

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ŽANETA JUCHNEVIČIENĖ

AUDINIŲ SANDAROS ĮTAKA SIUVINĖTO
ELEMENTO KOKYBEI IR
FUNKCIONALUMUI

Daktaro disertacija
Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (T 008)

Kaunas, 2019

Disertacija rengta 2014–2016 metais Kauno technologijos universitete, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultete, Medžiagų inžinerijos katedroje, 2016–2018 metais Kauno technologijos universitete, Architektūros ir statybos institute Mokslinius tyrimus rėmė Lietuvos mokslo taryba.

Mokslinis vadovas:

doc. dr. Milda JUCIENĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, medžiagų inžinerija – T 008).

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:

<http://ktu.edu>

Redagavo:

Virginija Stankevičienė (leidykla „Technologija“)

© Ž. Juchnevičienė, 2019

ISBN 978-609-02-1584-5

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

TURINYS

ĮVADAS	6
1. LITERATŪROS APŽVALGA	9
1.1 Siuvinėjimo proceso aktualumas šiuolaikiniame kontekste	9
1.2 Siuvinėtų sistemų atlikimų ypatumų ir medžiagų savybių įtakos tyrimų apžvalga	10
1.3 Siuvinėjimo proceso technologinių veiksnių įtaka siuvinėto elemento kokybei	13
1.4 Siuvinėtų sistemų vertinimo metodai	17
1.5 Elektrai laidžių siuvinėtų sistemų funkcionalumo tyrimai	20
1.6 Literatūrinės apžvalgos apibendrinimas	26
2. TYRIMO METODOLOGIJA	28
2.1 Tyrimo objektai ir jų charakteristikos	28
2.2 Siuvinėjimo proceso atlikimo metodika	29
2.2.1 Siuvinėtų elementų užpildymo tipų atlikimo metodika	30
2.2.2 Siuvinėtų juostelės formos elementų ilgio ir pločio nustatymo metodika	31
2.2.3 Uždaro kontūro kvadrato formos siuvinėtų elementų tyrimo metodika ..	32
2.2.3.1 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio tyrimo metodika	32
2.2.3.2 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio matavimo metodo neapibrėžties tyrimo metodika	33
2.2.3.3 Kvadrato formos elementų išorinio ir vidinio pločių tyrimo metodika	35
2.2.3.4 Siuvinėtų kvadrato formos elektrai laidžių elementų tyrimas	37
2.2.3.5 Elektrai laidaus siuvinėto elemento geometrinių parametrų pokyčio po eksploatacijos vertinimas	38
3. TYRIMŲ REZULTATAI	39
3.1 Technologinių veiksnių ir medžiagų savybių įtaka juostelės formos siuvinėto elemento geometriniams parametrams	39
3.2 Kvadrato formos siuvinėtų elementų skirtingų kontūro pločių atitikimo suprojektuotiems elementams analizei	46
3.3 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio tyrimo metodo neapibrėžties vertinimas	52
3.4 Kvadrato formos siuvinėtų elementų išorinių ir vidinių kvadratų pločio tikslumo tyrimas	58
3.5 Elektrai laidžių siuvinėtų elementų funkcionalumo vertinimas	66
3.6 Eksploatacijos veiksnių įtaka siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniams parametrms	72
IŠVADOS	84
LITERATŪROS SĄRAŠAS	86
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS DISERTACIJOS TEMA, DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE	96
PRIEDAI	99

SIMBOLIŲ SAŖAŠAS

l	metmenų kryptis
2	ataudų kryptis
e	audinio užpildymo rodiklis
Z	„zigzago“ užpildymo tipas
T	„tatamio“ užpildymo tipas
EJ	siuvinėto elemento plotis, mm
EL	siuvinėto elemento ilgis, mm
SL	siuvinėjimo dygsnių ilgis, mm
V	siuvinėjimo proceso greitis, aps/min
EW	siuvinėto elemento kontūro plotis, mm
EW_1	siuvinėto elemento kontūro plotis, %
ΔP	siuvinėto elemento kontūro pločio pokytis, %
Fc	siuvinėto elemento išorinis plotis, mm
Fic	siuvinėto elemento vidinis plotis, mm
$R(\Omega)$	siuvinėto elemento elektrinė varža, Ω
R_E	siuvinėto elemento elektrinė varža po eksploatacijos proceso, Ω
CS	elektrai laidaus uždaro kontūro siuvinėto elemento plotis, mm
CS_K	elektrai laidaus uždaro kontūro siuvinėto elemento plotis po eksploatacijos, mm
Δl	siuvinėto elemento kontūro pločio pokytis, mm
Δl_{ic}	skaitmeninio vaizdo kalibravimo įtaka siuvinėto elemento kontūro pločio suminei neapibrėžčiai
Δl_{SP}	bandinių paruošimo proceso įtaka siuvinėto elemento kontūro pločio suminei neapibrėžčiai
$\Delta l_{\Delta p}$	duomenų iškraipymo įtaka siuvinėto elemento kontūro pločio suminei neapibrėžčiai
l_s	suprojektuotas siuvinėto elemento kontūro plotis, mm
l_m	išmatuotas siuvinėto elemento plotis, mm
$u(l_s)$	standartinio pločio standartinis neapibrėžtumas
U_{sl}	etaloninės liniuotės išplėstinė kalibravimo neapibrėžtis
l	Gauso trijų taškų metodo atstumas tarp taškų
α_m	didinimo koeficientas skaitmeniniams vienetams perskaičiuoti į tikrusius dydžius
$u(\Delta l_{SP})$	siuvinėto bandinio paruošimo neapibrėžties dedamoji
$u(l_m)_i$	suminė standartinė bandinio kontūro pločio neapibrėžtis

$u(\Delta l_{\max})$	standartinis neapibrėžtumas susijęs su kontūro pločio diapazono paklaida
$u_i(y)$	standartinė neapibrėžtis apimanti bendrą standartinę neapibrėžtį
ΔP	siuvinėto elemento kontūro pločio pokytis, %
R^2_{Gr}	koreliacijos koeficientas tarp siuvinėto elemento pločio ir siuvinėjimo proceso greičio
R^2	koreliacijos koeficientas tarp siuvinėto elemento kontūro pločio pokyčio ΔP (%) ir audinio užpildymo rodiklių e (%)
R^2_K	koreliacijos koeficientas tarp audinio užpildymo rodiklio ir elektrinės varžos
ΔE	elektrai laidaus siuvinėto elemento kontūro pločio neatitikimas suprojektuotam dydžiui, %
ΔEK	elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos kontūro pločio neatitikimas siuvinėtam dydžiui, %
ΔER	elementų po skalbimo procesų elektrinės varžos lyginant su neskalbtais bandiniais skirtumas, %
R^2_{KS}	koreliacijos koeficientas tarp skalbimo ciklą ir elektrinės varžos

ĮVADAS

Tekstilės bei aprangos sektoriaus ir siuvinėjimo sistemų gamybos tobulinimas yra restruktūrizuojamas ir modernizuojamas. Stipri konkurencija, kintantys vartotojų poreikiai, inovatyvių produktų paklausa skatina siuvinėtų sistemų gamintojus greitai perprasti naujas technologijas, įskaitant informacines, bei siekti būti pirmaujančiais kuriant naujus gaminius. Elektronikos ir tekstilės mokslų krypčių integravimas atvėrė naujų galimybių „išmaniajai aprangai“ ir inovatyviems naujiems elektroninės tekstilės produktams atsirasti ir plėtoti. Vienam iš jų priskiriami siuvinėtos ir elektrai laidžios sistemos produktai, kurių pritaikomumas ir plėtra yra neatsiejamas nuo išmaniųjų tekstilės technologijų kūrimo. Naujausios išmaniosios siuvinėtos sistemos geba priimti mobiliuosius signalus, kontroliuoti sveikatos būvį, perspėti esant pavojui, matuoti kraujospūdį ir kt. Tai aktualu, ypač kuriant specialios paskirties produktus, kur itin tikslūs medžiagų junginiai geba reaguoti į dirgiklius ir atsakyti vykdydami jiems numatytas funkcijas.

Defektų susidarymas siuvinėtosiose sistemose yra problema, su kuria susiduriama technologiniuose procesuose paveikus tekstilės medžiagą mechaniškai, kai ji būna spaudžiama, gniuždoma, tempiama, lenkiama, daugybę kartų perduriama adatos smaigaliu. Priklausomai nuo technologinio proceso parametrų, apkrovų pobūdžio, dygsnių atlikimo technologijos ir medžiagų savybių, siuvinėtų elementų forma, sandara, geometriniai parametrai, mechaninės ir fizikinės savybės pakinta. Dėl to, tiriant siuvinėtų sistemų kokybę ir funkcionalumą lemiančius veiksnius, tekstilės medžiagų deformacijų vertinimas turi itin svarbią reikšmę. Pastaruoju metu, nors mokslininkai ir pradėjo domėtis šia problema, tačiau ji vis dar nėra taip plačiai tiriamą, o išsamių tyrimų, susijusių su siuvinėtais elementais ar jų kokybę lemiančiais veiksniais, pasigendama.

Techninėse srityse vis plačiau naudojamos elektrai laidžios sistemos: jutikliai, priimantys, fiksuojantys ir perduodantys aplinkos signalus, laidininkai skirti elektroninėms grandinėms kaip apsauga nuo susidarančio statinio krūvio ir kt. Elektrai laidūs siūlai tekstilėje gali būti kelių rūšių: su laidžia danga, su laidžiu užpildu ir visiškai elektrai laidūs siūlai. Jų mechaninė elgsena artima tekstilinių siūlų elgsenai, bet jie turi trūkumų: jų paviršiaus struktūra šiurkšti todėl yra pakankamai šiurkštūs. Norint, kad būtų iš karto gauta kokybiška ir funkcionali siuvinėta sistema, t. y. gauti siuvinėto elemento tikslią formą, svarbu įvertinti technologinio proceso veiksnius, siuvinėto elemento padėtį audinio krypties atžvilgiu, siuvinėtos sistemos medžiagų struktūrą ir savybes.

Kuriant išsiuvinėtas tekstilines „elektronines“ sistemas dažnai naudojami kvadrato formos siuvinėti elementai, pasižymintys geromis elektrostatinėmis savybėmis ir dėl to yra rekomenduojami taikyti nešiojamų dipolių antenų ir jutiklių gamybai.

Siuvinėtų elektrai laidžių sistemų funkcionalumas ir jo ypatumai yra itin plačiai nagrinėjami mokslininkų darbuose. Akcentuotina tai, kad daugelis atliktų tyrimų apima siuvinėtų sistemų atlikimo ypatumus, o technologinių veiksnių įtaka siuvinėto elemento geometriniais parametrams, kokybei ir funkcionalumui nėra tirta. Tai rodo, kad siuvinėtų sistemų atlikimas ir jų kokybė, funkcionalumas yra aktualūs,

reikalaujanti išsamių, sistemos komponentų ir jų charakteristikų įtakos kokybei, analizių.

Taigi, norint kompleksiškai įvertinti siuvinėtų sistemų kokybę bei funkcionalumą, būtina atlikti siuvinėtų sistemų naujus tyrimus.

Temos aktualumas

Siuvinėtų sistemų gamintojai, atsižvelgdami į vartotojų poreikius ir konkurencingas rinkos sąlygas, turi garantuoti aukštą gaminamos produkcijos kokybę per visą dėvėjimo laikotarpį. Siuvinėtų elementų tikslumas, patikimumas, išvaizda, dėvimosios savybės ir funkcionalumas turi didelę įtaką siekiant aukštos gaminio kokybės. Disertaciniame darbe nagrinėjamas siuvinėtų elementų geometrinių parametrų atitikimas projektuotam dydžiui ir elektrai laidžių uždarojo kontūro siuvinėtų elementų laidumas analizuojant proceso technologinius parametrus, audinio fizikines savybes ir eksploataciją. Atliktas tyrimas leidžia, priklausomai nuo audinio sandaros charakteristikų, kiekybiškai įvertinti uždaro kontūro siuvinėtų elementų neatitikimą suprojektuotam dydžiui ir jo funkcionalumą. Šis tyrimas naudingas siekiant sukurti ir tobulinti pažangius technologinius procesus, prieš tai nustatant įvairių defektų priežastis bei tobulinant esamus ar sudarant naujus, siuvinėtų gaminių kokybės reikalavimus ir standartus.

Darbo tikslas

Ištirti ir nustatyti audinių sandaros įtaką siuvinėtų elementų kokybei bei funkcionalumui.

Darbo uždaviniai:

1. įvertinti audinių sandaros ir siuvinėjimo proceso technologinių parametrų įtaką siuvinėto elemento formos atitikimui suprojektuotam dydžiui;
2. išanalizuoti kvadrato formos uždaro kontūro siuvinėtų elementų geometrinius parametrus lemiančius veiksnius ir įvertinti tyrimo metodo neapibrėžtį;
3. nustatyti siuvinėjimo proceso technologinių parametrų įtaką kvadrato formos uždaro kontūro siuvinėto elemento geometriniams parametrams ir elektriniam laidumui;
4. išanalizuoti eksploatacijos veiksnių įtaką elektrai laidaus siuvinėto elemento geometriniams parametrams ir laidumui.

Darbo naujumas

Mokslinės literatūros šaltiniuose, siuvinėtų sistemų kokybė dažniausiai aprašoma tik vizualiai įvertinus elementą, o išsamesnių tyrimų, tokių kaip tekstilės medžiagų savybių ir technologinių parametrų tyrimų siuvinėtų elementų geometriniams parametrams ir funkcionalumui, pasigendama. Funkcionalių siuvinėtų elementų kokybės reikalavimuose formų tikslumas yra vienas iš svarbiausių reikalavimų. Tam labai svarbu parinkti tiek reikiamų savybių tekstilės medžiagas, tiek tinkamus technologinius parametrus. Akcentuotina tai, kad siuvinėtų ir elektrai laidžių siuvinėtų elementų neatitikimas projektuotam dydžiui, formų

deformacija, siūlų slydimas, santrauka ir kiti defektai išryškėja dažniausiai, todėl ypatingas dėmesys turi būti skirtas defektus lemiantiems veiksniams analizuoti.

Darbe, įvertinus audinių savybes ir proceso technologinius parametrus, atlikti siuvinėtų uždaro kontūro elementų geometrinių parametrų tikslumo tyrimai, taip pat atliktas siuvinėtų elementų geometrinių parametrų tyrimo metodo neapibrėžties vertinimas. Kiekvieno siuvinėto elemento kontūro išplėstinė neapibrėžtis taip pat apskaičiuota naudojant *Monte Carlo* metodą. Darbe ištirta ir išanalizuota siuvinėjimo proceso technologinių parametrų įtaka siuvinėto elemento elektriniam laidumui. Taip pat įvertinta siuvinėjimo proceso greičio įtaka siuvinėtų elementų geometrinių parametrų charakteristikoms. Disertaciniame darbe ištirta ir išanalizuota eksploatacijos veiksnių įtaka elektrai laidaus siuvinėto elemento laidumui ir geometriniams parametrams. Tyrimų metu įvertinama kontūro pločio ir eksploatacijos įtaka siuvinėtų elementų laidumui.

Darbe atlikti tyrimai leidžia, priklausomai nuo audinio sandaros charakteristikų ir eksploatacijos, įvertinti uždaro kontūro siuvinėtų elementų geometrinius parametrus ir funkcionalumą bei gali būti naudingi nustatant įvairių defektų priežastis ir sudarant naujus siuvinėtų gaminių reikalavimus ir standartus.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Siuvinėjimo proceso aktualumas šiuolaikiniame kontekste

Šiuolaikinėje gamyboje siuvinėti elementai atlieka ne tik tradicines dekoratyvumo, informatyvumo funkcijas, bet yra taikomi tokiose srityse kaip medicinos diagnostika bei rehabilitacija (pvz. siuvinėti jutikliai), implantų gamyba, išmaniosios aprangos ar elektroninės tekstilės gamyba ir kt., kur norint išlaikyti gaminio funkcionalumą reikia didelio tikslumo (Shafi ir kt., 2012; Tsolis ir kt., 2014; Maleszka, Kabacik, 2010; Gholmy, Bondok ir Geiheini, 2010). Naujausiuose tyrimuose mokslininkai pristato technologijas, kuriose siuvinėti elektrai laidūs elementai taikomi belaidžiam nešiojamų jutiklių įkrovimui tekstilės gaminiuose, surenkant ir saugant energiją gautą iš žmogaus kūno judėjimo (Jeong ir kt., 2018). Tai rodo, kad naujos kartos, siuvinėtos sistemos turi plačias galimybes ir geba vykdyti tam tikras numatytas funkcijas.

Siuvinėjimo technologijų vystymosi ir panaudojimo raida yra siejama su menu, tautų kultūromis ir tradicijomis. Siuvinėjimo mene per vaizdų vizualizaciją ir išsiuvinėtų elementų motyvus, raštus, spalvų derinius, jų atlikimo technologijas yra gaunama informacija apie įvairias kultūrų istorijas, papročius (Segalo, 2018). Bendradarbiaujant su Pietų Afrikos siuvinėjimo meno specialistais buvo atliktas tyrimas, kuriame, siekiant perduoti ateitiems kartoms siuvinėjimo įgūdžius, gyvenimo istorijas ir tradicijas, buvo sukurta siuvinėtų rankdarbių kolekcija. Autorė akcentuoja, kad siuvinėti meniniai gaminiai gali būti laikomi ir saugomi kaip istoriniai dirbiniai (Segalo, 2018). Dėl to, vertinant siuvinėjimo meno perspektyvą tai yra labai svarbu.

Siuvinėjimo atlikimo technologijų ypatumai yra komerciškai naudingi ir gali būti klasifikuojami atsižvelgiant į tautas, gentis, šalis (Bhatia, 2013). Siekiant išsaugoti Indijos „Toda“ moterų siuvinėjimo tradicijas buvo sukurta drabužių kolekcija su išsiuvinėtais elementais, kuriuose atsispindėjo tradicijos, taip pat akcentuojamas elementų autentiškumas (Sharma, Bhagat, 2018). Mokslininkai akcentuoja, kad naudojant naujausias technologijas bei atsižvelgiant į tradicijas turinčias siuvinėjimo technikas, itin didelę reikšmę kokybei turi siūlų spalviniai deriniai, dygsnių tipas ir elemento forma. Per siuvinėjimo meną yra perteikiami margaspalviai, sudėtingų, unikalių formų įvairūs elementai, atspindintys tos šalies ar tautos dvasią (Sharma, Bhagat, 2018).

Naujausiuose tyrimuose Kinijos mokslininkai, išanalizavę siuvinėjimo sektoriaus pramonės strategijas, teigia, kad kuriant, plėtojant ir tobulinant besikeičiantį siuvinėjimo sektoriaus verslumą yra labai svarbu apjungti kultūrų patirtį, tradicinius siuvinėjimo stilius kartu išsaugojant kultūros paveldą (Li, Jiang, Nam, 2018). Kinų siuvinėjimo sektoriuje sudėtinga, daug kruopštaus darbo reikalaujanti amato gamybos sistema vykdoma jau seniai. Tačiau paminėtina, kad pastaruoju metu ji susiduria su vis didėjančiais rinkos konkurencingumo sunkumais. Tyrimas parodė, kad istoriniame „Xiang“ siuvinėjime dominuoja sudėtingiausių motyvų, raštų, elementų atlikimo technikos. Atkaklus, kruopštus šių technikų vykdymas ir jų procesai kaupiant patirtį suteikia siuvinėtos tekstilės kūrėjams komercinės lyderystės. Tokiam pranašumui turi įtakos gebėjimas kurti ir gaminti

inovatyvius produktus, našumas, lankstumas, organizaciniai sugebėjimai ir aukštos kvalifikacijos specialistų komanda (Li ir kt., 2018).

Grupė mokslininkų atliko tyrimą, kuriame vertino sukurtų suknelių kolekcijų, apimančių „Hejazų“ genčių siuvinėjimą, tinkamumą specialios paskirties aprangos taikymui (Ejeimi, Sparks ir Yan, 2018). Tyrime atskleidžiamas siekis skatinti / didinti kultūrinį švietimą siejant jį su moderniais etniniais siuvinėjimo motyvais, t. y. funkcionalių su keičiamomis detalėmis suknelių devėjimu. Tradiciniame siuvinėjime arabų moterys drabužių apdailai naudojo gėlių ir geometrinius piešinius, skirtus jų drabužių apdailai, tačiau dauguma arabų menininkų demonstravo ir modelius, pagrįstus religiniais motyvais, klimatu ir augalais. Arabijoje gyvenančios gentys naudojo siuvinėtus motyvus atskirti gentinėms grupėms (Gillow, 2010). Grupė mokslininkų atliko tyrimą, kuriame vertino sukurtų suknelių kolekcijas sudarančius „Hejazi“ genčių siuvinėjimo ypatumus ir aspektus (Ejeimi ir kt., 2018). Tyrime dalyvaujantys apklausos dalyviai teikė pirmenybę sukurtų suknelių siuvinėjimo dizaino aspektams, kuriuose išryškėjo siuvinėti sidabro siūlais bangų motyvai, kuriems tiksliai atlikti reikia aukšto lygio meistriškumo (žr. 1.1 pav.). Nustatyta, kad genties „Hejazi“ siuvinėjime dominavo įvairios margaspalvės geometrinės figūros (Ejeimi ir kt., 2018).



1.1 pav. Siuvinėti tekstiliniai gaminiai su istoriniais elementų motyvais (Ejeimi ir kt., 2018)

Iš atliktų mokslinių tyrimų matyti, kad siuvinėtų sistemų produktų kūrimas ir panaudojimas, apjungiant kultūros paveldą ir technologijas bei pramonės plėtrą, yra aktualus dėl jų pritaikymo galimybių bei siekimo būti konkurencingais rinkoje. Taip pat svarbu paminėti tai, kad siuvinėtų sistemų kokybė yra laikoma vienu iš pagrindinių rodiklių, dėl kurių siuvinėti gaminiai gali būti taikomi plačiai įvairiose srityse tam tikriems poreikiams tenkinti, nes jie pasižymi išskirtinėmis eksploatacinėmis savybėmis, reikalingomis siekiant lyderiavimo pozicijų konkurencingumo atveju. Todėl ypatingas dėmesys turi būti kreipiamas siuvinėtų sistemų kokybiniais rodikliais (Ejeimi ir kt., 2018; Gillow, 2010; Li ir kt., 2018).

1.2 Siuvinėtų sistemų atlikimų ypatumų ir medžiagų savybių įtakos tyrimų apžvalga

Siuvinėjimo proceso metu tekstilės medžiagos susiduria su įvairiais poveikiais: tempimu, gniuždymu, lenkimu ir kt. Dėl prieš tai paminėtų mechaninių poveikių ir

dygsnių sudarymo metu esančios mechanizmų techninės būklės, technologinių režimų, adatos tinkamo parinkimo ir kt. dažnai gaunama nekokybiška siuvinėta sistema. Moksliniai tyrimai parodė, kad siuvinėto elemento kokybė priklauso nuo medžiagų ir siuvinėjimo siūlų fizikinių savybių, skirtingo dygsnių tankumo ir kitų technologinių veiksnių (Chernenko, 2006; Loss, Goncalves, Pinho, Salvado, 2018; Radavičienė, Jucienė, 2010; Rudolf, Geršak, Ujhelyiova, Sfiligoj Smole, 2007). Viena iš siuvinėto elemento ypatybių yra tai, kad siuvinėto elemento siūlai turi būti suprojektuoti taip, kad apatinis siuvinėjimo siūlas nesimatytų gerojoje pusėje. Viršutinis siuvinėjimo siūlas užima 2/3, o apatinis siūlas 1/3 siuvinėjamo ploto dydžio (Chernenko, 2006; Radavičienė, Jucienė, 2012; Shan, Yong, 2003).

Siuvinėjimo procesas technologinių parametrų parinkimu, audinio ir siūlų mechanine elgsena yra artimas siuvimo procesui. Atliktuose mokslininkų tyrimuose analizuojami siuvimo ir siuvinėjimo procesų parenkamų techninių parametrų deriniai ir jų įtaka jungiamų sistemų kokybei (Fairhurst, 2008; Radavičienė ir kt., 2012; Rudolf, Geršak, 2007). Tyrimai parodė, kad siuvimo metu dinaminės trinties jėga tarp audinio ir mechaninių, judančių grandžių turi įtakos stabiliam dygsnių sudarymui (Rudolf, Geršak, 2007). Dėl to svarbu nustatyti tekstilės medžiagų deformavimosi ypatumus siuvinėtame elemente (Kuo, Juang, 2016; Radavičienė, Jucienė, 2010).

Tyrimai rodo, kad tekstilinių gaminių ir siuvinėtų elementų kokybei įtaką turi sudarytų sistemų fizikinės ir mechaninės savybės, siuvimo, siuvinėjimo siūlų struktūros savybės, tamprumas ir kitos charakteristikos (Briedis, Vališevskis ir Grecka, 2017; Kuo, Juang, 2016; Roh, 2014). Nagrinėjant siuvinėtas sistemas buvo nustatyta, kad siuvinėto elemento viduje vyksta audinio klumpdymo, gniuždymo reiškiniai (Chernenko, 2006; Radavičienė ir kt., 2012; Sherien, Kateb, 2015). Vertinant mechanines audinių savybes pagal Kawabatos sistemą (KES-FB1) nustatyta, kad elektrai laidžiais siūlais siuvinėti džinsiniai bandiniai, dėl siūluose vykstančių relaksacinių procesų, susitraukia iki 10 % (Shafi ir kt., 2012). Tai turi įtakos siuvinėtų elementų formos stabilumui ir tikslumui.

Siuvinėjimo proceso metu, kai siuvinėjama nuo išorinio kontūro dygsnių eilėmis į elemento vidinį kontūrą, siuvinėjimo sistemose vyksta polimerams būdinga elastinė deformacija ir sudaryti dygsniai trumpėja. Tyrimai rodo, kad nustojus veikti išorinei jėgai ir apkrovai, dėl siūlų elastinės deformacijos pakinta tekstilės medžiagų charakteristikos (Pocienė, Vitkauskas, 2007; Radavičienė, Jucienė, 2010) ir dėl to siuvinėtų elementų geometriniai parametrai neatitinka projektuoto dydžio (Radavičienė ir kt., 2014). Veikiant jėgoms, statmenai siūlei tekstilės medžiagoje dažnai kintant funkcinėms ar estetinėms, mechaninėms savybėms pasireiškia ir siūlų slydimo reiškiniai (Radavičienė, Jucienė, 2012; Rudolf, Geršak, 2007). Jų metu, vykstant mechaniniam poveikiui, audinių siūlų perdangos pasislenka ir pradeda siūlėje slysti (Taver, Košir ir Csiszar, 2010). Tyrimais nustatyta, kad siūlės slydimu, šlytimu ypač pasižymi drobinio, ruoželinio ir kiti panašaus pynimo audiniai (Pocienė, Vitkauskas, 2007; Radavičienė, Jucienė, 2012; Rudolf, Geršak, 2007). Minimi defektai apibūdinami poslinkiu, kurį sukelia jėgos, veikiančios statmenai siūlei (Chernenko, 2006; Radavičienė ir kt., 2014). Drobinio pynimo audinių sandaroje vienarūšės perdangos liečiasi visais kampais, o siūlų kontaktų laukai

neturi laisvųjų laukų. Tokiuose pynimuose priešingų metmenų ir ataudų perdangos sudaro rišlius ryšio laukus, kurių atstojamoji jėga priešinasi siūlų sanglaudoms ir dėl to proceso metu audinio sandaros siūlai deformuojasi nevienodai (Hosseinali, 2012; Pavlinič ir Geršak, 2003; Pocienė, Vitkauskas, 2007).

Nepageidajamų defektų atsiradimui, audinio susitraukimui, raukšlėtumui įtakos turi po siuvimo proceso siūluose vykstantys relaksacijos reiškiniai, kuriuose, susitraukiant siūlams, mažėja ryšiai, sanglaudos tarp audinių siūlų ir audinys raukšlėjasi (Briedis ir kt., 2017; Radavičienė, Jucienė, 2010). Mokslininkai teigia, kad kuo daugiau yra siūlų sistemoje ryšio laukų, tuo mažiau laisvųjų laukų, tuo mažesnės galimybės išnykti oro tarpams ir tuo rišliau jie vienas prie kito glunda (Pocienė, Vitkauskas, 2007, Radavičienė, Jucienė, 2010). Dėl to, siuvinėjimo procesų metu dėl metmenų ir ataudų siūlų charakteristikų skirtumų, pluoštai deformuojami nevienodai. Tarp siuvinėjimo dygsnių, dėl siūluose vykstančių relaksacinių procesų bei audinio anizotropiškumo savybių, siuvinėtos sistemos yra gniuždomas, todėl sumažėja siuvinėjamo elemento matmenys ir atsiranda defektų (Chernenko, 2006; Shih, Kuo ir Cheng, 2016). Todėl, siekiant išvengti nepageidajamų defektų, būtina gerai žinoti naudojamų audinių ir siūlų fizikines, mechanines savybes bei jų įtaką defektų formavimuisi (Kiourti, Volakis, 2015; Long ir kt., 2015; Radavičienė, Jucienė, 2013).

Audinio tiesiniai užpildymo rodikliai parodo audinio siūlo ploto mažiausiame elemente santykį su viso elemento plotu ir turi didelę įtaką audinio siūlų deformacijoms. Užpildymo rodikliai papildo audinių tankumo charakteristikas ir nepriklauso nuo audinio pynimo rūšies ir raporto dydžio, nes juos riboja vienodos gretimų metmenų ir ataudų siūlų pusės. Audiniams, turintiems didesnes tiesinių užpildymo rodiklių vertes, būdingos mažesnės deformacijos. Analizuojant siuvinėtus apskritimo formos elementus atliktus skirtingais užpildymo tipais nustatyta, kad skaitmeniniam vaizdui labiau atitiko elementai, atlikti ant audinio, kurio užpildymo rodiklis didesnis, o daugiausia ir didžiausi neatitikimai gauti dygsnių formavimo kryptimi (Radavičienė, Jucienė, 2013). Tai rodo, kad siuvinėtų elementų formai ir kokybei turi įtakos ir technologiniai proceso parametrai, ir naudojamo audinio fizikinės savybės (Chernenko, 2006; Radavičienė ir kt., 2014).

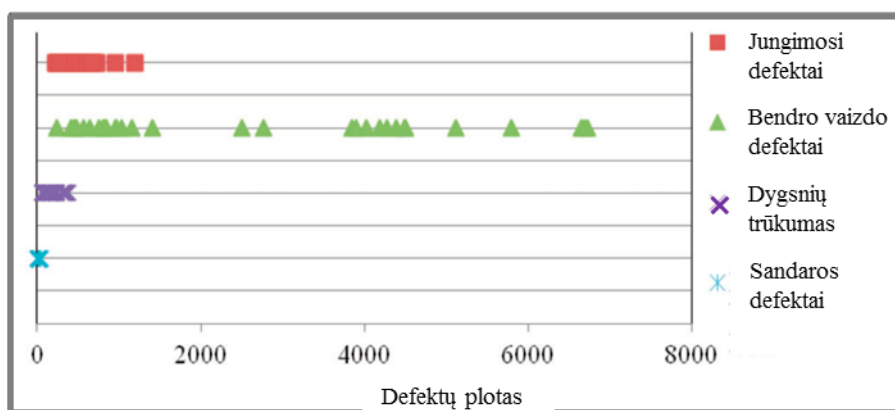
Tyrimai rodo, kad tekstilės medžiagų elgseną, esant visam kompleksui poveikio jėgų, sąlygoja jų struktūra, asimetrija, skirtingos siūlų charakteristikos, pynimas, tankumas ir kt. (Gholmy ir kt., 2010; Maleszka, Kabacik, 2010; Shafi ir kt., 2012; Tsolis ir kt., 2014). Siuvinėjimo proceso metu, dėl audinio pynimo perdangų siūlų skaičiaus skirtumų, tąsios ypatumų ir kt., atsiranda galimybė kontaktuojamos sistemos siūlams sustiprinti sanglaudas. Ankstesniais tyrimais nustatyta, kad ruoželinio pynimo audinių sandaroje, dėl susidariusių laisvųjų laukų, siūlų perdangų ryšio laukai susilpnėja ir sanglaudos, priklausomai nuo fizikinių savybių, didėja (Chernenko, 2006; Hosseinali, 2012; Kuo, Juang, 2016; Pavlinič, Geršak, 2003; Radavičienė, Jucienė, 2010; Rudolf, Geršak, 2007). Dėl to, kai audinio struktūroje yra daugiau siūlų sankirtų, formuojasi aktyvesnės sanglaudos (Pocienė, Vitkauskas, 2007).

Reikia paminėti, kad atlikti tyrimai tiria tik siuvinėtų sistemų atlikimo ypatumus, kuriuose naudojamų tekstilės medžiagų sandaros fizikinės

charakteristikos ir eksploatacinė elgsena nėra plačiai nagrinėjama. Tai rodo, kad siuvinėtų sistemų atlikimas ir elementų defektų susidarymas yra aktuali tematika, reikalaujanti išsamių sistemos komponentų įtaką turinčių charakteristikų kokybei tyrimų.

1.3 Siuvinėjimo proceso technologinių veiksnių įtaka siuvinėto elemento kokybei

Siuvinėtų sistemų gamybos technologijos ir procesai yra itin aktualūs vertinant jų veiksnių įtaką įvairių formų elementų kokybei. Naujausiuose tyrimuose Kinijos mokslininkai analizuoja siuvinėtų elementų defektus ir kuria jų identifikavimo ir klasifikacijos vertinimo sistemas, kurių pritaikomumas ateityje efektyviai sumažintų gamintojų išlaidas ir pagerintų užsakovų poreikius (Kuo, Juang, 2016). Mokslininkai atliko siuvinėjimo mašinų ir siuvinėtos tekstilės gamintojų apklausą ir išskyrė 4 siuvinėjimo defektų grupes. Pirmajai grupei priskirti siuvinėjimo siūlų defektai – tai įtrūkė, netolygūs siūlai, dėl kurių siuvinėjimo metu sudarant siuvinėjimo dygsnius, audinys deformuojamas. Antrąją siuvinėtos tekstilės defektų grupę sudaro siuvinėjimo dygsnių trūkumai. Trečioji grupė apibrėžia bendro vaizdo defektus – tai defektai, esantys siuvinėto elemento kontūro viduje ir defektai, esantys šalia kontūro. Ketvirtajai grupei priskiriami išsiuvinėti defektai, susiję su siuvinėjimo technologiniais parametrais (žr. 1.2 pav.) (Kuo, Juang, 2016).



1.2 pav. Defektų pasiskirstymas siuvinėjimo plote (Kuo, Juang, 2016)

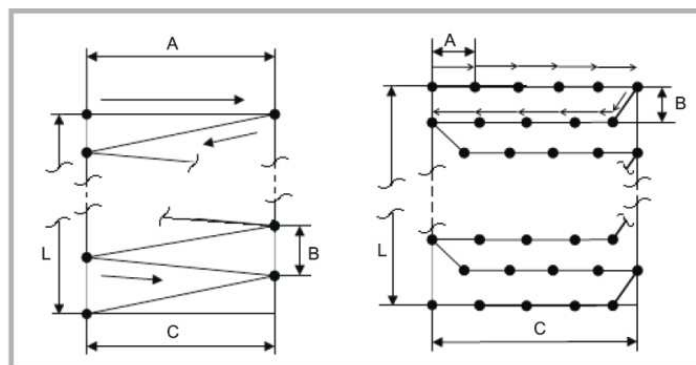
Sudaryti siuvinėtos tekstilės defektų atpažinimo metodai įgalina siuvinėjimo tekstilės pramonėje automatizuoti tikrinimo procedūras. Lyginant su įprastomis defektų nustatymo procedūromis nustatyta, kad taikytos sistemos, analizuojančios sudaryto siuvinėjimo ploto tinklę, reikalauja mažesnių laiko sąnaudų, tačiau efektyvumo lygis gaunamas mažesnis – 98,80 % (Kuo, Juang, 2016). Akcentuotina, kad šiuo atveju atliekamas tik siuvinėtų elementų defektų skirstymas ir vizualus pačių defektų nustatymas, nevertinant medžiagų savybių suderinamumo ir technologinių veiksnių įtakos siuvinėto elemento kokybei.

Bandant ieškoti sąsajų tarp siuvimo ir siuvinėjimo procesų, viena iš galimų yra poveikis adata. Abiem atvejais tekstilinės medžiagos mechaninio poveikio metu yra

perduriamos adata. Bendrajame projekte mokslininkai tyrė siūlės adatos pradūrimo įtaką audinio tankumui ir jo struktūroje esantiems elastano verpalams. Tyrime nustatyta, kad ruoželinio pynimo medžiagų makrostruktūros konstrukcija mažiau pažeidžiama nei drobinio, nes jų tankumas didesnis ir nesunkiai pasiduoda pokyčiams, tai yra struktūra yra elastinga ir prisitaiko prie adatos dūrių (Gurarda, Meric, 2007). Gauti makroskopinės analizės rezultatai parodė, kad, didėjant medžiagos tankumui, adatos dūrių žala medžiagos makrostruktūrai irgi didėja. Nustatyta, kad ruoželinio pynimo medžiagos struktūra yra lankstesnė nei drobinio pynimo struktūra. Taip pat nustatyta, kad adatos dūrių žala metmenų kryptimi didesnė nei ataudų ir kito nuo 39 % iki 73 %, o ataudų 23 % ir 59 % intervale (Gurarda, Meric, 2007). Gauti rezultatai parodė, kad trinties jėgos stiprumą veikianti adata siuvimo metu ir siūlinio sujungimo žalos rezultatams daro didžiulę įtaką medžiagų struktūros siūlų tankumas (Gurarda, Meric, 2007). Siuvinėjimo siuvimo procesui pagal atlikimą, abiem atvejais yra naudojama adata ir sudaromi dygsniai, todėl siuvinėjimo proceso metu sudarant dygsnius audinio sandaros ypatumai ir proceso technologiniai parametrai taip pat turi įtakos siuvinėtos sistemos siūlų poslinkiams (Kuo, Juang, 2016; Radavičienė ir kt., 2014).

Moksliniais tyrimais nustatyta, kad stabiliam siuvinėtos sistemos dygsnių sudarymui turi įtakos perdangų įtempiai, kuriuos sudaro dinaminės trinties jėgos, atsirandančios tarp audinio ir mechaninių judančių grandžių ir, esant netinkamai parinktiems proceso technologiniams parametrams bei stiprėjant įtempiams, suintensyvėja mechaninių jėgų poveikis elementams (Pavliniū, Geršak, 2003; Radavičienė, Jucienė, 2010; Rudolf, Geršak, 2007; Shan, Yong, 2003; Sherien, Kateb, 2015). Siuvinėjimo proceso metu formuojant dygsnius, audinys yra sutraukiamas siuvinėjimo kryptimi, dėl to, esant didesniam dygsnių siūlų skaičiui, audinio siūlai mažiau suglunda statmenai siuvinėjimo kryptčiai ir dėl šios priežasties jų siūlai vienas nuo kito tolsta. Nustatyta, kad siuvinėtų elementų pločio neatitikimui turi įtakos didelė dygsnių koncentracija uždarojo kvadrato kontūro formos kampų dalyje, kai audinio siūlai dėl jėgos, statmenos siuvinėjimo kryptčiai, persislenka (Radavičienė, Jucienė, 2013). Tyrimai rodo, kad procesų technologiniai veiksniai nulemia tekstilės medžiagų sistemos deformacinę elgseną. Todėl, norint išvengti nepageidaujamų defektų, svarbu tirti ir išsiaiškinti / nustatyti jų atsiradimo priežastis.

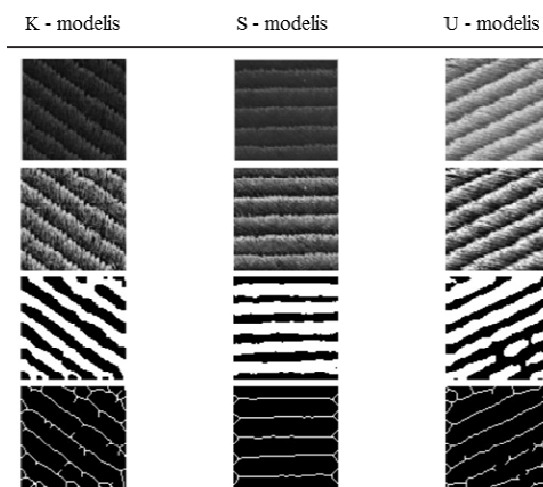
Siuvinėjimo procese dažnai naudojami užpildymo tipai „zigzagas“ (*Z*) ir „tatamis“ (*T*), kurie skiriasi dygsnių sudarymo eiga. Siuvinėjant užpildymo tipu „zigzagas“ siuvinėto elemento plotis yra lygus dygsnių ilgiui. Užpildant plotą užpildymo tipu „tatamis“ dygsnių ilgį fiksuoja adatos pradūrimai nuo vieno siuvinėto elemento krašto iki kito, sudarydami dygsnių ir adatos pradūrimų eilės seką. Naudojant užpildymo tipą „tatamis“ fiksuotas dygsnių eilės sekos galutinis, trumpiausias dygsnių ilgis užtikrina sudaromų adatos pradūrimų eilių lygiagretumą ir sudarytos siuvinėjimo dygsnių eilės viena kitos neperdengia (*žr. 1.3 pav.*) (Radavičienė, Jucienė, 2012). Akcentuotina ir tai, kad, kuriant sudėtingų formų siuvinėtus elementus, užpildymo tipas *T*, dėl platesnių pritaikymo galimybių yra plačiau naudojamas (Briedis ir kt., 2017; Chernenko, 2006; Maleszka, Kabacik, 2010; Radavičienė, Jucienė, 2012; Zhang ir kt., 2012).



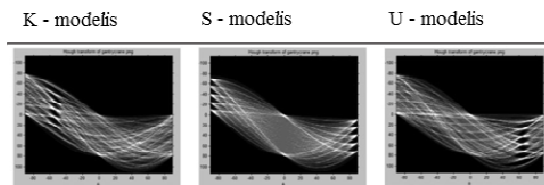
1.3 pav. Siuvinėjimo užpildymo tipai „zigzagas“ ir „tatamis“ (Radavičienė, Jucienė, 2012)

Grupė mokslininkų atliko siuvinėtų elementų, užpildytų „tatamio“ tipu, formų spalvų vientisumo analizę. Tyrime nuskenuotoms elementų vaizdų spalvoms (raudona, žalia ir mėlyna (RŽM)) suskaidyti naudojamas „Fuzzy C-Means“ (FCM) klasterizavimo metodas (žr. 1.4 pav.) (Shih ir kt., 2016).

Analizuodami spalvų vientisumą mokslininkai kartu ištyrė ir audinio tekstūrą, ir elementų formų, dygsnių ypatumus bei nustatė, kad raidžių formos siuvinėtų elementų spalvos netolygumo defektai didžiausi siuvinėtų elementų kampuose. Sugeneruotuose pilkos skalės vaizduose matyti linijų išdėstymas tam tikru kampu ir spalvos vientisumas jų atžvilgiu (žr. 1.4 pav.). Tai parodė, kad užpildymo tipo būdas, dygsnių atlikimo technologija ir audinio struktūros charakteristikos turi įtakos elemento formai ir spalvos tolygumui (Shih ir kt., 2016). Šiuo atveju akcentuotina, kad technologiniai parametrai, audinio struktūros charakteristikų ypatumai ir jų įtaka siuvinėtų elementų spalvos vientisumui nėra plačiai ir išsamiai nagrinėta.



a



b

1.4 pav. Siuvinėtų skenuotų raidžių K, S ir U elementų vaizdai dvejetainio regiono padalijime: a – raudonos spalvos atvaizdai, b – baltos spalvos atvaizdai (Shih ir kt., 2016)

Tiriant realaus skritulio formos siuvinėto elemento dygsnių tankumo ir krypties įtaką formos atitikimui suprojektuotam skaitmeniniam piešiniui, tyrimuose buvo gauti nepageidaujami defektai, tokie kaip siuvinėto elemento kontūro nelygumai, raukšlėtumas bei skylė siuvinėto elemento viduje (Radavičienė ir kt., 2014). Mokslininkai nustatė, kad formos atžvilgiu, siuvinėti elementai užpildyti dygsnių eilėmis nuo vieno elemento krašto iki kito horizontalia kryptimi, daugiausiai neatitiko projektuotą dydį. Kitais išsiuvinėtais užpildymo tipais, iš kurių viename siuvinėjimas atliekamas dviem etapais, pradžioje elemento pagrindas siuvinėjamas nuo išorinio kontūro spirale į elemento vidų, o vėliau, aplink jo pagrindinę dalį, užpildomi dygsnių eilės ir kvadrato kampai bei kitas užpildymo tipas, kai elementas siuvinėjamas nuo pradžios taško į elemento centrą ir nuo centro iki elemento krašto ir taip, atliekant apskritimu ar kvadratu, elementai gauti su nepageidaujama defektais, tačiau artimesnės formos suprojektuotam skaitmeniniam piešiniui (Radavičienė ir kt., 2014).

Nagrinėdami siuvinėjimo proceso technologinių veiksnių įtaką siuvinėjimo proceso atlikimui, mokslininkai ištyrė dygsnių ilgio, dygsnių tipo, adatos dydžio, siuvinėjimo siūlų tipo ir audinio paviršinio tankio įtaką siuvinėjimo mašinų gedimams. Tam tikslui regresijos pagrindu buvo sudarytas matematinis modelis, kuris parodė, kad daugiausia gedimams turi įtakos netinkamas siuvinėjimo siūlų, adatos dydžio ir audinio parinkimas, neįvertinant audinio fizikinių charakteristikų ir mechaninių jo savybių (Sherien, Kateb, 2015). Siuvinėjimo proceso gedimai yra tiesiogiai susiję su elementų kokybe. Todėl, siekiant išvengti procesų gedimų ir kurti aukštos kokybės tekstilinius gaminius, yra itin aktualu ir būtina atlikti išsamius siuvinėtų sistemų kokybės tyrimus, kuriuose nagrinėjama technologinių parametru veiksnių ir audinio charakteristikų įtaka elementų funkcionalumui.

Esant mažesniai siuvinėjimo greičiui audinio paviršius yra veikiamas žemesnėmis apkrovų jėgomis nei siuvinėjant didesniais greičiais. Mokslininkų straipsniuose, kuriuose analizuojami dygsnių ilgio pokyčiai siuvimo procese, buvo nustatyta, kad siuvimo įrengimų techniniai parametrai bei tarp audinio ir siuvimo mašinos mechanizmo grandžių atsirandančios audinio transportavimo metu gniuždymo ir trinties jėgos veikia dygsnių ilgio stabilumą (Bekampienė, Domskienė, 2010; Chowdhary, Poynor, 2006; Pavlinič, Geršak, 2003; Radavičienė, Jucienė, 2010; Shih ir kt., 2016). Tokio tipo poveikis būdingas ir siuvinėjimo procesuose, kai sudarant dygsnius užpildomas elementų plotas (Radavičienė, Jucienė, 2012; Sherien, Kateb, 2015). Todėl siuvinėjimo proceso technologinių parametru parinkimas turi

didelę reikšmę siuvinėtų elementų kokybei ir yra labai aktualus technologiniu požiūriu.

Tyrimai rodo, kad siuvinėjimo proceso veiksnių įtaka siuvinėto elemento kokybei yra gana plati ir gali turėti didelį įvairiapusišką poveikį jų defektų atsiradimui. Iš atliktų tyrimų matyti, kad dažniausiai mokslininkai nagrinėja procese naudojamų mechanimų grandžių, adatos, užpildymo tipo veiksnių įtaką siuvinėtų elementų kokybei. Tyrimų, kuriuose būtų nagrinėjami siuvinėjimo proceso greičiai ar siuvinėtų elementų formų įtaka siuvinėto elemento kokybei, analizuojant medžiagų savybes, pasigendama.

1.4 Siuvinėtų sistemų vertinimo metodai

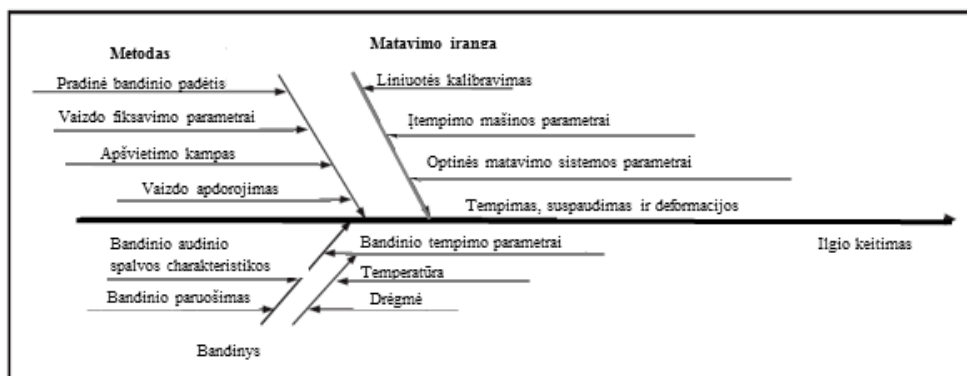
Taikant šiuolaikines technologijas siuvinėti elementai gali būti projektuojami atsižvelgiant į individualius klientų poreikius ir turi atitikti aukštus kokybės reikalavimus. Siuvinėtų sistemų kokybė priklauso nuo pradinių gamybos etapų, kuriuose projektuojamos elementų formos, parenkamas norimas jų dydis ir spalva, parenkamos tekstilės medžiagos. Tolimesniuose etapuose elemento sukurta forma konvertuojama į skaitmeninį formatą ir perduodama į kompiuterį (Angelova, Sofranova, ir Nikolova, 2016; Chernenko, 2006; Kiourti, 2017).

Kadangi nėra sudarytų siuvinėtų elementų kokybės vertinimo standartų gamyboje, paprastai atlikus siuvinėtos tekstilės kokybės kontrolę, ji yra klasifikuojama į tris skirtingas kategorijas: 1 – siuvinėti elementai be defektų, 2 – siuvinėti elementai su pataisomais defektais, ir 3 – siuvinėti elementai su nepataisomais defektais (Kuo, Juang, 2016; Shan, Yong, 2003). Tačiau reikia paminėti, kad toks skirstymas nėra informatyvus ir neparodo siuvinėto elemento defektų atsiradimo priežasčių bei galimybių jų išvengti.

Naudodami tekstilės identifikavimo pynimo vaizdų sistemą, mokslininkai ištyrė metmenų ir ataudų siūlų pilkoje skalėje pikselių vertes. Tyrimas parodė, kad metodas yra tinkamas atpažinti ir analizuoti tekstilinių sistemų pynimus ir jų defektus (Kuo ir kt., 2010). Akcentuotina tai, kad šis metodas iš esmės tinka ir tekstilinėms siuvinėtoms sistemoms analizuoti. Mokslininkai siūlo tekstilės sistemų kontrolei ir stebėjimui taikyti defektų aptikimo metodą, kuriame tiriami atspausdinti tekstilės vaizdai (angl. *to investigate printed fabrics with repeated patterns*) su pasikartojančiais modeliais (Kuo ir kt., 2012). Nustatyta, kad atliktuose vertinimo metoduose yra akcentuojamas tekstilės sistemų defektų identifikavimas, bet ne jų atsiradimo priežastys. Apibendrinant tyrimų rezultatus galima teigti, kad atliekant siuvinėtus elementus ant tekstilinių medžiagų, jų struktūros ypatumai ir charakteristikos turi didelę įtaką siuvinėto elemento kokybei (Chernenko, 2006; Kuo, Juang, 2016; Radavičienė ir kt., 2014).

Grupė mokslininkų atliko tekstilės vienašio deformavimo metu gautų taškinių vaizdų analizės metodo metrologinio patikimumo įvertinimą ir nustatė, kad standartinėi neapibrėžčiai turi įtakos atsitiktinė paklaida, apimanti tinklelio taškų pakartojamumą, kuris priklauso nuo tiriamosios medžiagos savybių ir spalvų charakteristikų (Meškuotienė, Dargienė ir Domskienė, 2015). Tyrime nustatyta, kad naudojamo fotoaparato optinė raiška, rezoliucija, skaitmeninio vaizdo kalibravimas ir apšvietimas turi įtakos matavimo rezultatui, nes tiesioginio apšvietimo atspindžiai

gali sudaryti akinančias sritis, kurių nebūtų galima iširti. Taip pat svarbūs įrangos kalibravimo, vaizdų fiksavimo įrenginių techniniai parametrai ir vaizdų apdorojimo veiksniai (žr. 1.5 pav.) (Bertsche, 2008; Dargienė, Domskienė ir Gulbinienė, 2008; 2013; Meškuotienė, ir kt., 2015).



1.5 pav. Tekstilės vaizdų analizės metodo neapibrėžties dedamųjų diagrama (Meškuotienė ir kt., 2015)

Paprastai sunku įvertinti tokius suminės neapibrėžties šaltinius, kaip netinkamai parinktas didinimo koeficientas, netolygus apšvietimas, lęšių iškraipymai ir kt. Visi minėti tyrimai rodo, kad ypač svarbu kiekvienam matavimo metodui įvertinti kompleksą veiksnių, turinčių įtakos sistemingųjų ir atsitiktinių paklaidų atsiradimui. Analizuojant tekstilės medžiagų ir jos junginių formų ar vaizdų deformacijas, būtina atkreipti dėmesį į tiriamųjų medžiagų mechanines, fizikines savybes. Siuvinėtų sistemų kokybės tyrimuose, kaip ir tekstilės medžiagų, naudojami įvairūs tyrimų metodai: siuvinėtų elementų spalvos, elektrostatiškos savybių, defektų atsiradimo tyrimai ir kt. (Angelova ir kt., 2016; Baškienė, Jucienė ir Dobilaitė, 2006; Chauraya ir kt., 2013; Jeong ir kt., 2018). Todėl, siekiant kompleksiskai tai įvertinti, yra būtina atlikti išsamius tyrimus, kuriais siekiama nustatyti veiksnius, turinčius didžiausią įtaką siuvinėtų elementų kokybei (Kuo, Juang, 2016; Radavičienė ir kt., 2014).

Taigi tyrimai rodo, kad tekstilės ir siuvinėtų sistemų tyrimo metodų patikimumas yra labai svarbus (Angelova ir kt., 2016; Chernenko, 2006; Meškuotienė ir kt., 2015; Radavičienė ir kt., 2014). Metodo patikimumo samprata tirama atsižvelgiant į bendrus, grupinius ir konkrečius veiksnius tarp testų. Šie veiksniai yra sistemingų ar atsitiktinių matavimo klaidų šaltiniai vertinimo metu (Meškuotienė ir kt., 2015). Matavimo metodo neapibrėžčių šaltiniai, atsižvelgiant į kilmę, suskirstomi į 3 kategorijas:

1. su matavimo objekto paruošimu susiję šaltiniai;
2. su matavimo sistema ir etalono kalibravimu susiję šaltiniai;
3. duomenų atskaitymas ir apdorojimas.

Tarp skirtingų neapibrėžtumo šaltinių, veikiančių vaizdo gavimo ir apdorojimo metu, pagrindinis dėmesys skiriamas matavimo sistemai (Santo, Liguori ir Santo, 2000).

Vaizdui skaitmenizuoti įtakos turi brūkšnių ar linijinių matmenų atskaitymo kokybė, etaloninio mato ir bandinio geometriniai parametrai. Nekokybiškai pažymėtos arba išsidėvėjusios brūkšnių ribos taip pat gali tapti linijinio poslinkio matavimo neapibrėžčių šaltiniais bei iškraipyto vaizdo priežastimi (Regional Programme on Quality Assurance, PRAQ III, 1997). Tyrimai rodo, kad dėl komplekso veiksnių, kurie turi įtakos matavimo rezultatui, svarbu apibrėžti naudojamo metodo metrologinį patikimumą (Fraser, 2009). Todėl, kuriant ir tobulinant siuvinėtų sistemų vertinimo metodus, itin svarbu iširti veiksnius, turinčius įtakos elementų kokybei. Kiekvienas matavimo atvejis – savitas, todėl atliekant jį reikia gerai išmanyti tiriamojo objekto charakteristikas bei savybes. Svarbu tai, kad žinant siuvinėtų sistemų kokybės tyrimo metodo pagrindinius aspektus ir išanalizavus pagrindinius, įtaką turinčius elemento kokybei veiksnius, galima prognozuoti jų elgseną eksploatacijos metu ir išvengti procese pasireiškiančių nepageidaujamų reiškinių įtakos elementų kokybei.

Minėta anksčiau, kad siuvinėjimo ir siuvimo proceso metu visa kontaktuojama tekstilės sistema patiria daugkartinį mechaninių jėgų poveikį. Juos veikia tokie veiksniai: dinaminės apkrovos, dilinimas, trintis, lenkimas ir kt. (Pocienė, Vitkauskas, 2007; Radavičienė, Jucienė, 2012; Rudolf, Geršak, 2007). Tiriant tekstilės medžiagų įvairius fizikinius procesus, susijusius su dalelių judėjimu, yra naudojamas *Monte Karlo* metodas. Metodo esmė – atsitiktinių procesų modeliavimas gaunant atsitiktinį rezultatą. Dalelių judėjimas medžiagoje laikomas atsitiktiniu, todėl metodas gali būti taikomas visiems procesams, susijusiems su dalelių judėjimu ir mikroskopinio būvio kitimu. Būtent dėl šios priežasties metodo pritaikomumas yra platus ir jis yra taikomas tekstilės medžiagų inžinerijos tyrimų procesams modeliuoti (Fishman, 2003; Sakalauskas, 2013; Sakalauskas, Vaičiulyte, 2010; Kubilius, 1980).

Tokiems procesams būtų galima priskirti tekstilės medžiagų padengimą gamtinėmis polimerinėmis medžiagomis (tai medžiagos su dangomis) ir įvairius apdailos būdus, tokius kaip siuvinėjimas, sublimacija, blukinimas, minkštinimas, lazerio panaudojimas medžiagoms perforuoti, graviruoti ir kiti. Paminėtina tai, kad *Monte Karlo* metodą tiktų naudoti norint išmatuoti išsiuvinėtos sistemos plotą, įvertinant adatos dūrius visame elemente. Tai galima padaryti naudojant *Edeno* modelį, kur auginami klasteriai, t. y. suskaičiuojami adatos dūriai. *Edeno* klasteris perteiktų siuvinėtos sistemos pavienes ertmes, jos didėjimą iš vidaus ir iš išorės ir nedidelį reljefiškumą, t. y. atliktų mechaniškai paveiktos siuvinėtos sistemos elgsenos prognozuojamą modeliavimą. *Edeno* modelyje neatsižvelgiama į procesus, vykstančius už klasterių ribų, todėl visi perimetro taškai yra tikėtini naujoms dalelėms prisijungti, t. y. adatos dūriai kartojasi greta vienas kito (Fishman, 2003; Kubilius, 1980). Atlikti tyrimai rodo, kad *Monte Karlo* metodo taikymas turi plačias galimybes ir yra labai svarbus ir naudingas atliekant įvairių sričių mokslinius tyrimus. *Monte Karlo* metodą galima panaudoti analizuojant ir siuvinėtų sistemų tyrimo metodų patikimumą. Mokslininkai nustatė, kad norint gauti geresnių funkcinių savybių siuvinėtą sistemą, rekomenduojama atlikti siuvinėtus stačiakampio, kvadrato formos elementus (Maleszka, Kabacik, 2010). Dėl to yra aktualu įvertinti siuvinėtų kvadrato formos elementų tyrimo metodų neapibrėžtį.

1.5 Elektrai laidžių siuvinėtų sistemų funkcionalumo tyrimai

Kuriant naujausias technologijas, leidžiančias į tekstilės struktūras integruoti elektrai laidžias siuvinėtas sistemas, automatizuoto siuvinėjimo proceso kokybės reikalavimai nuolatos didėja. Elektrai laidžių siuvinėtų sistemų pritaikomumas ir plėtra yra neatsiejamas nuo išmaniųjų tekstilės technologijų kūrimo, kurių raida iš esmės priklauso nuo skirtingų sektorių efektyvaus bendradarbiavimo ir plėtros, pradedant medžiagų, elektronikos mokslais, inovatyviomis technologijomis ir užbaigiant dizaino ir kitų mokslinių sričių klausimais (Tsolis ir kt., 2014). Šiuo metu išmaniojoje aprangoje naudojamos siuvinėtos sistemos geba priimti mobiliuosius signalus, kontroliuoti sveikatos būvį, perspėti esant pavojui, matuoti kraujospūdį, keisti spalvą, švytėti ir kt. Elektrai laidūs siūlai gali būti kelių rūšių: tai siūlai su laidžia danga, laidžiu užpildu ir visiškai elektrai laidūs siūlai. Jie klasifikuojami į kelias grupes. Pirmajai grupei priskiriami siūlai, sukurti iš laidžių metalų (nikelis, titanas, varis ar kt.), kitai grupei – siūlai, kuriems laidumas suteikiamas specialiu apdirbimo procesu, pavyzdžiui, juos padengiant metalais arba metalo druskomis (vario sulfidu) (Zhang ir kt., 2012).

Siekiant kokybiškai išsiuvinėti elementus yra kuriami ir tobulinami siuvinėjimo techniniai įrenginiai, skaitmeniniai programiniai formų sudarymo paketai ir kt. (Li, Chen ir Ge, 2016; Muramatsu, Koshiji ir Koshiji, 2014; Paraskevopoulo, Fonseca ir Seager, 2016; Roh, 2017). Siuvinėjimo ir siuvimo procesai yra plačiai taikomi naudojant metodus, kuriuose jungiamos elektrinės jungtys su tekstilinėmis medžiagomis (Yamaha, 2009; Linz, Vieroth, Dils, 2008; Weinberg, Orth ir Russo, 2000). Tobulėjant mokslui ir technikai kuriamos energiją tausojančios, ekonomiškios belaidės aukšto radijo dažnio dipolės antenos, jungiančios elektrotechnikos komponentus su tekstilės siuvinėtomis sistemomis ir skirtos nešiojamoms programoms (Chen, Ukkonen, ir Virkki, 2018; He ir kt., 2018; Heo, Choi, ir Kim, 2017; Tsolis ir kt., 2014). Nešiojamos naujausių technologijų minimos programos taikomos medicinos, sporto srityse, sveikatos priežiūros įstaigose ir kt. (Shuaib ir kt., 2017).

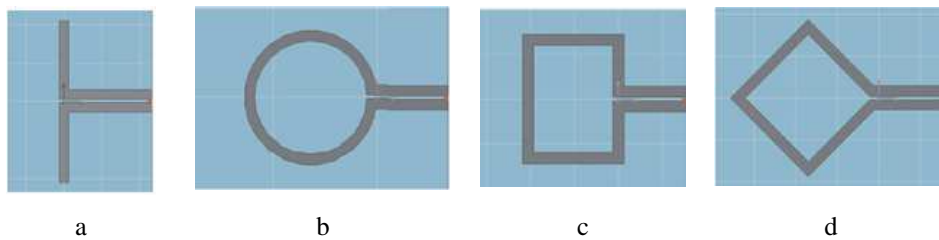
Pastaruoju metu siuvinėjimo būdu yra gaminamos antenos, jutikliai ir kt., kur vis plačiau yra naudojamos išmaniosios, elektrai laidžios sistemos, kurioms būtinas tikslumas. Tyrimais nustatyta, kad, naudojant skirtingus siuvinėjimo raštus ir dygsnių tankumą, siuvinėjimo proceso metu keičiasi elektrinis lauko stipris ir tekstilės medžiagų makropluoštų struktūra. Nustatyta, kad siuvinėtame elemente netolygios formos kvadratiniam kontūre esančios elektrostatinės jėgos kitimas didina rezonansinę amplitudę ir kontūre sumažėja centrinis bangos dažnis (Tsolis ir kt., 2014). Mokslininkai atliko tyrimą, kuriame į tekstilinio pagrindo poliesterinę, su elastanu, pirštine integravo skirtingų kontūrų siuvinėtus elementus su elektrai laidžiais pluoštais, su kuriais stebėjo pirštų judesius. Nustatyta, kad ilgalaikio naudojimo metu elektrinė varža siuvinėtoje sistemoje, mažėjant siuvinėto ploto kontūrai, didėja tiesiškai (Akerfeldt, Lund, ir Walkenstrom, 2015). Tai rodo, kad po eksploatacijos elektrai laidžios sistemos laidumas sumažėjo. Tyrime akcentuojamas gaminio funkcionalumas po eksploatacijos, tačiau išsamiai sudarytos sistemos funkcionalumui turintys įtakos veiksniai neanalizuojami. Pabrėžtina, kad tyrimų,

kuriuose nagrinėjamas elektrai laidžių sistemų funkcionalumas ir jiems turintys įtaką veiksniai (įvertinant audinių charakteristikas), mokslinėje literatūroje pasigendama.

Techninėse srityse vis plačiau naudojamos siuvinėtos sistemos, kurių sudėtyje yra elektrai laidžių pluoštų. Pastarieji dažnai naudojami kuriant jutiklius ar kaip laidininkai ir apsauga nuo susidarančio statinio krūvio (Briedis ir kt., 2017; Mihaylovichm, 2008; Parkova ir kt., 2012; Varnaitė ir kt., 2008; Zhang ir kt., 2012). Tiriant elektrai laidžias stačiakampes siuvinėtas antenas skirtas telefonams, kurios buvo išsiuvinėtos, kai dygsnio ilgis 0,4 mm ir 0,8 mm ant skirtingų tekstilės medžiagų nustatyta, kad antenos veikimas priklauso nuo elemento formos tikslumo, dygsnių tankumo ir jų krypties. Tyrime gauta, kad siuvinėta antena, kurioje dygsnių tankumas 0,4 mm, garso stiprinimo koeficientas iki 6,56 dBi veikia 37,6 % didesniu efektyvumu nei siuvinėta antena 0,8 mm dygsnių tankumu, kurios efektyvumas 29,6 % (Zhang ir kt., 2012). Iš gautų rezultatų matyti, kad siuvinėjimo dygsnių tankumo parametrai turi įtakos siuvinėtos sistemos laidumui. Todėl, siekiant gaminti aukštos kokybės siuvinėtus elementus, būtina išanalizuoti eksploatacinę elementų elgseną ir įvertinus tai parinkti optimaliausius proceso technologinių parametru derinus.

Didžiosios Britanijos mokslininkai atliko tyrimą, kuriame analizavo siuvinėtų uždaro kontūro elektrai laidžių elementų selektyvinio (gebančio išskirti) paviršiaus funkcionalumą ir pritaikomumą nešiojamose programose. Selektinio paviršiaus struktūros konstrukciją sudarė ant veltininės 0,8 mm storio medžiagos išsiuvinėti su elektrai laidžiais sidabro siūlais elementai (iš viso 24 elementai), išsidėstę šešiomis eilutėmis ir keturiais stulpeliais (Chauraya ir kt., 2013). Sistemoje tarp dviejų antenų, esant garso stiprio koeficientui mažesniai nei 10 dB, vyravo 2 GHz dažnio mikrobangos (radijo bangų ruožas). Tyrimas parodė, kad FSS sistemos rezonanso dažnį ir svyravimus galima reguliuoti ir kontroliuoti priklausomai nuo siuvinėtų elementų elektros laidumo, kurį lemia jų dydis. Sukurtas FSS paviršius kintant atstumui tarp antenų pasižymėjo stabilium rezonansu (Chauraya ir kt., 2013). Tai išryškino siuvinėtų elementų tikslumui, laidumui ir kokybei turinčių įtakos faktorių mokslinių tyrimų tendencijas.

Kuriant išsiuvinėtas tekstilės „elektronines“ sistemas dažnai naudojamas žiedinis kilpos formos kontūras, tai yra CPS – dipolio sistema – antena pasižyminti didele apsauga nuo statinio krūvio (Maleszka, Kabacik, 2010; Mihaylovichm, 2008). Lenkijos Vroclavo universiteto mokslininkai tyrė kompiuterinio siuvinėjimo „elektroninės“ sistemos, gautos naudojant skirtingų kontūrų struktūros elektrostatines savybes ir lygino jas su CPS – *dipolio sistema – antena* veikiančia tuo pačiu bangos 2 GHz dažniu (Maleszka, Kabacik, 2010). Tyrime tirti siuvinėti su poliesteriniais metalizuotais sidabru siūlais vienodo perimetro, bet skirtingų apskritimo, stačiakampio, kvadrato formų elementai (žr. 1.6 pav.).



1.6 pav. Elektrai laidžios siuvinėtos tekstilės vienodo perimetro (150 mm) ir bangų 2 GHz dažnio elementų kontūrai: a – planarinė; b – žiedinė; c – stačiakampė 1; d – stačiakampė 2 (Maleszka, Kabacik, 2010)

Atlikę tyrimą mokslininkai nustatė, kad didžiausią ~ 37 % elektros laidumą turi siuvinėti stačiakampio kontūro formos elementai. Lyginant gautus rezultatus buvo pastebėta, kad netolygios formos, tai yra kvadratiniam kontūre esančios elektrostatinės jėgos kitimas didina rezonansinę amplitudę ir kontūre sumažėja 100MHz centrinis bangos dažnis. Tačiau buvo pastebėtas ir trūkumas – ilgėja elektros pralaidumo kelias. Atsižvelgiant į gautas elektrostatines savybes, tyrėjai stačiakampio, kvadrato kontūro formos siuvinėtus elementus rekomenduoja integruoti daugiajuostėms nešiojamoms elektroninėms sistemoms (Maleszka, Kabacik, 2010). Iš atliktos analizės matyti, jog darbų, kuriuose būtų išsamiai tiriami stačiakampio ar kvadrato formos elementai bei jų ypatumai ir eksploatacija nėra, nors reikia paminėti, kad būtent šios formos elementai yra funkcionaliniai. Moksliniuose tyrimuose siuvinėti kvadrato formos elementai yra išskiriami iš kitų, įvairių jų formų, ir apibūdinami kaip pasižymintys geromis elektrostatinėmis savybėmis (Maleszka, Kabacik, 2010).

Mokslinėje literatūroje teigiama, kad statmenosios varžos ir savitosios paviršinės varžos vertės priklauso nuo elektrai laidžių siūlų kiekio medžiagoje (Kerfeldt ir kt., 2015; Varnaitė ir kt., 2008; Tsolis ir kt., 2014). Kuo mažesni atstumai tarp šių siūlų, tuo varžų vertės yra mažesnės. Viena iš galimybių pagerinti tekstilės medžiagų ar jų junginių elektrostatines savybes – į metmenis įausti elektrai laidžių siūlų (Varnaitė ir kt., 2008). Elektrai laidžių siūlų mechaninė elgsena artima tekstilinių siūlų elgsenai, jie yra pakankamai brangūs ir jų paviršiaus struktūra šiurkšti (Negru, Buda ir Avram, 2012; Pinar, Michalak, 2006; Zabetakis, Dinderman ir Schoen, 2005). Akcentuotina tai, kad, siuvimo ar siuvinėjimo procese siekiant išgauti tolygų stipresnį elektrinį laidumą, užpildyti siuvinėto elemento plotą rekomenduojama, kad viršutinis ir apatinis siūlai būtų elektrai laidūs (Briedis ir kt., 2017; Maleszka, Kabacik, 2010; Mihaylovichm, 2008; Parkova ir kt., 2012; Zhang ir kt., 2012). Tai rodo, kad siuvinėtų elementų funkcionalumas yra vienas iš pagrindinių kokybės rodiklių, todėl siekiant aukšto jų lygio gamybos išlaidos, atsižvelgiant į poreikį, gali svyruoti.

Esant išmaniausioms naujausioms technologijoms tik aukštos kvalifikacijos patyrę specialistai gali originalaus dizaino formų elementus iš skaitmeninės sistemos tiksliai perteikti ant tekstilės gaminių (Shih ir kt., 2016; Tsolis ir kt., 2014). Vienas iš pirmųjų sukurtų elektroninės siuvinėtos tekstilės produktų buvo striukė, išsiuvinėta išmaniaja klaviatūra, gebančia groti (Post ir kt., 2000; Tsolis ir kt., 2014).

Spaudžiant klaviatūros klavišus, kuriuose integruota schema su sintezatoriumi generuojančiu elektroninius signalus, galima valdyti garsus. Siuvinėta klaviatūra buvo pagaminta naudojant nerūdijančio plieno ir poliesterio kompozicinius siūlus (BekaertBK50/2) ir tekstilinį sluoksnį. Sudarytoje elektrinėje grandinėje elektrodų ir kitų susijusių elementų atsparumas didėjo dėl jungimo vietų, atskirtų tiksliais siūlėmis. Schemoje kiekvienas elektrodas buvo siuvas iš vieno pagrindinio siūlo, todėl susidarius daugkartiniams jo persikirtimams, padidėjus lygiagrečių pasipriešinimo linijų tankumui, sudarytos elektrai laidžios grandinės laidumas priklausė nuo formos tikslumo (Daukantienė, Laurinavičiūtė, 2013; Post ir kt., 2000). Tai rodo, kad siuvinėto elemento geometriniai parametrai privalo būti tikslūs. Akcentuotina tai, kad mokslinės literatūros, kurioje nagrinėjami siuvinėtų elementų geometrinių parametrų tikslumui turintys įtakos veiksniai, nėra. Reikia paminėti tai, kad tik atlikus elementų formų tikslumo tyrimus, įvertinant formai įtaką turinčius veiksniai, galima pagerinti gaminio funkcines savybes ir užtikrinti jo kokybę eksploatacijos metu.

Aukštos kokybės, tikslios siuvinėtos elektro laidžios sistemos tenkina individualius poreikius funkcionalumo atžvilgiu. Tam tikslui mokslininkų grupė išbandė spirale siuvinėtą elektrai laidžią 1–5 GHz dažnio anteną, skirtą implantams. Jų gamybai panaudojo itin plonus, elektrai laidžius siuvinėjimo siūlus „Elektrisola-7“ (Kiourti, 2016; Kiourti ir Volakis, 2015). Tyrimas parodė, kad, naudojant plonesnius septyngijus siuvinėjimo siūlus, gaunama aukšto tikslumo geometrinių parametrų siuvinėta ir elektrai laidži sistema. Nustatyta, kad esant didesniai dažniui 3 GHz tekstilinio pagrindo siuvinėta elektrai laidži sistema patiria nuostolių. Mokslininkai daro prielaidą, kad tam įtakos gali turėti tekstilinės medžiagos paviršiaus šiurkštumas bei kitos fizikinės savybės (Kiourti, 2016). Analizuojant stačiakampes skirtingo tankumo siuvinėtas mobiliųjų pokalbių antenas taip pat buvo nustatyta, kad antenos funkcionalumui turi įtakos siuvinėto elemento tikslumas, užpildymo tipas, dygsnių eilių orientacija siūlų sistemos atžvilgiu ir tankumas (Zhang ir kt., 2012). Atliktuose tyrimuose teigiama, kad siuvinėtų elementų tikslumas yra vienas iš pagrindinių kokybės reikalavimų, kuris neatsiejamas nuo aukštos kokybės siuvinėtų sistemų funkcionalumo.

Yra sukurta 3-D formato ir vektorinio vaizdo elemento sistema, apimanti techninius elemento formos ir matmenų parametrus. Generuojant iš 3D formato informaciją į siuvinėjimo įrengimą, siuvinėto elemento techninis vaizdas tampa 2D formatu ir po to atliekamas siuvinėjimas (Bailie, 2007; Qiming, Yupin ir Dongcheng, 2006). Sukurtas metodas leidžia kurti naujas siuvinėtų elementų formas keičiant jų matmenis. Tai yra ypač naudinga kuriant siuvinėtas sistemas, kurių formų tikslumas yra itin svarbus funkcionalumui ir estetinei išvaizdai.

Analizuojant ligonių naktinės enurezės simptomus, mokslininkai komfortiškumui gerinti pasiūlė naudoti ant tekstilinio pagrindo išsiuvinėtą drėgmės jutiklį. Tiriant siuvinėtas dvi spirales ir kombinuotų linijų elektrai laidžias sistemas nustatyta, kad jutiklio signalo aptikimo greičiui turi įtakos proceso technologiniai parametrai, naudojamų tekstilės medžiagų bei elektrai laidžių siūlų techninės charakteristikos, t. y. siuvinėjimo dygsnių tankumas, drėgmės sorbcija (Briedis ir kt., 2017; Parkova ir kt., 2012). Vadinasi, eksploatuojant elektrai laidžias siuvinėtas

sistemas svarbus ir pats eksploatacijos pobūdis. Dėl to, eksploatacijos poveikio siuvinėtų sistemų kokybei tyrimai yra labai svarbūs ir aktualūs.

Kuriant išmaniąją aprangą taip pat didėja susidomėjimas bevieliu, ant kūno dedamu jutiklių tinklu, kuris leis ateityje naudotis į tekstilę integruotais bevieliais ryšių korpusais ir jutiminėmis programomis (Van-Daele, Moerman, Iir Demeester, 2014; Zheng, Ding ir Poon, 2014). Siuvinėjimo, kaip laidininko, pritaikomumas turi plačias galimybes elektrai laidžių antenų gamyboje įterpian elektronines jungtis į tekstilines medžiagas (Chen, Liu, ir Wei, 2017; Ginestet, ir kt., 2017; Berglund, Duval ir Simon, 2015). Tyrimuose mokslininkai pristato trimačių (3D) išspausdintų ir išsiuvinėtų, tekstilėje integruotų itin aukšto dažnio, pasyvių radijo dažnių identifikavimo (tai technologija, kuri naudoja be baterijų nuotoliniu būdu adresuojamas elektronines žymes, sudarytas tik iš antenos ir mikroschemos) platformų gamybos ir funkcionalumo kokybės vertinimą (He ir kt., 2018).

Kuriant nešiojamąsias tekstilės antenas itin svarbios yra medžiagų elektromagnetinės savybės. Atlikti tyrimai rodo, kad tekstilės gaminams su integruotomis sistemomis būdingas jų sandarų nevienalytiškumas ir deformavimas (Loss ir kt., 2018). Grupė mokslininkų analizavo įvairių audinių (3D, neopreno, corduros, dirbtinės odos) dielektrinių charakteristikų sąsajas su audinio struktūros parametrais, charakteristikomis, paviršiaus šiurkštumu, akytumu, mase naudojant rezonatoriaus eksperimentinę techniką (Loss ir kt., 2018). Tyrime paviršiaus nelygumų elektromagnetiniai parametrai, dielektrinė konstanta ir tangento ruožo nuostoliai yra gaunami lyginant simuliuotą ir išmatuotą rezonansinį dažnį ir antenos kokybinį koeficientą. Dažniausiai dielektrinės pastoviosios vertės, dėl didesnio oro kiekio audinio struktūroje, nustatytos mažesnės. Tam įtakos turi audinių paviršiaus pagrindinės charakteristikos, kurios koreliuoja dielektrinėmis pastoviosiomis vertėmis. Mokslininkai teigia, kad nustatyti rezultatai: dielektrinio substrato padėtis, vidutinė dielektrinė pastovioji vertė gerai charakterizuoja tirtas medžiagas ir užtikrina patikimą tekstilinės antenos veikimą. Teigiama, kad tekstilinės medžiagos yra anizotropinės kaip tenzoriai ir dėl to, kuriant tekstilines antenas, būtina atsižvelgti į dygsnių tankumą audinio charakteristikoms (Chen, Ong ir Neo, 2004; Loss, Goncalves, Pinho, Salvado, 2018).

Tiriant siuvinėtų dipolių antenų veikimą, skirtą veikti 2,45 GHz pramoninių ir medicininių radijo juostų bevielio ryšio kūno sričių tinklo programose, kurios buvo atliktos ant skirtingų medvilnės, satino ir veltinio audinių struktūrų nustatyta, kad geriausia rezoliucija vertinant rezonanso dažnumą, gauta satino audinio bandiniuose ir jis iš tirtųjų audinių tinkamiausias sudaryti didelio tikslumo dipoles antenas (Gil, Garcia ir Tornero, 2018). Tekstilinės medžiagos, kurių dielektrinė konstanta (ϵ_r) mažesnė, dėl mažesnių paviršiaus bangų yra tinkamesnės antenoms naudoti. Tokiu atveju būtina įvertinti antenos matmenis. Pažangios elektroninės tekstilės integravimo technologijos leidžia masinėje drabužių gamyboje kurti tikslus dizaino elementus su 1 mm rezoliucija (Tsolis ir kt., 2014; Gil, ir kt., 2018; Salvado, Loss ir kt., 2012). Mokslininkai kreipia dėmesį į siuvinėtų antenų, skirtų nešiojamoms dėvimoms programoms, kūrimą (Paraskevopoulos, Fonseca ir Seager, 2016) ir jų geometrinių parametrų tikslumo gerinimą (Roh, Chi, ir Lee, 2010). Dėl to, siuvinėtų sistemų tyrimai, kuriuose analizuojamas elementų funkcionalumas, yra aktualūs.

Didėjant tekstilės sektoriaus konkurencingumui jų produktų gamintojams aktualu žinoti ir numatyti tekstilės gaminių eksploatacinę elgseną, norint pailginti gaminių eksploatacijos laikotarpį ir pagerinti kokybę. Skalbimas yra vienas iš eksploatacijos veiksnių, kuris labai dažnas ir svarbus procesas naudojamas įvairiems įprastos, inovatyvios bei siuvinėtos tekstilės gaminiams prižiūrėti. Skalbiant dėl drėgmės sugerties pluoštai brinksta, todėl kinta jų audinio sandara, fizikinės, mechaninės savybės. Audinių drėgmės absorbcijos, išgarinimo reiškiniai ir struktūros pokyčiai yra glaudžiai tarpusavyje susiję (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2007; Yildirim, 2010; Namiranian ir kt., 2014; Korunčak ir kt., 2014, Petrulytė, Baltakytė, 2009; Wang, Liu ir Virkki, 2016). Tai parodo, kad įvairių tekstilės gaminių eksploatacijos procesai yra aktualūs vertinant jų eksploatacines savybes bei funkcionalumą.

Aprangoje ar kituose tekstilės gaminiuose dėvimos, elektrai laidžios sistemos yra veikiamos drėgmės, tempiamos, gniuždomos, lenkiamos. Jose esančios elektros jungtys dėl patirtų eksploatacijos veiksnių yra mechaniškai pažeidžiamos. Tyrimai rodo, kad dažniausiai pasikeičia antenos stiprumas, nusakantis elektrinį naudingumą (Wang ir kt., 2016). Dar vienas svarbus aspektas, kurį mokslininkai akcentuoja ir analizuoja yra drėgmė ir jos poveikio elektrai laidžių siuvinėtų sistemų funkcionalumui reikšmingumas (Muramatsu ir kt., 2014; Jia, Tennant ir Langley, 2016). Tyrimuose mokslininkai analizuoja nešiojamųjų antenų naudojimo galimybes. Eksploatacijos metu vykstant prakaitavimui, prisilietus prie kitų aplinkoje esančių įvairių drėgnų paviršių ar lietuį lyjant, aprangoje integruoti elektronikos komponentai yra paveikiami drėgmės. Tyrimais nustatyta, kad drėgmės kiekis turi įtakos antenų sistemų elektromagnetinėms savybėms. Nuo drėgmės kiekio priklauso antenų veikimo stiprumas (Loo, Elmahgoub ir Yang, 2008; Nikitin, Rao, 2008). Atliktame tyrime antenos IC jungtis buvo įdiegta tarp sukurtos kilpos, prijungtos prie antenos uždengimo. Tyrimas parodė, kad dėl jungimo struktūros tarp jų gali dingti tiesioginis elektrinis kontaktas (Virili, Rogier ir Alimenti, 2014). Dėl to, antenos tikslumas yra labai svarbus.

Tyrime mokslininkai taip pat analizuoja išsiuvinėtų ant tamprios juostos ir medvilninio audinio antenų struktūrų tampiąją, tęstinę ir nepertraukiamą dalis (He ir kt., 2018). Jų patikimumas vertinamas eksploatuojant antenas drėgnoje aplinkoje ir ciklinio deformavimo metu (Mongan, Anday ir Dion, 2016; Long ir kt., 2015). Sukurtos atskiros antenos konstrukcijos turi spindulinę anteną ir maitinimo kilpą. Šios dvi antenų dalys yra prijungtos naudojant indukcinę movą, todėl pagrindinė jos dalis gali būti dedama nedideliu atstumu nuo spinduliavimo antenos. Tada maža antenos krosnies dalis, įskaitant antenos jungtį, gali būti apsaugotos nuo mechaninių įtampų ir drėgmės, kuri gali žymiai pagerinti antenos patikimumą žymos komponentui. Tyrime gauta, kad drėgnoje, nepertraukiamai eksploatuojamoje aplinkoje dipolės, dviejų struktūros dalių antenos gali išlaikyti aukštą radijo bangų dažnį, o jų pradinė skaitymo srities dalis apimanti 5 m yra iš dalies trumpesnė nei antenos su viena struktūros dalimi. Nustatyta, kad audinių charakteristikos turi įtakos antenų funkcionalumui (He ir kt., 2018).

Trimatės spausdintinės technologijos antenos sukurtos spausdinant ištemptą sidabrinį laidininką tiesiai ant elastinės juostos. Spausdinimo metu ant

mikroschemos struktūros antena išsiuvinėjama laidžiais siūlais. Tyrime analizuojamas sudarytų bandinių funkcionalumas drėkinant, lenkiant, cikliškai tempiant. Po tempimo ciklų multimetru yra iširta elektrinė varža. Mokslininkai nustatė, kad tempiant po eksploatacijos, sistemoje atsirado mažų įtrūkimų, dėl kurių elektrinė varža padidėjo iki 21,5 (Ω). Analizuojant drėkinimo įtaką elektrinei varžai nustatyta, kad drėgmė žymios įtakos elektriniam laidumui neturi (He ir kt., 2018). Taip pat tyrime nustatyta, kad po eksploatacijos bandinių, veikiamų drėgmės, prakaito ar tempimo lenkimo funkcionalumo savybės pakinta. Mokslininkai akcentuoja, kad antenų jungčių, imčių patikimumą būtina iširti kituose etapuose (pvz., skalbiant) ir įvertinant audinių charakteristikas ir visą kompleksą veiksmų, turinčių įtakos deformacijai (He ir kt., 2018). Atlikti tyrimai parodo ir akcentuoja elektrai laidžių sistemų eksploatacijos deformacijų tyrimų svarbą ir aktualumą. Tačiau daugelyje iš jų pasigendama siuvinėtų sistemų audinių charakteristikų įtakos jų funkcionalumui įvertinimo. Dėl to, siuvinėtų sistemų kokybės tyrimai yra aktualūs norint garantuoti siuvinėtų elementų funkcionalumą juos eksploatuojant.

1.6 Literatūrinės apžvalgos apibendrinimas

Siuvinėjimas yra plačiai taikomas visame pasaulyje ne tik dekoruojant tekstilę tradiciškai, tačiau ir medicininos diagnostikoje, implantų, išmaniosios aprangos gamyboje ir kt., kur didelis dėmesys skiriamas gaminio funkcionalumui, tikslumui. Išanalizavus mokslinę literatūrą matyti, kad siuvinėtų elementų kūrimo, panaudojimo ir tobulinimo procesas yra aktualus abiem mokslų sritims: naujausioms technologijoms ir istoriniam kultūros paveldui, o dėl plataus pritaikymo spektro galimybių dar yra ir konkurencingas. Analizė rodo, kad moksliniai tyrimai, kuriuose siekiama išsiaiškinti siuvinėtų sistemų ir jų aukštai kokybei turinčių veiksmų naudingumą, yra itin aktualūs.

Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad audinio sandaros fizikinių savybių ypatumai ir dygsnių sudarymo skirtumai turi įtaką siuvinėtų sistemų kokybei. Dažniausiai siuvinėjimo procesuose naudojami drobinio ir ruoželinio pynimo audiniai su užpildytai siuvinėjimo plotais „zigzago“ ir „tatamio“ tipais. Siuvinėjimo proceso metu tekstilės medžiagų sistema patiria daugkartinį tempimą, įvairias dinamines apkrovas ir dėl to deformuojasi. Dėl šios priežasties dažnai išsiuvinėtas elementas neatitinka suprojektuoto elemento. Nustatyta, jog siuvinėto elemento defektai atsiranda dėl nesuderintų medžiagų ir siuvinėjimo siūlų fizikinių savybių, skirtingo dygsnių tankumo ir kitų technologinių veiksmų. Tyrėjai teigia, kad išsiuvinėto elemento viduje vyksta audinio klupdymo, gniuždymo reiškiniai, kuriems pasibaigus siuvinėjimo sistema relaksuoja. Nustojus veikti išorinei jėgai ir apkrovai, dėl siūlų elastinės deformacijos pakinta siuvinėtų elementų geometriniai parametrai. Atliktuose tyrimuose pasigendama išsamesnės, paties siuvinėto elemento medžiagos savybių įtakos kokybei tyrimų, kuriuose būtų nagrinėjama siuvinėjimo proceso greičio ir kitų technologinių parametru įtaka siuvinėto elemento kokybei, prieš tai atsižvelgiant į jo savybes.

Dauguma tyrėjų atlieka tik siuvinėtų elementų defektų skirstymą ir vizualų pačių defektų nustatymą, nesiaiškindami technologinių veiksmų įtakos siuvinėto elemento kokybei, geometriniais parametrais ir pan.

Tyrimai rodo, kad kiekvienas matavimo atvejis – savitas ir reikalauja gero tiriamojo objekto savybių žinojimo. Kuriant ir tobulinant siuvinėtų sistemų vertinimo metodus, itin svarbu ištirti veiksnius, turinčius įtakos elementų kokybei. Dėl komplekso veiksnių, kurie turi įtakos matavimo rezultatui, svarbu apibrėžti naudojamo metodo metrologinį patikimumą. Tačiau išsamių tyrimų, kuriuose būtų kompleksiskai vertinami siuvinėtų sistemų geometrinių parametrų matavimo tikslumui turintys įtakos faktoriai, trūksta.

Atlikta mokslinės literatūros analizė rodo, kad siuvinėtų elementų tikslumas yra vienas iš pagrindinių kokybės reikalavimų, kuris neatsiejamas nuo aukštos kokybės siuvinėtų sistemų funkcionalumo. Tačiau išsamių mokslinių tyrimų, analizuojančių siuvinėtų elementų tikslumui ir funkcionalumui turinčius įtakos veiksnius, nėra plačiai nagrinėti.

Siuvinėtų sistemų eksploatacinis stabilumas yra vienas iš pagrindinių medžiagų inžinerijos uždavinių, nes eksploataavimo metu tekstilinės medžiagos patiria tempimą, trintį, skalbimą, dilimą, temperatūros bei drėgmės pokyčius bei kitas apkrovas. Dėl to, eksploatuojant siuvinėtas elektrai laidžias sistemas, labai svarbu žinoti visus jos kokybei turinčius įtakos faktorius.

Siuvinėtų sistemų tyrimai yra aktualūs ir svarbūs, nes remiantis jais galima prognozuoti siuvinėtų sistemų elgseną juos eksploatuojant. Reikia paminėti, kad siekiant visapusiškai ištirti siuvinėtų elementų kokybei turinčius įtakos veiksnius, būtina atlikti tyrimus, kurie leistų kompleksiskai įvertinti esminius, įtaką turinčius faktorius, nes tyrimų, kuriuose analizuojami siuvinėtų elementų formos tikslumui turintys įtaką veiksniai, taip pat siuvinėjimo proceso technologinių parametrų įtaka siuvinėto elemento elektriniam laidumui, trūksta.

2. TYRIMO METODOLOGIJA

2.1 Tyrimo objektai ir jų charakteristikos

Tyrimui pasirinkti trys audiniai, skirti darbinei aprangai gaminti ir tarpusavyje skiriasi pynimu bei charakteristikomis. Audinių metmenų ir ataudų siūlų pluoštinė sudėtis yra 35 % medvilnės ir 65 % poliesterio. Pasirinktų audinių vertės papuola į darbinių medžiagų savybių intervalą, rekomenduotiną darbinei aprangai gaminti ir siuvinėti. Pagrindinės tirtųjų audinių ir siuvinėjimo siūlų charakteristikos pateiktos 2.1 ir 2.2 lentelėse.

2.1 lentelė. Tirtųjų audinių charakteristikos

Audinio kodas	Sudėtis, %	Pynimas	Tankumas, cm^{-1}		Paviršinis tankis, g/m^2	Audinio tiesiniai užpildymo rodikliai		Audinio paviršiaus užpildymo rodiklis e_s	Storis T_s (100), mm su apkrova	Siūlų ilginis tankis, tex	
			P_1	P_2		Metmenų, e_1	Ataudų, e_2			T_1	T_2
A1	65 % poliesteris; 35 % medvilnė	drobinis	40	22	257	0,971	0,534	0,986	0,46	37	37
A2		ruoželinis 4/1	45	29	287	1,092	0,732	1,000	0,56	37	40
A3		ruoželinis 3/1	39	19	251	0,852	0,536	0,931	0,65	30	50

* indeksas: 1 – metmenų kryptimi, 2 – ataudų kryptimi

Tyrimo buvo naudojami poliesteriniai siuvinėjimo siūlai: viršutinis siūlas – suktinis iš 2 šakų, sukimo kryptis Z (gijinis), siūlo ilginis tankis 30,2 tex; apatinis siūlas – suktinis iš 2 šakų, sukimo kryptis Z (verpalai), siūlo ilginis tankis 24,7 tex (žr. 2.2 lent.).

Elektrai laidūs siuvinėti elementai atlikti naudojant elektrai laidžius poliamidinius, padengtus sidabro danga (~ 90 %) siuvinėjimo siūlus „Elitex“ (žr. 2.2 lent.). Siekiant išgauti siuvinėto elemento geresnę elektrinę pralaidumą, viršutinis ir apatinis siūlai naudoti vienodi (Briedis ir kt., 2017; Maleszka, Kabacik, 2010; Mihaylovichm, 2008; Parkova ir kt., 2012; Zhang ir kt., 2012).

Tirtųjų audinių charakteristikos nustatytos pagal standartus: siūlų tankumas nustatytas pagal LST EN 1049-2. Paviršinis tankis ir siūlų ilginis tankis nustatyti pagal LST ISO 3801, medžiagų storis nustatytas pagal LST EN ISO 5084. Storis matuotas SCHMIDT stormačiu su apkrova ir be apkrovos, matavimo paklaida

0,01 mm. Audinių užpildymo rodiklis e_s ir tiesiniai užpildymo rodikliai e_1 , e_2 buvo apskaičiuoti naudojant vidutinį metmenų ir ataudų tankumą P_1 ir P_2 ilgio vienetui (cm^{-1}) ir audinio siūlų kontūrinį skersmenį (d_{k1} , d_{k2}) (jei $e_1 \geq 1$ arba $e_2 \geq 1$, tai $e_s=1$).

2.2 lentelė. Siuvinėjimo siūlų charakteristikos

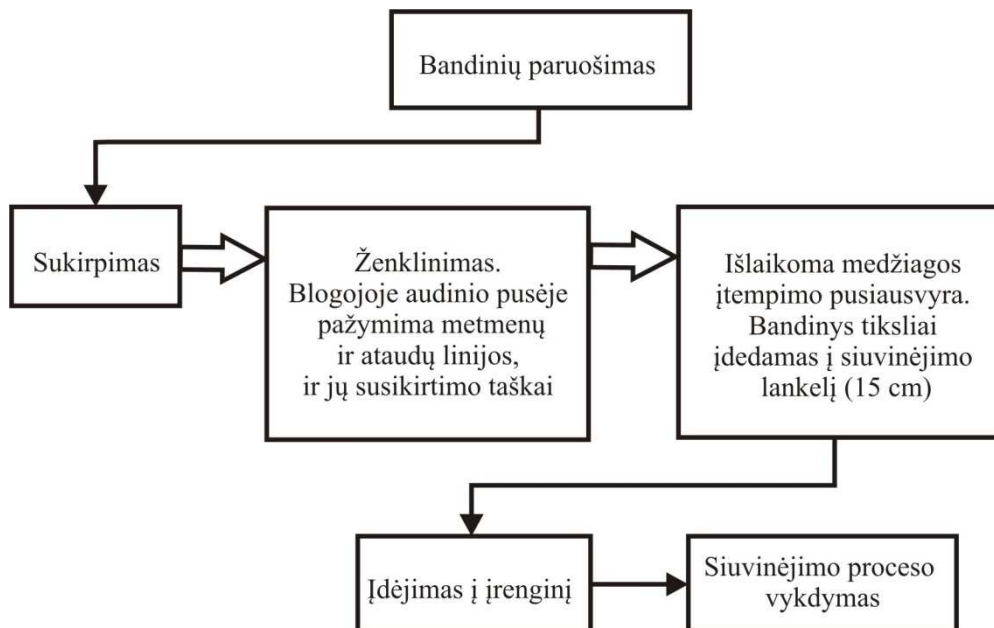
Sudėtis, %	Panaudojimas	Sandara	Ilginis tankis, tex
100 % PES	Viršutinis siūlas	Suktinis iš 2 šakų, sukimo kryptis Z (gijinis)	30,2
100 % PES	Apatinis siūlas	Suktinis iš 2 šakų, sukimo kryptis Z (verpalai)	24,7
PA/Ag	Viršutinis/apatinis siūlas	Suktinis iš 2 šakų, sukimo kryptis Z (gijinis)	25,2

Tyrimo metu atlikta po 6 sudarytų bandinių derinius, kurie, prieš atliekant matavimus, ne mažiau kaip 24 valandas išlaikyti kondicinėmis sąlygomis ($RH = 65 \pm 4$ %), taip pat išlaikyti kambario temperatūroje ($20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) pagal standartą LST EN ISO 139: 2005. Atlikus bandymus gauti rezultatai apdoroti statistiškai su SPSS programa. Eksperimento rezultatų variacija ne didesnė kaip 6 %. Atliktų matavimų santykinės paklaidos svyravo nuo ± 1 % iki ± 5 %.

2.2 Siuvinėjimo proceso atlikimo metodika

Siuvinėjimo proceso technologiniai parametrai ir siuvinėtų elementų forma pasirenkama remiantis kitų mokslininkų darbais ir jų rekomendacijomis (žr. 1.3 ir 1.5 skyriai) (Briedis ir kt., 2017; Maleszka, Kabacik, 2010; Radavičienė, Jucienė, 2012; Tsolis ir kt., 2014; Sherien, El-Kateb, 2015; Zhang ir kt., 2012).

Siekiant įvertinti tekstilės medžiagų charakteristikų ir technologinių parametru įtaką siuvinėto elemento kokybei ir funkcionalumui, siuvinėjimo procesas buvo atliktas su BEXT-S901CAII siuvinėjimo mašina. Atsižvelgiant į dažniausiai siuvinėjimo procesuose naudojamus technologinius parametrus (Chernenko, 2006; „Sofly“ grupės technologijos), tyrimui atlikti tiriant juostelės formos elementus parinkti keturi skirtingi greičiai V , aps/min: 600, 800, 1000, 1200 (žr. 2.2.2 skyr.). Kvadrato formos elementai atliekami esant siuvinėjimo greičiui $V=800$ aps/min (žr. 2.2.3 skyr.). Literatūroje teigiama, kad siuvinėjimo procese įdėklinės medžiagos dažniausiai naudojamos liauniems, ploniems audiniams (Chernenko, 2006; Tsolis ir kt., 2014). Tai akcentuojant, mokslininkai ir gamintojai dažniausiai rekomenduoja įdėklines medžiagas naudoti tik atsižvelgiant į medžiagų charakteristikas ir produkcijos paskirtį (Gholmy ir kt., 2010; Mikhajlovich, 2008). Todėl dėl ekonomiško, darbo našumo, siuvinėtų sistemų lankstumo ir funkcinių savybių gerinimo, klajinės medžiagos tyrimo metu nenaudojamos. Siuvinėjimo proceso eigos etapai pateikiami 2. 1 paveiksle.



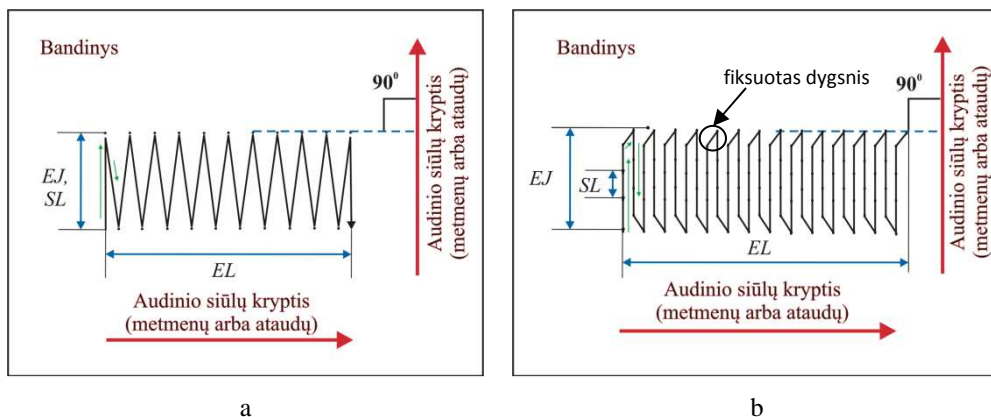
2.1 pav. Siuvinėto elemento gavimo eigos etapai

2.2.1 Siuvinėtų elementų užpildymo tipų atlikimo metodika

Tyrimė siuvinėtų elementų forma gaunama užpildant siuvinėjimo plotą dviem skirtingais užpildymo tipais *Z* (zigzago) ir *T* (tatamio) (žr. 2.2 pav.) Užpildant siuvinėjimo plotą *Z* užpildymo tipu, dygsnio ilgis atitinka užpildymo plotį. Proceso metu dygsniai sudaromi pagal zigzago trajektoriją, t. y. pradžioje dygsnis fiksuojamas viename elemento krašte, vėliau kitame. Tokiu būdu dygsniai glaudžiai glunda vienas prie kito ir užpildo reikiamą paviršiaus plotą (žr. 2.2 pav., a).

Siuvinėjimo užpildymo tipo *T* charakteringas požymis – dygsnių formavimas sudarant jų eiles. Užpildant plotą užpildymo tipu *T*, dygsnio ilgį fiksuoja adatos pradūrimai nuo vieno siuvinėto elemento krašto iki kito, sudarydami dygsnių ir adatos pradūrimų eilės seką. Siuvinėjant užpildymo tipu *T*, fiksuotas dygsnių eilės sekos galutinis, trumpiausias dygsnio ilgis užtikrina sudaromų adatos pradūrimų eilių lygiagretumą, o sudarytos siuvinėjimo dygsnių eilės viena kitos neperdengia (žr. 2.2 pav., b) (Radavičienė ir Jucienė, 2012; Shan, Yong, 2003).

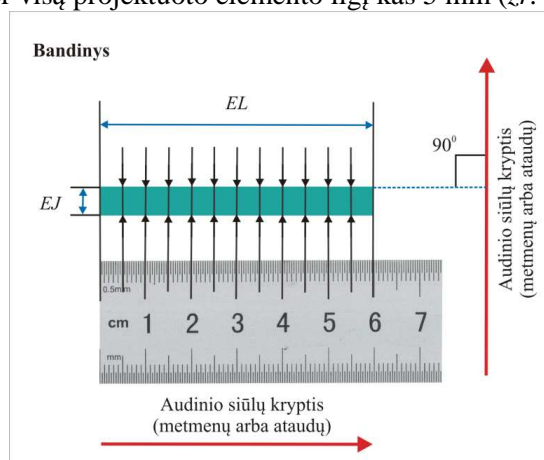
Užpildymo tipai *Z* ir *T* skiriasi atlikimo technologija, todėl, kuriant sudėtingų formų siuvinėtus elementus, užpildymo tipas *T* dėl platesnių pritaikymo galimybių yra plačiau naudojamas (Chernenko, 2006; Radavičienė, Jucienė, 2012). Siuvinėjant *Z* užpildymo tipu, siuvinėto elemento plotis lygus dygsnio ilgiui, t. y. dygsnio ilgį fiksuoja adatos pradūrimai abiejuose juostelės kraštuose.



2.2 pav. Siuvinėto elemento sudarymo schema, kai: a – užpildymo tipas Z; b – užpildymo tipas T, čia EJ – siuvinėto elemento plotis, SL – dygsnio ilgis, EL – siuvinėto elemento ilgis

2.2.2 Siuvinėtų juostelės formos elementų ilgio ir pločio nustatymo metodika

Siekiant įvertinti tekstilės medžiagų charakteristikų ir technologinių parametru įtaką siuvinėto elemento kokybei sudarant juostelės formos elementus, siuvinėjimo procesas atliekamas esant 4 skirtingiems greičiams V , aps/min: 600, 800, 1000, 1200. Bandiniai išsiuvinėti audinių metmenų ir ataudų siūlų kryptimis naudojant užpildymo tipus Z ir T. Siuvinėtų elementų ilgis ir plotis išmatuotas su *COREL DRAW 12* programiniu paketu. Skenuoti bandinių vaizdai perkeliama į kompiuterinę laikmeną ir atidaromi 1:1 masteliu *COREL DRAW 12* programoje. Didinant rezoliuciją bandiniai yra išmatuojami. Elementų ilgis fiksuojamas per visą projektuoto elemento plotį, t. y. per kraštinių ilgį ir per jų vidurį. Elemento pločio matavimai atliekami per visą projektuoto elemento ilgį kas 5 mm (žr. 2.3 pav.).



2.3 pav. Juostelės formos siuvinėto elemento ilgio ir pločio matavimo schema, kai: EJ – siuvinėto elemento plotis, EL – siuvinėto elemento ilgis

Juostelės formos siuvinėtų elementų matavimo schema pateikiama 2.3 paveiksle. Tyrime analizuojami gauti ilgio ir pločio vidurkiai. Elemento ilgio EL

variacijos koeficientas ne didesnis kaip 4 %, elemento pločio EJ variacijos koeficientas ne didesnis kaip – 5 %.

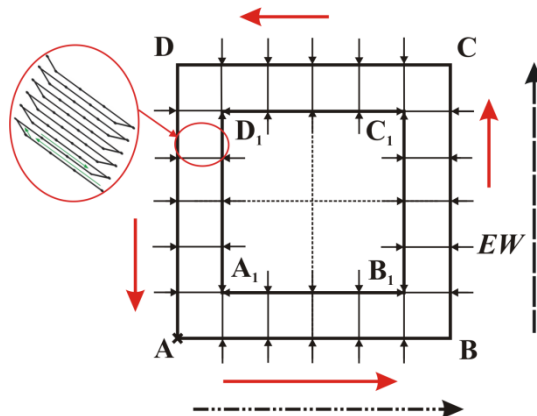
2.2.3 Uždaro kontūro kvadrato formos siuvinėtų elementų tyrimo metodika

Naudojant užpildymo tipą T išsiuvinėti kvadrato formos 60×60 mm uždaro kontūro elementai. Parinkti kontūro pločiai 6 mm, 10 mm, 14 mm, 18 mm, ir 22 mm leidžia išgauti vienodo kvadrato dydžio elementus. Tokiu būdu, visas elemento kvadrato dydis nepakinta, skiriasi tik vidinio kvadrato matmenys, apibrėžiantys kontūro plotį iš vidinės kvadrato pusės. Siuvinėjimo proceso pradinis ir galutinis taškas yra A (žr. 2.4 pav.). Nuo taško A adata, sudarydama dygsnių eiles, juda taškų B , C , D link ir, apėjęs aplink kvadrato trajektoriją, sustoja ties pradiniu tašku A . Uždaro kvadrato formos elementas siuvinėjamas prieš laikrodžio rodyklę. Siuvinėtas elementas gaunamas išsiuvinėjus dvi kraštines audinio ataudų siūlų kryptimi – kraštines AB , CD ir dvi kraštines išsiuvinėjus audinio metmenų siūlų kryptimi – kraštines BC , DA . Todėl galima įvertinti tekstilės medžiagų savybių ir siuvinėjimo krypties įtaką siuvinėto elemento formos stabilumui.

Elementų geometriniai parametrai išmatuoti su *COREL DRAW 12* programiniu paketu. Tyrimo rezultatai apdoroti statistiškai, eksperimento rezultatų variacija ne dodesnė kaip 6 %. Atliktų matavimų paklaidos kito nuo ± 1 % iki ± 5 %.

2.2.3.1 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio tyrimo metodika

Kontūro plotis EW matuojamas keturiose kvadrato kraštinėse per projektuoto elemento ilgį ir aukštį, ties vidinių kraštinių susikirtimo taškais ir per vidinių kraštinių ketvirčio ir vidurio taškus. Matavimo schema pateikiama 2.4 paveiksle.



2.4 pav. Siuvinėto elemento kontūro pločio matavimo schema: čia EW – siuvinėto elemento kontūro plotis, A – siuvinėjimo proceso pradžios ir pabaigos taškas (angl. *the start and end points of embroidery*), \rightarrow – siuvinėjimo proceso kryptis, \dashrightarrow – audinio ataudų siūlų kryptis, \dashrightarrow – audinio metmenų siūlų kryptis

Tyrimo analizuojamas gautas siuvinėto elemento pločio EW vidurkis. Bendroji matavimo rezultatų santykinė paklaida svyravo nuo ± 1 % iki ± 5 %. Variacijos koeficientas ne didesnis kaip 5 %.

2.2.3.2 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio matavimo metodo neapibrėžties tyrimo metodika

Darbe vertinama matavimo metodo sistemingoji paklaida ir išplėstinė neapibrėžtis. Tyrime siuvinėtų elementų geometrinių parametrų tyrimo metodo patikimumas analizuojamas atsižvelgiant į bendrus, grupinius ir konkrečius tyrimo veiksnius. Neapibrėžtis analizuojama vertinant proceso sistemingų ar atsitiktinių matavimo klaidų veiksnių šaltinius. Neapibrėžtumo apskaičiavimas grindžiamas turimais skirtingais kintamaisiais.

Tyrime laikoma, kad dedamosios $\Delta l_{ic}, \Delta l_{sp}, \Delta l_{dp}$, bet ne jų neapibrėžtumai yra nuliniai ir nėra susiję. Čia:

Δl_{sp} – bandinių paruošimo proceso įtaka;

Δl_{ic} – skaitmeninio vaizdo kalibravimo įtaka;

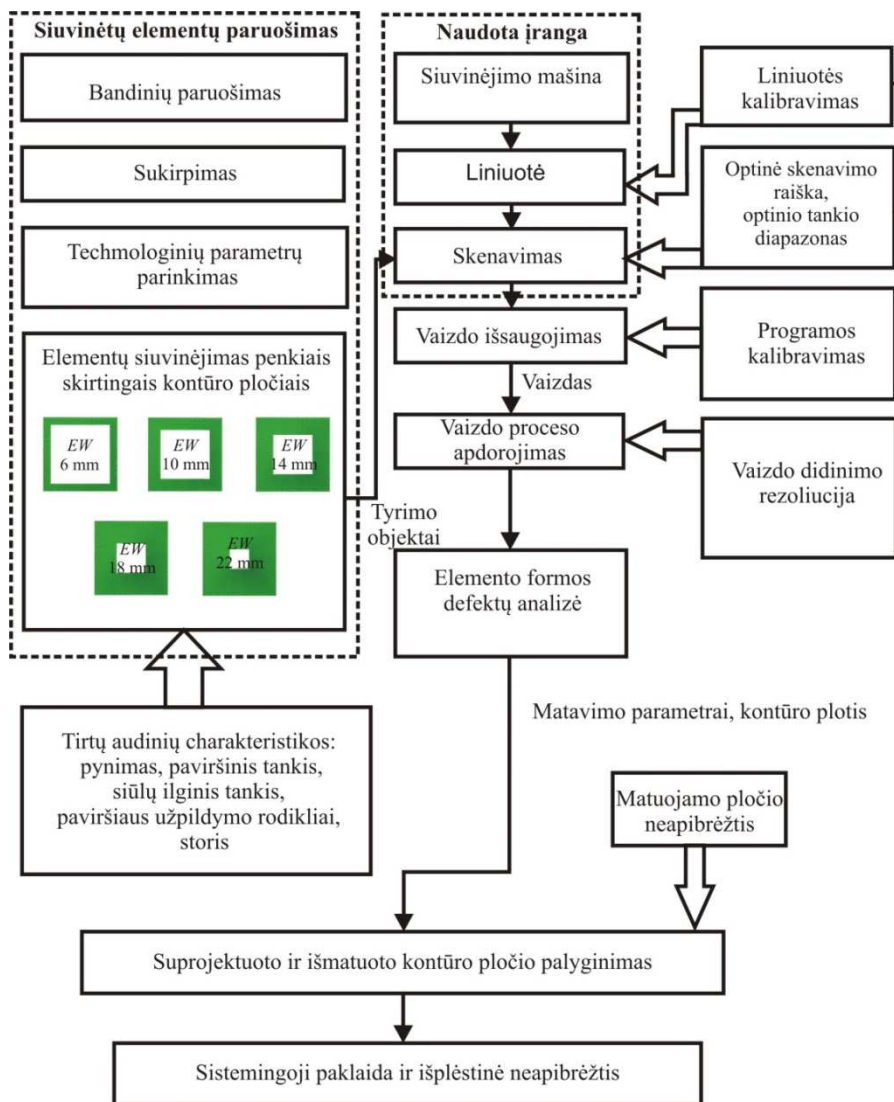
Δl_{dp} – duomenų iškraipymo įtaka.

Todėl atskirų dedamųjų neapibrėžtys turi įtakos suminei neapibrėžčiai. Laikoma, kad naudojamos priemonės yra nepriklausomos nuo bandinio padėties ir standartinio jo pločio erdvėje.

Analizuojant matavimo metodo metrologinius parametrus siekiama, kad parametrai, lemiantys matavimo rezultato neapibrėžties reikšmę, būtų adekvatūs matavimo tikslams, t. y. reikalaujamam tikslumui. Remiantis šiuo teiginiu, tyrime analizuojamos matavimo metodo neapibrėžtys. Rezultato neapibrėžtumas vertinamas pagal 2.5 paveiksle pateiktą sudarytą srautų algoritmo schemą.

Skirtingų penkių kontūro pločių išplėstinė neapibrėžtis įvertinama taikant ir *Monte Carlo* modeliavimo metodą. Metodo esmė yra atsitiktinių procesų modeliavimas gaunant atsitiktinį rezultatą (Fishman, 2003; Kubilius, 1980; Sakalauskas, Vaičiulytė, 2010), tirtuoju atveju siuvinėtų elementų kontūro pločio matavimo metodo išplėstinės neapibrėžties vertinimą sudaro siuvinėtų elementų paruošimo ir atlikimo bei matavimo procesas. Sudarius *Monte Karlo* metodo algoritmą, nagrinėjamos suminės neapibrėžties dedamosios:

- kontūro pločio matavimo atkarpų metmenų kryptimi gautų rezultatų vidurkio standartinis nuokrypis;
- kontūro pločio matavimo atkarpų ataudų kryptimi gautų rezultatų vidurkio standartinis nuokrypis;
- etaloninės liniuotės kalibravimo neapibrėžtis;
- skaitmeninio vaizdo kalibravimas;
- duomenų apdorojimas;
- elemento paruošimas.



2.5 pav. Geometrinių parametru (kontūro pločio) matavimo ir neapibrėžtumo šaltinių algoritmas

Mokslininkų tyrimuose akcentuojama, kad tarp skirtingų neapibrėžtumo šaltinių, veikiančių vaizdo gavimo ir apdorojimo metu, pagrindinis dėmesys skiriamas matavimo sistemai (Santo ir kt., 2000). Etalonišės liniuotės bei siuvinėtu elementu bandinio vaizdai nuskenuoti skeneriu *HP LaserJet Pro M1130*, todėl bandinio ir etalonišės liniuotės vaizdo atpažinimo tikslumas priklauso nuo bandinio skenavimo kokybės: rezoliucijos ir spalvinio režimo. Vaizdas skenuotas maksimalia optine skiriamąja geba, ir tik po to, naudojant programą, padidintas. Tikrąją skenerio optine skiriamąją gebą laikoma optinė (skersinė) skiriamoji geba, kuri priklauso nuo fotoelementu skaičiaus skenavimo liniuotėje 1200 dpi. Tokiu būdu gaunama optimali vizualizuoto vaizdo kokybė.

Didesnį koeficiento standartinį neapibrėžtumą galima apskaičiuoti naudojant stačiakampį paskirstymą:

$$u(\alpha_m) = \pm \frac{\Delta\alpha_m}{\sqrt{3}} = 0.00029\text{mm} / \text{pixel}. \quad (1)$$

Suprojektuoto bandinio vaizdas projektuojamas remiantis etaloninės liniuotės tikrosiomis vertėmis. Todėl laikoma, kad etaloninės liniuotės kalibravimo neapibrėžtis tiesiogiai veikia matavimo rezultatą. Tyrimuose naudota kalibruota etaloninė liniuotė (angl. *calibration certificate No. MG-1894*). Liniuotės kalibravimo rezultatas 15 mm vardiniame taške yra $(0,06 \pm 0,15)$ mm.

Vaizdo perkėlimui į skaitmeninę laikmeną turi įtakos skenerio nuskaitymo parametrai, etaloninio mato ir bandinio geometriniai parametrai. Nekokybiškai pažymėtos arba išsidėvėjusios brūkšninės ribos taip pat gali tapti linijinio poslinkio matavimo neapibrėžčių šaltiniais bei iškraipyto vaizdo priežastimi (Regional Programme on Quality Assurance, PRAQ III, 1997). Tokių dedamųjų atliekant tyrimą siekta išvengti.

Skaitmeninio vaizdo kalibravimui metalinis valdiklis buvo dedamas toje pačioje vietoje kaip ir bandinys. Vaizdo apdorojimo proceso metu nustatomi poslinkiai skaitmeniniais diskretizavimo vienetais (pikseliais), kurie perskaičiuojami tikrais jų dydžiais (milimetrais).

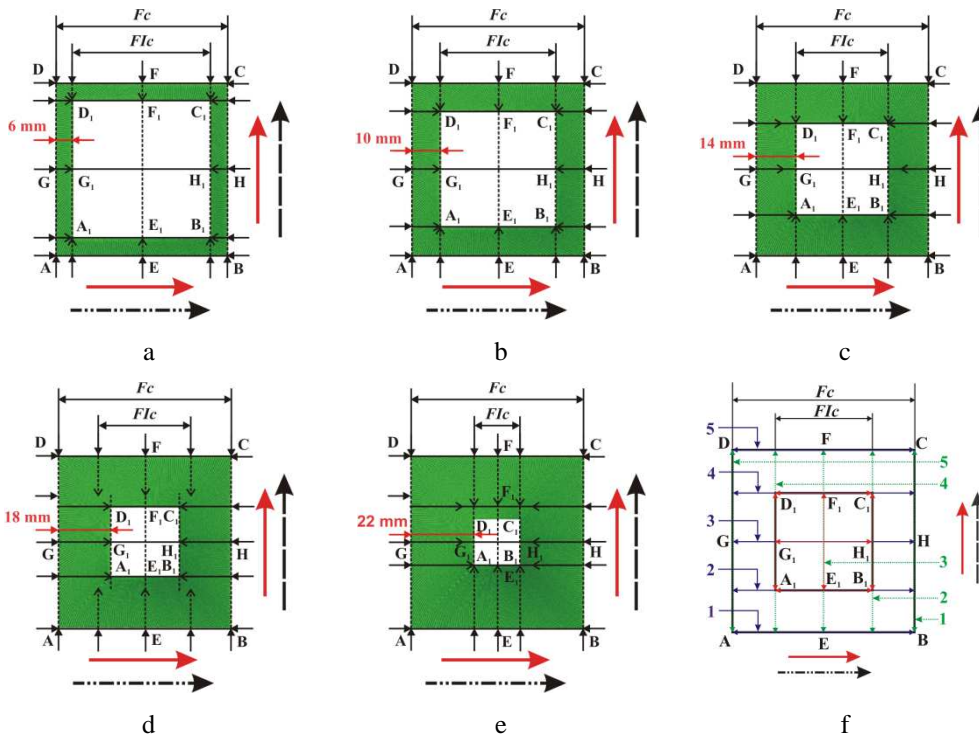
Tyrimo metu nustatytas linijinis poslinkis siejamas su poslinkio matavimais ir skaitmeninio vaizdo analize. Informaciją suteikia etaloninės liniuotės brūkšninė skalė, kuri tiesiogiai susieta su tiriamuoju bandiniu, t. y. su tiriamojo bandinio skaitmeniniu vaizdu. Poslinkis skaičiuojamas absoliutinio atskaitymo skalėje, kai kiekviename taške nuskaitoma absoliuti pozicija kodo vienetais. Tiriamojo elemento kraštiniai parametrai teikia informaciją apie jo ribas ir linijinius poslinkius. Kai žinomos suprojektuotos ir išmatuotosios vertės, įvertinamas skirtumas tarp faktinės ir etaloninės verčių.

Išplėstinė matavimo neapibrėžtis apskaičiuojama naudojant aprėpties koeficientą $k = 2$, kai normalus pasiskirstymas ir aprėpties tikimybė $P = 0,95$. Kalbant apie metodo patikimumą visame pločio intervale, apskaičiuotas maksimalus nuokrypis nuo vidutinės kontūro pločio paklaidos, t. y. standartinė neapibrėžtis lygi 0,07 mm, susijusi su 18 mm kontūro pločiu.

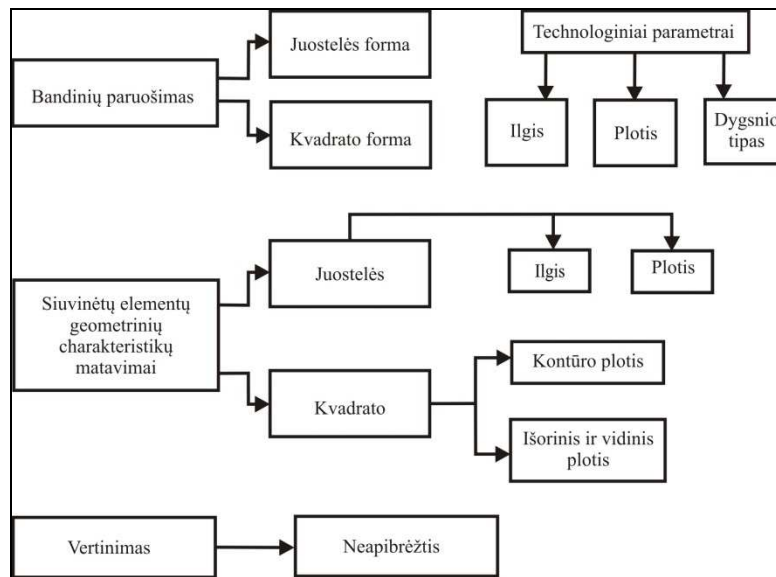
2.2.3.3 Kvadrato formos elementų išorinio ir vidinio plokčių tyrimo metodika

Dėl uždaro kontūro kvadrato formos ypatumų tyrime analizuojamas išorinis elemento plotis F_c ir vidinės elemento dalies plotis F_{lc} .

Išorinio elemento plotis F_c matuojamas per kraštinių ilgį, ties vidinių kraštinių susikirtimo taškais ir per kraštinių vidurį (žr. 2.6 pav., f). Kvadrato formos siuvinėtų elementų išorinio pločio F_c matavimo taškų vietos grafikų x ašyje žymimos skaitiniais numeriais 1, 2, 3, 4, 5. Vidinės elemento dalies pločio F_{lc} kraštinės matuojamos per jų ilgį ir vidurį (žr. 2.6 pav.). Eksperimente analizuojami siuvinėtų elementų išorinio F_c ir vidinio F_{lc} pločiai. Plokčių verčių galutiniu rezultatu laikomas 6 bandinių aritmetinis vidurkis.



2.6 pav. Kvadrato formos siuvinėto elemento išorinio pločio F_c , vidinio pločio F_{1c} matavimo schema: čia a – kontūro plotis 6 mm, b – kontūro plotis 10 mm, c – kontūro plotis 14 mm, d – kontūro plotis 18 mm, e – kontūro plotis 22 mm, f – išorinio pločio F_c matuojamų atkarpų schema, \rightarrow – siuvinėjimo proceso kryptis, \dashrightarrow – audinio ataudų siūlų kryptis, \dashrightarrow – audinio metmenų siūlų kryptis



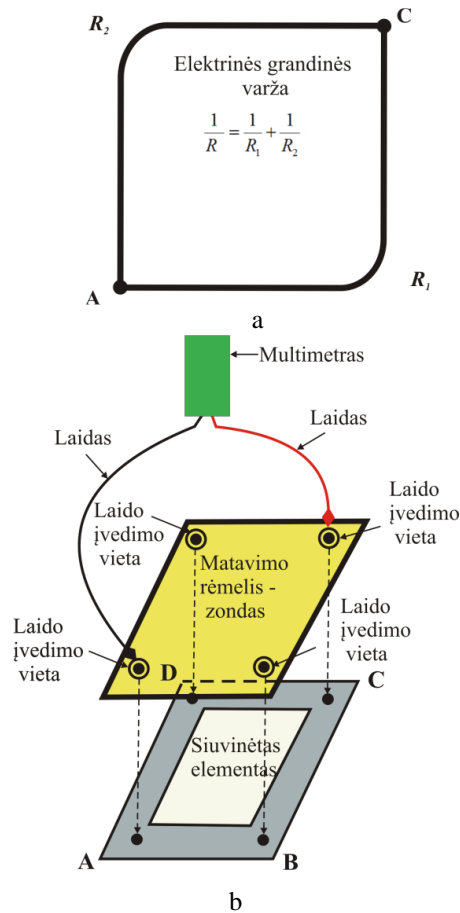
2.7 pav. Metodikų 2.2.1–2.2.3.3 etapų apibendrinimas išskiriant pagrindinius etapus

Atliktų matavimų santykinė paklaida yra nuo $\pm 0,1\%$ iki $\pm 2\%$. Matavimų variacijos koeficientas ne didesnis kaip 5% . Metodikų 2.2.1–2.2.3.3 etapų apibendrinimas išskiriant pagrindinius etapus pateiktas 2.7 paveiksle.

2.2.3.4 Siuvinėtų kvadrato formos elektrai laidžių elementų tyrimas

Siekiant įvertinti technologinių parametru įtaką siuvinėtų elementų elektros laidumui tyrime išsiuvinėti kvadrato formos 60×60 mm uždaro kontūro pločių 6 mm ir 14 mm elementai. Elementai gauti siuvinėjimo plotą užpildant užpildymo tipu *T*, naudojant du dygsnių tankumus, 3 dygs/mm ir 4,5 dygs/mm (žr. 2.4 pav.).

Tiriamosios uždaros grandinės pasipriešinimo elektros laidumų (elektrinės varžos) R (Ω) matavimai atliekami kvadrato formos kontūro diapazone (žr. 2.8 pav., a).



2.8 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento analizuojamos grandinės schemos: a – pasipriešinimo elektriniam laidumui schema, čia R (Ω) – elektrinė varža; R_1 (Ω) – atkarpos AC elektrinė varža; R_2 (Ω) – atkarpos CA elektrinė varža; b – elektrinės varžos matavimo schema

Tyrime matavimo laidai tvirtai sujungiami su matuojama grandine įtvirtinant juos į specialų rėmelį (žr. 2.8 pav., b). Išsiuvinėtų kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro elektrinės varžos matavimai atlikti su multimetru *BRYMEN BM811S*, matavimo paklaida $\pm 0,1$ %.

Tyrime analizuojami paruoštų po 5 bandinius, sudarytų derinių gauti siuvinėto uždaro kontūro 6 mm ir 14 mm pločio, skirtingo 3 dygs/mm ir 4,5 dygs/mm dygsnio tankumo elektrinės varžos R vidurkiai. Statistinio apdorojimo metu variacijos koeficiento vertė nustatyta iki 6 %, matavimų santykinė paklaida gauta nuo ± 1 % iki ± 7 %.

2.2.3.5 Elektrai laidaus siuvinėto elemento geometrinių parametru pokyčio po eksploatacijos vertinimas

Po siuvinėjimo elektrai laidžiais siūlais proceso, kurio atlikimo metodika pateikta 2.2.3.4 skyriuje, siekiant įvertinti eksploatacijos veiksnių įtaką elemento kontūro pločiui CS_K tiriami objektai pagal standartą LST EN ISO 6330:2012 buvo apdoroti septyniais skalbimo ciklais ir džiovinami juos patiesus. Po eksploatacijos tyrimo objektai prieš matavimus, ne mažiau kaip 24 val., išlaikyti kambario temperatūroje ($20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$). Siuvinėto elemento kontūro plotis CS matuotas prieš skalbimą, o plotis CS_K po vieno, trijų, penkių ir septynių skalbimo ciklų. Elektrai laidžių siuvinėtų elementų kontūro pločiai CS ir CS_K išmatuoti pagal metodiką, pateiktą 2.2.3.2 skyriuje. Kontūro pločio matavimo schema pateikta 2.4 paveiksle.

Tyrimo matavimo rezultatai gauti iš penkių bandinių aritmetinio vidurkio. Visų tirtųjų bandinių elementų kontūro pločio matavimo rezultatų sklaida yra maža, variacijos koeficiento vertė nesiekė 6 %, matavimų santykinė paklaida ne didesnė kaip 7 %.

Elektrai laidžių elementų struktūros pasikeitimas po skalbimo buvo analizuojamas skenuojančių elektronų mikroskopu *SEM Quanta 200 FEG*. Visos mikroskopinės nuotraukos buvo atliktos laikantis vienodų techninių ir technologinių sąlygų: elektronų spindulio kaitinamoji įtampa – 20,00 kV, spindulio vieta – 5,0, darbinis atstumas – 9,5 mm, žemas vaakumas (80 Pa) detektorius – LFD, didinimas 500 ×, 2000 ×, 5000 ×, mastelis 128 μm, 512 μm.

3. TYRIMŲ REZULTATAI

Siuvinėjimo proceso metu elementų kokybės vertinimas yra sudėtingas procesas, susijęs su tekstilės medžiagų charakteristikomis, elemento formos tikslumu bei siuvinėjimo proceso technologiniais parametrais. Siuvinėtos sistemos kokybė priklauso nuo elemento atlikimo tikslumo bei nuo gamybos proceso metu patiriamų mechaninių poveikių, eksploatacijos veiksnių ir kt.

Siekiant gaminti aukštos kokybės itin tikslius siuvinėtus elementus, gamintojai turi įvertinti siuvinėjimo proceso technologinių parametru įtaką elemento tikslumui bei turi iš anksto numatyti kaip išvengti galimų defektų.

3.1 Technologinių veiksnių ir medžiagų savybių įtaka juostelės formos siuvinėto elemento geometriniais parametrams

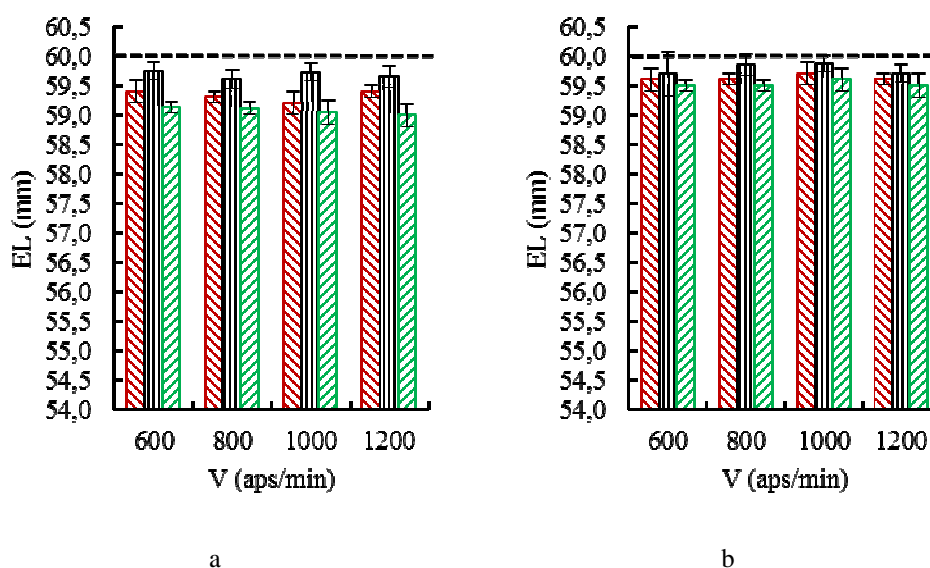
Vienas svarbiausių siuvinėtų elementų kokybės reikalavimų yra jų atitikimas projektuotam dydžiui. Siekiant nustatyti technologinių veiksnių įtaką siuvinėto elemento formai, buvo analizuojamas siuvinėto elemento ilgis *EL* ir plotis *EJ* bei lyginami su suprojektuotu dydžiu. Tiriant siuvinėto elemento ilgį ir plotį nustatyta, kad siuvinėto elemento geometriniai parametrai priklauso nuo siuvinėjimo proceso technologinių veiksnių.

Atlikta rezultatų analizė parodė, kad, kai siuvinėjimo proceso greitis $V = 600$ aps/min ir $V = 800$ aps/min, o užpildymo tipas *Z*, siuvinėtų elementų ilgiai *EL* audinių metmenų ir ataudų siūlų kryptimis skiriasi. Nustatyta, kad elemento ilgis *EL* metmenų kryptimi audinio A1 iki ~ 1,3 %, audinio A2 iki ~ 0,7 %, audinio A3 iki ~ 1,7 % mažesnis už projektuotą dydį (žr. 3.1 pav., a). Ataudų kryptimi ilgio *EL* skirtumas, lyginant jį su projektuotu dydžiu, gautas audinio A1 iki ~ 0,7 %, audinio A2 iki ~ 0,5 %, audinio A3 iki ~ 0,8 % mažesnis už projektuotą (žr. 3.1 pav., b). Apibendrinant galima teigti, kad šiuo atveju artimiausias projektuotam dydžiui siuvinėto elemento ilgis *EL* gautas elementų, atliktų ant audinio A2. Daugiausiai ~ 1,5 % projektuoto dydžio neatitiko audinio A3 siuvinėto elemento ilgis *EL* metmenų kryptimi (žr. 3.1 pav.).

Naudojant užpildymo tipą *Z*, esant didesniai siuvinėjimo proceso greičiui $V = 1000$ aps/min nustatyta, kad metmenų siūlų kryptimi iš tirtųjų audinių žymiausiai skiriasi siuvinėto elemento, atlikto ant audinio A3 ilgis *EL*. Šiuo atveju jis nustatytas ~ 1,7 % trumpesnis už projektuotą ilgį. Ataudų siūlų kryptimi esant siuvinėjimo proceso greičiui $V = 1000$ aps/min, visų tirtų siuvinėtų elementų ilgis *EL* nustatytas daugiau artimesnis projektuotam dydžiui nei naudojant mažesnius proceso greičius (žr. 3.1 pav., b). Analizuojant siuvinėtų elementų ilgius *EL*, kai siuvinėjimo proceso greitis didžiausias $V = 1200$ aps/min ir užpildymo tipas *Z* nustatyta, kad tiksliausi yra elementai, atlikti ant audinio A2, ilgis *EL* gautas ~ 0,5 % mažesnis už projektuotą ilgį. Siuvinėtų ant audinio A1 elementų ilgis, esant skirtingiems greičiams metmenų kryptimi, gautas iki ~ 1,7 %, o ataudų kryptimi iki ~ 0,7 % mažesnis už projektuotą (žr. 3.1 pav.).

Tiriant siuvinėtų elementų ilgius *EL*, esant užpildymo tipui *Z* ir skirtingiems greičiams bei lyginant juos su projektuotu dydžiu nustatyta, kad artimiausias siuvinėto elemento ilgis suprojektuotam gautas, kai elementas atliktas ant audinio

A2 ataudų siūlų kryptimi, o siuvinėjimo proceso greitis $V = 1000$ aps/min. Taigi artimesni suprojektuotam elementui yra ataudų kryptimi atlikti siuvinėti elementai. Siuvinėjimo proceso greičio įtaka siuvinėtų elementų ilgiui yra nereikšminga (žr. 3.1 pav., a). Kai siuvinėtas elementas atliktas užpildymo tipu Z, visais atvejais elemento ilgis gautas mažesnis nei suprojektuoto elemento ilgis.



3.1 pav. Siuvinėto elemento ilgis EL esant skirtingam siuvinėjimo proceso greičiui V , aps/min, kai siuvinėtas elementas uždengtas užpildymo tipu Z ir siuvinėjimo proceso eiga: a – audinio metmenų siūlų kryptimi; b – audinio ataudų siūlų kryptimi; --- suprojektuoto elemento ilgis; ▨ – audinys A1; ▩ – audinys A2; ▧ – audinys A3

Siuvinėto elemento pločio EJ tyrimo rezultatai parodė, kad, siuvinėjant skirtingu siuvinėjimo proceso greičiu, gaunamas nevienodas siuvinėto elemento plotis. Dažniausiai nustatyta stipri tiesinė priklausomybė tarp siuvinėto elemento pločio EJ ir siuvinėjimo proceso greičio V , min^{-1} (žr. 3.2 pav.).

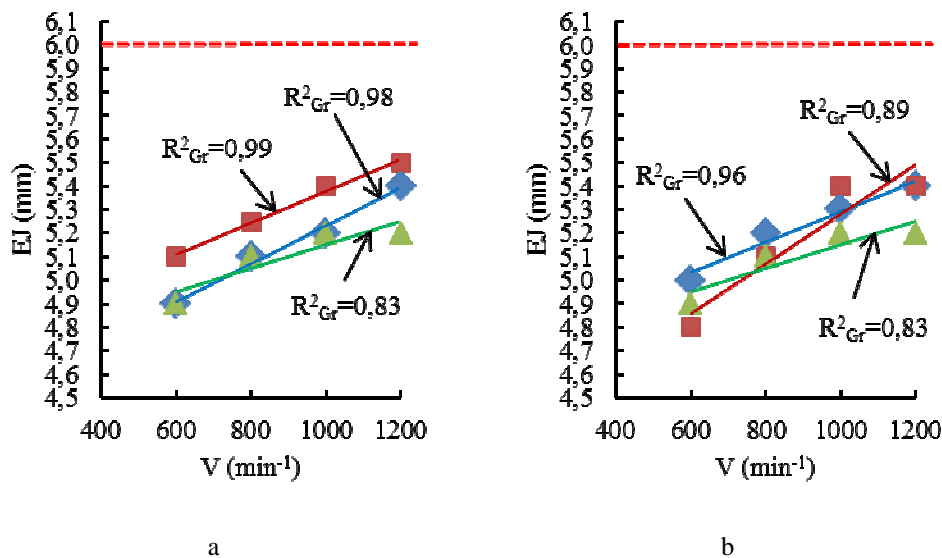
Tiriant siuvinėtus elementus, atliktus ant audinio A1, nustatyta, kad siuvinėjant mažiausiu tirtu greičiu, kai užpildymo tipas Z, siuvinėto elemento plotis metmenų kryptimi ~ 18 % ir ataudų kryptimi ~ 17 % gautas mažesnis nei projektuotas plotis. Kai siuvinėjimo greitis yra didesnis (V 800 aps/min ir 1000 aps/min), siuvinėto elemento plotis yra nuo ~ 12 % iki ~ 15 % mažesnis už projektuotą dydį. Šiuo atveju tiksliausias siuvinėto elemento plotis (~ 10 % mažesnis už suprojektuotą) gautas bandinius atliekant didžiausiu tiriamuoju siuvinėjimo proceso greičiu ($V = 1200$ aps/min) (žr. 3.2 pav.). Tekstilės medžiagų elgseną, esant visam kompleksui poveikio jėgų, sąlygoja jų struktūra, skirtingos siūlų charakteristikos, pynimas, tankumas, proceso technologiniai parametrai, siūlų anizotropiškumas ir kt. (Bekampienė, Domskienė, 2010; Bekampienė, Domskienė, 2009; Maleszka, Kabacik, 2010; Shafi ir kt., 2012). Dėl to, mechaninio poveikio metu, priklausomai nuo audinio pynimo, siūlai prisilenka vienas kito atžvilgiu. Drobinio pynimo

audinių sandaroje vienuose per dangos liečiasi visais kampais, siūlų kontaktų laukai neturi laisvųjų laukų. Tokiuose pynimuose priešingų metmenų ir ataudų per dangos sudaro rišlius ryšio laukus, kurių atstojamoji jėga priešinasi siūlų sanglaudoms (Hosseinali, 2012; Pavlinič, Geršak, 2003; Pocienė, Vitkauskas, 2007). Dėl to manoma, kad gautiems rezultatams turi įtakos audinio A1 drobinis pynimas, priklausomai nuo jo charakteristikų (žr. 2.1 lent.).

Kiek kitokie pločio EJ (mm) rezultatai gauti analizuojant siuvinėtų elementų, atliktų ant audinio A2. Kai siuvinėjimo proceso greitis $V = 600$ aps/min, užpildymo tipu Z atliktų siuvinėtų elementų plotis EJ gautas mažesnis metmenų kryptimi iki $\sim 15\%$, o ataudų kryptimi iki $\sim 20\%$. Esant maksimaliam tirtam siuvinėjimo proceso greičiui, siuvinėto elemento EJ plotis buvo artimiausias suprojektuotam dydžiui, šiuo atveju A2 ruoželinio pynimo audinio EJ plotis metmenų kryptimi $\sim 8\%$ ir ataudų kryptimi $\sim 10\%$ mažesnis už projektuotą dydį (žr. 3.2 pav.).

Panašūs rezultatai gauti atliekant bandinius užpildymo tipu Z ant audinio A3. Daugeliu atvejų, nors siuvinėjimo proceso greičiai skirtingi, siuvinėto elemento EJ plotis metmenų ir ataudų kryptimis yra vienodas. Esant mažiausiam $V = 600$ aps/min greičiui A3 audinio siuvinėto elemento EJ plotis nustatytas $\sim 18\%$ mažesnis už suprojektuotą plotį. Taigi, esant maksimaliems tirtiems siuvinėjimo greičiams ($V = 1000$ aps/min ir 1200 aps/min), A3 audinio siuvinėtų elementų EJ pločiai vienodi ir artimiausi projektuotam (žr. 3.2 pav.). Tokią A2 ir A3 audinių elgseną galima paaiškinti audinio sandaros rodiklių ypatumu. Ruoželinio pynimo A2 ir A3 audinio gerojoje pusėje daugiau metmenų per dangų (žr. 2.1 lent.), kurios kyla iš kairės į dešinę. Dėl pynimo per dangų siūlų skaičiaus skirtumų ir kt. ypatumų siūlų per dangų kontaktų laukai turi laisvųjų laukų, dėl kurių atsiranda galimybė susiglausti dviem tos pačios sistemos siūlams ir panaikinti tarpą tarp jų. Ankstesniais tyrimais nustatyta, kad ruoželinio pynimo audinių sandaroje, dėl susidariusių laisvųjų laukų, siūlų per dangų ryšio laukai susilpnėja ir sanglaudos, priklausomai nuo fizikinių savybių, didėja (Gholmy ir kt., 2010; Maleszka, Kabacik, 2010; Pavlinič, Geršak, 2003; Tsolis ir kt., 2014). Esant skirtingiems pynimams siuvinėjimo proceso metu, smingant adatai į audinio sandarą, joje atsiranda tam tikri struktūros pokyčiai, pažeidimai, priklausomi nuo sistemos siūlų išsidėstymo ir sudarytų kampų dydžio tarp jų bei siuvinėjimo siūlų persipynimo struktūros viduje. Todėl audinio struktūra praranda pradinę būseną, nes keičiasi sudarytos sistemos siūlų orientacija, priklausomai nuo audinio charakteristikų ir įvestų į ją siuvinėjimo dygsnių tipo skaičių. Dėl to manoma, kad dėl tokių vykstančių reiškinų skirtingo pynimo ir charakteristikų audiniuose, sudaryti siuvinėti elementai deformuojasi nevienodai ir geometriniai jų parametrai dėl to skiriasi.

Gauti rezultatai rodo, kad siuvinėto elemento geometriniais parametrams įtakos turi siuvinėjimo greitis. Analizuojant greičio įtaką siuvinėto elemento geometriniais parametrams gauta stipri tiesinė priklausomybė (žr. 3.2 pav.).

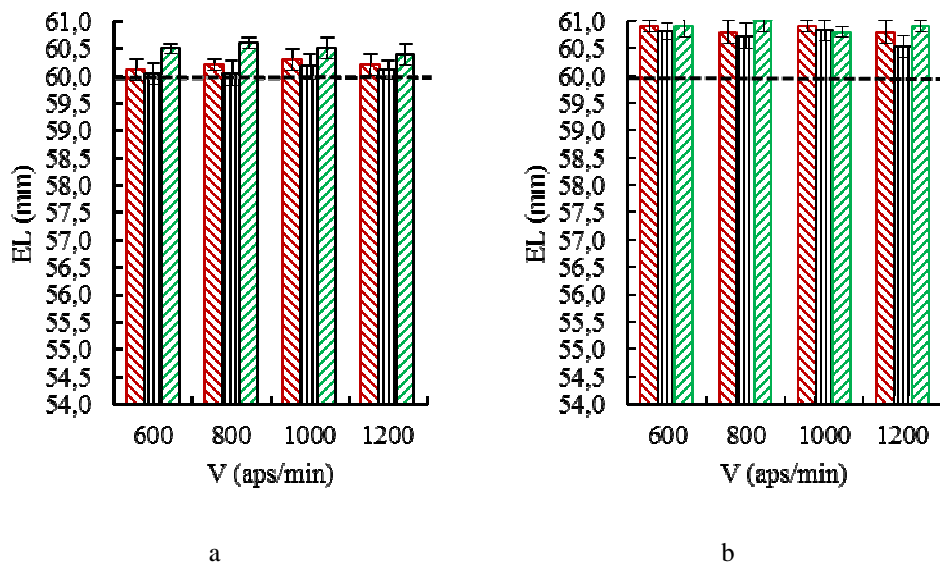


3.2 pav. Užpildymo tipo Z siuvinėto elemento pločio EJ (mm) priklausomybė nuo siuvinėjimo proceso greičio V , min^{-1} , kai audinio siuvinėjimo kryptis: a – metmenų siūlų kryptimi, b – ataudų siūlų kryptimi, kai --- – suprojektuoto elemento plotis; ◆ – audinys A1; ■ – audinys A2; ▲ – audinys

Tyrimų rezultatai parodė, kad siuvinėjant kitu tiriamu užpildymo tipu T , siuvinėto elemento ilgis ir plotis taip pat neatitinka projektuoto dydžio (žr. 3.3 pav.) ir priklauso nuo siuvinėjimo proceso greičio (žr. 3.4 pav.).

Tyrimė gauta, kad siuvinėjant užpildymo tipu T , siuvinėto elemento ilgis EL gaunamas didesnis už suprojektuotą. Kai siuvinėjimo proceso greitis $V = 600$ aps/min ir $V = 800$ aps/min metmenų siūlų kryptimi nustatyta, kad daugiausia iki $\sim 1\%$ pakitęs siuvinėto elemento ilgis atliktas ant audinio A3, gautas didesnis kaip suprojektuotas dydis. Artimiausias projektuotam dydžiui gautas elementas atliktas ant audinio A2, ilgis nustatytas iki $\sim 0,1\%$ didesnis už suprojektuotą (žr. 3.3 pav., a). Tyrimų metu nustatyta, kad esant didesniems siuvinėjimo proceso greičiams $V = 1000$ aps/min ir $V = 1200$ aps/min metmenų siūlų kryptimi, siuvinėto elemento ilgis EL nustatytas nuo $\sim 0,1\%$ iki $\sim 0,8\%$ didesnis už suprojektuotą. Gauta, kad elementų, atliktų ant audinio A2 metmenų siūlų kryptimi, ilgis EL artimiausias projektuotam dydžiui. Naudojant užpildymo tipą T audinio A1 metmenų siūlų kryptimi elementų ilgis, esant $V = 800$ aps/min siuvinėjimo greičiui, lyginant su projektuotu, gautas labiausiai $\sim 1\%$ neatitinkantis jo dydžio (žr. 3.3 pav., a).

Analizuojant siuvinėtų elementų ilgį, kai siuvinėjimo proceso greičiai skirtingi ir bandiniai atlikti užpildymo tipu T ataudų siūlų kryptimi nustatyta, kad ilgis EL nuo $\sim 0,8\%$ iki $\sim 1,5\%$ yra didesnis už projektuotą dydį (žr. 3.3 pav., b). Palyginus metmenų ir ataudų kryptimis užpildymo tipu T išsiuvinėtų elementų ilgio rezultatus gauta, kad ataudų kryptimi siuvinėto elemento ilgis iki $\sim 1,3\%$ didesnis nei metmenų kryptimi.



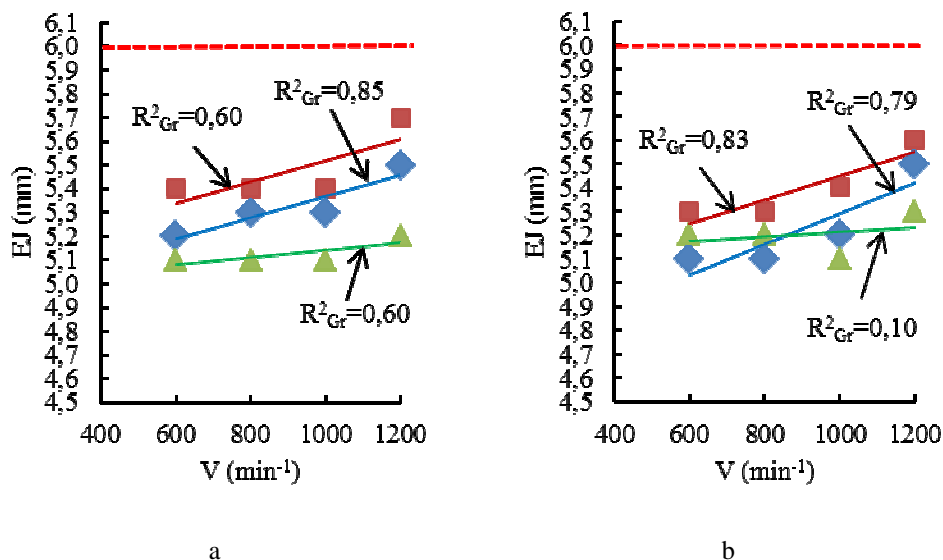
3.3 pav. Siuvinėto elemento ilgis EL esant skirtingam siuvinėjimo proceso greičiui V , aps/min, kai siuvinėtas elementas uždengtas užpildymo tipu T ir siuvinėjimo proceso eiga: a – audinio metmenų siūlų kryptimi; b – ataudų siūlų kryptimi; --- suprojektuoto elemento ilgis; ▨ – audinys A1; ▮ – audinys A2; ▯ – audinys A3

Nustatyta, kad siuvinėjant T užpildymo tipu, žymiausias suprojektuoto elemento pločio EJ neatitikimas, lyginant su suprojektuotu elementu, yra bandinių, atliktų ant A3 audinio. Taip pat nustatyta, kad siuvinėjant T užpildymo tipu, kai siuvinėjimo proceso greičiai 600 aps/min ir 1000 aps/min audinio A3 elemento EJ plotis yra nuo ~ 13 % ir ~ 15 % mažesnis už projektuotą dydį.

Analizuojant siuvinėtų elementų, atliktų užpildymo tipu T gautus tyrimo rezultatus nustatyta, kad esant didžiausiam 1200 aps/min greičiui siuvinėtų elementų EJ pločiai yra artimiausi suprojektuotam pločiui. Nustatyta, kad didžiausia, abiejomis audinio kryptimis, yra tiesinė siuvinėto elemento pločio priklausomybė nuo siuvinėjimo proceso greičio (žr. 3.4 pav.).

Lyginant tarpusavyje skirtingus užpildymo tipus Z ir T gauta, kad siuvinėto elemento ilgis EL (mm, ir užpildymo tipas Z gaunamas mažesnis už suprojektuoto elemento ilgį, o kai elementai atlikti kitu užpildymo tipu T , elemento ilgis EL gautas artimas arba didesnis.

Gauta, kad užpildymo tipu Z siuvinėto elemento plotis EJ mažesnis (iki ~ 5 %) už elementų, išsiuvinėtų užpildymo tipu T , plotį. Dažniausiai, siuvinėjant užpildymo tipu T , siuvinėto elemento plotis EJ gaunamas daug artimesnis projektuotam nei siuvinėjant užpildymo tipu Z . Siuvinėjimo tipai Z ir T skiriasi atlikimo technologija. Siuvinėjant užpildymo tipu Z siuvinėjimo dygsnis atitinka siuvinėto elemento plotį, o dygsnį sudaro du adatos dūriai. Užpildymo T tipo siuvinėto elemento plotį sudaro eilė siuvinėjimo dygsnių. Šiuo atveju adata praduria audinį ~ 474 kartų, o siuvinėjant užpildymo tipu Z – apie 320 kartų.



3.4 pav. Užpildymo tipo *T* siuvinėto elemento *EJ* (mm) pločio priklausomybė nuo siuvinėjimo proceso greičio *V*, min⁻¹, kai audinio siuvinėjimo kryptis: a – metmenų siūlų kryptimi, b – ataudų siūlų kryptimi, kai – – – suprojektuoto elemento plotis; ◆ – audinys A1; ■ – audinys A2; ▲ – audinys A3

Siuvinėtų elementų *T* užpildymo tipu, dėl didesnio adatos dūrių ir siuvinėjimo siūlų įterpimo į siuvinėtą elementą skaičiaus, audinio metmenų ir ataudų siūlai yra daugiau plečiami ir mažiau glunda vieni šalia kitų, todėl užpildymo *T* tipo siuvinėtų elementų plotis dažnai gaunamas didesnis nei *Z* užpildymo tipo. Siuvinėjimo sistemose vyksta relaksacijos reiškiniai, kurių metu, pradedant veikti pradiniais įtempiais, pluoštai sureaguoja greitai, vėliau reakcijos greitis lėtėja, kol nusistovi tam tikra, vadinama „pusiausvyra“ ir pradinė sistemos būseną lieka pakitus (Rudolf, Geršak, 2007b; Sherien, El-Kateb, 2015; Pocienė, Vitkauskas, 2007). Todėl manoma, kad mechanškai paveiktoje siuvinėtoje sistemoje vyksiantys relaksacijos reiškiniai turi įtakos elementų geometrinių parametrų tikslumui. Tiesinė priklausomybė tarp siuvinėto elemento pločio ir siuvinėjimo proceso greičio rodo, kad siuvinėtų elementų tikslumui daro įtakos siuvinėjimo proceso greitis, priklausomai nuo elementų audinio siūlų krypties ir charakteristikų. Gauta, kad esant didesniai siuvinėjimo proceso greičiui elemento, atlikto užpildymo tipu *T*, plotis yra artimesnis projektuotam dydžiui.

Lyginant skirtingų charakteristikų audinių metmenų ir ataudų kryptimi siuvinėtų elementų pločius *EJ*, dažniausiai plotis ataudų kryptimi gautas mažesnis nei metmenų (žr. 3.3–3.4 pav.). Tam turi įtakos skirtingas siūlų tankumas (žr. 2.1 lent.). Tirtųjų audinių siūlų tankumas ataudų kryptimi nuo ~ 31 % iki ~ 51 % mažesnis nei metmenų ir dėl to, ataudų kryptimi vykstant siuvinėjimo procesui, pasibaigus relaksacijos procesams jų siūlai labiau suglunda ir liečiasi vienas su kitu nei metmenų. Tokiems siuvinėtų elementų pločio *EJ* rezultatams, tai yra jo neatitikimui projektuotam dydžiui, taip pat įtakos turi audinio siūlų išsilankstymas,

kurio fazės siuvinėjimo proceso metu nėra stabilios. Esant mechaniniam poveikiui skirtingomis kryptimis, keičiasi sistemos metmenų ir ataudų išsilankstymas (Klevaitytė, Masteikaitė, 2008; Sacevičienė, Masteikaitė, 2003; Urbelis, Petrauskas ir Gulbinienė, 2008; Sofronova, Angelova, 2016).

Proceso metu siuvinėtą sistemą adatos pradūrimo jėga veikia išilgai adatos ašies, kurios judėjimo kryptis statmena audinio paviršiui nepastoviu dydžiu. Pradiniame etape adatos smaigalys sminga į audinį, plečia įėjimo zoną iki adatos strypelio skersmens dydžio ir įtempiai struktūroje susiformuoja maksimalūs. Toliau į audinį įvedama adatos cilindrinė dalis ir pasireiškia trinties jėgos dedamosios. Adatos cilindrinei daliai persmelkus audinį dominuoja pasipriešinimo trinčiai jėgos, nekintančios iki tol, kol adata atsiduria žemiausioje padėtyje (Chowdhary, Poynor, 2006; Maleszka, Kabacik, 2010). Manoma, kad, po adatos prasiskverbimo į medžiagos sistemą, siuvinėjimo siūlai jungdamiesi į bendrą sistemą su audiniu pasiskirsto nevienodai, priklausomai nuo siuvinėjimo greičio, audinio charakteristikų ir siūlų siuvinėjimo eigos krypties ir dėl to siuvinėtų elementų geometriniai parametrai gaunami neatitinkantys projektuoto dydžio. Atliekant siuvinėtus elementus didesniu greičiu, dygsnių sudarymo proceso laikas ir esančių dinaminių apkrovų jėgų poveikis audinio struktūrai yra trumpesnis. Tokio poveikio metu atliekant siuvinėtus elementus užpildymo tipais Z ir T , elemento plotis EJ nuo $\sim 11,7\%$ iki $\sim 18,3\%$ gautas mažesnis nei projektuotas dydis.

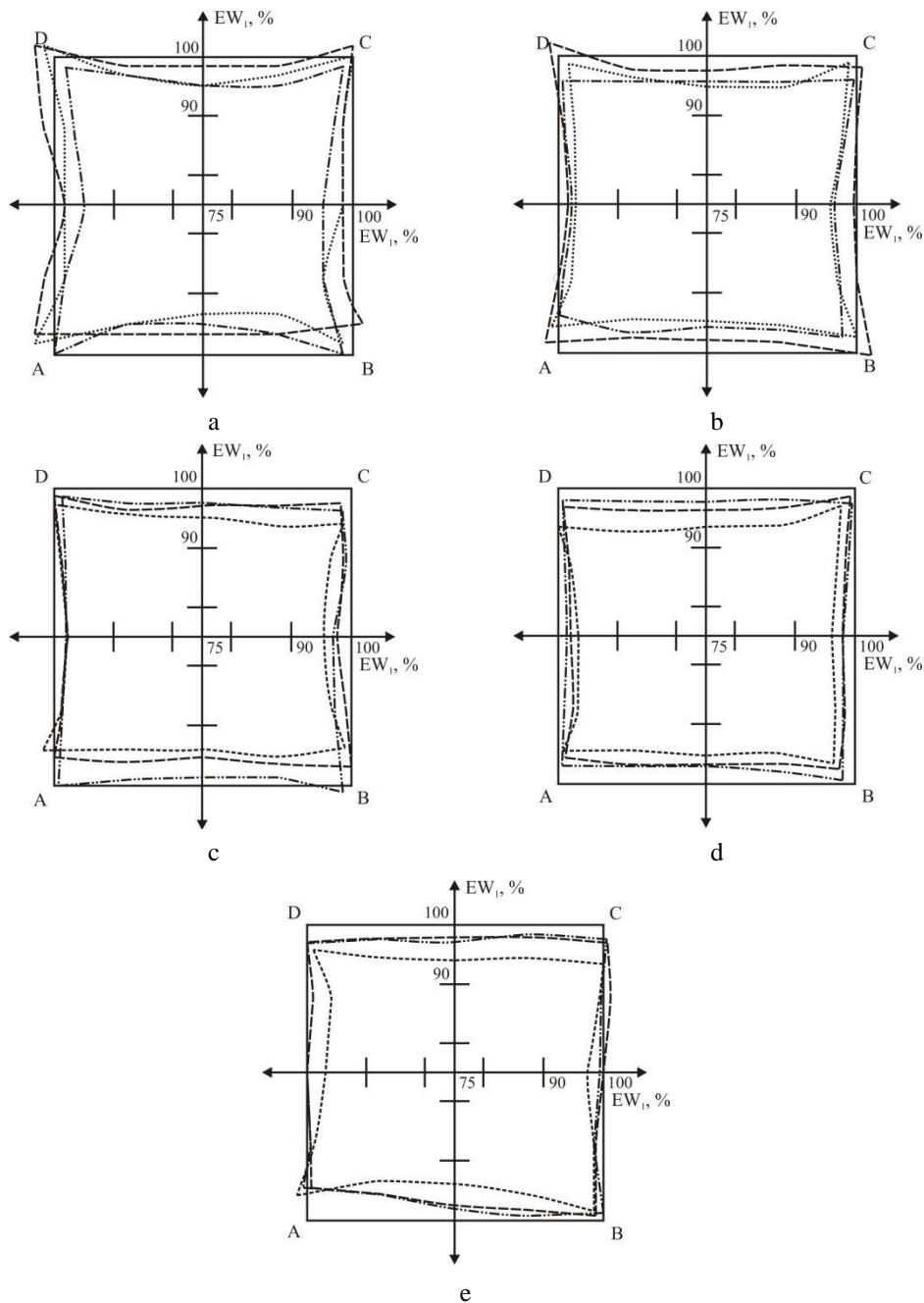
Siuvinėjimo metu dėl audinio metmenų ir ataudų siūlų ilginio tankio, tankumo, užpildymo rodiklių ir kt. (žr. 2.1 lent.) charakteristikų skirtumų pluoštai deformuojami skirtingai (Radavičienė ir kt., 2012; Strazdienė ir kt., 2007). Mokslininkai teigia, kad kuo daugiau siūlų sistemoje yra ryšio laukų, tuo mažiau laisvųjų laukų, tuo mažesnės galimybės išnykti oro tarpams, tuo rišliau jie vienas prie kito glunda. Pasibaigus siuvinėjimo procesui siuvinėta sistema relaksuoja, t. y. vyksta polimeriniams kūnams būdinga elastinė deformacija, sudaryti dygsniai traukiasi. Todėl išsiuvinėto elemento geometriniais parametrams stiprią įtaką turi skirtingas audinio tankumas metmenų ir ataudų siūlų kryptimi (žr. 2.1 lent.). Audinio A2 metmenų (45 cm^{-1}) tankumas didesnis $\sim 35\%$ už ataudų (29 cm^{-1}). Tyrime daugiausia gauta, kad siuvinėto elemento ilgis, siuvinėjant užpildymo tipu T , metmenų kryptimi yra daug artimesnis suprojektuotam ilgiui nei ataudų kryptimi (žr. 3.3 pav.). Todėl, norint siuvinėtą elementą gauti artimą suprojektuotam elementui, reikia pasirinkti tinkamą užpildymo tipą. Tirtuoju atveju, atsižvelgiant į gautus tyrimo rezultatus, užpildymo tipas T yra tinkamesnis naudoti.

Kai kurių mokslininkų tyrimuose nustatyta, kad audinio sandaros ypatumai ir dygsnių sudarymo skirtumai turi įtakos siuvinėtų elementų kokybei. Siuvinėjimo proceso metu formuojant dygsnius audinys yra sutraukiamas siuvinėjimo kryptimi. Naudojant T užpildymo tipą ir esant didesniai dygsnių siūlų skaičiui, audinio siūlai mažiau suglunda statmenai siuvinėjimo kryptčiai, dėl to jų siūlai plečiasi (Briedis, Baltina, 2014; Maleszka, Kabacik, 2010; Radavičienė ir kt., 2012; Schacher, Adolphe, 2012). Tyrimo rezultatai rodo, kad, tyrinėjant technologinių veiksnių įtaką siuvinėto elemento kokybei, svarbu įvertinti naudojamų audinių ir siūlų charakteristikas bei kitus technologinius veiksnius.

Iš atliktos analizės matyti, kad ryškios siuvinėto elemento ilgio EL priklausomybės nuo siuvinėjimo proceso greičio nėra. Dažniausiai siuvinėtų elementų ilgiai EL nustatyti artimiausi suprojektuotiems, kai užpildymo tipu T siuvinėti elementai yra atliekami ant tankiausio audinio A2. Nustatyta, kad, didėjant siuvinėjimo greičiui V , siuvinėto elemento plotis EJ irgi didėja, priklausomai nuo audinių fizikinių savybių. Gauta, kad audinio A2 paviršinis tankis, (g/m^2) $\sim 12,5\%$ ir tankumas (cm^{-1}) $\sim 14\%$ didesnis nei kitų tirtųjų audinių. Elementų, atliktų ant A2, audinio ilgis EL ir plotis EJ yra artimiausi projektuotam dydžiui. Tyrimas parodė, kad, atliekant siuvinėjimo procesus, svarbu įvertinti siuvinėjimo kryptį, naudojamų audinių ir siūlų charakteristikas bei būtina tinkamai parinkti proceso technologinius parametrus.

3.2 Kvadrato formos siuvinėtų elementų skirtingų kontūro pločių atitikimo suprojektuotiems elementams analizė

Analizuojant siuvinėto elemento kontūro plotį EW ir lyginant jį su suprojektuoto elemento geometriniais parametrais nustatyta, kad kontūro plotis EW metmenų ir ataudų kryptimis neatitinka suprojektuoto. Tiriant uždaro mažiausio kontūro pločio (6 mm) siuvinėtus elementus, atliktus ant drobinio pynimo audinio A1 nustatyta, kad siuvinėto elemento kontūro plotis EW metmenų kryptimi $\sim 1\%$ ir ataudų kryptimi $\sim 3,2\%$ gautas mažesnis nei yra suprojektuotas (žr. 3.5 pav., a). Tirtuoju atveju gauta, kad audinio A1 metmenų krypties atkarpoje BC , ties kampais elemento plotis $EW \sim 1,7\%$ mažesnis už projektuotą, kitose matuojamose vietose pločio EW skirtumas iki $\sim 2,8\%$. O atkarpoje DA elemento kontūro plotis EW ties kampais gautas didesnis nuo $\sim 1,3\%$ iki $\sim 1,7\%$ nei projektuotas plotis. Atkarpos DA kitose vietose pločio EW vidurkis mažesnis $\sim 1,7\%$ už projektuotą plotį (žr. 3.5 pav., a). Deformuojamų tekstilės sistemų formų ir matmenų kitimo intensyvumo dydis priklauso nuo veikiančios jėgos dydžio, laiko ir kt. Tekstilės sistema palaiko jiems būdingą formą dėl savitarpio jėgų, veikiančių tarp jo sandaros elementų. Sistemą paveikus išorinėmis jėgomis, ji deformuojasi, t. y. jos sandaros elementų sąveika sutrinka, atsiranda papildomų, besipriešinančių deformacijos vidinių jėgų (Kuo, Juang, 2016; Milašius, 2000). Tirtuoju atveju vertinant viso proceso trukmę galutinėje DA , uždaro kvadrato formos kontūro atkarpoje adatos sudarytas dygsnių nueitas kelias nuo pradinio atskaitos proceso pradžios taško A ilgiausias, dėl to siuvinėtoje sistemoje susidaro skirtingos gniuždymo, tempimo, pasipriešinimo jėgos ir tai turi įtakos audinio sandaros pluoštų persistūmimo vienas kito atžvilgiu pokyčiams.



3.5 pav. Siuvinėto elemento kontūro plotis EW (%), kai suprojektuoto elemento kontūro plotis: a – 6 mm, b – 10 mm, c – 14 mm, d – 18 mm, e – 22 mm, čia — – suprojektuoto elemento kontūro plotis EW_1 (%), siuvinėto elemento kontūro plotis EW (%) atliktas ant:
 ----- – audinio A1, ---- – audinio A2, -·-·-·- – audinio A3

Elementų, atliktų ant audinio A1 ataudų krypties kontūro pločio, EW vidurkis atkarpoje AB ~ 4,3 % ir atkarpoje CD ~ 5 % nustatytas mažesnis nei suprojektuotas

plotis (žr. 3.5 pav., a). Kai elemento kontūro plotis yra 10 mm, siuvinėto elemento kontūro pločio neatitikimas nuo suprojektuoto elemento metmenų kryptimi ~ 2 % ir ataudų kryptimi ~ 4,2 % mažesnis (žr. 3.5 pav., b). Nustatyta, kad uždaro kontūro 14 mm ir 18 mm pločio siuvinėtų elementų, atliktų ant drobinio pynimo audinio A1, elementų kontūro plotis metmenų kryptimi nuo ~ 1,6 % iki ~ 2,6 % ir ataudų kryptimi ~ 5,4 % gautas mažesnis už suprojektuotą kontūro plotį (žr. 3.5 pav., c, d).

Audinio A1 tiksliausias siuvinėto elemento kontūro plotis (~ 2,1 % mažesnis už suprojektuotą plotį) gautas siuvinėjant mažiausiu 6 mm pločiu (žr. 3.5 pav., a). Siuvinėjant didesnio kontūro pločio siuvinėtą elementą, sistemos yra veikiamos mechaniškai ilgiau nei siuvinėjant mažesni, todėl audinio sandaros pasikeitimas didėja. Tirtuoju atveju siuvinėtas mažiausio 6 mm kontūro pločio elementas gautas artimesnis suprojektuotam elementui nei didesnio kontūro pločio siuvinėti elementai.

Atlikta rezultatų analizė parodė, jog ant ruoželinio pynimo audinio A2 siuvinėtų elementų pločiai, lyginant juos su projektuotu, daugiausia gauti artimesni projektuotam dydžiui metmenų kryptimi nei ataudų (žr. 3.5 pav.). Siuvinėto elemento 6 mm kontūro plotis metmenų krypties atkarpoje *BC* yra nevienodas, ties kampais gautas didesnis už suprojektuotą dydį ~ 1,6 %, kituose matuojamose vietuose gautas ~ 1,7 % mažesnis už projektuotą kontūro plotį. Kitoje metmenų krypties atkarpoje *DA* daugiausia audinio A2 siuvinėto elemento kontūro plotis *EW* nustatytas ~ 3,3 % didesnis nei suprojektuotas plotis, ataudų kryptimi abiejose *AB* ir *CD* atkarpose daugiausia kontūro plotis *EW* gautas iki ~ 2 % mažesnis nei suprojektuotas (žr. 3.5 pav., a).

Palyginus abiejų krypčių 10 mm siuvinėto elemento kontūro plotį *EW* tarpusavyje nustatyta, kad dažniausiai metmenų kryptimi plotis *EW* gautas artimesnis projektuotam (žr. 3.5 pav., b). Tyrimo rezultatai parodė, kad audinio A2, kurio paviršinis tankis iš tirtųjų audinių didžiausias (žr. 2.1 lent.), siuvinėtų platesnių elementų kontūrų pločiai *EW* metmenų kryptimi gauti artimesni projektuotam nei ataudų kryptimi. Gauta, kad didžiausio 22 mm kontūro pločio elementuose nustatytas audinio siūlų praslydimas kitos siūlų kontaktuojamos sistemos atžvilgiu.

Palyginus audinio A2 visus uždaros kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūrų pločius *EW* su projektuotu ir skirtingais kontūro pločiais matyti, kad tiksliausias siuvinėto elemento kontūro plotis *EW*, atitinkantis suprojektuotą plotį, gautas 6 mm ir 10 mm kontūro pločio bandinių metmenų krypties atkarpose (žr. 3.5 pav.).

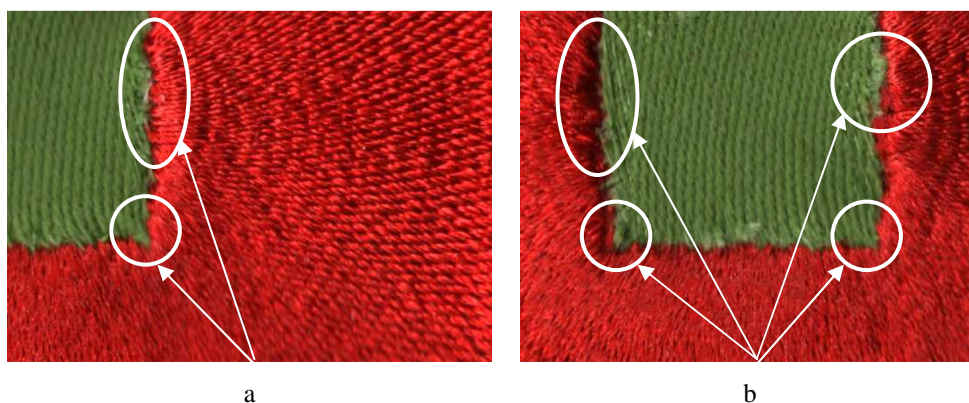
Atlikus tyrimą nustatyta, kad ruoželinio pynimo audinio A3 siuvinėto elemento kontūro plotis metmenų kryptimi gautas artimesnis projektuotam nei ataudų kryptimi (žr. 3.5 pav.). Audinio A3 siuvinėtų elementų mažiausio kontūro plotis *EW* metmenų krypties atkarpoje *BC* gautas ~ 3,3 % mažesnis kaip suprojektuotas plotis, kitoje tos pačios krypties atkarpoje *DA* plotis mažesnis ~ 1,7 % (žr. 3.5 pav., a). Tiriant audinio A3 išsiuvinėtų elementų metmenų krypties pločius nustatyta, kad pločio *EW* vidutinė vertė mažesnė iki ~ 1,7 % už suprojektuotą.

Palyginus visų tirtųjų audinių metmenų ir ataudų krypties siuvinėtų elementų kontūrų pločius *EW* tarpusavyje ir su projektuotu nustatyta, kad artimiausi

projektuotam dydžiui yra ruoželinio pynimo audinio A2 siuvinėti elementai (plotis *EW* nuo ~ 0,1 % iki ~ 3,4 % gautas mažesnis už projektuotą) (žr. 3.5 pav.). Šio audinio abiejomis siūlų kryptimis tankumas ir užpildymo rodikliai iš tirtųjų audinių didžiausi (žr. 2.1 lent.). Dėl mechaninių poveikių tekstilės medžiaga išsiuvinėto elemento viduje yra gniuždoma ir klupdoma. Siuvinėtų sistemų deformacijos pobūdžiui ir dydžiui įtakos turi audinių sandara (Chernenko, 2006; Radavičienė, Jucienė, 2010; Kuo, Juang, 2015). Audinių charakteristikos yra skirtingos dėl nevienodo siūlų tankumo, ilginio tankio ir kt. (žr. 2.1 lent.). Siuvinėjimo metu elementai, atlikti ant didesnio tankumo audinio A2, geriau atlaiko apkrovas nei kitų audinių elementai, o jų kontūro plotis gautas artimesnis projektuotam (žr. 3.5 pav.).

Lyginant 22 mm siuvinėtų elementų kontūro plotį su projektuotu nustatyta, kad jis yra metmenų kryptimi ~ 1,4 % ir ataudų kryptimi ~ 5,1 % mažesnis už projektuoto kontūro dydį (žr. 3.5 pav., e).

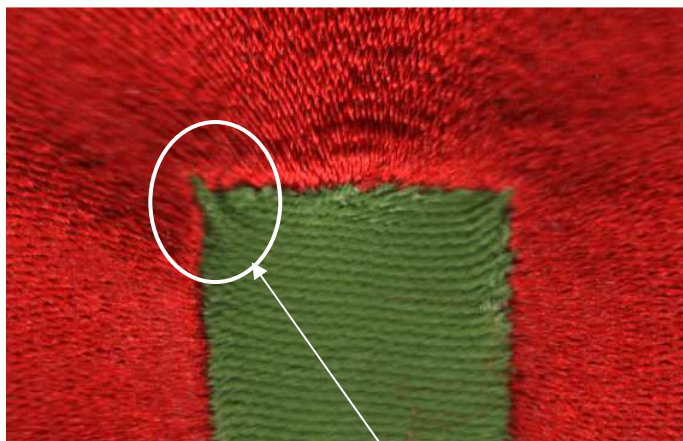
Analizuojant plačiausių 22 mm išsiuvinėtų bandinių kontūro plotį pastebėtas audinio siūlų slydimo siūlėje defektas (žr. 3.6 pav.). Siūlinių sujungimų slydimui siūlėje įtakos turi audinio charakteristikos ir siuvinėjimo proceso technologiniai parametrai. Tyrimais nustatyta, kad pradūrimo metu adata suspaudžia, sugniuždo tekstilės medžiagą, paskui išsiskverbia gilyn, suardo jos struktūrą, perstumia jos pluoštus (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2011; Gurarda, Meric, 2007; Rudolf, ir kt., 2007; Rudolf, Geršak, 2007). Kai sudaromos ilgesnės dygsnių eilės, siūlų praslydimas suaktyvėja dėl didesnio dygsnių skaičiaus esančio vienoje eilėje (Radavičienė ir Jucienė, 2010; Radavičienė ir kt., 2012). Tai paaiškina aptiktus siūlės praslydimo defektus, kurie gauti atliekant plačiausius uždaro 22 mm kontūro siuvinėtus elementus, kurių sudaromų dygsnių eilės ilgesnės nei kitų tirtų siuvinėtų elementų pločių (žr. 3.6 pav.).



3.6 pav. Kvadrato formos siuvinėtų audinio A2 elementų defektai: a – audinio siūlų slydimas elemento kontūro krašte; b – defektai kampuose

Tyrimė pastebėta, kad siuvinėto elemento kampuose susidaro audinio klostelė, kuri nėra padengiama siuvinėjimo siūlais (žr. 3.7 pav.). Tyrimais nustatyta, kad tekstilės medžiagos gniuždant ir veikiant mažomis išilginėmis jėgomis, jos suklumpa. Klupdymo metu, dėl skersinio gniuždymo jėgų, jos praranda plokščią formą, suformuoja apvalią bangą, kurios forma kinta, didėjant gniuždymo

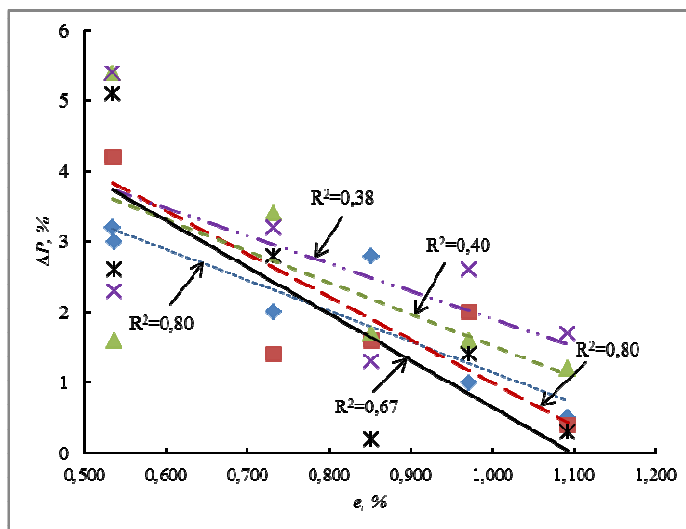
deformacijai (Bekampienė, Domskienė, 2010; Bekampienė, Domskienė, 2009; Domskienė, Strazdienė ir Dapkūnienė, 2002; Gholmy ir kt., 2010; Hosseinali, 2012). Proceso metu sudarant dygsnius kryptimi, kuri nesutampa su jų judėjimo trajektorija, audinio siūlai dėl gniuždymo ir tempimo jėgų pirmiausiai persislenka vienas kito atžvilgiu dėl šlyties reiškinio. Vykstant tokiems reiškiniams pakinta kampai tarp metmenų ir ataudų siūlų, vėliau pasireiškia pačių audinių siūlų tįsimas. Dėl to, susidariusį klostelės defektą ir dygsnių trūkumą kampuose, siuvinėtą elementą galima būtų apibūdinti kaip klupdymo reiškinio efektą, kuris turi įtakos proceso metu šalia defekto susidarantių tempimo įtempių koncentracijai (Chernenko, 2006; Radavičienė ir kt., 2014; Shih ir kt., 2016).



3.7 pav. Kvadrato formos siuvinėtų audinio A2 elementų klostelės defektas kampe

Nagrinėjant uždaro kvadrato formos siuvinėto elemento kontūro pločių pokyčius nustatyta atvirkštinė tiesinė priklausomybė tarp audinio užpildymo rodiklių ir kontūro pločio EW pokyčio ΔP (%) rodo, kad audinio sandaros charakteristikos turi įtakos uždaro kontūro siuvinėto elemento kokybei. Tyrime gauta vidutinė ir stipri tiesinės atvirkštinės priklausomybės (žr. 3.8 pav.).

Stipriausia tiesinė priklausomybė tarp audinio užpildymo rodiklių ir siuvinėto elemento kontūro pločio EW pokyčio ΔP nustatyta 6 mm, 10 mm ir 22 mm kontūro pločio EW elementuose (žr. 3.8 pav.). Analizuojant priklausomybes pastebėta, kad bendrinant artimiausi projektuotam dydžiui yra audinio A2 siuvinėtų elementų kontūrai. Audinio A2 užpildymo rodikliai metmenų kryptimi iki ~ 28 % ir ataudų kryptimi iki ~ 37 % didesni nei kitų tirtųjų audinių (žr. 2.1 lent.). Dėl audinio siūlų galimybės slysti vienas kitu atžvilgiu, jie pasižymi plastiškumu. Jų tiesiniai užpildymo rodikliai išreiškia audinio siūlo ploto mažiausiame elemente santykį su viso elemento plotu ir dėl to turi didelę įtaką audinio siūlų deformacijoms. Užpildymo rodikliai nepriklauso nuo audinio pynimo rūšies ir raporto dydžio, nes juos riboja vienodos gretimų metmenų ir ataudų siūlų pusės. Audiniams, turintiems didesnes tiesinių užpildymo rodiklių vertes, būdingos mažesnės deformacijos (Radavičienė, Jucienė, 2010; Dargiene, Domskiene ir Gulbinienė, 2013).



3.8 pav. Siuvinėto elemento kontūro pločio pokyčio ΔP (%) priklausomybė nuo audinio užpildymo rodiklių e (%), kai siuvinėto elemento kontūro plotis EW : \blacklozenge – 6 mm; \blacksquare – 10 mm; \blacktriangle – 14 mm; \blackcross – 18 mm; \blackstar – 22 mm

Tyrimu nustatyta, kad dažnai uždaro kvadrato formos siuvinėto elemento kontūro plotis EW artimesnis projektuotam dydžiui metmenų kryptimi. Tirtu atveju metmenų krypties audinių tiesiniai e_1 užpildymo rodikliai didesni: nuo ~ 33 % iki ~ 45 % už ataudų siūlų krypties e_2 tiesinius užpildymo rodiklius. Audinio A2 užpildymo rodiklis e_s nustatytas nuo ~ 1,4 % iki ~ 6,9 % didesnis nei kitų tirtųjų audinių (žr. 2.1 lent.). Dėl to, atsižvelgiant į tiriamųjų audinių charakteristikas ir įvertinus rezultatus galima teigti, kad užpildymo rodiklių įtaka siuvinėto elemento kontūro pločiui yra žymi (žr. 3.8 pav.).

Analizuojant gautus tyrimo rezultatus pastebėta, kad ties kampais kontūro plotis EW dažnai platesnis nei siuvinėto elemento atkarpų centruose (žr. 3.5 pav.). Tai galima paaiškinti užpildymo tipo ypatumais ir dygsnių išsidėstymo kryptimi audinio siūlų sistemos atžvilgiu. Atliekant uždaro kvadrato formos kontūro siuvinėtus elementus, sudaromų dygsnių kryptis audinio siūlų sistemos atžvilgiu išsidėsto nevienodai. Dygsnių kryptis uždaro kvadrato formos kontūro siuvinėto elemento atkarpose, siūlų sistemos atžvilgiu, eina statmenai siūlų sistemai ir dėl to pluoštai mechaninio poveikio metu vienas kitą spausdami suglunda ir deformuojasi. Kampuose dygsnių kryptis yra įstriža audinio siūlų sistemos atžvilgiu. Įstriža kryptimi audinys tįsta labiau negu metmenų ir ataudų, įvesti papildomi siuvinėjimo siūlai praplečia audinį dar labiau. Taip pat ties kampais siuvinėto kontūro elemente dygsnių eilių ilgis yra didesnis nei kvadrato kraštinėse. Pavyzdžiui, tirtu atveju uždaro kvadrato formos siuvinėto elemento 6 mm pločio kontūro kraštinėje sudarant vieną dygsnių eilę adata praduria audinį ~ 15 kartų, o sudarant dygsnių eiles ties kampais ~ 22 kartus, t. y. adata praduria audinį kontūro kampuose iki ~ 47 % daugiau nei kontūro kraštinėse. Dėl didesnio adatos dūrių ir siuvinėjimo siūlų įterpimo į siuvinėtą elementą skaičiaus, siuvinėtų elementų sistemų siūlai yra

daugiau išplečiami ir mažiau glunda vieni šalia kitų, todėl uždaro kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro plotis kampuose dažniausiai gaunamas didesnis nei kitose kontūro vietose. Tyrimais taip pat nustatyta, kad po mechaninio poveikio, kai išorinės jėgos pluoštų neveikia, jų savybės ir parametrai dažnai būna pakitę negrįžtamai (Bertsche, 2008; Chernenko, 2006; Fraser, 2009; Kuo, Juang, 2015).

Taigi, atlikti tyrimai rodo, kad kvadrato formos siuvinėtų elementų penkių kontūro plokčių pokyčių analizė leidžia apibūdinti skirtingų geometrinių parametru siuvinėto elemento atitikimą suprojektuotam dydžiui ir, vertinant atskirai bei kartu, abiejų audinio siūlų sistemų kryptių atžvilgiu. Todėl, kuriant tekstilinius produktus su integruotomis siuvinėtomis sistemomis, kuriose tikslumas yra būtinybė, o analizuojant siuvinėtų elementų defektus, atlikti tyrimai yra itin svarbūs ir naudingi.

Tyrimais nustatyta, kad tirtų audinių siuvinėtų elementų penki kontūrų pločiai EW , lyginant su projektuotu pločiu, nėra vienodi ir priklauso nuo užpildymo tipo technologinių ypatumų, audinio sandaros rodiklių ir siuvinėto elemento dygsnių krypties audinio atžvilgiu. Nustatyta, kad elementai artimesni projektuotam dydžiui esant audinio didesniai užpildymo rodikliui, t. y. elemento kontūro pločio pokytis ΔP didėja, mažėjant užpildymo rodiklių vertėms. Nustatyta, kad daugelyje siuvinėtų elementų kontūrų pločiai EW gauti mažesni nei projektuotas dydis ir metmenų kryptimi jų plotis EW nustatytas artimesnis suprojektuotam nei ataudų kryptimi. Analizė parodė, kad siuvinėjimo proceso technologiniai parametrai ir audinių struktūros savybės sąlygoja siuvinėtų elementų sistemų reakciją į išorinį poveikį ir tikslumą.

3.3 Kvadrato formos siuvinėtų elementų kontūro pločio tyrimo metodo neapibrėžties vertinimas

Remiantis sudaryta tyrimo metodika tyrime taikytas *Monte Karlo* modeliavimo metodas, kuriame atskirų dedamųjų neapibrėžtys turi įtakos suminei neapibrėžčiai (žr. 2.2.3.2 skyrius). Manoma, kad naudojamos priemonės yra nepriklausomos nuo bandinio padėties ir standartinio pločio erdvėje.

Bendras tiriamojo bandinio pločio nuokrypis nuo suprojektuoto bandinio yra:

$$\Delta l = ((\bar{l}_{w1} + \bar{l}_{w2}) / 2) - l_s + \Delta l_{ic} + \Delta l_{dp} + \Delta l_{SP}; \quad (2)$$

čia: Δl – elemento kontūro pločio pokytis (skirtumas tarp bandinio pločio ir projektuoto pločio);

l_s – suprojektuotas kontūro plotis (nominalios vertės 6, 10, 14, 18 ir 22 mm suprojektuoto kontūro), t. y. standartinio skaitmeninio uždarojo ciklo plotis;

Δl_{SP} – bandinių paruošimo proceso įtaka;

Δl_{ic} – skaitmeninio vaizdo kalibravimo įtaka;

Δl_{dp} – duomenų iškraipymo įtaka.

$$\bar{l}_m = \frac{\bar{l}_{w1} + \bar{l}_{w2}}{2}; \quad (3)$$

čia: \bar{l}_m – išmatuotas bandinio plotis, praktiškai tai yra kontūro pločio matavimų vidurio ir metmenų bei ataudų kryptčių vidurkis.

Standartinio pločio standartinis neapibrėžtumas gali būti apskaičiuotas:

$$u(l_s) = \frac{U}{2} \cdot l_s; \quad (4)$$

čia: U_{sl} – etaloninės liniuotės išplėstinė kalibravimo neapibrėžtis yra apskaičiuojama taikant aprėpties koeficientą $k=2$.

Numatoma standartinė neapibrėžtis yra 0,075 mm. Tyrime laikoma, kad standartinio pločio neapibrėžtumas kontūro pločio nominalioms vertėms yra lygus. Dėl šios priežasties mažesnio kontūro pločio neapibrėžtumas nežymiai padidėja.

Analizės metu buvo išskirta bandymo zona 60×60 mm. Sub-pikselių srities analizei atlikti buvo pasirinktas *Gauso* trijų taškų metodas. Atstumas tarp taškų yra $l = l_\varepsilon \cdot \alpha_m$, čia: α_m – didinimo koeficientas, reikalingas skaitmeniniams vienetams perskaičiuoti į tikruosius dydžius, lygus 0,042mm/pix, o $l_s=1417$ pix, kai suprojektuotas elemento kontūro plotis $l_s=60$ mm. Sub-pikselių analizė suteikia ne daugiau kaip 0,2 pikselių standartinę neapibrėžtį (Meškuotienė, Dargienė, Domskienė, 2015). Jautrumo koeficientas yra lygus $\partial l / \partial l_s = \alpha_m = 0,042 [mm/pixel]$ Iškraipymų korekcija, kurią sukelia duomenų apdorojimas, 1 lygtyje laikoma lygi 0, o neapibrėžties dedamųjų (Δl_{dp}) lygi 0,01 mm.

Daroma prielaida, kad didinimo koeficiento nustatymo klaida lygi reikšmingų skaitmenų pusės reikšmei $\Delta \alpha_m = 0,0005$ mm / pikselis (žr. 2.2.3.2 skyrius, 4 formulė).

Jautrumo koeficientas priklauso nuo matuojamo pločio ir yra lygus $\partial l / \partial \alpha = l_\varepsilon$. Kontūro nominalioms pločio vertėms 6, 10, 14, 18 ir 22 mm atitinkamai

standartinis plotis yra 142, 236, 331, 425, 520 pix. Laikoma, kad dydis $\frac{\partial l}{\partial \alpha} \cdot u(\alpha_m)$

yra skaitmeninio vaizdo kalibravimo neapibrėžtumas ir suminės standartinės neapibrėžties dalis.

Tyrimuose bandinių paruošimas tiesiogiai turi įtakos kontūro deformacijai. Analizėje visa tai laikoma sistemingosiomis paklaidomis. Sistemingųjų paklaidų dydį atspindi matuojamo pločio nuokrypis, tiksliau nuokrypio vidurkis nuo suprojektuoto elemento kontūro pločio. Analizuojant konkretaus audinio ir pynimo bandinį bei atliekant matavimus metmenų ir ataudų kryptimis, bandinio paruošimo dedamoji neįtraukiama į suminę standartinę neapibrėžtį. Laikoma, kad būtent audinių pynimas ir siuvinėjimo proceso eiga nulemia skirtingus matavimo rezultatus metmenų ir ataudų kryptimis, todėl atskirai ji nėra vertinama. Į tai atsižvelgiama aptariant taikomo metodo patikimumą.

Analizuojant metodo patikimumą ir audinio pynimo poveikį buvo paimti trijų skirtingų pynimų bandiniai, pasižymintys skirtingu tankumu, paviršiniu tankiu (žr. 2.1 lent.). Išmatavus skirtingo pynimo vieno kontūro pločio bandinius, apskaičiuojamas maksimalaus ir minimalaus matmens skirtumas (verčių sklaida), kuris gali būti panaudotas neapibrėžties dedamosios, sąlygojamos audinio pynimo,

skaičiavimams. Bandinio paruošimo neapibrėžties dedamoji, atsirandanti dėl skirtingų audinių pynimo apskaičiuojama:

$$u(\Delta l_{SP}) = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{\sqrt{12}} . \quad (5)$$

5 formulei paaiškinimas: jei gali būti įvertintos tik viršutinė ir apatinė a_+ ir a_- , dydžio X_i ribos (prietaiso gamintojo techniniai dokumentai, temperatūrų intervalas), šiam intervalui rekomenduotinas vienodų tikimybių pasiskirstymas ū stačiakampis X_i , sklaidos dėsnis.

$$x_i = \frac{1}{2}(a_+) + a_-; \quad (5.1)$$

$$\sigma_B^2(x_i) = \frac{1}{12}(a_+ - a_-)^2; \quad (5.2)$$

Jei skirtumas tarp ribinių reikšmių lygus $2a$, pastaroji išraiška yra:

$$\sigma_B^2(x_i) = \frac{1}{3}a^2. \quad (5.3)$$

Tyrime gauta, kad vidutiniškai skirtingo pynimo bandinių ir kontūro pločio išmatuotų verčių sklaida lygi 3,5 % ir absoliutiniu dydžiu svyruoja nuo 0,2 mm iki 0,8 mm priklausomai nuo kontūro pločio (6–22 mm).

Tyrimų rezultatai parodė, kad kontūro plotis metmenų kryptimi dažniausiai gautas didesnis nei ataudų kryptimi (žr. 3.5 pav.) Kontūro matavimai atlikti atskiruose taškuose naudojant tą pačią atskaitos sistemą, todėl kontūro plotis metmenų ir ataudų kryptimis glaudžiai siejasi vienas su kitu, t. y. tarpusavyje koreliuoja. Todėl atskirų bandinių nominalaus kontūro pločio matavimo standartinė neapibrėžtis susideda iš trijų dedamųjų, kurių viena yra kontūro pločio įvertinimo skirtingomis kryptimis koreliacijos sandas. Įverčių l_{wa} ir l_{we} kovariacija duoda papildomą indėlį į pločio matavimo neapibrėžtį. Daugkartiniai vieno pločio kontūro bandinių matavimai leido apskaičiuoti vidurkio standartinius nuokrypius metmenų ir ataudų kryptimis, taip pat įvertinti šių dydžių koreliacijos koeficientą. Todėl suminė standartinė bandinio kontūro pločio įvertinimo neapibrėžtis apskaičiuojama taip:

$$u(l_m)_i = \sqrt{\sigma^2(\bar{l}_{w1})_i + \sigma^2(\bar{l}_{w2})_i + 2\sigma(\bar{l}_{w1})_i \cdot (\bar{l}_{w2})_i r(\bar{l}_{w1}, \bar{l}_{w2})_i}. \quad (6)$$

Čia:

$\delta^2(l_{w1})_i$ – kontūro pločio įvertinimo metmenų kryptimi dispersija;

$\delta^2(l_{w2})_i$ – kontūro pločio įvertinimo ataudų kryptimi dispersija;

$2\delta^2(l_{w1})_i$ – kontūro pločio vidurkio matavimo metmenų kryptimi standartinė neapibrėžtis;

$(l_{w2})_i$ – kontūro pločio vidurkio matavimo ataudų kryptimi standartinė neapibrėžtis;

$(l_{w1}, l_{w2})_i$ – koreliacijos koeficientas, įvertinantis dydžių l_{w1} ir l_{w2} vidurkių ryšį.

Tyrimo metu apskaičiuotos vidutinės kontūro pločio matavimo paklaidos vertės ir nukrypimai nuo vidutinės vertės atskiriems taškams, atitinkantiems nominalius kontūro pločius. Kalbant apie metodo patikimumą akcentuotina tai, kad visame ilgio intervale maksimalus nuokrypis nuo vidutinės kontūro pločio paklaidos vienam taškui yra įtraukiamas į bendrą neapibrėžtį (Regional Programme on Quality Assurance, PRAQ III, 1997).

Standartinis neapibrėžtumas susijęs su kontūro pločio diapazono paklaida apskaičiuojamas:

$$u(\Delta l_{\max}) = \frac{\Delta l_{\max}}{3}. \quad (7)$$

Kiekviena standartinė neapibrėžtis, apimanti bendrą standartinę neapibrėžtį, apskaičiuojama kaip:

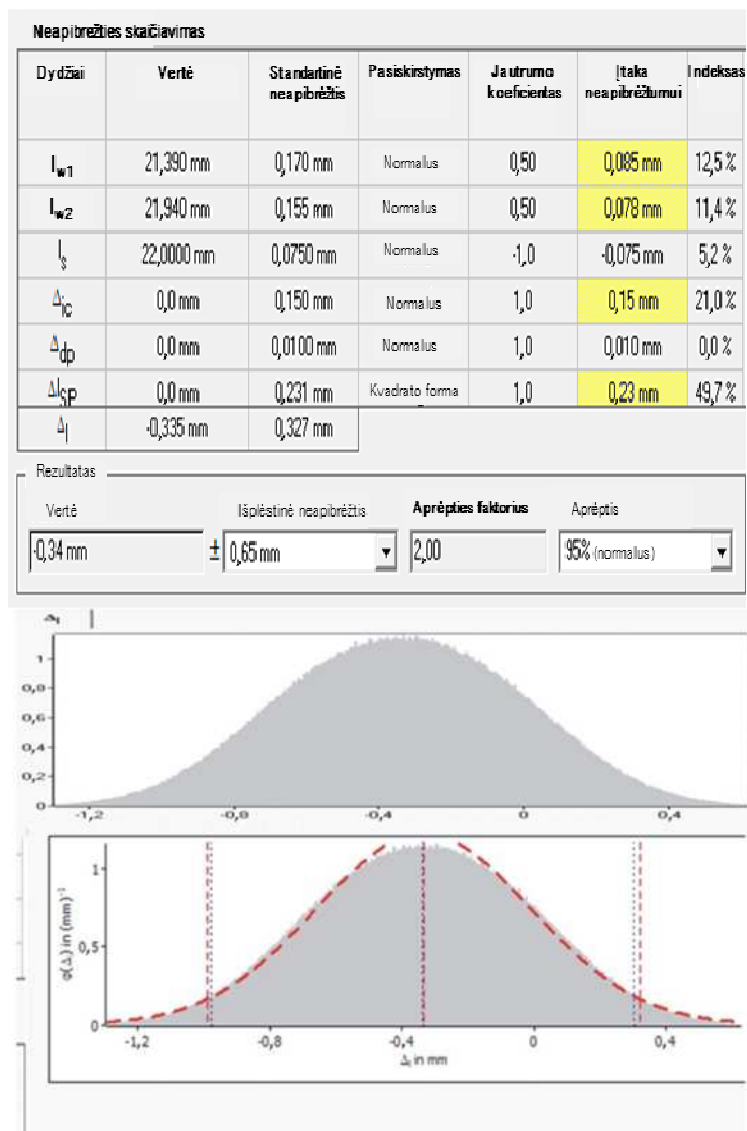
$$u_i(y) \equiv |W_i|u(x_i); \quad (8)$$

čia W_i – absoliutus jautrumo koeficientas.

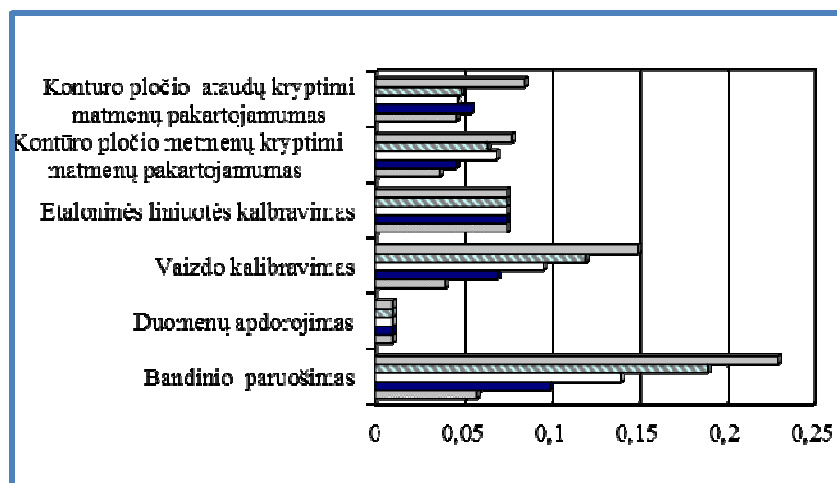
Visi neapibrėžtumo komponentai buvo įtraukti į apskaičiuotą standartinę neapibrėžtį $u_c(\Delta l)$, kurios skaičiavimai remiasi bendrosiomis neapibrėžties skaičiavimo nuostatomis (Evaluation of measurement data, 2008). Visos suminės neapibrėžties dedamosios buvo apdorotos ir išnagrinėtos naudojant GUM *Workbench*, 2.4.1.384 versiją. Kiekvieno kontūro pločio išplėstinė neapibrėžtis taip pat apskaičiuota naudojant *Monte Carlo* modeliacijos metodą.

Tyrimo apskaičiuotos suminės neapibrėžties kiekvienam kontūro pločiui atskirai ir visai tirtai pločio sričiai. 3.9 paveiksle pateikiami išplėstinės neapibrėžties skaičiavimo rezultatai 22 mm kontūrai. Apibendrinta suminių neapibrėžčių analizė pateikta 3.10 paveiksle.

Tyrimo nustatyta, kad visos nagrinėjamos dedamosios, išskyrus $u(\Delta l)_{dp}$, turi įtakos suminei standartinėi neapibrėžčiai. Nustatyta, kad dažniausiai dominuoja bandinio paruošimo dedamoji (ji vidutiniškai sudaro apie 40 % suminės standartinės neapibrėžties). Kontūro pločio matavimo metmenų ir ataudų kryptimis neapibrėžties dedamosios sudaro apie 25 % suminės standartinės neapibrėžties, o didėjant kontūro pločiui, mažėja.



3.9 pav. Siuvinėtų elementų kontūro pločio matavimo neapibrėžties skaičiavimas 22 mm kontūrai



3.10 pav. Neapibrėžties dedamųjų įtaka % suminei neapibrėžčiai, kai siuvinėto elemento

kontūro plotis: □ – 6 mm, ■ – 10 mm, □ – 14 mm, ▨ – 18 mm, ▩ – 22 mm

Nustatyta, kad didžiausią įtaką (apie 25 %) turi etalonišės liniuotės kalibravimo neapibrėžtis mažiems matmenims, o 22 mm kontūro pločiui ji sumažėja netgi iki 5 %. Tai gali būti aiškinama tuo, kad etalonišės liniuotės kalibravimo 15 mm taške rezultatas naudotas visų kontūro pločių neapibrėžčiai analizuoti. Visais atvejais skaitmeninio vaizdo kalibravimo dedamosios įtaka reikšminga ir kinta priklausomai nuo kontūro pločio (6–22 mm) atitinkamai nuo 9 % iki 21 %.

3.1 lentelė. Apskaičiuotos sisteminės klaidos ir išplėstos neapibrėžtys skirtingiems kontūro pločiams

Kontūro plotis, mm	Vidutinė sisteminės absoliučiosios paklaidos vertė, mm	Išplėstinio absoliutaus neapibrėžtumo vertė, ± mm	Sisteminės santykinės paklaidos vidurkis, – %	Išplėsto santykinio neapibrėžtumo vertė, ± %
6	– 0,06	0,26	1,0	4,33
10	– 0,07	0,35	0,7	3,5
14	– 0,16	0,44	1,14	3,14
18	– 0,44	0,52	2,44	2,89
22	– 0,34	0,65	1,55	2,95

Tyrime *Monte Carlo* modeliavimo metodu imituojant mažesnius kontūro pločius (6, 10 mm) gauti rezultatai atitiko apskaičiuotus rezultatus (žr. 3.5 pav.). Atliekant imitaciją didesniems kontūro pločiams gauta, kad išplėstinės neapibrėžties dedamoji sumažėjo 0,01 mm ir tai santykinei neapibrėžčiai įtakos neturi.

Tyrimas parodė, kad esant apibrėžtomis medžiagų charakteristikoms šiuo metodu, skirtu išsiuvinėto kontūro pločiui matuoti ribose nuo 6 iki 22mm, būdinga neigiama paklaida ~ 2,4 % su išplėstine neapibrėžtimi ~ 3,3 %. Gauta paklaida nėra

didelė, rezultatai yra patikimi. Kita vertus tai parodo, kad ypatingas dėmesys turi būti skiriamas bandinio paruošimui ir siuvinėto uždaro kontūro elemento pločio matavimui priklausomai nuo medžiagos siūlų orientacijos krypties. Nagrinėtos neapibrėžties dedamosios dominuoja ir vidutiniškai sudaro apie ~ 65 % bendro standartinio neapibrėžtumo. Pateiktas plataus matavimo metodo bendras standartinis neapibrėžtumas yra jautrus siuvinėtų elementų etapų atlikimui. Tai turi būti įvertinta atliekant siuvinėtų elementų tyrimus, kuriuose visi proceso etapai turi būti atliekami pagal griežtus kokybės reikalavimus.

3.4 Kvadrato formos siuvinėtų elementų išorinių ir vidinių kvadratų pločio tikslumo tyrimas

Įvairių šalių mokslininkai tiria ir analizuoja pilnai užpildytus siuvinėtus elementus ir jų formą (Chernenko, 2006; Daukantienė, Laurinavičiūtė, 2013; Kuo, Juang, 2016; Sofronova, Angelova, 2016). Tačiau ne mažiau svarbu analizuoti kaip vienas elementas yra sudarytas iš keleto kitų elementų ar kelių skirtingų spalvų, paskirties, funkcijų, tipų, siūlų ir kt. (Kuo, Juang, 2016, Radavičienė ir kt., 2014; Radavičienė, Jucienė, 2010; Shafi ir kt., 2012; Shih ir kt., 2016). Būtent dėl to tyrime buvo vertintas ne tik išorinis siuvinėto elemento atitikimas suprojektuotiems elementams, bet ir elemento vidinis plotis F_{Ic} (žr. 3.2 lent.).

Kvadrato vidinis parametro tikslumas yra itin svarbus, kai uždaro kontūro vidus kitame siuvinėjimo proceso etape turi būti visas arba jo dalis užpildoma siūlais. Tuo atveju, jei vidinė forma neatitinka suprojektuotos, pasireiškia ir išryškėja įvairūs siuvinėto elemento defektai, tokie kaip neužpildyti tarpai tarp elementų, skirtingų elementų ar skirtingų spalvų siūlų persidengimas ir pan. (Daukantienė, Laurinavičiūtė, 2013; Radavičienė ir kt., 2012). Dėl to analizuojamų parametrų atitikimas yra itin svarbus ir aktualus.

Tiriant kvadrato formos siuvinėtų elementų formos tikslumą buvo išanalizuoti siuvinėto elemento išorinis plotis F_c ir elemento vidinio plotis F_{Ic} . Suprojektuotų siuvinėtų skirtingų kontūro pločių elementų vidinių kvadratų pločio F_{Ic} (mm) duomenys ir atliktų išsiuvinėtų elementų pločio F_{Ic} tyrimo rezultatai pateikiami 3.2 lentelėje.

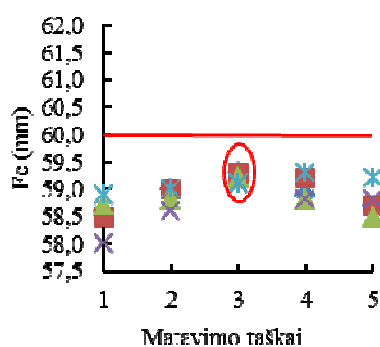
Tiriant siuvinėtus elementus, atliktus ant drobinio pynimo audinio A1 ir lyginant juos su projektuotu dydžiu nustatyta, kad uždaru penkių skirtingų kontūrų siuvinėtų elementų visas išorinis plotis F_c matuojamuose taškuose metmenų kryptimi nustatytas nuo 58 mm iki 59,3 mm. Šiuo atveju jis gautas nuo ~ 1,2 % iki ~ 3,3 % mažesnis už projektuotą (žr. 3.11 pav., a). Tyrimo rezultatai parodė, kad ataudų kryptimi viso elemento išorinis plotis F_c daugelyje matuojamų taškų vietų nustatytas nuo ~ 0,2 % iki ~ 3,3 % didesnis nei suprojektuotas (žr. 3.11 pav. b).

Rezultatai rodo, kad pagal vidurkį elemento, atlikto ant audinio A1, išorinis plotis F_c daugiausiai neatitinka audinio siūlų metmenų kryptimi. Lyginant audinio A1 viso siuvinėto elemento išorinį plotį F_c skirtingose matuojamose vietose ir su suprojektuotu nustatyta, kad išorinis plotis F_c matuojamose kampinėse vietose ir ties viduriu yra nevienodas (žr. 11 pav., a, b). Tirtuoju atveju gauta, kad audinio A1 metmenų kryptimi, matuojamose kraštinių vietose viso elemento išorinio pločio F_c ~ 3,3 % pokytis didesnis nei ties viduriu, kur išorinio pločio F_c pokytis ~ 1,2 %.

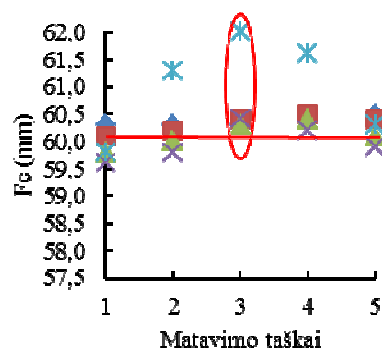
3.2 lentelė. Siuvinėtų elementų vidinio pločio F_{Ic} (mm) tyrimo rezultatai

Audiinio kodas	Suprojektuotas siuvinėto elemento uždaro kontūro plotis	Suprojektuotas siuvinėto elemento vidinis plotis F_{Ic} , mm	Atliktų siuvinėtų elementų vidinis plotis F_{Ic} , mm					
			Metmenų kryptis			Ataudų kryptis		
			Matavimas			Matavimas		
			B_1C_1	E_1F_1	A_1D_1	A_1B_1	G_1H_1	D_1C_1
A1	6	48	47,2±0,11	47,8±0,13	47,2±0,07	48,0±0,16	48,4±0,13	48,2±0,21
	10	40	39,4±0,20	39,9±0,21	39,7±0,21	39,8±0,21	40,6±0,12	40,1±0,15
	14	32	32,0±0,20	32,0±0,09	31,5±0,14	31,2±0,20	32,6±0,09	32,0±0,20
	18	24	23,2±0,09	23,8±0,15	24,3±0,15	23,9±0,20	24,9±0,15	24,2±0,20
	22	16	16,3±0,08	16,4±0,09	16,6±0,13	16,6±0,09	16,8±0,08	17,0±0,10
A2	6	48	47,4±0,13	47,7±0,19	47,0±0,14	47,7±0,14	47,8±0,13	47,8±0,13
	10	40	39,4±0,14	39,8±0,20	39,2±0,10	39,9±0,10	40,2±0,16	39,9±0,16
	14	32	31,6±0,19	31,9±0,17	31,5±0,20	32,0±0,18	32,5±0,13	32,1±0,20
	18	24	23,8±0,18	24,0±0,08	23,6±0,09	24,4±0,13	24,6±0,04	24,3±0,10
	22	16	16,0±0,18	16,4±0,14	17,2±0,11	16,6±0,16	17,0±0,12	16,5±0,10
A3	6	48	47,6±0,14	47,9±0,08	47,5±0,15	47,8±0,10	47,9±0,19	47,8±0,07
	10	40	39,4±0,19	39,8±0,13	39,9±0,16	40,1±0,15	40,4±0,15	40,2±0,13
	14	32	31,9±0,16	32,3±0,14	31,8±0,16	31,8±0,15	32,2±0,14	31,7±0,14
	18	24	24,0±0,09	24,5±0,13	24,2±0,13	23,8±0,18	24,4±0,13	23,5±0,11
	22	16	16,2±0,13	16,9±0,10	17,8±0,16	16,3±0,12	16,5±0,14	16,2±0,10

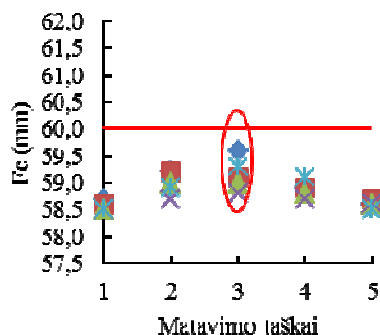
* – minimali vertė, – maksimali vertė



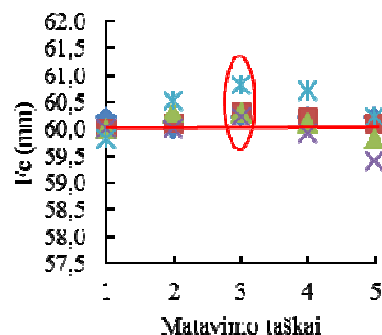
a



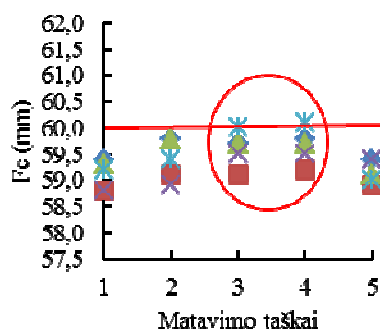
b



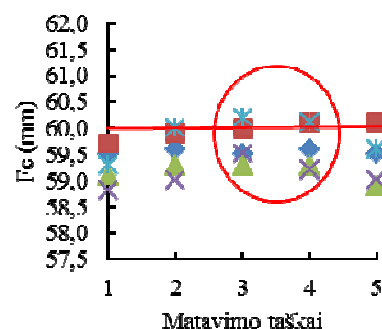
c



d



e



f

3.11 pav. Siuvinėtų elementų išorinis plotis F_c , kai suprojektuoto elemento kontūro plotis

◆ – 6 mm, ■ – 10 mm, ▲ – 14 mm, × – 18 mm, * – 22 mm: a – atliktas ant audinio A1 metmenų kryptimi, b – atliktas ant audinio A1 ataudų kryptimi, c – atliktas ant audinio A2 metmenų kryptimi, d – atliktas ant audinio A2 ataudų kryptimi, e – atliktas ant audinio A3 metmenų kryptimi, f – atliktas ant audinio A3 ataudų kryptimi

Tyrimu nustatyta, kad ataudų kryptimi viso elemento išorinis plotis F_c matuojamose kraštinėse vietose, atkarpoje AB (3.11 pav. b, matuojamų vietų taškai 1, 2) gautas artimesnis projektuotam dydžiui nei atkarpoje CD (3.11 pav. b, matuojamų vietų taškai 4, 5). Akcentuotina tai, kad viduriniuose matuojamuose taškuose elemento išorinis plotis F_c nustatytas nuo $\sim 0,5\%$ iki $\sim 3,4\%$ didesnis už suprojektuotą (3.11 pav. a, b, matuojamų vietų taškai 3).

Tam didelę įtaką turi siūlų sistemos poslinkiai ir jų tarpuose esantis laisvųjų laukų pasiskirstymas (ar audinio siūlų sanglaudų dydis, rišlumas) ir susidaręs kampų dydis tarp jų (Pavlinič, Geršak, 2007; Radavičienė, Jucienė, 2010; Rudolf, Geršak, 2007). Visų tekstilės audinių deformacinei elgsenai įtakos turi pynimas. Drobiniams pynimams būdinga tai, kad abiejose medžiagos pusėse siūlų perdangos išsidėsto vienodai, šachmatinės lentos tvarka, dėl to visos metmenų perdangos liečia vieną kitą kampais. Kai metmenų ir ataudų tankumas vienodi, tekstilės medžiagos paviršiaus išvaizda gali būti skirtinga dėl siūlų kitų charakteristikų skirtumų. Tirtuoju atveju A1 audinio tankumas abiejomis kryptimis vienodas, bet užpildymo rodikliai skiriasi (žr. 2.1 lent.). Todėl išorinio pločio F_c rezultatai yra metmenų ir ataudų kryptimis skirtingi (žr. 3.11 pav. a, b).

Analizuojant vidinio kvadrato formą gauta, kad dažniausiai siuvinėto elemento vidinė forma neatitinka projektuotos. Nustatyta, kad audinio A1 kvadrato vidinis plotis F_{ic} , lyginant jį su projektuotu, metmenų kryptimi ties kampais pakito daugiau nei ties viduriu (žr. 3.2 lent.). Audinio A1 siuvinėtų uždaro kvadrato formos 6 mm, 10 mm ir 18 mm pločio elementų, vertinant vidurkį, vidinis plotis F_{ic} metmenų kryptimi gautas mažesnis už projektuotą dydį nuo iki $\sim 1,3\%$ (žr. 3.2 lent.). Nustatyta, kad ataudų kryptimi plotis F_{ic} gautas artimesnis suprojektuotam dydžiui.

Tiriant plačiausio kontūro 22 mm audinio A1 elementų vidinį plotį F_{ic} abiejomis kryptimis nustatyta, kad visuose matuojamuose taškuose vidinis plotis F_{ic} gautas daugiausiai neatitinkantis projektuotą dydį. Šiuo atveju plotis F_{ic} gautas didesnis už projektuotą iki $\sim 6,5\%$ (žr. 3.2 lent.). Iš gautų rezultatų matyti, kad esant skirtingiems techninio proceso parametrams, siuvinėto elemento forma deformuojasi nevienodai. Daugelis kitų autorių dažniausiai akcentuoja fizikines ir mechanines audinių charakteristikas, turinčias įtakos siuvinėtų elementų estetinei ir eksploatacinei kokybei (Briedis ir kt., 2017; Gholmy ir kt. 2010; Zhang ir kt., 2012). Tirtuoju atveju nustatyta, kad reikšmingą įtaką siuvinėto elemento kokybei turi audinio siūlų kryptis siuvinėjimo krypties atžvilgiu, audinių charakteristikos ir elemento kontūro plotis. Nustatyta, kad plačiausio kontūro pločio 22 mm elementų vidinis plotis F_{ic} metmenų kryptimi gautas iki $\sim 1,9\%$ daugiau artimesnis projektuotam dydžiui nei ataudų kryptimi.

Tiriant siuvinėtų elementų, atliktų ant audinio A2, pločius nustatyta, kad labiausiai viso elemento plotis F_c skiriasi matuojamų atkarpų galuose. Nustatyta, kad visas išorinis plotis F_c mažesnis už suprojektuotą plotį (žr. 3.11 pav., c, d). Siuvinėtų elementų kontūro pločio 6 mm, 10 mm ir 14 mm metmenų siūlų kryptimi plotis F_c nustatytas iki $\sim 2,5\%$ mažesnis už suprojektuotą (žr. 3.11 pav., c). Kitas, ataudų siūlų kryptimi siuvinėtų elementų plotis F_c gautas artimas suprojektuotam dydžiui (žr. 3.11 pav., d).

Audinio A2 ataudų kryptimi visas išorinis plotis F_c , kai kontūro plotis 6 mm, 10 mm, 14 mm nustatytas artimas projektuotam dydžiui (žr. 3.11 pav., d). Tiriant didžiausio 22 mm kontūro pločio elementų formą ir lyginant ją su projektuota gauta, kad audinio A2 metmenų kryptimi visas plotis F_c iki ~ 2,5 % gautas mažesnis nei suprojektuotas plotis (žr. 3.11 pav.). Šiuo atveju vidinis plotis F_{Ic} , esant didžiausiam 22 mm kontūro pločiui, dažniausiai gautas didesnis (žr. 3.11 pav.). Siuvinėjimo dygsnių sudarymo proceso metu siūlai apriboja medžiagos skerspjūvio formą ir jie nutolsta nuo kvadrato. Pokytis vyksta dėl to, kad pasikeičia apatinio ir viršutinio siūlų polinkio peltakio link kampai, dėl atsiradusios papildomos trinties tarp procese dalyvaujančių mechanizmų ir medžiagų sandaros, kuri priešinasi siūlų pasislinkimui dygsnių eilės kryptimi (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2007; Dobilaitė, Jucienė, 2010; Dobilaitė, Jucienė, 2007; Jucienė, Dobilaitė, 2008). Vadinasi, kitos dygsnių eilės sudarymo metu, adatai leidžiantis žemyn, nuo jau sudarytos dygsnių eilės esančio siūlo atšakos, įtempimui įtakos turi prieš tai suformuotų dygsnių siūlų įtempimas, suspaudimas siūlų sistemos atžvilgiu. Tirtuoju atveju ruoželinio pynimo audinio A2 gerojoje pusėje dominuoja metmenų siūlų ruoželių perdengimas ir jų tankumas ~36 % didesnis už ataudų siūlų, o siūlų ilginis tankis ataudų krypties ~ 8 % mažesnis (žr. 3.2 lent.). Tyrimais nustatyta, kad audinio anizotropiškumą parodo skirtingos siūlų sistemos (Loss ir kt., 2018; Domskienė, Strazdienė, 2005). Audinio A2 siūlai dėl pynimo ypatumų ir nevienodo tankumo, proceso metu veikiami tempimo jėgų yra gniuždomi ir skersinių jėgų, veikiančių siūlų kontaktų vietose, todėl pasibaigus procesui, audinio siūlai metmenų ir ataudų kryptimis siuvinėto elemento viduje deformuojami skirtingai (žr. 3.11 pav. c, d) (Baškienė ir kt., 2006; Domskienė, Strazdienė, 2002; Gan, 1995; Radavičienė ir kt., 2014).

Analizuojant ant audinio A2 atliktų siuvinėtų elementų formos kvadrato vidinį plotį F_{Ic} nustatyta, kad dažniausiai vidinis plotis F_{Ic} metmenų kryptimi mažesnis už suprojektuotą plotį, iki ~ 1,3 % (žr. 3.2 lent.).

Tiriant kvadrato vidinį plotį F_{Ic} ataudų kryptimi matyti, kad, kai kontūro plotis 10 mm, elementų vidinis kvadrato plotis ataudų kryptimi gaunamas artimas projektuotam dydžiui. Esant didesniems 14 mm, 18 mm ir 22 mm elementų kontūro pločiams vidinis plotis F_{Ic} gautas didesnis nei projektuotas, iki ~ 4,4 % (žr. 3.2 lent.). Deformacijoms didelę įtaką turi medžiagos pynimas, struktūra, kryptis bei fizikinės savybės (Tunak, Antoch, 2018). Tirtųjų audinių pynimai skiriasi pynimo tipu, siūlų išlankstymo lygiu. Paminėtina tai, kad toks įvertinimas yra svarbus įvedant į jų struktūrą siuvinėjimo siūlus (žr. 2.1 lent.). Audinio A2 pynimas yra ruoželinis, o jo gerojoje pusėje dominuoja metmenų ruoželiai. Lyginant visų analizuotų bandinių grupių vidinių kontūrų pločių F_{Ic} rezultatus tarpusavyje ir su projektuotu nustatyta, kad bendrinant audinio A2 elementų vidinis kontūro plotis F_{Ic} artimiausias projektuotam (žr. 3.2 lent.). Tempimo metu audinio siūlų įtempimo jėga didėja didėjant tarp siūlų esančiai trinčiai ir, priklausomai nuo audinio pynimo rūšies, charakteristikų, tai turi įtakos didesnei tempimo jėgai atsirasti (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2011; Chowdhary, Poynor, 2006; Gurarda, Meric, 2007; Radavičienė, Jucienė, 2013). Todėl galima teigti, kad dėl to proceso metu sudarant dygsnius, siūlų sistemos yra gniuždomos nevienodai ir tai turi įtakos gautiems siuvinėtiems elementų vidinio pločio F_{Ic} rezultatams.

Tiriant siuvinėtus elementus, atliktus ant audinio A3 nustatyta, kad siuvinėto elemento išorinis plotis F_c abiejomis audinio siūlų kryptimis yra panašus (žr. 3.11 pav. e, f). Daugiausia nustatyta, kad metmenų ir ataudų kryptimis siuvinėtų elementų visas kvadrato plotis F_c iki ~ 1 % mažesnis nei projektuotas dydis. Nagrinėjant audinio A3 metmenų krypties 6 mm, 10 mm, 14 mm ir 22 mm kontūro pločio elementus gauta, kad, lyginant su projektuotu dydžiu, visas išorinis plotis F_c vidutiniškai skiriasi iki ~ 1,7 %. Artimiausias audinio A3 ataudų kryptimi visas plotis F_c projektuotam dydžiui gautas, kai elemento kontūro plotis 10 mm.

Atliekant 14 mm ir 18 mm kontūro pločio bandinius ant audinio A3 visas išorinis plotis F_c nustatytas iki ~ 1,5 % mažesnis nei suprojektuotas. Iš gautų rezultatų matyti, kad visais atvejais ties kraštinių kampais audinio A3 siuvinėtų elementų forma abiejomis kryptimis siauresnė nei ties viduriu (žr. 3.11 pav., e, f). Apibendrinant gauta, kad audinio A3 siuvinėtų elementų formos pokytis skirtingų siūlų sistemų atžvilgiu panašus. Abiejomis siūlų kryptimis išorinis plotis F_c gautas iki ~ 1,7 % neatitinkantis projektuoto dydžio. Moksliniuose tyrimuose nustatyta, kad dėl ribotos vienodos gretimų metmenų ir ataudų siūlų pusės, audinio tiesiniai užpildymo rodikliai turi įtakos siūlų sistemų deformacijoms ir papildoma audinių tankumo charakteristikas. Tirtuoju atveju tiesiniai audinio A3 užpildymo rodikliai skirtingomis kryptimis yra artimesni nei kitų tirtųjų audinių (žr. 2.1 lent.).

Tyrimu nustatyta, kad nepriklausomai nuo kontūro pločio, siuvinėto elemento išorinis plotis F_c visais atvejais ties kraštinių kampais siauresnis nei ties kraštinių viduriu. Tai būdinga abiems audinio siūlų kryptims (žr. 3.11 pav.). Priklausomai nuo tekstilės medžiagų įtempių koncentracijos zonų tempimo bei gniuždymo metu, dėl išorinių siūlų sluoksnių padidėjusio slėgimo vidiniams sluoksniams, pluoštai persislenka ir pakinta audinio sandaros sistemas sudarančių siūlų geometrija (skerspūvis, sukrumas), turinti įtakos eksploatacinėms formavimosi savybėms. (Bekampienė, Domskienė, 2010; Fairhurst, 2008; Pavlinič, Geršak, 2003; Pocienė, Vitkauskas, 2007; Rudolf ir kt., 2007). Daugiausia tyrime siuvinėti elementai gauti mažesnio dydžio (žr. 3.11 pav.). Vieni iš svarbiausių veiksnių, turinčių įtakos audinio geometrinėms savybėms, yra siūlų skersmuo, tankis, ilgis, audinio pynimas, kaip glaudžiai pluoštai išsidėstę, persipynę vienas kito atžvilgiu ir kokios jų sanglaudos. Todėl būtų galima teigti, kad atliekant vienodo dydžio siuvinėtus elementus ant audinių, kurių pynimai ir jų pluoštų persipynimai skirtingi, formų tikslumui įtakos turi audinio siūlų kryptis, priklausoma nuo kontūro pločio dydžio ir nuo siūlų, pakitusių geometrinių savybių, kurios mechaninio poveikio metu kinta priklausomai nuo savo charakteristikų (žr. 3.11 pav., 2.1 lent.). Audinio A2 paviršinis tankis, siūlų tankumas, ilginis tankis, užpildymo rodikliai iš tirtųjų audinių didžiausi, todėl ir elementai atlikti ant audinio A2, vertinant vidurkį, gauti artimesni projektuotam dydžiui nei kitų audinių (žr. 3.11 pav.).

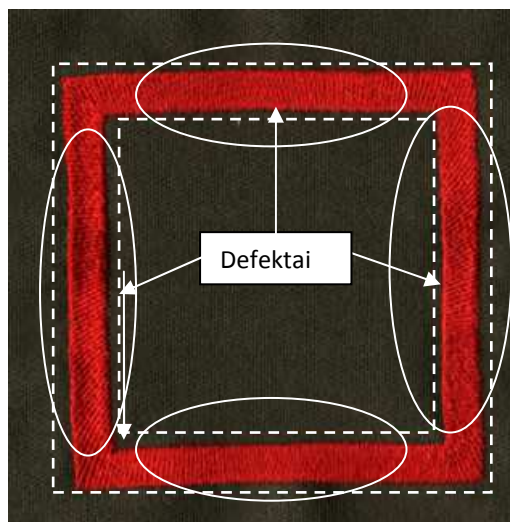
Ankstesniuose tyrimuose, nagrinėdami siuvinėtų elementų formas, tyrėjai akcentuoja fizikines ir mechanines audinių charakteristikas, turinčias įtakos siuvinėtų elementų estetinei ir eksploatacinei kokybei (Angelova, Sofronova, Nikolova, 2016; Radavičienė ir kt., 2014; Radavičienė, Jucienė, 2010). Analizuojant sinergetinį ryšį tarp siuvinėjimo proceso sudedamųjų dalių elementų ir netiesinės sąveikos tarp jų, mokslininkai tyrė išsiuvinėtų stačiakampių elementų trimis

skirtingais dygsnių ilgiais geometrinių parametru pokyčius ir nustatė, kad, naudojant papildomas standumą formoms teikiančias medžiagas ir esant vienodoms techninėms sąlygoms, tirtųjų megztų medžiagų geometriniai parametrai priešingomis struktūros kryptimis gaunami nevienodi dėl medžiagų fizikinių charakteristikų skirtumų (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2011; Gurarda, Meric, 2007). Tai rodo, kad audinių deformacinė elgsena išryškėja jau pradinuose gamybos procesuose, todėl analizuojant siuvinėtų elementų kokybę, audinių charakteristikų įtaka elemento tikslumui yra labai svarbi.

Gauti rezultatai parodė, kad esant didžiausiam kontūro pločiui 22 mm audinio A3 metmenų kryptimi vidinis plotis F_{lc} iki ~ 6,3 % neatitinka projektuoto dydžio. Esant kitiems pločiams, metmenų kryptimi, audinio A3 vidinis plotis F_{lc} skiriasi paklaidų ribose iki ~ 0,8 % nuo projektuoto dydžio (žr. 3.2 lent.). Siuvinėjant audinio A3 ataudų kryptimi didžiausio 22 mm kontūro pločio elementus, vidinis plotis F_{lc} nustatytas labiausiai neatitinkantis lyginant visus 5 skirtingus pločius ir gautas didesnis ~ 1,9 % už suprojektuotą dydį (žr. 3.2 lent.). Nagrinėjant vidinio kvadrato vidinį plotį F_{lc} daugiausia pastebėta, kad ties kampais pločio pokytis gautas didesnis nei ties viduriu. Adatai mechaniškai judant ir sudarant dygsnių eiles kampuose, jos trajektorija siūlų krypties atžvilgiu pakinta įstriža kryptimi. Kintant laisvųjų laukų kampams tarp siūlų sistemų, didėja įtempiai tarp atstojamųjų jėgų, o didėjant anizotropiškumui, didėja struktūros pažeidžiamumas (Domskienė, Strazdienė, 2005; Klevaitytė, Masteikaitė, 2008; Milašius, 2000). Dėl to siuvinėtų elementų forma po proceso neatitinka projektuoto dydžio.

Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad nustatyti siuvinėtų elementų geometrinių parametru pokyčiai turi įtakos siuvinėto elemento tikslumui. Svarbią įtaką siuvinėtų elementų tikslumui turi proceso eigos kryptis, audinio siūlų sandaros atžvilgiu, ir naudojamo užpildymo tipo techninės charakteristikos (Briedis ir kt., 2017; Radavičienė ir kt., 2014). Šiuo atveju, priklausomai nuo T užpildymo tipo, esant platesniam uždaro kvadrato kontūrai, siuvinėtuose elementuose formuojamos ilgesnės dygsnių eilės nei nagrinėtuose siauresniuose kontūruose. Siuvinėjimo T užpildymo tipe dygsnių persipynimas yra siuvinėtos sistemos blogeje pusėje, todėl siūlų tempimo apkrovos pasiskirsto nevienodai (Radavičienė, Jucienė, 2010). Jungiant T užpildymo tipo ilgesnes dygsnių eiles, viršutinis siuvimo siūlas daugiau kartų pereina pro adatos akutę nei trumpesnėse dygsnių eilėse, dėl to platesnio uždaro kontūro siuvinėti elementai yra mechaniškai labiau veikiami. Proceso metu sudarant dygsnius vyksta tempimai statmena siūlų sistemos kryptimi, siuvinėta sistema yra ne tik tempiama, bet ir gniuždoma (Radavičienė, Jucienė, 2010; Radavičienė, Jucienė, 2013).

Tyrime daugeliu atvejų elementų išorinis plotis F_c ir vidinis plotis F_{lc} gauti skirtingi siūlų sistemų atžvilgiu, gauta, kad metmenų kryptimi skirtumai didesni gauti mažesni už projektuotą dydį (žr. 2 lent; 3.11 pav.). Analizuojant elementų formas pastebėtas vienas bendras formos defektas, kur ties kvadrato viduriu kraštinės buvo išgaubtos (žr. 3.12 pav.).



3.12 pav. Kvadrato formo siuvinėtų audinio A3 elementų kraštinių išgaubimo defektai

Tyrime reikšmingą įtaką formos deformacijai turėjo ir užpildymo tipo T techninės charakteristikos, įvestų į audinių dūrių skaičius, dygsnių eilių skaičius ir visas ilgis vienoje bei visose kraštinėse. Didesnis dygsnių skaičius elemente veikia labiau tekstilės medžiagų struktūras. Atstumas tarp sudarytų dygsnių eilių turi įtakos siūlų sistemų sanglaudai, ryšiams tarp jų bei po to vykstantiems relaksacijos procesams. Svarbu pabrėžti tai, kad siuvinėjimo proceso metu pakinta apatinio ir viršutinio siūlų sudaromieji kampai link persipynimo dėl atsiradusios papildomos trinties tarp procese dalyvaujančių mechanizmų bei medžiagų sandaros, kuri priešinasi siūlų pasislinkimui dygsnių eilės kryptimi (Dobilaitė, Jucienė, 2010; Jucienė, Dobilaitė, 2008; Dobilaitė, Jucienė, 2007; Bekampienė, Domskienė, 2009). Priklausomai nuo naudojamo užpildymo tipo sudarant dygsnius, siuvinėjimo siūlai skirtingai išsidėsto siuvinėtos sistemos siūlų orientacijos atžvilgiu, dėl to kontaktų metu pakinta jų anizotropiškumas, tūsumas. Kai kurie autoriai teigia, kad siūlinių sujungimų kokybė gerėja, didėjant audinio siūlų tankumui. Tirtuoju atveju audinio A2, kurio siūlų tankumas didžiausias (žr. 2.1 lent.), elementai, vertinant vidurkį, gauti artimesni projektuotam dydžiui. Tačiau reikia įvertinti tai, kad proceso metu siuvinėtų sistemų elementų formų kokybė gali pablogėti dėl per didelio mechaninio išorinio poveikio.

Atlikta analizė parodė, kad dažniausiai uždaro kvadrato kontūro siuvinėtų elementų formų išorinio F_c ir vidinio F_{Ic} pločių tikslumui turi įtakos proceso technologiniai parametrai, o netikslumai pasireiškia dėl tekstilės medžiagų fizikinių, mechaninių savybių. Nustatyta, kad elementai, atlikti ant audinio A2, kurio siūlų tankumas iš tirtųjų audinių didžiausias (žr. 2.1 lent.), yra artimesni projektuotam dydžiui. Akcentuotina tai, kad tyrimas atskleidžia glaudų ryšį tarp visų kvadrato ploto formą sudarančių elementų dedamųjų, kurių deformacijoms būdingi glaudūs, stiprūs tarpusavio ryšiai.

Tyrimu nustatyta, kad kontūro pločio dydis turi įtaką siuvinėtų elementų formos atitikimui parinktam dydžiui. Gauta, kad siauresnio 6 mm ir 10 mm kontūro pločio siuvinėtiems elementams būdinga tikslesnė forma. Kuo didesnis kontūro plotis, tuo didesnis ir išorinių tempimo, gniuždymo jėgų poveikis. Tokių elementų formų pokyčiai ryškiai matomi ir labiau neatitinka suprojektuotų formų.

Analizė parodė, kad siuvinėtų elementų geometrinių parametrų atitikimas suprojektuotam dydžiui yra neatsiejamas nuo formos stabilumo. Nustatyta, kad uždaro kontūro kvadrato formos tirti geometriniai parametrai, t. y. išorinis plotis F_c ir vidinis plotis F_{Ic} , audinio siūlų sistemos atžvilgiu yra nevienodas.

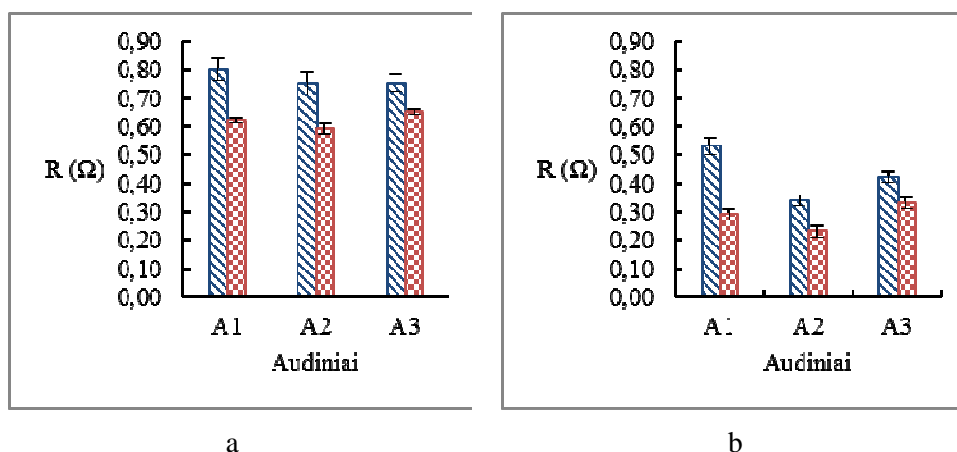
3.5 Elektrai laidžių siuvinėtų elementų funkcionalumo vertinimas

Tyrimo grandinės elektrinis laidumas analizuojamas vertinant siuvinėto uždaro kontūro elektrinę varžą R . Elektrinėje grandinėje didėjant varžai laidumas mažėja ir priešingai, mažėjant varžai, laidumas gerėja.

Analizuojant siuvinėto uždaro kontūro elektrinę laidumą nustatyta, kad technologiniai parametrai daro įtaką siuvinėto elemento elektrinės varžos R dydžiui. Kai siuvinėtų elementų plotas užpildytas didesnio tankumo 4,5 dygs/mm dygsniu ir kontūro pločiai 6 mm, 14 mm nustatyta, kad visais atvejais elektros laidumas didesnis nei elementų, užpildytų 3 dygs/mm tankumu. Gauti rezultatai parodė, kad siuvinėtų 14 mm kontūro pločio elementų uždaros siuvinėtos grandinės laidumas gautas nuo ~ 34 % iki ~ 61 % didesnis nei 6 mm kontūro pločio elementų laidumas. Šiuo atveju elektrinė varža R (Ω) nustatyta nuo 0,59 Ω iki 0,80 Ω (žr. 13 pav.).

Palyginus tarpusavyje visų tirtųjų audinių siuvinėtų 6 mm kontūro pločio elementų užpildytu 3 dygs/mm ir 4,5 dygs/mm tankumu elektrinę varžą R matyti, kad nuo ~ 19 % iki ~ 21 % didesnis laidumas gautas, kai elementai užpildyti 4,5 dygs/mm tankumo dygsniais (žr. 3.13 pav., b). Didžiausias laidumas nustatytas elementų, atliktų ant audinio A2. Šiuo atveju audinio A2 elementų elektrinė varža R gauta 0,59 Ω ir 0,75 Ω nuo ~ 6 % iki ~ 9 % mažesnė nei kitų tirtų elementų varža R (žr. 3.13 pav., a). Darbe analizuojami skirtingo pynimo, tankumo audinių elementai su nevienodu perdangų skaičiumi (žr. 2.1 lent.). Sudarant uždarą elektrinio laidumo grandinę srovės kelias eina per visas kontūro kraštines, kurių tankumas metmenų ir ataudų kryptimis skiriasi. Elektrai laidžioms sistemoms būdingas reakcijos (įtampa ir srovė pasyviuosiuose elementuose) ir poveikio (šaltinio srovė) santykis, apibrėžiantis grandinės charakteristikas (Roh, 2017). Mokslininkai, kurdami integruojamas, elektrai laidžias sistemas, didelį dėmesį skiria jų funkcionalumui, sistemų sudedamųjų dalių mažinimui (Cherenack ir kt., 2010; Dias, Monaragala, 2012) ir audinių savybių suderinamumui minimizuojant jų jungiamąsias dalis (Coosemans, Hermans, Puers, 2006; Hu ir kt., 2010; Roh, 2014; (Fraunhofer IZM elektroninės sistemos). Tyrimo atliekant siuvinėtus tankesnius, platesnius kontūrų elementus, pastebėtas elemento paviršiaus padengimo tolygumo, standumo didėjimas. Priklausomai nuo technologinio proceso parametrų ir naudojamų dygsnių tipo audinio sandaros siūlai skirtingai išsidėsto siuvamų audinių atžvilgiu. Sudarant tankesnių dygsnių elementus siuvinėjimo siūlai persipina glotniau vienas kito, o jų sistemos siūlai keičia padėtį priklausomai nuo audinio paviršinio tankio, perdangų tankumo ir pynimo. Dėl to galima teigti, kad, esant vienodiems technologiniams

parametrams, siuvinėto elemento elektriniui laidumui įtakos turi audinių charakteristikų skirtumai.



3.13 pav. Siuvinėto elemento uždaro grandinės elektrinės varžos R , kai suprojektuoto elemento kontūro plotis: a – 6 mm; b – 14 mm, čia – dygsnių tankumas 3 dygs/mm, – dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm

Mokslinėje literatūroje teigiama, kad paveikus audinių sistemas mechanškai, jų sandaros perdangos keičia padėtį priklausomai nuo jų charakteristikų (Parkova ir kt., 2012; Naujokaitytė, Strazdienė, 2007a; Naujokaitytė, Strazdienė, 2007b). Todėl manoma, kad tirtojo atvejo, proceso metu, siuvinėtoje elektrai laidžioje grandinėje, pasikeitė audinio perdangų atstumai, ryšių stiprumas tarp jų. Priklausomai nuo audinių fizikinių savybių, grandinėje laisvųjų krūvininkų (elektrinių dalelių) koncentracija susidaro nevienoda. Taip pat nevienoda gauta ir elektrinė varža R (Ω) (žr. 3.13 pav.).

Analizuojant siuvinėtus platesnio 14 mm kontūro pločio elementus, užpildytus skirtingu dygsnių tankumu gauta, kad elektrinė varža R (Ω) nuo ~ 45 % iki ~ 61 % mažesnė, kai dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm. Nustatyta, kad audinio A2 siuvinėtų elementų elektrinė varža R mažiausia ir varža, lyginant su kitų audinių elementais, mažesnė nuo ~ 32 % iki ~ 38 % (žr. 3.13 pav., b). Analizuojant audinių charakteristikas matyti, kad audinio A2 užpildymo rodikliai metmenų kryptimi iki ~ 28 %, ataudų kryptimi iki ~ 37 %, bendras e_s nuo ~ 1,4 % iki ~ 6,9 % didesni nei kitų tirtųjų audinių (žr. 2.1 lent.). Pabrėžtina ir tai, kad audinio A2 paviršinis tankis, (g/m^2) ~ 12,5 % ir tankumas (cm^1) ~ 14 % irgi didesni nei kitų tirtųjų audinių. Moksliniais tyrimais įrodyta, kad audinio tiesiniai užpildymo rodikliai, kurie papildo tankumo charakteristikas, turi įtakos sandaros siūlų pasipriešinimui mechaniniam poveikiui, siuvinėto paviršiaus tolygumui, taip pat jo elektros pralaidumui (Briedis ir kt., 2017; Parkova ir kt., 2012; Radavičienė, Jucienė, 2013; Radavičienė, Jucienė, 2012). Tirtuoju atveju matyti, kad audinio A2, kurio užpildymo rodiklis didžiausias, elektrinis laidumas gautas geriausias (žr. 3.13 pav.).

Ankstesniuose tyrimuose mokslininkai akcentuoja, kad įvedant elektrai laidžius siūlus į tekstilinį pagrindą, elektros laidumo kokybė priklauso nuo

naudojamo dygsnių tipo, jo tankumo bei naudojamų audinių žaliavos, pynimo, fizikinių charakteristikų. Siuvinėtų elementų paviršius gali būti užpildytas įvairiais tipais, skirtingais dygsnių tankumais (Briedis ir kt., 2017; Parkova ir kt., 2012). Tyrime nustatyta, kad, kai elementai atlikti didesniu dygsnių tankumu 4,5 dygs/mm ir jų kontūro plotis didesnis 14 mm, pasipriešinimas elektriniam laidumui gautas mažesnis (žr. 3.13 pav., b). Gauti rezultatai sutampa su kitų autorių atliktų tyrimų rezultatais (Briedis ir kt., 2017; Parkova ir kt., 2012).

Analizuojant elektrai laidžių siuvinėtų elementų funkcionalumui įtakos turinčius veiksnius audinių grupėse, kurių dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, nustatyta stipri tiesinė atvirkštinė priklausomybė tarp audinio užpildymo rodiklių ir elektrinės varžos. Šiuo atveju koreliacijos koeficientas R^2_K gautas iki 0,95 (žr. 3.3 lent.). Tyrime, kai dygsnių tankumas 3 dygs/mm, tiesinė priklausomybė nenustatyta. Gauti rezultatai rodo sąsajas tarp audinių charakteristikų ir siuvinėtų elementų elektrinio laidumo, kai kintant vienam dydžiui kinta ir kito dydžio vertė.

3.3 lentelė. Siuvinėto elemento uždaro grandinės elektrinės varžos R (Ω) tyrimo rezultatai ir priklausomybė R_K nuo užpildymo rodiklių

Audinio kodas	Elemento elektrinės varžos, R (Ω) tyrimo rezultatai priklausomai nuo kontūro pločio, mm ir dygsnių tankumo, dygs/mm				Užpildymo rodiklis, e_s
	6 mm, 3 dygs/mm	6 mm, 4,5 dygs / mm	14 mm, 3 dygs/mm	14 mm, 4,5 dygs/mm	
A1	0,8±0,04	0,62±0,01	0,53±0,03	0,29±0,02	0,986
A2	0,75±0,04	0,59±0,02	0,34±0,02	0,23±0,02	1
A3	0,75±0,03	0,65±0,01	0,42±0,02	0,33±0,02	0,931
Koreliacijos koeficientas tarp audinio užpildymo rodiklių ir elektrinės varžos, R^2_K					
R^2_K	0,11	0,95	0,01	0,81	

Analizuojant kvadrato formos siuvinėtų elementų elektrinį laidumą matyti, kad, esant didesniai 4,5 dygs/mm tankumui ir platesniai 14 mm kontūrai, varža R būna mažiausia. Apibendrintai galima teigti, kad didžiausias elektrinis laidumas nustatytas audinio A2 siuvinėtų elementų (žr. 3.13 pav.). Literatūroje konstatuojama, kad siuvinėjimo proceso metu naudojant skirtingą dygsnių tankumą, užpildymo tipą ir formas, kintant audinių sandaros siūlų padėčiai, kinta elektrinis lauko stipris (Briedis ir kt., 2017; Tsolis ir kt., 2014).

Ankščiau atliktuose tyrimuose mokslininkai nustatė, kad siuvinėtame elemente elektros jėgos pokyčiai suaktyvina rezonanso amplitudę, o jai padidėjus, centrinis bangos dažnis kontūre sumažėja (Tsolis ir kt., 2014). Nagrinėjant skirtingų kontūrų siuvinėtus elementus su elektrai laidžiais PVDF pluoštais mokslininkai nustatė, kad eksploatacijos metu siuvinėta sistema pakankamai gerai išlaiko funkcionalumo savybes, o, esant mažesniai siuvinėtam plotui, elektrinė varža

dažniausiai gaunama didesnė (Kerfeldt ir kt., 2015). Manoma, kad tirtuoju atveju kontūro plotis ir dygsnių tankumas turėjo įtakos elektrinės varžos dydžiui.

Atlikta rezultatų analizė parodė, kad nevienodų pynimų audinių uždaro kvadrato formos 14 mm kontūro pločio elementų elektrinis laidumas dažniausiai gautas didesnis nei 6 mm kontūro pločio elementuose (žr. 3.13 pav.). Iš esmės, tam įtakos turi sudarytų siuvinėjimo dygsnių skaičius eilėse ir sunaudotų elektrai laidžių siūlų kiekis. Naudojant užpildymo tipą T, siuvinėtų uždaro kvadrato formos 6 mm kontūro pločio elementų plotas, kai tankumas 3 dygs/mm, užpildomas sudarant ~ 1910 dygsnių, o kai tankumas didesnis 4,5 dygs/mm, sudarytų dygsnių skaičius iki ~ 2800.

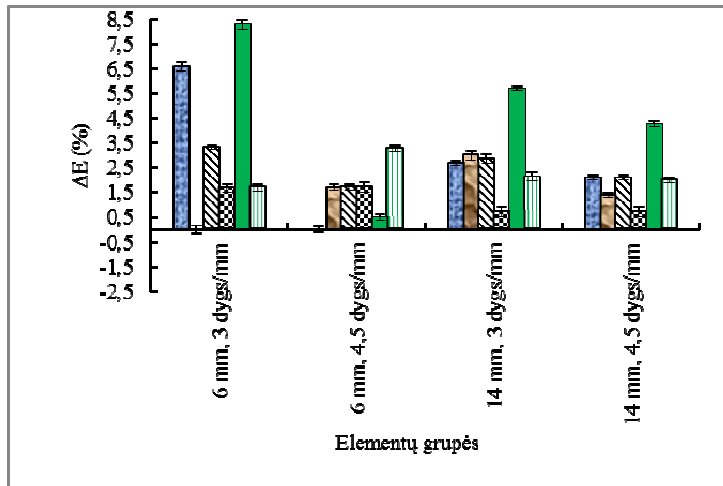
Kai elementų kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 3 dygs/mm, siuvinėtas plotas užpildomas sudarant ~ 3395 dygsnių, o esant tankumui 4,5 dygs/mm sudaromų dygsnių skaičius padidėja iki ~ 4980. Svarbu ir tai, kad sudarant daugiau dygsnių, procese sunaudojamas didesnis elektrai laidžių siūlų kiekis nei atliekant mažiau dygsnių. Mokslininkai akcentuoja ir tai, kad siuvimo įrengimų techniniai parametrai ir mechaninio poveikio metu suaktyvėjusios tempimo, trinties, gniuždymo ir šlyties jėgos, turi įtakos ne tik dygsnių tikslumui, bet ir audinių fizikinėms savybėms (Dobilaitė, Jucienė, 2010; Radavičienė, Jucienė, 2010; Radavičienė ir kt., 2014). Dėl to, sudarant daugiau dygsnių, audinio paviršius yra veikiamas stipresnių apkrovų jėgomis nei esant mažesniais jų kiekiui ir siuvinėjimo plotas užpildomas tankiau. Todėl, kai naudojamas dygsnių tankumas didesnis ir kontūro plotis platesnis, tyrime elektrinis laidumas gautas stipresnis (žr. 3.13 pav.).

Tyrimo rezultatai rodo tai, kad elektrinės varžos R kaita priklauso nuo technologinių parametrų ir audinio charakteristikų (žr. 3.3 lent.). Skirtingo tankumo audiniuose siūlų perdangos tarpusavyje sudaro kampus, priklausomus nuo jų pynimo rūšies. Tirtuoju atveju A2 audinio tankumas metmenų ir ataudų kryptimis bei užpildymo rodiklis didesni nei kitų tirtųjų audinių. Svarbu pabrėžti ir tai, kad siuvinėjimo proceso metu sudarant dygsnius, kai adata persmelkia audinį daugiau kartų, sandaros siūlai mechaninio poveikio metu persiorientuoja. Dėl to, kontaktuojantys sistemoje audinio siūlai yra spaudžiami, gniuždomi vieni su kitais itin stipriai (Hosseinali, 2012), o jiems susigretinus, elektrinis laidumas didėja (Briedis ir kt., 2017; Maleszka, Kabacik, 2010; Mihaylovichm, 2008).

Taigi, galima būtų teigti, kad audinių charakteristikos, elemento kontūro plotis ir dygsnių tankumas turi esminės įtakos uždaro kontūro siuvinėto elemento elektriniam laidumui. Tyrime gauta, kad siuvinėtų 14 mm kontūro pločio elementų uždaros siuvinėtos grandinės laidumas gautas nuo ~ 34 % iki ~ 61 % didesnis nei 6 mm kontūro pločio elementų laidumas, o elektrinė varža R (Ω) gauta nuo 0,59 Ω iki 0,80 Ω . Tyrime nustatyta, kad siuvinėto uždaro kontūro elemento elektriniam pralaidumui įtaką daro kontūro plotis ir dygsnių tankumas, kuris priklauso nuo audinio charakteristikų. Didžiausias elektrinis pralaidumas nustatytas, kai elemento kontūro plotis yra didesnis tiriamuoju atveju 14 mm, o dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm.

Siekiant ištirti ir išanalizuoti siuvinėtų elektrai laidžių elementų geometrinių parametrų tikslumą lemiančius veiksnius, toliau tyrime analizuojami elementų kontūro pločiai CS .

Analizuojant tyrimo metu gautus rezultatus pastebėta, kad lyginant su projektuotu dydžiu, elektro laidaus elemento kontūro pločio CS metmenų ir ataudų kryptimis skirtumas ΔE (%) yra nevienodas (žr. 3.14–3.15 pav.). Analizuojant išsiuvinėtų bandinių, kontūro pločio 6 mm grupę nustatyta, kad vertinant vidurkį abiejomis audinio siūlų kryptimis artimesnis dydis projektuotam, gautas bandinių grupėje kur dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm. Šioje grupėje metmenų ir ataudų kryptimis, elementų pločių CS skirtumas ΔE ant atliktų ant audinių A1, A2 iki ~ 1,7 %, ir ant audinio A3 nuo ~ 0,5 % iki ~ 3,3 % nustatytas didesnis už projektuotą dydį (žr. 3.14–3.15 pav.).



3.14 pav. Elektrai laidžių išsiuvinėtų elementų, lyginant su projektuotu dydžiu, kontūro pločio CS skirtumas ΔE (%) metmenų kryptimi, kai suprojektuoto elemento kontūro plotis yra x ašis: ■ – audinio A1 kontūro kraštinė BC; ■ – audinio A1 kontūro kraštinė AD; ▨ – audinio A2 kontūro kraštinė BC; ▩ – audinio A2 kontūro kraštinė AD; ■ – audinio A3 kontūro kraštinė BC; ▨ – audinio A3 kontūro kraštinė AD

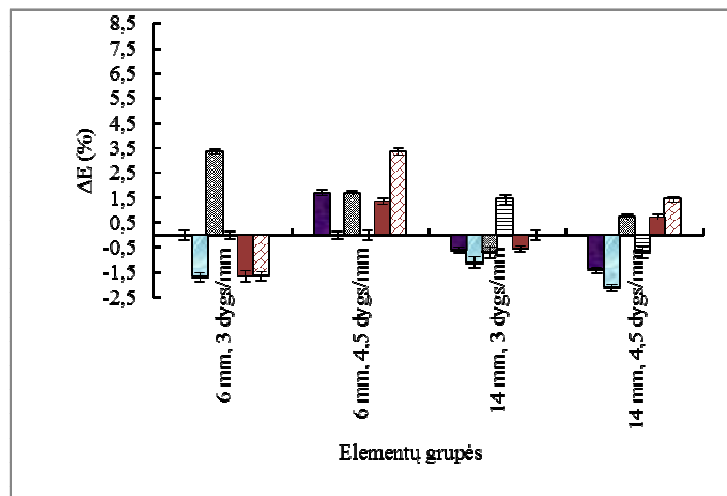
Nagrinėjant platesnio kontūro pločio 14 mm išsiuvinėtus elementus ant audinio A1 gauta, kad metmenų ir ataudų siūlų kryptimis, kai dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, kontūro plotis CS gautas artimiausias projektuotam dydžiui (žr. 3.14–3.15 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad šiuo atveju audinio A1 išsiuvinėtų elementų kontūro plotis CS nuo 1,4 % iki ~ 2,1 % gautas metmenų kryptimi didesnis (žr. 3.15 pav.), ataudų kryptimi mažesnis už projektuotą (žr. 3.15 pav.). Nustatyta, kad bandinių kontūro pločio 14 mm, atliktų ant audinio A1, kontūro plotis CS daugiau artimesnis projektuotam dydžiui, kai bandiniai išsiuvinėti 4,5 dygs/mm tankumu.

Tiriant išsiuvinėtų elektrai laidžių bandinių, atliktų ant audinio A2, kontūro pločius 14 mm ir vertinant jų vidurkį gauta, kad, kai tankumas 4,5 dygs/mm, plotis CS yra artimas projektuotam dydžiui. Šiuo atveju gauta, kad plotis CS metmenų kryptimi didesnis už projektuotą nuo ~ 0,7 % iki ~ 2,1 % (žr. 3.14 pav.), ataudų kryptimi skirtumas ΔE gautas iki ~ 0,7 % (žr. 3.15 pav.). Nustatyta, kad audinio A2

metmenų ir ataudų kryptimis kontūro plotis CS daugiausia gautas didesnis (nuo $\sim 0,7\%$ iki $\sim 3,3\%$) nei projektuotas dydis (žr. 3.14–3.15 pav.).

Analizuojant elementų, atliktų ant audinio A3, kai kontūro plotis 14 mm, tyrimo rezultatus ir vertinant jų vidurkį gauta, kad bandinių tankumo 4,5 dygs/mm plotis CS yra daugiausiai artimas projektuotam dydžiui, šiuo atveju pločio CS skirtumas ΔE nustatytas metmenų kryptimi nuo $\sim 2\%$ iki $\sim 4,3\%$, ataudų kryptimi nuo $\sim 0,7\%$ iki $\sim 1,4\%$ didesnis už projektuotą (žr. 3.14–3.15 pav.).

Lyginant visų tirtųjų audinių bandinių grupių, išsiuvinėtų elektrai laidžių siuvinėtų elementų kontūro pločius CS rezultatus su projektuotais dydžiais gauta, kad kontūro plotis CS artimiausias projektuotam dydžiui, kai bandinių kontūro plotis 14 mm ir jie išsiuvinėti 4,5 dygs/mm tankumu. Iš tyrimų matyti, kad iš tirtųjų audinių, vidutiniškai artimiausias kontūro plotis CS projektuotam dydžiui, gautas ant audinio A2, iki $\sim 1,8\%$ didesnis už projektuotą dydį. Daugiausiai, vidutiniškai iki $\sim 3,5\%$ neatitinkantis projektuoto dydžio, gautas kontūro plotis CS audinio A3 (žr. 3.14–3.15 pav.).



3.15 pav. Elektrai laidžių išsiuvinėtų elementų, lyginant su projektuotu dydžiu, kontūro pločio CS skirtumas ΔE (%) ataudų kryptimi, kai suprojektuoto elemento kontūro plotis yra x ašis: ■ – audinio A1 kontūro kraštinė BC ; ■ – audinio A1 kontūro kraštinė AD ; ■ – audinio A2 kontūro kraštinė BC ; ■ – audinio A2 kontūro kraštinė AD ; ■ – audinio A3 kontūro kraštinė BC ; ■ – audinio A3 kontūro kraštinė AD

Siuvinėjimo proceso metu pasireiškus trinties jėgoms, veikiančioms metmenų ir ataudų siūlų kontaktų vietoje, elemento kontūro plotis CS neatitinka projektuoto dydžio (Bačkauskaitė, Daukantiene, 2011; Savostitsky, Melikov, 1982; Dobilaitė, Jucienė, 2010; Ujevic ir kt., 2007). Elektrai laidūs siuvinėjimo siūlai yra labai plonos metalo gijos, kurių skersmuo yra nuo 1 iki 80 mikronų, jų struktūra pasižymi šiurkščiu paviršiumi ir netolygumu ir dėl to siuvinėjimo metu jie trūkinėja. Tai turi neigiamos įtakos laidumui (Tao, 2000). Dėl to, atliekant siuvinėjimo procesą bei sudarant dygsnius, į audinio sandarą įvedami nevienodo storio, grublėti, elektrai

laidūs siūlai ir siuvinėtos sistemos paviršius padengiamas netolygiai (Parkova ir kt., 2012; Tsolis ir kt., 2014).

Akcentuotina tai, kad siūlų pasikeitimas sąlygoja siuvinėtų kvadrato formos elementų geometrinius parametrų pokyčius skirtingai. Dauguma atvejų nustatyta, kad siuvinėtų kvadrato formos elementų nelaidžiais siūlais kontūro plotis yra mažesnis už projektuotą dydį (žr. 3.5 pav.). Elektrai laidžių elementų kontūro plotis, lyginant su projektuotu dydžiu, gautas įvairus (žr. 3.15 pav.).

Apibendrinant gauta, kad elementų, atliktų ant audinio A2, kai kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, elektrinė varža $R=0,23$ (Ω) gauta mažiausia, o laidumas geriausias. Nustatyta, kad elementų kontūro plotis CS, atliktas ant audinio A2, kurio užpildymo rodiklis e , nuo $\sim 1,4$ % iki $\sim 6,9$ % didesnis nei kitų tirtųjų audinių ir yra artimiausias projektuotam dydžiui (didesnis už jį $\sim 1,8$ %). Gauta tiesinė priklausomybė R_K (iki 0,95) tarp audinio užpildymo rodiklio ir elektrinės varžos R (Ω), kai dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm rodo, kad audinių charakteristikos turi įtakos elektrai laidaus siuvinėto elemento funkcionalumui.

Siejant elementų funkcionalumą su geometriniais parametrais matyti, kad elementų grupėje, kai kontūro plotis 14 mm ir tankumas 4,5 dygs/mm, gautas mažiausias pasipriešinimas elektriniam laidumui $R=0,23$ (Ω) ir artimiausias kontūro plotis projektuotam dydžiui didesnis už jį $\sim 1,8$ %. Tai rodo, kad elementų funkcionalumui ir geometriniais parametrais daro įtaką tie patys veiksniai. Todėl, siekiant aukšto elektrai laidžių siuvinėtų elementų funkcionalumo, technologinių parametrų parinkimo ir naudojamų audinių charakteristikų, turinčių elementų kokybei įtaką veiksmų įvertinimas, ir žinojimas yra labai naudingas ir būtinas.

3.6 Eksploatacijos veiksnių įtaka siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniais parametrams

Siekiant nustatyti skalbimo įtaką siuvinėtų elementų elektriniam laidumui buvo palyginti neskaltbų ir išskaltbų skirtingais ciklais bandinių *prieš* ir *po* elektrinės varžos R_E (Ω) tyrimo rezultatai (žr. 1 priedas). Tyrime analizuojamas elektrinės varžos, lyginant su neskaltbais bandiniais, skirtumas ΔER (%) (žr. 3.4 lent.). Elektrinės varžos po eksploatacijos bendroji matavimų rezultatų santykinė paklaida gauta iki ± 5 %.

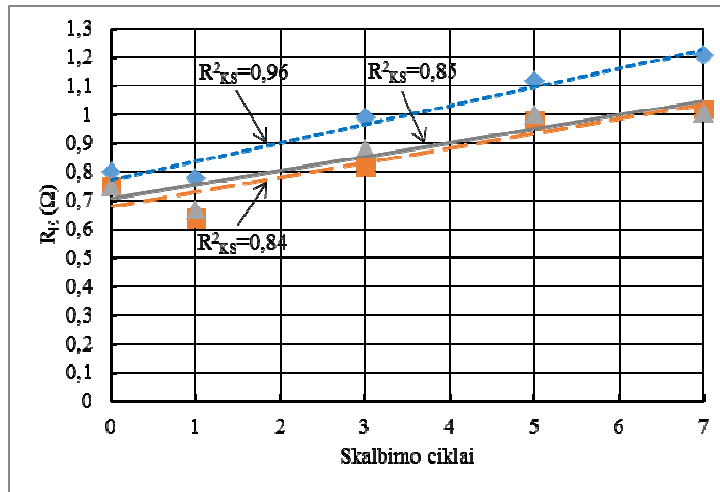
Elektrinės varžos tyrimo rezultatai po eksploatacijos procesų parodė, kad skalbimo ciklai labai keičia siuvinėto uždaro kontūro elektrinę varžą R_E (Ω) (žr. 3.16 pav.). Nustatyta, kad 6 mm kontūro pločio tirtųjų audinių siuvinėtų elementų, atliktų 3 dygs/mm tankumu, po pirmojo skalbimo elektrinis laidumas pasikeitė, elektrinė varža R_E (Ω) sumažėjo: audinio A1 elementų – $\sim 2,5$ %, audinio A2 elementų – $\sim 14,7$ %, audinio A3 elementų – $\sim 10,7$ %. Po trijų skalbimų ciklų gauta, kad elektrinė varža R_E (Ω) padidėjo atitinkamai: audinio A1 elementų – $\sim 23,8$ %, audinio A2 elementų – $\sim 9,3$ %, audinio A3 elementų – $\sim 17,3$ %. Išmatavus elektrinę varžą po penkių skalbimų ciklų gauta, kad audinio A1 elektrinė varža iki ~ 40 %, audinio A2 $\sim 30,7$ %, audinio A3 elementų $\sim 33,3$ % padidėjo. Po didžiausio septynių skalbimo ciklų skaičiaus elektrinės varžos R_E (Ω) skirtumas ΔER gautas didžiausias, jis padidėjo audinio A1 bandiniuose iki $\sim 51,3$ %, audinio A2

bandiniuose iki ~ 50,8 %, audinio A3 bandiniuose iki ~ 40 % (žr. 3.4 lent., 3.16 pav.).

Gauti rezultatai rodo, kad elektrinis laidumas po pirmojo skalbimo pagerėja. Tyrimu nustatyta, kad po 3, 5 ir 7 skalbimų elementų elektrinė varža daugiau priešinosi elektros srovei. Vertinant elektrinės varžos skirtumo ΔER vidurkį su neskalbtais bandiniais gauta, kad 6 mm kontūro pločio 3 dygs/mm tankumo bandinių grupėje daugiausia ~ 28,1 % eksploatacijos procesai turėjo įtakos audinio A1 elementų laidumui, o mažiausiai ~ 15,3 % audinio A2 elementams. Audinio A3 elektrinio laidumo skirtumas ΔER vidutiniškai buvo iki ~ 18,7 %. Nustatyta, kad visų tirtųjų audinių priklausomybė tarp elektrinės varžos ir skalbimo ciklų yra stipri (R^2_{KS} iki 0,96) (žr. 3.16 pav.).

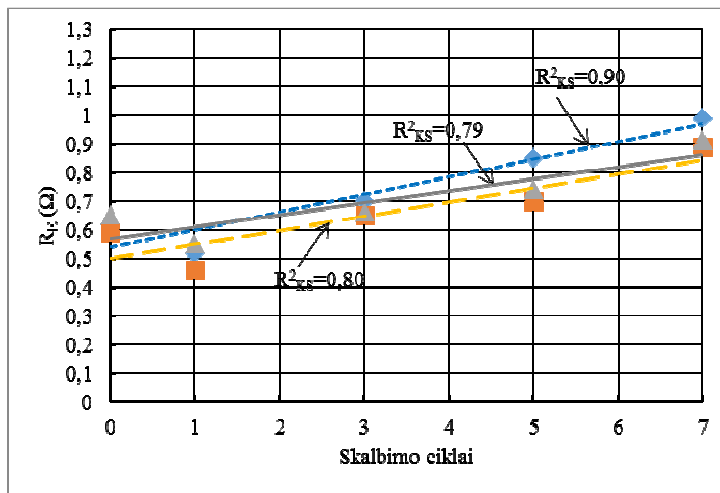
3.4 lentelė. Elementų po skalbimo procesų elektrinės varžos, lyginant su neskalbtais bandiniais, skirtumas ΔER (%)

Audinio kodas	Skalbimo ciklai	Kontūro plotis, mm, dygsnių tankumas/mm			
		6 mm 3 dygs/mm	14 mm 4,5 dygs/mm	14 mm 3 dygs/mm	14 mm 4,5 dygs/mm
A1	1	-2,5	-16,1	-24,5	-10,3
	3	23,8	12,9	-3,8	6,9
	5	40,0	37,1	22,6	34,5
	7	51,3	59,7	41,5	20,7
A2	1	-14,7	-22,0	-8,8	-8,7
	3	9,3	10,2	8,8	17,4
	5	30,7	18,6	23,5	34,8
	7	36,0	50,8	29,4	43,5
A3	1	-10,7	-15,4	-9,5	-6,1
	3	17,3	1,5	19,0	21,2
	5	33,3	13,8	28,6	33,3
	7	34,7	40,0	33,3	36,4



3.16 pav. Elektrai laidžių po eksploatacijos siuvinėtų elementų, kai kontūro plotis 6 mm ir dygsnių tankumas 3 dygs/mm, uždaros grandinės elektrinė varža R_E (Ω), čia: ◆ – audinio A1 elementai; ■ – audinio A2 elementai; ▲ – audinio A3 elementai

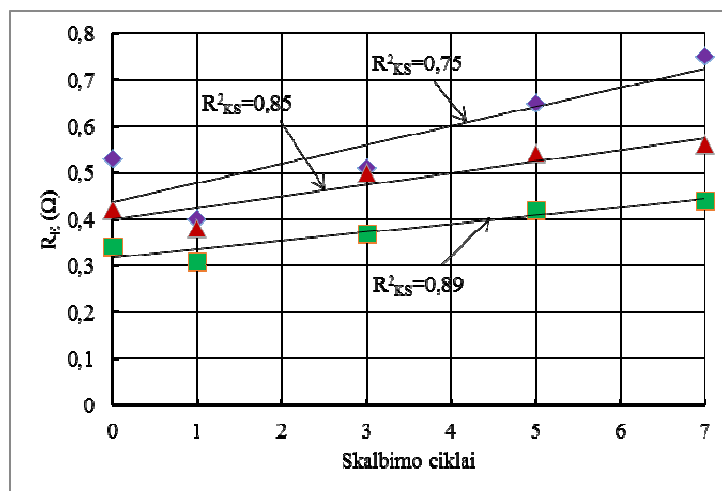
Nagrinėjant 6 mm 4,5 dygs/mm siuvinėtų elementų bandinių grupę nustatyta, kad elektrinė varža po pirmojo audinio skalbimo sumažėjo nuo ~ 15,4 % iki ~ 22 % (žr. 3.17 pav.). Nustatyta, kad po trijų skalbimo ciklų visų tirtųjų audinių elektrinės varžos pasipriešinimas elektros srovei padidėjo nuo ~ 1,5 % iki ~ 12,9 %. Analizuojant minėtų elementų bandinių grupės laidumą po penkių skalbimo ciklų gauta, kad varža padidėjo nuo ~ 13,8 % iki ~ 37,1 %. Gauti rezultatai parodė, kad po septynių skalbimų elektrinė varža tirtųjų audinių bandiniuose padidėjo iki ~ 59,7 % (žr.3.17 pav.) ir (žr.3.5 lent.).



3.17 pav. Elektrai laidžių po eksploatacijos siuvinėtų elementų, kai kontūro plotis 6 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, uždaros grandinės elektrinė varža R_E (Ω), čia: ◆ – audinio A1 elementai; ■ – audinio A2 elementai; ▲ – audinio A3 elementai

Tyrimė nustatyta elementų, kai kontūro plotis 6 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, stipri tiesinė priklausomybė tarp elektrinės varžos (R_{KS}^2 iki 0,90) (žr. 3.17 pav.) ir eksploatacijų procesų kiekio rodo, kad, didėjant eksploatacijai, elektrinis laidumas mažėja.

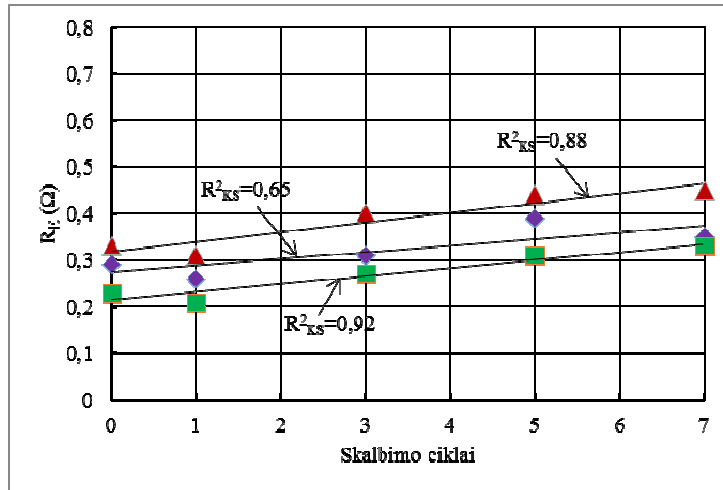
Analizuojant skalbimo ciklą įtaką siuvinėtų 14 mm kontūro pločio 3 dygs/mm tankumu išsiuvinėtų elementų elektriniam laidumui nustatyta, kad po pirmojo skalbimo tirtųjų audinių bandiniuose elektrinė varža sumažėjo nuo ~ 8,8 % iki ~ 24,5 %. Šiuo atveju nustatyta stipri tiesinė priklausomybė (R_{KS}^2 iki 0,89) tarp elektrinės varžos ir skalbimo ciklą (žr.3.18 pav.).



3.18 pav. Elektrai laidžių po eksploatacijos siuvinėtų elementų, kai kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 3 dygs/mm, uždaros grandinės elektrinė varža R_E (Ω), čia: \blacklozenge – audinio A1 elementai; \blacksquare – audinio A2 elementai; \blacktriangle – audinio A3 elementai

Tyrimė gauta, kad tirtųjų bandinių 14 mm kontūro pločio 4,5 dygs/mm tankumu elektrinė varža, kaip ir prieš tai nagrinėtose bandinių grupėse, sumažėjo. Lyginant su neeksploatuotais bandiniais gauta, kad bandiniuose elektrinė varža nuo ~ 6,1 % iki ~ 10,3 % yra mažesnė. Nustatyta, kad eksploatacijos procesai daugiausia turėjo įtakos elektrinei varžai po septintojo skalbimo proceso. Visais atvejais gauta stipri tiesinė priklausomybė (žr.3.19 pav.).

Apibendrinant galima teigti, kad atlikus tyrimus galima įžvelgti vienodas tendencijas, t. y. visose tirtose audinių bandinių grupėse po pirmojo skalbimo elektrinė varža, lyginant su neskalbtais bandiniais, sumažėjo nuo ~ 2,5 % iki ~ 24,5 %. Apibendrinant gauta, kad labiausiai eksploatacijos procesai paveikė audinio A1 6 mm kontūro pločio siuvinėtų elementų elektrinį laidumą, kur vertinant vidurkį, elektrinė varža gauta iki ~ 28,1 % didesnė (žr. 3.16 pav.). Mažiausiai eksploatacijos procesai turėjo įtakos audinio A2 bandiniams, šiuo atveju elektrinė varža vidutiniškai padidėjo iki ~ 14 %.



3.19 pav. Elektrai laidžių po eksploatacijos siuvinėtų elementų, kai kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, uždaros grandinės elektrinė varža R_E (Ω), čia: \blacklozenge – audinio A1 elementai; \blacksquare – audinio A2 elementai; \blacktriangle – audinio A3 elementai

Gauti elektrinės varžos tyrimo rezultatai rodo, kad tirtųjų audinių elektrinis laidumas kinta priklausomai nuo technologinių parametrų ir eksploatacijos proceso kiekio. Taip yra dėl to, kad tyrime bandiniai yra išsiuvinėti skirtingų 6 mm ir 14 mm kontūrų pločių ir naudojant nevienodą 3 dygs/mm ir 4,5 dygs/mm dygsnių tankumą. Taip pat bandiniai yra mechaniškai veikiami skirtingų skalbimo proceso ciklų skaičiaus, kur jie yra mirkomi su skalbimo priemonėmis, gniuždomi, sukami bei siūlų pluoštai veikiami trinties jėgų ir yra labiau deformuojami (Korunčak ir kt., 2014). Tai turi įtakos greitesniam gaminio susidėvimui (Kazlauskaitė, Dobilaitė, Jucienė, 2006). Gaminių patikimumas, t. y. konstrukcijos stabilumas, detalių mazgų ir siūlinių sujungimų stiprumas yra ypač svarbus juos eksploatuojant (Korunčak ir kt., 2014). Būtent dėl šios priežasties elektrinis laidumas po didesnio eksploatacijos ciklų skaičiaus mažėja.

Manoma, kad po pirmojo skalbimo elektrinis laidumas pagerėja dėl audinio siūlų susitraukimo. Vėliau, paveikus siuvinėtą sistemą mechaniškai, stipriau elektrinis laidumas sumažėja dėl elektra laidžių siūlų pažeidimo skalbimo metu, kurį atspindi mikroskopiniai vaizdai, pateikti 3.22 paveiksle. Tokiam elektrinio laidumo pokyčiui įtakos turėjo ir pakitusios audinių charakteristikos (žr. 3.5 lent.).

Po skalbimo proceso nustatyta, kad tirtųjų audinių tankumas padidėjo: audinio A1 metmenų siūlų ~ 17,5 %, ataudų siūlų ~ 18,2 %; audinio A2 metmenų siūlų ~ 17,8 %, ataudų siūlų ~ 17,2 %; audinio A3 metmenų siūlų iki ~ 17,9 %, ataudų siūlų ~ 26,3 %. Tirtųjų audinių elementų siūlų ilginis tankis po eksploatacijos proceso irgi nustatytas didesnis. Atitinkamai nustatyta, kad po eksploatacijos audinių ilginis tankis audinio A1 metmenų iki ~ 27 %, ataudų – iki ~ 16,2 %; audinio A2 metmenų siūlų iki 10,8 %, ataudų iki ~ 17,5 %; audinio A3 metmenų siūlų iki ~ 43,3 %, ataudų siūlų iki ~ 12 % irgi padidėjo. Tai rodo, kad po daugelio skalbimo ciklų audinio sistemos siūlai susitraukė ir tankumas padidėjo. Tirtųjų audinių sudėtyje yra

medvilnės ir poliesterio pluoštų. Poliesterinis pluoštas yra stiprus, lengvas, o medvilnės pluoštas yra natūralus, pasižymintis drėgmės absorbcija, veikiamas mechaniškai gali trauktis. Todėl, po eksploatacijos procesų audinio siūlų pluoštams susitraukus, pakinta audinių charakteristikos (Hosseinali, 2012; Gordon, Hsieh, 2007; Rudolf ir kt., 2007; Strazdienė, Gutauskas, 2003).

3.6 lentelė. Tirtųjų audinių charakteristikos po eksploatacijos procesų

Audinio kodas	Pynimas	Skalbimų ciklai	Tankumas, cm ⁻¹		Paviršinis tankis, g/m ²	Audinio tiesiniai užpildymo rodikliai		Audinio paviršiaus užpildymo rodiklis, e _s	Siūlų ilginis tankis, tex	
			P ₁	P ₂		Metmenų e ₁	Ataudų e ₂		T ₁	T ₂
A1	drobinis	-	40	22	257	0,971	0,534	0,986	37	37
		1	45	24	259	1,204	0,613	1,000	45	41
		3	45	24	262	1,218	0,644	1,000	46	42
		5	46	25	264	1,258	0,654	1,000	47	43
		7	47	26	266	1,286	0,680	1,000	47	43
A2	ruoželinis 4/1	-	45	29	287	1,092	0,732	1,000	37	40
		1	50	33	294	1,262	0,893	1,000	40	46
		3	50	33	295	1,262	0,893	1,000	40	46
		5	53	34	297	1,354	0,930	1,000	41	47
		7	53	34	301	1,354	0,930	1,000	41	47
A3	ruoželinis 3/1	-	39	19	251	0,852	0,536	0,931	30	50
		1	43	23	255	1,098	0,588	1,000	41	54
		3	44	24	258	1,138	0,710	1,000	42	55
		5	45	24	261	1,163	0,710	1,000	42	55
		7	46	24	265	1,203	0,717	1,000	43	56

Analizuojant audinių charakteristikas po eksploatacijos gauta, kad audinių paviršinis tankis po septynių skalbimo ciklų audinio A1 iki ~ 3,5 %, audinio A2 iki ~ 4,9 %, audinio A3 iki ~ 5,6 % padidėjo (žr.3.4 lent.). Tyrimais įrodyta, kad skalbimo metu tekstilinių medžiagų sandaros siūlai išbrinksta ir po to pastorėja bei pakinta jų paviršiaus charakteristikos (Kazlauskaitė ir kt., 2006; Korunčak ir kt., 2014). Tirtuoju atveju nustatyta, kad po skalbimo elektrinė varža R_{KP} padidėja, t. y. elektrinis laidumas blogėja bei pakinta audinio paviršinis tankis.

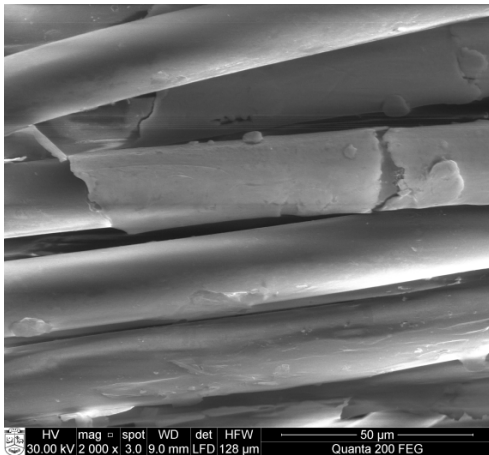
Būtina paminėti ir tai, kad po skalbimo procesų audinių užpildymo rodikliai metmenų siūlų nuo ~ 24 % iki ~ 41,2 %, ataudų siūlų nuo ~ 27 % iki ~ 33,8 % gauti didesni. Bendras užpildymo rodiklis visais atvejais gautas $e_s=1$ (žr.3.6 lent.).

Intensyvus skalbimas keičia polimerinių pluoštų išvaizdą (žr.3.20 pav.) bei fizikines savybes (Gil ir kt., 2018; Kazlauskaitė ir kt., 2006; Loss ir kt., 2018).

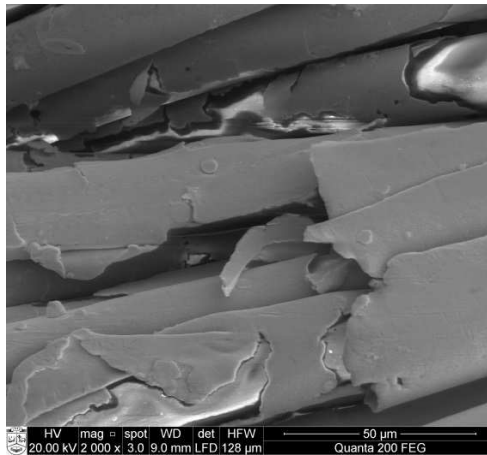
Lyginant siuvinėtų, elektrai laidžių elementų paviršiaus mikroskopinius vaizdus nuotraukose prieš skalbimą (žr.3.20 pav., a) ir po (žr. 3.20 pav. b, c, d) matomi skirtumai: po skalbimo pluoštai pabrinko, matyti ryškūs pluoštų pažeidimai, nutrūkę jų galai, išsikraipymas. Todėl galima teigti, kad eksploatacijos įtaka siuvinėtų elementų charakteristikų pokyčiams yra žymi.

Vertinant eksploatacijos veiksnių įtaką siuvinėtų elementų elektriniam laidumui yra labai svarbu įvertinti visus siuvinėjimo proceso technologinius parametrus bei suvokti elektrinio laidumo skirtumus *prieš* ir *po* skalbimo. Tyrimo rezultatai parodė, kad iš visų tirtųjų siuvinėtų elementų grupių mažiausią, teigiamą įtaką elektriniam laidumui turėjo vieno ciklo skalbimas, nes po jo visais tirtaisiais atvejais elektrinis laidumas pagerėjo (žr.3.16–3.19 pav.). Gauta, kad mažiausias pasipriešinimas elektriniam laidumui $R_E = 0,33$ (Ω) nustatytas bandinių, atliktų ant audinio A2, kurių kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm (žr. 3.20 pav.).

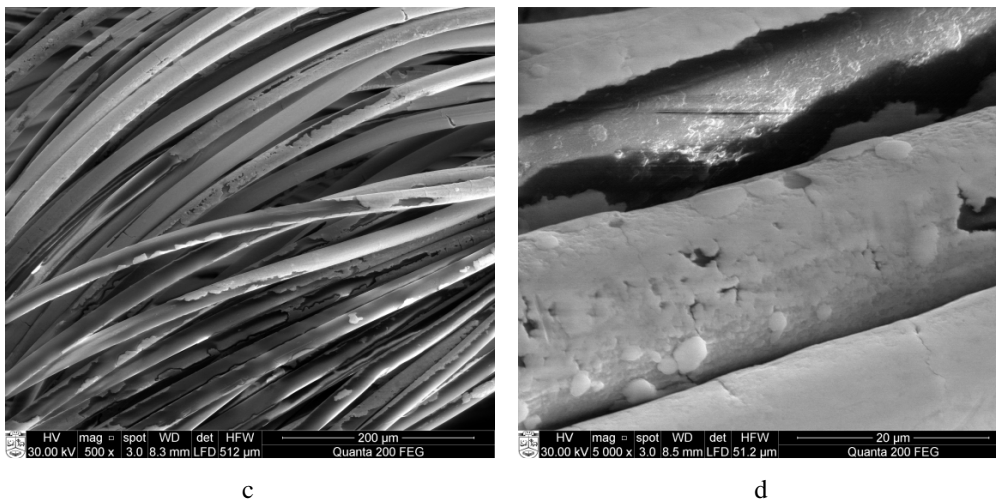
Gauti rezultatai rodo, kad neeksploatuotų elementų elektrinis laidumas gautas geresnis už elementų po 3, 5 ir 7 skalbimo ciklų (žr.3.16–3.19 pav.). Nuo skalbimo ciklų kiekio priklauso tai, kaip dažnai yra elementas veikiamas mechaninių jėgų skalbiant ir yra veikiamas drėgmės. Kuo daugiau kartų siuvinėtas elementas yra skalbiamas ir veikiamas drėgmės, tuo elemento paviršius yra daugiau veikiamas mechaniškai, todėl laidumas absorbcijai didėja, audinys traukiasi, o elektrinis laidumas mažėja. Gautus tyrimo rezultatus galima paaiškinti tuo, kad vykstant brinkimo procesui kinta audinio sandaros siūlų išsidėstymas, mechaniškai paveikti siūlai deformuojasi skirtingai (žr.3.20 pav.). Elektrai laidūs siūlai veikiami trinties jėgų yra deformuojasi ir dėl to siuvinėtų elementų sudarytoje elektrinėje grandinėje pasikeičia elektros laidumas (Gil ir kt., 2018; Loss, Goncalves ir kt., 2018; Tunak, Antoch, 2018; Tsolis ir kt., 2014; Kazlauskaitė ir kt., 2006). Todėl galima teigti, kad siuvinėtų, elektrai laidžių sistemų funkcionalumas ir kokybė priklauso nuo audinio charakteristikų.



a



b



3.20 pav. Elektrai laidžių siuvinėtų audinio A2 elementų SEM nuotraukos: a – neskalbtas bandinys; b – c – d – bandinys po 7 skalbimo ciklų

Tyrimas parodė, kad tirtųjų audinių elektrinis laidumas kinta priklausomai nuo audinio charakteristikų, technologinių parametrų ir eksploatacijos procesų kiekio. Nustatyta, kad eksploatacijos procesai daugiausia turėjo įtakos elektrinei varžai po septinto skalbimo. Daugeliu atvejų gauta stipri priklausomybė ($R^2_{KS} = 0,96$) tarp elektrinės varžos ir eksploatacijos ciklų.

Tyrimu nustatyta, kad mažiausias pasipriešinimas elektriniam laidumui $R_E = 0,33$ (Ω) nustatytas bandinių, atliktų ant audinio A2, kurių kontūro plotis 14 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm. Nustatyta, kad iš visų tirtųjų siuvinėtų elementų grupių mažiausią įtaką elektriniam laidumui turėjo vieno ciklo skalbimas, nes po jo visais tirtaisiais atvejais elektrinis laidumas pagerėjo.

Siekiant išanalizuoti eksploatacijos įtaką elektrai laidaus siuvinėto elemento kontūro pločiui CS_K , toliau tyrime išnagrinėti skalbtų bandinių kontūro pločiai CS_K , lyginant juos su išsiuvinėtais bandiniais. Grafike pateikiamas skirtumas ΔEK . Gauti rezultatai parodė, kad po skalbimo apdorojimo ciklų abiejomis metmenų ir ataudų kryptimis elemento kontūro plotis CS_K skiriasi. Svarbu tai, kad plotis CS_K , kaip ir išsiuvinėtų bandinių CS , taip ir skalbtų yra nevienodas tarp tos pačios krypties kraštinių.

Analizuojant elementų grupę, kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm ir lyginant su išsiuvinėtu bandinio dydžiu gauta, kad bandinių, atliktų ant audinio A1 ir audinio A2, kontūro plotis CS_K tiek po 1, tiek po 3 skalbimų metmenų ir ataudų kryptimis vidutiniškai gautas iki $\sim 1,7\%$ ir $\sim 2,7\%$ mažesnis. Po 5 ir po 7 skalbimo ciklų padidėjo iki $\sim 3,3\%$ (žr. 2 priedas, 2.1 – 2.2 pav.). Taigi, tos pačios grupės bandinių, atliktų ant audinio A3 kontūro plotis CS_K po 1 skalbimo sumažėjo iki $\sim 2,4\%$, po 3 skalbimų tos pačios krypties kraštinėse vienu atveju sumažėjo iki $\sim 3,4\%$, kitu padidėjo iki $\sim 1,7\%$. Po 5 ir po 7 skalbimų ciklų audinio A3 bandinių kontūro plotis CS_K padidėjo iki $\sim 3,4\%$ (žr. 2 priedas, 2.3 pav.).

Tyrimo rezultatai parodė, kad tirtųjų audinių siuvinėtų elementų grupės, kurių kontūro plotis 6 mm ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, kontūro pločio CS_K

skirtumas ΔEK , lyginant su išsiuvinėtu kontūro pločiu po 1, 3, 5 ir 7 skalbimo ciklų metmenų ir ataudų kryptimis, yra skirtingas (žr. 3 priedas, 3.1–3.3 pav.). Šiuo atveju bandinių, atliktų ant audinio A1, metmenų kryptimi padidėjo iki ~8,3 %, ataudų kryptimi skirtumas nustatytas nežymus (žr. 3 priedas, 3.1 pav.). Bandinių, atliktų ant audinio A2 po 1 ir po 3 skalbimo ciklų daugiausia vidutiniškai kontūro plotis CS_K sumažėjo iki ~1,7 % (žr. 3 priedas, 3.2 pav.). Po 5 ir po 7 skalbimų audinio A2 bandinių kontūro plotis CS_K metmenų kryptimi iki ~4,1 %, ataudų kryptimi iki ~2,5 % padidėjo (žr. 3 priedas, 3.2 pav.). Tos pačios grupės audinio A3 elementų kontūro plotis CS_K metmenų kryptimi po skalbimo ciklų vienoje kontūro kraštinėje padidėjo ~4,8 %, kitoje sumažėjo iki ~1,6 % (žr. 3 priedas, 3.3 pav., a). Ataudų kryptimi audinio A3 bandinių kontūro plotis CS_K po 1 ir po 3 skalbimų ciklų gautas iki ~3,2 % mažesnis nei išsiuvinėto kontūro plotis CS , o po 5 ir po 7 ciklų iki ~3,2 % didesnis už projektuotą (žr. 3 priedas, 3.3 pav., b).

Analizuojant sudarytų elementų charakteristikas po eksploatacijos nustatyta, kad po skalbimo ciklų skirtingų audinių rodikliai pasikeičia nevienodai (žr. 3.5 lent.).

Iš tyrimo rezultatų matyti, kad elementų siūlų tankumas po skalbimo ciklų metmenų iki ~17,9 % ir ataudų siūlų kryptimis iki ~26,3 % padidėjo. Nustatyta, kad po eksploatacijos elementų paviršinis tankis audinio A1 ~3,5 %, audinio A2 ~4,9 % ir audinio A3 ~2,8 % padidėjo (žr. 3.5 lent.). Apžvelgiant kitų mokslininkų, kuriuose aptariami skalbimo tyrimai ir jų įtaka siūlių kokybei buvo nustatyta, kad skirtingi skalbimo režimai nevienodai veikia audinių mechanines savybes ir jų struktūrą (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2007; Yildirim, 2010). Po skalbimo išryškėjantys audinių defektai yra pumpuravimasis, pluoštų išbrinkimas, traukumas, ištįsa, formos praradimas (Kazlauskaitė, Dobilaitė, Jucienė, 2006; Korunčak, Jucienė, Dobilaitė, Mackevičienė, 2014). Todėl manoma, kad metmenų kryptimi esantys medvilnės siūlai, kurių tankumas didesnis nei ataudų krypties siūlų (žr. 2.1 lent.), po skalbimo išbrinko stipriau, todėl padidėjo siuvinėto elemento plotis. Skalavimo proceso metu audinių pluoštai brinksta, dėl to pasikeičia jų tankumas, audinio paviršinis tankis, užpildymo rodikliai, ilginis tankis ir kt. Tirtųjų audinių bandinių prieš eksploataciją sandaros rodikliai yra skirtingi ir po 1, 3, 5 ir 7 skalbimų ciklų jie kito nevienodai, todėl nevienodas gautas elementų kontūro pločio skirtumas ΔEK .

Palyginus tirtųjų audinių vienodo kontūro pločio 6 mm ir skirtingo tankumo bandinių grupių gautus kontūro pločio CS_K rezultatus su išsiuvinėtu kontūro pločiu matyti, kad didžiausias nuo ~1,1 % iki ~8,3 % skirtumas nustatytas audinio A1 bandinių, metmenų kryptimi, po 7 skalbimo ciklų (žr. 3 priedas, 3.1 pav., 4 priedas, 4.1 pav.). Itin ryškus audinio A1 kontūro pločio CS_K padidėjimas iki ~8,3 % matyti didesnio 4,5 dygs/mm tankumo bandinių grupėje metmenų siūlų kryptimi (žr. 3 priedas, 3.1 pav., a). Tirtuoju atveju audinio A1 siūlų tankumas metmenų kryptimi (40 cm^{-1}) yra didesnis ~55 % už ataudų (22 cm^{-1}) krypties siūlus, todėl tai turi įtakos jų deformacijų pobūdžiui kai jie bringsta (Bačkauskaitė, Daukantienė, 2007; Yildirim, 2010; Parkova ir kt, 2012).

Apibendrinant galima teigti, kad artimiausias kontūro plotis CS_K siuvinėtam kontūro pločiui CS gautas elementų, atliktų ant audinio A2 ir A3, metmenų kryptimi

po 1 ir 3 skalbimo ciklų (žr. 4 priedas; 4.1 pav., a; 5 priedas; 5.1 pav., a). Mokslininkų tyrimai parodė, kad nevienodų pynimų tekstilės medžiagų, kurių metmenų ir ataudų siūlų ilginis tankis, tankumas, užpildymo rodikliai, tūsumas, anizotropijos laipsnis ir kt. charakteristikos skiriasi, kad ryškesnės deformacijos po eksploatacijos daugiau išryškėja audiniuose, kurių pynimai paprastesni ir paviršinis tankis mažesnis, siūlai plonesni (Korunčak, ir kt., 2014; Rogina-Car, Brnada ir Kovačević, 2012). Deformuojant, tempiant, gniuždant tekstilines medžiagas kryptimi, kuri nesutampa su jų struktūrą sudarančių siūlų kryptimi, pirmiausiai jie pradeda tįsti dėl šlyties reiškinių, kai keičiasi kampas tarp metmenų ir ataudų siūlų, o vėliau siūlai persiorientuodami pakinta (Audzevičiūtė-Liutkienė ir kt., 2018; Klevaitytė, Masteikaitė, 2008). Todėl tyrime elementų kvadrato kraštinės, jų kontūro plotis CS_K po eksploatacijos galėjo įsigaubti, išsigaubti, įlinkti ar susitraukti ir dėl to plotis CS_K gautas nevienarūšis, pasižymintis nestabilumu.

Nagrinėjant siuvinėtų kontūro pločio 14 mm ir 3 dygs/mm dygsnių tankumo grupės elementų kontūro plotį CS_K , lyginant jį su siuvinėto elemento kontūro pločiu CS gauta, kad bandinių, atliktų ant audinio A1 ataudų kryptimi, po 1 ir 3 skalbimo ciklų kontūro plotis CS_K sumažėjo iki ~ 1,4 %, po 5 ir 7 skalbimo ciklų padidėjo iki ~ 1,4 % (žr. 4 priedas, 4.1 pav. b). Pastebėta tai, kad kontūro pločio CS_K skirtumas, lyginant su išsiuvinėto kontūro pločiu metmenų kryptimi, labiausiai pakito po 7 skalbimo ciklų, gautas didesnis iki ~ 2,1 % (žr. 4 priedas, 4.1 pav., a).

Nustatyta, kad audinio A2 bandinių, kai siuvinėto elemento kontūro plotis 14 mm ir 3 dygs/mm, dygsnių tankumas po 1, 3 ir 5 skalbimo ciklų abiejomis audinio siūlų kryptimis kontūro plotis CS_K vidutiniškai sumažėjo iki ~ 2,1 %. Po 7 skalbimų kontūro plotis CS_K pakito nežymiai, iki ~ 0,6 % (žr. 4 priedas, 4.2 pav.). Analizuojant tos pačios grupės bandinių, atliktų ant audinio A3 kontūro pločio CS_K rezultatus nustatyta, kad po visų skalbimo ciklų, abiejomis audinio siūlų kryptimis plotis CS_K , lyginant jį su išsiuvinėtu kontūro pločiu CS , sumažėjo nuo ~ 0,7 % iki ~ 4,3 % (žr. 4 priedas, 4.3 pav.).

Audinio A1 bandinių 14 mm kontūro pločio grupėje, kai dygsnių tankumas didesnis 4,5 dygs/mm, išskalbtu elemento kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK , lyginant su išsiuvinėtu kontūro pločiu, padidėjo iki ~ 2,1 % audinio metmenų kryptimi ir ataudų kryptimi plotis padidėjo iki ~ 2,2 %. Gauti rezultatai parodė, kad audinio A1 bandinių didesni pločio CS_K pasikeitimai yra po 5 ir 7 skalbimo ciklų (žr. 5 priedas, 5.1 pav.).

Nustatyta, kad audinio A2 bandinių 6 mm kontūro pločio grupėje, kai dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm, išskalbtu elemento kontūro plotis CS_K , lyginant su išsiuvinėtu kontūro pločiu metmenų ir ataudų kryptimis, po 1 ir 3 skalbimo ciklų daugiausia sumažėjo iki ~ 2,1 %, o po 5, 7 ciklų padidėjo iki ~ 0,7 % (žr. 5 priedas, 5.2 pav.).

Tiriant audinio A3 išskalbtus bandinius 14 mm kontūro pločio grupėje, kai dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm gauta, kad po eksploatacijos procesų metmenų ir ataudų kryptimis plotis CS_K dažniausiai gautas nuo ~ 1,5 % iki ~ 4,2 % mažesnis už išsiuvinėto elemento kontūro plotį CS (žr. 5 priedas, 5.3 pav.).

Palyginus visų tirtųjų audinių po eksploatacijos 14 mm kontūro pločio grupes, kai dygsnių tankumas 3 dygs/mm ir 4,5 dygs/mm tyrimo rezultatus tarpusavyje ir su

išsiuvinėtu dydžiu nustatyta, kad metmenų kryptimi audinio A2 bandinių plotis CS_K labiausiai artimas projektuotam dydžiui (2–5 priedai). Gauta, kad iš visų tirtųjų audinių minėtuose 14 mm kontūro grupėse daugiausia neatitinkantys išsiuvinėto elemento plotį CS yra bandiniai, atlikti ant audinio A3.

Palyginus visų keturių nagrinėtų, išskalbtų siuvinėtų elementų grupių rezultatus gauta, kad daugeliu atvejų kontūro plotis CS_K , audinio siūlų metmenų kryptimi gaunamas didesnis nei išsiuvinėtas dydis ir artimesnis projektuotam (žr. 2–5 priedai). Nustatyta, kad po eksploatacijos procesų, mažiausias pločio CS_K skirtumas yra bandinių grupėje, kur elemento plotis 6 mm, tankumas 3 dygs/mm. Daugiausia po 5 ir 7 skalbimo ciklų, kontūro plotis CS_K daugiau nutolsta nuo išsiuvinėto kontūro pločio CS.

Skalbimas yra labai dažnas ir svarbus procesas, taikomas įvairiems tekstilės gaminiams valyti ar apdailai. Skalbiant dėl drėgmės sugerties pluoštai brinksta ir kinta jų audinio sandara, fizikinės, mechaninės savybės. Audinių drėgmės absorbcijos, išgarinimo reiškiniai ir struktūros pokyčiai yra glaudžiai tarpusavyje susiję (Bačkauskaitė, Daukantiene, 2007; Yildirim, 2010; Petrulytė, Baltakytė, 2009). Atliktame tyrime analizuojami skirtingų pynimų audiniai iš 65 % PES ir 35 % medvilnės. Medvilnės pluoštą sudaro 95–96 % celiuliozės, kurios polimerizacijos laipsnis yra apie 10 000, o kristališkumo laipsnis yra ne mažesnis kaip 65–70 %. Pluoštas pasižymi pakankamu stiprumu, drėgmės sugertimi ir kt. (Gordon, Hsieh, 2007; Hosseinali, 2012). Deformuojant pluoštus ar iš jų sudarytą tekstilės konstrukciją, dalis sunaudotos energijos sukaupiama tamprumu, kita dalis išsisklaido panašiai kaip klampiuosiuose skysčiuose ir yra negrįžtama. Todėl manoma, kad po skirtingų skalbimo ciklų pluoštai išbringsta nevienodai. Esant didesniai skalbimo ciklų skaičiui pluoštų skersmuo didėja, jie išbringsta labiau, sandara plečiasi (Nergis, Beceren, 2008; Truncytė, Gutauskas, 2006; Parkova, Vališevskis ir kt., 2012). Tirtuoju atveju po 7 skalbimų vidutiniškai kontūro plotis CS_K tirtųjų audinių padidėjo nuo ~2,2 % iki ~4,1 %.

Svarbu paminėti tai, kad siuvinėjimo proceso metu pasitaikė elektrai laidžių siūlų sidabro gijos trūkinėjimų. Siuvimo metu siūlai patiria visą kompleksą poveikių: suspaudimą, sukimą, tempimą, gniuždymą, lenkimą ir kt., kurie lemia jų struktūros bei fizikinių ir mechaninių savybių pasikeitimus (Radavičienė, Jucienė, 2012; Rudolf ir kt., 2007; Rudolf, Geršak, 2007). Eksploatacijos metu vyksta įvairūs dinaminiai tempimai, kur siuvinėta sistema deformuojasi ir prisilenka, joje tiesinasi makrostruktūros perdangos, didėja statmenos tempimo krypties, medžiagos siūlų rangytumas ir prasideda siūlų tūsumo procesas (Ujhelyiova, ir kt., 2007; Parkova ir kt., 2012; Rudolf, ir kt., 2007, Rudolf, Geršak, 2007) Iš analizės matyti, kad tyrinėjant eksploatacijos veiksnių įtaką elektrai laidžių siuvinėtų sistemų formos tikslumui, svarbu tinkamai parinkti optimalų elemento formos dydį, technologinio proceso parametrus ir įvertinti naudojamų audinių ir siūlų mechanines ir fizikines charakteristikas. Remiantis atlikta analize siuvinėtus, itin tikslus aukštos kokybės ir elektrai laidžius elementus rekomenduotina sudaryti parenkant audinius, kuriems būdingos stabilumo, atsparumo eksploatacijai savybės, kurių paviršinis tankis ir siūlų tankumas didesni bei užpildant siuvinėjimo plotą naudoti tankesnius siuvinėjimo dygsnius.

Atlikta analizė parodė, kad siuvinėto elemento kontūro pločiui CS_K labiausiai įtakos turi didesnis skalbimų skaičius ir didesnio tankumo dygsnių taikymas. Kai siuvinėtas elementas atliktas didesnio 4,5 dygs/mm tankumo dygsniais, dauguma atvejų kontūro plotis CS_K po eksploatacijos procesų gautas metmenų kryptimi didesnis už suprojektuotą dydį, o ataudų kryptimi gautas įvairus. Apibendrinant gauta, kad artimiausias kontūro plotis CS_K siuvinėtam kontūro pločiui CS gautas elementų, atliktų ant audinio A2 metmenų kryptimi po 1 ir 3 skalbimo ciklų. Eksploatacijos metu siuvinėtos sistemos yra veikiamos įvairiomis audinio kryptimis viso komplekso mechaninių jėgų skalbiant išbringsta, dėl to pakinta negrįžtamai jų paviršius, forma, savybės.

Tyrimas parodė, kad po eksploatacijos elektrai laidžių siuvinėtų elementų elektrinis laidumas ir kontūro plotis, esant nevienodoms eksploatacinėms sąlygoms yra skirtingas ir kinta priklausomai nuo technologinio režimo parametrų, elemento dydžio parinkimo ir audinio krypties. Tyrime nustatytas labai glaudus ryšys tarp elektrinės varžos ir eksploatacijos ciklų, kai koreliacijos koeficientas iki $R^2_{KS} = 0,96$ rodo, kad elementų elektriniam laidumui daro įtaką eksploatacijos procesai. Atlikta analizė parodė, kad stipresnis elementų elektrinis laidumas ir elementų kontūro pločio CS_K artimesnis dydis projektuotam nustatytas ant elementų, atliktų ant audinio A2, kurio užpildymo rodikliai metmenų kryptimi iki $\sim 28\%$, ataudų kryptimi iki $\sim 37\%$, o bendras e_s nuo $\sim 1,4\%$ iki $\sim 6,9\%$ didesni nei kitų tirtųjų audinių ir dėl to šio audinio elementų funkcionalumo ir geometrinių parametrų po eksploatacijos proceso rodikliai geriausi.

IŠVADOS

1. Atlikta rezultatų analizė parodė, kad siuvinėtų elementų ilgis ir plotis esant vienodomis sąlygoms skiriasi priklausomai nuo užpildymo tipo ir siuvinėto elemento krypties audinio atžvilgiu. Kai siuvinėtas elementas yra atliktas užpildymo tipu *Z*, visais atvejais ilgis gautas mažesnis nei suprojektuoto elemento ilgis (iki ~ 1,7 %), o siuvinėjant užpildymo tipu *T*, siuvinėto elemento ilgis gaunamas didesnis nei suprojektuotas (iki ~ 1,5 %).
2. Nustatyta, kad išsiuvinėto *Z* ir *T* užpildymo tipais elemento plotis, lyginant su projektuoto elemento pločiu, nėra vienodas ir gali skirtis nuo ~ 5 % iki ~ 20 %. Visais tirtaisiais atvejais siuvinėtų elementų plotis gautas mažesnis nei suprojektuotas elemento plotis. Daugeliu atvejų siuvinėjant užpildymo tipu *T*, siuvinėto elemento plotis gaunamas artimesnis projektuotam nei siuvinėjant užpildymu tipu *Z*.
3. Tyrime gauta stipri tiesinė priklausomybė (R^2_{Gr} iki ~ 0,99) tarp siuvinėto elemento pločio ir siuvinėjimo greičio. Apibendrinant gauta, kad ant tankesnio, didesnio paviršinio tankio audinio A2 atliktų bandinių, siuvinėtų elementų ilgis ir plotis gauti artimesni projektuotam dydžiui nei elementų, atliktų ant kitų audinių.
4. Nustatyta, kad yra stiprus ryšys tarp audinio užpildymo rodiklių ir siuvinėto elemento kontūro pločio pokyčio. Gauta tiesinė atvirkštinė priklausomybė (R^2 iki ~ 0,80) parodė, kad technologiniai parametrai ir audinių struktūros savybės sąlygoja siuvinėtų elementų sistemų reakciją į išorinį poveikį ir tikslumą. Artimiausias suprojektuotam dydžiui siuvinėto elemento kontūro plotis gautas audinio A2, esant siuvinėjimo greičiui 1200 aps/min ir siuvinėjant užpildymo tipu *T* metmenų kryptimi.
5. Nustatyta, kad uždaro kontūro kvadrato formos tirti geometriniai parametrai: išorinis ir vidinis pločiai, audinio siūlų sistemos atžvilgiu yra skirtingi. Tyrimu nustatyta, kad nepriklausomai nuo kontūro pločio, abiejomis audinio siūlų kryptimis siuvinėto elemento išorinis plotis visais atvejais ties kraštinių kampais siauresnis nei ties kraštinių viduriu ir neatitinka projektuoto dydžio iki ~ 6,5 %.
6. Išanalizuoto siuvinėtų uždaro kontūro elementų matavimo metodo, taikomo geometrinių parametrų tyrimui patikimumas tiesiogiai siejamas su matavimo neapibrėžtimi, kuri objektyviai atspindi dedamųjų verčių sklaidą. Nustatyta, kad esant apibrėžtomis medžiagų charakteristikoms šiuo metodu, skirtu išsiuvinėto kontūro pločiui matuoti nuo 6 iki 22 mm, būdinga neigiama paklaida ~ 2,4 % su išplėstine neapibrėžtimi ~ 3,3 %.
7. Kombinuotų, standartinių neapibrėžties komponentų poveikio matavimo rezultatui analizė parodė, kad ypatingas dėmesys turi būti skiriamas bandinio paruošimui ir siuvinėto uždaro kontūro elemento pločio matavimui, priklausomai nuo medžiagos siūlų orientacijos krypties. Šios neapibrėžties dedamosios vidutiniškai sudaro apie ~ 65 % bendro standartinio neapibrėžtumo.

8. Nustatyta, kad po pirmojo skalbimo siuvinėtų elementų elektrinė varža, lyginant su neskaltbtais bandiniais, sumažėjo nuo ~ 2,5 % iki ~ 24,5 %, o po trijų, penkių ir septynių skalbimų elementų elektrinė varža padidėjo iki ~ 28,1 %. Visais atvejais gauta stipri tiesinė priklausomybė (R_{KS}^2 iki ~ 0,96) tarp elektrinės varžos ir eksploatacijos ciklų parodo, kad, esant didesniai skalbimo ciklų skaičiui, elektrinis laidumas sumažėja.
9. Išanalizavus elementų funkcionalumą ir jų geometrinių parametrų tikslumą nustatyta, kad mažiausia elektrinė varža 0,23 (Ω) ir artimiausias kontūro plotis projektuotam dydžiui (~ 1,8 % didesnis) gauti, kai elementų kontūro plotis 14 mm ir tankumas 4,5 dygs/mm. Tyrimas parodė, kad siuvinėtų elementų funkcionalumui ir geometriniams parametrams daro įtaką tie patys technologinio proceso veiksniai, šiuo atveju kontūro plotis ir dygsnio tankumas.
10. Tyrime didžiausias elektrinis pralaidumas nustatytas, kai kontūro plotis yra didesnis (14 mm) ir dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm. Stipri tiesinė priklausomybė (R_K^2 iki ~ 0,81) tarp audinio užpildymo rodiklių ir elektrinės varžos rodo, kad elementų funkcionalumui audinių charakteristikos turi didelę reikšmę.
11. Atlikta analizė parodė, kad po eksploatacijos stipriausias elementų elektrinis laidumas ir artimiausias kontūro pločio dydis projektuotam gautas elementų, atliktų ant audinio A2, kurio užpildymo rodikliai metmenų kryptimi iki ~ 28 %, ataudų kryptimi iki ~ 37 %, bendras užpildymo rodiklis nuo ~ 1,4 % iki ~ 6,9 % didesni nei kitų tirtųjų audinių ir dėl to šio audinio elementų funkcionalumo ir geometrinių parametrų po eksploatacijos proceso rodikliai geriausi.
12. Tyrimas parodė, kad tikslioms, elektrai laidžioms siuvinėtoms sistemoms gauti, rekomenduotina daugiau naudoti tankesnių dygsnių užpildymo tipą. Kai siuvinėtų elementų plotas užpildytas didesnio tankumo 4,5 dygs/mm dygsniu ir kontūro pločiai 6 mm, 14 mm – visais atvejais elektrinis laidumas didesnis nei elementų, užpildytų 3 dygs/mm tankumu. Gauti rezultatai parodė, kad siuvinėtų 14 mm kontūro pločio elementų uždaro siuvinėtos grandinės laidumas gautas nuo ~ 34 % iki ~ 61 % didesnis kaip 6 mm kontūro pločio elementų laidumas. Šiuo atveju elektrinė varža nustatyta nuo 0,59 Ω iki 0,80 Ω .
13. Atsižvelgiant į tyrimų rezultatus rekomenduojama siuvinėtus elementus, kuriems reikalingas didelis tikslumas, atlikti ant tankių audinių, turinčių didesnius užpildymo rodiklius (rekomenduojama artimus 0,9–1 užpildymo rodikliui). Tankesniuose audiniuose, turinčiuose didesnius užpildymo rodiklius, išvengiama audinio gniuždymo tarp adatos dūrių siuvinėjimo siūlais apribotoje erdvėje ir audinio siūlų persislinkimo vienas kito atžvilgiu, todėl užtikrinamas siuvinėto elemento kontūro pločio sumažėjimas lyginant su suprojektuotu.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. AKERFELDT, M., LUND, A., and WALKENSTROM, P. Textile sensing glove with piezoelectric PVDF fibers and printed electrodes of PEDOT:PSS. *Textile Research Journal*. 2015, 85(17), 1789-1799.
2. ANGELOVA, R. A., SOFRANOVA, D., and NIKOLOVA, V. A Case Study on the Defects in Industrial Manufacturing of Embroidered. *Textiles. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*. (JMEST). 2016, 3(12) 6373-6376. ISSN: 2458-9403.
3. ANMOL NONWOVEN. Embroidery Backing Non Woven Cotton Fabric. internetinis puslapis. [interaktyvus, žiūrėta: 2017-10-15]. Prieiga per internetą: <http://www.cottonnonwoven.com/index.html>.
4. AUDZEVIČIŪTĖ-LIUTKIENĖ, I., MASTEIKAITĖ, V., JUCIENĖ, M., SACEVIČIENĖ, V., and DOVILAITĖ, V. Investigation of knitted fabrics and the deformation of their assemblies by the Y-shaped specimen method. *Textile Research Journal*. 2018, 88(18), 20193-2103. DOI: 10.1177/0040517517716901.
5. BAČKAUSKAITĖ, D., and DAUKANTIENĖ, V. Investigation of Wear Behaviour of Sewn Assemblies of Viscose Linings with Different Treatment. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2011. 17(2), 155-159. ISSN 1392–1320.
6. BAČKAUSKAITĖ, D., and DAUKANTIENĖ, V. Investigation of Wear Behaviour of Sewn Assemblies of Viskose Linings. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2011, 17(2), 155-159.
7. BAČKAUSKAITĖ, D., and DAUKANTIENĖ, V. The change of seams' slippage during their exploitation *Baltic Polymer Symposium*. 2007, pp. 161-165.
8. BAILIE, B.D. Adjustable embroidery design system and method", 2007198119, p. 25. TPKind.: D05C5/02 – Patent No. US2007198119 A [žiūrėta: 2017-10-20]. Prieiga per internetą: www.google.com/patents/US20070198119?dq=4US2007198119
9. BAŠKIENĖ, S., Jucienė, M., Dobilaitė, V. Research on Embroidery Puckering. *Journal of Young Scientists*, 2006, 3 (10), 86-91.
10. BEKAMPIENĖ, P., and DOMSKIENĖ, J. Analysis of Fabric Specimen Aspect Ratio and Deformation Mechanism during Bias Tension. *Materials Science (Medžiagotyra)* 2009, 15(2), 167-172.
11. BEKAMPIENĖ, P., and DOMSKIENĖ, J. Influence of Stitching Pattern on Deformation Behaviour of Woven Fabric during Forming. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2010, 6 (3), 226-230.
12. BERGLUND, ME., DUVAL, J., and SIMON, C, et al. Surface-mount component attachment for e-textiles. In: *proceedings of ACM international symposium on wearable computers, Osaka, Japan, 7–11 September*. New York: ACM. 2015, pp. 65-66.
13. BERTCHE, B. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering–Determination of Component and System Reliability. *Springer- Verlag Berlin Heidelberg*. 2008, p 49.

14. BHATIA, A. Enchanting embro-ideries of bhuj. *Unpublished Master's Dissertation. De-partment of Fabric and Apparel Science, Lady Irwin College, University of Delhi.* 2013.
15. BRIEDIS, U., VALIŠEVSKIS, A., and GRECKA, M. Development of a Smart Garment Prototype with Enuresis Alarm Using an Embroidery-Machine-Based Technique for the Integration of Electronic Components. *Procedia Computer Science.* 2017, 104, 369-374.
16. CHAURAYA, A., SEAGER, R., WHITTOW, W., ZHANG, S., and VARDAXOGLU, Y. Embroidered Frequency Selective Surfaces on Textiles for Wearable Applications. *Loughborough Antennas & Propagation Conference. 11-12 November 2013, Loughborough, UK.* 2013, 388-391.
17. CHEN, L. F., NEO, C. P., et al. Microwave electronics: Measurement and materials characterization. *Chichester John Wiley & Sons Ltd,* 2004.
18. CHEN, X., LIU, A., WEI, Z., and et al. Experimental study on strain reliability of embroidered passive UHF RFID textile tag antennas and interconnections. *J Eng. Epub ahead of print 2 February.* Article 8493405, 2017, pp. 1-7 DOI: 10.1155/2017/8493405.
19. CHEN, X., UKKONEN, L., and VIRKKI, J. Reliability evaluation of wearable radio frequency identification tags: Design and fabrication of a two-part textile antenna. *Textile Research Journal* 2018, 0(00), 1-12.
20. CHERENACK, K., ZYSSET, C., KINKELDEI, T., et al. Woven electronic fibers with sensing and display functions for smart textiles. *Adv Mater.* 2010; 22, 5178-5182.
21. CHERNENKO, D. A. Systematization of Design Parameters for Automated Embroidery and Modeling of Deformation System of "Fabric-Embroidery" *Ph. D. Thesis Orel, Russia,* 2006, p. 132.
22. CHOWDHARY, U., and POYNOR, D. Impact of Stitch Density on Seam Strength, Seam Elongation, and Seam Efficiency. *International Journal of Consumer Studies.* 2006, 30(6), 561-568.
23. COOSEMANS, J., HERMANS, B., and PUERS, R. Integrating wireless ECG monitoring in textiles. *Sensors Actuators A.* 2006, 130, 48-53.
24. DARGIENĖ, J., DOMSKIENĖ, J., and GULBINIENĖ, A. Peculiarities of specimen preparation for the investigation of woven structure deformations using image analysis. *Mater Sci* 2013, 19, 73-77.
25. DARGIENĖ, J., DOMSKIENĖ, J., and GULBINIENĖ, A. Peculiarities of Specimen Preparation for the Investigation of Woven Structure Deformations using Image Analysis. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA).* 2013, 19(1), 74-77. ISSN 1392-1320.
26. DAUKANTIENĖ, V., and LAURINAVIČIŪTĖ, I. The synergism of design and technology for the optimization of embroidery motifs in clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology.* 2013, 25(5), 350-360.
27. DIAS, T., and MONARAGALA, R. Development and analysis of novel electroluminescent yarns and fabrics for localized automotive interior illumination. *Text Res J.* 2012, 82, 1164-1176.

28. DOBILAITĖ, V., JUCIENĖ, M. Evaluation of Seam Pucker Using Shape Parameters. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2010, 16(2), 154-158.
29. DOBILAITĖ, V., JUCIENĖ, M. Influence of Sewing Machine Parameters on Seam Pucker. *Tekstil*. 2007, 56(5), 286-292.
30. DOMSKIENĖ, J., and STRAZDIENĖ, J. Investigation of fabric shear behaviour // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2005, Vol. 13, no. 2. p. 26-30. ISSN 1230-3666.
31. DOMSKIENĖ, J., and STRAZDIENĖ, J. Shearing behaviour of technical textiles. *Materials science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania*. 2002, 8(4), 489-494. ISSN 1392-1320.
32. DOMSKIENĖ, J., STRAZDIENĖ, E., and DAPKŪNIENĖ, K. The Evaluation of Technical Textiles Shape Stability by Image Analysis *Material Science (Medžiagotyra)*. 2002, 8(3), 304-311.
33. EJEIMI, S., SPARKS, D., YAN, R. N. Revival of Hejaz embroidery: a collaborative design process engaging Saudi female academics. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2018, 22(2), 138-156.
34. EVALUATION OF MEASUREMENT DATA — Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, JCGM 2008, p. 134.
35. FAIRHURST, C. Advances in apparel production. *Cambridge: Woodhead Publishing, CRC Press*, 2008, p. 311.
36. FISHMAN, G. S. *Monte Carlo: Concepts, Algorithms, and Applications*. New York: Springer. 2003.
37. FRASER., C. G. General strategies to set quality specifications for reliability performance characteristics. *Published online: 08 Jul. 2009*, 487-490.
38. FRAUNHOFER IZM. Stretchable electronic systems. internetinis puslapis. [interaktyvus, žiūrėta: 2018-01-17]. Prieiga per internetą: http://www.izm.fraunhofer.de/en/abteilungen/system_integrationsinterconnectionstechnologies/arbeitsgebiete/system-in-packagebysubstrateintegration/stretchable-electronics.html
39. GAN, L., and LY, N. G. A Study of Fabric Deformation Using Nonlinear Finite Element. *Textile Research Journal*. 1995, 65(11), 185-196.
40. GHOLMY, S; BONDOK, N., and GEIHEINI, A. Optimization of Embroidery Design on Denim Fabrics. *5th International Textile, Clothing & Design Conferencen Zagreb, 3-6 October*. 2010, pp. 821-826.
41. GIL, I., FERNANDEZ-GARCIA, R., and TORNERO, J. A. Embroidery manufacturing techniques for textile dipole antenna applied to wireless body area network. *Textile Research Journal*. 2018, 0(00) 1-9.
42. GILLOW, J. *Textiles of the Islamic World, Thames and Hudson, New York, NY*. 2010.
43. GINESTED, G., BRECHET, N., TORRES, T., et al. Embroidered antenna-microchip interconnections in passive UHF RFID textile tags. *IEEE Antennas Wireless Propagat Lett*. 2017, 16, 1205-1208.

44. GORDON, S., and HSIEH, T. L. Cotton– Science and Technology. *The textile Institute*. 2007, 528-537
45. GURARDA, A., and MERIC, B. The Effects of Elastane Yarn Type and Fabric Density on Sewing Needle Penetration Forces and Seam Damage of PET/Elastane Woven Fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2007, 15(4), 73-76
46. HE, H., CHEN, X., UKKONEN, C., and VIRKKI, J. Textile-integrated three-dimensional printed and embroidered structures for wearable wireless platforms. *Textile Research Journal*. 2018, 0(00) 1-10.
47. HEO, E., CHOI, K. Y., KIM, J., and et al. A wearable textile antenna for wireless power transfer by magnetic resonance. *Text Res J*. 2017,8, 913-921.
48. HOSSEINALI, F. A. Thesis. Investigation on the Tensile Properties of Individual Cotton. *Hirsutum L. FibersTexas Tech University, Farzad Hosseinali, August*. 2012, 1-76.
49. HU, L., PASTA, M., MANTIA, F. L., and et al. Stretchable, porous, and conductive energy textiles. *Nano Lett*. 2010, 10, 708-714.
50. JEONG, M. J., PARK, K., BAEK, J. J., KIM, S. W., and KIM, Y. T. Wireless charging with textiles through harvesting and storing energy from body movement. *Textile Research Journal*. 2018, 0(00), 1-7. DOI: 10.1177/0040517518760759.
51. JIA, X., TENNANT, A., LANGLEY, R. J., et al. Moisture effects on a knitted waveguide. In: *2016 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC), Loughborough, UK*, New York: IEEE 14–15. 2016, 1-3.
52. JING, L., CHEN, Z., and GE, M. Computer-aided design of luminous fiber embroidered fabric and characterization of afterglow performance. *Textile Research Journal*. 2016, 86(11), 1162-1170.
53. JUCIENĖ, M., DOBILAITĖ, V. Seam Pucker Indicators and their Dependence upon the Parameters of a Sewing Machine *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2008, 20(4), 231-239.
54. JUCIENĖ, M., RADAVIČIENĖ, S., SACEVIČIENĖ, V., ADAŠKEVIČIUS, R., and PETRAITIENĖ, S. The research on surface non-uniformity of textile systems *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2016, 28(1), 36-46.
55. KAZLAUSKAITĖ, G., DOBILAITĖ, V., and JUCIENĖ, M. Influence of Industrial Washing on Denim Properties *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2006, 12(4), 355-359.
56. KIOURTI, A. Fabrication of Textile Antennas and Circuits With 0.1 mm Precision. *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*. 2016, 15, 151-153.
57. KIOURTI, A., and VOLAKIS, J. . High-accuracy conductive textiles for embroidered antennas and circuits. *IEEE Antennas Wireless Propag. Conf.*, 19-24 July. 2015. INSPEC Accession Number: 15555361. DOI: 10.1109/APS.2015.7304985.
58. KLEVAITYTĖ, R., and MASTEIKAITĖ, R. Anisotropy of woven fabric deformation after stretching”, *Fibres & Textiles in Easten Europe*. 2008, 16(3), 52-56.
59. KORUNČAK, I., JUCIENĖ, M., DOBILAITĖ, V., MACKEVIČIENĖ, E. I. Influence of Industrial Washing and Cyclic Fatigue on Slippage of Linen Fabric Threads along

- the Seam. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2014, 20(1), 79-83. ISSN 1392-1320.
60. KUBILIUS, J. Tikimybių teorija ir matematinė statistika. Vilnius, Mokslas, 1980.
 61. KUO, C. F. J., and JUANG, Y. A study on the recognition and classification of embroidered textile defects in manufacturing. *Textile Research Journal*. 2016, 86(4) 393-408.
 62. KUO, C. F. J., HSU, C. T. M., CHEN, W. H., et al. Automatic detection system for printed fabric defects. *Text Res J*. 2012, 82, 591-601.
 63. KUO, C. F. J., SHIH, CY., and et al. Application of computer vision in the automatic identification and classification of woven fabric weave patterns. *Text Res J*. 2010, 80, pp. 2144-2157.
 64. LI, X., JIANG, H., and NAM, K. M. Adaptation in cultural industry under conservation pressure: case study of two Chinese embroidery clusters. *International Journal of Cultural Policy, Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group*. 2018, 1-22.
 65. LINZ, T., VIEROTH, R., DILS, C., et al. Embroidered interconnections and encapsulation for electronics in textiles for wearable electronics applications. *Adv Sci Technol*. 2008, 60, 85-94.
 66. LONG, F., ZHANG, XD., BJORNINEN, T and et al. Implementation and wireless readout of passive UHF RFID strain sensor tags based on electro-textile antennas. *In: 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisbon, Portugal, 13-17 April 2015*, pp. 1-5. New York: IEEE.
 67. LOO, C. H., ELMAHGOUB, K., YANG, F., et al. Chip impedance matching for UHF RFID tag antenna design. *Prog Electromagn Res Symp*. 2008, 81, 359-370.
 68. LOSS, C., GONCALVES, R., PINHO, P., and SALVADO, R. Influence of some structural parameters on the dielectric behavior of materials for textile antennas. *Textile Research Journal*. 2018, 0(00), 1-13.
 69. LST EN 1049-2:1998. Textiles – Woven Fabrics – Construction – Methods of Analysis – Part 2: Determination of Number of Threads per Unit Length.
 70. LST EN ISO 3801:1998. Textiles. Woven Fabrics. Determination of Mass per Unit Length and Mass per Unit Area. LST EN ISO 5084:2000. Textiles – Determination of thickness of textiles and textile products
 71. MALESZKA, T., and KABACIK, P. Bandwidth properties of embroidered loop antenna for wearable applications. *In Proceedings of the 3rd European Wireless Technology Conference, Paris, France, 27-28 September*. 2010, pp. 89-92.
 72. MEŠKUOTIENĖ, A., DARGIENĖ, J., and DOMSKIENĖ, J. Metrological performance of the digital image analysis method applied for investigation of textile deformation. *Textile Research Journal*. 2015, 85(1), 71-79.
 73. MIKHAJLOVICHM, I. O. Razvitie teorii i te Bondokhnologii proizvodstva elektroflokirovannykh tekstil'nykh materialov. Dissertation. St. Petersburg, 2008. [interaktyvus, žiūrėta 2017-05-15]. Prieiga per internetą: <http://www.dissercat.com/content/razvitie-teorii-i-tekhnologii-proizvodstva-elektroflokirovannykh-tekstilnykh-materialov>

74. MILAŠIUS, V. An Integrated Structure Factor for Woven fabrics. Part I: Estimation of the Weave. *The Journal of the Textile Institute*, Part 1, vol. 91, No. 2 (2000), p. 268-276. Part II: The fabric – firmness Factor. *The Journal of the Textile Institute*. 2000, 91(1), 277-283.
75. МИХАЙЛОВИЧМ, И. О Развитие теории и технологии производства электрофлорированных текстильных материалов. *Ученая степень: Санкт-Петербург*. 2008. p. 407. Prieiga per internetą: [žiūrėta 2017-05-15] <http://www.dissercat.com/content/razvitie-teorii-i-tehnologii-proizvodstva-elektroflokirovannykh-tekstilnykh-materialov>.
76. MONGAN, W., ANDAY, E., DION, G., et al. A multi-disciplinary framework for continuous biomedical monitoring using low-power passive RFID-based wireless wearable sensors. *In: 2016 IEEE International Conference on Smart Computing, MO, USA*, New York: IEEE. 18–20 May 2016, pp. 1-6.
77. MURAMATSU, D., KOSHIJI, F., KOSHIJI, K., et al. Input impedance analysis of wearable antenna and its experimental study with real human body. *In: IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Nevada, USA*, 10–13 January. New York: IEEE. 2014, pp. 151-152.
78. NAMIRANIAN, R., NAJAR, S. S., ETRATIL, S. M., and MANICH, A. M. Seam slippage and seam strength behavior of elastic woven fabrics under static loading. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. Vol. 39, September 2014, pp. 221-229.
79. NAUJOKAITYTĖ, L., and STRAZDIENĖ, E. Investigation of textile fabrics behavior under compression. *Materials science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania*. 2007, 13(4), 2007, 337-342. ISSN 1392-1320.
80. NAUJOKAITYTĖ, L., and STRAZDIENĖ, E. The effect of finishing upon textile mechanical properties at low loading. *Materials science = Medžiagotyra / Kaunas University of Technology, Academy of Sciences of Lithuania*. 2007b, 13(3), 249-254. ISSN 1392-1320.
81. NEGRU, D., BUDA, C. T., and AVRAM, D. Electrical Conductivity of Woven Fabrics Coated with Carbon Black Particles. *Fibers & Textiles in Eastern Europe*. 2012, 20 (1(90)), 53-56.
82. NERGIS, B. U., BECEREN, Y. Visual Evaluation of the Surface of Tencel/Cotton Blend Fabrics in Production and Cleaning Processes *Fibres&Textiles in Eastern Europe*. 2008, 3(68), 39-43.
83. NIKITIN, P. V., and RAO, K. V. S. Antennas and propagation in UHF RFID systems. *In: IEEE International conference on RFID, Nevada, USA*, New York: IEEE. 16–17 April 2008, pp. 2747-2288.
84. PARASKEVOPOULOS, A., FONSECA, D., SEAGER, R., et al. Higher mode textile patch antenna with embroidered vias for on-body communication. *IET Microwaves Antennas Propag*. 2016; 10, 802-807.
85. PARKOVA, I., VALIŠEVSKIS, A., VRIEDIS, U., and VILUMSONE, A. Design of Textile Moisture Sensor for Enuresis Alarm System. *Material Science. Textile and Clothing Technology*. 2012, 7, 44-49.

86. PAVLINIČ, D. Z., and GERŠAK, J. Investigations of the Relation Between Fabric Mechanical Properties and Behaviour *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2003, 15 (3/4), 231-240.
87. PETRULYTĖ, S., and BALTAKYTĖ, R. Static Water Absorption in Fabrics of Different Pile Height *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. Vol 17 No 3 (74) 2009, 60-65.
88. PINAR, A., and MICHALAK, L. Influence of Structural Parameters of Wale-Knitted Fabrics on their Electrostatic Properties. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006, 5 (59), 69-74.
89. POCIENĖ, R., and VITKAUSKAS, A. Inverse Stress Relaxation in Textile Yarns After the Blockage of Viscoelastic Recovery. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2007. 13(3), 240-244. ISSN 1392-1320.
90. POST, E. R., ORTH, M., RUSSO, P. R., and GERSHENFELD, N. E-broidery: Design and fabrication of textile-based computing. *IBM Syst. J.* 2000, 39, 840-860.
91. QIMING, T., YUPIN, L., and DONGCHENG, H. Spiral-fashion embroidery path generation in embroidery CAD systems. *Computer-Aided Design*. 2006, 38, 125-133.
92. RADAVIČIENĖ, S., and JUCIENĖ, M. Buckling of the woven fabric inside an embroidered element. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*. 2013, 62, 3, 187-192.
93. RADAVIČIENĖ, S., and JUCIENĖ, M. Influence of Embroidery Threads on the Accuracy of Embroidery Pattern Dimensions. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2012, 20, 3(92), 92-97.
94. RADAVIČIENĖ, S., and JUCIENĖ, M. Investigation of Mechanical Properties of Embroidery Threads. *5th International Textile, Clothing & Design Conference Zagreb, 3 – 6 October*. 2010, pp. 494-499.
95. RADAVIČIENĖ, S., JUCIENĖ, M., JUCHNEVIČIENĖ, Ž., ČEPUKONĖ, L., KLEVECKAS, T., and NARVILIENĖ, V. The influence of the properties of embroidery threads on buckling of fabric inside of the embroidered element. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2012, 18(4), 373-378.
96. RADAVIČIENĖ, S., JUCIENĖ, M., JUCHNEVIČIENĖ, Ž., ŽEPUKONĖ, L., VILUMSONĖ, A., BRIEDIS, U., and BALTINA, I. Analysis of Shape Nonconformity between Embroidered Element and Its Digital Image. *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2014, 20(1), 84-89. ISSN 1392-1320.
97. ROGINA-CAR, B., BRNADA, S., and KOVAČEVIĆ, S. Impact of Fabric Weave and Density on Thread Slippage in Sticked Seam *6th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles*. 2012, pp. 412-416.
98. ROH, J. S. All-fabric interconnection and one-stop production process for electronic textile sensors. *Textile Research Journal*. 2017, 87(12), 1445-1456.
99. ROH, J. S., CHI, Y. S., LEE, J. H., et al. Embroidered wearable multiresonant folded dipole antenna for FM reception. *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*. 2010, 9, 803-806.
100. ROH, J. Textile touch sensors for wearable and ubiquitous interfaces. *Text Res J*. 2014, 84, 739-750.

101. RUDOLF, A., and GERŠAK, J. Influence of Sewing Speed on the Changes of Mechanical Properties of Differently Twisted and Lubricated Threads during The Process of Sewing. *Tekstil*. 2007, 56 (5), 271-277.
102. RUDOLF, A., GERŠAK, J., UJHELYIOVA, A., and SFILIGOJ SMOLE, M. Study of PES Sewing Thread Properties. *Fibers and Polymers*. 2007, 8(2), pp. 212-217.
103. SACEVIČIENĖ, V., and MASTEIKAITĖ, V. Effects of coated fabrics structural characteristics on their tensile properties. *Baltic textile & leather: international conference*, September 11-12, 2003, Kaunas-Vilnius, Lithuania: proceedings. Kaunas: Technologija. 2003, pp.70-75. ISBN 9955-09-479-6.
104. SAKALAUSKAS, L., and VAIČIULYTĖ, I. Estimation of skew *t*-distribution by the Monte-Carlo Markov chain approach. *Proceedings of 11th International Conference „Stochastic Modeling Techniques and Data Analysis“*. 2010, 747-753.
105. SALVADO, R., LOSS, C., GONCALVES, R. et al. Textile materials for the design of wearable antennas: a survey. *Sensors*. 2012, 12, 15841-15857.
106. SANTO, M. D., LIGUORI, C., and SANTO, A. P. Uncertainty Characterization in Image-Based Measurements: A Preliminary Discussion. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 2000, 49(5), pp. 1101-1107.
107. SEGALO, P. Women speaking through embroidery: using visual methods and poetry to narrate lived experiences. *Taylor & Francis Qualitative Research in Psychology*. 2018, 15(2/3), 298-304. DOI: 10.1080/14780887.
108. SHAFI, A; YOSOUF, K; SCHACHER, L., and ADOLPHE, D.C. Effect of stitch density on shear properties of embroidered metallic circuit & impact of pressure on sensor during movement. *ITC&DC: 6th International Textile Clothing & Design Conference - Magic World of Textiles, October 7-10, 2012, Dubrovnik, Croatia*. 2012, pp. 424-429.
109. SHAN H.Y.J.S.C., and YONG C.J. An algorithm of finding path of embroider suture needle. *Chin J Comput*. 2003, 9. 025.
110. SHARMA, G., and BHAGAT, S. Revivol of Toda Embroidery-Needlecraft of Nilgiris. *Jurnal Sositoknologi*. 2018, 17(1), 1-13.
111. SOFLY GROUP, SHENZHEN WANYANG TECHNOLOGY CO., LTD internetinis puslapis. [Žiūrėta: 2017-07-03]. Prieigga per internetą: <http://www.wonyo.com/headneedlecomputerhighspeed-p279.html>.
112. SHERIEN, N., and KATEB, E. An investigation of Factors affect Ends-down Rate in Embroidery Machine. *J Am Sci*. 2015, 11(6),39-42. ISSN: 1545–1003.
113. SHIH, C. Y., JEFFREY KUO, C. F., and CHENG, J. H. A study of automated color, shape and texture analysis of Tatami embroidery fabrics. *Textile Research Journal*. 2016. 86(17), 1791-1802. DOI: 10.1177/0040517515609253 trj.sagepub.com
114. SHUAIB, D., UKKONEN, L., VIRKKI, J., and et al. The possibilities of embroidered passive UHF RFID textile tags as wearable moisture sensors. *In: IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, Perth, Australia, 2–4 April. New York: IEEE. 2017, pp. 1-5.

115. SOFRANOVA, D., and ANGELOVA, R. A. Classification of the embroidery defects *Proceedings of 21st Int. Conf. of the Faculty of Power Engineering and Power machines, Sozopol, Bulgaria, 13-16 September II*. 2016, pp. 196-201.
116. STRAZDIENĒ, E., and GUTAUSKAS, M. Behavior of Stretchable Textiles with Spatial Loading. *Textile Research Journal*. 2003, 73(6) 530-534. ISSN 0040-5175.
117. STRAZDIENĒ, E., BLAŽEVIČ, P., VEGYS, A., and DAPKŪNIENĒ, K. New tendencies of wearable electronics application in smart clothing. *Electronics and Electrical Engineering = Электроника и электротехника = Elektronika ir elektrotechnika*. 2007, 1(73), 21-24. ISSN 1392-1215.
118. TAO, X. Smart fibers, fabric and clothing. *The Textile Institute: Woodhead Publishing Limited*, 2000. p. 316.
119. TAVER, P. F., KOŠIR, S., and CSISZAR, E.. Properties of differently printed and easy-care finished linen fabrics *Coloration Technology*. 2010, pp. 194 – 199.
120. Technical training on traceability and uncertainty in metrology using reference materials. *Regional Programme on Quality Assurance. PRAQ III*. 1997.
121. TRUNCYTE, D., and GUTAUSKAS, M. The Influence of the Technological Treatment Regime on the Mechanical Properties of Textile Fabrics *Materials Science (Medžiagotyra)*. 2006, 12(4), 350-354. ISSN 1392-1320.
122. TSOLIS, A, WHITTOW, W, G; ALEXANDRIDIS, A, A., and VARDAXOGLU, J, C. Embroidery and Related Manufacturing Techniques for Wearable Antennas: Challenges and Opportunities. *Electronics*. 2014, 3, 314-338.
123. TUNAK, M., ANTOCH, J. Monitoring homogeneity of textile fiber orientation. *Textile Research Journal*. 2018, 88(11), 1226-1243.
124. UJEVIC, D., ŠAJATOVIC, B. B., DOLEŽAL, K., HRŽENJAK, R., and WADSWORTH, L. Influence of Sewing Needle Penetration Force on the Quality of Knitted Garment Beltwide Cotton Conferences Nashville, Tennessee 8 – 11 January. 2008, pp. 1812-1821.
125. URBELIS, V., PETRAUSKAS, A., and GULBINIENĒ, A. Influence of Hygrothermal Treatment on the Stress Relaxation of Clothing Fabrics' Systems *MATERIALS SCIENCE (MEDŽIAGOTYRA)*. 2008, 14(1), 69-74.
126. VAN-DAELE, P., MOERMAN, I., and DEMEESTER, P. Wireless body area networks: status and opportunities. *In: general assembly and scientific symposium (URSI GASS), Beijing, China, New York: IEEE*. 16–23 August. 2014, pp.1-4.
127. VARNAITĒ, S., VITKAUSKAS, A., ABRAITIENĒ, A., RUBEŽIENĒ, V., and VALIENĒ, V. The Features of Electric Charge Decay in the Polyester Fabric Containing Metal Fibres. *Materials science (Medžiagotyra)*. 2008, 14 (2), 157-161.
128. VIRILI, M., Rogier, H., Alimenti, F., et al. Wearable textile antenna magnetically coupled to flexible active electronic circuits. *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*. 2014, 13, 209-212.
129. WANG, J., LIU, J., VIRKKI, J., et al. Brush-painting and photonic sintering of copper and silver inks on cotton fabric to form antennas for wearable UHF RFID tags. *Textile Research Journal* 2016, 86(15) 1616–1624. DOI: 10.1177/ 0040517515596969.

130. WEINBERG, G., ORTH, M., and RUSSO, P. The Embroidered Musical Ball: A Squeezable Instrument for Expressive Performance Conference on Human Factors in Computing Systems/ *CHI '00 extended abstracts on Human factors in computing system. The Hague, The Netherlands*, 2000, pp. 283-284. [žiūrēta 2016 m. kovo 15 d]. Prieiga per internetą: <http://citeseerx.ist.psu.edu/>.
131. YAMAHA, K. Embroidery data creation apparatus and storage medium storing embroider data creation program 20090453829, *TPKind.: D05C5/02 Patent No. US2009299518 A*. 2009, pp. 24. [žiūrēta: 2017-05-18]. Prieiga per internetą: www.google.com/patents/US20090299518?dq=US2009299518&hl=lt&sa=X&ei=45gtJUtWsIumB4ATqsYH4AQ&ved=40CDgQ6AEwAA.
132. YILDIRIM, K. Predicting Seam Opening Behavior of Woven Seat Fabrics *Textile Research Journal*. 2010, 80(5), 472-480.
133. ZABETAKIS, D., DINDERMAN, M., and SCHOEN, P. Metal-Coated Cellulose Fibers for Use in Composites Applicable to Microwave Technology. *Advanced Materials*. 2005, 17(6), 734-738.
134. ZHANG, S., CHAURAYA, A., WHITTOW, W., SEAGER, R., ACTI, T., DIAS, T., and VARDAXOGLU, Y. Embroidered Wearable Antennas Using Conductive Threads with Different Stitch Spacings. *Loughborough Antennas & Propagation Conference; 12-13 November 2012, Loughborough, UK*. 2012, pp. 1-6.
135. ZHENG, Y. L., DING, X. R., POON, C. C. et al. Unobtrusive sensing and wearable devices for health informatics. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2014, 61, 1538-1554.

**MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS DISERTACIJOS TEMA,
DALYVAVIMAS KONFERENCIJOSE**

Clarivate Analytics Web of Science pagrindinio sąrašo leidiniuose

1. Juchnevičienė, Žaneta; Meškuotienė, Asta; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija. The evaluation of the uncertainty of the research method on the geometrical parameters of the embroidery elements. The Journal of The Textile Institute, 0 (2017), © 2018 The Textile Institute. ISSN: 0040-5000 (Print) 1754-2340 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/tjti20>
2. Juchnevičienė, Žaneta; Briedis, Ugis; Vališevskis, Aleksandrs; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija. Electrical conductivity of a closed-circuit embroidery element // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Tallinn : Estonian Academy Publishers. ISSN 1736-6046. eISSN 1736-7530. 2018, vol. 67, iss. 2, p. 158-164. DOI: 10.3176/proc.2018.2.07. [DB: Conference Proceedings Citation Index - Science (Web of Science); Science Citation Index Expanded (Web of Science); Scopus] [M.kr.: 08T]
3. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija; Gulbinienė, Ada. The research on the accuracy of the geometrical parameters of the closed-circuit embroidery element // Materials science = Medžiagotyra. Kaunas : KTU. ISSN 1392-1320. eISSN 2029-7289. 2018, vol. 24, iss. 4, p. 453-459. DOI: 10.5755/j01.ms.24.4.18843.
4. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija; Radavičienė, Svetlana. Analysis on the conformity between the closed-circuit embroidery elements of different widths and the digitally designed elements // Autex research journal. Warsaw : De Gruyter. ISSN 1470-9589. eISSN 2300-0929. 2018, vol. 00, p. 1-7. DOI: 10.1515/aut-2018-0047.
5. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. The research on the width of the closed-circuit square-shaped embroidery element // Materials science = Medžiagotyra. Kaunas : KTU. ISSN 1392-1320. eISSN 2029-7289. 2017, Vol. 23, iss. 2, p. 186-190. DOI: 10.5755/j01.ms.23.2.16095.

**Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose
Konferencijų pranešimų medžiagoje**

1. Juchnevičienė, Žaneta; Briedis, Ugis; Vališevskis, Aleksandras; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija. Influence of technological factors on geometrical parameters of electrical conductive embroidered element // Mechanika 2018: proceedings of the 23rd international scientific conference, 18 May 2018, Kaunas University of Technology, Lithuania / Kaunas University of Technology, Lithuanian Academy of Science, IFTOMM National Committee of Lithuania, Baltic Association of Mechanical Engineering. Kaunas : Kaunas University of Technology. ISSN 1822-2951. 2018, p. 62-67. [M.kr.: 02T]

2. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija; Radavičienė, Svetlana. The research and the assessment of the speed of the embroidery process on the quality of the embroidery element // *Mechanika 2017* : proceedings of the 22nd international scientific conference, 19 May 2017, Kaunas University of Technology, Lithuania / Kaunas University of Technology, Lithuanian Academy of Science, IFTOMM National Committee of Lithuania, Baltic Association of Mechanical Engineering. Kaunas : Kaunas University of Technology. ISSN 1822-2951. 2017, p. 159-165. [M.kr.: 08T]

3. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. Investigation of the influence of embroidery process speed on the embroidered element width // *Magic world of textiles [elektroninis išteklius]: 8th international textile clothing & design conference*, October 2-5, 2016, Dubrovnik, Croatia : book of proceedings / University of Zagreb. Faculty of Textile technology. Zagreb : University of Zagreb. ISSN 1847-7275. 2016, p. 297-302. Prieiga per internetą: <<http://itcdc.ttf.unizg.hr/>> [žiūrėta 2016-10-10]. [M.kr.: 08T]

4. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. The influence of technological factors on embroidered elements length // *AUTEX 2016 [elektroninis išteklius]* : proceedings of the 16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia / University of Ljubljana. Faculty of Natural Sciences and Engineering. Ljubljana : University of Ljubljana, 2016. ISBN 9789616900171. p. 1-7. [M.kr.: 08T]

Dalyvavimas konferencijose

1. Tarptautinė konferencija „Advanced materials and technologies:20th international conference-school“ 27-31 August 2018, Palanga, Lithuania. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė. The Analysis of the Peculiarities of the Functionality and Applicability of the Electrically Conductive Embroidery Systems.

2. Tarptautinė konferencija „Advanced materials and technologies :20th international conference-school“ 27-31 August 2018, Palanga, Lithuania. Žaneta Juchnevičienė¹, Asta Meškuotienė², Milda Jucienė, Vaida Dobilaitė, Virginija Sacevičienė. The Evaluation of the Uncertainty of the Research Method on the Geometrical Parameters of the Embroidery Elements.

3. Tarptautinė konferencija „Mechanika-2018“ 23th International Conference on May 18, 2018, Druskininkai, Lithuania. Conference Proceedings. Žaneta Juchnevičienė, Ugis Briedis, Aleksandrs. Vališevskis, Milda Jucienė, Vaida Dobilaitė, Virginija Sacevičienė. Influence of Technological Factors on Geometrical Parameters of Electrical Conductive Embroidered Element.

4. Tarptautinė konferencija „Baltic polymer symposium 2017“, Tallinn, Estonia, 20-22 September. Juchnevičienė, Žaneta; Briedis, U.; Vasilevskis, A.; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija. Investigation of electrical conductivity of closed-loop embroidered element // *Baltic polymer symposium 2017 [elektroninis išteklius]* : Tallinn, Estonia, 20-22 September, 2017 / Co-organized by Tallinn University of Technology and COST action CA15107. Tallinn : TTU. 2017, p. 62.

5. Tarptautinė konferencija „Advanced materials and technologies :19th international conference-school“ 27-31 August 2017, Palanga, Lithuania. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Dobilaitė, Vaida; Sacevičienė, Virginija. Analysis and evaluation of closed-loop-shaped embroidered element.
6. Tarptautinė konferencija „Mechanika-2017" 22th International Conference May 19, 2017, Birštonas, Lithuania. Žaneta JUCHNEVIČIENĖ, Milda JUCIENĖ, Vaida DOBILAITĖ, Virginija SACEVIČIENĖ, Svetlana RADA VIČIENĖ. The Research and the Assessment of the Speed of the Embroidery Process on the Quality of the Embroidery Element” Conference Proceedings.
7. Tarptautinė konferencija „Magic world of textiles [elektroninis išteklius]: 8th international textile clothing & design conference, October 2-5, 2016, Dubrovnik, Croatia Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. Investigation of the influence of embroidery process speed on the embroidered element width.
8. Tarptautinė konferencija „Advanced materials and technologies: 18th international conference-school, 27-31 August 2016, Palanga, Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. The research on the compliance of the closed circuit embroidery element with the digitally designed one.
9. Pasaulinė konferencija „AUTEX 2016“:16th world textile conference, 8-10 June 2016, Ljubljana, Slovenia. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda; Radavičienė, Svetlana. The influence of technological factors on embroidered elements length.
10. Tarptautinė konferencija „ ,Advanced materials and technologies:17th international conference-school“ 27-31 August 2015 Palanga, Lithuania. Juchnevičienė, Žaneta; Jucienė, Milda. The Research of Evaluation of Embroidery Electro – Active Textile Materials.

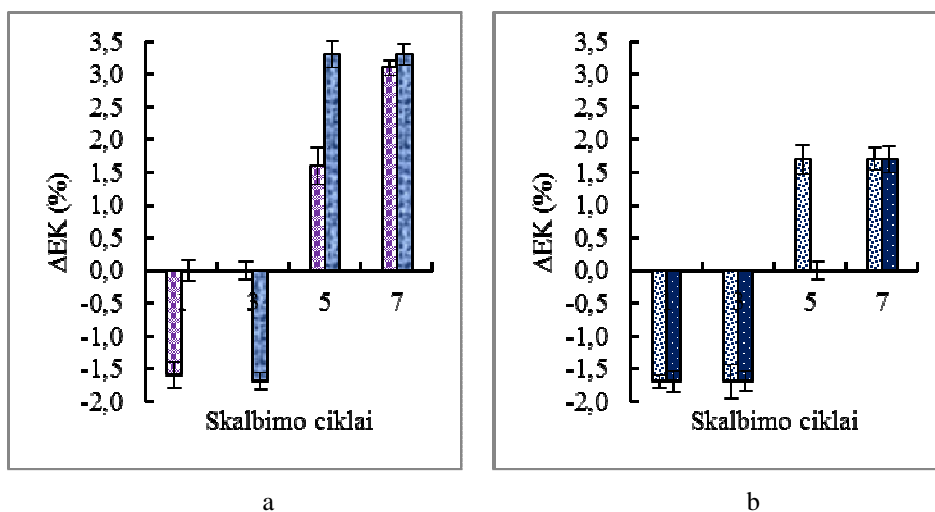
PRIEDAI

1 PRIEDAS (Eksploatacijos veiksnių įtakos siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniam parametrams analizė, siuvinėtų elementų elektrinė varža prieš R (Ω) ir po eksploatacijos procesų R_E (Ω))

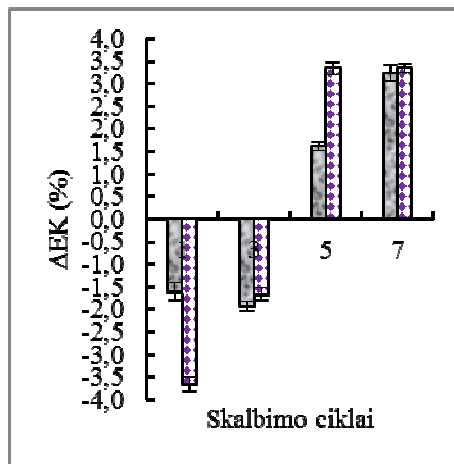
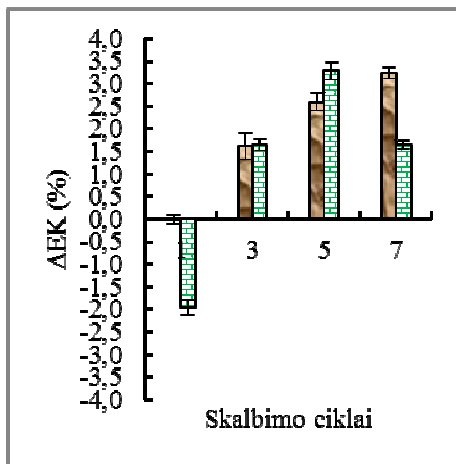
1.1 lentelė. Siuvinėtų elementų elektrinė varža prieš R (Ω) ir po eksploatacijos procesų R_E (Ω)

Audinio kodas	Skalbimo ciklai	Kontūro plotis, mm, dygsnių tankumas/mm			
		6 mm 3 dygs/mm	6 mm 4,5 dygs/mm	14 mm 3 dygs/mm	14 mm 4,5 dygs/mm
A1	-	0,8	0,62	0,53	0,29
	1	0,78	0,52	0,4	0,26
	3	0,99	0,7	0,51	0,31
	5	1,12	0,85	0,65	0,39
	7	1,21	0,99	0,75	0,35
A2	-	0,75	0,59	0,34	0,23
	1	0,64	0,46	0,31	0,21
	3	0,82	0,65	0,37	0,27
	5	0,98	0,7	0,42	0,31
	7	1,02	0,89	0,44	0,33
A3	-	0,75	0,65	0,42	0,33
	1	0,67	0,55	0,38	0,31
	3	0,88	0,66	0,5	0,4
	5	1	0,74	0,54	0,44
	7	1,01	0,91	0,56	0,45

2 PRIEDAS (Eksplotacijos veiksnių įtakos siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniam parametrams analizė, elementų kontūro plotis 6 mm dygsnių tankumas 3 dygs/mm)



2.1 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A1 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
 ■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD

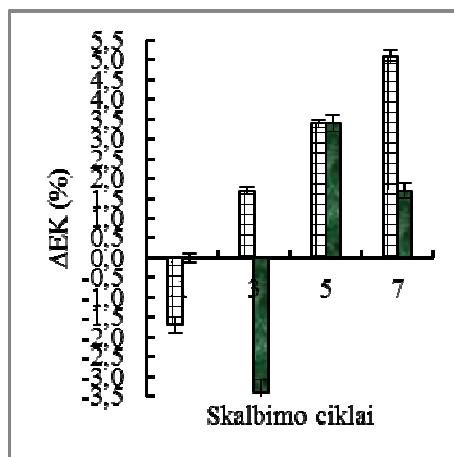
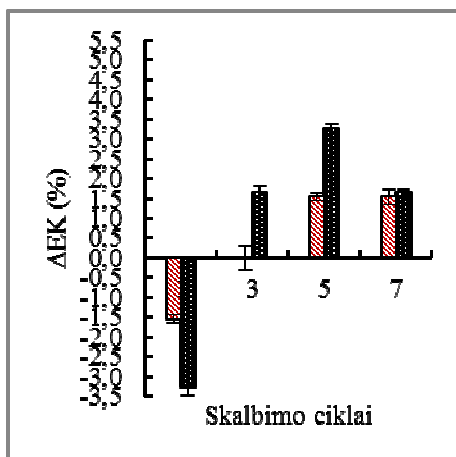


a

b

2.2 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A2 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi

■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD



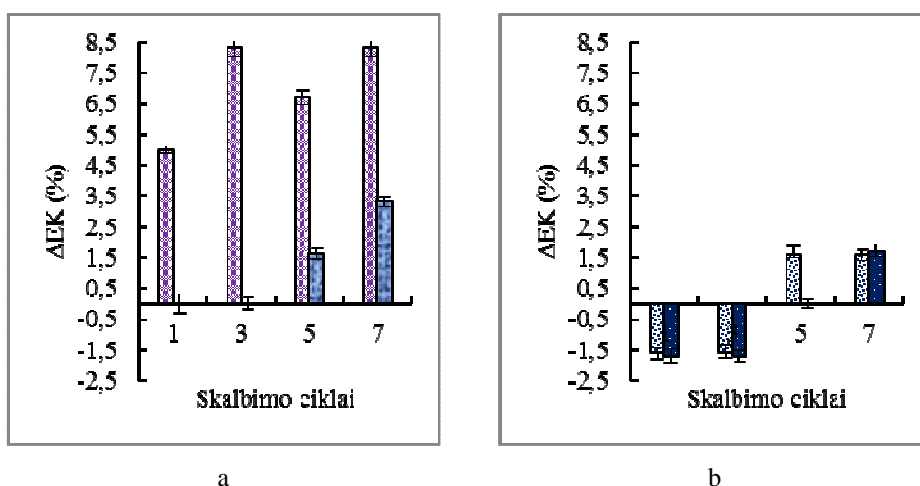
a

b

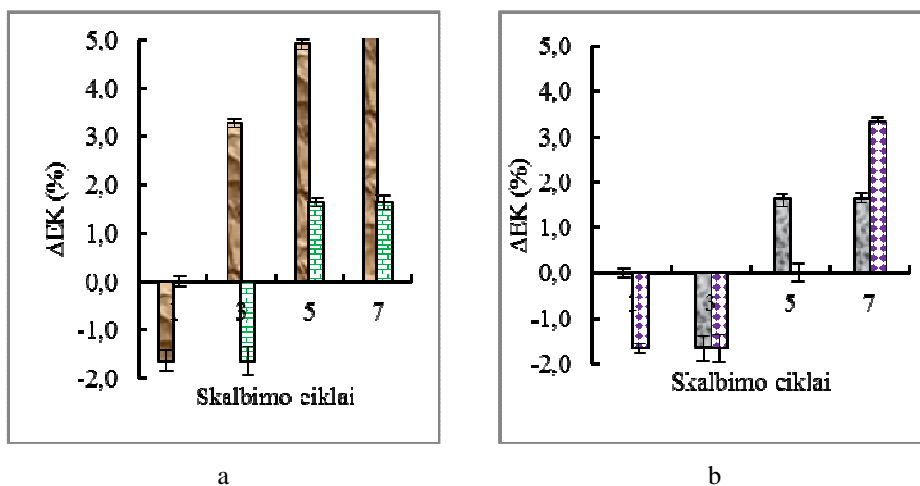
2.3 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A3 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi

■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD

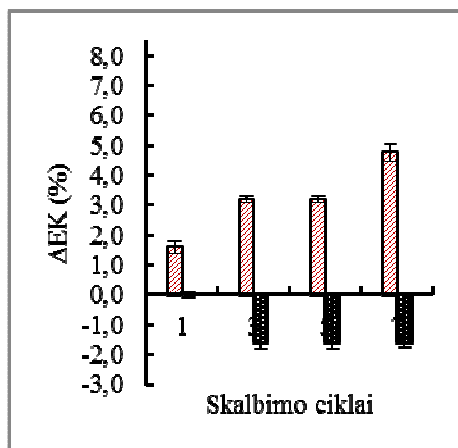
3 PRIEDAS (Eksplotacijos veiksnių įtakos siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniams parametrams analizė, elementų kontūro plotis 6 mm dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm)



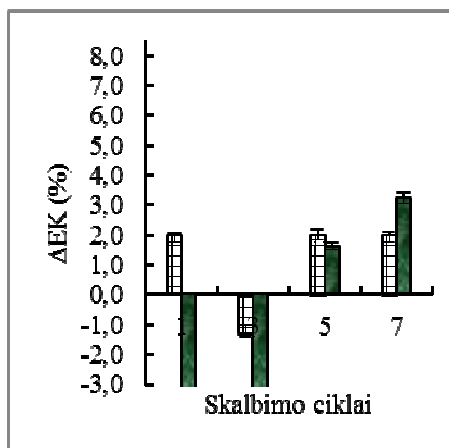
3.1 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A1 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD



3.2 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A2 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD



a

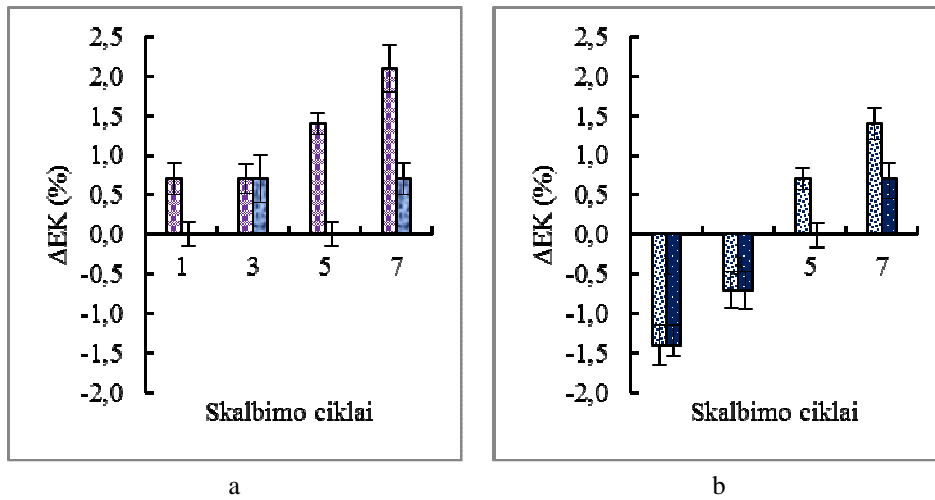


b

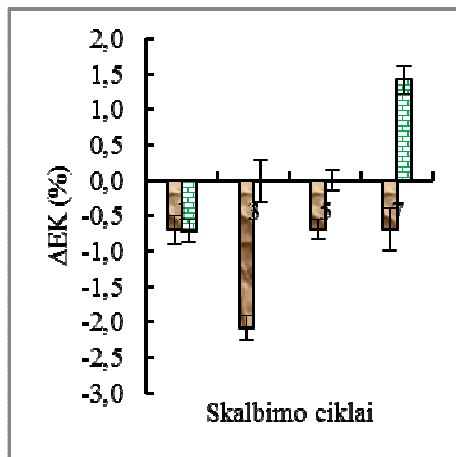
3.3 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A3 kai kontūro plotis 6 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi

▨ – elemento kraštinė BC; ▩ – elemento kraštinė AD; □ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD

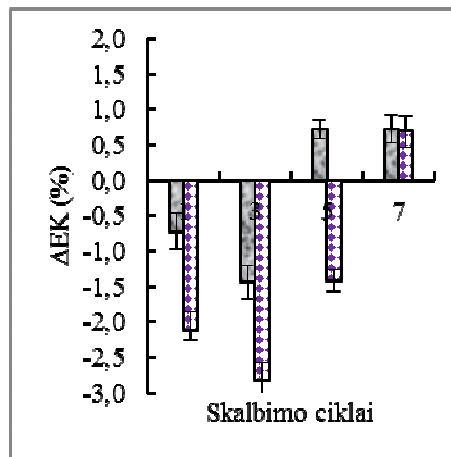
4 PRIEDAS (Eksplotacijos veiksnių įtakos siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniams parametrams analizė, elementų kontūro plotis 14 mm dygsnių tankumas 3 dygs/mm)



4.1 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A1 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_k skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
 – elemento kraštinė BC; – elemento kraštinė AD; – elemento kraštinė AB; – elemento kraštinė CD



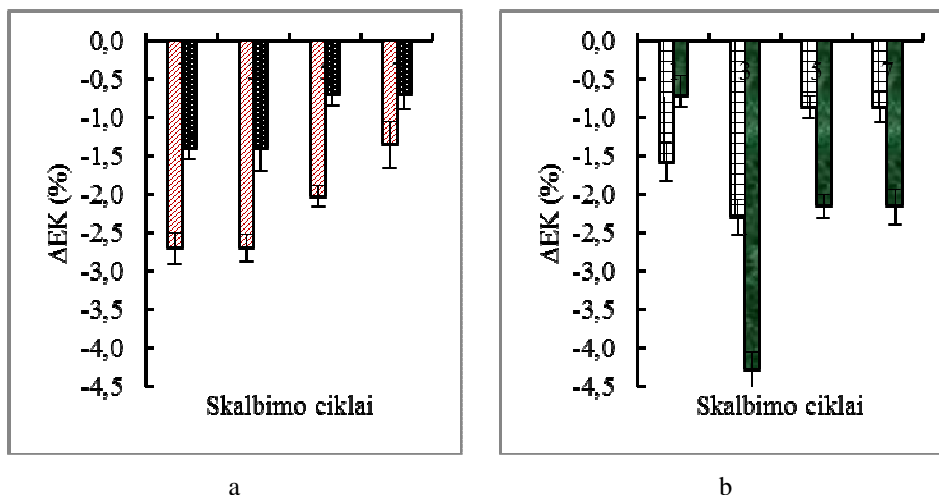
a



b

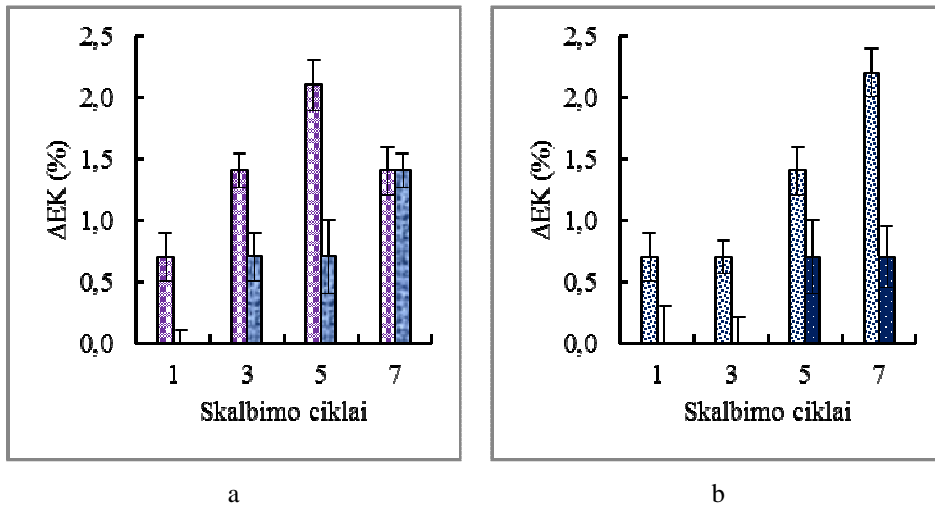
4.2 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A2 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi

■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD

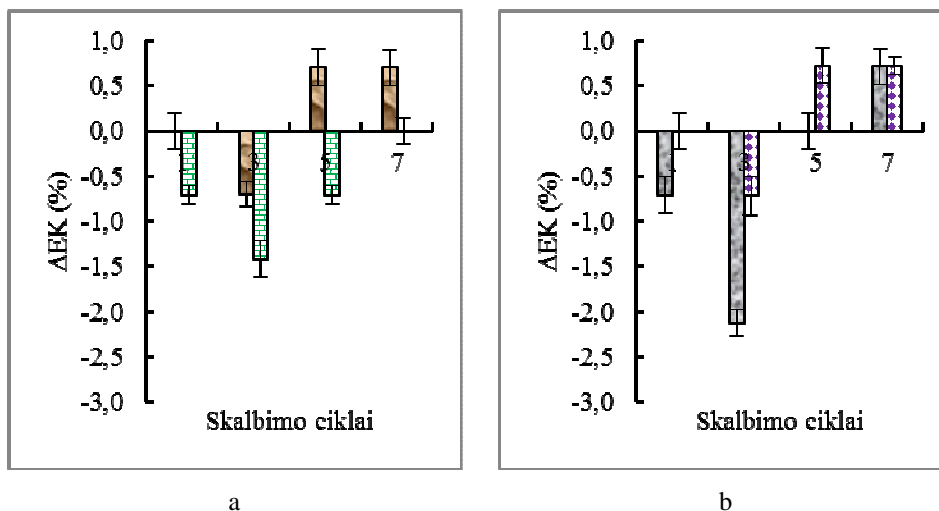


4.3 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A3 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 3 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
 ■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD

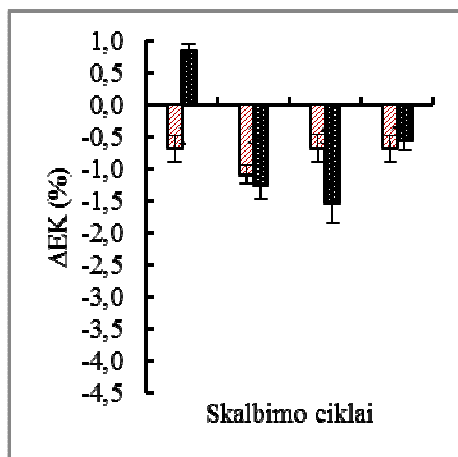
5 PRIEDAS (Eksplotacijos veiksnių įtakos siuvinėto elemento funkcionalumui ir geometriniams parametrams analizė, elementų kontūro plotis 14 mm dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm)



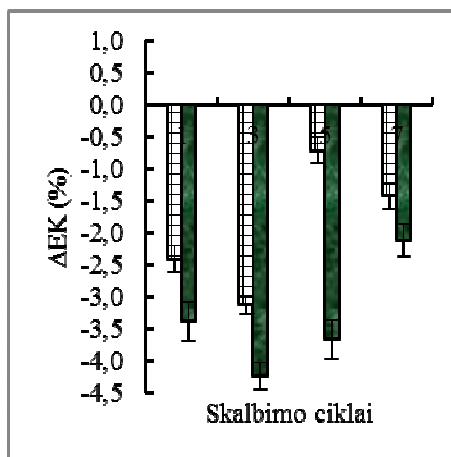
5.1 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A1 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_k skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi
 – elemento kraštinė BC; – elemento kraštinė AD; – elemento kraštinė AB; – elemento kraštinė CD



5.2 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A2 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi ■ – elemento kraštinė BC; ■ – elemento kraštinė AD; ■ – elemento kraštinė AB; ■ – elemento kraštinė CD



a



b

5.3 pav. Elektrai laidaus siuvinėto elemento po eksploatacijos atlikto ant audinio A3 kai kontūro plotis 14 mm, dygsnių tankumas 4,5 dygs/mm lyginant su išsiuvinėtu elementu kontūro pločio CS_K skirtumas ΔEK (%), x ašis – išsiuvinėto elemento kontūro plotis: a – metmenų kryptimi, b – ataudų kryptimi

▨ – elemento kraštinė BC; ▩ – elemento kraštinė AD; ▧ – elemento kraštinė AB; ▦ – elemento kraštinė CD

SL344. 2019-03-20, 14 leidyb. apsk. I. Tiražas 12 egz. Užsakymas 67.
Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas