezgimo mašinomis, o III ir IV kompresijos klasių gaminiai dažniau gaminami plokščiosiomis mezgimo mašinomis – žinoma, kad, mezgant plokščiosiomis mezgimo mašinomis, galima išgauti didesnę gaminių generuojamą kompresiją [13]. Nepaisant to, erdvinis mezgimas yra laikomas pranašiausiu kompresinių įtvarų gamybos būdu [13, 62, 68].

Mezgimo mašinos pasirinkimas yra itin svarbus ir gali nulemti medžiagos savybes. Mezgimo mašinos parametrai, pavyzdžiui, apskritųjų mezgimo mašinų cilindro adatų judėjimo valdymas, paveikia siūlo kiekio sunaudojimą, gaminio masę ar kilpos formą [69]. Abedin ir bendraautorai nustatė, kad apskritosios mezgimo mašinos klasė glaudžiai susijusi su megztinės medžiagos fizikinėmis savybėmis: vienodo skersmens, tačiau skirtingų mezgimo klasių mezgimo mašinomis pagamintos produkcijos parametrai skiriasi – didėjant mašinos klasei, mažėja mezginio stiprumo savybės, tačiau didėja medžiagos masė, plotis, atsparumas trinčiai [70]. Tiwari ir bendraautorų teigimu, apskritosiomis mezgimo mašinomis megztos medžiagos pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis nei megztos metmeninio mezgimo mašinomis [71]. Žinoma, kad plokščiomis mezgimo mašinomis pagaminti įtvarai yra pranašesni dėl formos, kuri labiau atitinka žmogaus anatomiją ir garantuoja optimalų įtvoro priglundimą bei geba generuoti didesnę apspaudimo jėgą [13].

Mezgimo proceso nustatymai taip pat daro įtaką megztinės medžiagos parametrams. Siūlų įtempis mezgimo metu gali būti įvardijamas kaip vienas pagrindinių faktorių, veikiančių mezgimo metu ir nulemiančių megztinių medžiagų sandaros rodiklius bei mechanines savybes [72]. Elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu gali nulemti mezginio eilučių ir stulpelių tankumą, mezginio storį, elastingumą, atsparumą trinčiai, laidumą orui [73].

Svarbu atsižvelgti ir į kitų gamybos procesų metu patiriamus medžiagų mechaninių savybių pokyčius, pavyzdžiui, megzti gaminiai po mezgimo dažniausiai yra apdorojami stabilizuojant, pavyzdžiui, veikiant tekstilės gaminių šiluma drėgnoje terpėje. Aprangai skirti gaminiai dažniausiai stabilizuojami naudojant garinimo stalelius ar manekenus, o smulkesni gaminiai stabilizuojami apdorojant garais autoklavuose arba skalbiant. Visais atvejais stabilizavimo proceso metu medžiagų mechaninės, funkcinės ar estetinės savybės turi būti pagerinamos arba išlaikomos nepakitusios.

Skalbimo ir džiovinimo procesai itin veikia tekstilės medžiagų mechanines savybes [62]. Teigiama, kad skalbimo metu pasikeičia megztų medžiagų mechaninės

savybės, struktūra, padidėja tempimo jėga, mezginio paviršius tampa lygesnis, taip pat stabilizavimo metu yra užtvirtinami megzto gaminio matmenys [74].

Stabilizavimo būdai skiriasi ne tik naudojama įranga, bet ir ekonominiais veiksniais: sunaudojama šilumine energija, trukmė, darbo jėga ir pan. Ekonominės ir ekologinės priežastys nulemia poreikį kuo tiksliau įvertinti atitinkamų procesų trukmę ir skalbimo priemonių būtinybę, taip sumažinant gamybos kaštus ir taršą. Pavyzdžiui, Treigienės ir bendraautorių atlikti tyrimai atskleidė, kad stabilizuojant garais autoklave 85 °C temperatūroje, didžioji dalis pokyčių, įvykstančių stabilizavimo proceso metu, nustatomi per pirmąsias 10 min, todėl tolimesnis stabilizavimo proceso vykdymas nėra tikslingas [75].

Tekstilė yra viena iš pramonės sričių, kurios gamybos procesams reikia itin daug vandens [76]. Tą liudija ir dideli gamybos kaštai, ir aplinkos tarša. Pastaruoju metu skiriamas itin didelis dėmesys įvairių tekstilės gamybos operacijų metu suvartojamo vandens kiekio optimizavimui, naudojamų cheminių medžiagų ekologiškumui, gaunamų vandens nuotekų valymui ir antriniam panaudojimui [77–79].

1.3.2. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami pluoštai ir siūlai

Kompresiniai įtvarai yra skirti ilgalaikiam vartojimui bei nuolatiniam ar dažnam dėvėjimui. Dėl šių priežasčių megztas ortopedinis kompresinis įtvaras turi pasižymėti ne tik pageidaujama kompresijos dydžiu, bet ir ilgaamžiškumu, tinkamomis trinties ar laidumo orui savybėmis, priimtina estetinė išvaizda. Kompresinių gaminių gamybai, pagal jų paskirtį, naudojami labai įvairūs pluoštai. Pagrindo siūlai iš dalies nulemia megztinės medžiagos storį ir tvirtumą. Ortopedinių kompresinių įtvarų pagrindui dažnai pasirenkami sintetiniai poliamidiniai (PA) ar polietilenteraftalatiniai (PET) siūlai, dirbtiniai viskoziniai siūlai ar natūralūs medvilniniai verpalai.

PA pluoštas – vienas plačiausiai naudojamų sintetinių heterograndžių pluoštų, pasižymintis geromis mechaninėmis savybėmis, atsparumu trinčiai ir dildymui, aukštomis grįžtamųjų deformacijų vertėmis [27, 80]. PA siūlai yra vieni populiariausių gaminant medicinines paskirties kompresinius gaminius, nes pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, matmenų stabilumu bei minėtu atsparumu trinčiai ir dildymui. Dažniausiai naudojamos PA pluoštų modifikacijos (PA6 ir PA6.6) pasižymi panašiomis savybėmis [80].

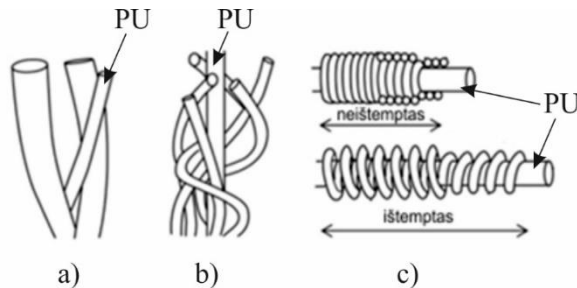
PET sintetiniame pluošte būdingos prastos komforto savybės dėl itin menko drėgmės sugėrimo, tačiau jo populiarumą nulemia geros mechaninės savybės ir santykiškai nebrangi gamyba [27, 80]. Kitomis savybėmis PET pluoštas yra artimas PA pluoštui [81]. Dėl gero kapiliariškumo PET mikrogijiniai siūlai pasižymi geresnėmis komforto savybėmis, be to, charakterizuojami kaip stiprūs, lankstūs, minkšti [82].

Viskozinis iš gamtinės celiuliozės gaminamas dirbtinis pluoštas yra higroskopiškas, atsparus spinduliuotei ir šilumos poveikiui. Iš viskozinio pluošto siūlų pagamintos medžiagos pasižymi tvirtumu, minkštumu ir blizgumu.

Medvilnė – vienas plačiausiai naudojamų natūralių pluoštų. Medvilnės pluoštas yra minkštas, pasižymi geromis komforto savybėmis: yra laidus orui, sugeria drėgmę, nekaupia statinio krūvio [83].

Kompresinės megztos medžiagos gaminamos mažiausiai iš dviejų siūlų sistemų: pagrindo siūlų ir elastomerinių siūlų. Elastomeriniai siūlai sutankina megztinės medžiagos struktūrą [84], pagerina matmenų stabilumo rodiklius [85] ir suteikia galimybę generuoti kompresiją, o šią savybę itin pagerina papildomi ataudiniai elastomeriniai siūlai [26]. Megzti kompresiniai įtvarai dažniausiai gaminami iš poliuretano (PU) elastomerinio pluošto, tačiau gamyboje naudojami ir kiti pluoštai, pavyzdžiui, polichloroprenas (neoprenas). Elastomerinis PU pluoštas apibūdinamas kaip sintetinis pluoštas, pagamintas iš ilgagrاندžių polimerų, sudarytų iš ne mažiau nei 85 % segmentuoto PU [86]. Elastomeriniai PU pluoštai įprastai pasižymi itin aukštomis ištiesimo vertėmis (iki 400–650 %), yra itin atsparūs trinčiams, cheminėms medžiagoms, stabilūs veikiant ultravioletiniams spinduliams [84].

Elastomerinių siūlų, neapvytų ar kitaip nesusietų su netašiu pluoštu, naudojimas neįmanomas dėl mezgimo metu kylančių didelių trinties jėgų tarp siūlo ir mezgimo mašinos siūlo tiekimo bei mezgimo sistemų dalių, taip pat dėvėjimo metu tikėtino diskomforto – siūlų ir odos sąlyčio vietose galimas odos dirginimas, paraudimas ir pan. [6]. Kompresiniams gaminiams naudojami elastomeriniai siūlai dažnai gaminami medvilniniais, viskoziniiais ar PA siūlais arba jų deriniais apvejančią tamprią elastomerinę siūlo šerdį [10]. Taip gaunami tvirtesni ir higieniškesni siūlai ir išvengiama minėtų nepageidaujamų efektų mezgant ir dėvint. Šerdis elementas sudaromas iš tamprios struktūros gijinių siūlų, pavyzdžiui, PU siūlų. Elastomerinių siūlų gamybai galima pasitelkti įvairias technologijas. Dažniausiai elastomeriniai siūlai būna armuotieji verpalai su elastomere šerdimi, suktiniai siūlai, supintiniai siūlai arba apvytiniai siūlai (žr. 1.4 pav.) [15, 87].



1.4 pav. Skirtingos struktūros elastomeriniai PU siūlai: a) armuotieji verpalai su elastomere šerdimi; b) supintiniai siūlai; c) dvigubai apvyti apvytiniai siūlai [15]

Ataudinių elastomerinių siūlų parametrai itin veikia gaminio kompresinės savybės ir iš dalies nulemia generuojamos kompresijos dydį [10]. Pavyzdžiui, padidinus elastomerinio siūlo šerdinio elemento ilginį tankį, pasiekiamos didesnės kompresijos vertės, tačiau kai kuriais atvejais keičiami ir pagrindo siūlo parametrai [26, 62, 88, 89].

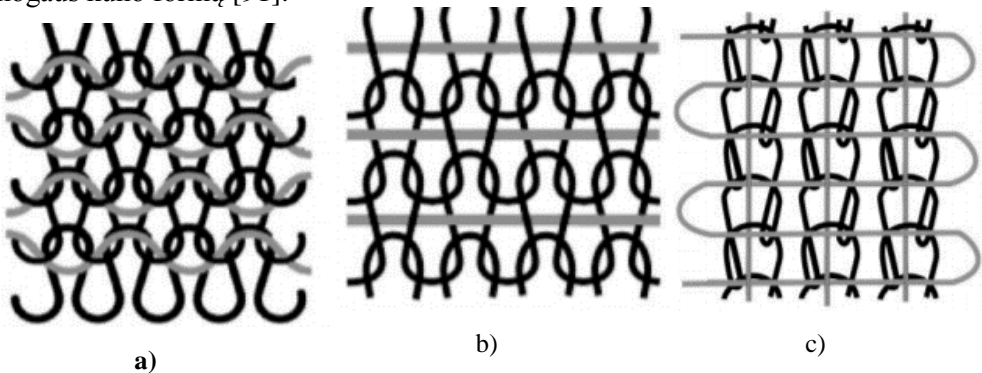
Ališauskienės su bendraautore atlikti tyrimai atskleidė, kad elastomerinių siūlų tempimo jėga eksponentiškai didėja, didėjant siūlo ištiesimui, nepriklausomai nuo apvejančiųjų siūlų pluoštinės sudėties [62]. Ankstesniuose tyrėjų darbuose nustatyta, kad mažų ištiesimų zonoje (elastomeriniams siūlams – iki 50 % ištiesimo) ataudinių elastomerinių siūlų apvejančiųjų elementų ilginis tankis ir žaliava neturi ženklios įtakos tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos vertėms, kadangi tempimo jėga

paveikia tik elastomerinio siūlo šerdinį elementą (PU) [89]. Tai reiškia, kad elastomerinio siūlo apvejančiųjų elementų pluoštinė sudėtis gali būti pasirenkama remiantis kitais parametrais, pavyzdžiui, komforto, higienos, estetiniais ir pan. [34].

1.3.3. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami pynimai

Skirtingos geometrijos mezgtos medžiagos pasižymi skirtingomis mechaninėmis savybėmis, kurios yra glaudžiai susijusios su medžiagos struktūra, naudojamų siūlų savybėmis ir pasirinktu pynimu [26, 88 – 90]. Tiwari ir bendraautorių teigimu, pasirinktas mezginio pynimas gali nulemti mezgtinės medžiagos kompresines savybes [71].

Siekiant generuoti apspaudimo jėgą, mezginių struktūroje naudojami įvairiais būdais ir tankumu įterpti elastomeriniai siūlai: įterpti kaip ataudiniai siūlai, sluoksniuotini pynimu (sudarant kilpas) arba pamušaliniu pynimu (sudarant lankus ir tąsas) [63]. Pynimų su skirtingais būdais įterptais elastomeriniais siūlais supaprastintas vaizdas pateiktas 1.5 pav. Be to, yra nustatyta, kad medžiagos su papildomais elastomeriniais siūlais dėl geresnio tamprumo ir elastiškumo demonstruoja geresnes vartojimo savybes – labiau priglunda ir prisitaiko prie žmogaus kūno formų [91].

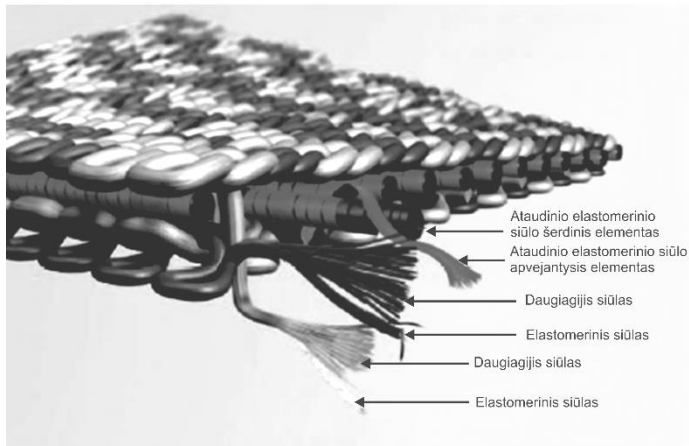


1.5 pav. Pynimų su elastomeriniais siūlais supaprastintas vaizdas: a) pamušalinis, sudarant lankus; b) ataudinis; c) metmeninis mezginyus su dviem kryptimis paklotais ataudiniais siūlais [15]

Naudojant sluoksniuotinį pynimą (kartu su pagrindo siūlu įmezgant nedidelio ilginio tankio elastomerinius siūlus), mezginių tampriosios savybės pagerinamos santykiškai nedaug. Siekiant dar labiau pagerinti mezgtos medžiagos kompresines savybes, mezgoje struktūroje paklojami papildomi tampūs ataudiniai elastomeriniai siūlai [9, 15]. Mokslinėje literatūroje nurodoma, kad ataudinių siūlų klojimo kryptis daro įtaką mezginio stabilumui ir orientacijai: ataudinis siūlas gali būti orientuotas vertikaliai, horizontaliai, diagonaliai, horizontaliai ir vertikaliai, diagonaliai ir vertikaliai, diagonaliai ir horizontaliai bei visomis minėtomis kryptimis (gaunama daugiaašė sandara) [6]. Tiek metmeniniame, tiek skersiniame mezginyje audiniai siūlai gali būti klojami visame mezginyje arba pasirinktoje zonoje, o pasirinkta ataudinių siūlų klojimo kryptis nulemia mezginio netašumą (netampių siūlų atveju) ar didesnę tempimo jėgą (tampių siūlų atveju) ataudinių siūlų klojimo kryptimi. Medicininėje kompresinėje tekstilėje dažniausiai naudojamos viena kryptimi

orientuotos megztos medžiagos, t. y. ataudinius siūlus klojant viena kryptimi. Detalizuotas skersinio mežginio su horizontaliai paklotais ataudiniais siūlais vaizdas pateiktas 1.6 pav. Ataudiniai siūlai mežgimo metu yra paklojami ant senųjų pynimo elementų (tarp adatų ir naujai klojamų pagrindo sistemos elementų) ir yra įtvirtinami mežginio struktūroje sudaromomis naujosiomis kilpomis [6].

Metmeniniu būdu pagamintos mežtinės medžiagos dažnai naudojamos elastinių tvarsčių gamyboje. Šiuo atveju mežtoje struktūroje gali būti pasirinkti ir dviejų skirtingų orientacijų metmeniniai siūlai: netampūs ataudiniai siūlai paklojami horizontalia kryptimi, o elastomeriniai ataudiniai siūlai – vertikalia (žr. 1.5 pav. c) [15].



1.6 pav. Skersinio ataudinio mežginio 3D vaizdas [92]

Mokslinėje literatūroje nėra daug duomenų apie ortopediniams kompresiniams įtvarams gaminti naudojamus pynimus, tačiau pastebima, kad pagrindiniu įtvaro pynimu dažnai pasirenkamas ataudinis pynimas, sudarytas skersinio pynimo bazėje. Tokio tipo pynimai pranašesni už sluoksniuotinius ar pamušalinius ir pasižymi geriausiomis kompresinėmis savybėmis, nes įterpiami elastomeriniai siūlai yra santykiškai tiesūs, todėl tempimo metu iš karto patiria apkrovą, išvengdami iš jų sudarytų kilpų ar lankų tiesinimosi fazės. Akcentuotina, kad įtvaro struktūroje naudojami ir kiti pynimai, pagal pageidaujamą erdvinę įtvaro formą ar kūno dalies vietą (pavyzdžiui, vidinėje kelio pusėje naudojamas akytas pynimas galimai sumažina diskomfortą kelio sąnario judesio metu).

Įtvaro pagrindo pynimu dažnai pasirenkami kombinuoti žakardiniai pynimai su ataudiniais siūlais, sukuriant pageidaujamą mežginio raštą, vizualiai patrauklų vartotojui, arba vizualiai lygūs lastikiniai pynimai (dažnai lastikas 1+1) su ataudiniais siūlais. Keli galimų pynimų variantai: ripsas su ataudiniais siūlais, dvispalvis pilnas žakardinis pynimas, dvigubas ataudinis pynimas, kombinuoti pynimai, kurių struktūroje suformuotos tšos ar lankai [61].

1.3.4. Kompresinių įtvarų gamybai naudojami netąsūs elementai

Megztų ortopedinių įtvarų struktūroje dažnai naudojami įvairios paskirties netąsūs elementai. Kompresinių įtvarų sandaroje dažni skirtingo kietumo elementai,

turintys konkrečią medicininę funkcinę paskirtį, pavyzdžiui, girmelės prilaikymui skirtas silikoninis žiedas arba metaliniai pusiau lankstūs stabilizatoriai. Minėti elementai atlieka svarbią gydomąją funkciją ir yra būtina ar, kai kuriais atvejais, net svarbiausia įtvoro dalis (pavyzdžiui, prilaiko kelio girmelę reikiamoje pozicijoje viso potrauminio gydymo metu). Kai kuriuose sportinės paskirties apsauginiuose kompresiniuose įtvaruose naudojami ir kito tipo netašūs elementai – įvairių formų paminkštinimai, skirti sumažinti sporto metu patiriamų smūgių žalą (pvz., krentant, remiantis keliu ir pan.).

Be šių, gydomąją ar apsauginę funkciją atliekančių, netašių elementų, daugumos įtvorų sandarai būdingi užsegimo elementai (kibieji arba kito tipo užsegimai ar juostos) arba įtvoro stabilumą pagerinantys elementai (silikono juostelės, apsaugančios nuo įtvoro judėjimo ar nuslydimo). Šių elementų paskirtis taip pat svarbi – ilgalaikiam dėvėjimui skirti įtvorai turi būti nesunkiai užmaunami, vartotojas turi gebėti pats juos užsegti ar įtvirtinti. Kibieji užsegimai (plačiai žinomi prekės ženkle Velcro® vardu) padeda nesunkiai įtvirtinti įtvorą reikiamoje pozicijoje, užtikrina didesnę jo stabilumą, palengvina užsidėjimo ir nusiėmimo procesą. Be to, šio ar kito tipo kontaktinės juostos ar diržai gali būti viena iš įtvoro personalizavimo priemonių kompresijos dydžiui keisti.

Kompresinių gaminių struktūroje naudojami medicininės funkcinės paskirties netašūs elementai yra būtini. Jų atliekama funkcija yra itin svarbi traumų ar susirgimų gydymo efektyvumui. Netašių elementų santykinį plotą stipriai padidina minėtų elementų įtvirtinimo detalės, apgaubiančios funkcinį elementą ir įtvirtinančios jį įtvoro struktūroje. Įprastai tam naudojamos švelnaus grifo medžiagos, leidžiančios sumažinti diskomfortą dėvėjimo metu. Paprasčiausias netašių elementų įtvirtinimo būdas yra siuvimas, tačiau šiuolaikiniuose įtvaruose tvirtinant netašius elementus, dažnai pasirenkamas pranašesnis klijavimo metodas, kai įtvoro paviršius yra vientisesnis, pojūtis dėvėjimo metu malonesnis. Tačiau tam tikros paskirties netašūs elementai gali būti prisiuvami (pavyzdžiui, gamintojo prekės ženklas).

Visi netašūs elementai, įterpti į mezgto įtvoro struktūrą, įtvoro paviršiuje suformuoja netašias zonas, kurios gali pakeisti gaminio generuojamos kompresijos vertę. Nustatyta, kad netašaus elemento santykinį plotą ir gaminio generuojamą kompresiją mažų ištįsų zonoje (iki 50 %) sieja tiesioginė priklausomybė – didėjant netašaus elemento santykiniam plotui, generuojama kompresija tiesiškai didėja [89]. Ališauskienės su bendraautore atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad 7,6 % santykinio ploto netašus elementas padidina mezgimo tempimo jėgą iki 15 % net ir mažų ištįsų zonoje (pavyzdžiui, esant 10 % ištįsai), tačiau jei netašus elementas užima iki 3 % santykinio mezgimo ploto, mažų ištįsų zonoje jo įtaka kompresijai nėra reikšminga [93].

Apibendrinimas. Įvairios paskirties kompresinės medžiagos gali būti mezgamos tiek metmeniniu, tiek skersiniu būdu apskritosiomis ar plokščiosiomis mezgimo mašinomis. Plokščiosiomis mezgimo mašinomis mezgami gaminiai gali generuoti didesnes kompresijos vertes. Mezgimo mašinos parametrai gali nulemti įvairias mezgimo savybes: medžiagos svorį, kilpos formą, stiprumo savybes, atsparumą trinčiai ir pan. Mezgimo proceso nustatymai, ypač siūlo įtempis mezgimo metu, taip pat daro ženklų įtaką medžiagų mechaninėms ir komforto

charakteristikoms. Svarbu įvertinti ir kitų gamybos procesų (stabilizavimo, fiksavimo) įtaką megztinės medžiagos parametrams – stabilizavimo proceso metu pakinta medžiagos matmenys, struktūra, vaizdas, stiprumo savybės. Optimalus visų gamybos procesų vykdymas yra itin svarbus tiek ekonominiu, tiek ekologiniu požiūriu.

Kompresinių įtvarų gamybai naudojami pluoštai turi pasižymėti tam tikromis mechaninėmis ir komforto savybėmis. Dažnai pagrindui pasirenkami PA, PET, viskoziniai ar medvilniniai siūlai ar verpalai. Siekiant pagerinti tampriąsias savybes ir generuoti atitinkamą kompresijos dydį, į megztą struktūrą įterpiami elastomeriniai siūlai. Ypač gerų kompresijos rezultatų pasiekama elastomerinius siūlus įterpiant santykiškai tiesiai – ataudiniu būdu. Elastomerinių siūlų įtaką kompresijos dydžiui nulemia tāsus šerdinis elementas, o apvejančiųjų elementų pluoštinė sudėtis lemiamos įtakos generuojamos kompresijos dydžiui neturi.

Skirtingi megztinių medžiagų pynimai pasižymi skirtingomis savybėmis. Kompresinėse megztose medžiagose naudojami pagrindo (netāsūs) ir elastomeriniai (tāsūs) siūlai. Šių siūlų sistemų sujungimui gali būti naudojami sluoksnuotiniai ar pamušaliniai pynimai, tačiau geriausiomis kompresinėmis savybėmis pasižymi ataudiniai pynimai, nes storesni ataudiniai elastomeriniai siūlai į megztos medžiagos struktūrą įterpiami santykinai tiesūs. Pynimo pasirinkimą nulemia ne tik mechaninių savybių poreikis, bet ir estetinė jo išvaizda.

Netāsūs elementai ortopedinių įtvarų struktūroje naudojami įvairiems tikslams: atlikti gydomąją ar prevencinę funkcinę paskirtį, įtvirtinti įtvarą reikiamoje kūno pozicijoje, kaip prekiniai ženklai ir t. t. Neatsižvelgiant į netāsaus elemento paskirtį, jų įterpimas į gaminio struktūrą gali itin pakeisti generuojamos kompresijos vertes.

1.4. Kompresinių gaminių generuojamos kompresijos vertinimo ir nustatymo metodikos

Ne priklausomai nuo kompresinio įtvaro pozicijos, struktūros ar gamybos būdo, svarbiausia kompresinių įtvarų funkcija yra tinkamo dydžio apspaudimo jėgos sukūrimas. Dėl gamybos metu naudojamų tamprios struktūros medžiagų dėvėjimo metu gaminiai aptempia galūnę. Taip generuojama tam tikro dydžio kompresija. Skirtingos paskirties kompresiniai gaminiai turi generuoti skirtingo dydžio kompresiją: randų gydymui skirtų kompresinių gaminių generuojama kompresija įprastai siekia apie 20–28 mmHg [29], o ortopedinės paskirties kompresinių įtvarų generuojama apspaudimo jėga dažniausiai viršija kraujo spaudimo jėgą į kapiliarų sieneles (24 mmHg), tačiau nustatyta, kad naudojant mažesnės kompresijos (5÷15 mmHg) gaminius, taip pat galima pasiekti gerų medicininių rezultatų [26].

Ankstesni tyrėjų darbai atskleidė, kad įtvaro generuojama apspaudimo jėga yra priklausoma nuo tempimo jėgos, tempimo deformacijos, lenkimo standumo ir šlyties [14, 66]. Pabrėžtina, kad generuojama kompresija priklauso nuo įtvaro tipo, elastingumo, gamybos būdo, pradinio įtempimo prieš įtvirtinant, medžiagos tvirtumo (tvarsčių atveju – ir nuo sluoksnių kiekio), įtvaro ar tvarsčio būklės (nusidėvėjimo laipsnio, esamo dėvėjimo trukmės, skalbimo ciklų) [9, 13].

Gaminio generuojama kompresija gali būti nustatoma vadovaujantis skirtingomis kompresijos nustatymo metodikomis ir įrenginiais. Dažnai kompresija

yra apskaičiuojama remiantis Laplace dėsniumi, kuriame ji įvardijama kaip tempimo jėgos ir gaminio ploto funkcija [9].

Skirtingose srityse naudojamų medžiagų kompresijai matuoti pasitelkiamos skirtingos metodikos. Cheng su bendraautoriais [66] apatiniams drabužiams skirtų medžiagų gebėjimą generuoti kompresiją siūlo vertinti kompresijos moduliui C_p (kPa/%). Pasak autorių [66], šis dydis nusako maksimalaus slėgio (P_{max}) ir maksimalaus drabužio laisvumo (E_{max}) santykį:

$$C_p = \frac{P_{max}}{E_{max}} \text{ [kPa/\%]}; \quad (1)$$

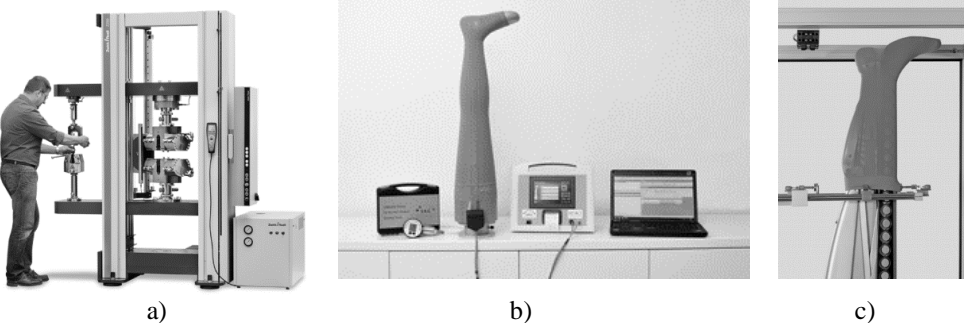
maksimalus laisvumas apskaičiuojamas įvertinus kūno apimtį (BS) ir rūbo dydį (CS):

$$E_{max} = 100 \frac{CS-BS}{BS} \text{ [\%]}. \quad (2)$$

Kompresijos modulis atspindi medžiagos gebėjimą generuoti kompresiją – didėjant kompresijos moduliui, didėja medžiagos kompresijos generavimo geba [66].

Laplace dėsnio taikymo atveju, kompresija apskaičiuojama remiantis eksperimentiškai gauta tempimo jėga. Tempimo jėgos vertės gali būti nustatomos įvairių rūšių dinamometrais, pavyzdžiui, universalio tempimo mašina (1.7 pav. a) [55, 64]. Vienas iš tempimo mašinų naudojimo nustatant kompresiją pranašumų – galimybė tirti ir baigtinius gaminius, ir gaminių elementus ar megztinės kompresinės medžiagos bandinius bei pasirinkti norimą ištiesos dydį. Baigtinio gaminio tyrimui naudojami specialios paskirties įtvirtinimo rėmai, o gaminio elemento ar medžiagos bandinys įtvirtinamas specialiuose spaustuose. Kiti aprašomi prietaisai įprastai yra skirti tirti tik baigtus kompresinius gaminius, dažniausiai – kompresines kojines.

Kitas dažnai taikomas kompresijos vertinimo metodas – tiesioginis generuojamos apspaudimo jėgos vertinimas pasitelkus galūnę imituojančius prietaisus. Šis metodas, naudojant kojos muliažą, plačiai paplitęs kompresinių kojinių tyrimų srityje. Kompresinė kojinė užmaunama ant dirbtinės kojos, taip imituojamos dėvėjimo metu patiriamos ištiesos (žr. 1.7 pav. b, c).



1.7 pav. Kompresijos matavimo įranga: a) universalio tempimo mašina [94]; b), c) kojos muliažas [95]

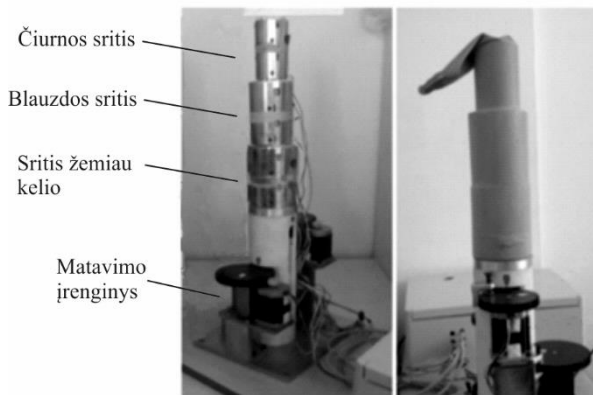
Kita gana dažnai naudojama kompresinių kojinių generuojamos apspaudimo jėgos matavimo technologija, taip pat pagrįsta dėvėjimą imituojančiu mechanizmu, – kai kompresinis gaminys užmaunamas ant metalinio rėmo, imituojančio žmogaus koją. Šio tipo įtaisą Satra STM 579 (Satra Technology, Jungtinė Karalystė) sudaro

kompresiniam gaminiui skirtas rėmas ir duomenų blokas (žr. 1.8 pav.). Įrenginio veikimo principas paremtas Laplace dėsniumi, vertinant priešinga kompresijai kryptimi veikiančią tempimo jėgą: skirtingose metalinio rėmo vietose matuojama ištemptą gaminių veikianči tempimo jėga, o duomenų blokas apskaičiuoja generuojamą kompresiją. Šis prietaiso modelis yra naujesnė įrenginio HATRA Hose Tester MkII versija.



1.8 pav. Kompresijos matavimo prietaisas Satra STM 579 [96]

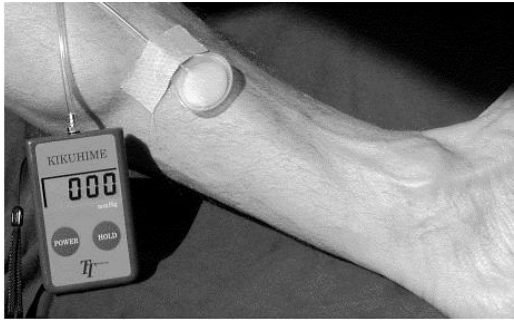
Kompresijos matavimo sritis ir jai skirti prietaisai taip pat sulaukia mokslininkų dėmesio. Naujus kompresijos matavimui skirtus įrenginius kuriantys mokslininkai siūlo kompresiją matuoti pasitelkus skirtingo diametro cilindrų sistemą, imituojančią žmogaus koją [97]. Prietaiso principinė schema pateikta 1.9 pav.



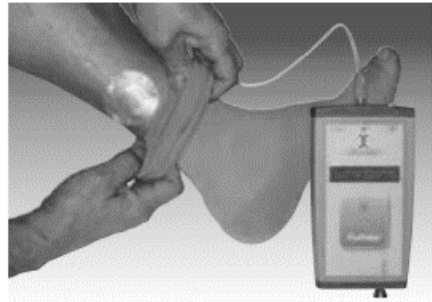
1.9 pav. Kompresijos matavimo prietaisas, sudarytas iš cilindrų sistemos [97]

Kompresijos dydžiui nustatyti kuriami ir naudojami dėvimi kompresijos matavimo prietaisai [98, 99]. Pavyzdžiui, Kikuhime® (Meditrade, Danija) ar PicoPress® (Microlab, Italija) dėvimi įrenginiai (žr. 1.10 pav.) naudojami nustatyti kompresijos vertę dėvint kompresinius gaminius ar elastinius tvarsčius – generuojama kompresija priklauso ne tik nuo tekstilinės medžiagos savybių, bet ir nuo tvarsčių sluoksnių skaičiaus bei tvarsčio įtempimo vyniojimo metu. Prietaisas leidžia matuoti apspaudimo jėgą tiek tvarsčių vyniojimo, tiek vėlesnio dėvėjimo metu. Šio principo

prietaisai taip pat naudojami *in vivo* kompresinių gaminių tyrimuose ir gali būti taikomi kompresinio gaminio personalizavimo tikslais [67].



a)



b)

1.10 pav. Dėvimi kompresijos matavimo prietaisai: a) Kikuhime® [100]; b) PicoPress® [101]

Gamintojai siūlo įvairios paskirties kompresijos matavimo prietaisus, leidžiančius fiksuoti spaudimo jėgą skirtinguose taškuose vienu metu ar skirtingos formos jutikliais. Pavyzdžiui, Tactilus® (Sensor Products, JAV) jutiklių sistema matuoja spaudimo pasiskirstymą tarp dviejų bet kokių paviršių, o kiekvienas iš 16-os sistemos jutiklių gali būti nustatytas skirtingu tikslumu (žr. 1.11 pav. a) [102]. O I-Scan® sistema (Tekscan, JAV) skirtingų gaminių tyrimams siūlo skirtingų formų jutiklius – kompresinių tekstilės gaminių tyrimams įprastai pasirenkamas lankstus jutiklis (žr. 1.11 pav. b, c) [103].



a)

b)

c)

1.11 pav. Kompresijos matavimai: a) Tactilus® jutiklių sistema [102]; b) I-Scan prietaiso galimos jutiklių formos [103]; c) I-Scan prietaisas matavimo metu [67]

Esama skirtingų tyrėjų nuomonių dėl kompresijos nustatymo metodikos ir matavimo įrenginio pasirinkimo svarbos gaunamiems rezultatams. Dažnai teigiama, kad skirtingais įrenginiais gaunami rezultatai yra skirtingi, o generuojamos kompresijos vertė itin susijusi su matavimo metodikos pasirinkimu [104, 105]. Moksliniais tyrimais taip pat nustatyta, kad kompresijos matavimo įrenginio pasirinkimas lemiamos įtakos matavimo rezultatams neturi – jutikliais fiksuojamos apspaudimo jėgos tiek *in vitro*, tiek *in vivo* tyrimų metu yra artimos ir pasižymi regresine koreliacija, palyginus su kompresijos matavimo įrenginiais gautais

duomenims [67]. Akcentuotina, kad visais apžvelgtais atvejais gaminio generuojama kompresija yra nustatoma gaminio ištempimo (uždėjimo ant galūnės) momentu, nevertinant galimų pokyčių dėvint.

Apibendrinimas. Tekstilinių gaminių kompresija dažniausiai vertinama remiantis Laplace lygtimi ir priklauso nuo gaminio tempimo jėgos ir ploto. Įvairios paskirties kompresinių gaminių vertinimui yra kuriamos atskiros metodikos. Kompresijos nustatymui gali būti naudojami universalūs tempimo įrenginiai, specialūs kompresijos matavimo įtaisai, imituojantys galūnės formą, arba jutiklių sistemos, suteikiančios galimybę gaminio generuojamą kompresiją matuoti *in vivo*. Pasirenkama kompresijos matavimo metodika yra svarbi eksperimento rezultatų teisingumui. Dažniausiai gaminio generuojama kompresija yra matuojama gaminio ištempimo momentu.

1.5. Megztinių kompresinių medžiagų elgsena ir savybės

1.5.1. Megztinių kompresinių medžiagų elgsena ir savybės tempimo metu

Megztinės medžiagos elgsena deformacijų metu gali nulemti jos naudojimą kompresinių gaminių gamybai ir yra plačiai nagrinėjama mokslo sritis [1, 106–112]. Tirdami megztinių medžiagų elgseną tempimo metu, mokslininkai taiko įvairius metodus, o siekdami ją optimizuoti ir pagerinti, pasitelkia ir statistinius metodus, pavyzdžiui, Taguchi metodą [113].

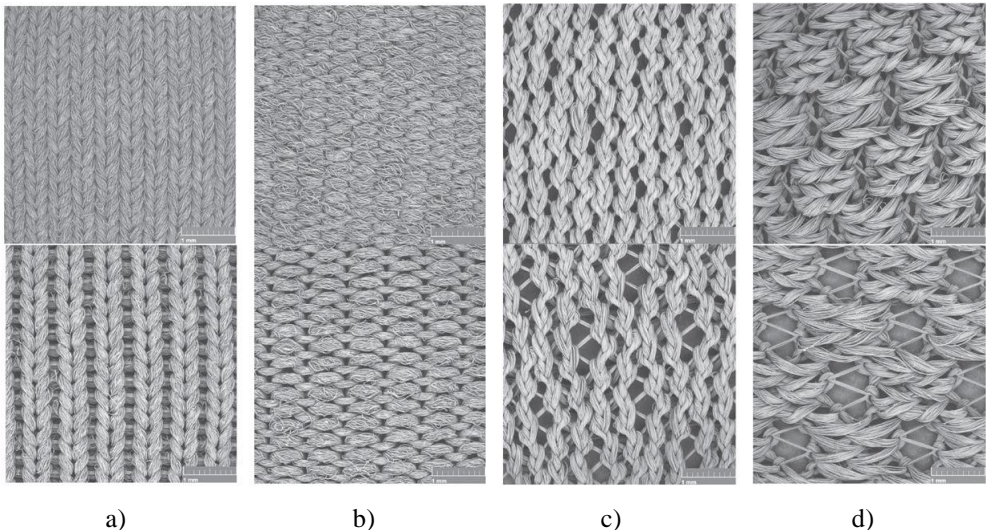
Megztinių medžiagų mechaninės savybės priklauso nuo medžiagos struktūros ir medžiagą sudarančių siūlų mechaninių savybių. Mikučionienės ir bendraautorių atliktais tyrimais nustatyta, kad mezginio struktūra veikia medžiagos deformacines savybes – megztinės medžiagos tūsumas ir stiprumas priklauso nuo pasirinkto pynimo bei kilpų, lankų ir tašų kiekio jame [114]. Kowalski ir bendraautorių teigimu, didėjant megztinės medžiagos su elastomeriniais siūlais ištiesai, didėja jos standumas dėl iš santykinai netašių siūlų (ne elastomerinių) sudarytų kilpų tiesinimosi [64]. Liu ir bendraautoriai savo tyrimais įrodė, kad didėjant mezgtos medžiagos elastingumo moduliui, didėja bandinių tempimo jėgos vertės [105]. Nustatyta, kad elastingumo modulis yra susijęs su medžiagos pynimu, taigi, skirtingose gaminio vietose keičiant medžiagos pynimą, gaunamos skirtingos tempimo jėgos vertės. Metmeniniu būdu megztų medžiagų tempimo jėga taip pat yra glaudžiai susijusi su pynimu [115] ir medžiagos storium bei tempimo kryptimi [26].

Pagrindinis reikalavimas medicininės paskirties kompresiniams gaminiams – generuoti reikiamo dydžio apspaudimo jėgą, todėl tokio gaminio matmenų stabilumas yra itin aktualus. Tempimo metu patiriama ištiesa gali pakeisti gaminio matmenis, o tai gali nulemti netinkamo dydžio kompresijos generavimą. Ištyrus kompresiniams ortopediniams įtvarams skirtas skersines megztines medžiagas, nustatyta, kad ilgalaikio varginimo metu gaminio matmenų pokytis kinta nežymiai, o didžiausi pakitimai fiksuojami pirmojo tempimo ciklo metu [62].

Mokslininkai akcentuoja, kad mezginių elgsena tempiant priklauso ir nuo jų pluoštinės sudėties. Nustatyta, kad elastomerinio siūlo įterpimas į mezgtos gaminio struktūrą pagerina jo mechanines savybes [116], o elastomerinių siūlų tempimo jėga eksponentiškai didėja didėjant siūlo ištiesai, nepriklausomai nuo apvejančiųjų siūlų pluoštinės sudėties [62]. Megztinių medžiagų tempimo jėga itin išauga dėl ataudinių

siūlų įterpimo į mezzinio struktūrą. Didėjant ataudinio siūlo įterpimo į mezztinės medžiagos struktūrą tankumui, didėja ir elastomerinio ataudinio siūlo šerdinės dalies ilginio tankio įtaka mezztinės medžiagos generuojamos kompresijos vertėms [89]. Ataudinių siūlų mechaninės savybės yra susijusios su ataudinio siūlo šerdinio elemento parametrais. Kai kuriuose šaltiniuose teigiama, kad elastomerinio šerdinio elemento ilginis tankis iš dalies nulemia generuojamos kompresijos vertes [26, 88]. Kitų tyrėjų teigimu, elastomerinio ataudinio siūlo šerdies ilginį tankį padidinus du kartus, jo įtaka skersinių mezzginių su tokiu pačiu ataudinio siūlo įterpimo tankumu generuojamai kompresijai varijuoja paklaidų ribose [89]. Metmeninių mezztinių medžiagų gamybos atveju ataudinių elastomerinių siūlų ilginis tankis ir pradinis įtempis mezzgimo metu įvardijami kaip pagrindiniai technologiniai veiksniai, lemiantys medžiagų elgseną tempimo metu [111].

Tempimo metu galima analizuoti ne tik medžiagos mechanines savybes – ištemptame būvyje pakinta mezztinę medžiagą sudarančių kilpų forma (žr. 1.12 pav.).



1.12 pav. Skirtingais pynimais mezztų medžiagų vaizdas (viršuje) ir struktūros pokytis ištemptame būvyje (apačioje): lygiojo skersinio pynimo dešininė (a) ir kairinė (b) pusės, kombinuotojo metmeninio pynimo dešininė (c) ir kairinė (d) pusės [67]

Akivaizdu, jog tempimo metu mezzginį sudarančios kilpos ar lankai ima tiesintis, o santykiškai tiesiai paklojami ataudiniai siūlai iš karto deformuojasi. Tai lemia, kad ištemptame būvyje skirtingų mezztinių medžiagų akytumai padidėja net iki 83 % [67]. Dėl šios priežasties pakinta ir medžiagų komforto savybės, pavyzdžiui, laidumas orui ar vandens garams [117].

Naujausiais tyrimais mokslininkai siekia pateikti rekomendacijas kompresinių mezztų medžiagų su elastomeriniais siūlais projektavimui ir tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos prognozavimui [64]. Kowalski ir bendraautorių teigimu, norint nustatyti mezztinės kompresinės medžiagos tinkamumą pasirinktai kompresijos klasei, reikia vadovautis trijų žingsnių analize: nustatyti pasirinktos medžiagos mechanines charakteristikas (tempimo jėgą ir ištįsą tempimo metu);

įvardyti pageidaujamą gaminio tempimo jėgą; remiantis Laplace priklausomybe, nustatyti kraštines kūno matmenų ribas kiekvienai kompresijos klasei [64]. Reikšminga, jog minėtame tyrime medžiagų tempimo jėgos vertėms nustatyti naudoti cikliniai tempimo bandymai, be to, analizuoti skersiniai mezginiai be ataudinių elastomerinių siūlų.

Apibendrinimas. Kompresinės megztos medžiagos elgsena deformacijų metu nulemia generuojamos kompresijos dydį ir medžiagos tinkamumą kompresinių gaminių gamybai. Megztų medžiagų mechaninė elgsena priklauso nuo medžiagos struktūros ir ją sudarančių siūlų parametrų. Elastomerinių siūlų naudojimas megztose medžiagose ženkliai pagerina jų deformacines savybes, kurios priklauso nuo elastomerinio siūlo šerdinio elemento charakteristikų. Tempimo metu taip pat pakinta megztinę medžiagą sudarančių kilpų geometrija ir medžiagos akytumas. Megztos kompresinės medžiagos tinkamumui kompresinės paskirties gaminiams yra svarbūs šie parametrai: tempimo jėga, ištįsa ir žmogaus kūno matmenys.

1.5.2. Megztnių medžiagų elgsena ir savybės įrašos relaksacijos metu

Kompresiniai įtvarai, dėvimi dėl medicininių priežasčių, kaip ir kompresinės kojinės, dažniausiai yra skiriami dėvėti ilgą laiką. Tai reiškia, kad kompresiniai įtvarai, pagal galūnės matmenis, yra veikiami nuolatinės fiksuoto dydžio ištisos. Ankstesni tyrėjų darbai įrodė, kad generuojamos kompresijos vertės nėra pastovios kompresinių gaminių dėvėjimo metu – Macintyre ir bendraautorių atliktais megztų kompresinių kojinių tyrimais nustatyta, kad dėvėjimo metu gaminio generuojamos kompresijos vertės nuolat mažėja [118]. Tokiu pačiu generuojamos kompresijos mažėjimo pobūdžiu pasižymi ir metmeniniu būdu megztos medicininės paskirties kompresinės medžiagos [119]. Tai galima paaiškinti tekstilinėje struktūroje vykstančiais įrašos relaksacijos procesais, prasidedančiais gaminio ištempimo momentu (užsidėjus ir įtvirtinus gaminį reikiamoje kūno vietoje) ir truncančiais visą ištempimo laiką, t. y. dėvėjimo laikotarpį.

Tekstilinėse medžiagose veikiančys įrašos relaksacijos procesai yra plačiai nagrinėjama sritis [64, 120–122]. Itin aktualūs yra funkcinų tekstilės medžiagų įrašos relaksacijos tyrimai. Kompresinių gaminių tyrimais nustatytas nuolatinis tempimo jėgos mažėjimas įrašos relaksacijos metu koreliuoja su kitų funkcinų tekstilės medžiagų įrašos relaksacijos tyrimais. Pavyzdžiui, tiriant techninės paskirties 3D erdvinės megztines medžiagas, Vassiliadis ir bendraautoriai nustatė eksponentinio pobūdžio tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos mažėjimą [122].

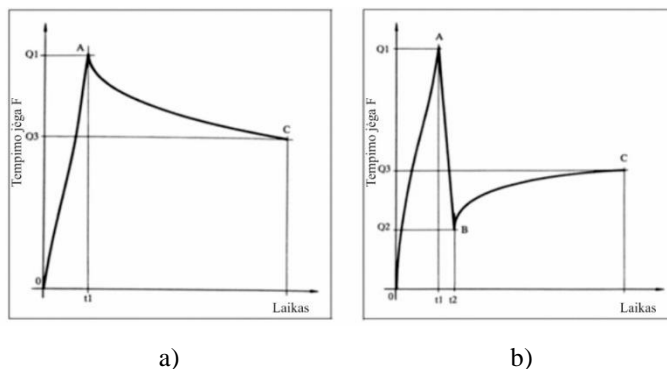
Ankstesniuose darbuose taip pat analizuojamas medicininės paskirties kompresinių medžiagų įrašos relaksacijos metu patiriamas tempimo jėgos sumažėjimas. Tiriant metmeniniu būdu megztas kompresines medicininės paskirties medžiagas, skirtas randams gydyti, nustatyta, kad, didėjant medžiagos ištįsai (galūnės apimčiai), gaminio relaksacijos laikas ilgėja [119]. Metmeniniu būdu megztų medžiagų įrašos relaksacijos tyrimais nustatyta, kad didžiausi tempimo jėgos pokyčiai pamatomi per įrašos relaksacijos proceso pirmąsias 180 s ir tolimesnio proceso metu tempimo jėgos mažėjimas yra lėtesnis, o pasirinktas pynimas gali nulemti skirtingomis kryptimis ištemptų medžiagų įrašos relaksacijos mastą [115]. Akcentuojama, kad didesnė ištįsa nulemia didesnę procentinę tempimo jėgos

sumažėjimą įrašos relaksacijos proceso metu [123]. Įrašos relaksacijos procesas aktualus ir megztinių medžiagų struktūros pokyčiams – yra nustatyta, kad įrašos relaksacijos proceso metu pakinta megztinių medžiagų geometrija ir kilpos ilgis [124].

Relaksacijos proceso mastui ir greičiui įtakos turi ir pluoštinė medžiagos sudėtis. Skirtingos pluoštinės sudėties medicininių tvarščių tyrimais nustatyta, kad iš medvilninių ar viskozinių verpalų (nenaudojant elastomerinių siūlų) pagamintų tvarščių generuojama kompresija per 8 val. gali sumažėti daugiau nei 40 %, o gaminiai su elastomeriniais siūlais pasižymi labiau pastoviomis kompresinėmis savybėmis įrašos relaksacijos metu [125]. Austų medžiagų su elastomeriniais siūlais įrašos relaksacijos tyrimuose teigiama, kad relaksacijos trukmė priklauso nuo elastomerinio siūlo kiekio [126].

Nors įvairios paskirties kompresinių medžiagų įrašos relaksacijos tyrimai rodo nuolatinį tempimo jėgos mažėjimą esant pastoviai išťažai, akcentuotina, kad, pašalinus apkrovą, kompresinės tamprios struktūros megzta medžiagos pasižymi gera grįžtamąja geba. Metmeniniu būdu pagamintų kompresinių megztinių medžiagų tyrimai atskleidė, kad, pašalinus apkrovą, medžiagos geba susigrąžinti pradinis matmenis net po penkių dienų trukmės ciklinio varginimo ar 21 dienos įrašos relaksacijos. Liekamoji išťaža, pradiniu momentu siekusi 3–4 %, po 4 valandų relaksacijos ramiam būvyje siekia tik 1–2 % [26].

Moksliniuose darbuose tiriamas ir megztų kompresinių medžiagų atvirkštinės relaksacijos procesas [127]. Atvirkštinės relaksacijos procesas gali būti nagrinėjamas tiek tekstilinių medžiagų, tiek pluoštus sudarančių makromolekulių lygmenyje [128–130]. Charakteringųjų tekstilės medžiagų įrašos relaksacijos ir atvirkštinės įrašos relaksacijos kreivių palyginimas pateiktas 1.13 pav.



1.13 pav. Charakteringosios kreivės: a) įrašos relaksacija; b) atvirkštinė įrašos relaksacija [127]

Relaksacijos procesas tekstilės medžiagose įprastai paaiškinamas tarpmolekulinių ryšių pokyčiu, vykstančiu bandinių ištempus iki fiksuotos išťažos ir išlaikant šioje padėtyje pasirinktą laiką. Trumpalaikės įrašos relaksacijos (iki 90 s) tyrimuose yra teigiama, kad dėl megztos tamprios medžiagos kilpinės sandaros ir megztoms medžiagoms būdingos elgsenos deformacijų metu, kompresinės sportinei tekstilei skirtos medžiagos pasižymi ryškiais įrašos relaksacijos ir atvirkštinės įrašos relaksacijos savybėmis [127].

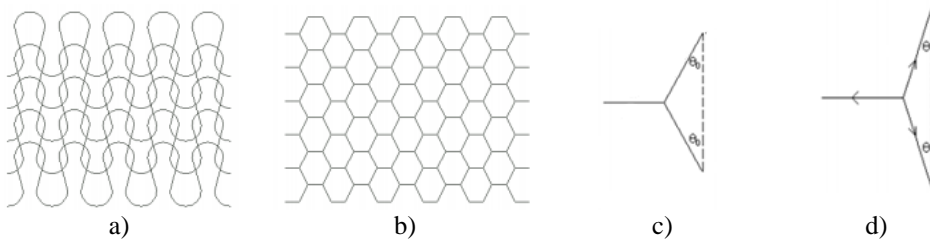
Apibendrinimas. Tekstilės gaminių įrašos relaksacijos procesui būdingas nuolatinis tempimo jėgos mažėjimas esant pastoviai bandinio ištiesai. Kompresinių medžiagų įrašos relaksacijos analizė yra būtina, nes dėvėjimo metu generuojamos kompresijos vertės nėra pastovios. Nustatyta, kad ištempto gaminio generuojamos kompresijos vertės nuolat mažėja. Nors įvairios paskirties tekstilės medžiagų įrašos relaksacijos tyrimai yra plačiai nagrinėjama tema, literatūroje pateikiama nedaug medicininės paskirties kompresinių medžiagų įrašos relaksacijos analizių. Kai kuriuose darbuose tiriamas ir kompresinių medžiagų atvirkštinės relaksacijos procesas. Nepaisant relaksacinių procesų, vykstančių ištemptose tekstilinėse medžiagose, gausos, įrašos relaksacijos įtaka kompresijai iki šiol nėra vertinama projektuojant naujus kompresinius gaminius.

1.5.3. Megztinių medžiagų elgsenos simuliacijos ir savybių prognozavimas

Pastaruosiu metu dėmesys skiriamas megztinių medžiagų elgsenos tempimo metu tyrimams ir jos prognozavimui, medžiagų sudarančių kilpų geometrijos pokyčio tyrimui tempimo metu bei ieškoma galimybių sukurti skaitines sistemas, leidžiančias prognozuoti mezginių elgseną remiantis jų mezostruktūra, elementų savybėmis ir pan. [131].

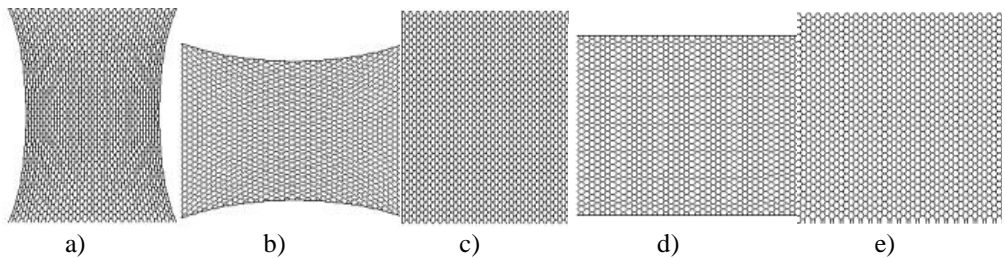
Šiuolaikinis realistinis kompiuterinis medžiagų elgsenos simuliacijos atveria gerokai platesnes galimybes labiau įsigilti ir prognozuoti tekstilinių struktūrų vidinius procesus, modeliuoti medžiagas ir simuliuoti galimą jų elgseną. Megzta medžiaga sudarančių kilpų modeliai, kilpų elgsena ir geometrijos pokytis apkrovos metu gali būti nagrinėjamas pasitelkus baigtinių elementų metodo (BEM) analizę (angl. *Finite Elements Analysis – FEA*) [106, 132–134].

Norint atlikti mechaninės elgsenos simuliaciją, paremtą baigtinių elementų metodu, būtina parengti BEM modelį, kuris atspindėtų analizuojamos medžiagos struktūrą. Pavyzdžiui, Araujo ir kt. tyrimuose lygiuoju skersiniu pynimu numegzto mezginio struktūra supaprastinama ir pateikiama 2D šešiakampe struktūra (žr. 1.14 pav.).



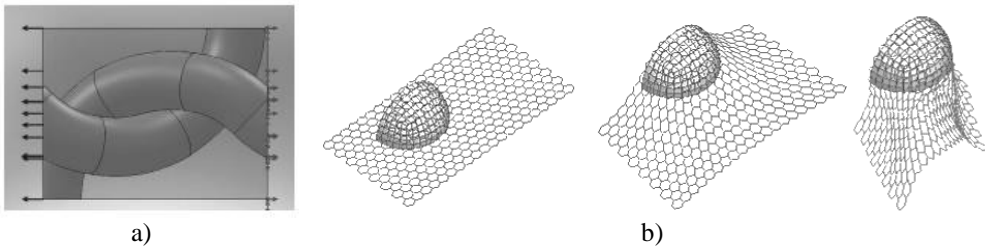
1.14 pav. Lygiuoju skersiniu pynimu megzta medžiaga: a) struktūros vaizdas, b) supaprastintas struktūros vaizdas. Minimalaus reprezentatyvaus elemento vaizdas: c) pradinė būseną, d) ištempta būseną [106]

Keletas iš Araujo ir kt. baigtinių elementų metodu atlikto lygiuoju skersiniu pynimu megzta medžiagos mechaninės elgsenos modeliavimo metu gautų duomenų pateikti 1.15 pav. Simuliacijų metu gauti duomenys yra panašūs į realių eksperimentų metu gautus rezultatus.



1.15 pav. Simuliuojama medžiagos deformacija: a) ašinė stulpelių kryptimi, b) ašinė eilučių kryptimi, c) dviašė stulpelių kryptimi > eilučių kryptimi, d) dviašė eilučių kryptimi > stulpelių kryptimi, e) dviašė lygiavertė stulpelių ir eilučių kryptimis [106]

Baigtinių elementų analizės metodas pritaikomas simuliuojant detalesnę kilpas sudarančių siūlų vaizdą ir geometrijos pokytį apkrovos metu, tobulinant kilpos modelius [106, 133, 134]. Tokio pobūdžio simuliacijos gali būti atliekamos ir tūrinei deformacijai numatyti. Literatūros šaltiniuose aprašomų simuliacijų pavyzdžiai pateikiami 1.16 pav.



1.16 pav. Tekstilės medžiagų simuliacijos: a) kilpą sudarančių siūlų [133]; b) megztos medžiagos 3D deformavimo (pradinė būsena / vidutinė deformacija / baigtinė būsena) [134]

Įvairūs fizikiniai modeliai ar matematinio modeliavimo metodai plačiai taikomi tiriant įvairios techninės paskirties tekstilės medžiagas ar tekstilės medžiagomis armuotus kompozitus ir prognozuojant jų savybes [135–144]. Literatūros šaltiniuose pateikiami ir su medicininės paskirties tekstile susiję simuliacijų pavyzdžiai [145–149]. Net ir tyrimuose, kurių metu mėginama simuliuoti kompresinių gaminių savybes, nėra įvertinama reikiama megztinės medžiagos struktūra ir galimas jos poveikis. Svarbiausias tokių simuliacijų trūkumas yra tas, kad jose analizuojama tik pati paprasčiausia lygiojo skersinio pynimo struktūra, kuri nenaudojama kompresinių įtvarų gamyboje. Taigi ši sritis dar nėra plačiai išnagrinėta ir yra nauja niša tekstilės medžiagų elgsenos prognozavimui.

Šiuo metu kompresinių megztnių medžiagų su ataudiniais siūlais savybių prognozavimas atliekamas remiantis eksperimentinių tyrimų metu gautais rezultatais [64, 66]. Rinkoje nėra pateikiama kompiuterinių sistemų ar įrankių, kurių pagalba būtų galima projektuoti kompresinius gaminius ir jų savybes, todėl eksperimentiniai tyrimai, būtini šių įrankių kūrimui, ir kuriamų sistemų galimybių analizė yra gan nauja ir svarbi sritis [150].

Apibendrinimas. Įvairios paskirties tekstilinių medžiagų savybės gali būti prognozuojamos remiantis įvairiais matematiniais modeliais. Analizuotais simuliacijų atvejais yra nagrinėjama medžiagos struktūra, ją sudarančių kilpų geometrija ir

pokytis deformacijų metu, tačiau apsiribojama tik elementaria lygiojo skersinio pynimo struktūra. Šiuo metu kompresinių medžiagų elgsenos prognozavimas yra paremtas eksperimentinių tyrimų duomenimis. Medicininės paskirties ortopediniams įtvarams naudojamų megztų kompresinių medžiagų savybių modeliavimas ir simuliacijos nėra išplėtotas, o rinkoje nėra siūloma šiam tikslui pritaikytų įrankių ar sistemų.

1.6. Kompresinių gaminių komforto savybės

Tekstiliniai ortopediniai kompresiniai įtvarai, kaip ir kiti medicininės paskirties kompresiniai gaminiai, yra skirti dėvėti nuolat arba dažnai ilgą laiką. Būtent dėl to vartotojams itin aktualios šių gaminių komforto savybės. Pastaruoju metu mokslininkai vis labiau domisi įvairių tekstilės gaminių komfortiškumu [151, 152]. Tyrimais įrodyta, kad dėvėjimo metu patiriamas diskomfortas gali būti viena iš kompresinio gaminio nedėvėjimo priežasčių, galinčių turėti įtakos gydymo procesui [38, 39].

Kai kurie autoriai komfortą nusako kaip jausmą, sudarytą iš keturių faktorių: terminio arba termofiziologinio, sensorinio, ergonominio (dydžio atitikimo) ir psichologinio [153, 154]. Termofiziologinis komfortas priklauso nuo gaminio laidumo orui ir vandens garams bei drėgmės sugėrimo ir yra pasiekiamas esant terminiam balansui tarp žmogaus kūno ir aplinkos, žmogaus kūnui atiduodant šilumos kiekio perteklių [8, 154]. Šis pojūtis taip pat priklauso nuo žmogaus prakaitavimo bei aplinkos temperatūros dėvėjimo metu. Nustatyta, kad terminio balanso metu žmogaus odos temperatūra gali siekti 33–35 °C [27]. Siekiant nustatyti sensorinį tekstilės medžiagų komfortiškumą, galima pasitelkti Kawabata sukurtą sistemą THV (angl. *Total hand value*), kurioje vertinamos trys savybės: standumas (KOSHI, angl. *stiffness*), lygumas (NUMERI, angl. *smoothness*) ir pilnumas (FUKURAMI, angl. *fullness*) [112, 155]. Apskritai sensorinis komfortas gali priklausyti nuo medžiagos ir odos sąlyčio (trinties į odą), sukeliama alerginių reakcijų ar nemalonių pojūčių: niežulio, dūrimo, kutenimo ir pan. [27]. Psichologinio komforto jausmą gali nulemti ne tik gaminio estetika ar patraukli išvaizda, bet ir išankstinis nusistatymas [39].

Taigi ortopedinių įtvarų gamybai naudojamos medžiagos turi pasižymėti ilgalaikiam dėvėjimui skirtiems gaminiams būdingomis komforto savybėmis: geru laidumu orui ir prakaito garams, tinkamomis trinties savybėmis. Gaminiai taip pat turi būti lengvai prižiūrimi, ilgaamžiai ir patrauklios estetiškos išvaizdos.

Medžiagos komforto savybės priklauso nuo fiziologinių parametrų: laidumo orui, šilumai, vandens garams, higroskopiškumo [155]. Iširta, kad skirtingi megztinės medžiagos pynimai nulemia skirtingas komforto savybes. Tyrimais nustatyta, kad lygiuoju skersiniu, lastikiniu 1+1 bei interlokiniu pynimais numegztų medžiagų laidumo šilumai ir vandens garams savybės skiriasi [151]. Kadangi ortopediniai kompresiniai įtvarai yra dėvimi ilgą laiką, o dažnai – judant, laidumas orui yra viena svarbiausių šių gaminių savybių, tad tinkamas gaminio laidumas orui gali užtikrinti mažesnę prakaitavimą dėvint [156, 157].

Tekstilės medžiagų laidumas orui nusakomas oro kiekiu (srauto debitu), praeinančiu pro tekstilinės medžiagos ploto vienetą per pasirinktą laiko periodą [6]. Mokslininkų teigimu, medžiagos laidumas orui priklauso nuo medžiagos struktūros

parametrų, akytumo, storio, tankumo, apdailos, pasirinktų siūlų ilginio tankio ir pluoštinės sudėties [156–162], o laidumas vandens garams labiau priklauso nuo pasirinktos žaliavos [163]. Šiluminio laidumo savybė yra glaudžiai susijusi su pluoštų kapiliarine struktūra ir siūlų paviršiaus geometrija [37]. Laidumas orui taip pat dalinai nulemia šilumos perdavimą per gaminį [36] ir dažnai įvardijamas kaip viena pagrindinių savybių, nulemenčių termofiziologinį komfortą.

Mokslininkų nustatyta, kad medžiagų sandara ir gamybai pasirinktų pluoštų charakteristikos daro didelę įtaką gaminio komforto savybėms: šiluminiam laidumui, laidumui vandens garams ar orui [164]. Stankovic ir bendraautorės teigimu, megztinių medžiagų laidumas orui ir vandens garams priklauso nuo naudojamų siūlų gamybos būdo: minėtos savybės gali būti pagerintos, kai medžiagų sandaroje vietoje pirminių lygių verpalų bus panaudoti antriniai suktiniai siūlai, pagaminti iš dviejų komponentų [165]. Palyginus megztinių medžiagų iš skirtingais būdais gamintų verpalų laidumo orui vertes, nustatyta, kad medžiagų iš oro srove suglaudintų verpalų (EliTe®) laidumo orui savybės yra šiek tiek geresnės, palyginus su medžiagomis iš žiedinio verpimo metodu pagamintų verpalų, o medžiagos iš apvytinių verpalų pasižymi geriausiomis laidumo orui savybėmis [166].

Megztų medžiagų komforto parametrus itin nulemia akyta medžiagos struktūra [157]. Pabrėžtina, kad laidumo orui savybė priklauso nuo megztinės medžiagos kilpos geometrijos: didėjant kilpos ilgiui, didėja megztos medžiagos akytumas, kartu didėja ir laidumo orui savybės vertės [156, 158, 167]. Ghosh ir bendra autorių manymu, kilpos ilgis ir siūlų skaičius kilpoje gali nulemti medžiagos laidumą orui bei tokias komforto savybes, kaip šilumos laidumas ar terminė sugertis. Didesniu kilpos ilgiu ar mažesniu siūlų skaičiumi kilpoje pasižymintios megztinės medžiagos yra laidesnės orui, tačiau joms būdingas prastesnis šiluminis laidumas [168]. Bivainytė su bendraautore nustatė, kad dvisluoksnių vienodais pynimais megztų medžiagų laidumas orui priklauso nuo mezginio kilpos ilgio, tačiau kilpos ilgis negali būti naudojamas kaip lyginimo veiksnys palyginti skirtingais pynimais megztų mezginių laidumą orui [167].

Laidumo orui vertinimo metodikų tobulinimas taip pat sulaukia mokslininkų dėmesio [161]. Įvairių laidumą orui nulemiančių savybių įtaką siūloma vertinti kompleksiskai, kuriamos megztoms medžiagoms pritaikytos universalios vertinimo metodikos [157]. Dažniausiai laidumo orui savybė yra nustatoma natūralioje medžiagos būsenoje, t. y. jai nepatiriant jokios deformacijos. Pabrėžtina, kad tinkamo dydžio megzti kompresiniai gaminiai dėvėjimo metu visada patiria tam tikro dydžio ištįsą, nes tik taip gaminyje geba generuoti reikiamą apspaudimo jėgą. Naujausiuose tyrimuose pradėta kreipti dėmesį į medžiagos laidumo orui savybės pokytį ištemptoje būsenoje. Tiriant iš skirtingais būdais pagamintų verpalų ir skirtingais pynimais (lygiuoju skersiniu ir pike) numegztų medžiagų laidumo orui pokytį ištemptoje būsenoje (iki 40 %), nustatyta, kad, didėjant bandinio ištįsai, medžiagų iš apvytinių verpalų laidumo orui vertė didėja, o medžiagų iš oro srove suglaudintų verpalų (EliTe®) arba žiedinio verpimo būdu pagamintų verpalų laidumo orui vertės mažėja neatsižvelgiant į pasirinktą pynimą [117, 166].

Svarbu, kad medicininės tekstilės gaminiai, kurie tiesiogiai liečiasi su oda, taip pat pasižymėtų kontaktui su oda tinkamomis mechaninėmis (pvz., trinties) savybėmis

[9]. Tekstilės medžiagų sąlytį apibūdina dvi savybės: mezginių trintis – tai kūnų sąveika jų sąlyčio vietoje, trukdanti kūnams pasislinkti vienas kito atžvilgiu, tarp jų veikiant normalinei jėgai; kibumas – tai tangentinis pasipriešinimas, kylantis dėl tekstilinių medžiagų paviršiaus nelygumo [6]. Mezginių trintis, savo ruožtu, skirstoma į dviejų tipų sąveiką: statinę – kūno perėjimo iš ramybės būsenos į judėjimo būseną pasipriešinimo jėgą, kurią reikia nugalėti kūnų slydimo pradžioje; ir dinaminę – kūno pasipriešinimo tolygiam judėjimui, kuris būdingas kūnams judant reliatyviai [6]. Ankstesni tyrėjų darbai patvirtina, kad skirtingomis megztos medžiagos kryptimis veikiančios statinės ir dinaminės trinties koeficientai nėra vienodi – bandymą atliekant mezginio eilučių kryptimi, koeficientų vertės gaunamos didesnės, o stulpelių kryptimi – mažesnės [169].

Apibendrinimas. Nuolatiniam vartojimui skirti kompresiniai gaminiai turi pasižymėti tinkamomis komforto savybėmis. Komfortas gali būti įvardijamas kaip terminis arba termofiziologinis, sensorinis, dydžio atitikimo (ergonominis) ir psichologinis. Kompresiniai gaminiai, skirti ilgai dėvėti, turi pasižymėti geru laidumu orui ir šilumai, tinkamomis trinties savybėmis, prakaito išgarinimu. Tekstiliniams kompresiniams įtvarams itin aktualus tinkamas laidumas orui, kuris gali užtikrinti odos ventilaciją, apsaugoti nuo perteklinio prakaitavimo. Megztos medžiagos laidumas orui priklauso nuo medžiagos struktūros parametrų, akytumo, storio, tankumo, apdailos, pasirinktų siūlų ilginio tankio ir pluoštinės sudėties. Laidumo orui savybė yra susijusi su medžiagos ištisa, tačiau skirtingais būdais ar iš skirtingų žaliavų pagamintų medžiagų laidumas orui ištemptame būvyje pakinta nevienodai. Todėl kompresinių gaminių laidumo orui tyrimai ištemptame būvyje yra labai aktualūs.

1.7. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Kompresinių tekstilinių gaminių panaudojimas medicinoje prevenciniais ar gydymo tikslais yra itin platus. Kompresiniai gaminiai gali būti skirstomi pagal elastingumą, kompresijos lygį, kompresijos generavimo būdą, pluoštinę sudėtį, medžiagos gamybos būdą, kūno poziciją, atliekamą funkciją. Kompresiniai ortopediniai įtvaramai skirstomi į prevencinius, funkcinus, reabilitacinius ar pooperacinius.

Kompresinių ortopedinių gaminių sričiai iki šiol nėra skiriama tinkamo dėmesio. Plačiausiai išnagrinėta yra laipsniškos kompresijos principu veikiančių kompresinių kojinių, skirtų venų ligų gydymui ar profilaktikai, sritis. Literatūros šaltiniuose taip pat esama daug informacijos, susijusios su kompresinių tekstilinių gaminių, skirtų nudegimų ir randų gydymui, tyrimais.

Ortopediniai kompresiniai gaminiai naudojami siekiant suteikti kompresiją, sutvirtinti, fiksuoti ar imobilizuoti atitinkamą kūno dalį. Akivaizdu, kad ortopedinių kompresinių gaminių paskirtis ženkliai skiriasi nuo kompresinių kojinių paskirties, tačiau kompresinių ortopedinių gaminių projektavimas ir generuojamos kompresijos vertinimas iki šiol grindžiamas kompresinių kojinių metodika – įtvaramų skirstymas pagal kompresijos dydį paremtas kompresinių kojinių kompresijos klasių standartais (skirstant į I–IV klases).

Megztų kompresinių medžiagų gamyba gali būti vykdoma tiek apskritosiomis, tiek plokščiosiomis mezgimo mašinomis, mezgant metmeniniu ar skersiniu būdu.

Mezgimo būdas turi būti pasirenkamas įvertinus visus privalumus bei trūkumus, atsižvelgus į gaminio paskirtį ir reikiamos kompresijos dydį. Ypač svarbus parametras yra elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu. Projektuojant svarbu įvertinti ir galimą kitų gamybos procesų (stabilizavimo, fiksavimo) įtaką. Literatūros šaltiniuose neaptikta išsamios kompresiniams gaminiams naudojamų pynimų analizės, tačiau dažnai pasirenkami sluoksniuotiniai ar pamušaliniai pynimai bei ataudiniai pynimai. Yra žinoma, kad skirtingais pynimais pagamintos megztinės medžiagos pasižymi skirtingomis savybėmis.

Kompresinių ortopedinių įtvarų gamybai naudojami įvairūs pluoštai. Pagrindui dažniausiai pasirenkami PA, PET, viskoziniai ar medvilniniai siūlai. Kompresinių savybių gaminiui suteikia elastomeriniai siūlai, į gaminio struktūrą įterpiami mezgant kartu su pagrindo siūlais arba paklojant kaip ataudus – pastarasis būdas užtikrina geriausias kompresines savybes. Ortopedinių įtvarų gamyboje naudojami įvairios paskirties netaşūs elementai, skirti atlikti gydomąją ar prevencinę funkcinę paskirtį, įtvirtinti įtvarą reikiamoje kūno pozicijoje, nurodyti gaminio gamintoją ar prekės ženklą. Teigiama, kad netaşių elementų įterpimas į gaminio struktūrą gali stipriai pakeisti generuojamos kompresijos vertes.

Tempimo jėga ar kompresija nustatoma įvairiais būdais ir prietaisais. Tai gali būti universalios tempimo mašinos, specialios paskirties galūnės formą imituojantys matavimo įrenginiai (dažniausiai skirti kompresinių kojinių tyrimams), lanksčiųjų jutiklių sistemos. Akcentuotina, kad gaminio generuojama kompresija yra matuojama gaminio ištempimo momentu, neįvertinant galimų kompresijos pokyčių dėvėjimo metu.

Tekstilės medžiagų elgsena tempimo ar įrašos relaksacijos metu yra plačiai nagrinėjama sritis. Nustatyta, kad megzėtų medžiagų mechaninė elgsena priklauso nuo medžiagos struktūros ir ją sudarančių siūlų parametrų. Megzėtų kompresinių medžiagų tempimo tyrimuose daugiausia nagrinėjama ištįsa ir tempimo jėga. Aktualu ir tai, kad tempiant pakinta megztinės medžiagas sudarančių kilpų geometrija ir akytumas. Literatūroje aptikta nedaug megzėtų kompresinių medžiagų įrašos relaksacijos tyrimų. Kompresinių ortopedinių gaminių savybių prognozavimas šiuo metu yra paremtas eksperimentinių tyrimų patirtimi, rinkoje nėra siūloma šiam tikslui pritaikytų įrankių ar sistemų, o simuliacijos ir modeliavimas atliekamas tik su lygiojo skersinio pynimo struktūra, kuri nenaudojama kompresinių įtvarų gamyboje.

Kadangi kompresiniai ortopediniai įtvarai yra dėvimi ilgą laiką, gaminiai turi pasižymėti tinkamomis komforto savybėmis, kurios gali turėti įtakos sėkmingam kompresiniam gydymui. Komforto trūkumas dėvėjimo metu neigiamai veikia dėvėjimo trukmę, nuo kurios priklauso gydymo efektyvumas. Tekstiliniams kompresiniams gaminiams itin aktualus laidumas orui, galintis užtikrinti odos ventiliaciją, apsaugoti nuo perteklinio prakaitavimo. Labiausiai trūksta tyrimų, atskleidžiančių, kaip mezginio deformacija pakeičia jo laidumą orui.

Literatūros apžvalgoje įvertintos kompresinių tekstilinių medžiagų savybių tyrimų tendencijos, aktualūs klausimai, nustatyta megzėtų kompresinių ortopedinių gaminių tyrimų stoka. Konstatuotas stabilizavimo proceso įtakos kompresinėms savybėms vertinimo trūkumas. Įvertinus literatūros šaltiniuose pateikiamus rezultatus, įvardijamas kompresinių megztinių medžiagų įrašos relaksacijos tyrimų poreikis.

Analizės metu taip pat nustatyta, kad kompresijos vertinimo metodika, kompresiją nustatant bandinio ištempimo momentu, turi būti tobulinama. Pabrėžtina, kad pagrindinė kompresinių gaminių komforto savybė (laidumas orui) yra nustatoma natūraliame medžiagos būvyje, o dėvėjimo metu galimai patiriamų komforto savybių pokyčių tyrimų aptikta nebuvo. Nustatyta ir universalios kompresinių ortopedinių įtvarų projektavimo metodikos ar rekomendacinių nurodymų stoka – skirtingų tyrėjų eksperimentinių tyrimų rezultatai nėra apibendrinami vieningoje sistemoje.

Remiantis atlikta literatūros šaltinių analize, suformuotas šio disertacinio darbo tikslas ir uždaviniai.

2. METODINĖ DALIS

2.1 Tyrimo objektas

Megzti kompresiniai ortopediniai įtvarai gali būti tiriami įvairiose gamybos stadijose, įvertinant visą baigtinį gaminį arba atskiras gaminio detales (pavyzdžiui, skirtingų pynimų megztinės medžiagos elementus). Šiame darbe pasirinkta nagrinėti visus paminėtus objektus – visą baigtinį gaminį ir atskirus, kompresiniam gaminiui būdingus, mezginio pynimų elementus bei netašius elementus. Skirtinguose rezultatu dalies skyreliuose aprašomi vieno ar kelių minėtų objektų tyrimų, atliktų siekiant išsiaiškinti bandinių struktūros įtaką ir/arba gamybos procesų įtaką ir/arba įrašos relaksacijos įtaką gaminio mechaninėms ir/arba komforto savybėms, rezultatai. Tirtų bandinių tipai ir jų gamybai naudoti įrenginiai pateikti 2.1 lent.

2.1 lentelė. Bandinių tipai ir jų gamybos būdai

Bandinių tipas		Pynimas	Mezgimo mašina	Mezgusi įmonė
Baigtiniai įtvarai	Kelio įtvarai su dviejų tipų netašiais elementais	Kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais	Plokščioji 2 adatinių 14 E klasės Stoll CMS 340TC-L	AB „Ortopedijos technika“
Gaminio elementai	I pynimas	Kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais		AB „Ortopedijos technika“
	II pynimas	Ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje		UAB „Ortopagalba“
	III pynimas	Lastikinio pynimo 1+1 imitacija	Apskritoji 1 adatinės 14 E klasės Sangiacomo 6 Cus 2V	UAB „Vegateksa“
Gaminio elementai su netašiais elementais	I pynimo mezginiai su skirtingo ploto netašiais elementais	Kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais	Plokščioji 2 adatinių 14 E klasės Stoll CMS 340TC-L	UAB „Ortopagalba“
	II pynimo mezginiai su skirtingos formos netašiais elementais	Ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje		UAB „Ortopagalba“

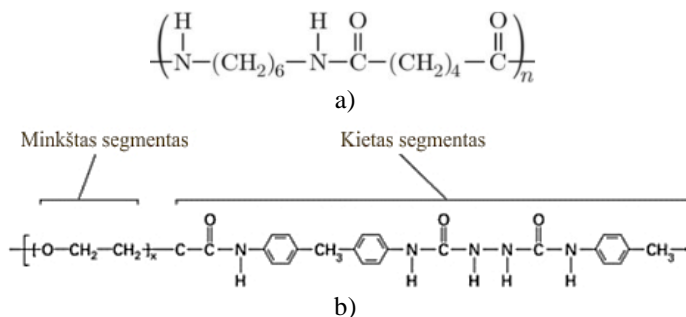
Viso baigtinio gaminio analizei pasirinkti kelio įtvarai su dviejų tipų netašiais elementais (dviem pusiau lanksčiais metaliniais šoniniais stabilizatoriais ir silikoniniu

žiedu bei jų įtvirtinimais). Gaminio elementų analizei suprojektuoti ir pagaminti trijų tipų bandiniai: I ir II pynimai, naudoti kaip pagrindiniai įtvaro pynimai (atitinkamai, kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais ir ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje) ir III pynimas (lastikinio pynimo 1+1 imitacija), vartotinas dekoratyvių elementų sudarymui ar gaminio krašto formavimui.

Mezgti kompresiniai įtvarai gali būti gaminami iš įvairių skirtingomis mechaninėmis ar komforto savybėmis pasižyminčių žaliavų. Tiriamųjų bandinių gamybai pasirinktų žaliavų tipai ir jų charakteristikos pateiktos 2.2 lent., naudotus pluoštus sudarančių polimerų cheminės formulės pavaizduotos 2.1 pav.

2.2 lentelė. Bandinių gamybai naudotos žaliavos

Bandinių tipas		Pagrindo siūlų žaliava ir ilginis tankis	Elastomerinių / ataudinių siūlų žaliava ir ilginis tankis
Baigtiniai įtvarai	Kelio įtvarai su dviejų tipų netąsiais elementais	PA6.6 (7,8 tex) + PU (31 tex) dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex)	PU (47 tex) dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex), bendras T = 55 tex
Gaminio elementai	I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais)	PA6.6 (7,6 tex) + PU (5 tex), apvytas PA6.6 (4,4 tex) ir kita kryptimi PA6.6 (4,4 tex)	PU (47,5 tex), apvytas PA6.6 (11 tex) ir viskoziniu verpalu (14,3 tex), bendras T = 70 tex
	II pynimas (ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje)	PA6.6 (7,8 tex) + PU (31 tex) dvigubai apvyti PA6.6 (4,4 tex)	PU (47 tex) dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex), bendras T = 55 tex
			PU (47,5 tex) dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex) ir medvilniniu verpalu (4,4 tex), bendras T = 70 tex
III pynimas (lastikinio pynimo 1+1 imitacija)	Medvilninis verpalas, 30 tex	PU (45 tex) apvytas PA6.6 (7,8 tex), bendras T = 120 tex	
			PU (12 tex) apvytas PA6.6 (7,8 tex), bendras T = 78 tex

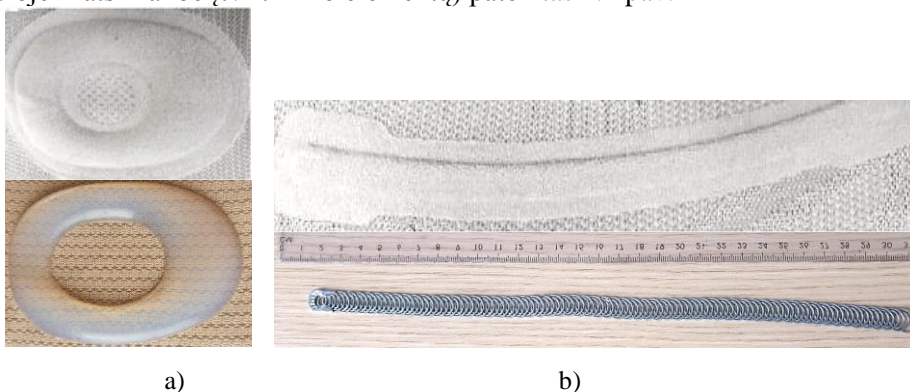


2.1 pav. Nautotų sintetinių pluoštų cheminės formulės: a) PA [170]; b) PU [172]

Tyrimams suprojektuoti ir pagaminti skirtingi visų išvardytų bandinių tipų variantai. Kiekvieno iš bandinių tipų variantai tarpusavyje skiriasi dydžiu arba gamybos parametrais, arba naudotos žaliavos parametrais, arba bandinio struktūros elementais. Visi naudoti bandinių tipai ir jų variantai detaliau aprašomi kituose skyreliuose.

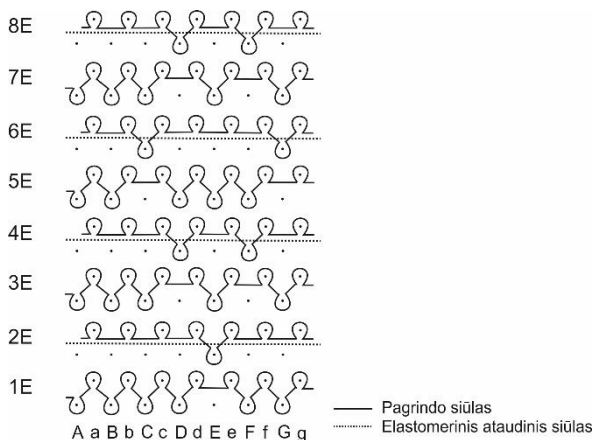
2.1.1 Baigtiniai įtvarai

Tyrimams suprojektuoti ir pagaminti baigtiniai kelio įtvarai su dviem tipų netašiais elementais: dviem pusiau lankščiais metaliniais šoniniais stabilizatoriais ir silikoniniu žiedu bei jų įtvirtinimo detalėmis. Pusiau lankstūs metaliniai šoniniai stabilizatoriai (aukštis – 30 cm, plotis – 1 cm), įtvirtinti abiejose kelio pusėse, yra skirti sustiprinti įtvaro šonus ir sumažinti kelio sąnario judėjimo (lankstymo) galimybę ir sulenkimo laipsnį. Netaisyklingo ovalo formos silikoninis žiedas (aukštis – 14 cm, plotis – 9 cm, angos kelio girnei aukštis – 6,5 cm, plotis – 4,5 cm, angos atstumas nuo viršaus – 4,5 cm) įtvirtintas įtvaro priekyje, numatomoje kelio girnelės vietoje (apgaubiant kelio girnelę). Šio netašaus elemento paskirtis – stabilizuoti kelio girnelės padėtį. Naudotų netašių elementų vaizdas (įtvirtintų įtvaro struktūroje ir atskirai bei įtvirtinimo elementų) pateiktas 2.2 pav.



2.2 pav. Kelio įtvaro netašūs elementai (įtvaro struktūroje ir be įtvirtinimo elementų):
a) silikoninis žiedas; b) pusiau lankstus metalinis šoninis stabilizatorius

Įtvaro projektavimo metu, siekiant pagaminti vizualiai patrauklų gaminį, naudoti keli skirtingi pynimai. Pagrindinis pynimas, užėmęs didžiąją bandinio dalį, buvo kombinuotas žakardinis pynimas su horizontaliai įterptais elastomeriniais ataudiniais siūlais. Gaminio pagrindinio pynimo siūlo klojimo schema pateikta 2.3 pav. Gaminio krašto formavimui naudotas lastikinis 1+1 pynimas, kelio vidinės pusės dalyje – ažūrinis pynimas.



2.3 pav. Baigtinio kelio įtvaro pagrindinio pynimo siūlo klojimo schema

Kelio įtvarų pagrindo pynimui sudaryti naudoti PA6.6 (7,8tex) ir PU (31 tex), dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex), siūlai. Ataudiniu elastomeriniu siūlu pasirinktas PU (47 tex), dvigubai apvytas PA6.6 (2,2 tex), siūlas. Tyrimams suprojektuoti ir pagaminti trijų plačiausiai naudojamų dydžių kelio įtvarai – M, L ir XL dydžių. Kadangi netašūs elementai yra fiksuoto standartinio dydžio, skirtingo dydžio įtvaruose jų užimamas santykinis plotas skiriasi. Skirtingų dydžių įtvarų ir jų netašių elementų charakteristikos pateiktos 2.3 lent.

2.3 lentelė. Baigtinių kelio įtvarų su dviejų tipų netašiais elementais variantų parametrai

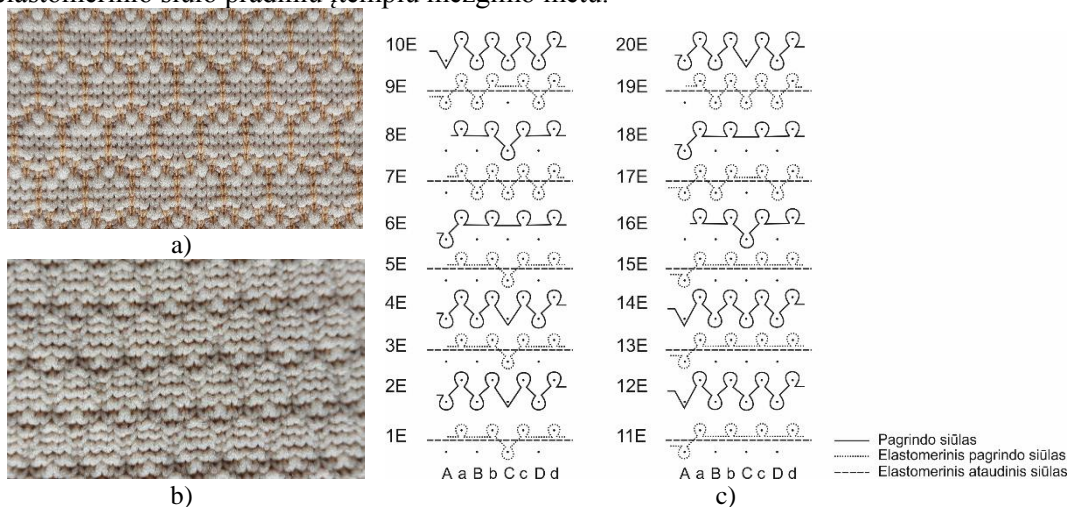
Gaminio dydis	Bandinio kodas	Vertikalusis tankumas Pv, cm ⁻¹	Horizontalusis tankumas Ph, cm ⁻¹	Bandinio plotas, m ²	Netašių elementų paviršiaus plotas, m ²	Netašių elementų užimamas santykinis plotas, %
M	G_K_M	11,0 ± 0,03	7,0 ± 0,02	0,1116	0,026	22,0
L	G_K_L			0,1309		20,5
XL	G_K_XL			0,1420		20,0

Pabrėžtina, kad minėti įtvarai yra baigtiniai vartojimui paruošti produktai, pasižymintys visais baigtam produktui būdingais sandaros elementais, apdorotais visose gamybos stadijose, atitinkančiose masinės gamybos reikalavimus. Baigtinio produkto bandiniai numegzti plokščiąja dviejų adatinių 14 E klasės mezgimo mašina „Stoll CMS 340TC-L“ (Vokietija) įmonėje AB „Ortopedijos technika“ (Kaunas).

2.1.2 Skirtingų pynimų gaminio elementai

Siekiant išnagrinėti atskirus įtvaro elementus, pasirinkti trys kompresiniam gaminiui vartotini pynimai (I, II ir III pynimai). Visi minėti pynimai pasižymi pagrindine kompresiniams mezginiams būdinga savybe – generuoja apspaudimo jėgą. Šie pynimai gali būti naudojami projektuojant įvairius mezgtus kompresinius gaminius, taip pat atliekant funkcinę paskirtį ar kuriant vizualiai patrauklų gaminio dizainą.

I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais). I pynimo bandiniai suprojektuoti panaudojus dažnai kompresinių įtvarų gamyboje pagrindiniu pynimu pasirenkamą, kombinuotą žakardinį pynimą su elastomeriniais ataudiniais siūlais. Minėtasis pynimas pasižymi tiek gebėjimu generuoti kompresiniams produktams būdingą apspaudimo jėgą, tiek gaminio vizualinei estetikai reikiamomis savybėmis. I pynimo bandinių vaizdas ir pynimo schema pateikta 2.4 pav. Bandinių gamybai naudotos žaliavos pateiktos 2.2 lent. Bandinių gamybos ir struktūros parametrai pateikti 2.4 lent. Buvo pagaminti du šio pynimo variantai, kurie skyrėsi elastomerinio siūlo pradiniu įtampiu mezgimo metu.



2.4 pav. I pynimo (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais) bandinių vaizdas (a – kairinė pusė, b – dešininė pusė) ir siūlo klojimo schema (c)

2.4 lentelė. I pynimo (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais) bandinių parametrai

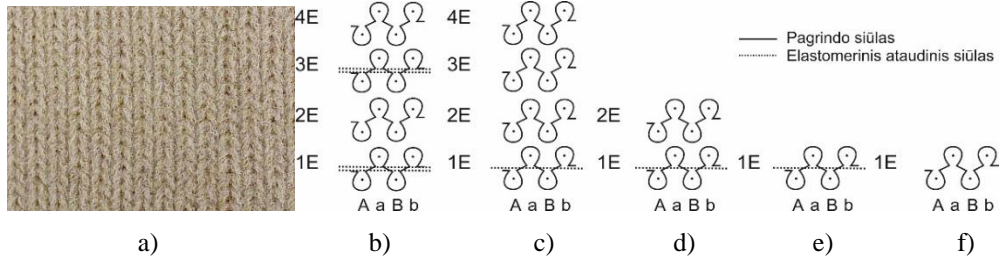
Pynimo tipas	Bandinio kodas	El. siūlo įtampis, cN/tex	Vertikalūs tankumas Pv, cm ⁻¹	Horizontalūs tankumas Ph, cm ⁻¹	Bandinio plotas, m ²
Gaminio elementai. I pynimas	E_ZA_4	4	8,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1	0,018
	E_ZA_7	7	8,2 ± 0,1	6,7 ± 0,3	

Gaminio elementų I pynimo bandiniai suprojektuoti ir numegzti įmonėje AB „Ortopedijos technika“ (Kaunas) plokščiaja dviejų adatinių 14 E klasės mezgimo mašina „Stoll CMS 340TC-L“ (Vokietija).

II pynimas (ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje). Gaminant kompresinius įtvarus itin dažnai naudojamas ataudinis pynimas lastikinio pynimo bazėje. Bandiniai suprojektuoti ir pagaminti panaudojus skirtingą absoliutinį ataudinio elastomerinio siūlo kiekį mezginyje ir ataudinį elastomerinį siūlą klojant skirtingu tankumu. Bandinių vaizdas ir siūlo klojimo schemas pateiktos 2.5 pav., bandinių charakteristikos apžvelgtos 2.5 lent.

Šiam tikslui parinkti penki skirtingi ataudinio elastomerinio siūlo klojimo variantai, ataudinį siūlą klojant:

- 1) kas ketvirtoje mezginio eilutėje (bandiniai E_LA1_1/4, E_LA2_1/4);
- 2) kas antroje mezginio eilutėje (E_LA1_1/2, E_LA2_1/2);
- 3) kiekvienoje mezginio eilutėje (E_LA1_1/1, E_LA2_1/1);
- 4) du ataudinius siūlus klojant kas antroje mezginio eilutėje (E_LA1_2/2);
- 5) be ataudinio siūlo (E_LA2_0/0).



2.5 pav. II pynimo (ataudinio pynimo lastikinio pynimo 1+1 bazėje) bandinio vaizdas (a) ir siūlo klojimo schemas, ataudinį siūlą klojant: b) du ataudinius siūlus kas antroje mezginio eilutėje; c) kas ketvirtoje mezginio eilutėje; d) kas antroje mezginio eilutėje; e) kiekvienoje mezginio eilutėje; f) be ataudinio siūlo

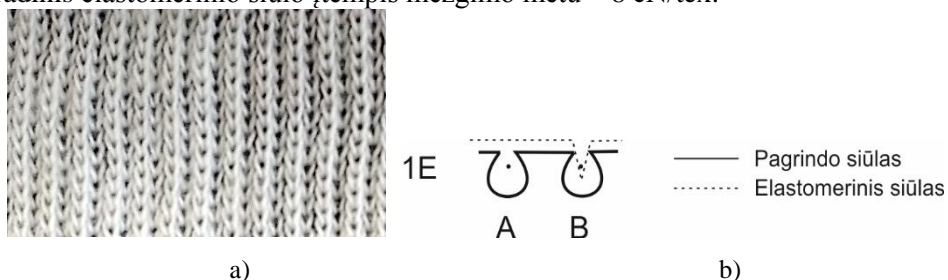
2.5 lentelė. II pynimo (ataudinio pynimo lastikinio pynimo 1+1 bazėje) bandinių parametrai

Bandinių tipas	Bandinio kodas	Ataudinio siūlo klojimo raportas	Ataudinis siūlas	Ataudinio siūlo bendras ilginis tankis	Bandinio plotas, m ²
Gaminio elementai. II pynimas	E_LA1_1/4	1 siūlas į kas ketvirtą eilutę	47 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA 6.6 siūlais	55 tex	0,0215
	E_LA1_1/2	1 siūlas kas antrą eilutę			
	E_LA1_1/1	1 siūlas į kiekvieną eilutę			
	E_LA1_2/2	2 siūlai į kas antrą eilutę	47,5 tex PU šerdis, dvigubai apvyta 2,2 tex PA6.6 ir 4,4 tex medvilniniu verpalu	70 tex	
	E_LA2_0/0	Be ataudinio siūlo			
	E_LA2_1/4	1 siūlas į kas ketvirtą eilutę			
	E_LA2_1/2	1 siūlas kas antrą eilutę			
	E_LA2_1/1	1 siūlas į kiekvieną eilutę			

Gaminio elementų II pynimo bandiniai buvo suprojektuoti ir pagaminti įmonėje UAB „Ortopagalba“ (Kaunas) plokščiaja dviejų adatinių 14E klasės skersinio mezgimo mašina „Stoll CMS 340TC-L“ (Vokietija).

III pynimas (lastikinio pynimo 1+1 imitacija). Šis pynimas dažnas tiek įprastų kasdienių gaminių gamyboje (pavyzdžiui, naudojamas įprastų kojinių ar puskojinių krašteliui), tiek specialios paskirties kompresinių gaminių sandaroje. Šio tipo elementams buvo suprojektuoti ir pagaminti dviejų skirtingų variantų (E_LI_1 ir E_LI_2) bandiniai, kurie skiriasi elastomerinio siūlo šerdies ir bendru ilginiu tankiu.

Bandinių vaizdas ir pynimo schema pateikti 2.6 pav. Bandinių gamyboje naudotų siūlų žaliavos ir užtaisymo duomenys bei bandinių parametrai pateikti 2.6 lent. Pradinis elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu – 8 cN/tex.



2.6 pav. III pynimo (lastikinio pynimo 1+1 imitacija) bandinių vaizdas (a) ir siūlo klojimo schema (b)

2.6 lentelė. III pynimo (lastikinio pynimo 1+1 imitacija) bandinių parametrai

Bandinių tipas	Bandinių kodas	Pagrindo siūlo žaliava ir ilginis tankis	Elastomerinis siūlas		Bendras ilginis tankis, tex	Bandinio plotas, m ²
			Šerdinio elemento žaliava ir ilginis tankis	Apvejančiojo elemento žaliava ir ilgini tankis		
Gaminio elementai. III pynimas	E_LI_1	Medvilnė, 30 tex	PU (45 tex)	PA (7,8 tex)	120	0,005
	E_LI_2		PU (12 tex)		78	

Gaminio elementų III pynimo bandiniai suprojektuoti ir numegzti įmonėje UAB „Vegateksa“ (Kauno r.) apskritąja vienos adatinės 14 E klasės mezgimo mašina „Sangiaco 6 Cus 2V“ (Italija).

2.1.3 Gaminio elementai su netąsiais elementais

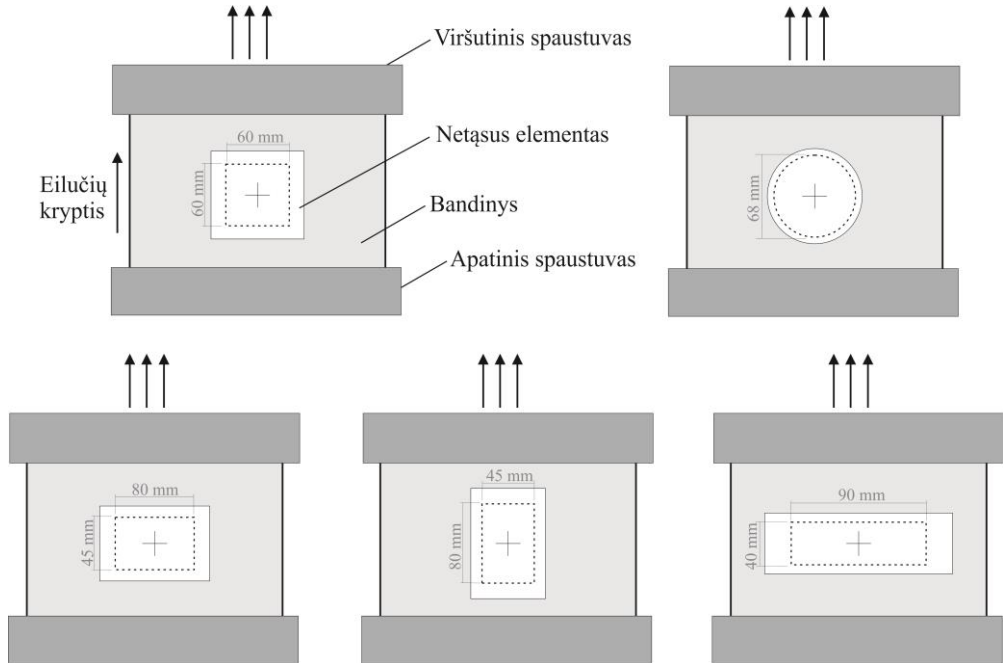
Bandiniai su struktūroje esančiais netąsiais elementais pagaminti naudojant anksčiau aprašytus I ir II pynimais numegztus mezginius ir pasirinktus netąsius elementus. Netąsaus elemento imitavimui pasirinktos lininio audinio detalės (audinio charakteristikos pateiktos 2.7 lent.).

2.7 lentelė. Netąsaus elemento sudarymui naudoto audinio charakteristikos

Siūlų sistema	Siūlų ilginis tankis, tex	Siūlų tankumas, cm ⁻¹
Metmenys	48,5	16,76
Ataudai	64,3	15,44

Netąsus elementas prisiuvas bandinio centre paliekant ne mažiau kaip 0,5 cm atstumą nuo elemento krašto iki siūlės. Netąsūs elementai bandinio struktūroje įtvirtinti lygiagrečiai eilučių kryptims, t. y. elemento aukštis atitinka užimamą kilpų eilučių ilgį bandinyje. Numatytus netąsaus elemento matmenis (perimetrą ar plotą) atitinka audinio prisiuvimo matmenys (perimetras ar plotas). Netąsūs elementai prisiūti siuvimo mašina Singer 6180, 4 dygsnių cm⁻¹ siūle, 32,7 tex ilginio tankio PET siūlais. Parengti dviejų tipų bandinių variantai: 1) bandiniai, kuriuose vienodos

formos netašūs elementai užima skirtingą santykinį plotą; 2) bandiniai, kuriuose netašių elementų užimamas santykinis plotas yra vienodas, tačiau skiriasi šio elemento forma ar pozicija. Principinės bandinių su skirtingos formos netašiais elementais schemas pateiktos 2.7 pav.



2.7 pav. Bandinių su skirtingos formos netašiais elementais principiniai vaizdai

Pirmojo tipo bandiniams naudoti horizontalaus stačiakampio formos netašūs elementai. Didėjant netašaus elemento užimamam santykiniam plotui, stačiakampio dydis keičiamas proporcingai didinant abi kraštines. Netašūs elementai prisiūti prie anksčiau aprašytų II pynimo bandinių (LA1 tipo), megztų ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje. Bandiniai parengti naudojant mezginius, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas įterpiamas į kiekvieną, į kas antrą arba į kas ketvirtą mezginio eilutes. Atrojo tipo bandinių su netašiais elementais gamybai pasirinkti I pynimo mezginiai (elastomerinio siūlo įtempis 4 cN/tex) ir keturių skirtingų formų netašūs elementai: apskritimas, kvadratas ir du horizontalūs stačiakampiai. Penktas netašaus elemento variantas gautas vieną iš stačiakampių prisiuvus kita kryptimi (vertikaliai). Bandinių ir naudotų netašių elementų charakteristikos pateiktos 2.8 lent.

2.8 lentelė. Bandinių su netąsiais elementais charakteristikos

Bandinių kodai			Pynimo tipas	Netąsaus elemento	
				Forma (aukštis x plotis)	Santykinis plotas, %
N_LA_1/1	N_LA_1/2	N_LA_1/4	II pynimas (ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje)	Stačiakampis	10
N_LA_1/1	N_LA_1/2	N_LA_1/4			15
N_LA_1/1	N_LA_1/2	N_LA_1/4			20
N_LA_1/1	N_LA_1/2	N_LA_1/4			25
N_ZA_68			I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais)	Apskritimas (d=68 mm)	18
N_ZA_60x60				Kvadratas (60x60 mm)	
N_ZA_40x90				Stačiakampis (40x90 mm)	
N_ZA_80x45				Stačiakampis (80x45 mm)	
N_ZA_45x80				Stačiakampis (45x80 mm)	

2.2. Tyrimų metodika

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

2.2.1 Mezginio sandaros rodiklių nustatymo metodika

Mezginio horizontalusis ir vertikalusis tankumo koeficientai nustatyti vienetiniame mezginio ilgyje, atitinkamai stulpelių ir eilučių kryptimis, pagal standartą LST EN 14971:2006. Naudojantis tekstilininko lupa, penkiose skirtingose atsitiktinėse bandinio vietose buvo apskaičiuotas kilpų skaičius viename centimetre (cm^{-1}). Remiantis gautais duomenimis, apskaičiuotas kilpos žingsnis ir kilpos aukštis [172]:

$$A = \frac{10}{P_h}; \quad (3)$$

$$B = \frac{10}{P_v}; \quad (4)$$

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} .

Elastomerinio siūlo ilginis mezginio raporte l_e apskaičiuotas analogiškai kaip faktinis kilpos ilgis l mezginyje.

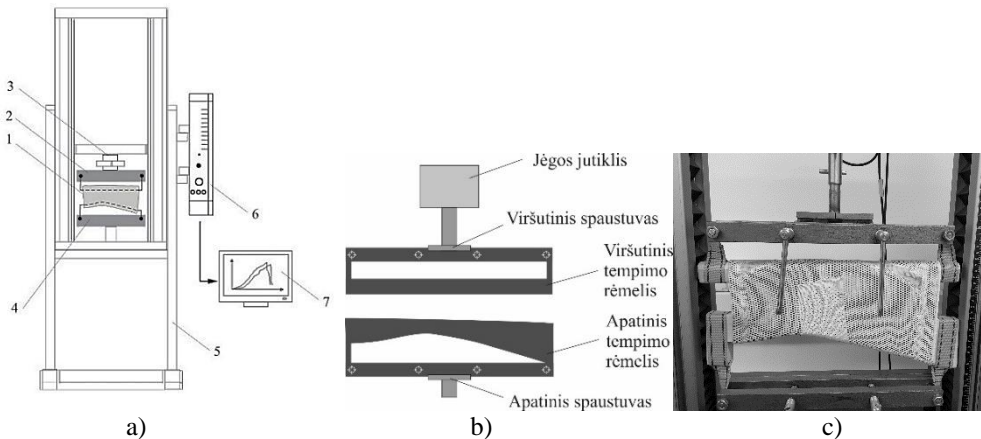
2.2.3 Tempimo charakteristikų nustatymo metodika

Mezginių elgsena tempiant nustatyta universalia tempimo mašina Zwick/Z005 (Vokietija). Įrenginio skiriamoji geba – 0,01 cN. Tyrimai atlikti pagal LST EN ISO 13934-1:2000 standartą. Įrenginio principinė schema pateikta 2.8 pav. Tyrimų duomenys analizuoti TestXpert® programine įranga. Mezginių elgsena tempiant tirta

bandinius ištempus iki fiksuotos ištiesos arba fiksuotos tempimo jėgos. Megztų gaminio elementų tempimui pagaminti dviejų tipų specialūs spaustuvai ir įtvirtinimai. Gaminio elementų tyrimams atlikti pagaminti platiems megztos struktūros bandiniams pritaikyti spaustuvai (žr. 2.8 pav. b, c). Pasirinktas atstumas tarp spaustuvių – 100 mm (III pynimo bandiniams – 80 mm), tempimo greitis – 100 mm/min.

Baigtinių įtvarų tempimui naudota originali gaminio tempimo metodika – pagaminti specialūs tempimo rėmeliai, imituojantys žmogaus galūnės pjūvį ir atkartojantys įtvaro formą. Forma parinkta pagal kojos ties kelio sąnariu projekciją į plokštumą. Įtvarų tempimo rėmelis ir metodas sukurtas atsižvelgus į esamus metodus ir rinkoje siūlomus kompresinių gaminių testavimo įrenginius. Baigtinių įtvarų tempimo bandymų metu atstumas tarp spaustuvių kito pagal įtvaro dydį: M dydis – 250 mm, L dydis – 265 mm, XL dydis – 280 mm. Atstumo tarp spaustuvių pokytis pasirinktas atsižvelgus į skirtingo dydžio įtvarų matmenų skirtumą. Darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.

Įrenginio apačioje esantis spaustuvas ir apatinis rėmelis įtvirtinti stacionariai. Viršutinis spaustuvas ir viršutinis rėmelis yra sujungtas su jėgos jutikliu ir juda vertikalia ašimi. Jėgos jutiklio ir prie jo įtvirtinto prietaiso judėjimo kryptis ir greitis valdomi kompiuterine programa. Bandinys įtvirtinamas viršutiniame ir apatiniame įrenginio spaustuvoose arba specialiuose įtvirtinimo rėmeliuose; pradinė bandinio įrąža – 2 N.



2.8 pav. a) Universalaus tempimo įrenginio ZWICK/Z005 schema (1 – bandinys, 2 – viršutinis spaustuvas, 3 – jėgos jutiklis, 4 – apatinis spaustuvas, 5 – įrenginio korpusas, 6 – valdymo pultas, 7 – kompiuteris ir duomenų apdorojimo programa testXpert®); b) įtvirtinimo, skirto tempti baigtinius gaminius, schema; c) įtvirtinto testuojamo įtvaro vaizdas

2.2.4 Relaksacijos proceso analizė

Mezginių elgsena relaksacijos metu tirta universalia tempimo mašina Zwick/Z005 (Vokietija). Išsamesnis įrenginio aprašymas ir principinė schema pateikti ankstesniame skyrelyje („Tempimo charakteristikų nustatymo metodika“). Tyrimų duomenys analizuoti testXpert® programine įranga. Tyrimai atlikti pagal modifikuotą

LST EN ISO 13934-1:2000 standartą. Mezginių elgsena relaksacijos proceso metu tirta bandinius ištempus iki fiksuotos ištisos arba tempimo jėgos ir išlaikant šioje pozicijoje tam tikrą laiką. Bandiniai įtvirtinti ir ištempti pasitelkus tempimo charakteristikų nustatymo metodiką. Bandinių išlaikymo trukmė pasirinkta pagal relaksacijos tipą. Ilgalaikės relaksacijos tyrimuose pasirinkti 36000 s ir 200000 s intervalai. Trumpalaikės relaksacijos tyrimuose analizuotas 300 s intervalas. Relaksacijos proceso metu tirti bandiniai ir jiems taikytų relaksacijos procesų režimai pateikiami 2.9 lent. Siekiant ištirti, ar relaksacijos proceso tendencija išlieka panaši neatsižvelgus į bandinio ištįsą, pasirinktos skirtingos bandinių ištįsos vertės. Darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.

2.9 lentelė. Relaksacijos proceso analizės objektai ir proceso parametrai

Relaksacijos tipas	Bandinio tipas	Relaksacijos trukmė	Relaksacijos režimas
Ilgalaikė relaksacija	Kelio įtvartai su dviejų tipų netąsiais elementais	36000 s	11,5 % deformacija
	Gaminio elementai. I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais)	200000 s	30 % deformacija
Trumpalaikė relaksacija	Gaminio elementai. I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais)	300 s	30 % deformacija
	Gaminio elementai. II pynimas (ataudinis pynimas lastikinio pynimo 1+1 bazėje)		20 % deformacija
	Gaminio elementai. III pynimas (lastikinio pynimo 1+1 imitacija)		15 % deformacija
	Bandiniai su skirtingų formų netąsiais elementais. I pynimas (kombinuotas žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais)		20 % deformacija

2.2.5 Kompresijos skaičiavimo metodika

Gaminio generuojama kompresija apskaičiuota pagal Laplace formulę [9]:

$$P = \frac{2\pi F}{L_N \cdot h}; \tag{5}$$

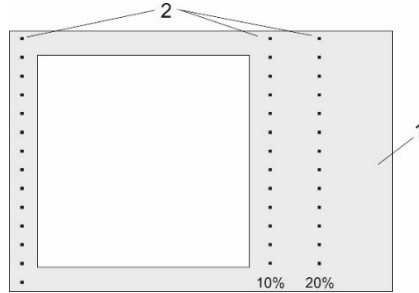
čia: P – gaminio generuojama kompresija, Pa, F – gaminyje veikianti tempimo jėga, N, $L_N \cdot h$ – gaminio plotas (ilgio ir aukščio sandauga), m².

2.2.6 Laidumo orui nustatymo metodika

Bandinių laidumas orui nustatytas pagal LST EN ISO 9237:2007 standartą L14DR prietaisu (Karl Schroder KG, Vokietija). Bandymų atlikimui pasirinktas 5 cm² ploto žiedo formos bandinio laikiklis. Oro srauto debitas matuotas esant 200 Pa slėgių skirtumui.

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. Bandiniai buvo tiriami neištemptame būvyje ir / arba ištempus iki 10 % ar 20 % fiksuotos ištįsos eilučių kryptimi, imituojant dėvėjimo metu patiriamą ištįsą.

Ištempti bandiniai užfiksuoti specialiai pagamintu priedu, sudarytu iš plokščio (5 mm aukščio) stačiakampio formos rėmelio ir bandinių įtvirtinimui skirtos adatėlių sistemos (principlinė schema pateikta 2.9 pav.). Kiekvieno bandinio laidumas orui tirtas keturiose atsitiktinėse bandinio vietose. Darbe pateikiamos vidutinės bandymų metu gautų rezultatų vertės.



2.9 pav. Laidumo orui tyrimams naudoto bandinių ištempto būvio fiksavimo priedo principlinė schema (1 – prietaiso rėmas, 2 – ištemptų bandinių fiksavimo adatėlės)

Laidumas orui apskaičiuotas pagal formulę [173]:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{S_B} \cdot 167; \quad (6)$$

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

2.2.7 Stabilizavimo metodika

Bandinių stabilizavimas vykdytas pagal LST EN ISO 6330:2012 (Skalbimo ir džiovinimo namų sąlygomis procedūros bandant tekstilę) standartą, buitine skalbimo mašina Samsung. Skalbimo režimas pasirinktas remiantis rekomendacijomis šio tipo medžiagoms: vandens temperatūra $40\text{ }^\circ\text{C}$, skalbimo trukmė 40 min, centrifūgavimo dažnis 500 min^{-1} , džiovinimo temperatūra $60\text{ }^\circ\text{C}$. Skalbimo metu nebuvo naudota jokių papildomų ploviklių ar kitų medžiagų.

2.2.8 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika

Eksperimentų metu gauti duomenys analizuoti taikant matematinės statistinės analizės metodus. Apskaičiuoti statistiniai rodikliai: aritmetinis vidurkis \bar{x} , vidutinė kvadratinė nuokrypa S , dispersija S^2 , variacijos koeficientas V , absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ_a ir santykinė atsitiktinė paklaida δ_a . Toliau pateikiamos skaičiavimų formulės ir jų paaiškinimai.

Santykinė atsitiktinė paklaida δ_a , apskaičiuojama pagal formulę [174]:

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{\bar{x}}; \quad (7)$$

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

Dispersijų vienarūšiškumas patikrinant pagal Cochran kriterijų (dispersijos vienarūšės, jeigu $G < G_{lent}$) [174]:

$$G = \frac{S_{max}^2}{\sum S^2}; \quad (8)$$

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 [174]:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{x}_i}{N}; \quad (9)$$

$$S_v^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x}_i - \bar{X})^2}{N-1}; \quad (10)$$

$$S_y^2 = \frac{\sum S^2}{N}; \quad (11)$$

čia: N – eksperimento taškų skaičius.

Eksperimento informatyvumas patikrintas Fisher kriterijumi (eksperimentas yra informatyvus, jei $F > F_{lent}$) [174]:

$$F = \frac{S_v^2}{S_y^2}. \quad (12)$$

3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1 Stabilizavimo proceso įtakos mezginio mechaninėms savybėms tyrimas

Gamybos metu megzti tekstilės produktai ir juos sudarantys siūlai yra veikiami įvairių procesų ir jų sukeliamų jėgų. Pavyzdžiui, mezgimo metu siūlai yra veikiami trinties ir tempimo, lenkimo, sukimo jėgų, deformuojami. Vėlesni gamybos procesai – stabilizavimas ar formavimas, gaminį apdorojant šiluma drėgnoje ar sausoje terpėje, – taip pat daro įtaką mechaninėms ir struktūrinėms mezginio savybėms. Norint pagerinti medžiagų kokybę ir labiau suvaldyti mezgimo metu vykstančius procesus, atliekama baigiamoji gaminių apdaila. Siūlų patiriamos jėgos mezgimo metu bei mezgimo įrenginių įtaka megztinių medžiagų savybėms yra plačiai nagrinėjama tema [69, 70, 175]. Siekiant ištirti stabilizavimo proceso įtaką kompresinės megztinės medžiagos struktūros parametrams ir mechaninėms savybėms, šiame darbe buvo atlikti stabilizuotų bei stabilizavimo procese neapdorotų megztinių medžiagų savybių palyginimo tyrimai.

3.1.1 Stabilizavimo įtaka mezginio struktūros parametrams

Siekiant ištirti stabilizavimo proceso įtaką megztos kompresinės medžiagos struktūros parametrams, buvo suprojektuoti ir pagaminti gaminio elementus sudarantys bandiniai. Tyrimui pasirinkti du „III“ pynimo bandinių (lastikinio pynimo 1+1 imitacija) variantai, kurie skiriasi elastomerinio siūlo šerdies ir bendru ilginiu tankiu. Megztinių medžiagų struktūros parametrai buvo apskaičiuoti prieš stabilizavimo procesą (3.1 lent.) ir po stabilizavimo proceso (kiekvieną atvejų apskaičiuotas devynių matavimų rezultatų vidurkis). Nustatyti bandinių struktūros parametru pokyčiai pateikti 3.2 lent.

3.1 lentelė. III pynimo bandinių struktūros parametrai prieš stabilizaciją

Bandinių tipas	Bandinių grupės kodas	Kilpos ilgis l , mm	Elastomerinio siūlo	
			Šerdinio elemento ilginis tankis T_s , tex	Bandras ilginis tankis T , tex
Nestabilizuoti bandiniai	E_LI_1	5,76 ± 0,2	45	120
	E_LI_2	5,72 ± 0,1	12	78

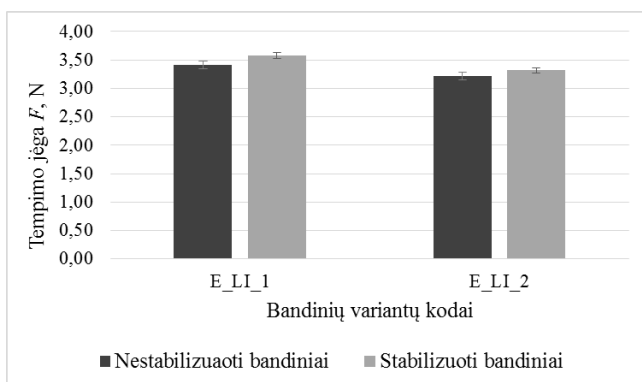
3.2 lentelė. III pynimo bandinių struktūros parametru pokytis po stabilizavimo proceso

Rodikliai	Bandinių grupės kodas	E_LI_1	E_LI_2
Vertikalusis tankumas P_v , cm ⁻¹	Nestabilizuoti bandiniai	9,40 ± 0,4	9,90 ± 0,4
	Stabilizuoti bandiniai	10,10 ± 0,4	10,40 ± 0,4
	Procentinis pokytis	7,45 %	5,05 %
Horizontalusis tankumas P_h , cm ⁻¹	Nestabilizuoti bandiniai	10,00 ± 0,4	9,40 ± 0,4
	Stabilizuoti bandiniai	10,70 ± 0,4	10,10 ± 0,4
	Procentinis pokytis	7,00 %	7,45 %
Elastomerinio siūlo ilgis mezginio raporte l_e , mm	Nestabilizuoti bandiniai	1,07 ± 0,1	1,22 ± 0,1
	Stabilizuoti bandiniai	1,02 ± 0,2	1,09 ± 0,1
	Procentinis pokytis	-4,67 %	-10,66 %

Palyginus gautus rezultatus nustatyta, kad stabilizuotų bandinių eilučių tankumas padidėjo 5,05–7,45 %, o stulpelių tankumas padidėjo 7,00–7,45 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Pabrėžtina, kad elastomerinio siūlo ilgis mezginio raporte sutrumpėjo nuo 4,67 % iki 10,66 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Nustatyta, kad bandiniai su mažesnio ilginio tankio elastomeriniu siūlu, atitinkamai mažesnio ilginio tankio šerdiniu elementu (bandinių grupė E_LI_2, kai elastomerinio siūlo ilginis tankis $T_e = 78 \text{ tex}$, o šerdinio elemento ilginis tankis $T_s = 12 \text{ tex}$) pasižymėjo dvigubai didesniu elastomerinio siūlo ilgio mezginio raporte sumažėjimu, tačiau kilpos geometrijai tai tokios ženklūs įtakos neturėjo. Horizontalusis abiejų variantų mezginių tankumas padidėjo panašiai, o mezginių su mažesnio ilginio tankio elastomeriniu siūlu vertikaliojo tankumo pokytis buvo maždaug 1,5 karto mažesnis.

3.1.2 Stabilizavimo įtaka mezginių tempimo charakteristikoms

Siekiant nustatyti stabilizavimo proceso įtaką pasirinktų mezginių tempimo charakteristikoms, atlikti tų pačių, kaip ir ankstesniame skyrelyje (3.1.1), aprašytą „III“ pynimu numegztų (lastikinio pynimo 1+1 imitacija) bandinių, tempimo jėgos bandymai, juos ištempiant iki 15 % fiksuotos ištisos. Nestabilizuotų ir stabilizuotų bandinių tempimo jėgos vertės ir jų pokytis pateikti 3.1 pav. (pateikiamas devynių elementariųjų bandymų vidurkis, gautų rezultatų variacijos koeficientas $V = 0,79\text{--}3,35 \%$, priklausomai nuo bandinių grupės).



3.1 pav. III pynimo bandinių tempimo jėgos pokytis po stabilizavimo proceso

Iš gautų rezultatų matyti, kad po stabilizavimo proceso tempimo jėgos vertės šiek tiek išaugo. Ši tendencija nustatyta abiejų variantų bandinių grupėse, neatsižvelgus į jų elastomerinio siūlo ilginį tankį – stabilizuoti bandiniai generuoja 3,22–4,54 % didesnę tempimo jėgą (priklausomai nuo bandinių varianto), palyginti su nestabilizuotais bandiniais. Toks tempimo jėgos pokytis nėra didelis, tačiau negali būti laikomas nereikšmingu, todėl kompresinių medžiagų ar gaminių testavimą būtina atlikti stabilizuotiems bandiniams. Teorinio megztinės medžiagos generuojamos kompresijos prognozavimo metu taip pat būtina atsižvelgti į galimus tempimo jėgos pokyčius po stabilizavimo proceso.

Mažesnės tempimo jėgos vertės tiek stabilizuotų, tiek nestabilizuotų bandinių atveju bei tempimo jėgos skirtumas tarp nestabilizuotų ir stabilizuotų bandinių nustatytas mezginiuose su mažesnio ilginio tankio elastomeriniais siūlais (E_LI_2

grupė). Šios bandinių grupės stabilizuotų bandinių tempimo jėgos vertės buvo tik 0,10 N (3,22 %) didesnės nei nestabilizuotų bandinių. O bandinių su didesnio ilginio tankio elastomeriniu siūlu (E_LI_1 grupė) tempimo jėgos skirtumas tarp stabilizuotų ir nestabilizuotų bandinių buvo kiek didesnis ir siekė 0,15 N (4,54 %).

Apibendrinimas. Atlikti tyrimai atskleidė, kad stabilizavimo metu pakinta mezginių struktūros parametrai: tiek eilučių, tiek stulpelių tankumas padidėjo iki 7,45 %, o elastomerinio siūlo ilgis mezginio raporte sutrumpėjo iki 10,66 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Stabilizuoti mezginiai pasižymi iki 3,22–4,54 % didesnėmis, priklausomai nuo bandinių grupės, tempimo jėgos vertėmis, nei nestabilizuoti mezginiai. Mezginiai su mažesnio ilginio tankio elastomeriniais siūlais pasižymėjo mažesniu tempimo jėgos pokyčiu po stabilizavimo. Šie rezultatai aktualūs produktyvesnio kompresinio gaminio projektavimo ir gaminio generuojamos kompresijos nustatymo algoritmo sudarymui – projektuojant ar vertinant megztinės medžiagos ar gaminio kompresiją būtina atsižvelgti į stabilizavimo metu patiriamus tempimo jėgos pokyčius, o kompresiniai megzti gaminiai privalo būti stabilizuojami gamybos metu.

3.2 Gaminio struktūros įtakos tempimo jėgai ir generuojamai kompresijai tyrimas

3.2.1 Mezginio pynimo įtaka tempimo jėgai

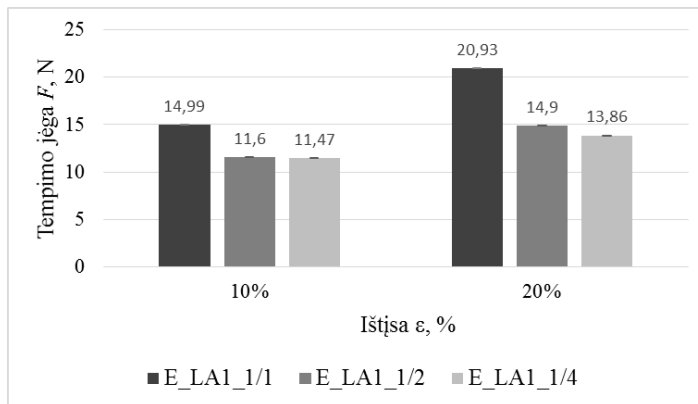
Teigiama, kad iš tos pačios žaliavos, tačiau skirtingu pynimu pagamintos megztinės medžiagos pasižymi skirtingomis mechaninėmis savybėmis. Projektuojant megztus ortopedinius kompresinius gaminius taip pat būtina atsižvelgti į pynimą ir jo mechaninę elgseną deformacijų metu. Remiantis Laplace priklausomybe (5), gaminio generuojama kompresija yra tiesiogiai proporcinga tempimo jėgai. Iš to galima spręsti, kad tempimo charakteristikos yra svarbiausias generuojamos kompresijos dydį nulemiantis veiksnys.

Projektuojant megztus kompresinius gaminius dažnai naudojami įvairūs ataudiniai pynimai. Šie pynimai pasirenkami dėl kompresiniams gaminiams itin tinkamų savybių – storesnius nei pagrindo siūlai ataudinius elastomerinius siūlus galima įterpti į daug skirtingų pynimų beveik nepakeičiant gaminio išvaizdos, tačiau generuojant atitinkamą kompresijos vertę. Tempimo metu mezginį sudarančios kilpos ar lankai ima tiesintis, o ataudiniai elastomeriniai siūlai, santykiškai tiesiai išsidėstę mezginio struktūroje, iš karto patiria didžiausią apkrovos dalį. Būtent dėl šios priežasties, nagrinėjant įvairius ataudinius pynimus, svarbu atkreipti dėmesį į ataudinių elastomerinių siūlų parametrus, kiekį ir išsidėstymą mezginyje. Optimalaus elastomerinio ataudinio siūlo kiekio mezginio struktūroje nustatymas yra aktualus ne tik siekiant generuoti reikiamą kompresijos vertę, bet ir norint pagerinti gamybos našumą bei ekonominius rodiklius.

Siekiant įvertinti ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo į mezginio struktūrą raporto įtaką generuojamos kompresijos vertėms, atlikti „II“ pynimu (ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje) numegztų bandinių tempimo bandymai. Ataudiniai elastomeriniai siūlai pakloti keturiais skirtingais raporto variantais: po vieną ataudinį siūlą įterpiant į kiekvieną, į kas antrą arba į kas ketvirtą eilutę (atitinkamai E_LA1_1/1, E_LA1_1/2, E_LA1_1/4 bandiniai), arba po du ataudinius

siūlus įterpiančią kas antrą eilutę (E_LA1_2/2 bandiniai). Bandinių tempimo jėga matuota juos ištempus iki 10 % arba 20 % fiksuotos išťažos.

Tyrimų metu gauti rezultatai (penkių elementarijų bandymų vidurkis) pateikti 3.2 ir 3.3 pav. Gautų duomenų variacijos koeficientas V svyruoja nuo 0,44 % iki 3,26 %, priklausomai nuo bandinių grupės.



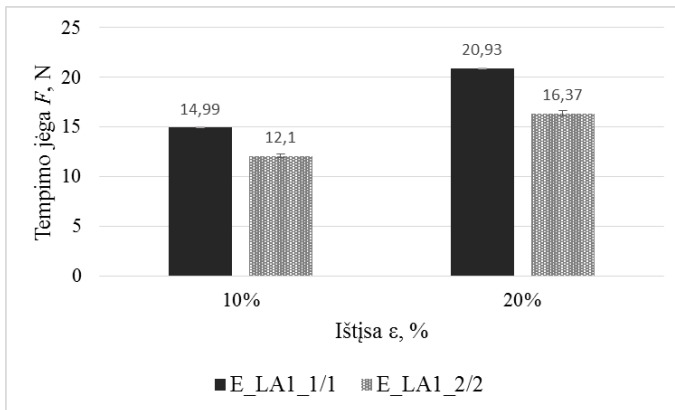
3.2 pav. II pynimo bandinių tempimo jėgos ir elastomerinio ataudinio siūlo kiekio priklausomybė, esant 10 % ir 20 % išťažai

3.2 pav. pateikti rezultatai atskleidžia, kad bandinio demonstruojamos tempimo jėgos ir ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo į medžiagą raporto tankumo priklausomybė nėra tiesinė. Kaip ir tikėtasi, bandiniai su didžiausiu ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo raportu (E_LA1_1/1 grupė) pasižymėjo didžiausiomis tempimo jėgos vertėmis: 14,99 N, tempiant iki 10 % fiksuotos išťažos ir 20,93 N, tempiant iki 20 % fiksuotos išťažos. Ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus du kartus (E_LA1_1/2 grupė, įterpimas kas antroje eilutėje), bandinių tempimo jėga sumažėjo, tačiau pokyčio dydis nebuvo lygiavertis siūlo kiekio sumažinimui. Minėtus bandinius ištempus iki 10 % fiksuotos išťažos, tempimo jėga sumažėjo 22,62 %, t. y. siekė 77,38 % tempimo jėgos, palyginti su bandiniais, su ataudiniu elastomeriniu siūlu kiekvienoje eilutėje (E_LA1_1/1 grupė, toliau – etaloniniais bandiniais). Kiek didesnis tempimo jėgos pokytis nustatytas bandinius tempiant iki 20 % fiksuotos išťažos. Šiuo atveju nustatyta 28,81 % mažesnė tempimo jėga, t. y. tempimo jėga siekė 71,19 %, palyginti su etaloniniais bandiniais.

Pabrėžtina, kad ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus dar du kartus (E_LA1_1/4 grupė, įterpimas kas ketvirtoje eilutėje), tempimo jėgos rezultatų pokytis – ženkliai mažesnis. Tempiant iki 10 % fiksuotos išťažos, bandinių tempimo jėga siekė 11,47 N, taigi, palyginti su etaloniniais bandiniais, kuriuose ataudinio elastomerinio siūlo kiekis yra keturis kartus didesnis, jų tempimo jėgos vertė siekė 76,52 % etaloninių bandinių tempimo jėgos. Nustatyta, kad gautų rezultatų skirtumas siekė tik 0,13 N (0,87 %), palyginti su bandiniais, kuriuose ataudinis siūlas įterptas kas antroje eilutėje (E_LA1_1/2 grupė). Tokius pačius bandinius ištempus iki 20 % fiksuotos išťažos, rezultatų pokytis buvo kiek didesnis. Šiuo atveju bandinių tempimo jėga siekė 66,26 % etaloninių bandinių tempimo jėgos ir buvo tik 4,97 % mažesnė, nei bandinių, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas įterptas kas antroje eilutėje (E_LA1_1/2 grupė).

Taigi, projektavimo ir gamybos metu gaminio tempimo jėgos padidinimas, keičiant ataudinių siūlų įtempimo tankumą, turi būti išsamiai analizuojamas ir negali būti grindžiamas tiesinės priklausomybės hipoteze.

Nustatyta, kad vienodas absoliutinis ataudinio siūlo kiekis gali nulemti skirtingas tempimo jėgos vertes, jei ataudinio elastomerinio siūlo įtempimo į mežginį raportas bus skirtingas. Ši tendencija matoma nagrinėjant bandinių, kuriuose toks pats absoliutinis ataudinio elastomerinio siūlo kiekis įterptas skirtingu tankumu, elgseną (E_LA1_1/1 ir E_LA1_2/2 grupės, žr. 3.3 pav.).



3.3 pav. II pynimo bandinių tempimo jėgos ir elastomerinio ataudinio siūlo įtempimo raportas priklausomybė, esant 10 % ir 20 % ištįsai

Nustatyta, kad, ataudinį elastomerinį siūlą įterpiant į kiekvieną mežginio eilutę (E_LA1_1/1 grupė), gaunamos 23,88 % (tempiant iki 10 % fiksuotos ištįsos) ir 27,86 % (tempiant iki 20 % fiksuotos ištįsos) didesnės tempimo jėgos vertės, palyginti su bandiniais, kuriuose ataudinio elastomerinio siūlo įtempimo tankumas yra du kartus mažesnis, tačiau absoliutinis šio siūlo kiekis mežginyje yra toks pats (E_LA1_2/2 grupė, įterpiama po du siūlus į kas antrą eilutę). Taigi lemiamos įtakos tempimo jėgos vertei turi ne absoliutinis elastomerinio siūlo kiekis mežginyje, o jo išdėstymo tankumas.

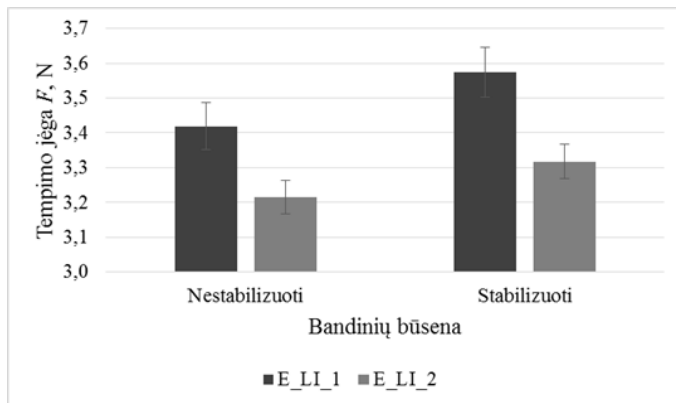
Visais aprašytais atvejais bandinio ištįsos padidėjimas lėmė itin didelį tempimo jėgos pokytį. Pabrėžtina, kad bandinio ištįsą padidinus du kartus, mežginių tempimo jėga padidėjo 20,84–39,63 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Šie rezultatai leidžia teigti, kad kompresinių gaminių generuojamos kompresijos prognozavimo metu gaminio ištįsa privalo būti įvertinama, tačiau ištįsos įtaka tempimo jėgai negali būti įvardijama vienareikšmiai.

3.2.2 Elastomerinio siūlo parametru įtaka tempimo jėgai

Elastomerinio siūlo, kaip ir anksčiau aprašyto gaminio pynimo, pasirinkimas gali turėti reikšmingos įtakos baigtinio produkto generuojamos kompresijos vertėms. Minėta, kad tempimo metu ima tiesintis mežginį sudarančios kilpos ar lankai, o ataudiniai elastomeriniai siūlai mežginio struktūroje yra išsidėstę santykiškai tiesiai. Taigi, dėl santykiškai tiesaus išsidėstymo mežginio struktūroje, mažų ištįsų zonoje didžiausią apkrovos dalį patiria ataudiniai siūlai. Dėl šios priežasties mažų ištįsų

zonoje tempimo jėga reikšmingai paveikia tik elastomerinio siūlo šerdinį elementą (PU). Remiantis ankstesnių tyrimų duomenimis, galima teigti, kad elastomerinio siūlo apvejančiojo elemento pluoštinė sudėtis ženklios įtakos tempimo jėgai ir generuojamai kompresijai neturi [55]. Elastomerinio ataudinio siūlo ilginio tankio įtaka tempimo jėgos dydžiui yra nagrinėta ankstesniuose darbuose [55].

Siekiant iširti elastomerinio siūlo ilginio tankio įtaką mezginių be ataudinių siūlų mechaninėms savybėms, atlikti gaminių elementų, numegztų „III“ pynimu (lastikinio pynimo 1+1 imitacija) tempimo tyrimai, bandinius ištempiant iki 15 % fiksuotos ištiesos (rezultatai pateikiami 3.4 pav.). Tiriamieji bandiniai skiriasi tiek bendru elastomerinio siūlo, tiek jo šerdies (PU) ilginiu tankiu (E_{LI_1} : $T = 120 \text{ tex}$, $T_s = 45 \text{ tex}$; E_{LI_2} : $T = 78 \text{ tex}$, $T_s = 12 \text{ tex}$). Abiejų bandinių grupių elastomeriniai siūlai apvyti tokios pačios pluoštinės sudėties ir ilginio tankio komponentais (PA, 7,8 tex), taip pat mezginius sieja kiti vienodi parametrai: pynimas, pagrindo siūlo pluoštinė sudėtis ir ilginis tankis bei elastomerinio siūlo pradinis įtempis mezgimo metu. Kiekvienam eksperimentiniam taškui gauti buvo atlikti devyni elementarieji bandymai. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas buvo 1,35–3,35 %, priklausomai nuo bandinių grupės.



3.4 pav. III pynimo bandinių tempimo jėgos ir elastomerinio siūlo ilginio tankio priklausomybė

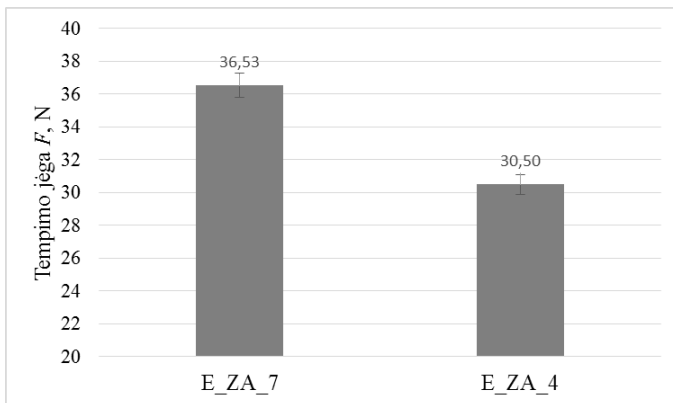
Išanalizavus tempimo iki fiksuotos ištiesos bandymų rezultatus, nustatyta, kad nestabilizuoti bandiniai su didesnio ilginio tankio, t. y. 120 tex, elastomeriniais siūlais (bandinių grupė E_{LI_1}) generuoja 6,4 % didesnes tempimo jėgos vertes, nei bandiniai, kuriuose panaudotas mažesnio ilginio tankio, t. y. 78 tex, elastomerinis siūlas (bandinių grupė E_{LI_2}). Palyginus tų pačių bandinių grupių stabilizuotų bandinių tempimo jėgos rezultatus, nustatytas kiek didesnis tempimo jėgos verčių skirtumas – E_{LI_1} grupės bandiniai demonstravo 7,8 % didesnes tempimo jėgos vertes, palyginti su E_{LI_2} grupės bandiniais.

Taigi, kaip ir tikėtasi, mezginiai su didesnio ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu pasižymi didesnėmis tempimo jėgos vertėmis. Pabrėžtina, kad tirtų bandinių grupių elastomerinių siūlų šerdinio elemento ilginis tankis tarpusavyje skyrėsi 3,75 karto, t. y. 275 % (E_{LI_1} : $T_s = 45 \text{ tex}$, E_{LI_2} : $T_s = 12 \text{ tex}$). Todėl galima teigti, kad reikšmingas elastomerinio siūlo šerdinio komponento ilginio tankio padidėjimas nedaro itin ženklaus poveikio tempimo jėgos vertėms mažų ištiesų zonoje.

Todėl, įvertinus aukštą elastomerinio siūlo šerdinio elemento žaliavos (PU) kainą, gauti rezultatai yra itin aktualūs optimizuojant kompresinių mezginių gamybos procesą ir gerinant ekonominius rodiklius. Mažiau sunaudojant sintetinio heterograndžio pluošto, tikėtina mažesnė tarša ir ekologiškesnis gamybos procesas.

Teigiama, kad mezgimo metu sunaudojamo elastomerinio siūlo kiekį veikia šio siūlo įtempis mezgimo metu – didesnis įtempis nulemia mažesnį suvartojamo siūlo kiekį. Mažesnis suvartojamų žaliavų kiekis yra itin aktualus gamybos ekonomiškumui, tačiau svarbu atkreipti dėmesį, kad padidinus siūlo įtempį, mažesnis absoliutinis elastomerinio siūlo kiekis turės sudaryti tą patį kilpų ar lankų kiekį pagaminto mezginio sandaroje. Kitaip tariant, mezginio eilutėse išsidėstęs elastomerinis siūlas bus labiau įsitempęs.

Siekiant įvertinti ataudinio elastomerinio siūlo pradinio įtempio mezgimo metu įtaką tempimo jėgos vertėms, suprojektuoti ir pagaminti „I“ pynimo (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais) bandiniai, kurie skiriasi minėtu parametru. Tyrimams pasirinkti 4 cN/tex ir 7 cN/tex dydžio pradiniai elastomerinio ataudinio siūlo įtempiai mezgimo metu (atitinkamai E_ZA_4 ir E_ZA_7 bandinių grupės). Bandiniai buvo išstemti iki 30 % fiksuotos ištiesos, bandymų rezultatai pateikiami 3.5 pav. (trijų elementariųjų bandymų vidurkis, eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas V svyruoja tarp 0,32–2,13 %, priklausomai nuo bandinių grupės).



3.5 pav. I pynimo bandinių tempimo jėgos priklausomybė nuo ataudinio elastomerinio siūlo pradinio įtempio mezgimo metu, esant 30 % fiksuotai ištiesai

Remiantis gautais duomenimis, nustatyta, kad bandiniai su didesniu ataudinio elastomerinio siūlo įtempiu mezgimo metu demonstruoja didesnes tempimo jėgos vertes. Siūlo įtempį mezgimo metu sumažinus iki 4 cN/tex (E_ZA_4 grupė), bandinių demonstruojama tempimo jėga sumažėja 6,03 N, palyginti su bandiniais, kuriuose elastomerinio ataudinio siūlo įtempis mezgimo metu yra 7 cN/tex (E_ZA_7 grupė). Taigi mezgimo parametrų įtaka mezginės medžiagos tempimo jėgai yra itin aktuali. Akivaizdu, kad net ir nedidelis siūlo įtempio pakitimas gali turėti įtakos baigtinio gaminio generuojamai kompresijai. Neteisingai valdomas siūlo įtempis mezgimo metu sukelia tempimo jėgos pokyčius ir tai gali turėti itin reikšmingos įtakos baigto gaminio charakteristikų neatitikčiams. Akcentuotina, kad siūlo įtempio sumažėjimo įtaka tempimo jėgos sumažėjimui nėra proporcinga – elastomerinio ataudinio siūlo įtempį sumažinus beveik du kartus, tempimo jėga sumažėjo 16,5 %.

3.2.3 Netąsių elementų įtaka tempimo jėgai

Teigiama, kad į megzta kompresinį gaminį įterpto netąsaus elemento užimamas plotas sukuria atitinkamo dydžio netąsias zonas gaminyje, taip atitinkamu dydžiu sumažindamas tąsiją gaminio dalį. Ankstesni megzta kompresinių medžiagų su smulkiais netąsiais elementais (1,9–7,6 % santykinio ploto) tyrimai parodė, kad bandinių tempimo jėgos vertės didėja, didėjant netąsaus elemento užimamam santykiniam plotui [93]. Atkreiptinas dėmesys į tai, kad kompresinių ortopedinių įtvarų struktūroje esančių netąsių elementų santykinis plotas yra ženkliai didesnis, o jų forma ir išsidėstymo kryptis nėra vienoda.

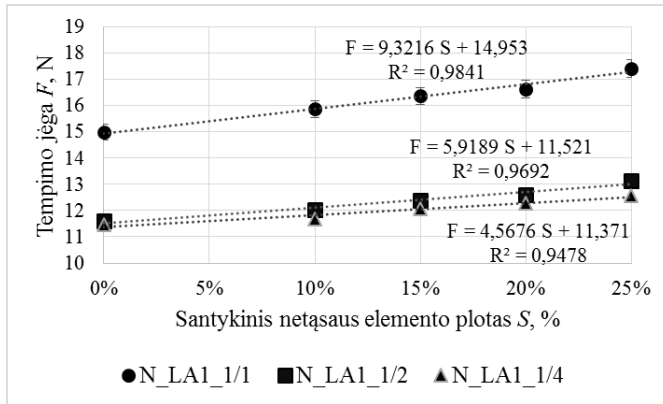
Atlikus kompresinių įtvarų ir jų sandaroje naudojamų netąsių elementų apžvalgą, siūlytina netąsius elementus skirstyti pagal paskirtį, išskiriant tris pagrindines grupes: medicininės paskirties elementai, funkciniai elementai ir dekoratyvieji elementai. Medicininės paskirties netąsūs elementai (pvz., šoniniai kelio sąnario stabilizatoriai) yra būtini, jų santykinis plotas ar forma nekoreguotina arba gali būti koreguojama tik atsižvelgus į medikų rekomendacijas. Funkcinės paskirties netąsių elementų (pvz., įtvoro užsegimui ar įtvirtinimui skirtų elementų) kiekis, plotas ir forma gali būti koreguojama, išlaikant jų pagrindinės funkcijos efektyvumą. Dekoratyvieji elementai, pavyzdžiui, firminiai ženklai ir kiti su jais susiję netąsūs elementai nėra būtini įtvoro struktūroje, todėl siūlytina jų atsisakyti, pakeičiant megztais elementais, prekės ženklą reprezentuojančiais spalvų deriniais ar kitais įtvoro tamprumo nepakeičiančiais elementais arba jų kiekį sumažinti maksimaliai.

Siekiant įvertinti netąsių elementų santykinio ploto įtaką mezginių generuojamos kompresijos vertėms, suprojektuoti ir pagaminti „II“ pynimo (ataudinio pynimo lastikinio pynimo 1+1 bazėje) megztinės medžiagos bandiniai su centre, lygiagrečiai eilučių kryptim, įtvirtintais netąsiais elementais, užimančiais skirtingą santykinį bandinio plotą (0 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 %). Bandinių mezgimui pasirinkti trys ataudinio siūlo įterpimo tankumo variantai: ataudinį siūlą įterpiančią kiekvieną mezginio eilutę, į kas antrą mezginio eilutę arba į kas ketvirtą mezginio eilutę (atitinkamai N_LA1_1/1, N_LA1_1/2 ir N_LA1_1/4 bandinių grupės). Tyrimams atlikti tempimo bandymai iki fiksuotos 10 % ir 20 % ištįsos.

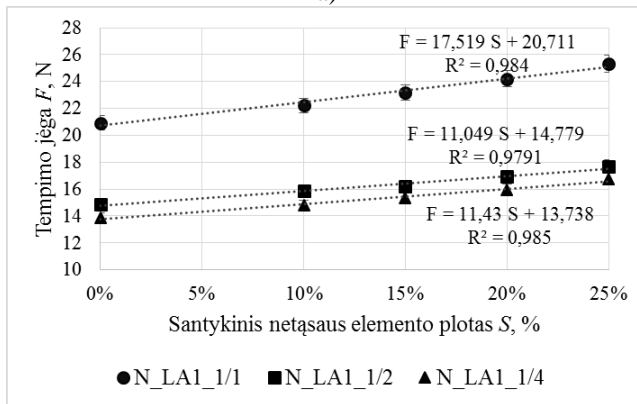
Gauti rezultatai (penkių elementariųjų bandymų vidurkis) pateikiami 3.3 lent ir 3.6 pav. Eksperimento informatyvumas patikrintas Fisher kriterijumi, gautos vertės siekia $F = 7,2 - 22,3$, $F_{lent} = 6,39$. Eksperimento informatyvumas tinkamas ($F > F_{lent}$) ir gautiems rezultatams galima taikyti matematinės analizės metodus. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas $V = 0,44 - 3,26$ %, priklausomai nuo bandinių grupės ir ištįsos.

3.3 lentelė. II pynimo bandinių su skirtingu elastomerinio ataudinio siūlo įterpimo tankumu tempimo jėga, priklausomai nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto bandinyje, esant 10 % ir 20 % fiksuotai išťažiai

Išťažja	10 %					20 %				
	Netąsaus elemento užimama bandinio dalis									
Bandinių kodas	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %
N_LA1_1/1	14,99	15,87	16,37	16,64	17,42	20,93	22,22	23,17	24,19	25,31
N_LA1_1/2	11,60	12,03	12,39	12,60	13,13	14,90	15,84	16,21	16,97	17,71
N_LA1_1/4	11,47	11,66	12,06	12,28	12,58	13,86	14,79	15,31	15,97	16,76



a)



b)

3.6 pav. Netąsaus elemento santykinio ploto įtaka II pynimo bandinių tempimo jėgos vertei, esant 10 % (a) ir 20 % (b) fiksuotai išťažiai

Išanalizavus gautus rezultatus, teigtina, kad tempiant iki 10 % fiksuotos išťažios, bandinių su didžiausiais (25 % santykinio ploto) netąsiais elementais tempimo jėga padidėja 9,68–16,21 %, o tempiant iki 20 % fiksuotos išťažios, tempimo jėgos vertės yra net 18,86–20,93 % didesnės, palyginti su bandiniais be netąsaus elemento, priklausomai nuo bandinių grupės.

Tyrimais nustatyta, kad bandinio generuojama kompresija yra tiesiškai priklausoma nuo netąsaus elemento užimamo santykinio ploto, – taip pat, kaip ir

mažesnių netąsių elementų atveju. Didinant netąsaus elemento užimamą plotą gaminyje, bandinio tempimo jėga, taip pat ir generuojama kompresija tiesiškai didėja. Visais tirtaisiais atvejais nustatyta tokia pati kompresijos didėjimo tendencija, neatsižvelgus į ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą ar ištisos dydį. Gautų tiesinių lygčių apibrėžties koeficiento vertės yra artimos vienetai ($R^2 = 0,9478 - 0,985$, priklausomai nuo bandinių grupės ir ištisos dydžio). Taigi gauta stipri netąsaus elemento santykinio ploto ir bandinio generuojamos kompresijos priklausomybė, neatsižvelgiant į ataudinio siūlo įterpimo tankumą.

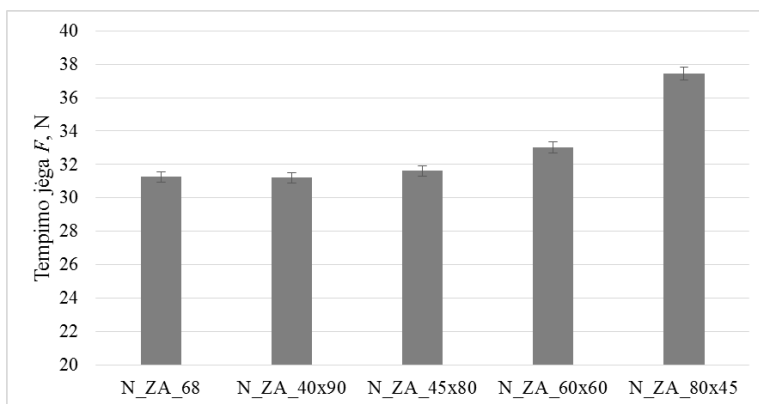
Iki šiol atlikti tyrimai buvo orientuoti į netąsaus elemento užimamo ploto įtaką tempimo jėgai ir kompresijai, tačiau nebuvo tirta tokio elemento formos įtaka minėtoms charakteristikoms. Siekiant iširti netąsaus elemento formos įtaką tempimo jėgai ir generuojamai kompresijai, tyrimams suprojektuoti ir pagaminti kompresinio gaminio elementai su skirtingų formų, tačiau tokio paties ploto netąsiais detalėmis bandinio centre.

Bandinių mezgimui pasirinktas „I“ pynimas (ataudinis žakardinis pynimas su ataudiniais siūlais). Pasirinktos keturios skirtingos netąsių elementų formos, užimančios vienodą plotą: apskritimas, kvadratas ir dvių skirtingų matmenų stačiakampiai. Penktas bandinio su netąsiu elementu variantas gautas vieną iš stačiakampių prisiuvus kita kryptimi (vertikaliai). Netąsūs elementai bandinio struktūroje įtvirtinti lygiagrečiai eilučių kryptims, t. y. elemento aukštis atitinka bendrą užimamų kilpų eilučių aukštį bandinyje. Kiekvieno iš minėtų netąsių elementų plotas yra $0,0036 \text{ m}^2$, o užimamas santykinis plotas bandinyje yra 18 %. Tiriamiesiems bandiniams atlikti tempimo bandymai iki fiksuotos 20 % ištisos. Tyrimų metu gauti rezultatai pateikti 3.4 lent. ir 3.7 pav. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas siekia 0,18–2,09 %, priklausomai nuo bandinių grupės.

Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad netąsaus elemento forma veikia bandinio tempimo jėgą ir generuojamą kompresiją. Mažiausia tempimo jėga būdinga bandiniams su stačiakampio formos netąsiais elementais žemiausia stačiakampio vertikalia kraštine ($40 \times 90 \text{ mm}$) ir apskritimo formos netąsiais elementais (atitinkamai, 31,20 N ir 31,25 N). Didžiausios tempimo jėgos vertės užfiksuotos tempiant bandinius su stačiakampio formos aukščiausiais netąsiais elementais ($80 \times 45 \text{ mm}$, prisiūtas vertikaliai, 37,43 N). Taigi, remiantis tyrimų rezultatais, skirtingos formos ar krypties netąsūs elementai bandinių tempimo jėgą pakeičia net iki 20 %.

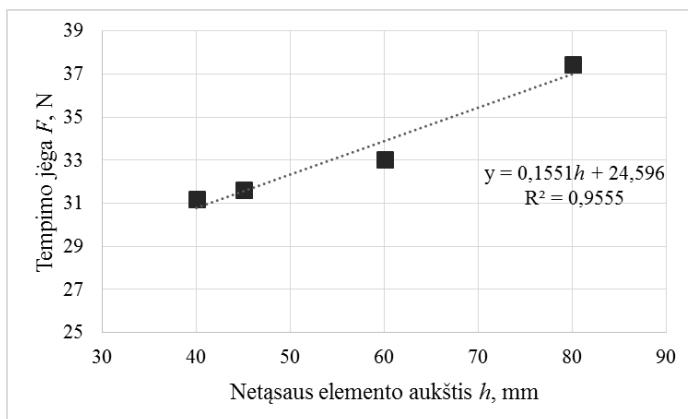
3.4 lentelė. I pynimo bandinių su skirtingos formos netąsiais elementais tempimo jėga ir kompresija, esant 20 % ištusiai

Bandinio kodas	Netąsaus el. forma	Tempimo jėga F , N	Kompresija P , kPa
N_ZA_68	Apskritimas	$31,25 \pm 0,04$	9,58
N_ZA_60x60	Kvadratas	$33,04 \pm 0,02$	10,13
N_ZA_40x90	Stačiakampis	$31,20 \pm 0,09$	9,56
N_ZA_45x80		$31,61 \pm 0,19$	9,69
N_ZA_80x45		$37,43 \pm 0,08$	11,47



3.7 pav. I pynimo bandinių tempimo jėgos ir netąsaus elemento formos priklausomybė, esant 20 % ištįsai

Nustatyta, kad egzistuoja priklausomybė tarp vienodo ploto stačiakampių netąsių elementų, įtvirtintų lygiagrečiai mezginio eilučių kryptimi, vertikalios kraštinės ilgio ir bandinio demonstruojamos tempimo jėgos: tempimo jėga didėja, didėjant netąsaus elemento aukščiui (tempimo kryptimi) (žr. 3.8 pav.). Nustatyta, kad stačiakampio vertikalios kraštinės ilgio ir tempimo jėgos priklausomybė gali būti aprašoma tiesine lygtimi ($R^2 = 0,9555$). Gauta priklausomybė leidžia projektavimo metu prognozuoti netąsaus elemento įtaką baigtinio gaminio parametrams.



3.8 pav. Vienodo ploto netąsaus elemento vertikalios kraštinės ilgio ir I pynimo bandinių tempimo jėgos priklausomybė

Pabrėžtina, kad ši priklausomybė negalioja bandiniams su skirtingų geometrinių figūrų formų netąsiais elementais. Tyrimais nustatyta, kad bandiniai su 68 mm skersmens apskritimo formos netąsiais elementais demonstruoja 31,25 N tempimo jėgą, o bandiniai su žemesniais, 60 mm aukščio, kvadrato formos netąsiais elementais rodo didesnę tempimo jėgą – 33,04 N. Remiantis anksčiau nustatyta netąsaus elemento aukščio ir tempimo jėgos priklausomybe, bandinio su 68 mm aukščio stačiakampio formos netąsiu elementu tempimo jėga galėtų būti artima 35 N. Taigi tai įrodo, kad netąsaus elemento forma veikia tempimo jėgą ir generuojamą

kompresiją. Tad pabrėžtina, kad skirtingų geometrinių figūrų formų netašų elementų poveikis negali būti vertinamas vienareikšmiai.

Tyrimais nustatyta, kad netašaus elemento kryptis taip pat daro ženklų poveikį tempimo jėgos dydžiui. Tokio paties ploto ir matmenų netašų elementą įtvirtinus kita kryptimi (bandiniai N_ZA_45x80 ir N_ZA_80x45), tempimo jėga kito net 18,4 %: bandiniuose su horizontaliai įtvirtintu netašiu elementu (N_ZA_45x80) nustatyta 31,61 N tempimo jėga, o šį elementą pritvirtinus vertikaliai (N_ZA_80x45), tempimo jėga siekė 37,43 N. Taigi nagrinėjamu atveju bandinio tempimo jėga padidėjo 5,82 N, atitinkamai generuojama kompresija padidėjo 1,78 kPa.

Toks kompresijos pokytis, sukeltas netašų elementų, itin svarbus projektuojant konkrečios kompresijos ar ribinius kompresijos klasės gaminius. Akivaizdu, kad, vertinant netašų elementų įtaką baigtinio gaminio generuojamai kompresijai, būtina įvertinti ne tik santykinį netašų elementų plotą, bet ir jų formą bei padėtį gaminyje.

Apibendrinimas. Ataudinių siūlų įterpimas į gaminį padidina generuojamos kompresijos vertes, o pasirinkus skirtingus įterpimo tankumus, galima keisti generuojamą kompresiją skirtingose gaminio vietose. Nustatyta, kad ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo į medžiagą raportas lemia tempimo jėgos dydį, tačiau šis poveikis nėra tiesinio pobūdžio. Didžiausiomis tempimo jėgos vertėmis pasižymi mezginiai, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas įterptas didžiausiu tankumu (kiekvienoje eilutėje). Ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą ir kiekį sumažinus du kartus (įterpiant į kas antrą eilutę), tempimo jėga sumažėjo 22,62–28,81 % (atitinkamai esant 10 % ir 20 % išťažisai). Ataudinio elastomerinio siūlo kiekį sumažinus dar du kartus (įterpiant kas ketvirtoje eilutėje), tempimo jėgos sumažėjimas siekė tik 0,87–4,97 % (atitinkamai, esant 10 % ir 20 % išťažisai).

Nustatyta, kad ne absoliutinis ataudinio elastomerinio siūlo kiekis, o jo paskirstymas mezginyje labiausiai lemia tempimo jėgos vertes: bandinių, kuriuose į kiekvieną eilutę įterpta po vieną ataudinį elastomerinį siūlą, tempimo jėga yra 23,88–27,86 % (priklausomai nuo išťažos dydžio) didesnė, nei bandinių, kuriuose į kas antrą mezginio eilutę įterpta po du ataudinius siūlus. Gauti rezultatai leidžia optimizuoti kompresinių mezginių gamybą. Nustatytos tendencijos yra itin aktualios kompresinių gaminių projektavimui ir išankstinio kompresijos dydžio vertinimui.

Elastomerinio siūlo šerdinio elemento (PU) ilginis tankis yra svarus veiksnys, formuojantis ir nulemiantis mezginio be ataudinių siūlų elgseną tempimo metu. Tačiau elastomerinio siūlo šerdinio elemento ilginis tankis nėra tiesiogiai proporcingas tempimo jėgai: šerdinio elemento ilginį tankį padidinus 3,75 karto, tempimo jėga padidėjo tik 6,4–7,8 %, priklausomai nuo bandinių stabilizavimo būsenos. Elastomerinio siūlo pradinį įtempį padidinus nuo 4 cN/tex iki 7 cN/tex, mezginių tempimo jėga padidėjo 16,5 %. Taigi, projektavimo metu būtina tiksliai įvertinti pageidaujamai tempimo jėgai generuoti reikiamą elastomerinio siūlo kiekį, ilginį tankį bei pradinį įtempį, taip pagerinant gamybos ekonominius rodiklius.

Nustatyta, kad 25 % santykinio ploto netašaus elementas bandinio tempimo jėga gali padidinti iki 16,21 %, tempiant iki 10 % fiksuotos išťažos, ir net iki 20,93 %, tempiant iki 20 % fiksuotos išťažos. Bandinio generuojama kompresija yra tiesiškai proporcinga netašaus elemento užimamam santykiniam plotui – didinant netašaus elemento užimamą plotą gaminyje, jo generuojama kompresija tiesiškai didėja,

neatsižvelgiant į ataudinio siūlo įterpimo tankumą. Netąsaus elemento forma ir kryptis veikia tempimo jėgą ir generuojamą kompresiją – vienodo ploto, tačiau skirtingų formų netąsūs elementai bandinių tempimo jėgą pakeičia iki 20 %. Egzistuoja priklausomybė tarp vienodo ploto stačiakampių netąsių elementų vertikalios kraštinės ilgio ir bandinio tempimo jėgos – tempimo jėga didėja, didėjant netąsaus elemento aukščiui. Gauti duomenys sudaro sąlygas tiksliau prognozuoti projektuojamo ortopedinio įtvoro generuojamą kompresiją.

3.3 Antropometrinių duomenų įtakos generuojamai kompresijai tyrimas

Mokslinėje literatūroje nurodoma, kad, norint generuoti apspaudimo jėgą, būtina jai priešinga tempimo jėga. Pritaikius Laplace dėsnį, kompresiniai įtvarai dažnai projektuojami pasitelkus cilindrinis žmogaus galūnių modelius [176], o generuojamos kompresijos dydis įvertinamas pagal Laplace formulę (5). Remiantis šia priklausomybe, perimetrinė mezgto kompresinio gaminio generuojama apspaudimo jėga yra priklausoma nuo asmens antropometrinių duomenų, t. y. kūno galūnės, kuriai skirtas įtvaras, apimties. Taigi, norint pasiekti reikiamą kompresijos dydį, kompresinio įtvoro perimetras turi tam tikru dydžiu skirtis nuo galūnės perimetro.

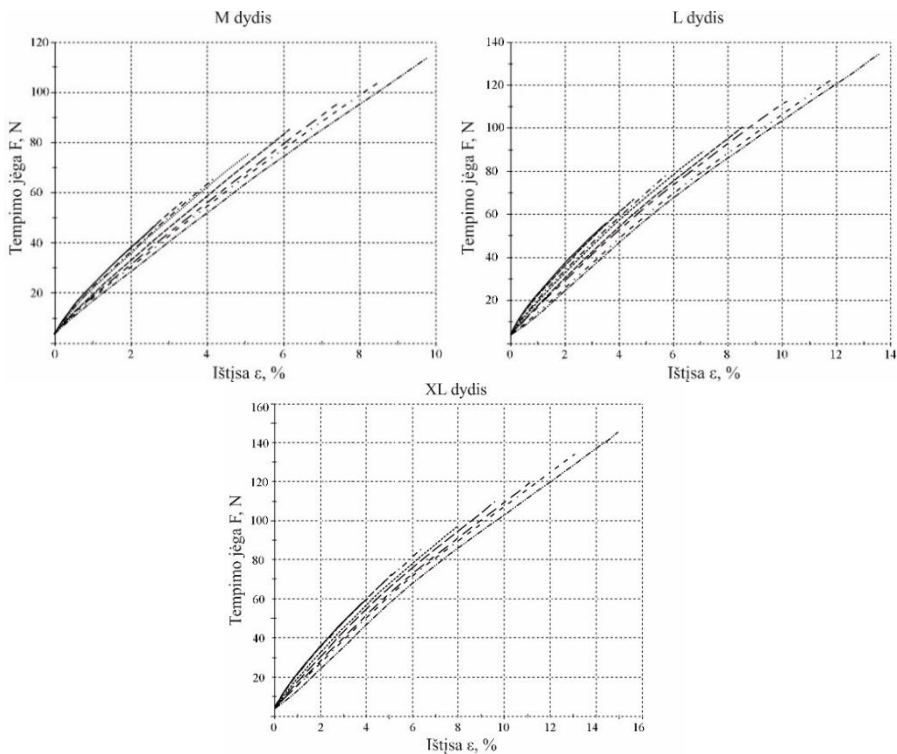
Teigiama, kad medžiagos mechaninės savybės lemia baigto gaminio mechanines savybes ir elgseną deformacijų metu. Nustatyta, kad netąsių elementų įterpimas į mezgto kompresinio gaminio struktūrą daro ženkliai įtaką generuojamos kompresijos vertėms. Tos pačios paskirties gaminiai, pagaminti iš vienodais parametrais pasižyminčios žaliavos ir turintys vienodus, tokio paties ploto, netąsius elementus, tačiau skirti skirtingoms kūno galūnėms ar jų dalims, gali tarpusavyje skirtis savo forma, matmenimis ir netąsių elementų užimamu santykinu plotu. Tokia pati sąlyga tikėtina ir tos pačios galūnės, tačiau skirtingo dydžio įtvorų, atveju. Tai įvertinus, galima daryti prielaidą, kad, siekiant generuoti reikiamą kompresijos dydį, skirtingo dydžio gaminių tempimo jėgos vertės turi skirtis.

Tolimesniam tyrimui pasirinkti vienos kūno pozicijos (kelio) skirtingų, dažniausiai vartojamų, dydžių (M, L ir XL) kompresiniai įtvarai. Minėta, kad netąsių elementų įterpimas į gaminio struktūrą ir įvairūs gamybos procesai daro įtaką gaminio generuojamai kompresijai. Todėl šiam tyrimui suprojektuoti ir pagaminti baigtiniai įtvarai, turintys visus reikiamus netąsius sandaros elementus ir baigtam produktui būdingą formą bei išvaizdą. Šiuo atveju, netąsius elementus įtvoro struktūroje sudaro du vertikalūs dalinai lankstūs metaliniai šoniniai stabilizatoriai kelio šonuose ir silikoninis žiedas, skirtas prilaikyti kelio girnelę. Naudojamų netąsių elementų užimamas santykinis plotas svyruoja nuo 20,0 % iki 22,0 %, priklausomai nuo įtvoro dydžio (22,0 % – M dydžio įtvaras, 20,5 % – L dydžio įtvaras, 20,0 % – XL dydžio įtvaras). Tyrimui pasirinktos aštuonios tikslinės kompresijos vertės, priklausančios vienai iš keturių kompresijos klasių (pagal standartą RAL-GZ-387/1:2008). Tikslinės kompresijos vertės pritaikius Laplace lygtyje (5), apskaičiuotos būtinos skirtingų dydžių įtvorų tempimo jėgos vertės (3.5 lent.).

3.5 lentelė. Apskaičiuotos skirtingų dydžių įtvarų tempimo jėgos vertės, būtinos generuoti pasirinktą kompresiją

Kompresijos klasė		I	II				III			IV
Tikslinė kompresija	mmHg	20	24	28	32	36	40	44	48	
	kPa	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40	
Bandinio kodas		Tempimo jėga, N								
G_K_M		47,25	56,71	66,16	75,61	85,06	94,51	103,96	113,41	
G_K_L		55,43	66,52	77,61	88,70	99,78	110,87	121,96	133,04	
G_K_XL		60,13	72,16	84,19	96,22	108,24	120,27	132,30	144,32	

Siekiant nustatyti pasirinktai tikslinei kompresijai generuoti būtiną įtvoro perimetro ir galūnės perimetro santykinį skirtumą, buvo nustatytas įtvoro ištiesos dydis. Šiuo tikslu buvo atlikti tempimo bandymai, bandinius tempiant iki fiksuotos tempimo jėgos (jėga pasirinkta remiantis atliktų skaičiavimų rezultatais, pateikiamais 3.5 lent.). Atliktų bandymu metu gautos tempimo jėgos kreivės pavaizduotos 3.9 pav. – kiekviena paveiksle pateikta kreivė atitinka tam tikrą, 3.5 lent. nurodytą, tempimo jėgos vertę.



3.9 pav. Skirtingų dydžių įtvarų ištiesos ir tempimo jėgos priklausomybė

Atsižvelgus į pateikiamų kreivių pobūdį, akivaizdu, kad, norint pasiekti didesnę bandinio ištiesą, būtina didesnė tempimo jėga. Nustatyta, kad didesnei tempimo jėgai pasiekti reikia didesnės bandinio ištiesos, kuri nulemia aukštesnes to paties bandinio generuojamos kompresijos vertes. Taigi, norint pasiekti atitinkamą kompresiją,

skirtingų dydžių įtvarams būtinos skirtingos ištiesos vertės. Panaši priklausomybė galioja ir vieno dydžio įtvaram pritaikant skirtingoms kompresijos klasėms – norint pasiekti skirtingas kompresijos klases, kiekvienai klasei būtina skirtingo dydžio ištiesa. Eksperimento metu gautos tirtųjų įtvaram ištiesos vertės reikiamai tikslinei kompresijai pasiekti pateiktos 3.6 lent. (pateikiamos penkių elementariųjų bandymų vidutinės vertės). Eksperimento informatyvumas patikrintas Fisher kriterijumi, gautos vertės siekia $F = 2113581 - 6553736$, $F_{lent} = 4,35$. Eksperimento informatyvumas tinkamas ($F > F_{lent}$) ir gautiems rezultatams galima taikyti matematinės analizės metodus. Bandymų rezultatų variacijos koeficientas yra 0,1–2,53 %.

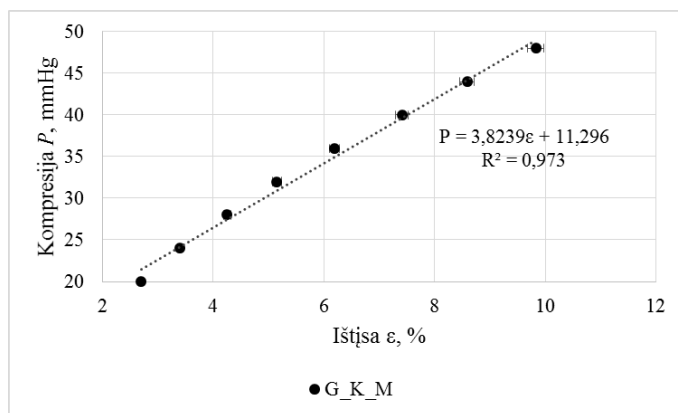
3.6 lentelė. Skirtingų dydžių įtvaram ištiesos vertės, būtinos pasiekti tikslinę kompresiją

Kompresijos klasė		I		II		III			IV
Tikslinė kompresija	mmHg	20	24	28	32	36	40	44	48
	kPa	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40
Bandinio kodas		Ištiesa, %							
G_K_M		2,70	3,40	4,25	5,15	6,19	7,41	8,59	9,83
G_K_L		3,52	4,54	5,76	7,12	8,58	10,17	11,83	13,56
G_K_XL		4,07	5,14	6,47	7,96	9,57	11,27	13,08	14,99

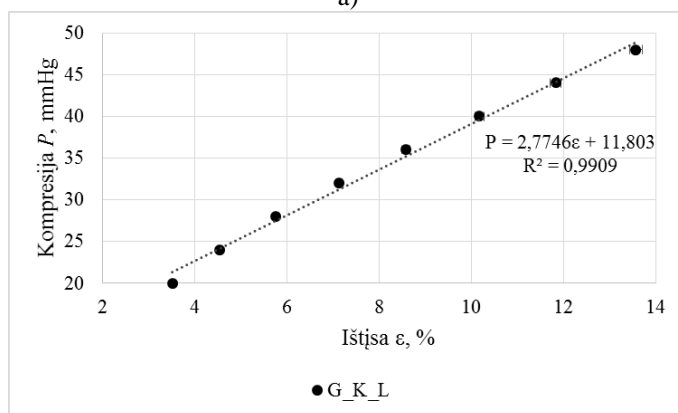
Taigi, remiantis gautais duomenimis, norint pasiekti standarte RAL-GZ 387/1:2008 aprašytas kompresijų klases ir pasirinktas generuojamos kompresijos vertes, tirti kompresiniai ortopediniai įtvaram turi būti ištempiti nuo 2,7 % ištiesos (M dydžio įtvaram, pirmoji kompresijos klasė), iki 15,0 % ištiesos (XL dydžio įtvaram, ketvirtoji kompresijos klasė). Nustatyta, kad visais tirtaisiais atvejais mažiausio dydžio įtvaramui (M) reikėjo mažiausių ištiesos verčių, o didžiausio dydžio įtvaramui (XL) – didžiausių. Mažos generuojamos kompresijos zonoje (pirmoji kompresijos klasė ir antrosios kompresijos klasės pradžia), skirtumas tarp skirtingų dydžių įtvaram (M, L ir XL) ištiesos buvo nežymus ir neviršijo 2 %. Didelės generuojamos kompresijos zonoje (trečioji ir ketvirtoji kompresijos klasės) šis skirtumas siekė nuo 3,4 % iki 5,2 %.

Pabrėžtina, kad net 1 % didesnė gaminio ištiesa (nepriklausomai nuo įtvaram dydžio) gali pakeisti generuojamos kompresijos vertę ir gaminio kompresijos klasę. Ši informacija yra itin svarbi tobulinant gaminių projektavimo procesą.

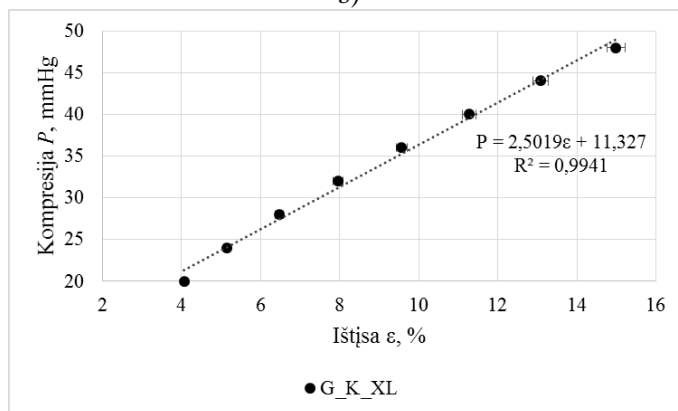
Remiantis Laplace priklausomybe (5), gaminio generuojama kompresija yra tiesiogiai priklausoma nuo tempimo jėgos dydžio. Apskaičiuotos bandinių generuojamos kompresijos vertės ir įtvaram ištiesos ir generuojamos kompresijos koreliacija pateikta 3.10 pav. Nustatyta, kad gauta priklausomybė gali būti aprašoma tiesine lygtimi, nepriklausomai nuo įtvaram dydžio. Gautas tiesinės lygtys pasižymi itin aukštu apibrėžties koeficientu ($R^2 = 0,973 - 0,9941$).



a)



b)



c)

3.10 pav. Skirtingų dydžių įtvarų generuojamos kompresijos priklausomybė nuo ištįsos: a) M dydis; b) L dydis; c) XL dydis

Gauta priklausomybė patvirtina, kad kuo labiau yra ištempiamas megztas kompresinis įtvaras, tuo didesnės kompresijos vertės yra generuojamos į žmogaus galūnę. Remiantis gautais eksperimentiniais duomenimis, pirmajai kompresijos klasei būdingas kompresijos vertes tiriamieji įtvarai generuoja ištempti iki 3–4 % ištįsos, o

norint pasiekti aukščiausiąją, ketvirtą, kompresijos klasę, reikiama išțsa pasiekia 10–15 %.

Apibendrinimas. Remiantis gautų duomenų analize, galima teigti, kad projektavimo metu būtina atsiųvelgti ne tik į megztinės medųziagos struktūros ir mechanines charakteristikas, bet ir viso baigtinio gaminio parametrus: planuojamą įtvoro dydį, sandarą, netaųsių elementų dydį ir užimamą santykinį plotą, įtvoro kompresijos klasę. Papildomi netaųsūs elementai įprastai yra vieno, standartinio, dydžio, todėl, juos įterpus į skirtingo dydžio gaminius, taųsios tekstilinės įtvoro dalies santykinio ploto sumaųžėjimas yra skirtingas. Tyrimais nustatyta, kad norint pasiekti reikiamą kompresijos vertę, skirtingų dydžių ortopediniams kompresiniams įtvorams būtinos skirtingos išțisos vertės. Taigi, siekiant generuoti reikiamą kompresiją, skirtingo dydžio ar skirtingoms pozicijoms skirtų kompresinių įtvorų išțisos dydis turi skirtis. Vieno dydžio įtvorą pritaikant skirtingoms kompresijos klasėms, kiekvienai klasei taip pat būtina skirtingo dydžio išțsa. Įtvoro išțisos ir generuojamos kompresijos priklausomybė gali būti apraųsoma tiesine lygtimi. Generuojamos kompresijos vertinimas turi būti atliekamas atskirai kiekvieno dydžio įtvorui su visais baigtam gaminiui būdingais priedais.

Akcentuotina, kad net 1 % didesnė gaminio išțsa (nepriklausomai nuo įtvoro dydžio) gali pakeisti gaminio kompresijos klasę. Ši informacija yra itin svarbi tobulinant gaminių projektavimo procesą.

3.4 Relaksacijos proceso įtakos generuojamai kompresijai tyrimas

Kompresijos dydis, tiek tiesioginėje, tiek netiesioginėje matavimo metodikoje, vertinamas ištempimo iki fiksuotos išțisos ar fiksuotos tempimo jėgos momentu [15, 149, 177, 178]. Mokslininkų nustatyta, kad įraųzos relaksacijos procesas ilgainiui turi didelę įtaką tiek gaminio struktūroje veikiančioms vidinėms jėgoms, tiek gaminio matmenims. Daug įprastų kasdienio vartojimo megztų gaminių yra dėvimi ilgai, dažnai – didesnę dienos dalį. Įvairios paskirties medicininiai kompresiniai gaminiai yra taip pat ilgai dėvimi produktai, todėl ilgalaikės įraųzos relaksacijos įtaka šių gaminių generuojamų jėgų pokyčiui yra aktuali ir nagrinėtina tema.

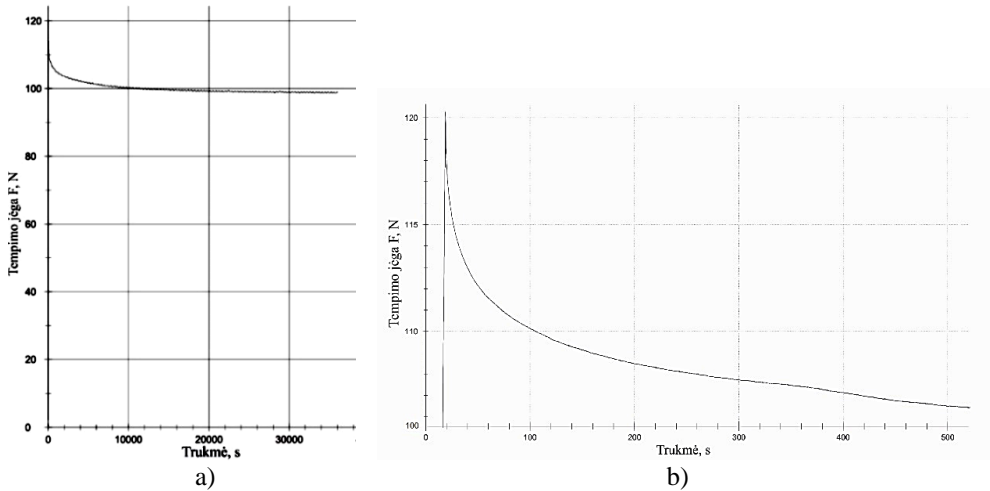
Toliau pateikiama tiek ilgalaikio, tiek trumpalaikio relaksacijos proceso įtaka baigtinio megzto kompresinio įtvoro ar jo elementų generuojamai kompresijai bei nustatoma optimali relaksacijos metu patiriamų pokyčių vertinimo trukmė.

3.4.1 Baigtinio gaminio relaksacijos proceso tyrimas

Šioje tyrimo dalyje nagrinėjamas baigtinis įtvoras, turintis visus reikiamus netaųsius sandaros elementus ir baigtam gaminiui būdingą formą. Tyrimui pasirinktas didžiausias iš ankstesniame skyrelyje apraųsytų kompresinių įtvorų – XL dydžio įtvoras (G_K_XL bandinių grupė). Kaip ir ankstesniu atveju, netaųsius elementus įtvoro struktūroje sudaro du vertikalūs dalinai lankstūs šoniniai stabilizatoriai kelio šonuose ir silikoninis žiedas, pritaikytas prilaikyti kelio girnelę (netaųsių elementų užimamas santykinis plotas 20,0 %).

Pasinaudojus 3.3 skyrelyje nustatyta tikslinei kompresijai pasiekti reikiama išțsa (ųr. 3.6 lent.), atlikti ilgalaikės įraųzos relaksacijos stebėjimo tyrimai. Ilgalaikio įraųzos relaksacijos proceso nagrinėjimui pasirinktas 10 val. trukmės laikotarpis,

imituojantis ilgesnės dienos dalies dėvėjimo trukmę. Siekiant generuoti 40 mmHg (5,33 kPa) kompresiją ir pasiekti 120 N tempimo jėgą, gaminys ištemptas iki 11,5 % ištišos ir stebėtas 36000 s (10 val.). Pasirinkto XL dydžio kompresinio įtvaro charakteringoji įtempių relaksacijos kreivė pateikta 3.11 pav. Išanalizavus įrašos relaksacijos proceso metu gautus duomenis, nustatytas nuolatinis demonstruojamos tempimo jėgos mažėjimas.



3.11 pav. XL dydžio įtvaro įrašos relaksacijos kreivė: a) visu relaksacijos periodu, b) pirmųjų 500 s periodu

Nustatyta, kad pradiniu įrašos relaksacijos proceso momentu (0 s) tempimo jėgos vertė siekė 120,13 N, tačiau paskutiniu įrašos relaksacijos proceso momentu (36000 s), tempimo jėga siekė tik 98,88 N. Taigi, nustatytas tempimo jėgos pokytis per pasirinktą 10 val. įrašos relaksacijos terminą siekė 21,25 N, atitinkamai kompresija sumažėjo 8,4 mmHg (1,12 kPa). Didžiausi tempimo jėgos pokyčiai nustatyti per įrašos relaksacijos proceso pirmąsias 100 s – tempimo jėgos dydžio pokytis siekė 10,43N, t. y. beveik pusė (49,1 %) pokyčio, patirto per visą įrašos relaksacijos laiką ($F_0 = 120,13$ N; $F_{100} = 109,70$ N; $F_{120} = 109,31$ N; $F_{150} = 108,86$ N; $F_{180} = 108,60$ N; $F_{200} = 108,33$ N). Per kitas 100 s (relaksacijos trukmė 200 s) tempimo jėgos vertė sumažėjo tik 1,37 N dydžiu. Remiantis tuo, detalesni įrašos relaksacijos proceso metu užfiksuoti tempimo jėgos duomenys ir pagal juos apskaičiuota tuo momentu generuojama kompresija pateikiama didėjančiu laiko intervalu (žr. 3.7 lent.).

Gauti duomenys atskleidžia, kad generuojamos kompresijos dydis palaipsniui mažėja. Toks generuojamos kompresijos pokytis atitinka vienos kompresijos klasės dydžio skirtumą, todėl šie kompresijos vertės pokyčiai gali būti esminiai ir nulemti kompresinio gydymo efektyvumą. Pavyzdžiui, trečiosios kompresijos klasės gaminys, uždėjimo vartotojui momentu generuojantis 40 mmHg (5,33 kPa) dydžio kompresiją, praėjus 100–200 sekundžių, generuos tik 36 mmHg (4,8 kPa) dydžio kompresiją ir taps ribiniu trečiosios klasės gaminiu, o po 500 sekundžių gaminio generuojama kompresija sieks mažiau nei 36 mmHg (4,8 kPa), t. y. gaminio

generuojamos kompresijos dydis nebetenkins trečiosios kompresijos klasės apibrėžties reikalavimų ir generuos antrajai klasei priklausantiems gaminiams būdingą kompresijos dydį.

3.7 lentelė. XL dydžio įtvaro tempimo jėga ir generuojama kompresija įrašos relaksacijos (iki 36000 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N	Kompresija P, kPa
	G_K_XL	
0	120,13	5,31
1	117,80	5,21
2	117,10	5,18
5	115,80	5,12
10	114,50	5,06
20	113,10	5,00
50	111,20	4,92
100	109,70	4,85
200	108,30	4,79
500	106,40	4,71
1000	104,90	4,64
2000	103,80	4,59
5000	101,70	4,50
10000	100,20	4,43
20000	99,20	4,39
36000	98,88	4,37

Išanalizavus gautus rezultatus, relaksacijos tyrimas buvo pakartotas pakeitus bandymų parametrus. Tyrimui pasirinkti visi anksčiau aprašyti įtvarų dydžiai (M, L ir XL dydžiai, atitinkamai G_K_M, G_K_L ir G_K_XL bandinių grupės). Kiekvienam iš įtvarų pritaikytos aštuonios skirtingo dydžio kompresijos vertės, priklausančios vienai iš keturių kompresijos klasių (pagal standartą RAL-GZ-387/1:2008). Pagal ankstesnių bandymų rezultatus, kiekvienam įtvaro variantui nustatytos pasirinktai tikslinei kompresijai generuoti reikiamos ištiesos vertės (žr. 3.3 skyrelio 3.6 lent.).

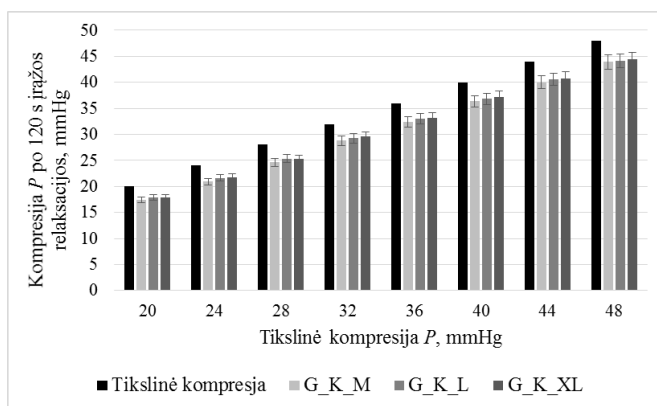
Taigi bandiniai buvo ištempti iki fiksuotos ištiesos, galinčios generuoti reikiamą kompresijos dydį, o įrašos relaksacijos proceso stebėjimo trukmė sumažinta iki 120 s. Pagal šio tyrimo metu gautus rezultatus apskaičiuota generuojama kompresija ir jos dydžio mažėjimas per pasirinktą 120 s laikotarpį. Gauti rezultatai (penkių elementariųjų bandymų vidurkis) pateikiami 3.8 lent. Bandymų rezultatų variacijos koeficientas $V = 0,1-2,53\%$.

Taigi nustatyta, kad dėl kompresijos ir tempimo jėgos sąsajos, įrašos relaksacijos proceso metu patiriamas tempimo jėgos mažėjimas nulemia generuojamos kompresijos vertės mažėjimą. Išanalizavus tyrimų metu gautus rezultatus, teigtina, kad tempimo jėgos pokytis po 120 s įrašos relaksacijos siekia 5,98–10,75 N, priklausomai nuo tikslinės kompresijos vertės ir gaminio dydžio.

3.8 lentelė. Skirtingų dydžių įtvarų tempimo jėga ir generuojama kompresija po 120 s įrašos relaksacijos proceso

Kompresijos klasė		I				II				III				IV															
Tikslinė	mmHg	20	24	28	32	36	40	44	48	20	24	28	32	36	40	44	48	20	24	28	32	36	40	44	48				
kompres.	kPa	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87	6,40				
Bandinio kodas		Tempimo jėga po 120 s, N																											
	G_K_M	41,02	49,35	58,14	67,97	76,57	85,98	94,53	103,72	G_K_M	41,02	49,35	58,14	67,97	76,57	85,98	94,53	103,72	G_K_M	41,02	49,35	58,14	67,97	76,57	85,98	94,53	103,72		
	G_K_L	49,45	60,00	70,17	81,02	91,55	102,02	112,48	122,34	G_K_L	49,45	60,00	70,17	81,02	91,55	102,02	112,48	122,34	G_K_L	49,45	60,00	70,17	81,02	91,55	102,02	112,48	122,34		
	G_K_XL	53,87	65,52	75,96	88,90	99,92	111,79	122,69	133,57	G_K_XL	53,87	65,52	75,96	88,90	99,92	111,79	122,69	133,57	G_K_XL	53,87	65,52	75,96	88,90	99,92	111,79	122,69	133,57		
Bandinio kodas		Kompresija po 120 s, mmHg																											
	G_K_M	17,36	20,89	24,61	28,77	32,41	36,39	40,01	43,90	G_K_M	17,36	20,89	24,61	28,77	32,41	36,39	40,01	43,90	G_K_M	17,36	20,89	24,61	28,77	32,41	36,39	40,01	43,90		
	G_K_L	17,84	21,65	25,32	29,23	33,03	36,81	40,58	44,14	G_K_L	17,84	21,65	25,32	29,23	33,03	36,81	40,58	44,14	G_K_L	17,84	21,65	25,32	29,23	33,03	36,81	40,58	44,14		
	G_K_XL	17,92	21,79	25,26	29,57	33,23	37,18	40,80	44,42	G_K_XL	17,92	21,79	25,26	29,57	33,23	37,18	40,80	44,42	G_K_XL	17,92	21,79	25,26	29,57	33,23	37,18	40,80	44,42		
Bandinio kodas		Kompresija po 120 s, kPa																											
	G_K_M	2,31	2,79	3,28	3,84	4,32	4,85	5,33	5,85	G_K_M	2,31	2,79	3,28	3,84	4,32	4,85	5,33	5,85	G_K_M	2,31	2,79	3,28	3,84	4,32	4,85	5,33	5,85		
	G_K_L	2,38	2,89	3,38	3,90	4,40	4,91	5,41	5,88	G_K_L	2,38	2,89	3,38	3,90	4,40	4,91	5,41	5,88	G_K_L	2,38	2,89	3,38	3,90	4,40	4,91	5,41	5,88		
	G_K_XL	2,39	2,91	3,37	3,94	4,43	4,96	5,44	5,92	G_K_XL	2,39	2,91	3,37	3,94	4,43	4,96	5,44	5,92	G_K_XL	2,39	2,91	3,37	3,94	4,43	4,96	5,44	5,92		

Skirtingo dydžio įtvarų generuojamos kompresijos pokytis po 120 s įrašos relaksacijos proceso pavaizduotas 3.12 pav. Palyginus generuojamos kompresijos dydžio vertes pradinio relaksacijos momentu (0 s) ir relaksacijos proceso pabaigoje (120 s), nustatyta, kad per šį trumpą laiką generuojamos kompresijos vertė sumažėja 2,08–4,10 mmHg (0,28–0,55 kPa) (priklausomai nuo įtvaro dydžio ir tikslinės kompresijos vertės). Visais tirtais atvejais didžiausias ir absoliutinis, ir procentinis kompresijos vertės pokytis užfiksuotas mažiausio dydžio (M) bandinių grupėje.



3.12 pav. Skirtingų dydžių įtvarų kompresijos pokytis per 120 s relaksacijos procesą

Pirmosios kompresijos klasės bandinių (20 mmHg tikslinė kompresija) tempimo jėgos pokytis buvo santykiškai mažiausias ir siekė 5,98–6,26 N (priklausomai nuo gaminio dydžio), tačiau, įvertinus žemos kompresijos klases nedidelę reikiamos tempimo jėgos vertę, šių bandinių procentinis tempimo jėgos sumažėjimas buvo didžiausias ir siekė 10,41–13,19 % (priklausomai nuo gaminio dydžio). Šių bandinių generuojama kompresija sumažėjo 2,08–2,64 mmHg (2,08–0,36 kPa) ir siekė tik 86,80–89,60 % pradinės kompresijos vertės, priklausomai nuo gaminio dydžio.

Antrosios kompresijos klasės bandiniai (24 mmHg, 28 mmHg ir 32 mmHg tikslinė kompresija) patyrė kiek mažesnę procentinę tempimo jėgos nuostolį – 7,61–12,98 %. Šioje kompresijos klasėje absoliutinis tempimo jėgos sumažėjimas siekė 6,52–8,23 N, priklausomai nuo gaminio dydžio ir tikslinės kompresijos vertės. O absoliutinis kompresijos sumažėjimas siekė 2,21–3,11 mmHg, atitinkamai 0,29–0,41 kPa (24 mmHg tikslinė kompresija), 2,68–3,39 mmHg, atitinkamai 0,35–0,45 kPa (28 mmHg tikslinė kompresija) ir 2,43–3,23 mmHg, atitinkamai 0,33–0,43 kPa (32 mmHg tikslinė kompresija), priklausomai nuo gaminio dydžio. Liekamoji antrosios kompresijos klasės bandinių generuojamos kompresijos vertė siekė 87,07–90,79 % (24 mmHg tikslinė kompresija), 87,89–90,43 % (28 mmHg tikslinė kompresija) ir 89,91–92,41 % (32 mmHg tikslinė kompresija), palyginti su pradine generuojamos kompresijos verte, priklausomai nuo gaminio dydžio.

Trečiosios kompresijos klasės bandiniai (36 mmHg, 40 mmHg ir 44 mmHg tikslinė kompresija) pasižymėjo kiek didesniu absoliutiniu tempimo jėgos sumažėjimu – pokytis siekė nuo 8,23 N iki 9,61 N. Procentinis tempimo jėgos nuostolis buvo mažesnis, palyginti su antrosios kompresijos klasės bandiniais – pokytis siekė 7,05–9,98 %, priklausomai nuo gaminio dydžio. Absoliutinis kompresijos sumažėjimas siekė 2,77–3,59 mmHg, atitinkamai 0,37–0,48 kPa (36 mmHg tikslinė kompresija), 2,82–3,61 mmHg, atitinkamai 0,37–0,48 kPa (40 mmHg tikslinė kompresija) ir 3,20–3,99 mmHg, atitinkamai 0,43–0,54 kPa (44 mmHg tikslinė kompresija), priklausomai nuo gaminio dydžio. Taigi liekamoji generuojama kompresija siekė 90,03–92,31 % (36 mmHg tikslinė kompresija), 90,98–92,95 % (40 mmHg tikslinė kompresija) ir 90,93–92,73 % (44 mmHg tikslinė kompresija) pradinės generuojamos kompresijos vertės, priklausomai nuo gaminio dydžio.

Didžiausios, ketvirtosios, kompresijos klasės bandinių (48 mmHg tikslinė kompresija) tempimo jėgos sumažėjimas siekė 9,69–10,75 N (atitinkamai 7,45–8,54 %), priklausomai nuo gaminio dydžio. Ketvirtosios kompresijos klasės (48 mmHg tikslinė kompresija) liekamoji kompresija siekė 91,46–92,54 %, o absoliutinis sumažėjimas buvo 3,58–4,1 mmHg (0,48–0,55 kPa), priklausomai nuo gaminio dydžio.

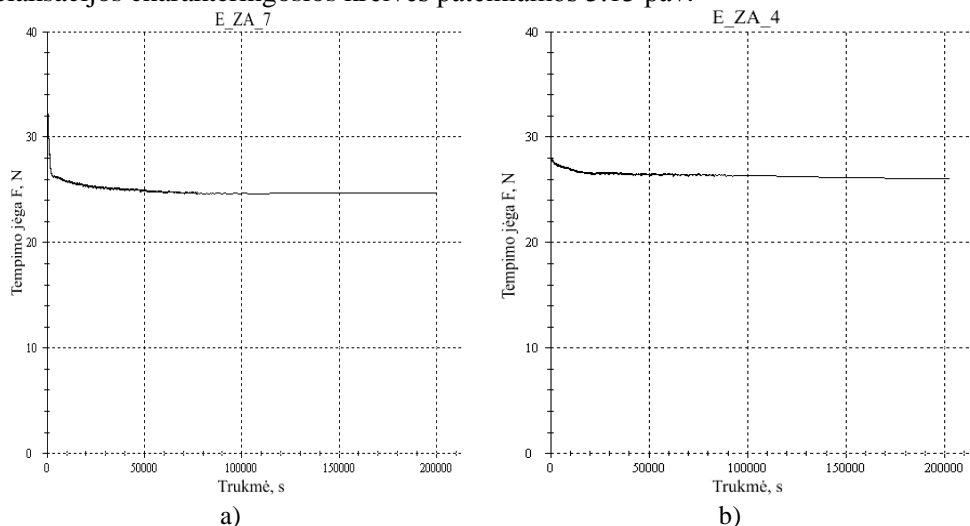
Remiantis gautais duomenimis, siūloma tempimo jėgos dydžiu pagrįstą kompresinio įtvaro generuojamos kompresijos vertinimą atlikti ne anksčiau kaip po 120 s įrašos relaksacijos, dėvėjimą imituojančiame ištemptame būvyje. Tik taip nustatoma kompresijos vertė yra artima realiai įtvaro generuojamos kompresijos vertei dėvėjimo metu.

3.4.2 Gaminio elementu relaksacijos proceso tyrimas

Siekiant tenkinti megzdam kompresiniam įtvarui keliamus generuojamos kompresijos reikalavimus, projektavimo ir gamybos metu galima atlikti teorinius ar eksperimentinius pusgaminų (t. y. gaminį sudarančių medžiagų ar elementų) kompresijos nustatymo tyrimus. Kadangi minėtos medžiagos yra naudojamos ilgalaikiam dėvėjimu skirtu gaminio sandaroje, kaip ir baigtinio įtvaro tyrimo atveju, norint sudaryti tinkamesnę kompresijos vertinimo metodiką, yra tikslinga nagrinėti ir gaminio elementų įrašos relaksacijos metu vykstančius jėgų pakitimus.

3.4.2.1 Ilgalaikė relaksacija

Siekiant iširti atskirų kompresinio gaminio dalių įtaką relaksacijos metu patiriamams tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos pokyčiams, atlikti ilgalaikės įrašos relaksacijos tyrimai. Siekiant įsitikinti ir patvirtinti ankstesniame skyriuje daromą išvadą, kad ilgalaikės įrašos relaksacijos proceso metu tempimo jėgos nuostolio didžioji dalis patiriama per pirmąsias 100 s, stebėti pasirinktas ilgesnis, 200000 s, įrašos relaksacijos laikas. Tyrimui naudoti „I“ pynimo (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais) bandiniai. Ankstesniame skyrelyje nustatyta, kad skirtingas ataudinio elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu nulemia skirtingas tempimo jėgos vertes. Siekiant įsitikinti, ar ataudinio elastomerinio siūlo įtempio mezgimo metu įtaka tempimo jėgai išlieka nepakitusi įrašos relaksacijos proceso metu, bandinių mezgimo metu taikytas skirtingas ataudinio elastomerinio siūlo įtempis: 4 cN/tex (E_ZA_4 bandinių grupė) ir 7 cN/tex (E_ZA_7 bandinių grupė). Bandiniai buvo ištempti iki fiksuotos 30 % ištišos ir išlaikyti ištemptame būvyje visą relaksacijos laiką (200000 s). Bandinių įrašos relaksacijos charakteringosios kreivės pateikiamos 3.13 pav.



3.13 pav. I pynimo bandinių su skirtingu elastomerinio ataudinio siūlo įtempio mezgimo metu įrašos relaksacijos (iki 200000 s) charakteringosios kreivės: a) E_ZA_7; b) E_ZA_4

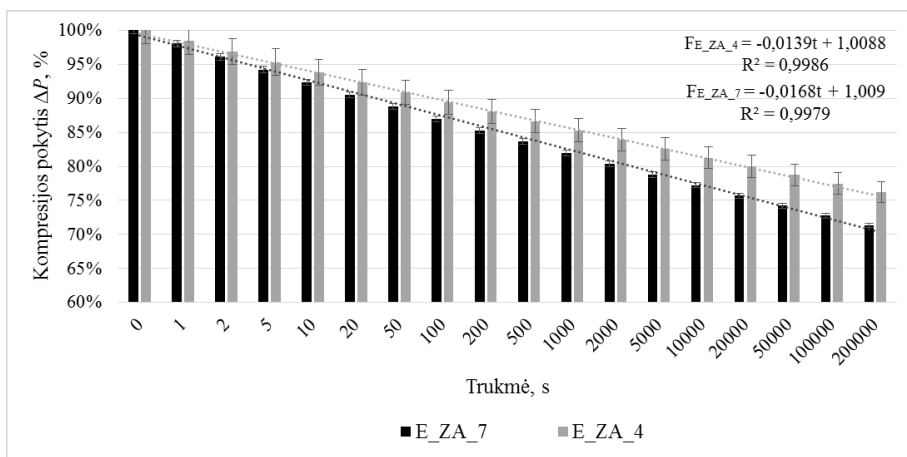
Išanalizavus relaksacijos proceso metu gautus duomenis, taip pat, kaip ir ankstesniame tyrime, pastebėtas tempimo jėgos mažėjimas relaksacijos metu. Bandymų metu gauti tempimo jėgos rezultatai ir apskaičiuotos generuojamos kompresijos vertės pateiktos 3.9 lent. Kadangi gauti duomenys patvirtina anksčiau darytą išvadą, jog ilgalaikiu įrašos relaksacijos metu tempimo jėgos pokytis nuolat mažėja ir tampa mažiau žymus, tyrimų rezultatai pateikiami didėjančiu laiko intervalu. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas 0,26–3,39 %, priklausomai nuo bandinių grupės ir įrašos relaksacijos proceso momento.

3.9 lentelė. Tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos pokytis relaksacijos proceso (iki 200000 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N		Kompresija P, kPa	
	E_ZA_7	E_ZA_4	E_ZA_7	E_ZA_4
0	37,26	30,99	12,59	11,06
1	36,53	30,50	12,34	10,89
2	36,30	30,32	12,26	10,82
5	35,93	30,02	12,14	10,72
10	35,60	29,76	12,03	10,62
20	35,23	29,46	11,90	10,52
50	34,63	29,05	11,70	10,37
100	34,12	28,72	11,53	10,25
200	33,45	28,38	11,30	10,13
500	31,72	27,96	10,72	9,98
1000	29,31	27,67	9,90	9,88
2000	27,47	27,42	9,28	9,79
5000	27,09	27,14	9,15	9,69
10000	26,73	26,88	9,03	9,59
20000	26,26	26,53	8,87	9,47
50000	25,80	26,33	8,72	9,40
100000	25,54	26,15	8,63	9,34
200000	25,51	25,70	8,62	9,17

Remiantis gautais tyrimų duomenimis nustatyta, kad bandinių grupės E_ZA_4 tempimo jėgos nuostolis įrašos relaksacijos proceso metu siekia 5,29 N, o bandinių grupės E_ZA_7 tempimo jėgos vertės sumažėjo net 11,75 N. Pradiniu įrašos relaksacijos proceso momentu (0 s) tempimo jėgos vertės bandinių grupėse E_ZA_4 ir E_ZA_7 siekė atitinkamai 30,99 N ir 37,26 N. Akcentuotina, kad įrašos relaksacijos proceso pabaigoje (po 200000 s) tempimo jėgos vertės skyrėsi nežymiai: bandinių grupės E_ZA_4 bandiniai pasižymėjo 25,70 N tempimo jėga, o bandinių grupės E_ZA_7 bandiniai demonstravo panašius rezultatus – 25,51 N tempimo jėgą. Taigi galima teigti, kad ilgalaikės įrašos relaksacijos laikotarpiu ataudinio elastomerinio siūlo įtempio mezgimo metu įtaka tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos vertei laipsniškai nyksta. Todėl ilgalaikiam dėvėjimui skirtų gaminių kompresinių savybių negalima prognozuoti remiantis tik elastomerinio siūlo įtempio mezgimo metu verte, o prognozavimui būtina kompleksinė vertinimo metodika.

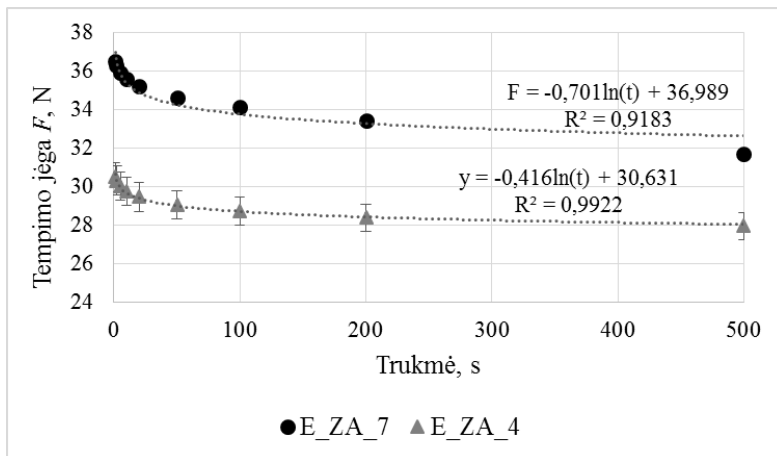
Taigi abiejų grupių bandinių tempimo jėga įrašos relaksacijos metu nuosekliai mažėja. Atkreiptinas dėmesys į tai, kad elastomerinio ataudinio siūlo įtempis mezgimo metu veikia tempimo jėgos pokyčio mastą: bandiniai su didesniu ataudinio elastomerinio siūlo įtempiu mezgimo metu (E_ZA_7 grupė) patiria didesnę tempimo jėgos nuostolį, palyginti su bandiniais, kurių gamybos metu siūlo įtempis buvo mažesnis (E_ZA_4 grupė). Apskaičiuotas kompresijos procentinis pokytis pavaizduotas 3.14 pav. Per visą įrašos relaksacijos proceso laiką (200000 s) generuojama kompresija sumažėjo 28,67 % (E_ZA_7 grupė) ir 23,74 % (E_ZA_4 grupė), palyginti su pradiniu įrašos relaksacijos momentu generuota kompresija.



3.14 pav. I pynimo bandinių kompresijos pokytis relaksacijos proceso metu

Šiuo atveju, vertinant viso ilgalaikės įrašos relaksacijos proceso metu gautus rezultatus, didžiausias tempimo jėgos pokytis (iki 50 %) nustatytas per pirmąsias 100–500 s. Grafinis įrašos relaksacijos proceso iki 500 s metu fiksuojamų tempimo jėgos verčių vaizdas pateikiamas 3.15 pav.

Per įrašos relaksacijos proceso pirmąsias 100 s tempimo jėgos vertės sumažėjo 2,26 N (bandinių grupė E_ZA_4) ir 3,14 N (bandinių grupė E_ZA_7) dydžiu, atitinkamai 42,81 % ir 26,72 % viso relaksacijos metu (iki 500 s) patirto tempimo jėgos nuostolio. Šiuo relaksacijos momentu tiriamieji bandiniai generavo 89,44 % (bandinių grupė E_ZA_4) ir 87,01 % (bandinių grupė E_ZA_7) pradinės kompresijos vertės, t. y. generuojama kompresija atitinkamai sumažėjo 10,56 % ir 12,99 %, palyginti su pradiniu momentu generuota kompresija.



3.15 pav. Tempimo jėgos pokytis per pirmąsias 500 s relaksacijos

Po pirmųjų 200 s įrašos relaksacijos, bandinių grupės E_ZA_4 bandiniai generavo 28,38 N tempimo jėgą, o bandinių grupės E_ZA_7 – 33,45 N tempimo jėgą, t. y. tempimo jėga atitinkamai sumažėjo 2,60 N ir 3,81 N. Per šį laiko tarpą tempimo jėga sumažėjo 49,24 % (bandinių grupė E_ZA_4) ir 32,45 % (bandinių grupė

E_ZA_7), lyginant su visu relaksacijos (iki 500 s) metu patirtu jėgos nuostoliu. Bandiniai generavo 11,97–14,70 % mažesnę kompresiją (priklausomai nuo bandinių grupės), palyginti su įrašos relaksacijos pradiniame taške (0 s) generuotomis kompresijos vertėmis.

Po pirmųjų 500 s įrašos relaksacijos, tempimo jėgos sumažėjimas siekė 3,03 N (bandinių grupė E_ZA_4) ir 5,54 N (bandinių grupė E_ZA_7), arba atitinkamai 57,31 % ir 47,15 % viso relaksacijos metu (iki 500 s) patirto tempimo jėgos nuostolio. Generuojamos apspaudimo jėgos vertės sumažėjo 13,36–16,38 %, palyginti su įrašos relaksacijos pradiniame taške (0 s) generuotomis kompresijos vertėmis, priklausomai nuo bandinių grupės.

Gauti rezultatai atskleidžia, kad vertinant kompresinių įtvarų generuojamą kompresiją aktualiausias trumpalaikės įrašos relaksacijos periodas. Tolimesniu įrašos relaksacijos proceso metu patiriamas tempimo jėgos nuostolis santykinai nėra žymus ir tikslesniam gaminių projektavimui lemiamos įtakos neturi. Remiantis gautais duomenimis, tikėtina, kad norint nustatyti tikslią gaminio elementų generuojamą kompresiją, pasitelktinas ankstesniame skyrelyje pasiūlytas vertinimo metodas, atsižvelgiant į ne mažiau nei 120 s įrašos relaksacijos metu patiriamus tempimo jėgos nuostolius.

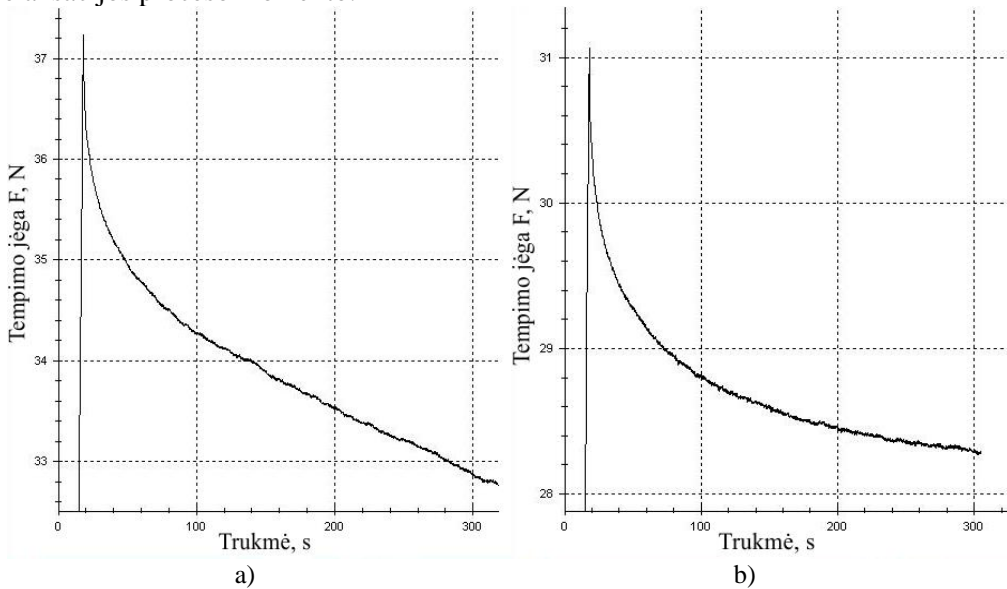
3.4.2.2 Trumpalaikė relaksacija

Remiantis ilgalaikės relaksacijos tyrime gautais duomenimis, akivaizdu, jog didžioji dalis įrašos relaksacijos proceso metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo įvyksta per 100 – 500 s. Todėl trumpalaikės įrašos relaksacijos procesas nagrinėtas pasirinkus pirmųjų 300 s laikotarpį, o analizuojant eksperimentinius duomenis – detalesnį, 10 s intervalą. Siekiant iširti skirtingų kompresinių mezginių elgseną relaksacijos metu bei patikrinti, ar siūlomas generuojamos kompresijos vertinimo metodas, kompresiją vertinant ne anksčiau nei po 120 s įrašos relaksacijos, yra tinkamas skirtingos struktūros, konstrukcijos ar gamybos stadijos kompresinių įtvarų elementams, atlikti „I“ pynimu, „II“ pynimu, „III“ pynimu megzėtų bandinių bei „I“ pynimu megzėtų bandinių su netąsiais elementais įrašos relaksacijos tyrimai. Norint įsitikinti siūlomo metodo universalumu ir efektyvumu esant skirtingoms specifinėms gaminio ištiesoms dėvėjimo metu, tyrimams pasirinkta 15–30 % fiksuota bandinio ištiesa.

I pynimas

Šiame trumpalaikės įrašos relaksacijos tyrime, kaip ir ilgalaikės įrašos relaksacijos eksperimente, naudoti tokie patys „I“ pynimo bandiniai (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais). Bandinių mezgimo metu taikytas skirtingas ataudinio elastomerinio siūlo įtempis: 4 cN/tex (E_ZA_4 bandinių grupė) ir 7 cN/tex (E_ZA_7 bandinių grupė). Kaip ir ankstesniu atveju, bandiniai buvo ištempti iki fiksuotos 30 % ištiesos ir išlaikyti ištemptame būvyje visą relaksacijos laiką (300 s). Tyrimų metu gautų įrašos relaksacijos procesų charakteringosios kreivės pateiktos 3.16 pav. Įrašos relaksacijos (iki 300 s) bandymų metu užfiksuotos tempimo jėgos vertės 10 s intervalu ir apskaičiuotos atitinkamos generuojamos kompresijos vertės (trijų elementariųjų bandymų vidurkis) pateiktos 3.10 lent. Eksperimentinių duomenų

variacijos koeficientas – 0,26–2,17 %, priklausomai nuo bandinių grupės ir įrašos relaksacijos proceso momento.



3.16 pav. I pynimo bandinių įtempimų relaksacijos (iki 300 s) charakteringosios kreivės: a) E_ZA_7 bandiniai; b) E_ZA_4 bandiniai

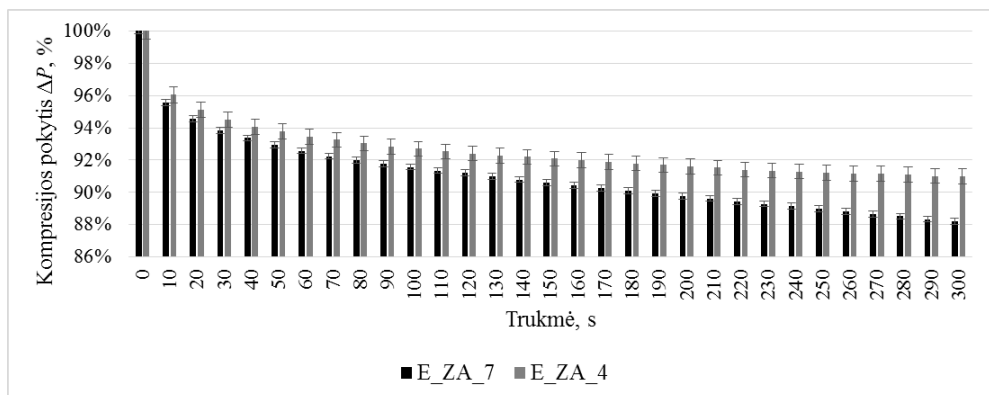
Nustatyta, kad pradiniu įrašos relaksacijos proceso momentu (0 s), bandiniai pasižymėjo 30,99–37,26 N tempimo jėga, t. y. generuojama kompresija siekė 11,06–12,59 kPa, priklausomai nuo bandinių grupės. Kaip ir ankstesniuose tyrimuose, relaksacijos metu matomas nuolatinis tempimo jėgos mažėjimas, kuris nulemia nuolatinį generuojamos kompresijos mažėjimą. Remiantis pateikiamu grafiniu procentinio kompresijos pokyčio įrašos relaksacijos metu vaizdu (žr. 3.17 pav.), matyti, kad, kaip ir ilgalaikės įrašos relaksacijos atveju, didesnis kompresijos nuostolio mastas užfiksuotas bandiniuose, kurių gamybos metu elastomerinio ataudinio siūlo įtempis buvo didesnis (E_ZA_7 grupė). Be to, priešingai nei ilgalaikės įrašos relaksacijos metu, elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu nulemia didesnę tempimo jėgą net ir trumpalaikės įrašos relaksacijos proceso pabaigoje. Taigi, trumpalaikės įrašos relaksacijos procesas neatskleidžia elastomerinio siūlo įtempio įtakos demonstruojamai tempimo jėgai mažėjimo, tačiau tikėtina, kad yra gana išsamus ir tinkamas tiksliau nustatyti generuojamą kompresiją.

3.10 lentelė. I pynimo bandinių tempimo jėgos ir kompresijos vertės įrašos relaksacijos proceso (iki 300 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N		Kompresija P, kPa	
	E_ZA_7	E_ZA_4	E_ZA_7	E_ZA_4
0	37,26	30,99	12,59	11,06
10	35,61	29,76	12,03	10,62
20	35,23	29,47	11,90	10,52
30	34,97	29,28	11,81	10,45
40	34,79	29,15	11,75	10,41

3.10 lentelės tęsinys. I pynimo bandinių tempimo jėgos ir kompresijos vertės įrašos relaksacijos proceso (iki 300 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N		Kompresija P, kPa	
	E_ZA_7	E_ZA_4	E_ZA_7	E_ZA_4
50	34,63	29,05	11,70	10,37
60	34,50	28,96	11,65	10,34
70	34,37	28,90	11,61	10,32
80	34,28	28,83	11,58	10,29
90	34,20	28,77	11,55	10,27
100	34,12	28,72	11,53	10,25
110	34,04	28,67	11,50	10,24
120	33,99	28,63	11,48	10,22
130	33,91	28,60	11,45	10,21
140	33,83	28,57	11,43	10,20
150	33,76	28,53	11,41	10,19
160	33,70	28,51	11,38	10,18
170	33,63	28,48	11,36	10,17
180	33,58	28,45	11,34	10,16
190	33,52	28,41	11,32	10,14
200	33,45	28,38	11,30	10,13
210	33,40	28,36	11,28	10,13
220	33,32	28,32	11,26	10,11
230	33,27	28,31	11,24	10,11
240	33,23	28,29	11,22	10,10
250	33,16	28,27	11,20	10,09
260	33,09	28,25	11,18	10,09
270	33,04	28,25	11,16	10,08
280	32,98	28,23	11,14	10,08
290	32,92	28,20	11,12	10,07
300	32,87	28,19	11,10	10,07



3.17 pav. Generuojamos kompresijos verčių pokytis įrašos relaksacijos proceso (300 s) metu

Per pirmąsias 10 s stebėto trumpalaikės įrašos relaksacijos proceso tempimo jėgos vertės sumažėjo 1,23–1,66 N, priklausomai nuo bandinių grupės. Tai rodo, jog per šį itin trumpą periodą tempimo jėgos sumažėjimas pasiekė 37,73 % (bandinių

grupė E_ZA_4) ir 43,92 % (bandinių grupė E_ZA_7) viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo. Taip pat nustatytas 3,96 % (bandinių grupė E_ZA_4) ir 4,45 % (bandinių grupė E_ZA_7) generuojamos kompresijos sumažėjimas, palyginti su pradiniu momentu apskaičiuotomis kompresijos vertėmis. Po pirmųjų 50 s bandinių grupės E_ZA_4 bandiniai pasižymėjo 29,05 N, o bandinių grupės E_ZA_7 bandiniai – 34,63 N tempimo jėga, t. y. tempimo jėgos nuostolis siekė, atitinkamai, 1,93 N ir 2,63 N, lyginant su pradiniu relaksacijos momentu užfiksuota tempimo jėga. Per šį periodą įvyko 59,91–69,19 % viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo. Apskaičiuota bandinių generuojama kompresija sumažėjo 6,24–7,06 %, palyginti su pradiniu momentu generuota kompresija, priklausomai nuo bandinių grupės.

Po pirmųjų 100 s, tempimo jėgos sumažėjimas siekė 2,26–3,14 N, t. y. buvo pasiekta 71,51–81,05 % viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės. Apskaičiuotos generuojamos kompresijos vertės per šį laiką sumažėjo 7,30 % (bandinių grupė E_ZA_4) ir 8,43 % (bandinių grupė E_ZA_7), palyginti su pradiniu momentu generuotos kompresijos vertėmis. Po pirmųjų 200 s relaksacijos proceso, bandinių elgsena išliko panaši. Šiuo momentu užfiksuotas 2,60–3,81 N tempimo jėgos sumažėjimas, priklausomai nuo bandinių grupės. Procentinis tempimo jėgos vertės sumažėjimas siekė 86,79–93,20 % viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo (priklausomai nuo bandinių grupės). Apskaičiuota bandinių generuojama kompresija siekė 89,77–91,60 % pradiniu įrašos relaksacijos momentu generuotos kompresijos, priklausomai nuo bandinių grupės. Įrašos relaksacijos proceso pabaigoje (po 300 s) užfiksuotas 2,79 N (bandinių grupė E_ZA_4) ir 4,39 N (bandinių grupė E_ZA_7) tempimo jėgos sumažėjimas – tempimo jėgos vertės siekė tik 28,19–32,87 N (priklausomai nuo bandinių grupės), o kompresijos vertės buvo atitinkamai 10,07–11,10 kPa. Iš viso įrašos relaksacijos proceso metu (per 300s) generuojama kompresija sumažėjo 9,01 % (bandinių grupė E_ZA_4) ir 11,79 % (bandinių grupė E_ZA_7), palyginti su kompresijos vertėmis pradiniu momentu. Pabrėžtina, kad trumpalaikės įrašos relaksacijos proceso metu elastomerinio siūlo įtempimo mezgimo metu dydis išlieka reikšmingas ir veikia tempimo jėgą – proceso pabaigoje tirtųjų bandinių tempimo jėga nėra artima ir skiriasi 4,68 N. Taigi elastomerinio ataudinio siūlo įtempis mezgimo metu nulemia trumpalaikės įrašos relaksacijos metu patiriamą tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos sumažėjimą.

Ankstesniame skyrelyje, išnagrinėjus ilgalaikės įrašos relaksacijos įtaką generuojamai kompresijai, padaryta išvada yra tinkama ir trumpalaikės įrašos relaksacijos procesui – kompresinio mezginio generuojamos kompresijos vertė teisinga nustatinėti ne anksčiau nei po 120 s įrašos relaksacijos proceso. Per pirmąsias 120 s tempimo jėgos pokytis siekė 74,56–84,24%, palyginus su visu įrašos relaksacijos metu patirtu tempimo jėgos pokyčiu.

II pynimas

Siekiant įvertinti skirtingo ataudinio elastomerinio siūlo absoliutinio kiekio ir įtempimo tankumo įtaką tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos pokyčiui trumpalaikės įrašos relaksacijos metu, buvo atlikti „II“ pynimu (ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje) megzty bandinių tyrimai. Eksperimentams pasirinktas

antrasis ataudinio elastomerinio siūlo variantas, įterpiant jį į kas ketvirtą, kas antrą arba į kiekvieną mezginio eilutes, ir bandiniai be ataudinio elastomerinio siūlo. Bandiniai buvo ištempti iki fiksuotos 20 % ištiesos ir išlaikyti šioje pozicijoje 300 s. Tyrimo metu gauti rezultatai (trijų elementariųjų bandymų vidurkis) pateikti 3.11 lent. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas $V = 0,32-7,03 \%$, priklausomai nuo bandinių grupės ir įrašos relaksacijos proceso momento.

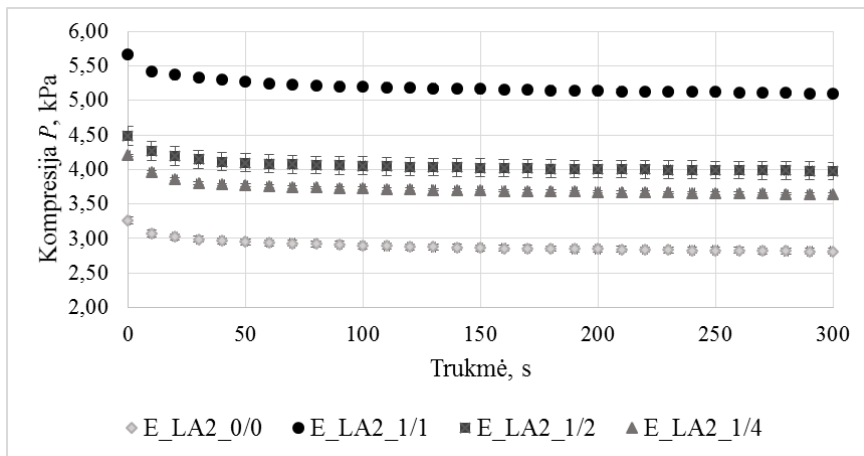
3.11 lentelė. II pynimo bandinių tempimo jėga ir generuojama kompresija įrašos relaksacijos proceso (300 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N				Kompresija P, kPa			
	E_LA2_ 0/0	E_LA2_ 1/4	E_LA2_ 1/2	E_LA2_ 1/1	E_LA2_ 0/0	E_LA2_ 1/4	E_LA2_ 1/2	E_LA2_ 1/1
0	10,64	14,45	15,28	19,39	3,26	4,20	4,48	5,67
10	10,02	13,61	14,52	18,55	3,07	3,96	4,26	5,42
20	9,87	13,26	14,29	18,37	3,03	3,86	4,19	5,37
30	9,75	13,05	14,12	18,23	2,99	3,80	4,15	5,33
40	9,68	13,00	14,00	18,14	2,97	3,78	4,11	5,30
50	9,63	12,95	13,94	18,05	2,95	3,77	4,09	5,28
60	9,59	12,91	13,90	17,93	2,94	3,76	4,08	5,24
70	9,56	12,87	13,86	17,89	2,93	3,74	4,07	5,23
80	9,53	12,85	13,84	17,84	2,92	3,74	4,06	5,21
90	9,50	12,82	13,82	17,81	2,91	3,73	4,06	5,20
100	9,45	12,80	13,81	17,79	2,90	3,72	4,05	5,20
110	9,43	12,77	13,78	17,76	2,89	3,72	4,05	5,19
120	9,40	12,76	13,75	17,73	2,88	3,71	4,04	5,18
130	9,39	12,73	13,74	17,72	2,88	3,70	4,03	5,18
140	9,37	12,72	13,72	17,70	2,87	3,70	4,03	5,17
150	9,35	12,70	13,70	17,67	2,87	3,69	4,02	5,16
160	9,33	12,69	13,68	17,65	2,86	3,69	4,02	5,16
170	9,32	12,67	13,68	17,63	2,86	3,69	4,02	5,15
180	9,31	12,65	13,66	17,61	2,85	3,68	4,01	5,15
190	9,29	12,65	13,65	17,59	2,85	3,68	4,01	5,14
200	9,29	12,64	13,64	17,57	2,85	3,68	4,01	5,14
210	9,28	12,62	13,63	17,57	2,84	3,67	4,00	5,13
220	9,26	12,61	13,62	17,56	2,84	3,67	4,00	5,13
230	9,25	12,59	13,61	17,54	2,84	3,66	4,00	5,13
240	9,24	12,58	13,60	17,53	2,83	3,66	3,99	5,12
250	9,23	12,58	13,60	17,52	2,83	3,66	3,99	5,12
260	9,22	12,56	13,58	17,50	2,83	3,65	3,99	5,11
270	9,21	12,55	13,58	17,49	2,82	3,65	3,99	5,11
280	9,19	12,53	13,57	17,48	2,82	3,64	3,98	5,11
290	9,19	12,52	13,56	17,45	2,82	3,64	3,98	5,10
300	9,18	12,51	13,55	17,45	2,81	3,64	3,98	5,10

Nustatyta, kad pradiniu relaksacijos proceso momentu (0 s), bandiniai pasižymėjo 10,02–18,55 N tempimo jėga, t. y. generuojama kompresija siekė 3,26–5,67 kPa, priklausomai nuo bandinių grupės. Kaip ir tikėtasi, mažiausia tempimo jėga užfiksuota bandiniuose be ataudinių elastomerinių siūlų. Remiantis gautais duomenimis, galima teigti, kad įrašos relaksacijos proceso tendencija išlieka

nepakitusi, neatsižvelgiant į ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą (žr. 3.18 pav.).

Per pirmąsias 10 s įrašos relaksacijos, bandinių tempimo jėga sumažėjo 0,61–0,84 N, priklausomai nuo bandinių grupės. Taigi per šį trumpą laiką užfiksikuota net 42,2–43,7 % (priklausomai nuo bandinių grupės) viso relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos nuostolio. Po pirmųjų 50 s bandinių tempimo jėga sumažėjo 1,00–1,49 N, t. y. bandiniai demonstravo 6,9–10,3 % mažesnę kompresiją, palyginus su pradiniu momentu generuota kompresija, priklausomai nuo bandinių grupės. Šiuo įrašos relaksacijos proceso momentu buvo pasiekti 69,0–77,2 % viso relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės.



3.18 pav. II pynimo bandinių su skirtingu ataudinio elastomerinio siūlo įterpimu tempimo jėgos pokytis įrašos relaksacijos proceso (iki 300 s) metu

Po pirmųjų 100 s tempimo jėgos nuostolis siekė 1,47–1,64 N, atitinkamai bandinių generuojamos kompresijos vertės buvo 8,3–11,4 % mažesnės nei pradiniu momentu, priklausomai nuo bandinių grupės. Per šį įrašos relaksacijos proceso laiką įvyko net 81,6–85,0 % (priklausomai nuo bandinių grupės) viso proceso metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo.

Po pirmųjų 200 s tempimo jėgos pokytis siekė 1,34–1,82 N, t. y. generuojama kompresija sumažėjo 9,4–12,6 %, palyginti su kompresijos verte pradiniu momentu, priklausomai nuo bandinių grupės. Tempimo jėgos pokytis, palyginus su viso proceso metu patiriamu sumažėjimu, siekė 92,6–94,5 %. Įrašos relaksacijos proceso pabaigoje (po 300 s) užfiksikuotas 1,45–1,94 N tempimo jėgos nuostolis, t. y. bandiniai demonstravo 86,3–90,0 % pradiniu momentu generuotos kompresijos, priklausomai nuo bandinių grupės.

Remiantis gautais duomenimis, galima teigti, kad ankstesniame skyrelyje pasiūlyta kompresijos nustatymo metodika, generuojamą kompresiją vertinant po ne mažiau nei 120 s įrašos relaksacijos, yra tinkama, neatsižvelgiant į ataudinio siūlo kiekį ir įterpimo raportą. Per pirmąsias 120 s „II“ pynimo bandinių tempimo jėgos pokytis siekė 84,96–88,17 % (priklausomai nuo bandinių grupės), palyginti su tempimo jėgos pokyčiu visu trumpalaikės įrašos relaksacijos metu.

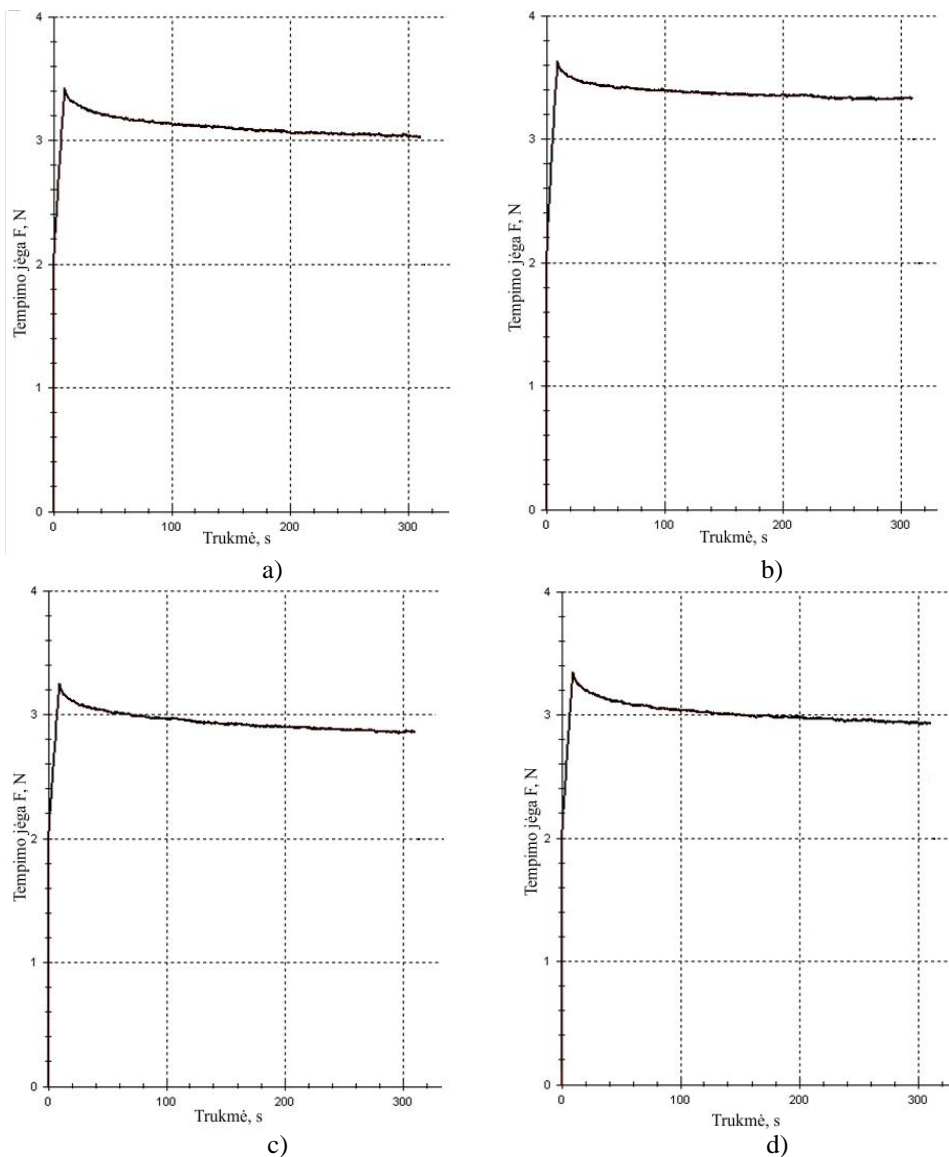
Taigi per pasirinktą trumpalaikės įrašos relaksacijos trukmę tirtųjų bandinių generuojamos kompresijos pokytis siekė 10,0–13,7 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Didžiausias tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos procentinis pokytis užfiksuotas bandiniuose be ataudinio siūlo (13,7 %). Atkreiptinas dėmesys į tai, kad minėti bandiniai pasižymėjo mažiausiu absoliutiniu tempimo jėgos nuostoliu (0,45 N), o bandinių su ataudiniais elastomeriniais siūlais tempimo jėgos sumažėjimas siekė 0,51–0,57 N, priklausomai nuo bandinių grupės. Bandinių su ataudiniu elastomeriniu siūlu tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos procentinis nuostolis mažėja, didėjant ataudinio siūlo įterpimo raportui: E_LA2_1/4–13,4 %; E_LA2_1/2–11,3 %; E_LA2_1/1–10,0 %. Tai leidžia teigti, kad didesnis ataudinio siūlo absoliutiniu kiekiu ir įterpimo raportas nulemia mažesnę santykinę kompresijos nuostolį trumpalaikės įrašos relaksacijos metu.

III pynimas

Norint įsitikinti, kad siūloma kompresijos nustatymo metodika, įvertinant 120 s įrašos relaksacijos proceso metu patiriamus pokyčius, yra priimtina ir viena adatine suformuotiems pynimams be ataudinių siūlų, relaksacijos proceso analizė pakartota tiriant „III“ pynimo bandinius (lastikinio pynimo 1+1 imitacija). Bandinių elgsena nagrinėta tokio paties trumpalaikės relaksacijos periodo (300 s) metu. Kaip ir ankstesniuose tyrimuose, bandinių grupės tarpusavyje skyrėsi elastomerinio siūlo bendru ir šerdies ilginiu tankiu (E_LI_1: T = 120 tex ($T_s = 45$ tex) arba E_LI_2: T = 78 tex ($T_s = 12$ tex)). Siekiant įsitikinti, jog relaksacijos proceso tendencija išlieka tokia pati, neatsižvelgus į medžiagos gamybos stadiją, tyrimams parengti nestabilizuoti (E_LI_1_ns ir E_LI_2_ns bandinių grupės) ir stabilizuoti (E_LI_1_s ir E_LI_2_s bandinių grupės) bandiniai.

Jau minėta, kad tam tikrą ištįsos dydį kompresiniai įtvarai, kaip ir įprasti prigludę kasdienio vartojimo gaminiai, pasiekia dėvėjimo metu. Siekiant generuoti pasirinktą kompresijos vertę, galūnės ir įtvaro perimetras turi skirtis tam tikru dydžiu. Remiantis ankstesniame skyrelyje tirta antropometrinių savybių įtaka ir nustatytais tikslinei kompresijai generuoti reikiamomis ištįsos vertėmis, šiam įrašos relaksacijos tyrimui pasirinkta mažesnė bandinių ištįsa. Bandiniai buvo ištempti iki fiksuotos 15 % ištįsos ir išlaikyti šioje padėtyje visą relaksacijos laiką (300 s). Charakteringosios įrašos relaksacijos metu gautos tempimo jėgos kreivės pateiktos 3.19 pav. Gautos tempimo jėgos vertės (devynių eksperimentinių bandymų vidurkis) ir apskaičiuotos generuojamos kompresijos vertės pateiktos 3.12 lent. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas 0,24–4,28 %, priklausomai nuo bandinių grupės ir įrašos relaksacijos proceso momento.

Nustatyta, kad pradiniu įrašos relaksacijos proceso momentu (0 s) tempimo jėga buvo 3,21–3,57 N, o generuojama kompresija siekė 3,68–4,24 kPa, o relaksacijos proceso pabaigoje (po 300 s) tempimo jėga buvo 2,83–3,15 N, kompresija atitinkamai siekė 3,35–3,91 kPa, priklausomai nuo bandinių grupės. Iš viso relaksacijos proceso metu (per 300 s) generuojama kompresija sumažėjo 0,39–0,46 kPa, atitinkamai 11,81–13,73 %, priklausomai nuo bandinių grupės.



3.19 pav. III pynimo bandinių įtampių relaksacijos (iki 300 s) charakteringosios kreivės: a) E_LI_1_ns; b) E_LI_1_s; c) E_LI_2_ns; d) E_LI_2_s

Remiantis eksperimentinių tyrimų duomenimis, nustatyta, kad per įrašos relaksacijos proceso pirmąsias 50 s, visų bandinių grupių generuojamos kompresijos pokytis pasiekė arba viršijo 50 % viso kompresijos pokyčio, įvykusio per stebėtą įrašos relaksacijos laiką. Per pirmąsias 50 s įrašos relaksacijos, bandinių tempimo jėga sumažėjo 0,21–0,25 N, generuojama kompresija buvo atitinkamai 6,5–7,4 % mažesnė, nei pradiniu įrašos relaksacijos momentu, o per šį laiką įvyko 53,6–60,1 % visos įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės.

3.12 lentelė. III pynimo bandinių tempimo jėga ir generuojama kompresija įrašos relaksacijos proceso (300 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N				Kompresija P, kPa			
	E_LI_1_ns	E_LI_1_s	E_LI_2_ns	E_LI_2_s	E_LI_1_ns	E_LI_1_s	E_LI_2_ns	E_LI_2_s
0	3,42	3,57	3,21	3,32	3,68	4,24	3,69	4,03
10	3,28	3,46	3,10	3,18	3,53	4,11	3,56	3,86
20	3,23	3,40	3,06	3,14	3,48	4,03	3,52	3,82
30	3,20	3,37	3,03	3,11	3,45	4,00	3,49	3,77
40	3,18	3,36	3,02	3,09	3,43	3,98	3,47	3,76
50	3,17	3,34	3,01	3,07	3,41	3,96	3,45	3,73
60	3,15	3,33	2,99	3,06	3,39	3,95	3,44	3,72
70	3,14	3,32	2,98	3,05	3,38	3,94	3,43	3,70
80	3,13	3,31	2,97	3,04	3,37	3,93	3,42	3,69
90	3,12	3,31	2,96	3,03	3,36	3,92	3,41	3,68
100	3,11	3,30	2,96	3,03	3,35	3,91	3,40	3,68
110	3,10	3,29	2,95	3,02	3,34	3,90	3,40	3,67
120	3,10	3,29	2,95	3,01	3,34	3,90	3,39	3,66
130	3,09	3,28	2,94	3,01	3,33	3,89	3,38	3,65
140	3,08	3,28	2,93	3,00	3,32	3,89	3,37	3,64
150	3,08	3,27	2,93	2,99	3,32	3,88	3,36	3,63
160	3,07	3,27	2,92	2,98	3,31	3,87	3,36	3,62
170	3,06	3,26	2,92	2,98	3,30	3,87	3,35	3,62
180	3,06	3,26	2,91	2,98	3,30	3,86	3,35	3,62
190	3,06	3,25	2,91	2,97	3,29	3,86	3,34	3,61
200	3,05	3,25	2,90	2,97	3,29	3,85	3,34	3,61
210	3,05	3,25	2,90	2,96	3,29	3,85	3,33	3,60
220	3,04	3,24	2,89	2,96	3,28	3,84	3,33	3,60
230	3,03	3,24	2,89	2,95	3,27	3,84	3,32	3,59
240	3,03	3,23	2,89	2,96	3,26	3,83	3,32	3,59
250	3,03	3,23	2,88	2,95	3,26	3,83	3,31	3,58
260	3,02	3,22	2,88	2,95	3,26	3,82	3,31	3,58
270	3,02	3,23	2,87	2,94	3,25	3,83	3,30	3,57
280	3,02	3,22	2,87	2,93	3,25	3,82	3,29	3,56
290	3,01	3,21	2,86	2,93	3,25	3,81	3,29	3,56
300	3,00	3,15	2,83	2,86	3,23	3,74	3,25	3,48

Po pirmųjų 100 s užfiksuotas 0,25–0,31 N tempimo jėgos nuostolis, t. y. bandinių generuojama kompresija sumažėjo 7,8–9,0 %, palyginus su pradiniu momentu generuota kompresija (priklausomai nuo bandinių grupės). Per minėtą laikotarpį įvyko net 63,3–72,8 % viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės.

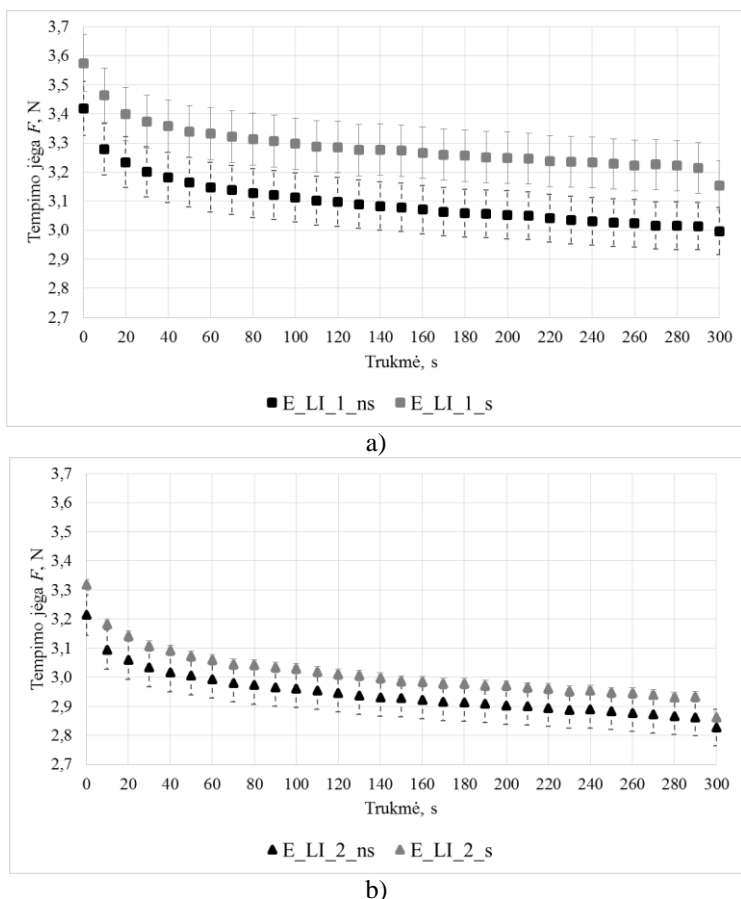
Po pirmųjų 200 s tempimo jėga buvo sumažėjusi 0,31–0,37 N, o generuojama kompresija atitinkamai 9,1–10,7 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Šiuo relaksacijos proceso momentu buvo įvykę 76,1–86,7 % viso įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės.

Remiantis šiais duomenimis, galima teigti, kad, norint tinkamai įvertinti gaminio generuojamą kompresiją, jos dydžio matavimą būtina atlikti įvertinus įrašos relaksacijos metu patiriamą sumažėjimą. Tai reiškia, kad generuojamos kompresijos

įvertinimą privalu atlikti po ne mažiau kaip 50–100 s, nes per šį laikotarpį įvyksta daugiau nei pusė kompresijos vertės sumažėjimo per stebėtąjį 300 s periodą.

Per ankstesniame skyrelyje siūlomą 120 s įrašos relaksacijos laikotarpį šių bandinių tempimo jėgos pokytis siekė 67,4–74,1 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Taigi galima teigti, kad pasiūlyta kompresinių gaminių generuojamos kompresijos vertinimo metodika, generuojamą kompresiją nustatant ne anksčiau nei po 120 s įrašos relaksacijos, yra teisinga bei taikytina ir mezginiams be ataudinių elastomerinių siūlų.

Skyrelyje 3.1 pateiktuose tyrimuose nustatyta, kad stabilizuoti bandiniai demonstruoja didesnes tempimo jėgos vertes nei nestabilizuoti bandiniai. Tokia pati rezultatų tendencija pastebėta ir po trumpalaikės įrašos relaksacijos (300 s) periodo – stabilizuoti bandiniai pasižymi iki 5,21 % didesne generuojama jėga nei nestabilizuoti bandiniai, priklausomai nuo bandinių grupės. Bandinių generuojamos tempimo jėgos pokytis trumpalaikės įrašos relaksacijos proceso metu pavaizduotas 3.20 pav.



3.20 pav. Tempimo jėgos pokytis įrašos relaksacijos proceso (iki 300 s) metu: a) E_LI_1 bandinių grupė; b) E_LI_2 bandinių grupė

Atlikus palyginamąją stabilizuotų ir nestabilizuotų bandinių analizę, įvertinta stabilizavimo įtaka trumpalaikės įrašos relaksacijos greičiui. Nustatyta, kad visais

analizuotais įrašos relaksacijos momentais nestabilizuotų bandinių relaksacijos greitis buvo didesnis, t. y. per tą patį laiką įvyko didesnis procentinis tempimo jėgos pokytis, palyginti su visu įrašos relaksacijos metu patiriamu tempimo jėgos sumažėjimu. Nestabilizuotų bandinių su didesnio ilginio tankio elastomeriniais siūlais (E_LI_1_ns grupė) įrašos relaksacija vyko 2,06–12,73 % greičiau nei stabilizuotų bandinių. O nestabilizuotų bandinių su mažesnio ilginio tankio elastomeriniais siūlais (E_LI_2_ns grupė) relaksacijos greitis buvo tik 0,23–6,64 % didesnis, palyginti su stabilizuotais bandiniais.

Atlikus įrašos relaksacijos metu gautų duomenų analizę, taip pat nustatyta, kad po pasirinkto trumpalaikės įrašos relaksacijos periodo (300 s) nestabilizuotų bandinių tempimo jėgos verčių skirtumas siek tiek sumažėjo – bandiniai su 45 tex ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu (bandinių grupė E_LI_1_ns) generavo 6,0 % didesnę tempimo jėgą, nei bandiniai su 12 tex ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu (bandinių grupė E_LI_2_ns). Stabilizuotų bandinių tempimo jėgos verčių skirtumas po įrašos relaksacijos proceso (300 s) padidėjo: bandinių su didesnio ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu (grupė E_LI_1_s) generuojama tempimo jėga buvo 10,16 % didesnė, palyginti su bandiniais su mažesnio ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu (grupė E_LI_2_s). Nustatyta, kad stabilizuotų ir nestabilizuotų bandinių su mažesnio ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdimi (E_LI_2 bandinių grupė, $T_s = 12$ tex) įrašos relaksacijos proceso pabaigoje (po 300 s) generuojamos kompresijos skirtumas siekė tik 0,04 N (1,24 %).

Apibendrinant per visą įrašos relaksacijos procesą gautus duomenis, vidutinis tempimo jėgos skirtumas tarp analizuotų bandinių grupių buvo 5,26 % (nestabilizuotų) ir 9,18 % (stabilizuotų). Šiuo atveju pabrėžtina, kad tirtų bandinių grupių elastomerinių siūlų šerdinio elemento ilginis tankis tarpusavyje skyrėsi 3,75 karto, t. y. 275 % (bandinių grupėje E_LI_1 elastomerinio siūlo šerdinio elemento ilginis tankis 45 tex, grupėje E_LI_2 – šerdinio elemento ilginis tankis 12 tex). Remiantis šiais duomenimis, galima daryti išvadą, kad elastomerinio siūlo ilginis tankis turi įtakos įrašos relaksacijos proceso mastui, tačiau ilginio tankio ir relaksacijos proceso greičio pokytis nėra lygiavertis. Pažymėtina, kad sujungus stabilizavimo proceso ir elastomerinio siūlo šerdinio elemento ilginio tankio įtaką, įmanu reguliuoti įrašos relaksacijos proceso greitį, leisti jį padidinti arba sumažinti, nes mezzginiai su mažesnio ilginio tankio elastomerinio siūlo šerdiniu elementu pasižymi greitesniu įrašos relaksacijos procesu.

Gaminio elementai su netąšiais elementais

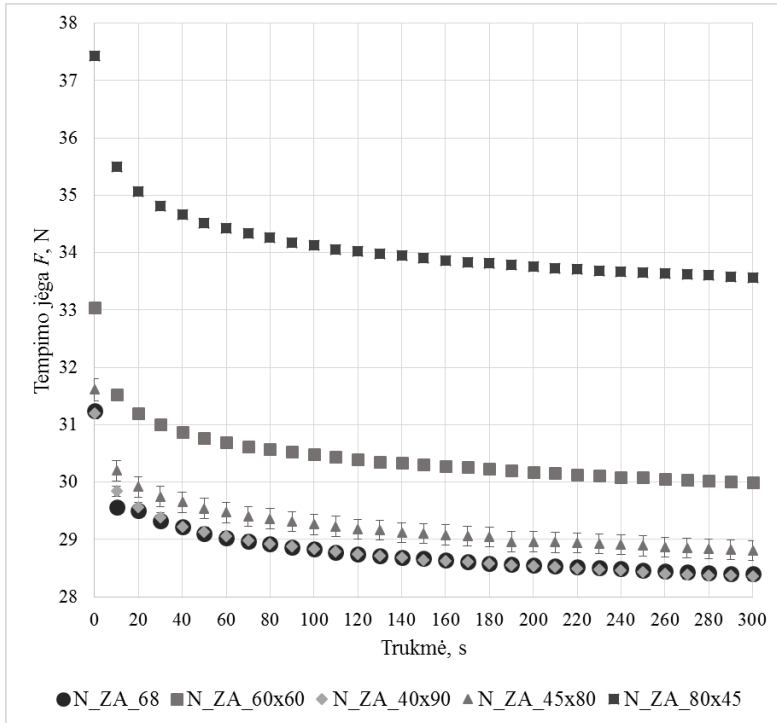
Minėta, kad baigtinio ortopedinio kompresinio gaminio sandaroje dažni įvairios paskirties netąšūs elementai. Ankstesniuose skyreliuose aprašytų tyrimų metu buvo nustatyta, kad vienodo ploto, tačiau skirtingos formos netąšūs elementai gali nulemti skirtingą bandinio tempimo jėgą. Siekiant įvertinti siūlomos kompresijos nustatymo metodikos tinkamumą bandiniams su netąšiais elementais ir netąšių elementų formos įtaką įrašos relaksacijos proceso pobūdžiui bei jo metu demonstruojamoms tempimo jėgų vertėms ir generuojamai kompresijai, atlikti bandinių su vienodo santykinio ploto, tačiau skirtingos formos netąšiais elementais tyrimai. Bandymams pasirinkti „I“ pynimo (kombinuoto žakardinio pynimo su ataudiniais siūlais) mezzginiai ir keturių skirtingų formų netąšūs elementai (apskritimas, kvadratas ir dviejų skirtingų

matmenų stačiakampiai). Penktas bandinio su netašiu elementu variantas gautas vieną iš stačiakampių prisiuvant kita kryptimi (vertikaliai). Netasūs elementai bandinio struktūroje įtvirtinti lygiagrečiai eilučių kryptiai, t. y. elemento aukštis atitinka užimamą kilpų eilučių ilgį bandinyje. Kiekvieno iš minėtų netašių elementų plotas yra 0,0036 m², o užimamas santykinis plotas bandinyje yra 18 %. Įrašos relaksacijos procesas tirtas bandinius ištempus iki 20 % fiksuotos ištisos ir išlaikius šioje pozicijoje 300 s. Tyrimų metu gauti rezultatai pateikti 3.13 lent. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas siekia 0,18–2,09 %, priklausomai nuo bandinių grupės.

3.13 lentelė. I pynimo bandinių su skirtingos formos netašiais elementais tempimo jėgos vertės įrašos relaksacijos proceso (iki 300 s) metu

Trukmė, s	Tempimo jėga F, N				
	N_ZA_68	N_ZA_60x60	N_ZA_40x90	N_ZA_45x80	N_ZA_80x45
0	31,25	33,04	31,20	31,61	37,43
10	29,57	31,52	29,84	30,20	35,50
20	29,50	31,20	29,56	29,92	35,06
30	29,32	31,01	29,38	29,75	34,82
40	29,22	30,88	29,22	29,65	34,66
50	29,11	30,77	29,13	29,54	34,52
60	29,03	30,69	29,06	29,47	34,42
70	28,97	30,62	28,99	29,4	34,34
80	28,92	30,58	28,92	29,36	34,26
90	28,87	30,53	28,88	29,31	34,18
100	28,83	30,48	28,83	29,26	34,13
110	28,77	30,44	28,79	29,23	34,06
120	28,74	30,4	28,75	29,18	34,02
130	28,72	30,36	28,71	29,16	33,98
140	28,69	30,34	28,68	29,12	33,95
150	28,67	30,31	28,64	29,10	33,90
160	28,64	30,28	28,63	29,08	33,86
170	28,62	30,26	28,61	29,06	33,83
180	28,59	30,23	28,58	29,04	33,81
190	28,57	30,2	28,55	28,96	33,79
200	28,56	30,18	28,54	28,96	33,76
210	28,54	30,16	28,52	28,95	33,73
220	28,52	30,13	28,50	28,94	33,71
230	28,51	30,11	28,48	28,93	33,69
240	28,49	30,09	28,47	28,91	33,67
250	28,47	30,08	28,43	28,89	33,65
260	28,45	30,06	28,41	28,87	33,64
270	28,43	30,04	28,39	28,85	33,63
280	28,42	30,02	28,38	28,84	33,61
290	28,41	30,01	28,37	28,82	33,58
300	28,40	29,99	28,36	28,81	33,57

Ankstesniame skyrelyje įrodyta, kad bandiniai su skirtingos formos netęšiais elementais demonstruoja skirtingas tempimo jėgos vertes. Tai patvirtina ir įrašos relaksacijos proceso metu stebėta bandinių elgsena – bandinių su skirtingos formos netęšiais elementais demonstruojama tempimo jėga atitinkamai skyrėsi viso įrašos relaksacijos proceso metu (žr. 3.21 pav.).



3.21 pav. I pynimo bandinių su skirtingos formos netęšiais elementais tempimo jėgos vertės įrašos relaksacijos proceso metu (iki 300s)

Po trumpalaikės įrašos relaksacijos (300 s), bandinių demonstruojama tempimo jėga sumažėjo 2,80–3,86 N, priklausomai nuo bandinių grupės. Didžiausias tempimo jėgos nuostolis (3,86 N) užfiksuotas bandiniuose, pradiniu įrašos relaksacijos momentu generavusiuose didžiausią tempimo jėgą (E_ZA_80x45, elementas prisiūtas vertikaliai, pradinė tempimo jėga $F_0 = 37,43$ N). Mažiausi tempimo jėgos nuostoliai, kaip ir mažiausios pradinės tempimo jėgos vertės, gautos bandiniuose su mažiausio aukščio stačiakampiais (E_ZA_40 x 90: tempimo jėgos pokytis $\Delta F = 2,84$ N ir E_ZA_45 x 80: $\Delta F = 2,80$ N) ir apskritimu (E_ZA_68: $\Delta F = 2,85$ N). Nepaisant to, pastebėta, kad tempimo jėgos pokyčio mastas tarp analizuotų bandinių grupių siekė tik 1,02–1,55 %, priklausomai nuo bandinių grupės ir relaksacijos proceso momento. Remiantis šiais duomenimis galima teigti, kad relaksacijos proceso tendencija išlieka panaši, nepriklausomai nuo netęsaus elemento formos.

Rezultatų analizės metu išsiaiškinta, kad per įrašos relaksacijos pirmąsias 20 s įvyksta daugiau nei pusė viso relaksacijos proceso metu patiriamą tempimo jėgos sumažėjimo, t. y. tempimo jėga sumažėja 57,75–61,40 %, palyginti su viso relaksacijos proceso metu patiriamu tempimo jėgos sumažėjimu, ir bandiniai

atitinkamai demonstruoja 93,67–94,74 % pradinės tempimo jėgos, priklausomai nuo bandinių grupės.

Po pirmųjų 100 s įrašos relaksacijos proceso, bandinių su netąsiais elementais tempimo jėga sumažėjo 2,35–3,30 N, atitinkamai 83,45–85,49 %, palyginti su viso relaksacijos proceso metu patiriamu tempimo jėgos sumažėjimu, o bandinių generuojama kompresija siekė 91,18–92,57 % pradinės kompresijos (t. y. sumažėjo 7,43–8,82 %), priklausomai nuo bandinių grupės. Po pirmųjų 200 s tempimo jėgos pokytis siekia 2,65–3,67 N, t.y. 93,66–95,28 % per visą relaksacijos laiką patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo.

Remiantis gautais rezultatais, tikslesniam tempimo jėgos ar kompresijos vertinimui yra tinkamas ne trumpesnis nei 100 s įrašos relaksacijos procesas. Todėl galima teigti, kad ankstesniame skyrelyje siūlyta kompresinių gaminių kompresijos vertinimo metodika, generuojamą kompresiją nustatant ne anksčiau nei po 120 s įrašos relaksacijos, yra teisinga bei taikytina ir bandiniams su netąsiais elementais (per pirmąsias 120 s įrašos relaksacijos tempimo jėgos pokytis siekė 86,27–88,34 % (priklausomai nuo bandinių grupės), palyginti su tempimo jėgos pokyčiu visu trumpalaikės įrašos relaksacijos proceso metu).

Apibendrinimas. Generuojamos kompresijos vertinimo metodikai būtinas naujas požiūris, atsižvelgiant į tempimo jėgos mažėjimą įrašos relaksacijos metu. Beveik pusė (49 %) baigtinių įtvarų tempimo jėgos nuostolio ilgalaikės įrašos relaksacijos metu patirta per pirmąsias 100 s. Ilgalaikės (200000 s) įrašos relaksacijos metu 26,72–42,81 % tempimo jėgos nuostolio nustatyti per pirmąsias 100 s, o per pirmąsias 500 s tempimo jėgos sumažėjimas siekė beveik pusę (47,15–57,31 %) viso tempimo jėgos nuostolio, priklausomai nuo bandinių grupės. Nustatyta, kad ilgalaikės (200000 s) įrašos relaksacijos metu mezginiai su didesniu ataudinio elastomerinio siūlo įtempio mezgimo metu, 7 cN/tex, patiria didesnę tempimo jėgos nuostolį (tirtuoju atveju – 28,67 %), palyginti su bandiniais, kurių gamybos metu siūlo įtempis buvo mažesnis, 4cN/tex (tirtuoju atveju – 23,74 %), o pradinio įtempio įtaka tempimo jėgos vertei laipsniškai nyksta – pradiniu ištempimo momentu tirtųjų mezginių tempimo jėga skyrėsi 20 %, o po ilgalaikės įrašos relaksacijos tempimo jėgos vertės buvo artimos.

Nustatyta, kad didesnis ataudinio siūlo įtempimo tankumas nulemia mažesnę (tirtuoju atveju – iki 3,4 %) santykinę kompresijos nuostolį trumpalaikės įrašos relaksacijos metu. Pabrėžtina, kad įrašos relaksacijos proceso tendencija išlieka panaši, neatsižvelgiant į bandinių stabilizavimo būseną. Mezziniai be ataudinių siūlų su didesnio ilginio tankio elastomeriniais siūlais pasižymėjo greitesniu relaksacijos procesu – per pirmąsias 50 s tempimo jėgos pokytis siekė 53,59–60,10 %, o per pirmąsias 100 s 63,32–72,79 % viso tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių grupės. Relaksacijos proceso tendencija išlieka panaši, neatsižvelgiant į netąsaus elemento formą: tempimo jėgos pokyčio skirtumas tarp analizuotų bandinių grupių siekė tik 1,02–1,55 %.

Siūloma tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos vertinimo metodika, įvertinant per 120 s įrašos relaksacijos patiriamus pokyčius, yra universali ir tinka baigtiniams gaminiams, taip pat gaminio elementams, neatsižvelgiant į jų pynimą, sandarą ar taikytas technologines operacijas. Siūloma metodika yra tinkama esant

įvairioms bandinio ištiesos vertėms. Per pirmąsias 120 s įrašos relaksacijos bandinių tempimo jėga sumažėjo: 74,56–84,24 % „I“ tipo pynimams; 84,96–88,17 % „II“ tipo pynimams; 67,4–74,1 % „III“ tipo pynimams; 86,27–88,34 % „I“ tipo pynimo bandiniams su netąsiais elementais, priklausomai nuo bandinių grupės, palyginti su visu tempimo jėgos sumažėjimu trumpalaikės įrašos relaksacijos metu. Taigi generuojamą kompresiją reikėtų vertinti ne anksčiau nei po 120 s įrašos relaksacijos.

3.5 Kompresinio mezginio komforto savybių tyrimas

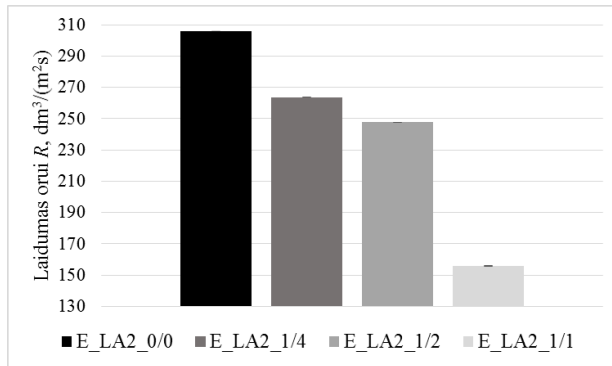
Tiek funkciniai, tiek įprastiniai ilgai dėvimi tekstilės gaminiai turi pasižymėti priimtinomis komforto savybėmis. Kompresiniai tekstilės gaminiai dėvimi ilgą laiką ir / arba fizinio aktyvumo metu, todėl kompresiniai tekstiliniai įtvarai turi ne tik atlikti savo funkcinę paskirtį, bet ir pasižymėti tinkamais komforto parametrais. Tinkama galūnės odos ventiliacija leidžia išvengti prakaitavimo, odos dirginimo ar pažeidimo problemų. Dėl to gaminio laidumas orui yra viena dažniausiai vertinamų tekstilės medžiagų komforto savybių.

3.5.1 Mezginio pynimo įtaka laidumui orui

Teigiama, kad laidumas orui yra susijęs su bandinių pluoštine sudėtimi, siūlų ilginiu tankiu bei medžiagos struktūros parametrais. Sintetiniai elastomeriniai siūlai, kurie yra būtini gaminant kompresines megztas medžiagas, dažniausiai pasižymi mažomis laidumo orui vertėmis. Siekiant nustatyti ataudinių elastomerinių siūlų kiekio ir pozicijos mezginyje įtaką laidumo orui vertėms, atlikti eksperimentiniai tyrimai su „II“ pynimo (ataudinio pynimo lastikinio pynimo 1+1 bazėje) mezginiais, kuriuose naudojamas 70 tex ilginio tankio elastomerinis siūlas su 47,5 tex PU šerdimi. Suprojektuoti ir pagaminti bandiniai su skirtingu ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumu: be ataudinio siūlo arba ataudinį siūlą įterpiančią kas ketvirtą, į kas antrą arba į kiekvieną mezginio eilutes. Nustatyta, kad ataudinio elastomerinio siūlo klojimo raporto dydis turi įtakos laidumui orui. Bandymų rezultatai (dvylikos elementariųjų bandymų vidurkis) pateikti 3.14 lent. ir 3.22 pav. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas 1,21–8,25 %, priklausomai nuo bandinių grupės.

3.14 lentelė. II pynimo bandinių su skirtingu elastomerinių ataudinių siūlų įterpimo raportu laidumas orui

Bandinys	E_LA2_0/0	E_LA2_1/4	E_LA2_1/2	E_LA2_1/1
Oro srauto debitas q , dm ³ /min	9,2	7,9	7,4	4,7
Santykinė atsitiktinė paklaida δ_a , %	1,12	0,19	0,92	0,54
Laidumas orui R , dm ³ /(m ² s)	306,2	263,7	247,7	155,9



3.22 pav. II pynimo mezginių sandaros įtaka laidumui orui

Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad ataudinį elastomerinį siūlą įterpus į kas ketvirtą mezginio eilutę (E_LA2_1/4 bandinių grupė), laidumas orui sumažėja 13,9 %, palyginti su bandiniais be ataudinio siūlo (E_LA2_0/0 bandinių grupė). Ataudinį elastomerinį siūlą klojant į kas antrą eilutę (E_LA2_1/2 bandinių grupė), laidumas orui sumažėja 19,1 %, o įterpus į kiekvieną eilutę – laidumas orui sumažėja net 49,1 %, palyginti su bandiniais be ataudinio siūlo (E_LA2_0/0 bandinių grupė).

Ataudinio elastomerinio siūlo klojimo raportą sumažinus nuo įterpimo kiekvienoje eilutėje iki įterpimo kas antroje eilutėje, t. y. sumažinus du kartus, laidumo orui vertė padidėja 59,0 % ($R_{E_LA2_1/1} = 155,9 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$; $R_{E_LA2_1/2} = 247,7 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$). Ataudinio elastomerinio siūlo klojimo tankumą sumažinus dar du kartus (t. y. klojamas į kas ketvirtą mezginio eilutę (E_LA2_1/4 bandinių grupė), laidumo orui vertė sumažėja tik 10,1 % ($R_{E_LA2_1/4} = 263,7 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$), palyginti su bandiniais, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas paklotas kas antroje eilutėje. Šiuo atveju laidumas orui tampa 69,2 % didesnis nei bandinių, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas paklotas kiekvienoje eilutėje (E_LA2_1/1 bandinių grupė). Todėl teigtina, kad mezgtinės medžiagos laidumo orui vertė nėra tiesiogiai proporcinga ataudinio elastomerinio siūlo kiekiui mezginyje.

Remiantis ankstesniuose skyreliuose pateikiamais duomenimis, ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą padidinus du kartus (nuo įterpimo kas ketvirtoje eilutėje iki įterpimo kas antroje eilutėje), tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos padidėjimas siekė tik 1,1 % ir 7,5 %, atitinkamai esant 10 % ir 20 % fiksuotai ištiesai, tačiau laidumo orui pokytis buvo 6,1 %. Ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą padidinus dar du kartus, t. y. iki įterpimo kiekvienoje eilutėje, tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos vertės padidėjo 30,7 % ir 51,0 %, atitinkamai esant 10 % ir 20 % fiksuotai ištiesai. Šiuo atveju medžiagos laidumo orui vertė sumažėjo net 40,9 %, palyginti su bandiniais, kuriuose ataudinis elastomerinis siūlas įterptas kas antroje eilutėje. Šiuo atveju nustatyta atvirkštinė generuojamos kompresijos ir laidumo orui priklausomybė, tačiau norint ją nagrinėti nuodugniau, būtini detalesni ir išsamesni tyrimai.

3.5.2 Mezginio ištiesos įtaka laidumui orui ir kilpos geometrijai

Įprastai laidumo orui savybė matuojama medžiagai esant natūraliame būvyje, t. y. kai ji nepatiria jokių pašalinių jėgų. Tačiau ankstesniuose skyreliuose įvardyta,

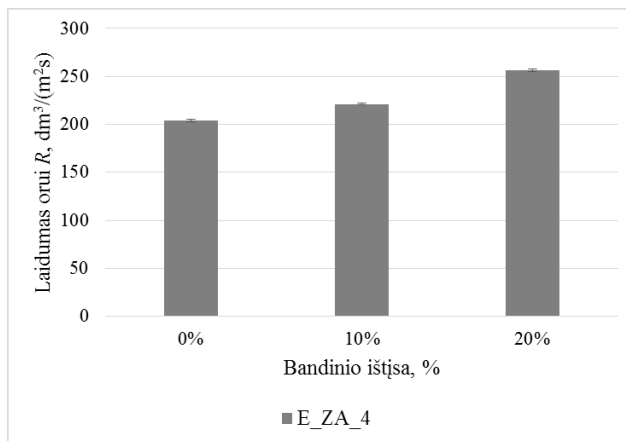
jog siekiant generuoti reikiamą apspaudimo jėgos dydį, kompresinis mežginys turi būti ištempiamas iki tam tikros ištiesos ar tempimo jėgos. Nustatyta, kad mežtinės medžiagos laidumas orui priklauso nuo mežginio akytumo. Taigi galima kelti prielaidą, kad ištempus mežtinę medžiagą, ji pasižymės didesniu akytumu, tad jos laidumo orui savybės vertės bus didesnės.

Siekiant nustatyti bandinio ištiesos įtaką mežtinės kompresinės medžiagos laidumui orui, atlikti skirtingos ištiesos bandinių laidumo orui bandymai. Bandymams pasirinkti „I“ pynimu (kombinuotu žakardiniu pynimu su ataudiniais siūlais) numegzti bandiniai. Savybės vertės nustatytos neištemptiems bandiniams bei bandinius ištempus iki 10 % ir 20 % fiksuotos ištiesos. Tirtų kompresinių mežginių sandaros įtakos mežginių laidumui orui tyrimo rezultatai (dvylikos elementariųjų bandymų vidurkis) pateikti 3.15 lent. ir 3.23 pav. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas 0,59–3,25 %.

3.15 lentelė. I pynimo mežtinės medžiagos laidumas orui, esant skirtingai bandinių ištiesai

Ištiesa	0 %	10 %	20 %
Oro srauto debitas q , dm ³ /min	6,1	6,6	7,7
Santykinė atsitiktinė paklaida δ_a , %	0,09	0,45	0,37
Laidumas orui R , dm ³ /(m ² s)	203,9	221,3	256,8

Išanalizavus gautus rezultatus, teigtina, kad ištempus iki 10 % fiksuotos ištiesos, bandinių laidumas orui padidėja 8,53 %, palyginti su neištemptais bandiniais. 20 % ištiesą patiriantys bandiniai demonstravo dar didesnius laidumo orui verčių skirtumus – šiuo atveju laidumas orui padidėjo net 25,94 %, palyginti su neištemptais bandiniais ir 16,04 %, palyginti su bandiniais, ištemptais iki 10 % fiksuotos ištiesos. Kaip ir tikėtasi, ištemptame būvyje užfiksuotos ženkliai didesnės laidumo orui vertės. Šis savybės padidėjimas sietinas su mežginio akytumo pasikeitimu – ištempus mežtinę medžiagą, pakinta mežginį sudarančių kilpų geometrija, nuo kurios priklauso akytumo parametrai.



3.23 pav. I pynimo mežtinės medžiagos ištiesos įtaka laidumui orui

Siekiant patvirtinti bandinio ištiesos įtaką laidumo orui vertėms, neatsižvelgus į megztinės medžiagos pynimą, ir nustatyti bandinio ištiesos įtaką megztnių medžiagų su skirtingu raportu įterptu ataudiniu elastomeriniu siūlu kilpos geometrijai ir laidumo orui vertėms, eksperimentas pakartotas tiriant „II“ pynimu (ataudiniu pynimu lastikinio pynimo 1+1 bazėje) numegztus bandinius. Šiam tyrimui panaudoti ankstesniame skyrelyje aprašyti bandiniai, kuriuose ataudinis siūlas įterptas į kiekvieną, kas antrą arba kas ketvirtą eilutę, ir bandiniai be ataudinio siūlo. Bandinių kilpos geometrijos pokytis tirtas esant 10 % ir 20 % fiksuotai ištiesai. Kaip ir tikėtasi, megztinės kompresinės medžiagos bandinių eilučių kryptimi ištempus iki tam tikros ištiesos, pakinta kilpos geometrija ir megztinės medžiagos struktūriniai parametrai – sumažėja horizontalusis tankumas (žr. 3.16 lent.).

3.16 lentelė. II pynimo megztinės medžiagos su skirtingu elastomerinio siūlo kiekiu kilpos žingsnis (*A*) ir aukštis (*B*), esant skirtingai bandinių ištiesai.

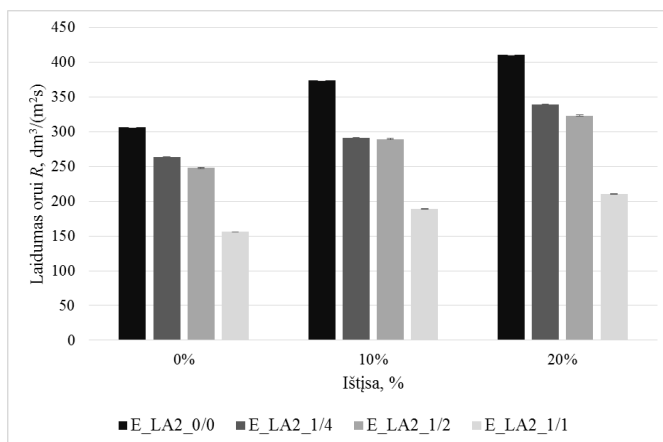
Ištiesa	0 %			20 %		
	A	B	A x B	A	B	A x B
E_LA2_0/0	1,23 ± 0,14	0,80 ± 0,0	0,98	1,43 ± 0,14	0,78 ± 0,07	1,12
E_LA2_1/4	1,25 ± 0,0	0,80 ± 0,0	1,00	1,50 ± 0,0	0,75 ± 0,0	1,12
E_LA2_1/2	1,30 ± 0,0	0,88 ± 0,07	1,14	1,55 ± 0,0	0,85 ± 0,12	1,32
E_LA2_1/1	1,30 ± 0,0	0,85 ± 0,12	1,10	1,55 ± 0,12	0,85 ± 0,12	1,32

Tyrimo rezultatai atskleidė, kad bandinius sudarančių kilpų žingsnis padidėjo visais atvejais, neatsižvelgiant į elastomerinio siūlo įterpimo tankumą. Kilpos žingsnis (*A*) padidėjo 0,2–0,25 mm, atitinkamai 16,3–20,0 %, priklausomai nuo bandinių grupės. Kilpos aukštis (*B*) sumažėjo arba liko nepakitęs. Šio parametro pokytis siekė iki 0,05 mm (6,3 %), priklausomai nuo bandinių grupės.

Tiriamųjų bandinių laidumo orui savybė nustatyta juos ištempus iki 10 % ir 20 % fiksuotos ištiesos. Eksperimentų metu gauti laidumo orui rezultatai (dvylikos elementariųjų bandymų vidurkis) pateikti 3.17 lent. ir 3.24 pav. Eksperimentinių duomenų variacijos koeficientas 1,21–8,25 %, priklausomai nuo bandinių grupės ir ištiesos dydžio.

3.17 lentelė. II pynimo megztinės medžiagos su skirtingu elastomerinio siūlo kiekiu laidumas orui, esant skirtingai bandinių ištiesai

Bandinio kodas	E_LA2_0/0			E_LA2_1/4			E_LA2_1/2			E_LA2_1/1		
	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %	0 %	10 %	20 %
q, dm/min	9,2	11,2	12,3	7,9	8,7	10,1	7,4	8,7	9,7	4,7	5,6	6,3
δ, %	1,12	0,73	0,82	0,19	0,65	0,23	0,92	0,53	0,78	0,54	0,78	0,45
R, dm ³ /m ² s	306,2	373,7	410,5	263,7	290,9	338,9	247,7	289,5	322,9	155,9	188,6	210,1



3.24 pav. II pynimo megztinės medžiagos su skirtingu elastomerinio siūlo kiekiu ištįsos poveikis laidumui orui

Nustatyta, kad skirtingą elastomerinio ataudinio siūlo kiekį turinčių mezginių laidumo orui vertės auga, didėjant bandinio ištįsai. Ištempus iki 10 % fiksuotos ištįsos, didžiausiomis laidumo orui vertėmis ir didžiausiu laidumo orui pokyčiu pasižymėjo bandiniai be elastomerinio ataudinio siūlo (E_LA2_0/0 bandinių grupė) – laidumo orui vertės padidėjo nuo 306,2 dm³/m²s iki 373,7 dm³/m²s, t. y. padidėjo 22,1 %. Panašus pokytis nustatytas ir bandiniuose, kuriuose elastomerinis ataudinis siūlas įterptas į kiekvieną eilutę. Šiuo atveju laidumo orui vertės padidėjo 32,7 dm³/m²s, t. y. 21 %. Bandinių su mažesniu elastomerinio ataudinio siūlo įterpimo raportu laidumo orui verčių pokytis buvo kiek mažesnis. Bandinių grupių E_LA2_1/2 ir E_LA2_1/4 laidumo orui vertės buvo apylygės ($R_{E_LA2_1/2} = 289,5 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$; $R_{E_LA2_1/4} = 290,9 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$), tačiau didesniu procentiniu pokyčiu pasižymėjo bandiniai, kuriuose elastomerinis ataudinis siūlas įterptas kas antroje eilutėje – E_LA2_1/2 grupės pokytis siekė 16,9 %, E_LA2_1/4 bandinių grupės – 10,3 %.

Bandinius ištempus iki 20 % fiksuotos ištįsos, užfiksuotos dar didesnės laidumo orui vertės. Kaip ir mažesnės ištįsos atveju, didžiausia laidumo orui vertė pamatyta bandiniuose be ataudinio elastomerinio siūlo (410,5 dm³/m²s), t. y. 34,1 % daugiau nei neištemptuose bandiniuose. Kaip ir ankstesniu atveju, panašus procentinis pokytis nustatytas ir bandinių grupėje su tankiausiu ataudinio elastomerinio siūlo įterpimu (E_LA2_1/1 bandinių grupė) – bandiniai pasižymėjo 34,8 % didesnėmis laidumo orui vertėmis, palyginti su neištemptais bandiniais. Bandiniai su ataudiniu elastomeriniu siūlu, įterptu kas antroje ir kas ketvirtoje eilutėse, demonstravo atitinkamai 30,3 % ir 28,5 % laidumo orui pokytį.

Remiantis gautais duomenimis, siūlytina megztų kompresinių medžiagų laidumo orui vertes nustatyti esant minimaliai dėvėjimo metu patiriamai medžiagos ištįsai. Taip nustatomos laidumo orui vertės bus artimesnės realiomis dėvėjimo sąlygomis patiriamam laidumui orui.

Apibendrinimas. Nustatyta, kad laidumas orui glaudžiai susijęs su pasirinktu megztinės medžiagos pynimu ir elastomerinio siūlo kiekiu jame – didėjant ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumui, laidumas orui mažėja. Taigi, megztų medžiagų struktūriniai parametrai ir jų pokyčiai, įterpus ataudinius elastomerinius siūlus,

reikšmingai veikia laidumą orui. Keičiant ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą, laidumo orui vertės kinta iki 14–49 %.

Ištemptame būvyje visų tirtųjų bandinių laidumo orui vertės užfiksuotos didesnės, tačiau skirtingais pynimais megzti bandiniai pasižymėjo skirtingu procentiniu laidumo orui pokyčiu. Įvertinus ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo raporto įtaką ištemptų lastikinių pynimu megztų bandinių laidumui orui, konstatuota panaši laidumo orui mažėjimo tendencija, kaip ir neištemptuose bandiniuose. Bandiniai su ataudiniu elastomeriniu siūlu, įterptu kiekvienoje eilutėje, demonstravo 48,8–49,5 % prastesnius laidumo orui rezultatus, palyginus su bandiniais be ataudinio siūlo, priklausomai nuo ištiesos dydžio. Ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus perpus (iki įterpimo kas antroje eilutėje), laidumas orui sumažėjo 21,4–22,5 %, palyginti su bandiniais be ataudinio siūlo, priklausomai nuo ištiesos dydžio. Ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo tankumą sumažinus iki įterpimo kas ketvirtoje eilutėje, laidumas orui sumažėjo 14,5–22,3 %, palyginti su bandiniais be ataudinio siūlo, priklausomai nuo ištiesos dydžio. Taip pat nustatyta, kad ištiesą padidinus du kartus (nuo 10 % iki 20 % ištiesos), laidumas orui padidėjo nuo ~1 % (kai ataudinis siūlas paklotas kiekvienoje eilutėje) iki ~50 % (kai ataudinis siūlas paklotas kas ketvirtoje eilutėje). Šie rezultatai itin aktualūs tobulinant kompresinių gaminių savybių vertinimo metodiką – siūlytina laidumo orui verčių nustatymą vykdyti esant bent minimaliai dėvėjimo metu patiriamai ištiesai.

3.6 Rekomendacijos ortopedinių kompresinių įtvarų generuojamos kompresijos ir laidumo orui vertinimui

Remiantis įrašos relaksacijos tyrimų metu gautais duomenimis, siūloma ortopedinio kompresinio įtvaro generuojamos kompresijos vertę nustatyti įvertinant eksploatacijos metu vykstančios įrašos relaksacijos sukeliama tempimo jėgos sumažėjimą. Atlikus ilgalaikės ir trumpalaikės relaksacijos tyrimus, buvo nustatyta, kad įrašos relaksacijos metu bandinio tempimo jėga ir generuojama kompresija nuolat mažėja. Remiantis tuo, kompresijos vertinimo metodikoje būtina atsižvelgti į tempimo jėgos ir kompresijos pokytį įrašos relaksacijos metu.

Ilgalaikės įrašos relaksacijos (36000 s) tyrimais nustatyta, kad beveik pusė (49 %) baigtinio įtvaro tempimo jėgos pokyčio įrašos relaksacijos metu įvyksta per pirmąsias 100 s, o „I“ pynimo bandinių ilgalaikės įrašos relaksacijos (200000 s) metu per pirmąsias 500 s tempimo jėgos sumažėjimas siekė 47,15–57,31 % viso tempimo jėgos nuostolio, priklausomai nuo bandinių grupės. Taigi, siekiant tikslesnio gaminio generuojamos kompresijos nustatymo, yra pakankamas trumpalaikės įrašos relaksacijos įvertinimas. Trumpalaikės įrašos relaksacijos (300 s) tyrimais nustatyta, kad per pirmąsias 100 s įvyksta 63,3–91,7 % viso trumpalaikės įrašos relaksacijos metu patiriamo tempimo jėgos sumažėjimo, priklausomai nuo bandinių tipo. Kadangi kompresijos vertinimo metodika turi būti tinkama taikyti realiomis gamybos sąlygomis, įvertinus eksperimentinius rezultatus nustatyta, kad vertinant gaminio kompresiją galima remtis ne trumpesnio nei 120 s įrašos relaksacijos proceso metu patiriamais kompresijos pokyčiais.

Minėta, kad tinkama galūnės odos ventiliacija leidžia išvengti prakaitavimo, odos dirginimo ar pažeidimo problemų. Dėl šių savybių gaminio laidumas orui yra

viena dažniausiai vertinamų tekstilės medžiagų komforto savybių, ne išimtis ir kompresiniai tekstilės gaminiai. Remiantis atliktų tyrimų duomenimis, esant 20 % fiksuotai ištįsai, laidumo orui vertės padidėja iki 25,9 %. Eksploatacijos metu įtvaras yra veikiamas tam tikro dydžio ištįsos. Todėl siūloma gaminio laidumą orui vertinti esant minimaliai eksploatacijos metu patiriamai ištįsai.

Atlikus literatūros šaltinių apžvalgą ir susistemintus duomenis papildžius gautais tyrimų rezultatais (disertacijoje tirti objektai pateikti paryškintuose lantelės laukuose), sudaryta kompresinio ortopedinio įtvaro parametrų įtakos gaminio kompresinėms ir komforto savybėms vertinimo rekomendacija, pateikta 3.18 lent. Pabrėžtina, kad sudarytas vertinamų parametrų sąrašas yra bazinis ir rekomendacinio pobūdžio, tad konkrečiu projektavimo atveju gali būti siaurinamas ar praplečiamas. Analizuojamų gaminio savybių vertinimą rekomenduojama atlikti tiek teorinio projektavimo metu, tiek testuojant tikrąjį gaminio pavyzdį.

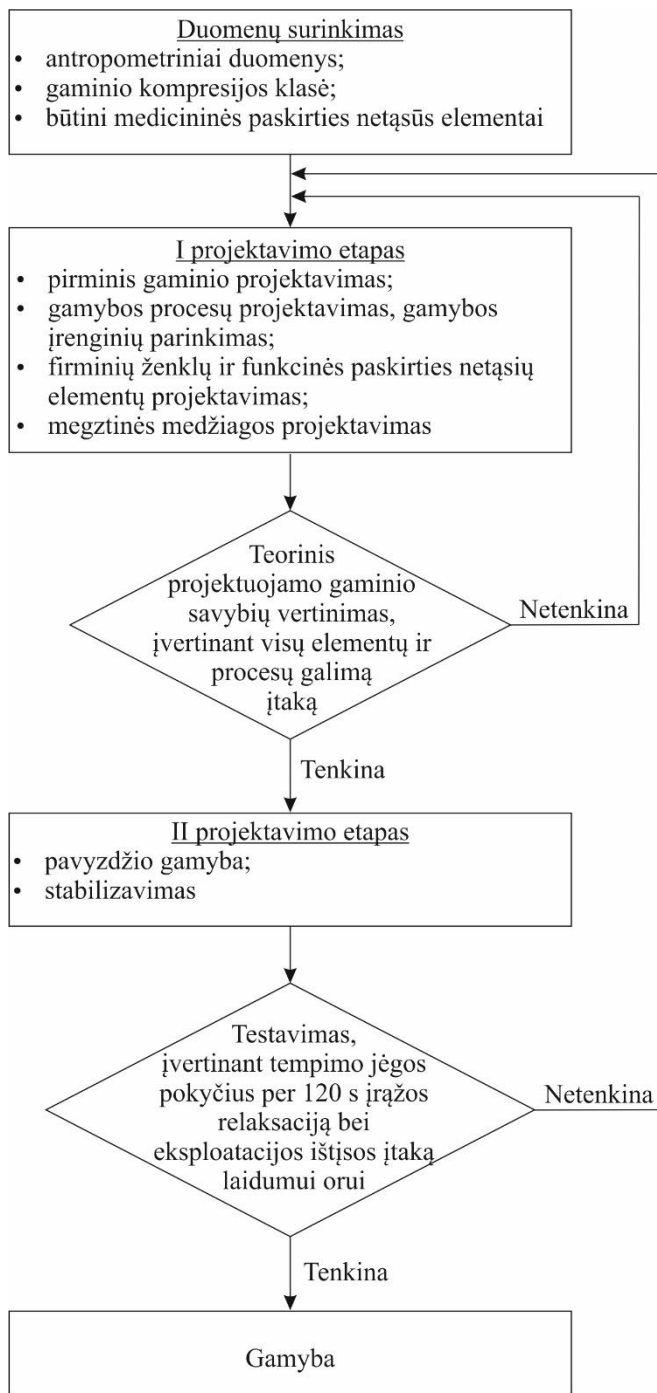
3.18 lentelė. Bazinė kompresinio ortopedinio įtvoro parametrų įtakos gaminio kompresinėms ir komfortinėms savybėms vertinimo rekomendacija

Analizės grupė	Parametras	Įtaka savybei		
		Kompresija	Komfortas	Ekonominiai veiksniai
Gamyba	Gamybos būdas ir mezgimo įrenginys	Plokščiosiomis mezgimo mašinomis pagaminami aukštesnės kompresijos gaminiai. Didėjant mezgimo mašinos klasei, mažėja mezgimo stipruminės savybės.	Siūtinų gaminių sujungimo taškai gali padidinti trintį. Mezgimo įrenginio parametrai veikia medžiagos paviršiaus tankumą, storį ir laidumą orui.	Suvartojamo siūlo kiekis. Įrenginio našumas.
	Stabilizavimas	Po stabilizavimo pakinta medžiagos struktūra, mechaninės savybės, padidėja tempimo jėga bei generuojama kompresija.	Po stabilizavimo pakinta medžiagos struktūra, sumažėja akytumai ir laidumas orui.	Žmogiškieji išteklių ir energijos sąnaudos.
	Elastomerinio siūlo įtempis mezgimo metu	Didėjant įtempiai, didėja mezgimo tempimo jėga bei generuojama kompresija.	Didėjant įtempiai, didėja eliučių ir stulpelių tankumas, medžiagos storis ir mažėja laidumas orui.	Suvartojamo siūlo kiekis.
Medžiaga	Pynimas	Medžiagos tamprumas ir stiprumas priklauso nuo pasirinkto pynimo bei kilpų, lankų ir tašų kiekio įame. Pynimas, kuriama vartojama daugiau tašų ar lankų pasižymi didesne tempimo jėga. Didžiausią kompresiją generuoja ataudiniai pynimai.	Didėjant kilpos ilgiui ar mažėjant siūlų skaičiui kilpoje, didėja megztos medžiagos akytumai ir laidumas orui. Didėjant ataudinių siūlų įterpimo tankumui, mažėja laidumas orui.	Esminės įtakos neturi.
		Šerdinio elemento ilginis tankis (T_s)	Didėjant T_s , didėja tempimo jėga, tačiau T_s pokytis nenulemia proporcingo tempimo jėgos pokyčio. AES T_s įtaka didėja, didėjant įterpimo tankumui. Nulemia medžiagos be AES kompresiją.	Siūlų kaina.
	Apvejančieji elementai	Generuojamai kompresijai įtakos neturi.	Pluošto pasirimkimas gali nulemti higieniškumą, komfortą, vizualinį patrauklumą.	Siūlų kaina.
	Įterpimo būdas ir tankumas	Didėjant AES įterpimo tankumui, eksponentiškai didėja tempimo jėga. Kompresiją nulemia ne absoliutinis AES kiekis, o įterpimo raportas. AES klojimo kryptis daro įtaką mezgimo stabilumui ir orientacijai, mechaninėms savybėms.	Didėjant AES įterpimo tankumui, mažėja laidumas orui, tačiau priklausomybė nėra tiesinė. Elastomerinio siūlo kiekis daro įtaką higieniškumui, vizualiniam patrauklumui.	Suvartojamo siūlo kiekis.

3.18 lentelės tęsinys. Bazinė kompresinio ortopedinio įtvaro parametų įtakos gaminio kompresinėms ir komfortinėms savybėms vertinimo rekomendacija

Analizės grupė	Parametras	Įtaka savybei		Ekonominiai veiksniai	
		Kompresija	Komfortas		
Medžiaga	Pagrindo siūlai	Ilginis tankis	Generuojamai kompresijai įtakos neturi.	Mazėjant ilginiam tankiui, didėja aktyvumas ir laidumas orui. Gali nulemti estetinę išvaizdą.	Suvartojamo siūlo kiekis.
		Pluoštinė sudėtis	Generuojamai kompresijai įtakos neturi.	Pluošto pasirinkimas gali nulemti higieniškumą, komfortą, vizualinį patrauklumą.	Pluošto kaina.
	Gamybos būdas	Generuojamai kompresijai įtakos neturi.	Skirtingomis technologijomis pagaminti verpalai pasižymi skirtingomis laidumo orui savybėmis.	Siūlo kaina.	
Netašūs elementai (NE)	Santykinis plotas	Didėjant NE santykiniam plotui, kompresija tiesiškai didėja. Iki 3 % santykinio ploto NE gali būti laikomi neturinčiais įtakos kompresijai.	Netašios zonos sumažina laidumą orui, pagal NE žaliavą.	Elementų kaina	
	Forma	Didėjant tokio paties ploto NE aukščiui, didėja tempimo jėga. Vienodo ploto bet skirtingos formos ar krypties NE daro skirtingo dydžio įtaką bandinių tempimo jėgai bei generuojamai kompresijai.	Komfortui esminės įtakos neturi.	Ekonominiams veiksniams įtakos neturi.	
Antropometriniai duomenys	Galūnės apimties ir gaminio perimetro santykytis	Didėjant ištiesai, didėja tempimo jėga, tačiau pokyčio mastas nėra proporcingas. Ištiesos įtaka yra labai didelė – 1 % didesnė ištiesa gali pakeisti ne tik generuojamos kompresijos vertę, bet ir gaminio kompresijos klasę.	Didėjant ištiesai, medžiagos iš apyvinių verpalų laidumas orui didėja, o iš suglaudintų oro srove arba žiedinio verpimo verpalų – mažėja. Didėjant ištiesai, laidumas orui didėja neatsižvelgiant į medžiagos pynimą ar struktūrą, tačiau mažėja ataudinio siūlo įterpimo įtaka laidumui orui.	Ekonominiams veiksniams įtakos neturi.	

Remiantis turimais domenimis, 3.25 pav. pateikiama sudaryta kompresinio ortopedinio gaminio projektavimo eiga.



3.25 pav. Siūloma kompresinio ortopedinio gaminio projektavimo eiga

Gaminio projektavimas pradedamas nuo būtinų duomenų surinkimo. I projektavimo etapas pradedamas tik žinant antropometrinius duomenis, būsimo gaminio kompresijos klasę ir būtinus medicininės paskirties netašius elementus (jų matmenis ir kryptį). I projektavimo etapo metu nustatomas galūnės ir gaminio apimčių santykis, reikiama gaminio forma, matmenys, parenkamas pynimas, pluoštinė sudėtis, mezgimo įrenginio charakteristikos, gamybos technologiniai procesai. Netašių elementų projektavimo metu maksimaliai sumažinamas ne medicininės paskirties netašių elementų kiekis ir jų užimamas plotas. Rekomenduojama atsisakyti specialios funkcijos neatliekančių netašių elementų (prekės ženklų ir pan.), juos pakeičiant mezgimo būdu suformuotais užrašais ar ženklais arba naudojant prekinį ženklą atitinkančius spalvų derinius. Parenkama optimali netašių elementų forma, atsižvelgiant į aukščio ir pločio santykio įtaką.

Megztinės medžiagos projektavimas vykdomas žinant visus gaminio sandaros elementus ir numatomus gamybos procesus. Projektavimo metu įvertinami galimi pynimai ir jų įtaka gaminio savybėms. Pasirenkamos gaminį sudarysiančios žaliavos, įvertinamos jų savybės. Ataudinio elastomerinio siūlo šerdies ilginis tankis ir įterpimo raportas parenkamas pagal reikiamą kompresijos vertę, įvertinant netašių elementų daromą įtaką generuojamos kompresijos vertei ir gamybos procesų metu medžiagose patiriamus generuojamus kompresijos pokyčius bei ekonominį efektyvumą. Vertinant teorinio gaminio ypatybes, įvertinamos suprojektuotų sandaros elementų visumos teoriškai generuojamos kompresijos tinkamumas tolimesniam gaminio vystymui. Jei apskaičiuota kompresija nėra tinkama, kartojamas visas I projektavimo etapas arba atskiros jo dalys, pradedant nuo pirminio gaminio projektavimo.

II projektavimo etapas pradedamas teorinio savybių įvertinimo metu gavus tinkamą rezultatą. Pavyzdžio gamyba atliekama numatytu gamybos būdu, naudojant visas gaminio gamybai numatytas žaliavas ir papildomus netašius elementus. Stabilizavimo procesas atliekamas realiomis gamybos sąlygomis. Pavyzdžio testavimas atliekamas įvertinant ne mažiau nei 120 s įrašos relaksacijos proceso metu patiriamą tempimo jėgos sumažėjimą (tiriant generuojamą kompresiją) arba minimalią dėvėjimo ištįsą (tiriant laidumą orui). Jei nustatyta kompresija netenkina reikiamos gaminio kompresijos, sprendžiama, kuris I projektavimo etapo procesas gali būti keičiamas.

Apibendrinimas. Remiantis gautų eksperimentinių tyrimų duomenimis ir ankstesnių tyrėjų darbų analize, sudaryti kompresinio ortopedinio įtvoro generuojamos kompresijos vertinimo ir komforto savybių (laidumo orui) nustatymo metodai. Siūloma generuojamą kompresiją vertinti mažiausiai po 120 s įrašos relaksacijos. Laidumo orui vertinimą siūloma atlikti esant minimaliai galimai dėvėjimo metu gaminio ištįsai. Savybes siūloma vertinti kompleksiskai – teorinio savybių vertinimo metu ir atliekant eksperimentinius bandymus. Sudaryta siūloma kompresinio ortopedinio gaminio projektavimo eiga bei bazinė kompresinio ortopedinio įtvoro parametrų įtakos gaminio kompresinėms ir komfortinėms savybėms vertinimo rekomendacija.

4. IŠVADOS

1. Nustatyta, kad stabilizavimo proceso metu patiriamas gaminio tempimo jėgos ir generuojamos kompresijos padidėjimas, tirtuoju atveju siekiantis iki 4,5 %, yra gana reikšmingas ir turi būti įvertinamas gaminio kompresijos prognozavimo metu. Eksperimentiniai kompresijos nustatymo tyrimai turi būti vykdomi bandinius apdorojus stabilizavimo procese.

2. Nustatyta, kad ataudinių siūlų įterpimas į gaminį padidina generuojamos kompresijos vertes, tačiau tempimo jėgos eilučių kryptimi ir ataudinio elastomerinio siūlo įterpimo į medžiagą raporto tankumo priklausomybė nėra tiesinio pobūdžio. Ataudinio elastomerinio siūlo kiekį sumažinus nuo įterpimo kiekvienoje eilutėje iki įterpimo kas antroje eilutėje, tempimo jėga sumažėja 22,62–28,81 %, o sumažinus nuo įterpimo kas antroje eilutėje iki įterpimo kas ketvirtoje eilutėje, tempimo jėgos pokytis siekia tik 0,87–4,97 %, priklausomai nuo ištiesos dydžio.

3. Nustatyta, kad ataudinio siūlo įterpimo raportas, o ne absoliutinis kiekis nulemia generuojamos kompresijos dydį: esant tam pačiam elastomerinio siūlo kiekiui, tačiau dvigubai retesniai įterpimui į struktūrą, tempimo jėga eilučių kryptimi sumažėjo net 23,88–27,86% (priklausomai nuo ištiesos dydžio).

4. Elastomerinio siūlo parametrai nulemia mezginio elgseną tempimo eilučių kryptimi metu:

- Elastomerinio ataudinio siūlo įtempį mezgimo metu padidinus 1,75 karto, tempimo jėga išauga 16,5 %, esant 30 % fiksuotai ištiesai, tačiau ilgalaikės įrašos relaksacijos metu ši įtaka laipsniškai nyksta. Todėl ilgalaikiam dėvėjimui skirtų gaminių kompresinių savybių negalima prognozuoti remiantis tik elastomerinio siūlo įtempio mezgimo metu verte.

- Didėjant elastomerinio siūlo šerdinio komponento ilginiam tankiui, didėja medžiagos tempimo jėga, tačiau elastomerinio siūlo šerdinio elemento ilginis tankis nėra tiesiogiai proporcingas tempimo jėgos dydžiui. Tirtuoju atveju šerdinio elemento ilginį tankį padidinus 3,75 karto, tempimo jėga padidėjo tik 6,4–7,8 % (priklausomai nuo bandinių stabilizavimo būsenos).

5. Didinant netąsaus elemento užimamą plotą gaminyje, gaminio generuojama kompresija tiesiškai didėja, neatsižvelgiant į ataudinio siūlo įterpimo tankumą. Netąsiam elementui užimant 25 %, tempimo jėga eilučių kryptimi padidėjo iki 16,21 %, esant 10 % fiksuotai ištiesai, ir iki 20,93 %, esant 20 % fiksuotai ištiesai.

6. Nustatyta, kad netąsaus elemento forma ar orientacijos gaminyje kryptis turi įtakos tempimo jėgai ir generuojamai kompresijai – vienodo ploto, bet skirtingos formos ar krypties netąsių elementų įtaka tempimo jėgai skyrėsi net iki 20 %. Nustatyta, kad tempimo jėga eilučių kryptimi didėja, didėjant netąsaus elemento aukščiui tempimo kryptimi.

7. Nustatyta, kad, norint pasiekti reikiamą kompresijos vertę, skirtingų dydžių ar pozicijų ortopediniams kompresiniams įtvarams būtinos skirtingos ištiesos vertės. Generuojamos kompresijos vertinimas turi būti atliekamas atskirai kiekvieno dydžio įtvarami su visais baigtam gaminiui būdingais priedais, dėl

skirtingo tāsios ģtvaros dalies santykinio ploto sumažėjimo, ģterpus standartinio dydžio netāsius elementus.

8. Nustatyta, kad ģrąžos relaksacijos metu megzto kompresinio gaminio ar jo elementų tempimo jėga mažėja, o didžiausi tempimo jėgos pokyčiai ģvyksta per pirmąsias 100–200 s. Todėl kompresinių gaminių generuojama kompresija turi būti vertinama ne anksčiau, nei po 120 s ģrąžos relaksacijos.

9. Nustatyta, kad skirtingas ataudinio elastomerinio siūlo ģterpimas gali pakeisti laidumą orui iki 49 %. Esant 20 % išģisai eilučių kryptimi, kompresinių mezginių laidumo orui vertės padidėja net iki 25,9 %, todėl laidumas orui turi būti vertinamas esant minimaliai dėvėjimo metu patiriamai medģiagos išģisai.

10. Įvertinus gautus rezultatus, sudaryta bazinė kompresinio ortopedinio ģtvaro parametrų gaminio kompresinėms ar komfortinėms savybėms vertinimo rekomendacija ir kompresinio ortopedinio gaminio projektavimo eiga.

5. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. CZAJKA, R. Development of Medical Textile Market. *Fibres and Textile in Eastern Europe*. 2005, 13(1), 13-15. ISSN 1230-3666.
2. DURAL-EREM, A., WESSMAN, P., HUSMARK, U., NIERSTRASZ, V. Biocontrol of solid surfaces in hospitals using microbial-based wipes. *Textile Research Journal*. 2019, 89(2), 216-222. ISSN 0040-5175.
3. SINGH, C., WONG, C.S., WANG, X. Medical Textiles as Vascular Implants and Their Success to Mimic Natural Arteries. *Journal of Functional Biomaterials*. 2015, 6(3), 500-525. ISSN 2079-4983.
4. HEINEMANN, C., HEINEMANN, S., LODE, A., BERNHARDT, A., WORCH, H., HANKE, T. In Vitro Evaluation of Textile Chitosan Scaffolds for Tissue Engineering using Human Bone Marrow Stromal Cells. *Biomacromolecules*, 2009, 10(5), 1305-1310. ISSN 1525-7797.
5. YEOMAN, M. S., ET AL. A constitutive model for the warp-weft coupled non-linear behavior of knitted biomedical textiles. *Biomaterials*. 2010, 31(32), 8484-8493. ISSN 0142-9612.
6. ČIUKAS, R. and MIKUČIONIENĖ, D. *Specialiosios paskirties mezginių technologija: vadovėlis*. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla, 2007.
7. XIAOHUI, Z. and PIBO, M. Application of knitting structure textiles in medical areas. *Autex Research Journal*. 2018, 18(2), 1-11. ISSN 1470-9589.
8. PELLEGGI, J. (Ed.) *Mechanical Properties of Materials*. Dordrecht: Springer, 2013.
9. BARTELS, V.T. (Ed.) *Handbook of medical textile*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011.
10. XIONG, Y. and TAO, X. Compression Garments for Medical Therapy and Sports. *Polymers*. 2018, 10(6), 1-19. ISSN 2073-4360.
11. PERREY, S. Compression Garments: Evidence for their Physiological Effect. In *The Engineering of Sports 7(2)*. Paris: Springer-Verlag Paris, 2008, 319-328.
12. CHOUCAIR, M. and PHILIPS, T. J. Compression Therapy. *Dermatologic Surgery*. 1998, 24, 141-148. ISSN 1076-0512.
13. LEGNER, M. Medical Textile with Specific Characteristics Produced on Flat Knitting Machines. In *Proceedings of the 2nd International Conference Medical textile, Bolton Institute, UK*, 1999, 44-51.
14. 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 & Textile in Eastern Europe*. 2010, 18(2), 91-97. ISSN 1230-3666.
15. LIU, R., GUO, X., LAO, T.T., LITTLE, T. A critical review on compression textiles for compression therapy: Textile-based compression interventions for chronic

venous insufficiency. *Textile Research Journal*. 2017, 87(9), 1121-1141. ISSN 0040-5175.

16. Compression therapy device having mechanical advantage. Inventors: SCHWIRIAN, J., YAKAM, B., SHAH, T. US patent US9770385B2, 2017-09-26. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-01-23]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US9770385B2/en>

17. Method and system for thermal and compression therapy relative to the prevention of deep vein thrombosis. Inventors: PARISH, O. L., BALACHANDRAN, N., QUISENBERRY, T. US patent US9119705B2, 2015-09-01. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US9119705B2/en>

18. LIU, R., KWOK, Y.L., LI, Y., LAO, T. T., ZHANG, X. Quantitative assessment of relationship between pressure performances and material mechanical properties of medical graduated compression stockings. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007, 104, 601-610. ISSN 1097-4628.

19. PEREIRA, S., ET AL. A study of the Structure and Properties of Novel Fabrics for Knee Braces. *Journal of Industrial Textiles*. 2007, 36(4), 279-300. ISSN 1530-8057.

20. HILL, J. HOWATSON, G., VAN SOMEREN, K., DAVIDSON, S., PEDLAR, C. Pressures exerted by commercially available lower limb compression garments. *British Journal of Sports Medicine*. 2014, 48(7), 608. ISSN 1473-0480.

21. AMSLER, F., BLÄTTLER, W. Compression therapy for occupational leg symptoms and chronic venous disorders – A meta-analysis of randomised controlled trials. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2008, 35(3), 366-372. ISSN 1078-5884.

22. Cigna Medical Coverage Policy. Subject: Knee Braces. Coverage Policy Number: 0362, 2012 0515.

23. ŠEŠOK, A. *Ortopedinės technikos projektavimas ir gamyba: vadovėlis*. Vilnius: Technika, 2012.

24. WINGE, R., BAYER, L., GOTTLIEB, H., RYGE, C. Compression therapy after ankle fracture surgery: a systematic review. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2017, 43(4), 451-459. ISSN 1863-9941.

25. CALMBACH, W.L., HUTCHENS, M. Evaluation of patients presenting with knee pain: Part II. Differential diagnosis. *American Family Physician*. 2003, 68(5), 917-922. ISSN 1532-0650.

26. WANG, L., FELDER, M., CAI, J. Y. Study of Properties of Medical Compression Fabrics. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics*. 2011, 4(1), 15-22. ISSN 2617-8699.

27. LI, Y., and DAI, X-Q. (Eds.) *Biomechanical Engineering of Textiles and Clothing*. Boca Raton: CRC Press, 2006.

28. TEJIRAM, S., ET AL. Compression therapy affects collagen type balance in hypertrophic scar. *Journal of Surgical Research*. 2016, 201(2), 299-305. ISSN 0022-4804.
29. MAKLEVSKA, E., NAWROCKI, A., LEDWON, J., KOWALSKI, K. Modelling and Designing of Knitted Products Used in Compressive Therapy. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006, 14(5), 111-113. ISSN 1230-3666.
30. PARTSCH, H., MORTIMER, P. Compression for leg wounds. *British Journal of Dermatology*. 2015, 173, 359-369. ISSN 1365-213.
31. VAN DEN KERCKHOVE, E., ET AL. The assessment of erythema and thickness on burn related scars during pressure garment therapy as a preventive measure for hypertrophic scarring. *Burns*. 2005, 31(6), 696-702. ISSN 0305-4179.
32. Head and neck compression therapy system. Inventors: WENNEN, D. ET AL. US patent US20170095393A1, 2017-04-06. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-01-15]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US20170095393A1/en>
33. YU, L., WEI-JIE, F., JUN-LIANG, H., XIAO-JIE, X. Research Advancements of Compression Equipments in Sports Science. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007, 104(1), 601-610. ISSN 1097-4628.
34. ABRAMAVIČIUTE J., MIKUČIONIENE D., ČIUKAS R. Static water absorption of knits from natural and textured yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 19, 60-63. ISSN 1230-3666.
35. ÖZDİL, N., MARMARALI, A., KRETZSCHMAR, S.D. Effect of yarn properties on thermal comfort of knitted fabrics. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007, 46, 1318-1322. ISSN 1290-0729
36. CUBRIC, I.S., SKENDERI, Z., MIHELIC'-BOGDANIC, A., ANDRASSY, M. Experimental study of thermal resistance of knitted fabrics. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2012, 38, 223-228. ISSN 0894-1777.
37. STANKOVIC S. B., POPOVIC D., POPARIC G. B. Thermal properties of textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers. *Polymer Testing*. 2008, 27, 41-48. ISSN 0142-9418.
38. RAJU, S., HOLLIS, K., NEGLEN, P. Use of compression stockings in chronic venous disease: patient compliance and efficacy. *Annals of Vascular Surgery*. 2007, 21(6), 790-795. ISSN 0890-5096.
39. MONTOYA, M.I., AVILA, M.L., VINCELLI, J., WILLIAMS, S., BRANDÃO, L.R. Understanding the barriers in compliance to elastic compression garments in the treatment of pediatric post-thrombotic syndrome: A qualitative study. *Thrombosis Research*. 2016, 144, 113-115. ISSN 0049-3848.
40. LAYSHENKO, I., GONCA, V., VIBA, J. Functional Features of Compressive Knitted Product. *Transport and Engineering*. 2007, 24, 200-208. ISSN 1407-8015.

41. BELBASIS, A., FUSS, F.K., SIDHU, J. Muscle activity analysis with a smart compression garment. *Procedia Engineering*. 2015, 112, 163-168. ISSN 1877-7058.
42. BELBASIS, A., FUSS, F.K. Development of next-generation compression apparel. *Procedia Technology*. 2015, 20, 85-90. ISSN 2212-0173.
43. „Arena“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-13]. Prieiga per internetą: <https://www.arenawaterinstinct.com>.
44. Physiroom [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per internetą: <http://www.physioroom.com>.
45. „Orliman“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-11]. Prieiga per internetą: <http://www.orliman.com>.
46. „Biofactpharma“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-19]. Prieiga per internetą: <http://www.biofactpharma.com>.
47. „Mediuk“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-02-12]. Prieiga per internetą: <https://www.mediuk.co.uk>.
48. „Sigvaris“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-01-20]. Prieiga per internetą: <http://www.sigvaris.com>.
49. „Leonisa“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-01-26]. Prieiga per internetą: <http://www.leonisa.com>.
50. „Juzo“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-02-23]. Prieiga per internetą: <http://www.juzo.com>.
51. „Ottobock“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-02-12]. Prieiga per internetą: <http://www.ottobock.com>.
52. CAKMAK, B., INANIR, A., NACAR, M.C., FILIZ, B. The Effect of Maternity Support Belts on Postural Balance in Pregnancy. *American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014, 6, 624-628. ISSN 0894-9115.
53. „Ortopagalba“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-12-12]. Prieiga per internetą: <http://www.ortopagalba.com>.
54. TREIGIENĖ, R., MIKUČIONIENĖ, D. *Mezginių mechanika ir projektavimas: vadovėlis*. Kaunas: Technologija, 2012.
55. ALIŠAUSKIENĖ, D., MIKUČIONIENĖ, D., MILAŠIŪTĖ, L. Influence of inlay-yarn properties and insertion density on the compression properties of knitted orthopaedic supports. *Fibres & textiles in Eastern Europe*. 2013, 21(6), 74-78. ISSN 1230-3666.
56. „Ossur“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-01-16]. Prieiga per internetą: <https://www.ossur.com>.
57. „Flokati“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-01-12]. Prieiga per internetą: <http://www.flokati.lt>.

58. „Shockdoctor“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-06]. Prieiga per internetą: <https://www.shockdoctor.com>.
59. „Djoglobal“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-03]. Prieiga per internetą: <http://www.djoglobal.eu>.
60. „Ortopedija“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-02-16]. Prieiga per internetą: <https://www.ortopedija.lt>.
61. ALIŠAUSKIENĖ, D., MIKUČIONIENĖ, D. Skersinių erdvinių kompresinių mezginių ploto skaičiavimo metodika. In *Gaminių technologijos ir dizainas 2011*. 2011, 221-224.
62. ALIŠAUSKIENĖ, D., MIKUČIONIENĖ, D. Investigation on alteration of compression of knitted orthopaedic supports during exploitation. *Materials science*. 2012, 18(4), 362-366. ISSN 1392-1320.
63. Anatomically shaped medical bandages. Inventors: BODENSCHATZ, S., HERZBERG, T., DOHENY, F. US patent US6267743B1, 2001-07-31. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-01-09]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US6267743B1/es>
64. KOWALSKI, K., KLONOWSKA, M., ILSKA, A., SUJKA, W., TYCZYŃSKA, M. Methods of Evaluating Knitted Fabrics with Elastomeric Threads in the Design Process of Compression Products. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2018, 26(3), 60-65. ISSN 1230-3666.
65. MA, P., CHANG, Y., BOAKYE, A., JIANG, G. Review on the knitted structures with auxetic effect. *The Journal of The Textile Institute*. 2017, 108(6), 947-961. ISSN 1754-2340.
66. CHENG, Z., KUZMICHEV, V.E., ADOLPHE, D.C. Development of knitted materials selection for compression underwear. *Autex Research Journal*. 2017, 17(2), 177-187. ISSN 1470-9589.
67. CIESLAK, M., KARASZEWSKA, A., GROMADZINSKA, E., JASINSKA, I., KAMINSKA, I. Comparison of methods for measurement of the pressure exerted by knitted fabrics. *Textile Research Journal*. 2017, 87(17), 2117-2126. ISSN 0040-5175.
68. Compression Braces Structure and Material. Inventors: CHIANG, J., CHUANG, J. US patent US6508776B2, 2003-01-21. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2019-02-14]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/US6508776>
69. ABDESSALEM, S.B., MANSOUR, S.B., KHELIF, H. Influence of Delayed Timing on Knitted Fabric Characteristics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2012, 7(4), 1-6. ISSN 1558-9250.
70. ABEDIN, F., MANIRUZZAMAN, K. M., SINA, A.S., KHALI, E. Effect of Gauge Variation of Circular Knitting Machine on Physical and Mechanical Properties of Cotton Knitted Fabrics. *International Journal of Textile Science*. 2014, 3(4), 70-75. ISSN 2325-0100.

71. TIWARI, S.K., FEI, P.T.C., MCLAREN, J.D. A pilot study: Evaluating the influence of knitting patterns and densities on fabric properties for sports applications. *Procedia Engineering*. 2013, 60, 373-377. ISSN 1877-7058.
72. FATKIC, E., GERSAK, J., UJEVIC, D. Influence of knitting parameters on the mechanical properties of plain jersey knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 88, 87-91. ISSN 1230-3666.
73. SADEK, R., EL-HOSSINI, A. M. , ELDEEB, A. S. , YASSEN, A.A. Effect of Lycra Extension Percent on Single Jersey Knitted Fabric Properties. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2012, 7(2), 11-16. ISSN 1558-9250.
74. TVARIJONAVIČIENĖ, B., MIKUČIONIENĖ, D., ČIUKAS, R. Influence of Knitting Process Conditions and Washing on Tensile Characteristics of Knitted Ribbon Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005, 13(4), 74-77. ISSN 1230-3666.
75. TREIGIENĖ, R., LAURECKIENĖ, G. The Influence of Stabilization on the Structure of Knits and Tensile Properties of Their Yarns. *Materials Science*. 2012, 18(4), 358-361. ISSN 1392-1320.
76. SAMANTA, K.K., PANDIT, P., SAMANTA, P., BASAK, S. Water consumption in textile processing and sustainable approaches for its conservation. In *Water in Textiles and Fashion*. Woodhead Publishing, 2019.
77. YASMIN, Z., SHIBLY, M.H., AHMMED, S., SWATI, S.S. Recycle and Reuse of Textile Waste Liquor from Scouring and Bleaching of Cotton. *The Global Journal of Researches in Engineering*. 2018, 18(4), 17-21. ISSN 2249-4596.
78. SILVA, L.G.M., et al. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*. 2018, 198, 430-442. ISSN 0959-6526.
79. HOQUE, S., CHAKRABORTY, S., HOSSAIN, F., ALAM, M. Knit Fabric Scouring with Soapnut: A Sustainable Approach Towards Textile Pre-Treatment. *American Journal of Environmental Protection*. 2018, 7(1), 19-22. ISSN 2328-5699.
80. Kumar, R.S. *Textiles for Industrial Applications*. Boca Raton: CRC, 2013.
81. Cooklin, G. (Ed.) *Garment Technology for Fashion Designer*. Oxford: Blackwell Science, 1997.
82. AKAYDIN, M., CANA, Y. Research of Strength Properties of Socks Knitted from New Cellulose Based Fibers. *Electronic Journal of Textile Technologies*. 2012, 6(2), 28-36.
83. MATHER, R.R., WARDMAN, R.H. *The Chemistry of Textile Fibres*. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015.

84. KUMAR, V., SAMPATH, V.R. Investigation on the Physical and Dimensional Properties of Single Jersey Fabrics made from Cotton Sheath – Elastomeric Core Spun. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, 21(3), 73-75. ISSN 1230-3666.
85. PESIC, M., et al. The analysis of dimensional stability of 1x1 RIB Co and Co/LY knitwear. *Industria Textila*. 2018, 69(4), 293-297. ISSN 1222-5347.
86. MEREDITH, R. *Elastomeric Fibres*. Cbs Publishers & Distributors, 2004.
87. BHAT, G., CHAND, S., YAKOPSON, S. Thermal properties of elastic fibers. *Thermochimica Acta*. 2001, 367, 161-164. ISSN 0040-6031.
88. ABRAMAVIČIŪTĖ, J., MIKUČIONIENĖ, D., ČIUKAS, R. Structure properties of knits from natural yarns and their combination with elastane and polyamide threads. *Materials science*. 2011, 17(1), 43-46. ISSN 1392-1320.
89. ALIŠAUSKIENĖ, D., MIKUČIONIENĖ, D. Prediction of Compression of Knitted Orthopaedic Supports by Inlay-Yarn Properties. *Materials Science*. 2014, 20(3), 311-314. ISSN 1392-1320.
90. SAYED, Z.B., ISLAM, T., CHAWDHURY, N.H., AHMED, M. Effect of Knitted Structures and Yarn Count on the Properties of Weft Knitted Fabrics. *Journal of Textile Science and Technology*. 2018, 4, 67-77. ISSN 2379-1551.
91. AL-ANSARY, M. Effect of Spandex Ratio on the Properties of Woven Fabrics Made of Cotton/Spandex Spun Yarns. *Journal of American Science*. 2011, 7(12), 63-67. ISSN 1545-1003.
92. „Bauerfeind“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2012-12-08]. Prieiga per internetą: www.bauerfeindkorea.com/pdf/bro_knie_gb.pdf.
93. ALIŠAUSKIENĖ, D., MIKUČIONIENĖ, D. Influence of the Rigid Element Area on the Compression Properties of Knitted Orthopaedic Supports. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 20(6A), 103-107. ISSN 1230-3666.
94. „Zwick“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-28]. Prieiga per internetą: <https://www.zwick.com/universal-testing-machines>.
95. „Swisslastic“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.swisslastic.ch/en/products/pressure-measuring-devices-16>.
96. „Satra Technology“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-14]. Prieiga per internetą: https://www.satra.com/test_equipment/machine.php?id=181.
97. ONER E., DURUR G., CANSUNAR H.E. A new technique to measure pressure in medical compression stockings. *Textile Research Journal*. 2018, 88(22), 2579-2589. ISSN 1746-7748.
98. MCLAREN, J., HELMER, R.J.N., HORNE, S.L., BLANCHONETTE, I. Preliminary Development of a Wearable Device for Dynamic. *Procedia Engineering*. 2010, 2, 3041-3046. ISSN 1877-7058.

99. YUNG-WEI, C. A new compression pressure measuring device. *Veins and Lymphatics*. 2017, 6(6636), 31-32. ISSN 2279-7483.
100. „Ttmeditrade“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per internetą: <http://www.ttmeditrade.dk/en/kikuhime#video>.
101. „Microlabitalia“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per internetą: <http://www.microlabitalia.it/wfolder/filescasehistory/file/11.pdf>.
102. „Sensorprod“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-12]. Prieiga per internetą: <https://www.sensorprod.com/dynamic/ultra-sensitive-body-mapping.php>.
103. „Tekscan“ internetinis puslapis [interaktyvus]. [žiūrėta 2019-02-14]. Prieiga per internetą: <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/i-scan-system>.
104. ELLIS, B., et al. Measuring compression caused by garments. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2018, 30(2), 138-151. ISSN 0955-6222.
105. LIU, R., LAO, T. T., LITTLE, T. J., WU, X., & KE, X. Can heterogeneous compression textile design reshape skin pressures? A fundamental study. *Textile Research Journal*. 2018, 88(17), 1915-1930. ISSN 1746-7748.
106. ARAUJO, M., FRANGUEIRO, R., HONG, H. Modeling and simulation of the mechanical behaviour of weft-knitted fabrics for technical application. Part III: 2D hexagonal FEA model with non-linear truss elements. *Autex Research Journal*. 2004, 4, 25-32. ISSN 1470-9589.
107. LAPLANCHE, M.A., ET AL. New method to measure compression stockings transparency. *Journal of Industrial Textile*. 2014, 43, 577-592. ISSN 1528-0837.
108. VLAD, D., CIOCA, L.I. Research Regarding the Influence of Raw Material and Knitted Fabric Geometry on the Tensile Strength and Breaking Elongation. *Procedia Technology*. 2016, 22, 60-67. ISSN 2212-0173.
109. KOWALSKI, K., MIELICKA, E., KOWALSKI, T.M. Modelling and designing compression garments with unit pressure assumed for body circumferences of a variable curvature radius. *Fibres & Textile in Eastern Europe*. 2012, 20, 98-102. ISSN 1230-3666.
110. STOLYAROV, O., QUADFLIEG, T., GRIES, T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015, 85(18), 1934-1945. ISSN 1746-7748.
111. KYZYMCHUK, O., MELNYK, L. Stretch properties of elastic knitted fabric with pillar stitch. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2018, 1-10. ISSN 1558-9250. Prieiga per doi: 10.1177/1558925018820722.
112. GURUPRASAD, R., PRASAD, G.K., PRABU, G.T.V., RAJ, S., PATIL, P.G. Low-stress mechanical properties and fabric had of cotton and polylactic acid fibre

blended knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. 2018, 43, 381-384. ISSN 0975-1025.

113. MAVRUZ, S., OGULATA, R.T. Taguchi Approach for the Optimisation of the Bursting Strength of Knitted Fabrics. *Fibres & Textile in Eastern Europe* 2010, 18(2), 78-83. ISSN 1230-3666.

114. MIKUČIONIENĖ, D., ČIUKAS, R., MICKEVIČIENĖ, A. The Influence of Knitting Structure on Mechanical Properties of Weft Knitted Fabrics. *Materials Science*. 2010, 16(3), 221-225. ISSN 1392-1320.

115. HASHEMI, N., ASAYESH, JEDDI, A.A.A., ARDAKANI, T. The influence of two bar warp-knitted structure on the fabric tensile stress relaxation Part I: (reverse locknit, sharkskin, queens' cord). *The Journal of The Textile Institute*. 2016, 107(4), 512-524. ISSN 0040-5000.

116. SITOTAW, D. B., ADAMU, B. F. Tensile Properties of Single Jersey and 1×1 Rib Knitted Fabrics Made from 100 % Cotton and Cotton/Lycra Yarns. *Journal of Engineering*. 2017, 1, 1-7. ISSN 2314-4904.

117. KUMAR, V., SAMPATH, V.R., PRAKASH, C. Investigation of stretch on air permeability of knitted fabrics part II: effect of fabric structure. *The Journal of The Textile Institute*. 2016, 107(10), 1213-1222. ISSN 0040-5000.

118. MACINTYRE, L., STEWART, H., RAE, M. How can the pressure in anti-embolism stockings be maintained during use? Laboratory evaluation of simulated 'wear' and different reconditioning protocols. *International Journal of Nursing Studies*. 2016, 64, 19-24. ISSN 0020-7489.

119. ILSKA, A., KOWALSKI, K., KŁONOWSKA, M., KOWALSKI, T.M. Influence of Stress and Relaxation Characteristics of Knitted Fabrics on the Unit Pressure of Compression Garments Supporting External Treatment. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2014, 22(4), 87-92. ISSN 1230-3666.

120. RAMASAMY, K.A., NALANKILLI, G., SHANMUGASUNDARAM, O. L. Dimensional stability of cotton, tencel and tencel/cotton blend plain weft knitted fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2018, 43, 25-30. ISSN 0975-1025.

121. LAURECKIENĖ, G., MILAŠIUS, R. Behaviour of Long-Lasting Stress Relaxation of Various Types of Yarns. *Autex Research Journal*. 2017, 17(4), 379-385. ISSN 1470-9589.

122. VASSILIADIS, S., MATSOUKA, D., REŠETÁROVÁ, L. BOUIN, L., MARMARALI, A. Stress relaxation of three-dimensional warp-knitted fabrics in compression. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, 459, 1-5. ISSN 17578981.

123. ARDAKANI, T., ASAYESH, A., JEDDI, A.A.A. The influence of two bar warp-knitted structure on the fabric tensile stress relaxation Part II: (locknit, satin, loop

raised). *The Journal of The Textile Institute*. 2016, 107(11), 1357-1368. ISSN 0040-5000.

124. CUDEN, A.P., HLADNIK, A., SLUGA, F. Impact of material, structure and relaxation process parameters of elasticized single-knitted fabrics on loop length. *Textile Research Journal*. 2013, 83(1), 56-65. ISSN 0040-5175.

125. KUMAR, B., DAS, A., ALAGIRUSAMY, R. Effect of material and structure of compression bandage on interface pressure variation over time. *The Journal of Venous Disease*. 2014, 29(6), 376-385. ISSN 0268-3555.

126. GERŠAK, J., ŠAJN, D., BUKOŠEK, V. A study of the relaxation phenomena in the fabrics containing elastane yarns. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2005, 17(3), 188-200. ISSN 0955-6222.

127. LIU, S., ZHOU, J. Analysis of the dynamic properties of elastic knitted fabric for sportswear: inverse stress relaxation. *Textile Research Journal*. 2018, 1-11. ISSN 1746-7748. Prieiga per doi: 10.1177/0040517518779247.

128. NACHANE, R., SUNDARAM, V. Analysis of relaxation phenomena in textile fibres: Part II: inverse relaxation. *Journal of Textile Institute*. 1995, 86, 20–32. ISSN 0040-5000.

129. MANDHYAN, P., et al. Nonlinear Maxwell modelling of inverse relaxation in yarns and fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. 2017, 42, 168-174. ISSN 0971-0426.

130. NACHANE R., HUSSAIN, G. Inverse relaxation in fabrics. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. 2003, 28(1), 50-54. ISSN 0971-0426.

131. DINH, T.D., WEEGER O., KAIJIMA, S., YEUNG, S.K. Prediction of mechanical properties of knitted fabrics under tensile and shear loading: Mesoscale analysis using representative unit cells and its validation. *Composites Part B*. 2018, 148, 81-92. ISSN 1359-8368.

132. LIU, D., ET AL. On the role of material architecture in the mechanical behavior of knitted textiles. *International Journal of Solids and Structures*. 2017, 109, 101-11. ISSN 0020-7683.

133. KONONOVA, O., KRASNIKOVS, A., DZELZITIS, K., KHARKOVA, G., VAGELA, A., EIDUKS, M. Modelling and experimental verification of mechanical properties of cotton knitted fabric composites. *Estonian Journal of Engineering*. 2011, 17(1), 39-50. ISSN 1406-0175.

134. ARAUJO, M., FRANGUEIRO, R., HONG, H. Modelling and simulation of the mechanical behaviour of weft-knitted fabrics for technical applications, Part IV: 3D FEA model with a mesh of tetrahedric elements. *Autex Research Journal*. 2004, 4(1), 72-80. ISSN 1470-9589.

135. GE, Z., HU, H., LIU, Y. Numerical analysis of deformation behavior of a 3D textile structure with negative Poisson's ratio under compression. *Textile Research Journal*. 2015, 85(5), 548-557. ISSN 0040-5175.

136. ZHI, C., et al. Compression Properties of Syntactic Foam Reinforced by Warp-knitted Spacer Fabric: Theoretical Compression Strength Model and Experimental Verification. *Cellular Polymers*. 2018, 37(1), 21-32. ISSN 0262-4893.
137. DANGORA, L.M., MITCHELL, C.J., SHERWOOD, J.A Predictive model for the detection of out-of-plane defects formed during textile-composite manufacture. *Composites Part A*. 2015, 78, 102-112. ISSN 1359-835X.
138. YOUSEFPOUR, M., AHMADI, M.S., PAYVANDY, P. Comparison of GA-Optimized Viscoelastic Models for the Characterization of Compression Behavior of Warp-Knitted Spacer Fabrics. *Autex Research Journal*. 2018, 18, 209-215. ISSN 1470-9589.
139. HOSSAIN, D., TSCHOPP, M.A., WARD, D.K., BOUVARD, J.L., WANG, P., HORSTEMEYER, M.F. Molecular dynamics simulations of deformation mechanisms of amorphous polyethylene. *Polymer*. 2010, 51, 6071-6083. ISSN 0032-3861.
140. GONZALES, C., LLORCA, J. Mechanical behavior of unidirectional fiber-reinforced polymers under transverse compression: Microscopic mechanisms and modeling. *Composites Science and Technology*. 2007, 67, 2795-2806. ISSN 0266-3538.
141. HUANG, Z.M., RAMAKRISHNA, S., TAY, A.A.O. Modeling the stress/strain behavior of a knitted fabric-reinforced elastomer composite. *Composites Science and Technology*. 2000, 60, 671-691. ISSN 0266-3538.
142. WEY, X., FORD, M., SOLER-CRESPO, R.A., ESPINOSA, H.D. A new Monte Carlo model for predicting the mechanical properties of fiber yarns. *Journal of Mechanics and Physics of Solids*. 2015, 84, 325-335. ISSN 0022-5096.
143. MAZZUCCO, G., D'ANTINO, T., PELLEGRINO, C., SALOMONI, V. Three-dimensional finite element modeling of inorganic-matrix composite materials using a mesoscale approach. *Composites Part B*. 2018, 143, 75-85. ISSN 1359-8368.
144. KURBAK, A. Geometrical Models for Balanced Rib Knitted Fabrics Part I: Conventionally Knitted 1×1 Rib Fabrics. *Textile Research Journal*. 2009, 79(5), 418-435. ISSN 0040-5175.
145. SODHANI, D., REESE, S., JOCKENHÖVEL, S., MELA, P., STAPLETON, S.E. Multi-scale modelling and simulation of a highly deformable embedded biomedical textile mesh composite. *Composites Part B*. 2018, 143, 113-131. ISSN 1359-8368.
146. TODROS, S., et al. Computational modeling of abdominal hernia laparoscopic repair with a surgical mesh. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2018, 13(1), 73-81. ISSN 1861-6429.
147. ZHANG, X., YEUNG, K.W., LI, Y. Numerical Simulation of 3D Dynamic Garment Pressure. *Textile Research Journal*. 2002, 72(3), 245-252. ISSN 0040-5175.

148. LIN, Y., CHOI, K.-F., LUXIMON, A., YAO, L., HU, J., LI, Y. Finite element modeling of male leg and sportswear: Contact pressure and clothing deformation. *Textile Research Journal*. 2011, 81, 1470-1476. ISSN 0040-5175.
149. LIU, R. KWOK, Y.-L. LI, Y. LAO, T.-T. DAI, X.Q. ZHANG, X. Numerical simulation of internal stress profiles and three-dimensional deformations of lower extremity beneath medical graduated compression stocking (GCS). *Fibers and Polymers*. 2007, 8(3), 302-308. ISSN 1875-0052.
150. MACINTYRE, L., FERGUSON, R. Pressure garment design tool to monitor exerted pressures. *Burns*. 2013, 39, 1073-1082. ISSN 0305-4179.
151. OĀLAKCIOĀLU, N., MARMARALI, A. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007, 15(5), 64-65. ISSN 1230-3666.
152. KIM, I., SHAHARIAR, H., INGRAM, W.F., ZHOU, Y., JUR, J.S. Inkjet Process for Conductive Patterning on Textiles: Maintaining Inherent Stretchability and Breathability in Knit Structures. *Advanced Functional Materials*. 2019, 1-12. ISSN 1616-3028. Prieiga per doi: 10.1002/adfm.201807573.
153. SHISHOO, R. (Ed.) *Textiles in sport*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005.
154. SCOTT, R.A. (Ed.) *Textiles for Protection*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005.
155. BARTKOWIAK, G., FRYDRYCH, I., KOMISARCZYK, A., GRESZTA, A. Fabric Selection for the Reference Clothing Destined for Ergonomics Test of Protective Clothing—Sencorial Comfort Point of View. *Autex Research Journal*. 2017, 17(4), 303-312. ISSN 1470-9589.
156. 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*. 2010, 18(5), 71-75. ISSN 1230-3666.
157. BAGHDADI, R., ALIBI, H., FAYALA, F., ZENG, X. Investigation on air permeability of finished stretch plain knitted fabrics. I. Predicting air permeability using artificial neural networks. *Fibers and Polymers*. 2016, 17(12), 2105-2115. ISSN 1875-0052.
158. MIKUĀIONIENĀ, D., MILAĀIŪTĀ, L., BALTUĀNIKAITĀ, J., MILAĀIUS, R. Influence of Plain Knits Structure on Flammability and Air Permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 20(5), 66-69. ISSN 1230-3666.
159. ĀIUKAS, R., ABRAMAVIĀIŪTĀ, J. Investigation of the Air Permeability of Socks Knitted from Yarns with Peculiar Properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2010, 18(1), 84-88. ISSN 1230-3666.
160. 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*. 2006, 14(3), 77-80. ISSN 1230-3666.

161. WANG, X.H., KAINUMA, M., NAKAZAWA, M. A. Novel Approach for Evaluating the Air Permeability of Airbag Fabrics. *Textile Research Journal*. 2006, 76(1), 66-70. ISSN 0040-5175.
162. ÇORUH, E. Effects of the Laundering Process on Dimensional and Physical Properties of Plain and Lacoste Fabrics Made from Modal/Combed Cotton Blended Yarns. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2017, 25(4), 75-81. ISSN 1230-3666.
163. ARUMUGAM, V., MISHRA, R., MILITKY, J. & SALACOVA, J. Investigation on thermo-physiological and compression characteristics of weft-knitted 3D spacer fabrics. *Journal of The Textile Institute*. 2017, 108(7), 1095-1105. ISSN 0040-5000.
164. MAJUMDAR A., MUKHOPADHYAY S., YADAV R. Thermal properties of knitted fabrics made from cotton and regenerated bamboo cellulosic fibres. *International Journal of Thermal Sciences*. 2010, 49, 2042-2048. ISSN 1290-0729.
165. STANKOVIC, S.B., BIZJAK, M. Effect of Yarn Folding on Comfort Properties of Hemp Knitted Fabrics. *Clothing and Textiles Research Journal*. 2014, 32(3), 202-214. ISSN 0887-302X.
166. KUMAR, K.V., SAMPATH, V.R., PRAKASH, C. Investigation of stretch on air permeability of knitted fabric part I: effect of sinning system. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2017, 29(6), 754-767. ISSN 0955-6222.
167. BIVAINYTĖ, A., MIKUČIONIENĖ, D. Investigation on the Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2011, 19(3), 69-73. ISSN 1230-3666.
168. GHOSH, A., MAL, P., MAJUMDAR, A., BANERJEE, D. An investigation on air and thermal transmission through knitted fabric structures using the Taguchi method. *Autex Research Journal*. 2017, 17(2), 152-163. ISSN 1470-9589.
169. 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*. 2004, 95(1), 359-367. ISSN 0040-5000.
170. ZAKARIA Z., TARMIZI, Z. I. A., JAWAID, M., HASSAN, A. Effect of degree of deacetylation of chitosan on thermal stability and compatibility of chitosan-polyamide blend. *BioResources*. 2012, 7(4), 5568-5580. ISSN: 1930-2126. Priega per doi: 10.15376/biores.7.4.5568-5580.
171. OTAIGBES, J.U., MADBOULY, A. *Handbook of Textile Fibre Structure: Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres – The processing, structure and properties of elastomeric fibers*. Cambridge: Woodhed Publishing, 2009, 325-351.
172. VITKAUSKAS, A., MILAŠIUS, V., ČIUKAS, R. *Tekstilės medžiagų mechanika: Vadovėlis*. Kaunas: Vitae Litera, 2007.
173. MATUKONIS, A., PALAIMA, J., VITKAUSKAS, A. *Tekstilės medžiagotyra: Vadovėlis*. Vilnius: Mokslas, 1989.

174. MILAŠIUS, R. *Tekstilės eksperimento teorija ir praktika: Mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2011.
175. ZOUARI, R., CHEIKHROUHOU, M., SAHNOUN, M. Statistical Study of the Influence of Some Knitting Parameters Variation on the Fabrics Quality. *Journal of Applied Sciences*. 2008, 8(18), 3294-3297. ISSN 1812-5662.
176. KOWALSKI, K., ET AL. Influence of a compression garment on average and local changes in unit pressure. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2017, 25, 68-74. ISSN 1230-3666.
177. OKS, B., LYASHENKO, I. Methods of calculation of local pressure of elastomer products. *international conference Medical Textiles'99, Bolton, England*. Bolton: Cambridge Woodhead Publishing Limited, 1999.
178. BASIT, A., LATIF, W., BAIG, S.A., AFZAL, A. The Mechanical and Comfort Properties of Sustainable Blended Fabrics of Bamboo With Cotton and Regenerated Fibers. *Clothing and Textiles Research Journal*. 2018, 36(4), 267-280. ISSN 0887-302X.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės Clarivate Analytics Web of Science leidiniuose paskelbti straipsniai

1. Mikučionienė, Daiva; Milašiūtė, Laima. Influence of knitted orthopaedic support construction on compression generated by the support // *Journal of Industrial Textiles*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. ISSN 1528-0837. eISSN 1530-8057. 2017, vol. 47, iss. 4, p. 551-566. DOI: 10.1177/1528083716661205.
2. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva; Laureckienė, Ginta; Brazaitis, Marius. New approach to evaluation of orthopaedic supports compression properties // *Journal of Industrial Textiles*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. ISSN 1528-0837. eISSN 1530-8057. Paskelbta Online. 2018, p. 1-13. DOI: 10.1177/1528083718783312.
3. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva; Andziukevičiūtė-Jankūnienė, Akvilė; Jankauskaitė, Virnginija. Compression properties of knitted supports with silicone elements for scars treatment and new approach to compression evaluation // *IOP conference series: Materials science and engineering: international conference Baltic polymer symposium 2018, 12–14 September 2018, Jurmala, Latvia*. Bristol: IOP Publishing. ISSN 1757-8981. eISSN 1757-899X. 2019, vol. 500, art. no. 01216, p. 1-5. DOI: 10.1088/1757-899X/500/1/012016.
4. Muralienė, Laima; Burokė, Ernesta; Mikučionienė, Daiva. Influence of Stabilization and Short-Term Relaxation to Compression Generated by Stocking Welt // *Journal of the Textile Institute*. ISSN 0040-5000. Paskelbta Online. 2019, p. 1-8. DOI: 10.1080/00405000.2019.1619291

Pristatyti pranešimai tarptautinėse konferencijose

1. Mikučionienė, Daiva; Milašiūtė, Laima. Study on compression properties of knitted orthopaedic supports // *AUTEX 2016: 16th world textile conference, 8–10 June 2016, Ljubljana, Slovenia: book of abstracts / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering*. Ljubljana: University of Ljubljana, 2016. ISBN 9789616900171. p. 1-2.
2. Milašiūtė, Laima; Mikučionienė, Daiva. Influence of knit's structure and construction on compression generated by the orthopaedic support // *Advanced materials and technologies: book of abstracts of the 18th international conference-school, 27–31 August 2016, Palanga, Lithuania*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas. ISSN 1822-7759. 2016, p. 134.
3. Milašiūtė, Laima; Mikučionienė, Daiva. Investigation on compression of knitted orthopedic supports with additional rigid elements // *Magic world of textiles [elektroninis išteklius]: 8th international textile clothing & design conference, October 2–5, 2016, Dubrovnik, Croatia: book of proceedings*. Zagreb: University of Zagreb Faculty of Textile technology. ISSN 1847-7275. 2016, p. 1.
4. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva. Analysis of rigid elements caused compression class changes of knitted orthopaedic supports // *AUTEX World Textile Conference 2017 [elektroninis išteklius]: 29–31 May, Corfu, Greece: book*

- of abstracts / organized by the Piraeus University of Applied Sciences. 2017, p. 1-2.
5. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva. Differentiation of rigid elements used for knitted orthopaedic supports // *Advanced materials and technologies: book of abstracts of the 19th international conference-school, 27–31 August 2017, Palanga, Lithuania*. Kaunas: Kaunas University of Technology. ISSN 1822-7759. 2017, P90, p. 118.
 6. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva. Structure based classification of compression supports for different purposes // *Science for health: 1st international doctoral students' conference, April 13, 2018, Kaunas, Lithuania: book of abstracts*. Kaunas: LSMU, 2018. ISBN 9789955155300. p. 74-75.
 7. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva; Andziukevičiūtė-Jankūnienė, Akvilė; Jankauskaitė, Virginija. Investigation of compression products for scars treatment // *Advanced materials and technologies: book of abstracts of 20th international conference – school, 27–31 August 2018, Palanga, Lithuania*. Kaunas: Kaunas University of Technology. ISSN 1822-7759. 2018, P104, p. 138.
 8. Muralienė, Laima; Mikučionienė, Daiva; Andziukevičiūtė-Jankūnienė, Akvilė; Jankauskaitė, Virginija. Compression properties of knitted supports with silicone elements for scars treatment and new approach to compression evaluation // *Baltic polymer symposium 2018, Jurmala, Latvia, September 12–14: programme and proceedings / organised by Institute of Polymer Materials Riga Technical University*. 2018, p. 118.
 9. Mikučionienė, Daiva; Muralienė, Laima; Laureckienė, Ginta; Brazaitis, Marius. Investigation and evaluation of knitted orthopaedic supports compression // *Magic world of textiles: 9th international textile clothing & design conference, October 7-10, 2018, Dubrovnik, Croatia: final programme*. Zagreb: University of Zagreb. 2018, D4, p. 1.
 10. Laureckienė, Ginta; Mikučionienė, Daiva; Muralienė, Laima. Compressive Orthopaedic Supports for the Elderly // *AUTEX World Textile Conference 2019, 11–15 June, Ghent, Belgium*. Priimtas pranešimas.

PADEKA

Esu labai dėkinga savo mokslinei vadovei prof. dr. Daivai Mikučionienei už perduotas žinias ir patirtį, skatinimą tobulėti, neribotus patarimus ir konsultacijas, įvairiapusę pagalbą ir palaikymą visų studijų metu.

Dėkoju dr. Gintai Laureckienei už suteiktas žinias, pagalbą, skirtą laiką ir palaikymą bei kitiems KTU dėstytojams ir darbuotojams už patirtį ir žinias, įgytas studijų metu.

Labai dėkoju savo šeimai ir artimiesiems už kantrybę, visapusį palaikymą ir pagalbą studijų ir disertacijos rašymo metu. Esu itin dėkinga savo vyrui už supratingumą ir pagalbą suderinant doktorantės ir mamos vaidmenis.

SL344. 2019-06-17, 15,25 leidyb. apsk. I. Tiražas 12 egz. Užsakymas 138 .
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas