



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Vaida Buzaitė
Projekto autorė

Prof. Daiva Mikučionienė
Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Tekstilės inžinerija ir apdaila (6211FX007)

Vaida Buzaitė

Projekto autorė

Prof. Daiva Mikučionienė

Vadovė

Lekt. Ginta Laureckienė

Recenzentė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Vaida Buzaitė

Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Vaidos Buzaitės, baigiamasis projektas tema „Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: 6211FX007 Tekstilės inžinerija ir apdaila

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Buzaitė Vaidai

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas

(Lietuvių kalba)

Development and Investigation of 3-Dimensional Knits

(Anglų kalba)

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Darbo tikslas – sukurti naujas skersinių erdvinių mezginių struktūras ir nustatyti struktūros bei pluoštinės sudėties įtaką jų storiui, laidumui orui bei šilumos mainų dinamikai.

Darbo uždaviniai:

1. Sukurti ir pagaminti naujas skersinių erdvinių mezginių struktūras.
2. Nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių storiui.
3. Nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių laidumui orui.
4. Nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių šilumos mainų dinamikai.

Studentas

Vaida Buzaitė

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Baigiamojo
projekto vadovas

Daiva Mikučionienė

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Buzaitė Vaida. Erdvinių mezginių kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė prof. Daiva Mikučionienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Polimerų ir tekstilės technologijos (F02), Technologijų mokslai (F).

Reikšminiai žodžiai: erdviniai mezginiai, mezgimas, laidumas orui, šiluminės savybės.

Kaunas, 2020. 53 p.

Santrauka

Suprojektuoti erdviniai daugiasluoksniai skersiniai mezginiai, kurių mezgimui pasirinkta plokščioji skersinio mezgimo „Shima Seiki“ (Japonija) firmos SES-122 dviejų adatinių E12 klasės mašina. Mezginiai numegzti AB „Gija“. Mezginių struktūra sudaryta iš trijų sluoksnių – dviejų išorinių ir vidinio užpildo sluoksnio, kurį sudaro tąsų perdangos, sujungiančios išorinius sluoksnius tarpusavyje. Pasirinktas tyrimų objektas - dvi šių daugiasluoksnių mezginių grupės:

1. Erdviniai mezginiai su vienodu užpildo kiekiu, t.y. tuo pačiu vidinio sluoksnio tąsų skaičiumi, kiekvienam sluoksniui parenkant skirtingas žaliavas.
2. Erdviniai mezginiai, kurių visi trys sluoksniai suprojektuoti naudojant tas pačias žaliavas, tačiau proporcingai keičiant vidinio sluoksnio jungiančiųjų siūlų tąsų skaičių.

Bandiniams megzti naudoti vilnoniai 33,3 tex × 2 ir 20,8 tex × 2 verpalai, medvilniniai 19,7 tex × 2 ir 29,5 tex × 2 verpalai, akrilnitriliniai (PAN) 31,3 tex × 2 verpalai, poliesteriniai (PES) 42 tex gijiniai siūlai. Numegzti bandiniai stabilizuoti karštu garu, naudojant garinimo–stabilizavimo presą „Cosmotex“ (Ispanija). Nustatyti bandinių vertikalieji (P_v) bei horizontalieji (P_h) tankumų koeficientai, apskaičiuotas kiekvieno bandinio paviršinis tankis (M). Atlikti bandinių statistinių rodiklių skaičiavimai, įvertinta rezultatų sklaida bei galimos paklaidos. Atlikti bandinių storio matavimai, laidumo orui bei šilumos mainų dinamikos tyrimai. Atlikus storio matavimus, nustatyta, kad mezginių storiui labai svarbu jungiančiajam sluoksniui naudojamų siūlų pluoštinė sudėtis ir tipas, jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsnis bei skaičius raporte. Nustatyta, kad atskirų erdvinio mezginio sluoksnių pluoštinė sudėtis (siūlų žaliava ir siūlo struktūra) turi reikšmingos įtakos laidumui orui. Taip pat pastebėta, kad laidumui orui įtakos turi ir pluoštinės sudėties pasiskirstymas atskiruose sluoksniuose bei jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsnis bei skaičius raporte. Pirmosios bandinių grupės atveju gauta, kad geriausia šilumos izoliacija pasižymėjo mezginiai su vilna, o blogiausiais šilumos izoliacija pasižymėjo meginys, kurio visi sluoksniai buvo numegzti iš medvilninių verpalų. Antrosios bandinių grupės atveju nustatyta, kad geriausia šilumos izoliacija pasižymėjo bandinys su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsniu ir skaičiumi raporte.

Buzaitė Vaida. Development and Investigation of 3-Dimensional Knits. Master's Final Degree Project/ supervisor prof. Daiva Mikučionienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Polymers and Textiles Technologies (F02), Technological Sciences (F).

Keywords: 3-D knits, knitting, air permeability, thermal properties.

Kaunas, 2020. 53 p.

Summary

Spatial multilayer weft knits have been designed, for the production of which a flat knitting machine from Shima Seiki (Japan) SES-122 two-needle beds E12 gauge machine has been selected and knitted in the company Gija. The structure of the knits consists of three layers - two outer and inner filler layers, which consist of yarns overlays connecting two outer layers. The chosen research object is two groups of the following multilayer knits:

1. Spatial knits with the same amount of filler, i. e. with the same number of extensions of the inner layer, selecting different raw materials for each layer.
2. Three-dimensional knits in which all three layers are designed using the same raw materials, but with a proportional change in the quantity of extensions of the connecting threads of the inner layer.

Wool 33.3 tex × 2 and 20.8 tex × 2 yarn, cotton 19.7 tex × 2 and 29.5 tex × 2 yarn, acrylonitrile (PAN) 31.3 tex × 2 yarn, polyester (PES) 42 tex multifilament threads used for knitting the patterns. The knitted samples were stabilized by hot steam using an evaporation-stabilization press "Cosmotex" (Spain). The vertical (Pv) and horizontal (Ph) density coefficients of the samples were determined, and the surface density (M) of each sample was calculated. Calculations of statistical indicators of samples were performed, the scatter of results, and possible errors were estimated. Measurements of sample thickness, air permeability, and heat exchange dynamics studies were performed.

After the thickness measurements, it was found that the fiber composition and type of the yarns used for the connecting layer, the step, and the number of extensions of the connecting layer in the pattern repeat is very important for the thickness of the knits. It was found that the fiber composition of individual spatial knit layers (yarn raw material and yarn structure) has a significant effect on air permeability. It was also observed that the air permeability is also influenced by the distribution of the composition of the raw materials in the individual layers, the type of yarns and quantity of extensions of the connecting layer in the pattern repeat.

In the case of the first group of samples, the best thermal insulation knits were obtained with wool, and the worst thermal insulation was obtained with samples, all layers of which were knitted from cotton yarn. In the case of the second group of specimens, the knit with the highest step and number of extensions of the inner layer in the pattern repeat had the best thermal insulation.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. Erdvinės struktūros mezginiai	11
1.2. Daugiasluoksnių mezginių oro laidumo savybės	15
1.3. Daugiasluoksnių mezginių šiluminės savybės	17
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	18
2. Tyrimų objektas ir metodika.....	20
2.1. Tyrimo objektas.....	20
2.2. Bandinių struktūros rodiklių nustatymo metodika	21
2.3. Bandinių oro laidumo nustatymo metodika	21
2.4. Bandinių šiluminių mainų dinamikos nustatymo metodika	22
3. Tyrimų rezultatai.....	23
3.1. Erdvinių struktūrų projektavimas	23
3.2. Erdvinių mezginių storio nustatymas	30
3.3. Laidumo orui tyrimo rezultatai.....	33
3.4. Šilumos mainų dinamikos tyrimo rezultatai.....	39
3.5. Atliktų tyrimų apibendrinimas ir rekomendacijos.....	46
Išvados	49
Literatūros sąrašas	51
Priedai.....	55
1 priedas. Jaunųjų mokslininkų darbų paroda-konkursas Technorama 2019.....	55
2 priedas. Gautų rezultatų publikavimas (1).....	56
3 priedas. Gautų rezultatų publikavimas (2).....	57

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Erdvinių mezginių gamybai naudotų siūlų charakteristikos	20
3.1 lentelė. Suprojektuotų pirmosios grupės erdvinių mezginių sandaros rodikliai	27
3.2 lentelė. Suprojektuotų antrosios grupės erdvinių mezginių sandaros rodikliai.....	28
3.3 lentelė. Suprojektuotų erdvinių mezginių apskaičiuoto paviršinio tankio rezultatai	28
3.4 lentelė. Suprojektuotų erdvinių mezginių storis.....	31
3.5 lentelė. Oro srauto debito tyrimo rezultatai.....	33

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. a – erdvinių austų gaminių pavyzdžiai, b – erdvinių pintų gaminių pavyzdžiai [1].....	11
1.2 pav. a – erdvinės neaustinės struktūros pavyzdys, b – daugiasluoksnių gaminių, permezgamų metmeninėmis kilpomis, struktūros pavyzdys [7, 8].....	11
1.3 pav. Sumuštinio tipo trisluoksnės mezgtos struktūros pavyzdys [2]	12
1.4 pav. Metmeninių erdvinių gaminių konstrukcijų pavyzdžiai [5].....	13
1.5 pav. Apskritosiomis mezgimo mašinomis mezgamo erdvinio daugiasluoksnių mezginio konstrukcijos pavyzdys [2].....	13
1.6 pav. Erdvinės struktūros skersiniai mezginiai: a – išoriniai sluoksniai sujungiami siūlų perdangomis, b – išoriniai sluoksniai sujungiami mezginio perdangomis [13,14].....	14
1.7 pav. Skersinio erdvinio mezginio su žakardiniu išorinio sluoksnių pynimu pavyzdys [2].....	14
2.1 pav. Laidumo orui matavimo prietaisas L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija).....	21
3.1 pav. Pirmosios bandinių grupės siūlo klojimo schema	23
3.2 pav. Pirmosios bandinių grupės pavyzdžiai	24
3.3 pav. Pirmosios bandinių grupės skersjūvio – a ir vidinio sluoksnių tūšų perdangų – b vaizdai. 24	24
3.4 pav. Antrosios grupės mezginių siūlų klojimo schemas: a – Vilna / PES / Vilna 7, b – Vilna / PES / Vilna 5	25
3.5 pav. Antrosios grupės mezginių siūlų klojimo schemas: a – Vilna / PES / Vilna 3, b – Vilna / PES / Vilna 1, c – Vilna / PES / Vilna 0.....	26
3.6 pav. Antrosios bandinių grupės pavyzdžiai: a - Vilna / PES / Vilna 9, b - Vilna / PES / Vilna 7, c - Vilna / PES / Vilna 5, d - Vilna / PES / Vilna 3, e - Vilna / PES / Vilna 1, f - Vilna / PES / Vilna 0	27
3.7 pav. Pirmosios grupės bandinių paviršinio tankio pasiskirstymas pagal pluoštinę sudėtį.....	29
3.8 pav. Antrosios grupės bandinių paviršinio tankio pasiskirstymas pagal jungiančiojo sluoksnių tūšų žingsnį	29
3.9 pav. Suprojektuotų erdvinių mezginių pirmosios grupės storio rezultatai.....	31
3.10 pav. Suprojektuotų erdvinių mezginių antrosios grupės storio rezultatai	32
3.11 pav. Pirmosios bandinių grupės laidumo orui rezultatai	34
3.12 pav. Antrosios bandinių grupės laidumo orui rezultatai	35
3.13 pav. Pirmosios grupės bandinių laidumo orui santykis su bandinių storium	36
3.14 pav. Antrosios grupės bandinių laidumo orui priklausomybė nuo bandinių storio	37
3.15 pav. Pirmosios grupės bandinių laidumo orui santykis su mezginių paviršinio tankiu	38
3.16 pav. Antrosios grupės bandinių laidumo orui priklausomybė nuo mezginių paviršinio tankio	39
3.17 pav. Pirmosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika	40
3.18 pav. Pirmosios grupės bandinių išorinio sluoksnių temperatūros pokyčiai priklausomai nuo atskirų sluoksnių žaliavos	41
3.19 pav. Pirmosios grupės mezginių šilumos mainų priklausomybė nuo erdvinio mezginio storio.....	42
3.20 pav. Antrosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika	42
3.21 pav. Antrosios grupės bandinių išorinio sluoksnių temperatūros pokyčiai priklausomai nuo jungiančiųjų tūšų žingsnio ir skaičiaus erdvinio mezginio raporte	44
3.22 pav. Antrosios grupės bandinių šilumos mainų priklausomybė nuo erdvinio mezginio storio	45
3.23 pav. Koreliacija tarp antrosios grupės bandinių šilumos mainų ir bandinių laidumo orui	45

Įvadas

Erdviniai tekstilės gaminiai pasižymi sudėtinga 3D struktūra, sudaryta iš dviejų gaminio sluoksnių, kuriuos tarpusavyje gali būti sujungti papildomais sluoksniais arba siūlais [1]. Išorinius sluoksnius jungianti papildomų sluoksnių arba siūlų konstrukcija suteikia gaminiui trečiąjį matmenį (z) arba kitaip tariant – suteikia erdvinę struktūrą, kuomet gaminyje apibūdinimas x, y ir z matmenimis.

Erdvinės struktūros tekstilės gaminiai gaminami įvairiais tekstilės gamybos būdais, tokiais, kaip audimo, pynimo, skersinio arba metmeninio mezgimo, neaustinių medžiagų ir kt. [1].

Augantis erdvinių tekstilės gaminių poreikis įvairiose pramonės srityse prisidėjo prie gamybinės įrangos tobulinimo bei vystymosi. Kai kurių įprastų tekstilės gamybos būdų įrangą prireikė ženkliai keisti, modifikuoti ar gaminti pagalbinės konstrukcijas tam, kad būtų galima pritaikyti 3D struktūrų gamybai. Tačiau skersinio mezgimo gamybos būdas plokščiosiomis dviejų adatinių mezgimo mašinomis nereikalauja didelių investicijų bei sudėtingų įrangos modifikacijų. Įprastomis mezgimo mašinomis, mezgančiomis 2D mezginius, sėkmingai galima įgyvendinti ir 3D tekstilės konstrukcijas, todėl šis gamybos būdas bei skersiniai erdviniai mezginiai tapo itin patrauklus gamybos bei mokslo atstovams dėl didelio gamybos našumo, nesudėtingos įrangos, priežiūros, plačių erdvinės struktūros raštų bei žaliavų pritaikymo galimybių, dėl kurių taip pat išauga reikiamų fizikinių bei mechaninių savybių tam tikrai panaudojimo sričiai suteikimo galimybės [2, 3, 4].

Įvertinus šio tipo erdvinių gaminių svarbą bei aktualumą, suprojektuoti erdviniai skersiniai mezginiai, pagaminti plokščiosiomis dviejų adatinių mezgimo mašinomis įmonėje AB „Gija“. Bandinių tyrimai atlikti KTU Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakulteto laboratorijoje.

Darbo tikslas – sukurti naujas skersinių erdvinių mezginių struktūras ir nustatyti struktūros bei pluoštinės sudėties įtaką jų storiui, laidumui orui bei šilumos mainų dinamikai.

Šiam tikslui pasiekti išskelti **darbo uždaviniai**:

1. sukurti ir pagaminti naujas skersinių erdvinių mezginių struktūras;
2. nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių storiui;
3. nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių laidumui orui;
4. nustatyti struktūros ir pluoštinės sudėties įtaką erdvinių mezginių šilumos mainų dinamikai.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Erdvinės struktūros mezginiai

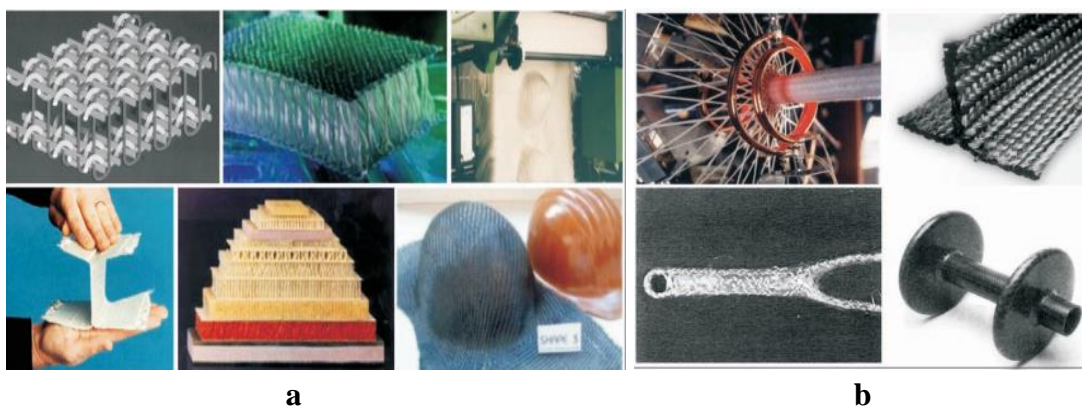
Mezgimo technologija yra vienas universaliausių ir lanksčiausių tekstilės gaminių gamybos būdų [5].

Tobulėjant mezgimo technikai, kuriami vis sudėtingesnės sandaros mežtiniai gaminiai. Tai praplečia mezginių taikymo sritį, didėjanti tekstilės gaminių paklausa bei pritaikomumas įvairiose techninėse srityse skatina kurti naujas medžiagas ir gaminius.

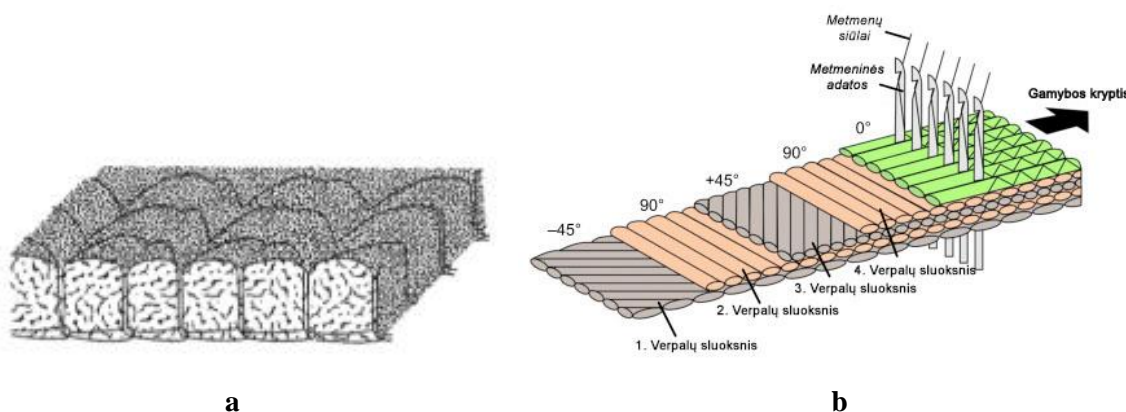
Daugiasluoksnės tekstilės medžiagos drabužiams gaminti naudojamos jau gana seniai. Jų įprasta gamyba buvo įvairių medžiagų atskirų sluoksnių sujungimas tarpusavyje siuvimo, klijavimo, sulydymo ir panašiais būdais. Šiuo metu daugiasluoksniai tekstilės gaminiai gali būti pagaminami vieno technologinio proceso metu [6].

Erdvinių tekstilės gaminių įvairovė labai didelė. Gaminamos ne tik mežtos erdvinės struktūros, bet ir tokie gaminiai, kaip:

- austi erdviniai gaminiai (1.1 pav. a);
- pinti erdviniai gaminiai (1.1 pav. b);
- neaustinės erdvinės struktūros medžiagos (1.2 pav. a);
- daugiasluoksniai gaminiai, permežti metmeninėmis kilpomis (1.2 pav. b).

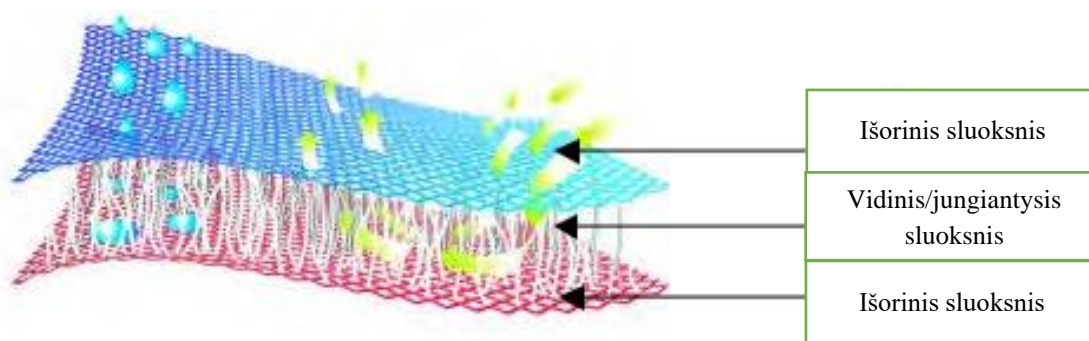


1.1 pav. a – erdvinių austų gaminių pavyzdžiai, b – erdvinių pintų gaminių pavyzdžiai [1]



1.2 pav. a – erdvinės neaustinės struktūros pavyzdys, b – daugiasluoksnių gaminių, permežgamų metmeninėmis kilpomis, struktūros pavyzdys [7, 8]

Erdviniai mezginiai gali būti dviejų tipų: erdvinės formos arba sumuštinio tipo gaminiai (1.3 pav.), t.y., sudaryti iš trijų sluoksnių – dviejų išorinių ir vidinio, jungiančiojo. Vidinis sluoksnis gali būti įvairaus užpildymo laipsnio, turėti įvairių formų kiaurymes, kurios suteikia trijų sluoksnių mezginiams plačias panaudojimo galimybes [2].

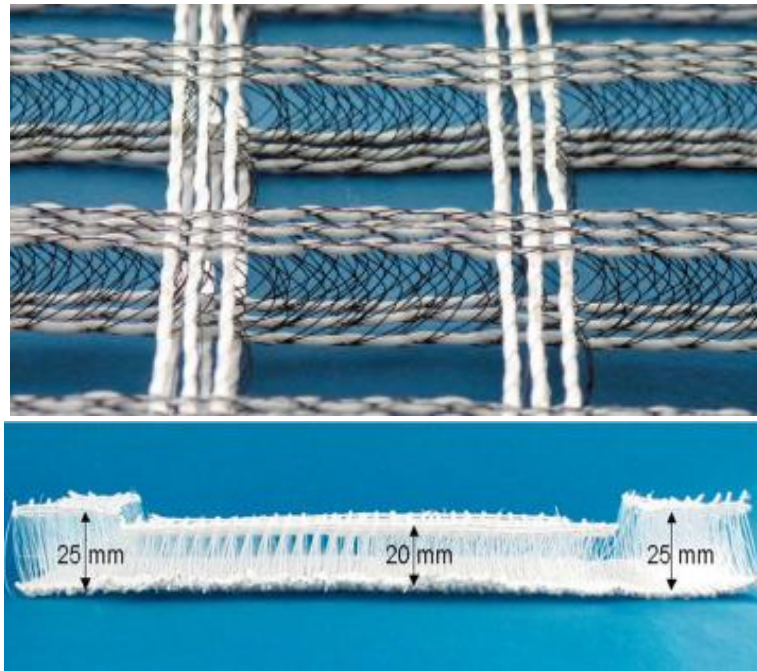


1.3 pav. Sumuštinio tipo trisluksnės mezgtos struktūros pavyzdys [2]

Erdviniai mezginiai plačiai naudojami tiek aprangai, tiek ir įvairiose pramonės šakose. Remiantis techninės tekstilės rinkos tyrimais nustatyta, kad erdviųjų mezginių paklausa kasmet didėja transporto pramonėje, medicinos, higienos ir sveikatos apsaugos srityse, geotekstilės, civilinė inžinerijos, statybų inžinerijos, sporto ir laisvalaikio, medicinos, ortopedijos, aplinkos apsaugos, filtravimo ir valymo įrenginiams, izoliacinėms medžiagoms, darbo ir apsauginiams drabužiams bei jų priedams [2, 9, 10,11].

Erdviųjų mezginių gamybai gali būti naudojamos tiek skersinio, tiek metmeninio mezgimo technologijos [12].

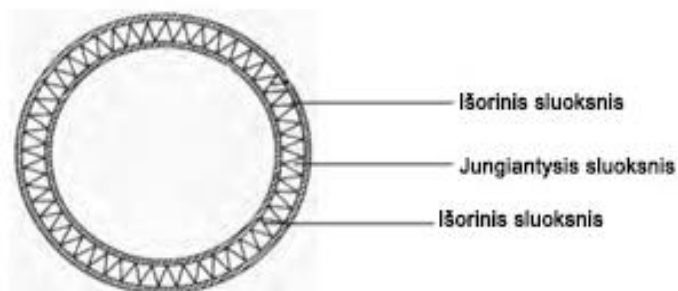
Metmeniniu būdu mezgami erdviniai gaminiai gali būti tiek erdvinės formos (dažniausiai naudojami aprangai), tiek ir sumuštinio tipo daugiasluoksnės struktūros (1.4 pav.). Pastarieji mezginiai naudojami ten, kur yra svarbus trečiasis medžiagos matmuo (storis), lengvumas ir standumas. Šie parametrai nulemia daugelį kitų mechaninių ir funkcinių savybių. Jei reikalingas didelis atstumas tarp išorinių sluoksnių, vidiniam sluoksniui naudojami standūs vienagijai siūlai, kurie suteikia geras amortizacines savybes. Tokiu principu mezgamos struktūros naudojamos čiužinių, įtvarų gamybai, armuojantys elementai statybinėms konstrukcijoms ir kt. [5].



1.4 pav. Metmeninių erdviųjų gaminių konstrukcijų pavyzdžiai [5]

Nors didžiąją dalį daugiasluoksniųjų erdviųjų mezginių asortimento sudaro metmeninio mezgimo technologijomis pagaminti mezginiai, sparčiai tobulėjanti skersinio mezgimo technologija skatina ir spartų skersinių erdviųjų mezginių populiarėjimą. Nors metmeniniu būdu mezgamos erdvinės struktūros pasižymi dideliu pritaikomumu, gana plačiomis storio galimybėmis ir pan., skersinės erdvinės struktūros pranašesnės raštų, pynimų, galimų naudoti žaliavų galimybėmis bei platesniam gaminių asortimentu pritaikoma įranga, gamybos našumu [1].

Erdviniai skersiniai mezginiai mezgami apskritosiomis bei plokščiosiomis dviejų adatinių mezgimo mašinomis. Erdviųjų skersinių mezginių grupei priklauso kojinių ir pirštinių gaminiai, besiūliai aprangos gaminiai. Apskritosiomis mezgimo mašinomis taip pat galima numegzti daugiasluoksnius gaminius, kai gaunama apskritos formos struktūra iš vieno arba dviejų išorinių sluoksnių, sujungtų tarpusavyje jungiamosiomis siūlų perdangomis (1.5 pav.). Nors šiuo mezgimo metodu galima gauti apskritą gaminių formą, tačiau apskritųjų mezgimo mašinų, mezgančių erdviuosius mezginius, našumas yra ženkliai mažesnis, lyginant su plokščiosiomis mezgimo mašinomis, siūlų tiekimo sistemos sudėtingesnės, užtaisymas ir parengimas mezgimui užtrunka ilgiau, todėl pramonėje šis mezgimo būdas naudojamas retai [2].



1.5 pav. Apskritosiomis mezgimo mašinomis mezgamo erdvinio daugiasluoksniuko mezginio konstrukcijos pavyzdys [2]

Plokščiosiomis skersinio mezgimo mašinomis mezgami erdviniai mežginiai skirstomi į du tipus, kai:

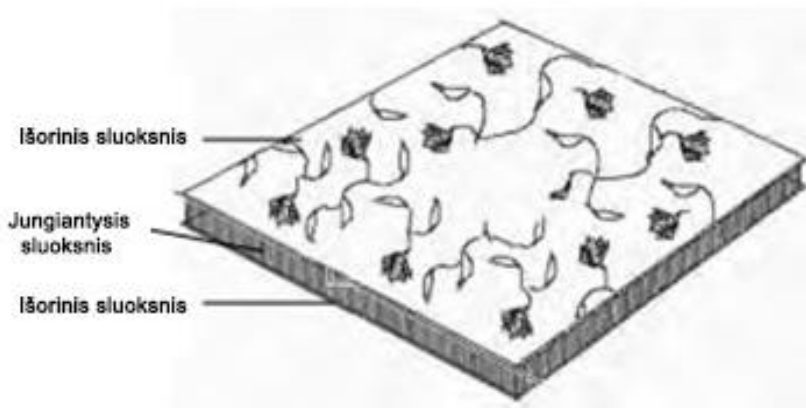
- 1) mežginio išoriniai sluoksniai sujungiami siūlų perdangomis (1.6 pav. a);
- 2) mežginio išoriniai sluoksniai sujungiami mežginio perdangomis (1.6 pav. b).



1.6 pav. Erdvinės struktūros skersiniai mežginiai: **a** – išoriniai sluoksniai sujungiami siūlų perdangomis, **b** – išoriniai sluoksniai sujungiami mežginio perdangomis [13,14]

Šiame darbe kuriamos ir tiriamos siūlų perdangomis sujungtų išorinių sluoksnių erdvinių mežginių struktūros ir savybės. Nors šio tipo mežginiai dėl mežgimo mašinos konstrukcijos turi ribotas storio galimybes, tačiau kiti pranašumai lemia sparčiai augančią tokių gaminių paklausą. Naudojant plokščiąsias mežgimo mašinas, erdvinio mežginio sluoksnius galima lengvai projektuoti iš skirtingų žaliavų, keisti mežginio tankumą, jungiančiųjų perdangų skaičių, išsidėstymą, posvyrio kampą ir kt. [2].

Plokščiosiomis dviejų adatinių mežgimo mašinomis taip pat galima išgauti apskritą gaminio formą, įterpti tvirtinamuosius, ataudinius, elastomerinius, elektrai laidžius siūlus bei projektuoti sudėtingus, pavyzdžiui, žakardinius raštus (1.7 pav.). Tokios erdvinio mežgimo galimybės itin patrauklios drabužių, baldų ar kt. apmušalų pramonėje [1, 2, 10, 15, 16, 17].



1.7 pav. Skersinio erdvinio mežginio su žakardiniu išorinio sluoksnio pynimu pavyzdys [2]

Tekstilės medžiagos yra plačiai naudojamos įvairiose statybos srityse, įskaitant unikalių pastatų ir konstrukcijų įgyvendinimą, kelių inžineriją, hidrotechniką ir kt. Kompozitų tekstilės medžiagomis sutvirtinimas apima įvairius hierarchinius struktūrinius lygius: pluoštą, verpalus bei gaminius iš jų [5].

Tekstiliniai kompozitai pasižymi lengvumu, geromis stipruminėmis bei deformacinėmis savybėmis, atsparumu šlyčiai, smūginėms jėgos apkrovoms ir kt. [18, 19, 20]. Trimatės mezgtos struktūros kompozitams gali būti gaminamos tiek metmeniniu mezgimo būdu, tiek skersiniu [21].

Mezginių savybes galima laisvai koreguoti atsižvelgiant į konkretų pritaikymą: nuo labai tamprių iki beveik netąsių, fiksuotų dydžių; nuo labai retos (tinklinės) struktūros iki tankios; nuo lygaus paviršiaus iki neplaninių struktūrų su tekstūruotais ar reljefiniais paviršiais. Skirtingi konstrukciniai elementai gali pagerinti stiprumą ar standumą, sumažinti medžiagų sąnaudas ir kita [5, 13, 15, 18, 22, 23, 24, 25].

1.2. Daugiasluoksnių mezginių laidumo orui savybės

Taikant įvairias technologijas, dėvimiems drabužiams stengiamasi suteikti kuo geresnes dėvėjimo komforto savybes, negana to, siekiama kurti drabužius, pasižyminčius funkcionalumu bei gebėjimu prisitaikyti, esant įvairioms aplinkos sąlygoms, tinkančius dėvėti tiek laisvalaikio, tiek užsiimant aktyvesne veikla. Komfortas dėvint turi įvairių apibrėžimų, vieni svarbiausių – judesių nevaržantys, laidūs orui, apsaugantys nuo šilumos nuostolių, nesukeliantys drėgmės pojūčio [26, 27, 28, 29].

Ilgą laiką drabužių funkcionalumui padidinti buvo naudoti įvairūs metodai, tokie kaip skirtingų medžiagų susiuvimas, klijavimas, laminavimas, įmirkymas įvairias funkcines savybes suteikiančiuose tirpaluose ir kt. Tačiau paminėti būdai padidina gamybos kaštus, trukmę, susidaro papildomos gamybinės atliekos ir panašiai. Todėl sparčiai besivystančių mezgimo technologijų atveriamos galimybės kurti įvairias daugiasluoksnes struktūras smarkiai išplečia gaminio funkcionalumo ribas, pagreitina gamybą, dažnu atveju sumažina gamybos kaštus dėl sumažėjusio atliekų kiekio, reikalingo dirbančiųjų skaičiaus, mažesnio technologinių įrenginių kiekio bei trumpesnės gamybinės eigos.

Viena svarbiausių mezginio komforto savybių yra laidumas orui, kuris turi reikšmingos įtakos ir kitoms susijusioms savybėms [30, 31, 33].

Drabužių pramonėje pastaruoju metu didžioji dalis erdvinių mezginių savybių tiriama norint rasti optimalius sprendimus ir panaudojimo sritis sportinei, kariuomenės ar apsauginei aprangai, medicininei tekstilei. Šių sričių tekstilei pritaikomi struktūriniai, dizaino, žaliavų derinimo, apdailos ir kitokie sprendimai, labai svarbūs tiek aktyvaus laisvalaikio, tiek kasdienei aprangai.

Viename 2017 metais atliktų sportinės tekstilės tyrimų aprašyta erdvinės mezginio struktūros, storio, skirtingų žaliavų panaudojimo tam tikruose mezginio sluoksniuose įtaka šiluminiam laidumui, laidumui orui, garams, drėgmės sugeriamumui ir džiūvimo greičiui [33]. Tyrimams atlikti buvo naudojami skersiniai daugiasluoksniai mezginiai, kurių vidinį sluoksnį sudarė poliesteriniai siūlai, o išorinius sluoksnius – modalinio arba bambuko pluošto verpalai. Bandinių storis svyravo nuo 0,64 iki 0,94 mm. Nustatyta, kad nepaisant išorinio sluoksnio žaliavos, vandens garų laidumas didėja, mažėjant mezginio storiui bei mezginio tankumui, tačiau tuomet mažėja ir sugeriamos drėgmės kiekis. Didesniu laidumu orui pasižymėjo bandinys su bambuko pluošto verpalais išoriniame

sluoksnyje bei kurio storis ir mezginio tankumas buvo iš visų bandinių mažiausias. Dėvėjimo testas taip pat parodė teigiamas šio bandinio savybes [33].

Dar vienas mokslinėje publikacijoje aprašytas tyrimas buvo skirtas erdvinių skersinių mezginių pritaikymui badmintono žaidėjų aprangai [30]. Buvo suprojektuotos trys trijų sluoksnių megztos struktūros, kurios skyrėsi pluoštine sudėtimi:

- 1) daugiagijai PES siūlai / daugiagijai PES siūlai / modalinio pluošto verpalai;
- 2) daugiagijai PES siūlai / akriliniai verpalai / modalinio pluošto verpalai;
- 3) daugiagijai PES siūlai / vienagijai PES siūlai / modalinio pluošto verpalai.

Atlikus laidumo orui tyrimą pastebėta, kad mežginys iš daugiagijų PES siūlų / daugiagijų PES siūlų / modalinio pluošto verpalų derinio pasižymėjo geru laidumu orui tiek šlapias, tiek sausas. Antroje vietoje pagal šį kriterijų atsidūrė mežginiai iš daugiagijų PES siūlų / vienagijų PES siūlų / modalinio pluošto verpalų derinio. Blogiausiomis laidumo orui savybėmis pasižymėjo mežginiai iš daugiagijų PES siūlų / akrilinių verpalų / modalinio pluošto verpalų derinio. Kai vidurinis sluoksnis buvo sudarytas iš daugiagijų PES siūlų, laidumo orui vertė buvo aukštesnė nei mežginių su akrilano verpalais vidiniuose sluoksniuose. Tai lemti galėjo mažesnis mežginio paviršinis tankis bei akytumas. Viduriniame sluoksnyje esantys poliesteriniai siūlai leidžia laisvai judėti orui iš vidinio sluoksnio per vidurinį sluoksnį į išorinį sluoksnį. Akrilano verpalai viduriniame sluoksnyje riboja oro srautą. Teigiama, kad mežginio paviršinis tankis neturi reikšmingo poveikio laidumui orui, nes kilpos ilgis išlieka tas pats visoms mežginių konstrukcijoms [30].

Dar vienas tyrimas atliktas su labai panašios struktūros į toliau šiame darbe aprašomus bandinius [13]. Publikacijoje aprašytos tirtos erdvinių skersinių mezginių iš medvilninių verpalų savybės, tyrimo tikslas – išsiaiškinti šių struktūrų savybes bei tinkamumą tokiems medicininės paskirties gaminiams kaip tvarsčiai. Penki bandiniai su skirtingu išorinius sluoksnius jungiančiųjų tąsų perdangų skaičiumi palyginti tarpusavyje bei su dviem skirtingais, įprastai naudojamais tvarsčių variantais. Rezultatai parodė, kad bandiniuose, turinčiuose tą pačią išorinio sluoksnio struktūrą ir skirtingą jungiančiųjų tąsų posvyrio kampą (suformuotą tarp išorinio sluoksnio ir vidinio sluoksnio perdangų siūlų), laidumas orui ir vandens garams bei absorbcija mažėja, mažėjant posvyrio kampui. Įprasti žaizdų tvarsčiai pasižymėjo mažesniu laidumu orui nei erdviniai mežginiai. Mažinant vidinio sluoksnio perdangų siūlų posvyrio kampą iki horizontalaus, didėja vidinio sluoksnio siūlų tankis, o taip pat padidėja mežginio storis ir tūrinis tankis, todėl sumažėja mežginio laidumas orui. Kitaip tariant, šių bandinių laidumas orui turi atvirkštinį santykį su bandinių storiu ir tūriniu tankiu. Palyginus vienodą perdangų skaičių ir žingsnį turinčius bandinius su skirtingu išorinio sluoksnio pynimu pastebėta, kad išorinio sluoksnio pynimo tipas turi įtakos laidumui orui [13].

Taip pat tirtos erdvinių skersinių mezginių komforto savybės, kuomet bandiniai buvo pagaminti naudojant sojos baltymų pluošto verpalus, poliesterinius, poliamidinius ir polipropileningus daugiagijus siūlus [32]. Vienam iš išorinių sluoksnių, kuris turėtų sąlytį su kūnu, parinkti sojos baltymų pluošto verpalai. Publikacijoje teigiama, kad toks sprendimas priimtas dėl gerų pluošto drėgmės absorbcijos ir transportavimo savybių. Vidiniam ir antram išoriniam sluoksniams parinkti sintetiniai daugiagijai siūlai, kurie pasižymi geromis drėgmės transportavimo į išorę savybėmis. Dvieju adatinių „Stoll“ (Vokietija) firmos plokščiąja skersinio mezgimo E 6.2 klasės mašina CMS 530, numegzti 4 skirtingų struktūrų mežginiai, kurių išoriniai sluoksniai, trimis bandinių atvejais, sujungiami siūlų tąsų perdangomis, kurios suformuoja vidinį sluoksnį. Ketvirtasis mežginių struktūros variantas – išoriniai sluoksniai sujungiami kilpomis. Kaitaliojant visų trijų erdvinio

mezginio sluoksnių žaliavas, pagaminta 16 skirtingų bandinių, besiskiriančių mezginio struktūra ir žaliavų išdėstymu sluoksniuose. Atlikti bandinių paviršinio tankio, poringumo, storio bei laidumo orui tyrimai. Atlikus laidumo orui tyrimą, nustatyta, kad verpalų skersmuo, mezginio paviršinis tankis ir struktūra turi įtakos oro laidumui. Nustatyta, kad mezginiai, kurių vidinį sluoksnį sudaro kilpinė struktūra, pasižymi didesniu poringumu ir laidumu orui, mezginiai kurių vidinį sluoksnį sudaro siūlų tāsų perdangos, pasižymi geresniu oro laidumu, jei yra didesnis mezginio poringumas bei mažesnis bandinio storis [32].

Taigi, atlikus literatūros apžvalgą rasta, kad mezginių laidumas orui priklauso nuo mezginio pluoštinės sudėties [30-35], pynimo [13, 30, 33], kilpos ilgio [13, 23, 29], storio [36, 38].

1.3. Daugiasluoksnių mezginių šiluminės savybės

Termoreguliacija yra procesas, palaikantis 37°C vidinę kūno temperatūrą. Esant ypatingam aktyvumui, dėl padidėjusio metabolizmo kūno šiluma pakyla aukščiau vidinės kūno temperatūros. Žmogaus kūnas, norėdamas subalansuoti vidinę temperatūrą, pats reguliuoja termoreguliacijos procesą. Kai kūno temperatūra pakyla virš 37°C, centrinė nervų sistema aktyvuoja smegenų pagumbrijį, kuris kontroliuoja termoreguliacijos procesą. Jis siunčia signalus žmogaus organams, raumenims, liaukoms ir nervų sistemai. Šilumos perteklius išleidžiamas į išorinę aplinką šilumos nuostolių mechanizmu būdu. Tai apima šilumos spinduliavimą, konvekciją, laidumą ir garinimą [30].

Išgarinimas sukelia 22 % šilumos nuostolių, radiacija – 60 %, konvekcija – 12 %, laidumas – 3 %, o kiti procesai – 1 %. Prakitavimas iš esmės veikia kaip kūno šilumos nuostolių mechanizmas ir vėsina ten, kur garuoja prakaitas. Apranga vaidina svarbų vaidmenį praleidžiant orą, drėgmę ir šilumą. Dėvimi drabužiai neturėtų kliudyti prakaitui išgaruoti. Aktyviai sportuojant ar mankštinantis žmogaus kūnas atpalaiduoja šilumą - nuo 100 W ramybės metu iki 1000 W intensyvios veiklos metu. Kiekvienam išgarinto vandens gramui susidaro 2,4 kJ šilumos nuostoliai. Aprangos patogumo prasme prakaitas turi būti pašalinamas nuo žmogaus kūno, kuris odos paviršiuje susidaro kaip plona plėvelė. Prakaitas gali būti gabenamas skysčio arba garų pavidalu. Skysto prakaito ir drėgmės garų pernešimas į aplinką toliau nuo žmogaus kūno yra vadinamas drėgmės valdymu. Sugėrimas taip pat yra svarbus komforto procesas, nes tekstilinėje medžiagoje sukuriama kapiliarinis slėgis. Taip nutinka dėl pluoštų sudrėkinimo, dėl to skystis pasiekia tarpus tarp pluoštų, o tai sukelia kapiliarų veikimą [30].

Viename iš jau apžvelgtų tyrimų teigiama, kad erdvinės struktūros mezginiai pasižymi geresnėmis termoreguliacinėmis savybėmis nei vienasluoksniai mezginiai. Straipsnyje teigiama, kad geriausios termoreguliacinės savybės išgaunamos daugiasluoksniame mezginio vidinei pusei parinkus siūlus iš sintetinių žaliavų, turinčių geras drėgmės laidumo savybes (tokių kaip poliesteris, nailonas, akrilas arba polipropilenas), o išorėje - gerai drėgmę sugeriančią žaliavą (tokią kaip medvilnę, vilną, viskozę ar jų mišinius). Termoreguliacines, laidumo orui ir kitas savybes lemia drabužiams naudojamos tekstilės sluoksniavimas. Pastebėta, kad tiriant mišrios sudėties, t.y. skirtinguose sluoksniuose naudojant skirtingas žaliavas, galima išgauti daugiau teigiamų drabužių savybių, lyginant su tos pačios žaliavos naudojimu. Tačiau geriausios savybės gaunamos derinant skirtingas žaliavas toje pačioje tekstilinėje medžiagoje [33].

Straipsnyje pažymima, kad „maišant“ vilną su poliesteriu arba vilną su bambuku, gaunamo geresnės patogumo savybės nei šimtaprocentinės vilnos ir bambuko gaminių. Remiantis publikacijoje pateiktais šiluminio laidumo tyrimais nustatyta, kad bandinių storis, paviršinis tankis bei tūrinis tankis

turi įtakos šiluminiam laidumui. Didėjant bandinio storii, paviršiniam bei turiniam tankiui, šiluminis laidumas, šiluminė sklaida mažėja [33].

Viename iš aprašytų erdvinių mezginių komforto tyrimų, kuomet iš sojos baltymų pluošto verpalų ir sintetinių gijinių siūlų buvo suprojektuoti ir pagaminti 16 skirtingų erdvinių mezginių su 4 skirtingomis mezginio struktūromis, bandiniams atliktas ir šilumos laidumo tyrimas [32]. Didžiausiu šiluminiu laidumu pasižymėjo bandiniai, kurių poringumas buvo didesnis, tačiau mažesnis storis bei paviršinis tankis, pastebėta, kad mažesniu šiluminiu laidumu, arba kitaip tariant, geresne šilumos izoliacija pasižymėjo bandiniai, kurių vidinį sluoksnį sudarė siūlų tąsų perdangos, bandinio storis buvo didesnis. Taip pat pastebėtas dar vienas svarbus faktas, kad geresne šilumos izoliacija pasižymėjo mezginiai, kurių vidinio sluoksnio tąsų perdangos buvo sudarytos iš didesniu skersmeniu pasižymėjusių sintetinių gijinių siūlų. Iš straipsnyje pateiktų šilumos laidumo tyrimų rezultatų matyti, kad šiluminiam laidumui įtakos turi erdvinio mezginio storis, paviršinis tankis, poringumas, mezginio struktūra bei atskiriems sluoksniams parenkamų žaliavų parametrai [32].

Remiantis erdvinių mezginių pritaikomumas badmintono žaidėjų sportinei aprangai tyrimu, taip pat pastebėta mezginio storio bei tankumo įtaka šiluminiam laidumui. Geriausiu šiluminiu laidumu pasižymėjo bandinys, kurio didžiąją dalį sudarė daugiagijai PES siūlai, mažiausiu – kuomet vidiniam sluoksniui buvo naudoti akrilano verpalai. Akrilano vidiniame sluoksnyje atveju gautas didžiausias mezginio tankumas, siūlai storesni, lyginant su PES daugiagijais siūlais [13, 31].

Taigi, šiluminės mezginių savybės priklauso nuo pluoštinės sudėties [37] bei įvairių pluoštų tarpusavio derinimo [30- 37], struktūrinių rodiklių, tokių kaip kilpos ilgis, storis, tankumas [13, 23, 29, 33, 35, 36], pynimo [13, 30, 33].

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Didėjantis tekstilės poreikis įvairiose pramonės, sporto, medicinos ir kitose srityse lemia tekstilės technologijų vystymąsi. Daugelį metų tekstilės gaminiai yra naudojami aprangai, buityje, statybų, transporto pramonėje, medicinoje ir daugumoje kitų sričių. Nuolat ieškoma būdų, kaip pagerinti esamų gaminių savybes, kurti daugiafunkcinius gaminius, optimizuoti gamybos procesus. Vienas aktualiausių šių dienų tekstilės pramonės pasiekimų yra erdviniai ar kitaip vadinami 3D gaminiai. Ištobulintos mezgimo, audimo, neaustinių medžiagų, pintų gaminių ir kitos gamybos technologijos bei įranga stipriai praplečia tekstilės gaminių panaudojimo sritis, prisideda prie daugiafunkcinių gaminių kūrimo, naujų savybių suteikimo ir naujų tekstilės pritaikymo ir panaudojimo sričių.

Nors erdviniai tekstilės gaminiai gali būti gaminami įvairiais gamybos būdais (audimas, pynimas, neaustinių medžiagų gamyba ir kt.), mezgimo technologija yra viena patraukliausių. Metmeninio mezgimo būdu gana seniai gaminami įvairūs gaminiai kompozitams, medicinai, baldų detalėms ir kt., tačiau šis būdas yra sudėtingesnis, reikalaujantis daugiau pasiruošimo, paruošimo operacijų, ribotos žaliavų ir siūlų galimybės dėl sudėtingo siūlų tiekimo.

Pastaruoju metu mokslo ir pramonės atstovų dėmesys koncentruojamas į skersinio mezgimo plokščiosiomis mezgimo mašinomis galimybes. Šis gamybos būdas nereikalauja didelių įrenginio modifikacijų bei pritaikymo skirtingoms žaliavoms megzti, turi gana paprastas siūlų tiekimo sistemas, lyginant su metmeninio mezgimo mašinomis, gamyba našesnė, susidaro minimalūs kiekiai atliekų, gaminiai gana lengvai projektuojami, didelės raštų sudarymo galimybės ir kt. Sparčiai besivystanti ir auganti išmanios tekstilės sritis taip pat didina susidomėjimą skersinio mezgimo

galimybėmis. Šiuo būdu sėkmingai galima megzti erdvinius gaminius naudojant elektrai laidžius siūlus. Nors informacijos ir atliktų tyrimų, lyginant su metmeniniu mezgimo būdu bei kitais erdvinės tekstilės gamybos būdais, randama ženkliai mažiau, tačiau pastaraisiais metais išaugęs įvairių atliekamų tyrimų skaičius šia tema, parodo skersinių erdvinių mezginių savybių tyrimų aktualumą.

Atsižvelgiant į skersinių erdvinių mezginių aktualumą bei remiantis apžvelgtomis mokslinėmis publikacijomis, kuriose aprašomos teigiamos erdvinių skersinių mezginių technologinės bei fizikinės savybės, šio baigiamojo darbo tikslas – sukurti naujas skersinių erdvinių mezginių struktūras ir nustatyti struktūros bei pluoštinės sudėties įtaką jų storiui, laidumui orui bei šilumos mainų dinamikai.

2. Tyrimų objektas ir metodika

2.1. Tyrimo objektas

Šiame darbe projektuojami erdviniai daugiasluoksniai skersiniai mezginiai, kurių mezgimui pasirinkta plokščioji skersinio mezgimo „Shima Seiki“ (Japonija) firmos SES-122 dviejų adatinių E12 klasės mezgimo mašina. Mezginių struktūra sudaryta iš trijų sluoksnių – dviejų išorinių ir vidinio užpildo sluoksnio, kurį sudaro tų per dangos, sujungiančios išorinius sluoksnius tarpusavyje. Darbe suprojektuotos ir ištirtos dvi šių daugiasluoksnių mezginių grupės:

1. Erdviniai mezginiai su vienodu užpildo kiekiu, t.y. tuo pačiu vidinio sluoksnio tų skaičiumi, kiekvienam sluoksniui parenkant skirtingas žaliavas.
2. Erdviniai mezginiai, kurių visi trys sluoksniai suprojektuoti naudojant tas pačias žaliavas, tačiau proporcingai keičiant vidinio sluoksnio jungiančiųjų siūlų tų skaičių.

Bandiniams megti naudoti:

- vilnoniai verpalai iš „Filivivi Srl“ (Italija),
- medvilniniai verpalai iš „Johann Müller AG“ (Šveicarija),
- akriliniai verpalai iš UAB „Vernitas“ (Lietuva),
- poliesteriniai daugiagijai siūlai iš „Lakshmi Ganapathy Textiles“ (Indija).

Pirmosios mezginių grupės vieno bandinio mezgimo trukmė ~ 65 min, matmenys: ~20 cm ilgis, ~34 cm plotis. Šios grupės bandiniams megti naudoti tokie siūlai:

- vilnoniai 33,3 tex ×2 ir 20,8 tex ×2 verpalai;
- medvilniniai 19,7 tex ×2 ir 29,5 tex×2 verpalai;
- akriliniai (PAN) 31,3 tex ×2 verpalai;
- poliesteriniai (PES) 42 tex siūlai.

Suprojektuota ir numezgta 11 pirmosios grupės bandinių variantų, kurie skiriasi išorinių sluoksnių ir vidinio sluoksnio siūlų pluoštine sudėtimi. Pirmosios grupės mezginiams parinkti žaliavų deriniai ir siūlų charakteristikos pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Erdvinių mezginių gamybai naudotų siūlų charakteristikos

Eil. Nr.	Bandinys (dešininė pusė/jungiantysis sluoksnis/ kairinė pusė)	Siūlų ilginis tankis (tex)
1.	Vilna / Vilna / Vilna	20,8×2 / 33,3 ×2 / 20,8×2
2.	Vilna / Medvilnė / Vilna	20,8×2 / 29,5 ×2 / 20,8×2
3.	Vilna / PAN / Vilna	20,8×2 / 32 ×2 / 20,8×2
4.	Vilna / PES / Vilna	20,8×2 / 42 / 20,8×2
5.	PES / Vilna / Vilna	42 / 33,3 ×2 / 20,8×2
6.	PES / PES / PES	42 / 42 / 42
7.	PES / PES / Vilna	42 / 42 / 20,8×2
8.	PES / Vilna / PES	42 / 33,3 ×2 / 42
9.	Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė	29,5 ×2 / 29,5 ×2 / 29,5 ×2
10.	Medvilnė / Vilna / Medvilnė	29,5 ×2 / 33,3 ×2 / 29,5 ×2
11.	Vilna / PAN / Medvilnė	20,8×2 / 32 ×2 / 29,5×2

Visų suprojektuotų antrosios grupės mezginių pluoštinė sudėtis buvo tokia pati, tai yra jų gamybai naudoti vilnoniai 33,3 tex × 2 verpalai (išorinių sluoksnių mezgimui) ir PES 42 tex siūlai (vidinio sluoksnio sudarymui). Tačiau skyrėsi šių bandinių jungiančiojo vidinio sluoksnio tūšų skaičius.

Visi suprojektuoti meziniai buvo numegzti AB „Gija“.

2.2. Bandinių struktūros rodiklių nustatymo metodika

Visi numegzti bandiniai stabilizuoti karštu garu, naudojant garinimo–stabilizavimo presą „Cosmotex“ (Ispanija).

Bandinių storio matavimai atlikti pagal standartą EN ISO 5084:1996 su 0,001 mm matavimo paklaida. Visi eksperimentai buvo atlikti standartinėje atmosferoje pagal standartą ISO 139:2002. Megztų pavyzdžių struktūriniai parametrai buvo analizuojami pagal standartą BS 5441:1998.

2.3. Bandinių oro laidumo nustatymo metodika

Bandinių laidumo orui tyrimas atliktas remiantis LST EN ISO 9237:2007 standartu. Bandymo metu matuojamas oro srauto, prasiskverbiančio per nustatytą medžiagos plotą, esant nustatytam slėgių skirtumui, debitas. Laidumo orui bandymai atlikti naudojantis prietaisu L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija) (2.1 pav.) Bandymo metu buvo naudotas 5 cm² kiaurymės žiedo formos bandinio laikiklis. Įtemptas bandinys įtvirtinamas žiedo formos bandinio laikiklyje. Įjungiamas oro siurbimo ventiliatorius ir kiti įtaisai, verčiantys orą tekėti per tekstilės medžiagą. Oro išsiurbimas pamažu didinamas tol, kol pasiekiamas anksčiau minėtas slėgių skirtumas, pasiekiamos stabilios sąlygos. Matuojamas srauto debitas esant 200 Pa slėgių skirtumui. Absoliutinė matavimų paklaida buvo apskaičiuota, kai matavimų patikimumo lygis buvo 0,95.



2.1 pav. Laidumo orui matavimo prietaisas L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija)

Laidumas orui apskaičiuotas pagal formulę [40]:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \times 167; \quad (1)$$

čia R – laidumas orui, mm/s; \bar{q}_v – oro srauto debito aritmetinis vidurkis, dm³/min (l/min); A – bandomasis plotas, cm²; 167 – perskaičiavimo koeficientas.

2.4. Bandinių šiluminių mainų dinamikos nustatymo metodika

Šilumos mainų priklausomybė nuo mezginių struktūros ir žaliavos buvo iširta naudojant IG / ISOC (Giuliani Technologies, Italija) prietaisą, skirtą šilumos izoliacijai tirti. Skaitmeninio termometro su platininiu termojutikliu matavimo paklaida yra lygi $\pm (0,071 \div 0,076)^\circ\text{C}$. Bandinys padedamas ant šildomos plokštės (kairine puse žemyn), o šilumos jutiklis uždedamas ant bandinio viršaus. Plokštė buvo pašildyta iki 40°C, viso eksperimento metu buvo palaikyta ši pastovi plokštelės temperatūra. Temperatūros pokyčiai buvo stebimi per 3600 s (1 h) laikotarpį ir buvo registruojami kas 10 s.

2.5. Statistinių rodiklių nustatymas

1. Aritmetinis vidurkis \bar{x} [40]:

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

čia x_i – i - tojo stebėjimo arba bandymo rezultatas;

n – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius

Absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ_a [41]:

$$\Delta_a = \frac{t_\alpha S}{\sqrt{n}} 100\%; \quad (3)$$

čia t_α – Stjudeno kriterijus;

S – vidutinė kvadratinė nuokrypa

Vidutinė kvadratinė nuokrypa S [41]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (4)$$

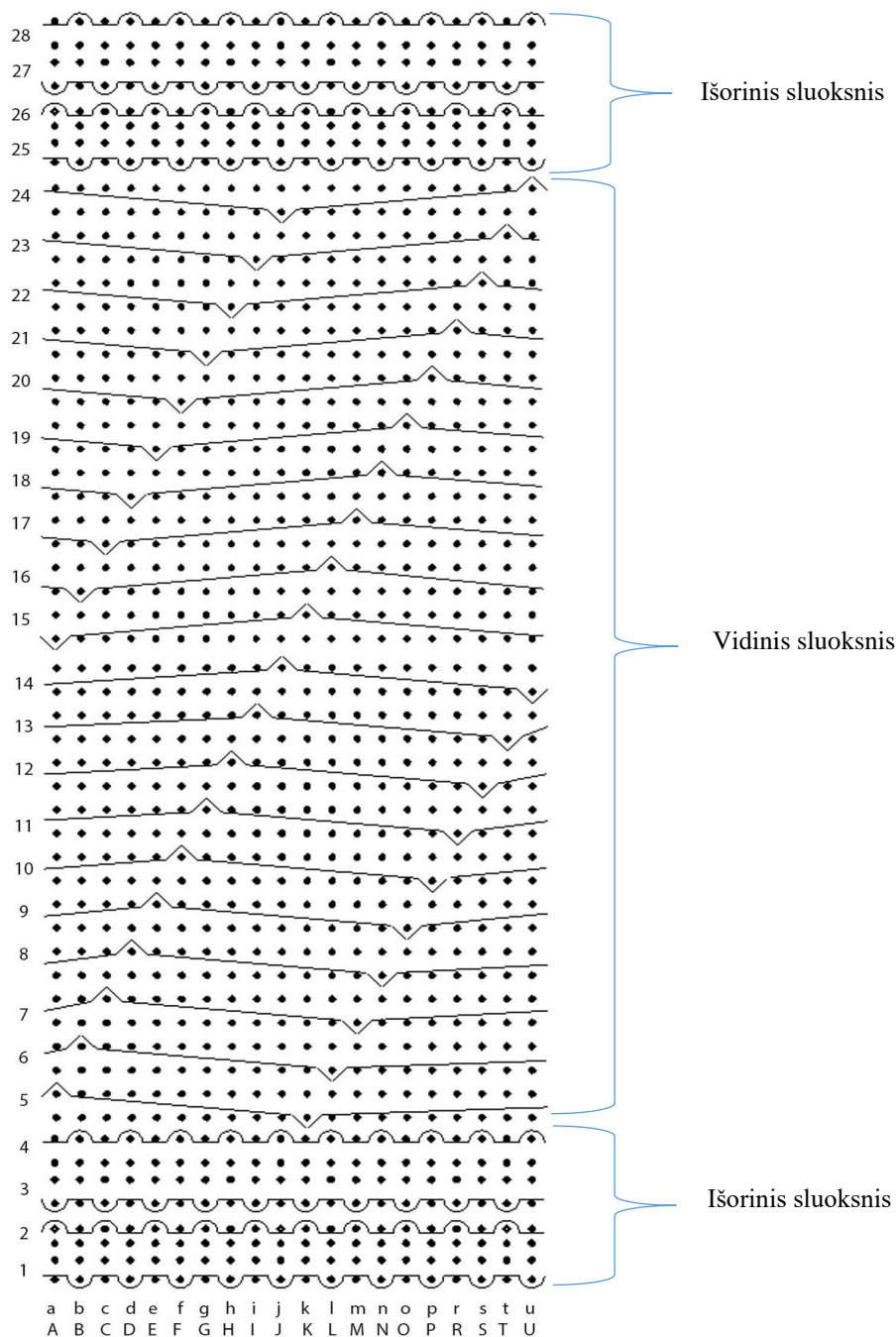
Variacijos koeficientas V [41]:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100\%; \quad (5)$$

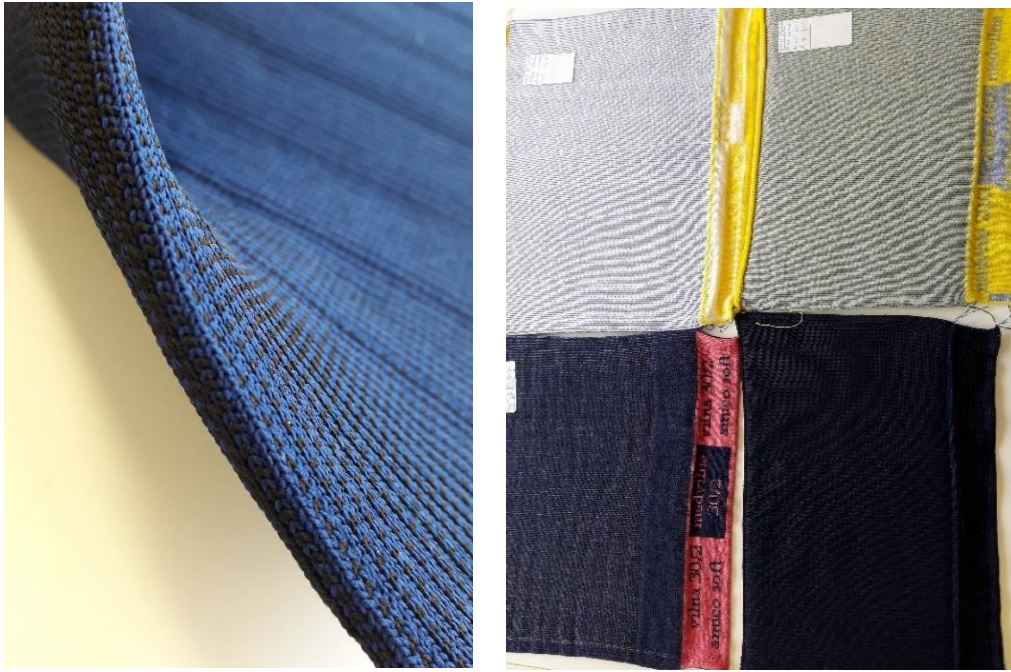
3. Tyrimų rezultatai

3.1. Erdvinių struktūrų projektavimas

Pirmosios grupės bandiniai buvo suprojektuoti tos pačios mezginio struktūros, tačiau skirtingu žaliavų išsidėstymu mezginio sluoksniuose (žr. 2.1 lentelę). Šių suprojektuotų bandinių siūlo klojimo schema pateikta 3.1 paveiksle, mezginio raportą sudaro 28 eilutės ir 20 stulpelių, pažymėtos išorinius sluoksnius bei vidinį sluoksnį sudarančios eilutės. Mezginių pavyzdžiai pateikti 3.2 paveiksle, pirmosios grupės mezginių skerspjūvio bei vidinį sluoksnį sudarančių tąsų perdangų vaizdai pateikti 3.3 paveiksle.



3.1 pav. Pirmosios bandinių grupės siūlo klojimo schema



3.2 pav. Pirmosios bandinių grupės pavyzdžiai



3.3 pav. Pirmosios bandinių grupės skersjūvio – **a** ir vidinio sluoksnio tųšų perdangų – **b** vaizdai

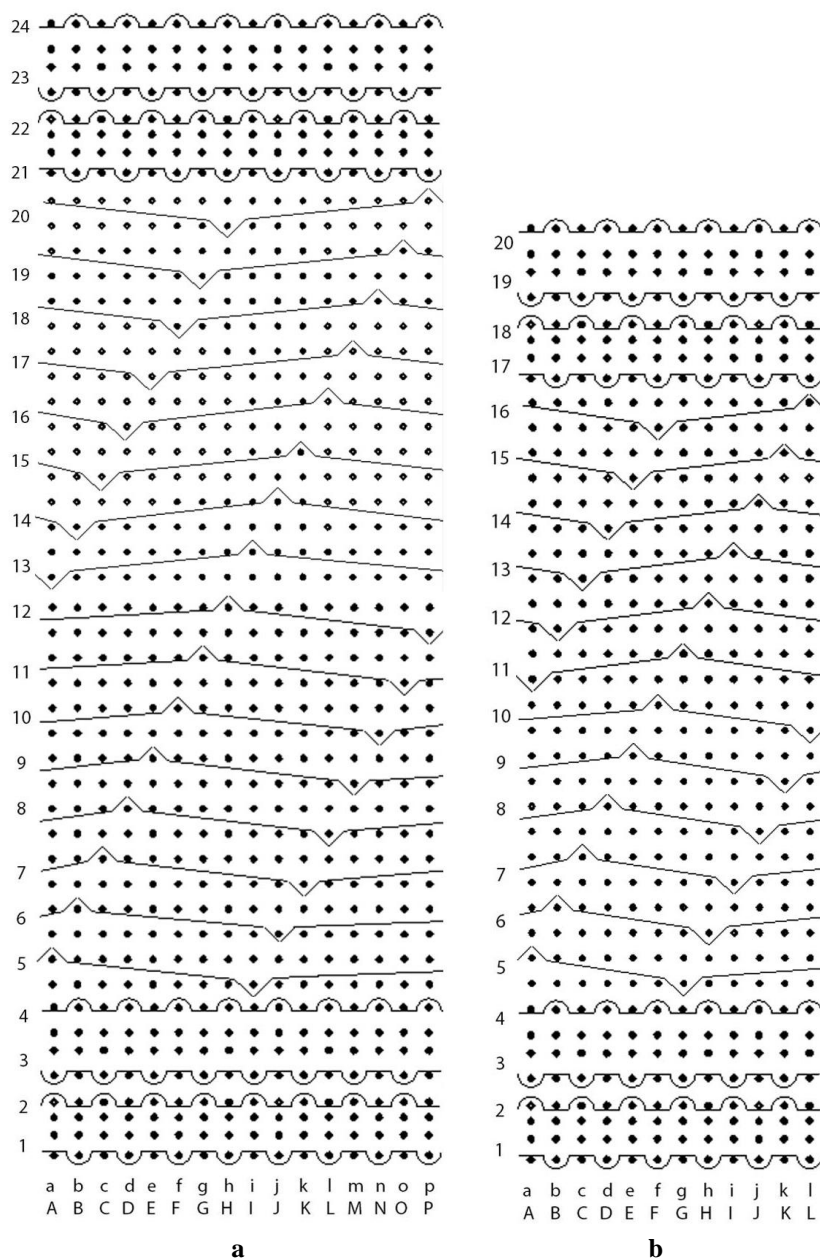
Tvarka, kaip keičiasi žaliavų išdėstymas bandinių sluoksnuose, pateikta 2.1 lentelėje.

Antrosios grupės bandiniai – tai mezginiai, kuriems naudojamas tas pats žaliavų derinys, tačiau skiriasi šių bandinių vidinį sluoksnį sudarančių jungiančiųjų tųšų perdangų skaičius, tai yra tųšos žingsnis. Suprojektuoti šeši šios grupės bandinių variantai, kurie skiriasi vidinio sluoksnio tųšų skaičiumi, dėl kurio aiškiai matomai kinta ir bandinių storis. Esant skirtingam žingsniui, kinta ir tųšos ilgis.

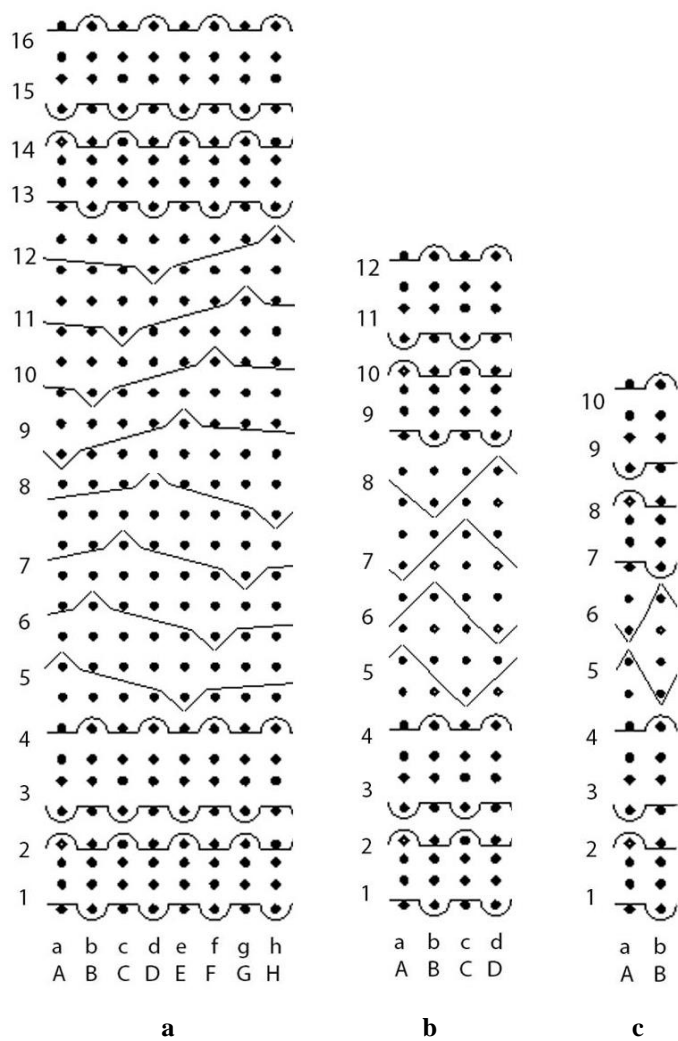
Pirmosios grupės bandinių tųšos ilgis atitinka 9 adatų žingsnį. Antrosios bandinių grupės pirmasis bandinio variantas atitinka pirmosios grupės bandinių struktūrą, išlaikant tą patį jungiančiųjų tųšų ilgį ir žingsnį, o siūlo klojimo schema yra analogiška pavaizduotai 3.1 paveiksle. Kitiems penkiems bandiniams tųšos ilgis mažinamas kas 2 adatų žingsnius, kol pasiekiamas 0 žingsnių, t.y. tųša gaunama tik tarp gretimų priekinės ir užpakalinės adatinių adatų sudaromų lankų. Šios grupės

bandinių siūlo klojimo schemas pateiktos 3.4 ir 3.5 paveiksluose, šių mezginių vaizdas parodytas 3.6 paveiksle. Šios grupės bandinių koduotė yra tokia:

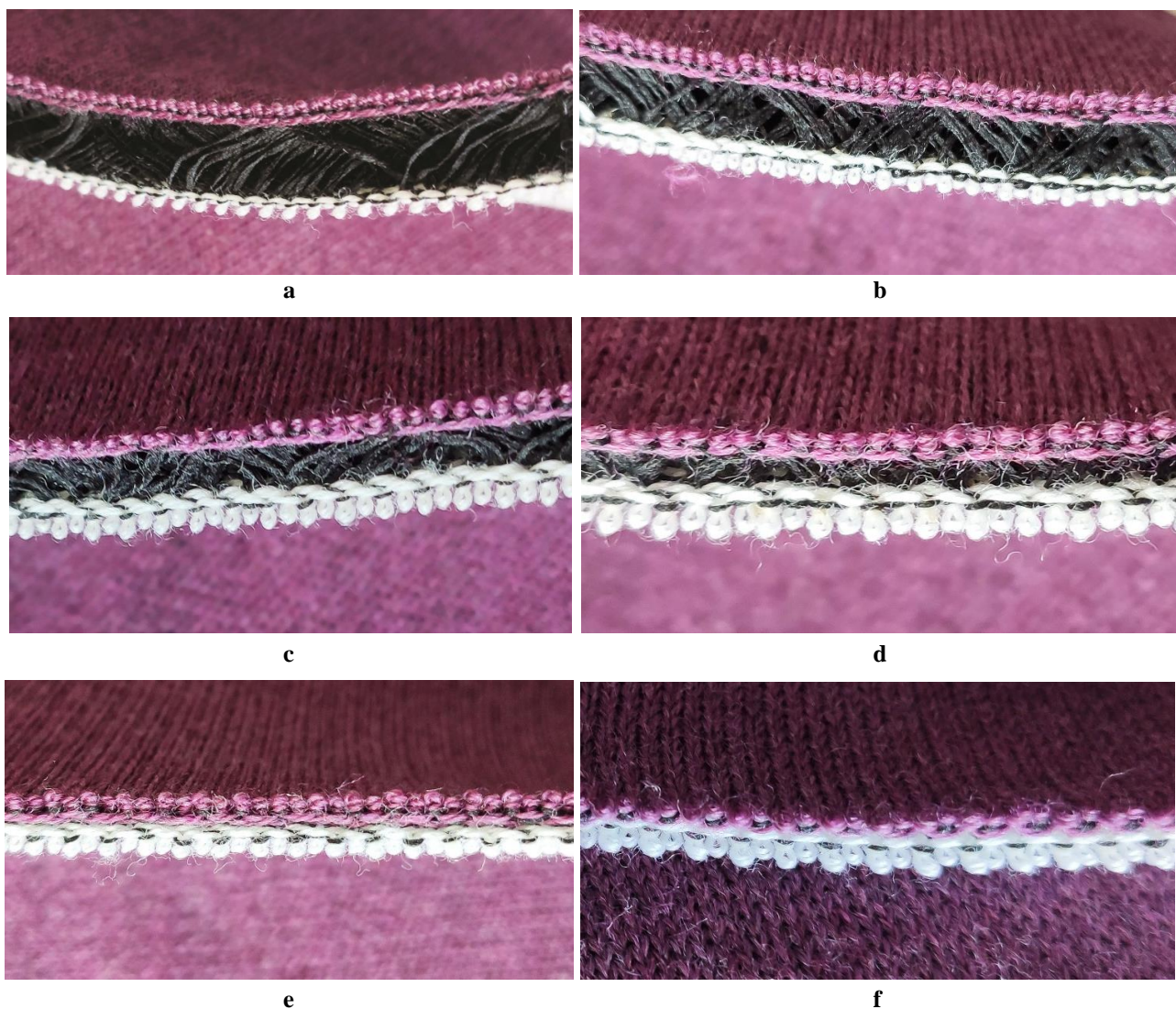
1. Vilna / PES / Vilna 9 (siūlo klojimo schema pateikta 3.1 pav.).
2. Vilna / PES / Vilna 7 (siūlo klojimo schema pateikta 3.4 pav. a)
3. Vilna / PES / Vilna 5 (siūlo klojimo schema pateikta 3.4 pav. b)
4. Vilna / PES / Vilna 3 (siūlo klojimo schema pateikta 3.5 pav. a)
5. Vilna / PES / Vilna 1 (siūlo klojimo schema pateikta 3.5 pav. b)
6. Vilna / PES / Vilna 0 (siūlo klojimo schema pateikta 3.5 pav. c)



3.4 pav. Antrosios grupės mezginių siūlų klojimo schemas: **a** – Vilna / PES / Vilna 7, **b** – Vilna / PES / Vilna 5



3.5 pav. Antrosios grupės mezginių siūlų klojimo schemas: **a** – Vilna / PES / Vilna 3, **b** – Vilna / PES / Vilna 1, **c** – Vilna / PES / Vilna 0



3.6 pav. Antrosios bandinių grupės pavyzdžiai: **a** - Vilna / PES / Vilna 9, **b** - Vilna / PES / Vilna 7, **c** - Vilna / PES / Vilna 5, **d** - Vilna / PES / Vilna 3, **e** - Vilna / PES / Vilna 1, **f** - Vilna / PES / Vilna 0

Suprojektuotų daugiasluoksnių erdvinių mezginių sandaros rodikliai pateikti lentelėse. Pirmosios grupės mezginių sandaros rodiklių vertės pateiktos 3.1 lentelėje. Antrosios grupės mezginių sandaros rodiklių vertės pateiktos 3.2 lentelėje.

3.1 lentelė. Suprojektuotų pirmosios grupės erdvinių mezginių sandaros rodikliai

Eil. Nr.	Bandinio pavadinimas (dešininė pusė/užpildas/kairinė pusė)	Vertikalusis P_v ir horizontalusis P_h tankumų koeficientai, cm^{-1}			
		Dešininė pusė		Kairinė pusė	
		P_v	P_h	P_v	P_h
1.	Vilna / Vilna / Vilna	7,5	6	7	6
2.	Vilna / Medvilnė / Vilna	7,5	6,5	7,5	6,5
3.	Vilna / PAN / Vilna	5,5	5,5	6	5,5
4.	Vilna / PES / Vilna	7	6	7,5	6
5.	PES / Vilna / Vilna	9	6	9	6
6.	PES / PES / PES	9	6	8	5,5
7.	PES / PES / Vilna	9	6	9	6
8.	PES / Vilna / PES	8	6	8	6
9.	Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė	8,5	6	8,5	6
10.	Medvilnė / Vilna / Medvilnė	8,5	6	8,5	6
11.	Vilna / PAN / Medvilnė	6,5	5,5	7	5,5

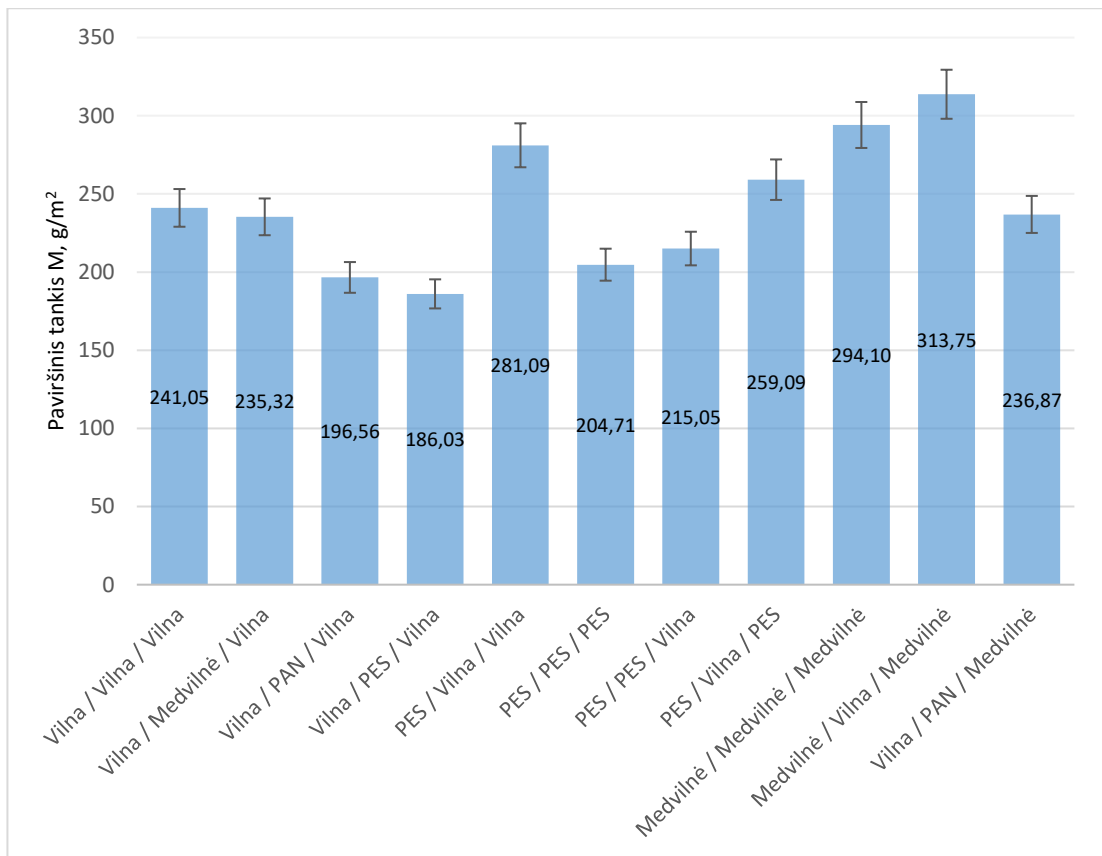
3.2 lentelė. Suprojektuotų antrosios grupės erdviųjų mezginių sandaros rodikliai

Eil. Nr.	Bandinio pavadinimas (dešininė pusė/užpildas/kairinė pusė)	Vertikalusis P_v ir horizontalusis P_h tankumų koeficientai, cm^{-1}	
		P_v	P_h
1.	Vilna / PES / Vilna 9	8	7
2.	Vilna / PES / Vilna 7	8	7
3.	Vilna / PES / Vilna 5	7,5	6,5
4.	Vilna / PES / Vilna 3	7	6
5.	Vilna / PES / Vilna 1	7	6
6.	Vilna / PES / Vilna 0	7	6

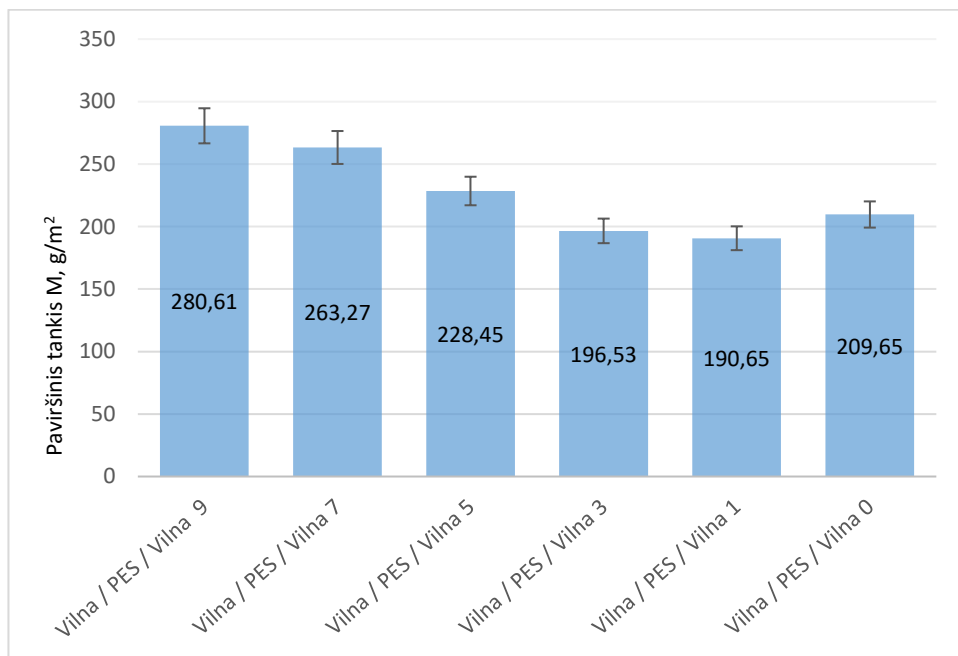
Išmatavus abiejų bandinių grupių vertikaliuosius (P_v) bei horizontaliuosius (P_h) tankumus apskaičiuoti visų bandinių paviršiniai tankiai (M), pateikti 3.3 lentelėje. Pirmosios grupės bandinių paviršinio tankio rezultatai pateikti 3.7 paveiksle, antrosios grupės bandinių – 3.8 paveiksle.

3.3 lentelė. Suprojektuotų erdviųjų mezginių apskaičiuoto paviršinio tankio rezultatai

Eil. Nr.	Bandinio pavadinimas (dešininė pusė/užpildas/kairinė pusė)	Paviršinis tankis M , g/m^2
Pirmoji bandinių grupė		
1.	Vilna / Vilna / Vilna	241,05
2.	Vilna / Medvilnė / Vilna	235,32
3.	Vilna / PAN / Vilna	196,56
4.	Vilna / PES / Vilna	186,03
5.	PES / Vilna / Vilna	281,09
6.	PES / PES / PES	204,71
7.	PES / PES / Vilna	215,05
8.	PES / Vilna / PES	259,09
9.	Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė	294,10
10.	Medvilnė / Vilna / Medvilnė	313,75
11.	Vilna / PAN / Medvilnė	236,87
Antroji bandinių grupė		
12.	Vilna / PES / Vilna 9	280,61
13.	Vilna / PES / Vilna 7	263,27
14.	Vilna / PES / Vilna 5	228,45
15.	Vilna / PES / Vilna 3	196,53
16.	Vilna / PES / Vilna 1	190,65
17.	Vilna / PES / Vilna 0	209,65



3.7 pav. Pirmosios grupės bandinių paviršinio tankio pasiskirstymas pagal pluoštinę sudėtį



3.8 pav. Antrosios grupės bandinių paviršinio tankio pasiskirstymas pagal jungiančiojo sluoksnio tų žingsnį

Atlikus paviršinio tankio skaičiavimus, iš 3.7 paveiksle pateiktų pirmosios grupės bandinių rezultatų matyti, kad didžiausias paviršinis tankis gautas bandinių, kurių didžiąją dalį sudarė medvilniniai verpalai (Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė ir Medvilnė / Vilna / Medvilnė) bei bandinio PES / Vilna

/ Vilna. Pastebėta, kad mažiausiu paviršiniu tankiu pasižymėjo bandiniai, kurių vidinis sluoksnis buvo sudarytas iš PAN arba PES siūlų (Vilna / PAN / Medvilnė, PES / PES / Vilna, PES / PES / PES ir kt.) Bandinių, kurių išorinius sluoksnius sudarė vilnoniai verpalai, o vidiniam sluoksniui naudoti PES siūlai ir PAN verpalai, paviršinio tankio rezultatai gauti mažiausi (Vilna / PAN/ Vilna ir Vilna / PES / Vilna).

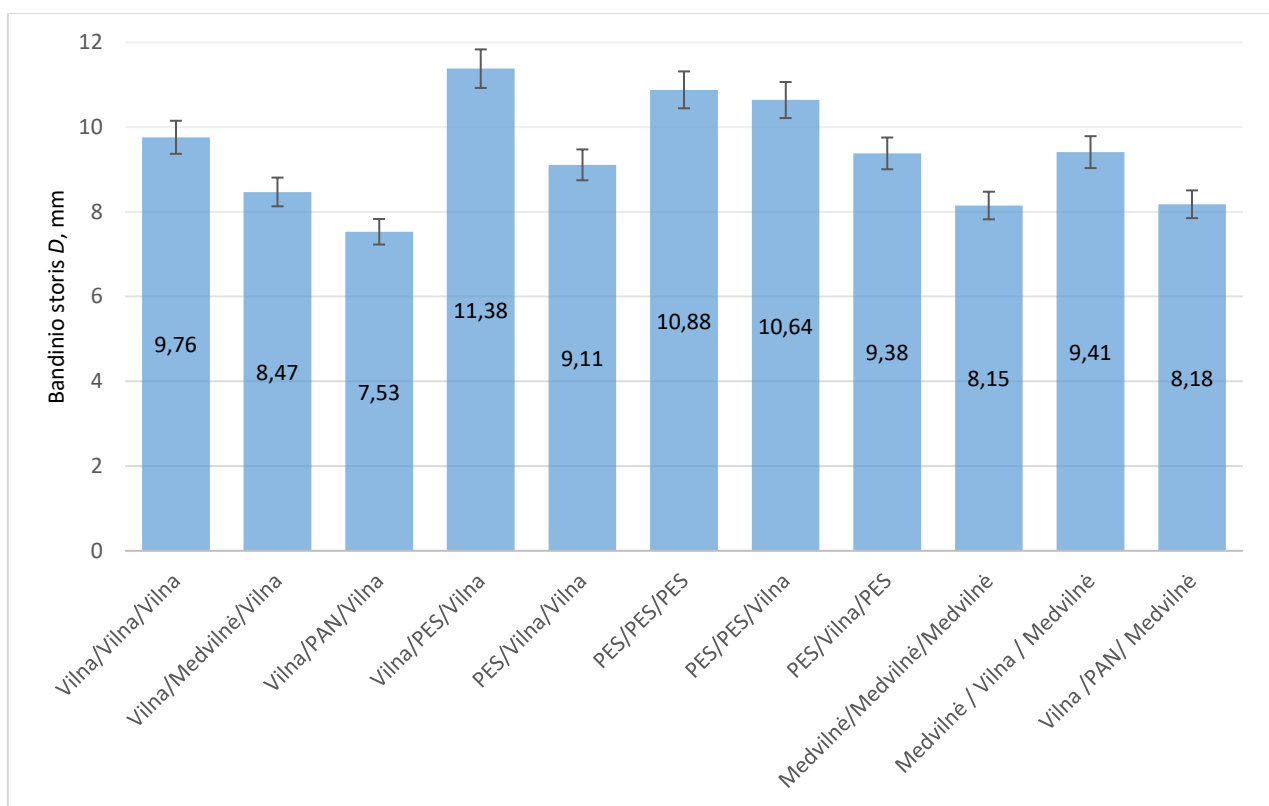
Atlikus antrosios grupės bandinių paviršinio tankio skaičiavimus, iš 3.8 paveiksle pateiktų skaičiavimų rezultatų matyti, kad, kaip ir buvo tikėtasi, bandinių paviršinis tankis mažėja, mažėjant išorinius sluoksnius jungiačių bei vidinį sluoksnį sudarančių tąsų perdangų žingsniui. Tačiau bandinio Vilna / PES / Vilna 0 paviršinis tankis gautas didesnis nei Vilna / PES / Vilna 1 ir Vilna / PES / Vilna 3 atveju. Taip yra todėl, kad mažiausio raporto bandinyje poliesterinio siūlo lankai išsidėsto ant kiekvienos gretimos adatos, be to šio varianto bandinio sąlyginiame vertikaliame raporte yra dvigubai ar, atitinkamai, trigubai kilpų eilučių. Kadangi lanko ir kilpos ilgis visada yra didesnis nei tāsos (tai yra lankui ir kilpai sudaryti reikalinga ilgesnė siūlo atkarpa), dėl to šio varianto mezginio paviršinis tankis gautas didesnis. Tačiau, didėjant vidinio sluoksnio tāsų skaičiui raporte, šių tāsų įtaka paviršiniam tankiui išauga, ką ir matome iš 3.8 paveiksle pateiktų rezultatų.

3.2. Erdvinių mezginių storio nustatymas

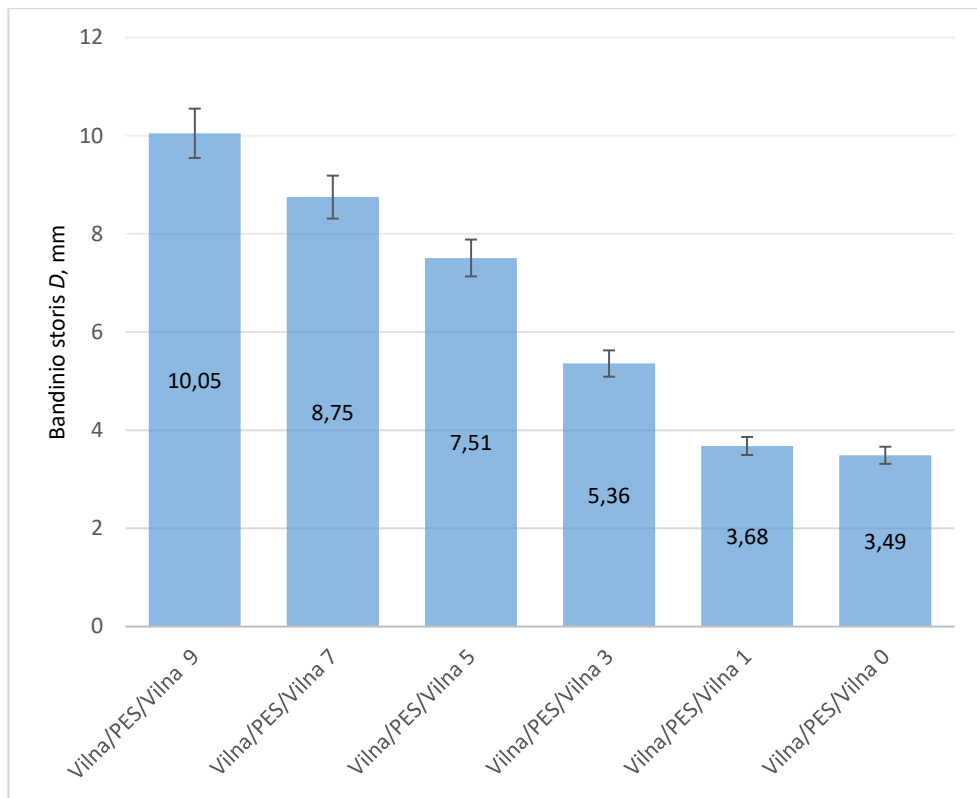
Yra žinoma, kad medžiagos storis gali turėti įtakos fizikinėms medžiagos savybėms. Tai ypač aktualu erdviniams mezginiams, kurių storis, lyginant su tradiciniais mezginiais, yra reikšmingai išreikštas. Svarbu iširti, kaip erdvinio mezginio storis priklauso nuo atskirų sluoksnių pluoštinės sudėties, jei mezginio struktūra yra tokia pati, bei kaip storis priklauso nuo jungiančiojo sluoksnio tāsų skaičiaus, jei mezginių pluoštinė sudėtis yra tokia pati. Todėl buvo nustatytas suprojektuotų abiejų grupių erdvinių daugiasluoksnių mezginių storis, matavimo rezultatai pateikti 3.4 lentelėje. Pirmosios grupės bandinių storio rezultatai grafiškai pateikti 3.9 paveiksle, antrosios grupės bandinių storio rezultatai pateikti 3.10 paveiksle.

3.4 lentelė. Suprojektuotų erdviųjų mezginių storis

Eil. Nr.	Bandinys	Mezginio storis D , mm	Variacijos koeficientas, %
1.	Vilna / Vilna / Vilna	9,76	2,29
2.	Vilna / Medvilnė / Vilna	8,47	3,34
3.	Vilna / PAN / Vilna	7,53	2,91
4.	Vilna / PES / Vilna	11,38	0,93
5.	PES / Vilna / Vilna	9,11	2,79
6.	PES / PES / PES	10,88	2,63
7.	PES / PES / Vilna	10,64	5,15
8.	PES / Vilna / PES	9,38	0,66
9.	Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė	8,15	1,11
10.	Medvilnė / Vilna / Medvilnė	9,41	2,45
11.	Vilna / PAN / Medvilnė	8,18	1,76
12.	Vilna / PES / Vilna 9	10,05	0,33
13.	Vilna / PES / Vilna 7	8,75	4,16
14.	Vilna / PES / Vilna 5	7,51	2,56
15.	Vilna / PES / Vilna 3	5,36	1,67
16.	Vilna / PES / Vilna 1	3,68	1,32
17.	Vilna / PES / Vilna 0	3,49	0,37



3.9 pav. Suprojektuotų erdviųjų mezginių pirmosios grupės storio rezultatai



3.10 pav. Suprojektuotų erdviųjų mezginių antrosios grupės storio rezultatai

Pirmosios grupės bandinių storių rezultatai svyruoja ribose nuo 7,53 mm (Vilna / PAN / Vilna) iki 11,38 mm (Vilna / PES / Vilna). Nustatyta, kad didžiausias bandinių storis gautas tais atvejais, kai vidiniam jungiančiajam sluoksniui naudoti PES siūlai, visais šiais atvejais mezginių storis gautas didesnis nei 10 mm (Vilna / PES / Vilna, PES / PES / PES ir PES / PES / Vilna). Taip yra todėl, kad jungiančiajam sluoksniui naudoti gijiniai PES siūlai pasižymi didesniu standumu nei kiti šiame darbe naudoti siūlai, todėl mezginių su tokiu jungiančiuoju sluoksniu erdvinė forma yra atsparesnė gniuždymui (veikiant nuosavam svoriui). Tuo tarpu bandiniai Vilna / PAN / Vilna, Vilna / PAN / Medvilnė ir Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė pasižymėjo mažiausiu storiumi (7,53 – 8,18 mm), nepaisant to, kad vidiniam jungiančiajam sluoksniui naudotų PAN ir medvilninių verpalų ilginis tankis buvo apie 30 % didesnis nei gijinių PES siūlų. Akivaizdu, kad siūlų žaliava ir struktūra nulemia siūlo standumą, o tuo pačiu ir erdvinio mezginio formą bei storį. Bandiniai, kurių vidiniam sluoksniui naudoti vilnos verpalai (Vilna / Vilna / Vilna, PES / Vilna / Vilna, PES / Vilna / PES ir Medvilnė / Vilna / Medvilnė), pasižymėjo vidutiniais storio rezultatais (9,11 – 9,76 mm). Iš pirmosios grupės bandinių rezultatų matyti, kad žaliavos parinkimas bei išsidėstymas skirtinguose sluoksniuose turi akivaizdžios įtakos bandinio storiui.

Atlikus antrosios grupės bandinių storio matavimus pastebėta, kad bandinių storis proporcingai mažėja, mažėjant vidinio sluoksniu tų skaičiumi ir jungiančiosios tautos žingsniui (3.10 pav.). Kuomet išorinius sluoksnius jungiančios tautos žingsnis yra 0, storis gautas mažiausias – 3,49 mm (Vilna / PES / Vilna 0) ir, atitinkamai, kai tautos žingsnis didžiausias, storis irgi didžiausias – 10,05 mm (Vilna / PES / Vilna 9). Taip pat pastebėta, kad žingsniui padidėjus nuo 0 iki 1, abiejų mezginių storio rezultatas gautas gana artimas, t.y. dėl tokio tautos žingsnio padidėjimo bandinio storis padidėja labai nežymiai – tik 0,19 mm arba 5 %. Storio skirtumai tarp kitų gretimų bandinių variantų yra reikšmingi, t.y. apie 1,5 mm. Didžiausias storio pokytis atsiranda jungiančiosios tautos žingsnį padidinus nuo 1 iki 3 – net 46 %. Šį žingsnį padidinus nuo 3 iki 5, mezginio storis išaugo 29 %. Jungiančiųjų tautų žingsnį

toliau didinant, žingsnio įtaka mezginio storiui palaipsniui mažėja, t.y. žingsnį padidinus nuo 5 iki 7, storis padidėjo 16 %, nuo 7 iki 9 – 15 %.

Taip pat, nagrinėjant antrosios grupės bandinių storio pasiskirstymo rezultatus pastebėta, kad, nors bandinio Vilna / PES / Vilna 0 paviršinis tankis yra šiek tiek didesnis nei bandinių Vilna / PES / Vilna 1 ir Vilna / PES / Vilna 3 (atitinkamai, 10 g/m² ir 16 g/m²), tačiau šio bandinio storis yra mažiausias grupėje. Vadinasi, nors lankų skaičius ir išsidėstymas mezginyje turėjo lemiamos įtakos mezginių paviršinio tankio skirtumams, tačiau storio rezultatus lėmė jungiančiojo sluoksnio tąsų skaičius raporte – ku didesnis šių tąsų skaičius raporte, tuo didesnis ir mezginio storis.

3.3. Laidumo orui tyrimo rezultatai

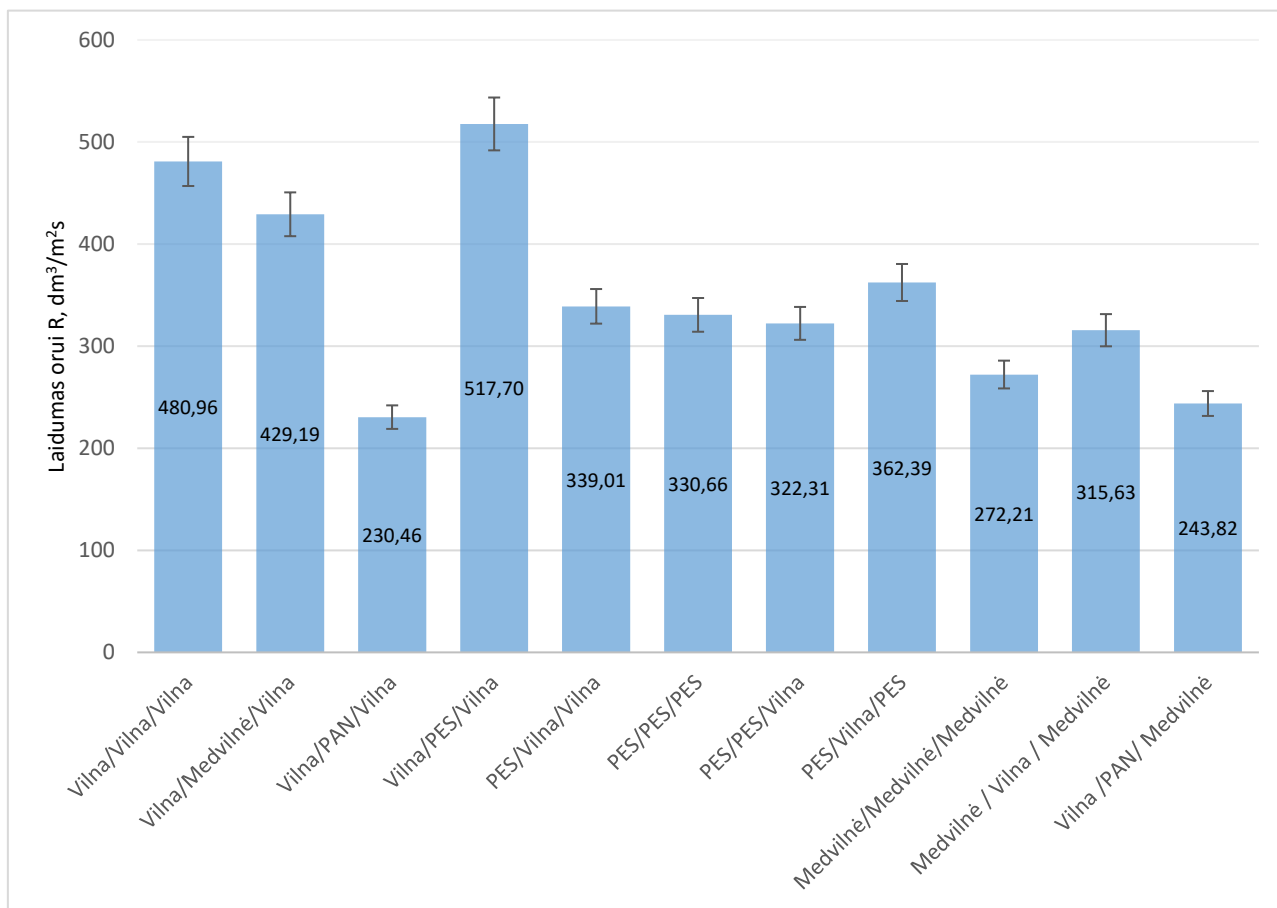
Mezginių laidumas orui yra viena svarbiausių komfortą nulemiančių savybių. Antra vertus, yra žinoma, kad laidumas orui priklauso nuo mezginio pynimo, tankumo, pluoštinės sudėties [29, 33, 42].

Šis tyrimas buvo vykdomas dviem etapais. Pirmajame etape buvo nustatyta atskirų erdvinio mezginio sluoksnių pluoštinės sudėties įtaka laidumui orui, o antrajame etape buvo nustatyta jungiančiojo sluoksnio struktūros (tai yra jungiančiųjų tąsų skaičiaus ir žingsnio raporte) įtaka naujai suprojektuotų erdvinio mezginių laidumui orui.

Abiejų grupių bandinių oro srauto debito rezultatai pateikti 3.5 lentelėje. Pirmosios grupės bandinių laidumo orui rezultatai grafiškai pateikti 3.11 paveiksle, o antrosios grupės bandinių laidumo orui rezultatai parodyti 3.12 paveiksle.

3.5 lentelė. Oro srauto debito tyrimo rezultatai

Eil. Nr.	Bandinys	Oro srauto debitas, dm ³ /min	Variacijos koeficientas, %
Pirmoji bandinių grupė			
1.	Vilna / Vilna / Vilna	14,4	3,49
2.	Vilna / Medvilnė / Vilna	12,85	3,81
3.	Vilna / PAN / Vilna	6,9	4,46
4.	Vilna / PES / Vilna	15,5	5,77
5.	PES / Vilna / Vilna	10,15	4,82
6.	PES / PES / PES	9,9	4,52
7.	PES / PES / Vilna	9,65	6,95
8.	PES / Vilna / PES	10,85	3,38
9.	Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė	8,15	4,50
10.	Medvilnė / Vilna / Medvilnė	9,45	5,40
11.	Vilna / PAN/ Medvilnė	7,3	6,44
Antroji bandinių grupė			
12.	Vilna / PES / Vilna 9	15,5	5,77
13.	Vilna / PES / Vilna 7	16,25	3,77
14.	Vilna / PES / Vilna 5	18,67	2,77
15.	Vilna / PES / Vilna 3	21,58	4,95
16.	Vilna / PES / Vilna 1	19,67	3,08
17.	Vilna / PES / Vilna 0	24	1,86

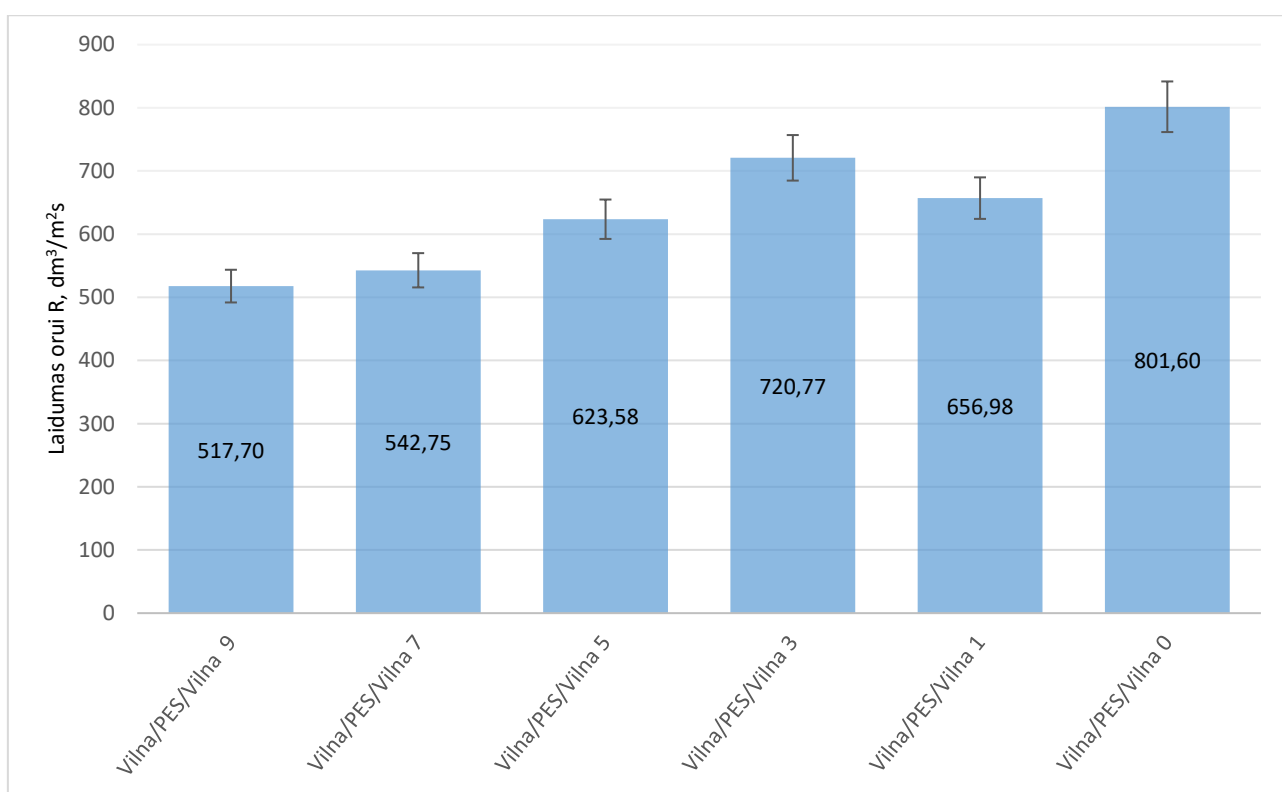


3.11 pav. Pirmosios bandinių grupės laidumo orui rezultatai

Atlikus pirmosios grupės bandinių laidumo orui tyrimą, iš gautų ir pateiktų grafiškai (3.11 pav.) rezultatų matoma, kad geriausiais laidumo orui rezultatais pasižymėjo bandiniai, kurių abu išoriniai sluoksniai suprojektuoti iš vilnos (Vilna / Vilna / Vilna, Vilna / PES / Vilna ir Vilna / Medvilnė / Vilna), išskyrus atvejį, kuomet vidinį sluoksnį sudarė PAN verpalai (Vilna / PAN / Vilna). Ypač geru laidumu orui pasižymėjo erdviniai mezginiai Vilna / PES / Vilna, kadangi PES siūlai maksimaliai išsaugo erdvinę struktūrą, leisdami per vidinį sluoksnį lengviau cirkuliuoti orui. Bandiniai, kurių vidiniam sluoksniui buvo parinkti PAN verpalai, pasižymėjo prasčiausiais laidumo orui rezultatais (Vilna / PAN / Vilna ir Vilna / PAN / Medvilnė). Nors akrilnitrilinių (PAN), vilnionių bei medvilninių verpalų, naudotų vidiniam sluoksniui, ilginio tankio vertės parinktos artimos, tačiau ženkliai mažesniai laidumui orui įtakos turėjo tekstūruota tūrinė PAN verpalų struktūra, kuri galimai sumažino erdvinio mezginio akytumą, o tuo pačiu ir laidumą orui. Tai ypač aktualu vidiniame sluoksnyje, kuomet nesudaroma kilpinė struktūra, o tašų perdangos išsidėsto glaudžiai viena šalia kitos. Taip pat žemais laidumo orui rezultatais pasižymėjo Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė bandinys. Šiam bandiniui naudotų verpalų ilginis tankis nežymiai mažesnis, lyginant su vilnioniais ir akrilnitrilniais verpalais, tačiau tai galimai turėjo įtakos laidumo orui rezultatams. Iš likusių bandinių vidutinių laidumo orui rezultatų pastebėta, kad vilnionių verpalų panaudojimas vidiniam sluoksniui šiek tiek pagerina bandinio laidumo orui rezultatus. Bandinių PES / Vilna / Vilna ir PES / Vilna / PES rezultatai geresni, lyginant su bandiniais PES / PES / PES ir PES / PES / Vilna. Taip pat, bandinių Medvilnė / Vilna / Medvilnė lyginat su Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė, matoma teigiama vilnos

įtaka laidumui orui, naudojant vilnonius verpalus vidiniam sluoksniui (laidumas didesnis $42,43 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$).

Taigi, iš gautų rezultatų matoma, kad atskirų erdvinio mezginio sluoksnių pluoštinė sudėtis (siūlų žaliava ir siūlo struktūra) turi reikšmingos įtakos laidumui orui. Įtakos laidumui orui turi ir pluoštinės sudėties pasiskirstymas sluoksniuose, pvz., iš gautų rezultatų matyti, kad bandinys PES / Vilna / PES pasižymi geresniu laidumu orui ($362,39 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$) už bandinį PES / PES / Vilna ($322,31 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$). Abiejų bandinių dviem iš sluoksnių buvo naudoti PES siūlai ir vienam sluoksniui vilnos verpalai. Dar vienas pavyzdys – Vilna / PES / Vilna ($517,70 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$) ir PES / Vilna / Vilna ($339,01 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$), dviem bandinių sluoksniams naudoti vilnos verpalai ir vienam PES, tačiau, keičiant sluoksnių išsidėstymą bandinyje, gauti ir skirtingi laidumo orui rezultatai. Tai labai svarbus rezultatas, kadangi akivaizdžiai parodo, kad svarbu ne naudojama erdviniam mezginiui žaliava apskritai, o ypatingai svarbus žaliavos parinkimas skirtingiems mezginio sluoksniams.

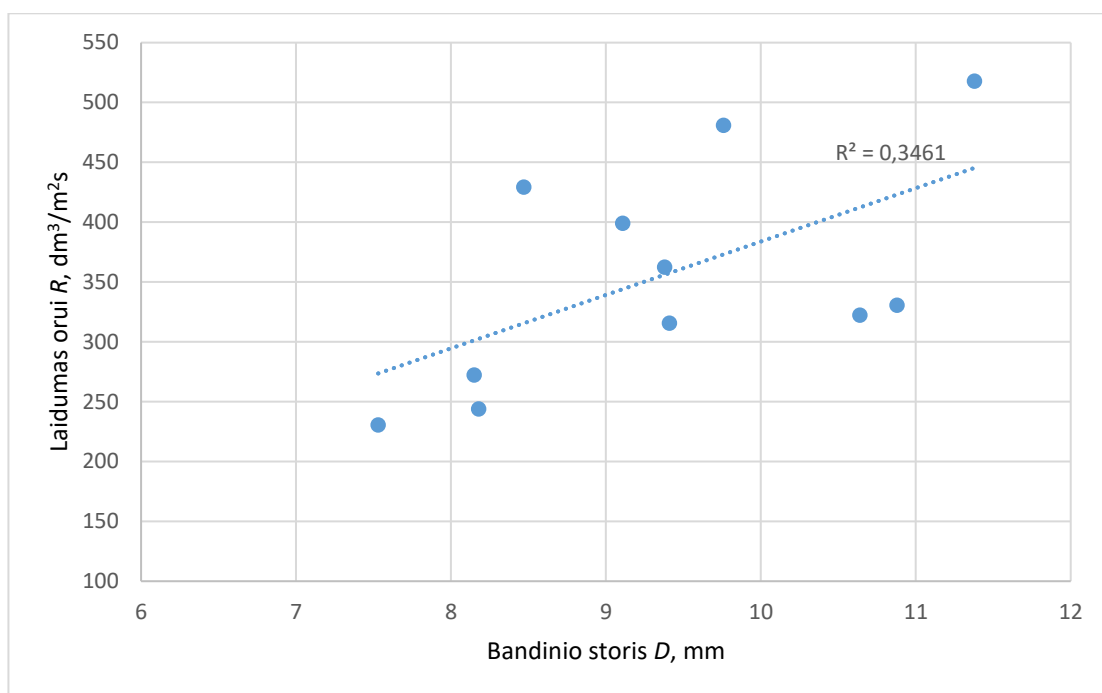


3.12 pav. Antrosios bandinių grupės laidumo orui rezultatai

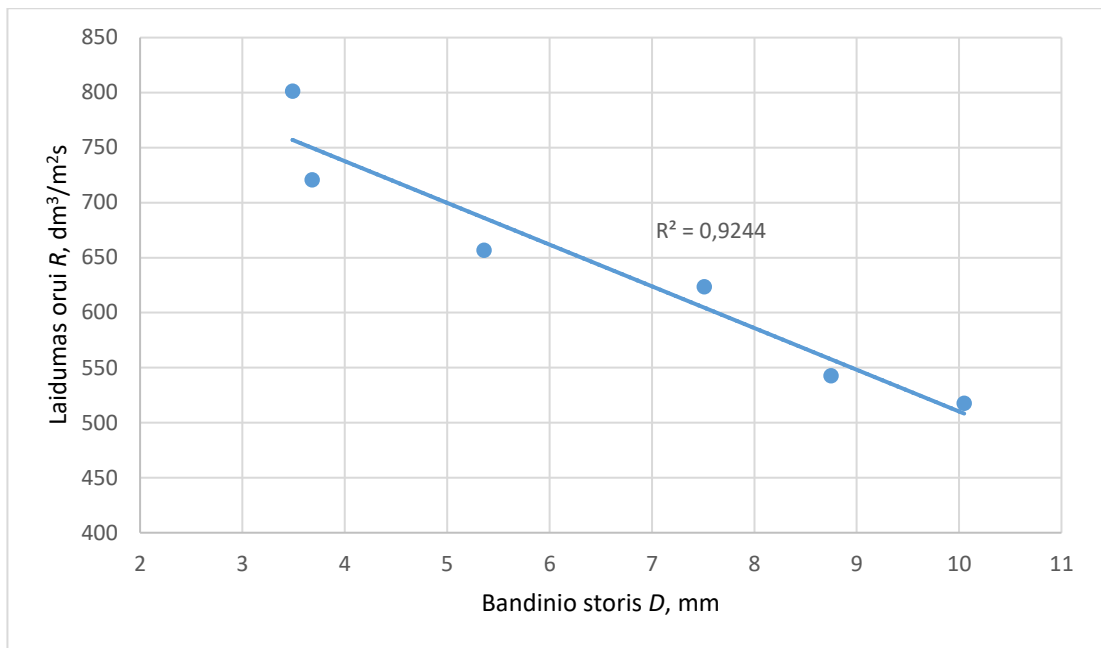
Atlikus antrosios grupės bandinių laidumo orui matavimus, kuomet pluoštinė bandinių sudėtis išlaikoma ta pati, tačiau keičiamas vidinį sluoksnį sudarančių tąsų perdangų žingsnis, o tuo pačiu ir skaičius, pastebėtas tendencingas laidumo orui rezultatų pokytis (3.12 pav.). Didžiausiu laidumu orui pasižymėjo bandinys Vilna / PES / Vilna 0 ($801,60 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$), kai tāsos žingsnis yra 0, t.y. tąsa gaunama tik tarp gretimų priekinės ir užpakalinės adatinių adatų sudaromų lankų (3.4 pav. c). Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo bandinys Vilna / PES / Vilna 9 ($517,70 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$) su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tāsų skaičiumi raporte. Taigi, nustatyta, kad didėjant jungiančiojo sluoksnių tāsų žingsniui ir skaičiui raporte, mezginių laidumas orui mažėja.

Kadangi keičiant atskirų erdvinio mezginio sluoksnių žaliavą ar jungiančiojo sluoksnio tāsų žingsnį ir skaičių kinta ir mezginio storis, buvo nuspręsta patikrinti, ar egzistuoja priklausomybė tarp mezginio storio ir laidumo orui. Šie rezultatai pateikti 3.13 ir 3.14 paveiksluose.

Iš 3.13 paveiksle pateiktų rezultatų matome, kad, kai atskirų erdvinio mezginio sluoksnių pluoštinė sudėtis skirtinga (nors mezginių pynimas yra toks pats), nėra jokios aiškios priklausomybės tarp mezginio storio ir laidumo orui. Panašią išvadą gavo ir kiti tyrėjai [41, 42]. Taip yra todėl, kad laidumui orui įtakos turi ne tik mezginio pynimas, bet ir siūlų pluoštinė sudėtis, jų ilginis tankis bei struktūra (verpalas ar gijinis siūlas, tekstūruotas ar netekstūruotas siūlas) bei mezginio sandaros rodikliai – kilpos ilgis, kilpų tankumas. Nuo mezginio pynimo, sandaros rodiklių, siūlo ilginio tankio priklauso ir mezginio storis, tačiau jam reikšmingos įtakos neturi kiti dalykai, pavyzdžiui, tokie kaip siūlo pūkuotumas, sukris, gijų storis ir skaičius, tekstūravimo laipsnis ir kita.



3.13 pav. Pirmosios grupės bandinių laidumo orui santykis su bandinių storiu

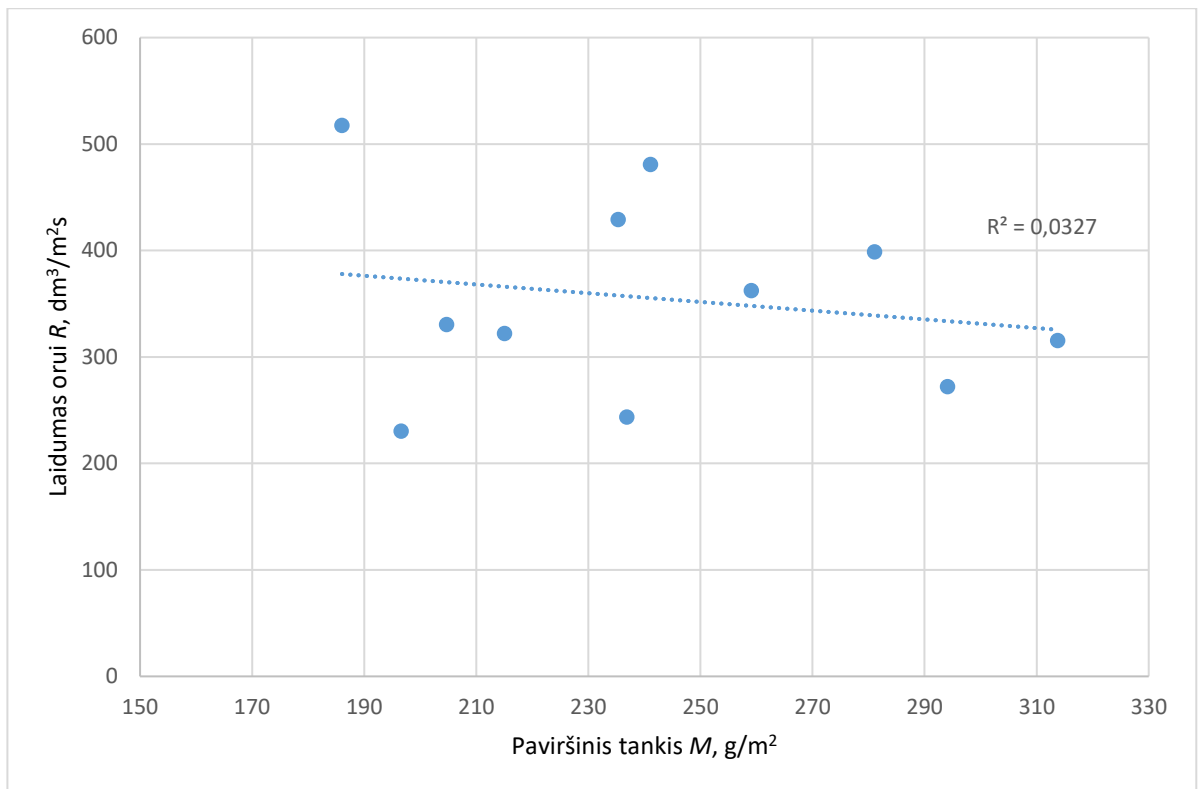


3.14 pav. Antrosios grupės bandinių laidumo orui priklausomybė nuo bandinių storio

Nagrinėjant antrosios bandinių grupės tyrimo rezultatus (3.14 pav.), priešingai pirmosios grupės atveju, nustatyta stipri priklausomybė tarp mezginių storio ir laidumo orui (gautas aukštas šios priklausomybės apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,9244$). Šiuo atveju rezultatas priešingas, nei pirmosios bandinių grupės atveju. Taip yra todėl, kad šių mezginių mezgimui buvo naudoti tokie patys siūlai bei išlaikyti labai artimi išorinių sluoksnių kilpų tankumai (P_v kito nuo 7 cm^{-1} iki 8 cm^{-1} , o P_h kito nuo 6 cm^{-1} iki 7 cm^{-1} , priklausomai nuo jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsnio ir skaičiaus, kurie šiek tiek turi įtakos kilpų tankumui, nes ant adatų sudaromi papildomi lankai, padidinantys atstumus tarp gretimų kilpų tiek eilučių, tiek ir stulpelių kryptimi). Taigi, šiuo atveju kito tik jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsnis ir skaičius raporte. Tarp išorinių sluoksnių susidarantis skirtingas skirtingo ilgio jungiančiųjų tąsų skaičius turėjo įtakos mezginio storiui bei jungiančiojo sluoksnio užpildymui, kuris, savo ruožtu, nulėmė ir laidumo orui pokyčius.

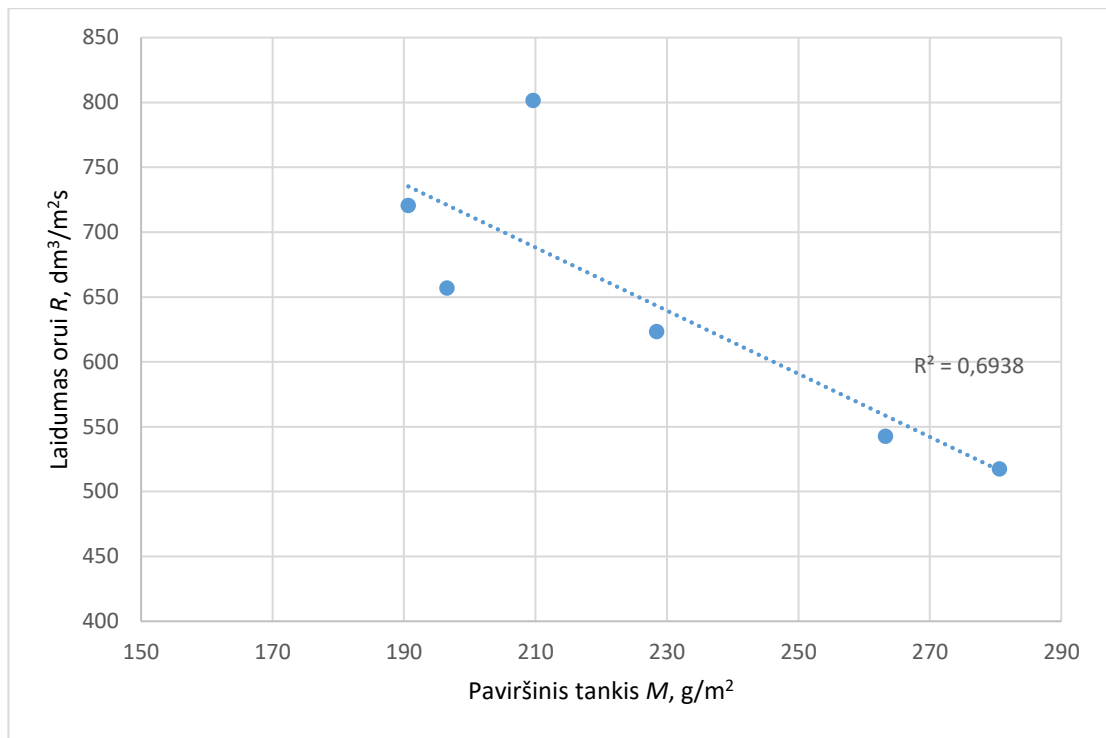
Apibendrinant galima teigti, kad egzistuoja laidumo orui priklausomybė nuo mezginio storio tik tuo atveju, kai mezginių pluoštinė sudėtis (vertinant kiekvieną erdvinio mezginio sluoksnį) yra tokia pati, o struktūrinių rodiklių vertės yra labai artimos.

Kartais literatūroje sutinkami teiginiai, kad mezginių laidumas orui priklauso nuo mezginio paviršinio tankio. Todėl buvo bandyta tokios priklausomybės paieškoti ir šiame darbe. Rezultatai pateikti 3.15 ir 3.16 paveiksluose.



3.15 pav. Pirmosios grupės bandinių laidumo orui santykis su mezginių paviršinio tankiu

Iš 3.15 pav. pateiktų rezultato matome, kad šiuo atveju laidumo orui priklausomybė nuo mezginių paviršinio tankio neegzistuoja (gautas labai mažas apibrėžties koeficientas $R^2 = 0,0327$). Taip yra todėl, kad mezginio paviršinis tankis yra kompleksinis rodiklis, priklausantis nuo daugelio kitų pirminių struktūrinių rodiklių – sandaros elementų ilgio ir tankumo mezginyje, siūlų žaliavos, ilginio tankio, skersmens ir pan. Tad, nors pirmosios grupės visų bandinių pynimas buvo toks pats, tačiau šių mezginių atskirų sluoksnių mezgimui buvo naudojami skirtingi siūlai, kurie taip pat nulėmė ir skirtingus elementų ilgius bei kilpų tankumus išoriniuose sluoksniuose. Taigi, tokiu atveju vertinti laidumo orui pagal paviršinį tankį jokių būdu negalima.



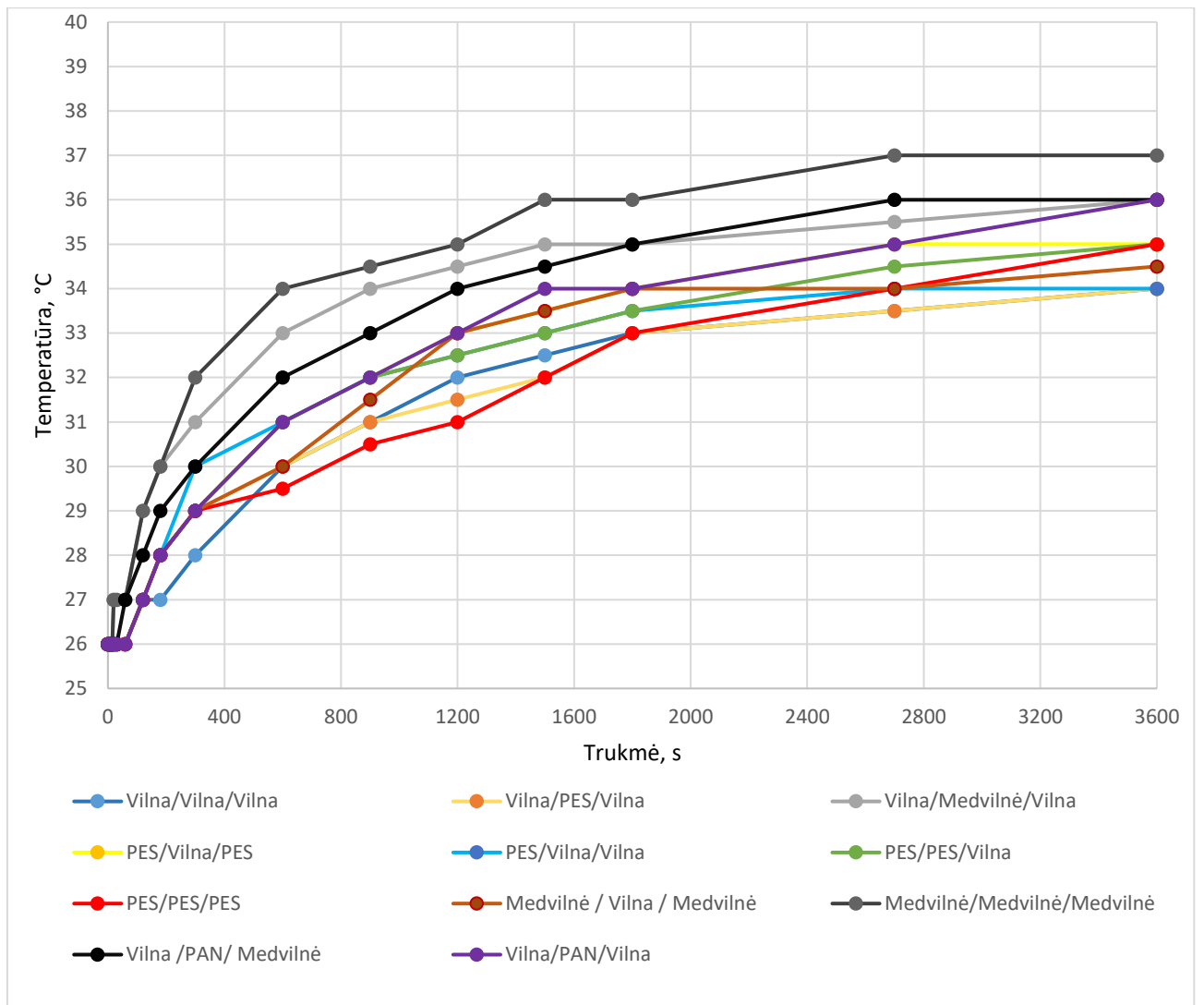
3.16 pav. Antrosios grupės bandinių laidumo orui priklausomybė nuo mezginių paviršinio tankio

Nagrinėjant antrosios grupės bandinių laidumo orui priklausomybės nuo mezginių paviršinio tankio atvejį gauta silpna priklausomybė ($R^2 = 0,6938$). Taip yra todėl, kad šiuo atveju visiems bandinių variantams naudoti tie patys siūlai, išlaikyti labai artimi struktūros parametrai bei parinktas tas pats pynimas, besiskiriantis tik raportu (jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsniu ir skaičiumi raporte). Vadinasi, jei keičiamas tik vienas parametras, tam tikra laidumo orui priklausomybė nuo paviršinio tankio egzistuoja.

3.4. Šilumos mainų dinamikos tyrimo rezultatai

Termoizoliacinės tekstilės gaminių savybės labai svarbios tiek kasdienio dėvėjimo, tiek specialios paskirties gaminiams. Vienais atvejais svarbu, kad gaminys kuo sparčiau atiduotų šilumos perteklių į išorę, o kitais atvejais – kad kuo ilgiau šilumą išsaugotų. Taigi, svarbus gaminio šiluminis laidumas. Tačiau ne mažiau svarbu nustatyti ir šilumos mainų dinamiką, tai yra kaip greitai šiluma yra atiduodama nuo kūno į aplinką.

Pirmiausia buvo tirta, kokią įtaką šilumos mainų per erdvinį mezginį dinamikai turi atskirų erdvinio mezginio sluoksnių žaliava, kai pynimas yra toks pats. Svarbu yra nustatyti, kuris žaliavų derinio variantas užtikrina lėčiausią šilumos mainų atidavimą į aplinką stebimuoju laikotarpiu (šio tyrimo atveju – per vieną valandą). Pirmosios grupės bandinių šilumos mainų dinamikos tyrimo rezultatai pateikti 3.17 paveiksle.

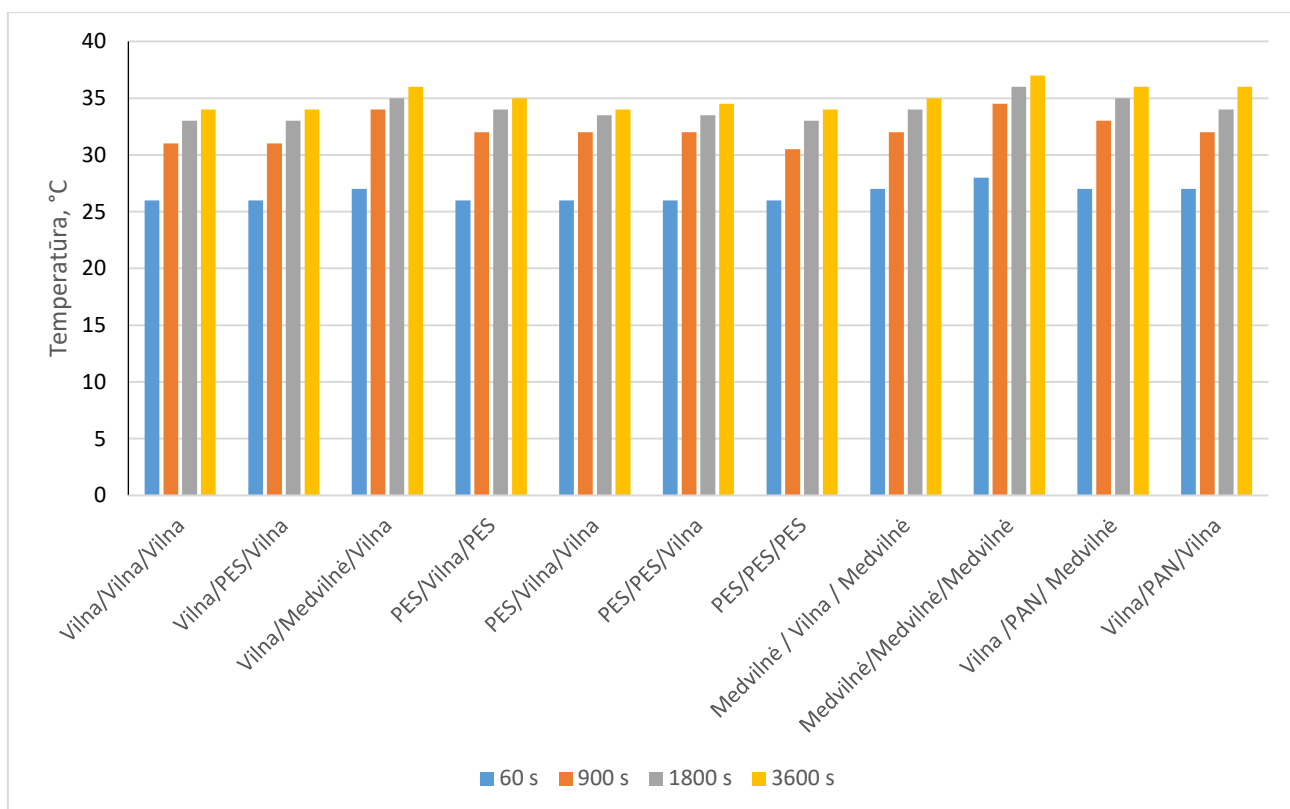


3.17 pav. Pirmosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika

Kaip rodo 3.17 paveiksle pateikti tyrimo rezultatai, visi tirtieji mežginiai pasižymėjo gera šilumos izoliacija, kadangi nei vieno bandinio išorinio sluoksnio temperatūra po 3600 s (1 h) nepasiekė 40°C temperatūros (iki tokios temperatūros buvo įkaitinta plokštė, ant kurios laikyti tiriamieji bandiniai). Iš 3.17 pav. pateiktų rezultatų matyti, kad geriausia šilumos izoliacija, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo mežginiai su vilna – Vilna / Vilna / Vilna, Vilna / PES / Vilna, PES / Vilna / Vilna ir Medvilnė / Vilna / Medvilnė. Po vienos valandos stebėjimo išorinis šių bandinių paviršius įšilo nuo 26°C iki 34°C temperatūros. Kitos mežginių grupės, kurių didžiąją dalį sudarė poliesteriniai siūlai, išorinis paviršius (PES / Vilna / PES, PES / PES / Vilna ir PES / PES / PES) po valandos pasiekė 35°C temperatūrą. Mežginiai su akrilnitriliniu ar medvilninių siūlu jungiančiajame sluoksnyje (Vilna / Medvilnė / Vilna, Vilna / PAN / Vilna, Vilna / PAN / Medvilnė) pasižymėjo greitesne šilumos mainų per mežginį dinamika, jų išorinio sluoksnio paviršius per vieną valandą įkaito iki 36°C temperatūros. Blogiausiais rezultatais pasižymėjo mežginys, kurio visi sluoksniai buvo numegzti iš medvilninių verpalų – Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė. Šio mežginio išorinio sluoksnio temperatūra po valandos stebėjimo pasiekė 37°C.

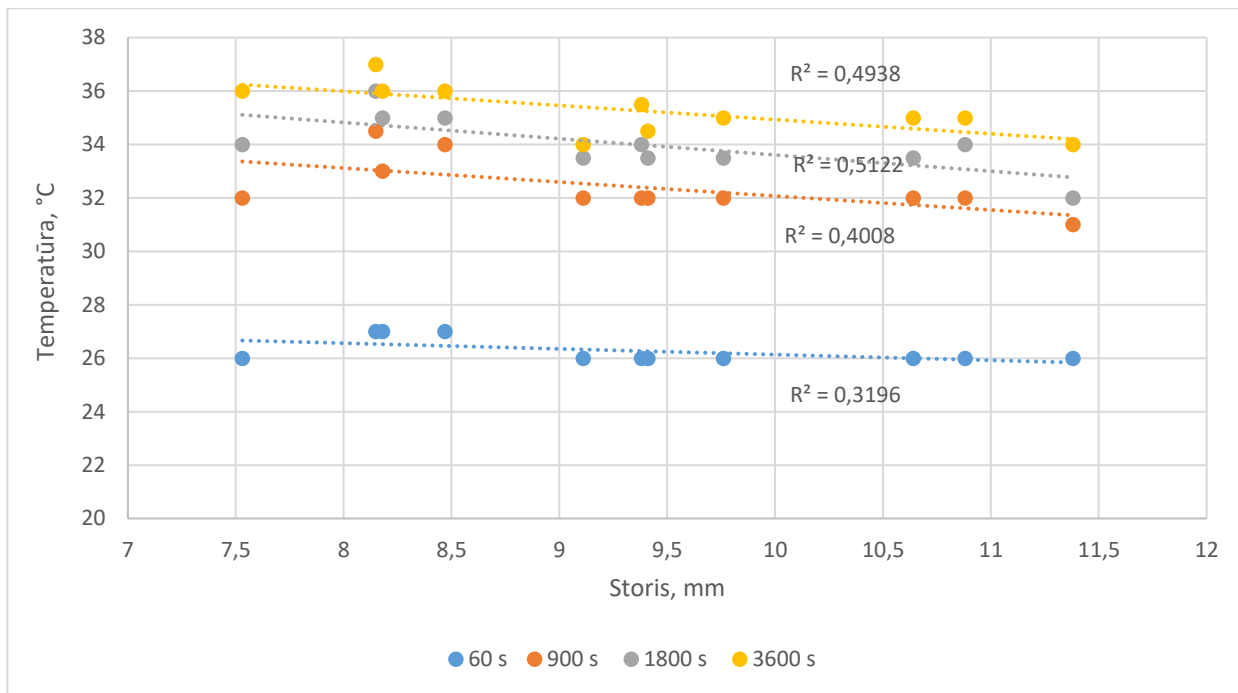
3.18 paveiksle parodyta pirmosios grupės bandinių išorinio sluoksnio temperatūra po 1, 15, 30 minučių ir 1 valandos. Labai svarbu žinoti, kaip kinta laiko atžvilgiu išorinio bandinio sluoksnio temperatūra, tai yra kaip greitai šiluma iš vidinių sluoksnių atiduodama į aplinką. Pradiniu momentu

(0 s) visų bandinių išorinio paviršiaus temperatūra buvo tokia pati - 26°C. Tačiau po 1 minutės stebėjimo išryškėjo skirtumai - bandinių Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė, Vilna / PAN / Medvilnė ir Vilna / Medvilnė / Vilna išorinio sluoksnio temperatūra pasiekė 27°C. Po 15 min aukščiausią (33-34.5°C) išorinio sluoksnio temperatūrą pasiekė tie patys bandiniai Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė, Vilna / PAN / Medvilnė ir Vilna / Medvilnė / Vilna. Po 30 min aiškiai išsiskyrė bandinys Medvilnė / Medvilnė / Medvilnė, kurio išorinio sluoksnio temperatūra pasiekė net 36°C, o po 1 valandos - 37°C. Tai reiškia, kad šis erdvinis mezginys, kurio visi sluoksniai numegzti iš medvilninių verpalų, pasižymi blogiausia šilumos izoliacija visais stebėjimo etapais. Žemiausia išorinio sluoksnio temperatūra (tik 31°C) po 15 min užfiksuota bandiniams Vilna / Vilna / Vilna ir Vilna / PES / Vilna. Šie bandiniai žemiausia išorinio sluoksnio temperatūra pasižymėjo ir po 30 min (32°C), ir po 1 valandos (34°C). Tai reiškia, kad toks žaliavų pasiskirstymas išoriniuose ir vidiniame sluoksniuose garantuoja geriausią šilumos izoliaciją.



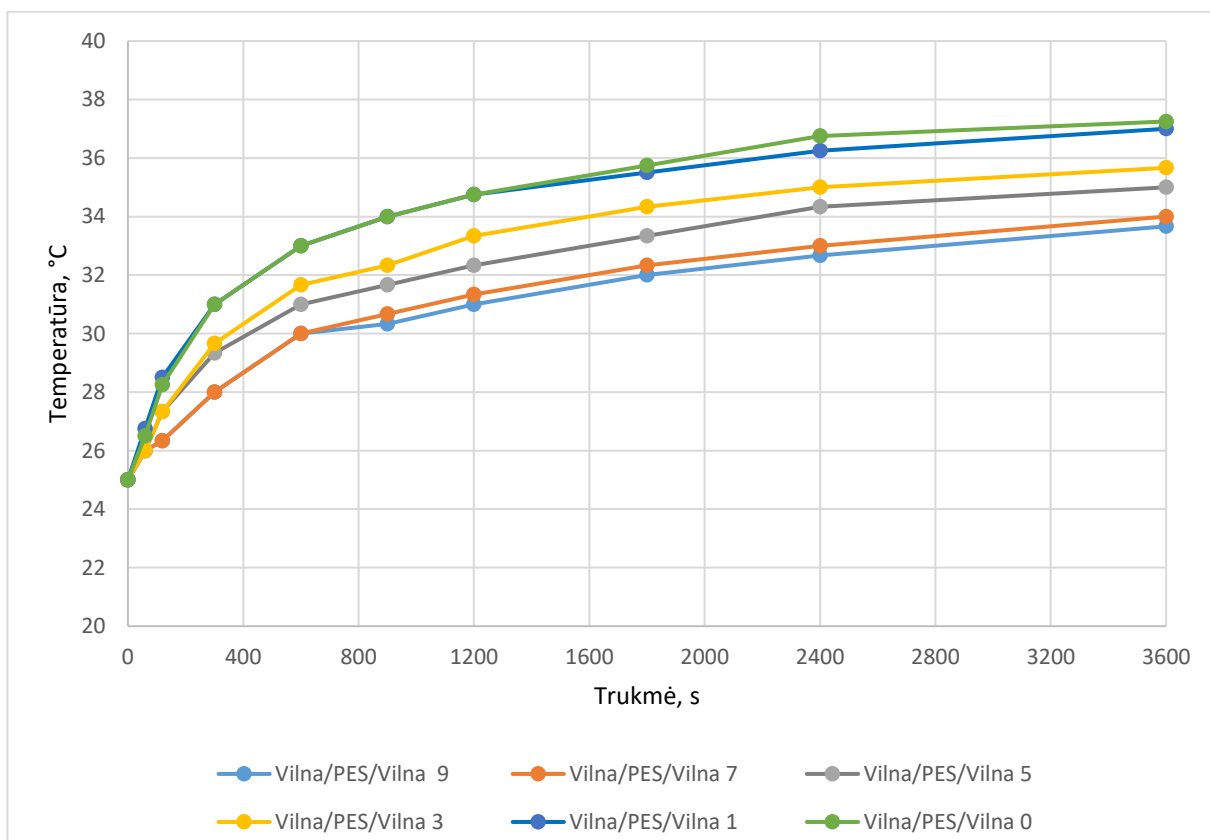
3.18 pav. Pirmosios grupės bandinių išorinio sluoksnio temperatūros pokyčiai priklausomai nuo atskirų sluoksnių žaliavos

Patikrinta, ar egzistuoja priklausomybė tarp pirmosios grupės erdviųjų mezginių storio ir šilumos mainų dinamikos, rezultatai pateikti 3.19 paveiksle. Akivaizdu, kad tiek proceso pradžioje (po 10 min), tiek ir proceso pabaigoje (po 1 h) egzistuoja labai silpnas ryšys tarp erdviųjų mezginių, kurių struktūra tokia pati, tačiau atskiri sluoksniai numegzti iš skirtingų žaliavų siūlų, storio ir šilumos mainų per mezginį stebimuoju laikotarpiu. Taigi, ir šiuo atveju, kaip ir laidumo orui tyrimo metu, nustatyta, kad ryšys tarp šių mezginių storio ir šiluminių savybių yra labai silpnas arba jo visai nėra. Šiuo atveju esminį vaidmenį atliko būtent atskirų sluoksnių siūlų žaliava.



3.19 pav. Pirmosios grupės mezginių šilumos mainų priklausomybė nuo erdvinio mezginio storio

Antrojoje tyrimo dalyje buvo tirta, kokią įtaką šilumos mainų dinamikai turi mezginio jungiančiojo sluoksnio struktūra, kai mezginio sluoksnių žaliava visais atvejais išlaikoma tokia pati – vilnoniai verpalai išoriniuose sluoksniuose ir poliesteriniai gijiniai siūlai vidiniame mezginio sluoksnyje.

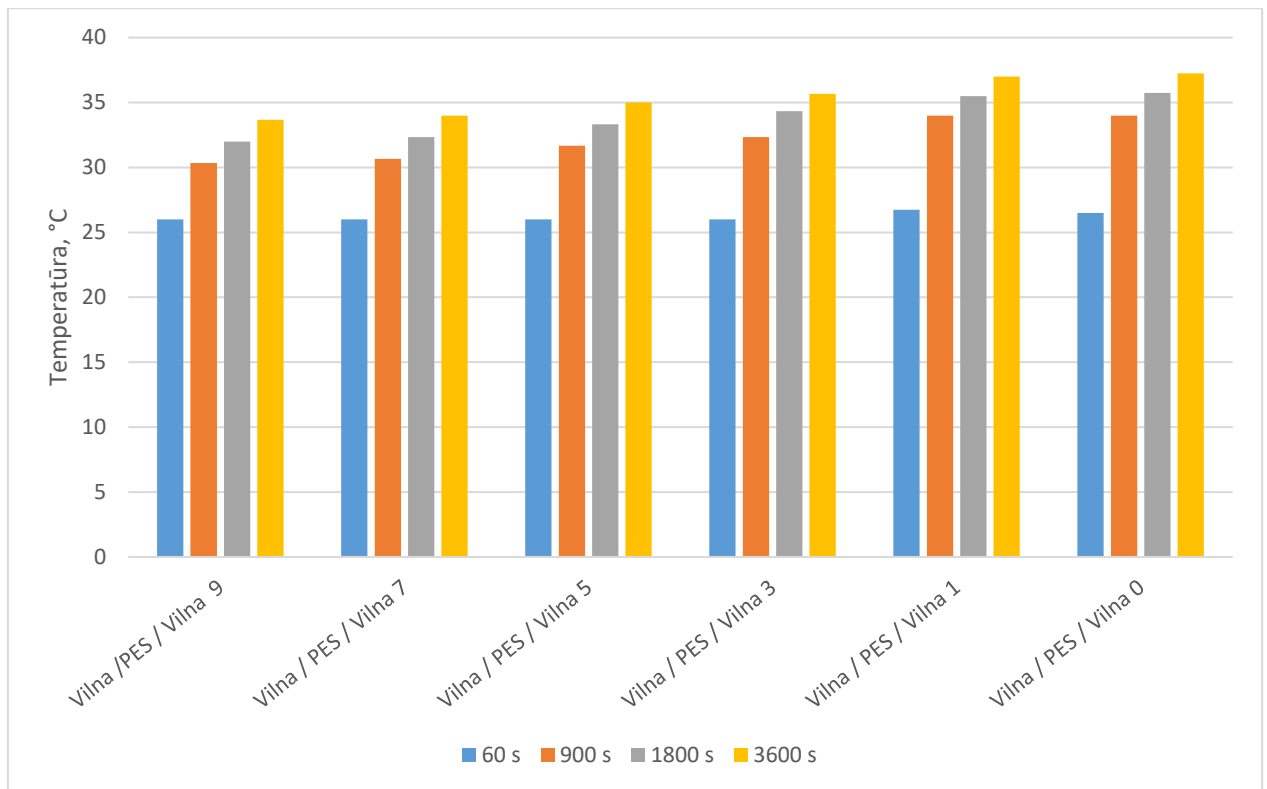


3.20 pav. Antrosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika

Iš 3.20 pav. pateiktų rezultatų matyti, kad geriausia šilumos izoliacija, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo tos pačios struktūros, kaip ir pirmosios grupės mezginiai, bandinys Vilna / PES / Vilna 9. Po 1 valandos stebėjimo išorinis šių bandinių paviršius įšilo nuo 25°C iki 33,7°C temperatūros, taigi išorinio sluoksnio temperatūra gerokai skyrėsi nuo kaitinimo plokštės temperatūros - 40°C. Artimas šilumos mainų dinamikos rezultatas po valandos gautas bandinio su mažesniu vidinį sluoksnį sudarančių PES siūlų perdangų skaičiumi t.y., jungiančiosios tąsos žingsnį sumažinus per 2 adatas, bandinio Vilna / PES / Vilna 7 paviršiaus temperatūra po valandos užfiksuota 34°C.

Blogiausiais rezultatais pasižymėjo mezginiai, kurių išorinius sluoksnius jungiančių tąsų perdangų žingsnis buvo mažiausias - Vilna / PES / Vilna 1 (37°C) ir Vilna / PES / Vilna 0 (37,3°C). Kaip ir pirmosios grupės bandiniai, šios grupės bandiniai, taip pat, per valandą nepasiekė 40°C temperatūros, todėl galima teigti, kad ir jie pasižymi gana gera šilumos izoliacija.

3.21 paveiksle pateikta antrosios grupės bandinių išorinio sluoksnio temperatūra po 1, 15, 30 minučių ir 1 valandos. Pradiniu momentu (0 s) visų bandinių išorinio paviršiaus temperatūra buvo tokia pati - 25°C. Atsirandantys nežymūs skirtumai pradėti stebėti po 1 minutės - bandinio Vilna / PES / Vilna 1 išorinio sluoksnio temperatūra pakilo iki 26,8°C, bandinio Vilna / PES / Vilna 0 - iki 26,5°C. Visų likusių bandinių (Vilna / PES / Vilna 3, Vilna / PES / Vilna 5, Vilna / PES / Vilna 7, Vilna / PES / Vilna 9) temperatūra pakilo 1 laipsniu, t.y., pakilo iki 26°C. Po 15 min aukščiausią (34°C) išorinio sluoksnio temperatūrą pasiekė tie patys bandiniai, kurių ryškiausi temperatūros pokyčiai užfiksuoti jau po 1 minutės, Vilna / PES / Vilna 0 ir Vilna / PES / Vilna 1. Po 30 min ryškiausias temperatūros pokytis užfiksuotas tų pačių Vilna / PES / Vilna 0 (35,8°C) ir Vilna / PES / Vilna 1 (35,5°C) bandinių bei Vilna / PES / Vilna 0 ir Vilna / PES / Vilna 3 (34,3°C). Mažiausias temperatūrų pokytis užfiksuotas bandinių, kurių išorinius sluoksnius jungiančių tąsų perdangų žingsnis buvo didžiausias Vilna / PES / Vilna 7 (32,3°C) ir Vilna / PES / Vilna 9 (32°C). Analizuojant rezultatus po 1 valandos, pastebėta, kad mažiausiomis ir didžiausiomis temperatūromis pasižymėjo tie patys bandiniai. Po 1 valandos aukščiausia temperatūra pasižymėjo bandiniai Vilna / PES / Vilna 0 (37,3°C) ir Vilna / PES / Vilna 1 (37°C) ir Vilna / PES / Vilna 3 (35,7°C). Mažiausios temperatūros užfiksuotos atitinkamai Vilna / PES / Vilna 7 (34°C) ir Vilna / PES / Vilna 9 (33,7°C) bandinių. Bandinio Vilna / PES / Vilna 5 išorinio sluoksnio rezultatai po 1, 15, 30 min ir 1 valandos, užfiksuoti vidutiniai, lyginant su didžiausiomis ir mažiausiomis užfiksuotomis temperatūros vertėmis šiuose laiko intervaluose.

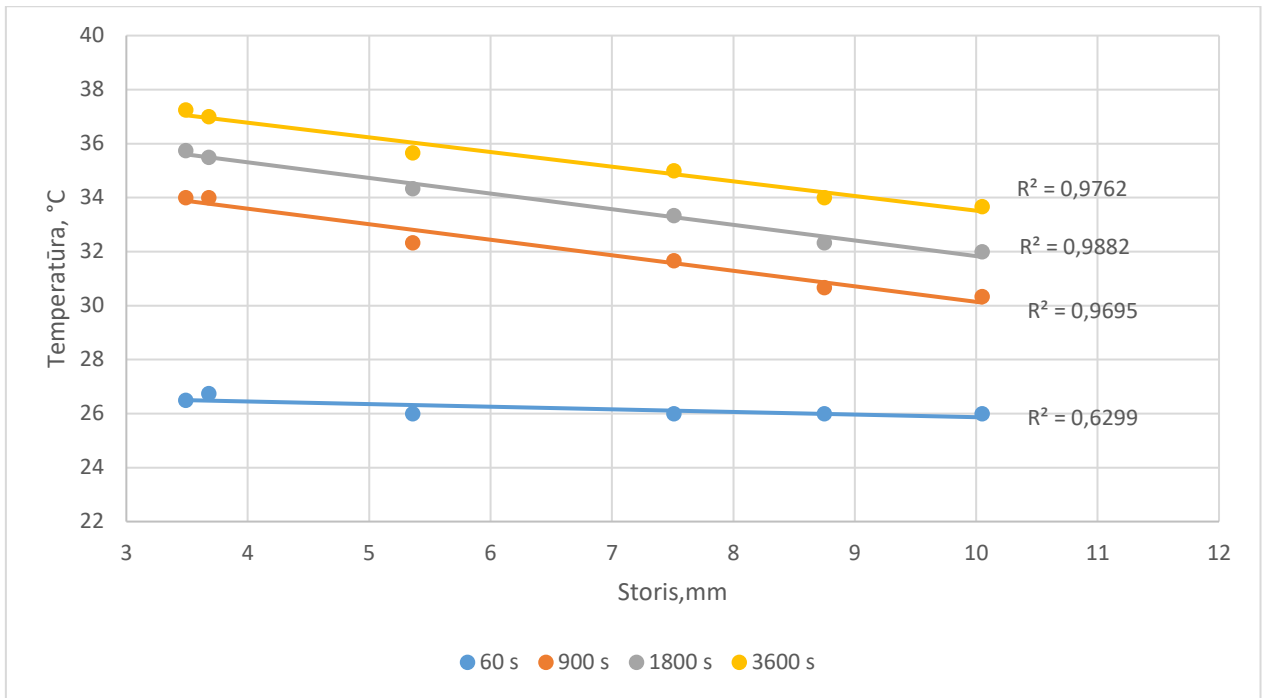


3.21 pav. Antrosios grupės bandinių išorinio sluoksnio temperatūros pokyčiai priklausomai nuo jungiančiųjų tų žingsnio ir skaičiaus erdvinio mezginio raporte

Įvertinus temperatūros pokyčius po 30 min ir 1 valandos, nustatyta, kad geriausia šilumos izoliacija pasižymėjo mežginys Vilna / PES / Vilna 9 bei Vilna / PES / Vilna 7, prasčiausiomis šilumos izoliacinėmis savybėmis pasižymėjo bandinys Vilna / PES / Vilna 0. Pastebėta, kad mažėjantys šilumos izoliacijos rezultatai po 1 valandos gauti proporcingai mažėjant išorinius mežginių sluoksnius jungiančiųjų tų perdangų žingsniui.

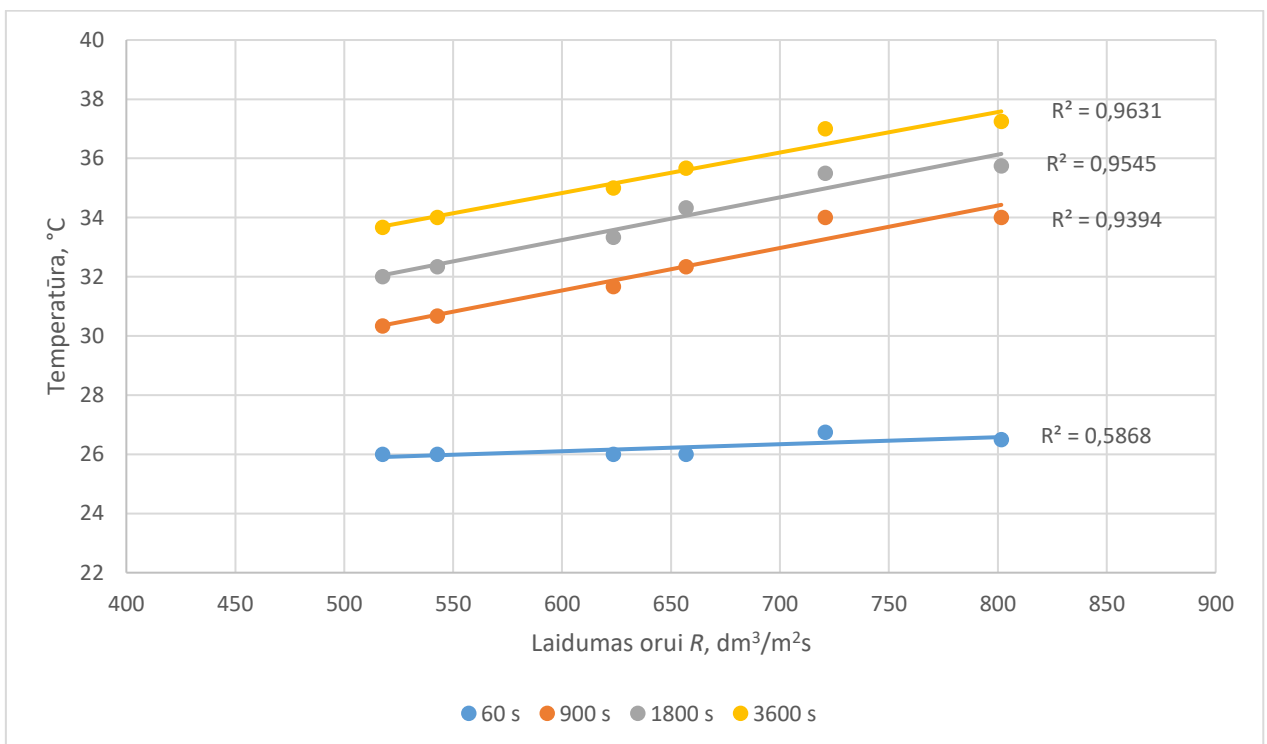
Kaip jau buvo minėta anksčiau, mažėjant tų žingsniui, mažėja ir jungiančiųjų siūlų tų, sudarančių vidinį sluoksnį, skaičius mežginio raporte. Dėl šios priežasties mažėja mežginio storis. Todėl buvo nuspręsta patikrinti, ar egzistuoja priklausomybė tarp antrosios grupės erdvinio mežginių storio ir šilumos mainų dinamikos. Tyrimo rezultatai pateikti 3.22 paveiksle.

Iš 3.22 pav. pateiktų rezultatų matyti, kad priklausomybė tarp mežginių storio ir šilumos mainų dinamikos egzistuoja. Nors po 1 minutės stebėjimo laikotarpio ši priklausomybė nėra didelė ($R^2 = 0,6299$), tačiau, didėjant stebėjimo trukmei, matomas aiškus priklausomybės tarp laidumo orui ir šios grupės bandinių storio didėjimas, ir po 1 valandos apibrėžties koeficientas gautas 0,9762. Tai parodo, kad egzistuoja stipri antrosios grupės erdvinio mežginių priklausomybė tarp mežginių storio ir šilumos mainų dinamikos. Kadangi šiuo atveju visi parametrai išlaikomi pastovūs, o kinta tik jungiančiojo sluoksnio raportas, tai akivaizdu, kad jungiančiųjų tų sukuriama storesnis ir labiau užpildytas vidinis mežginio sluoksnis padidina mežginio termoizoliaciją, tai yra apsunkina šilumos mainus tarp vidinio ir išorinio sluoksnių. Vadinasi, jei visi kiti parametrai išlieka pastovūs, galima teigti, kad kuo mežginys yra storesnis, tuo jo termoizoliacija yra geresnė. Tačiau, kaip matėme, tai negalioja tuo atveju, jei atsiranda daugiau kintamųjų – jei skiriasi atskirų erdvinio mežginių sluoksnių pluoštinė sudėtis, siūlų tipas ir storis, kilpų ilgiai ir tankumai.



3.22 pav. Antrosios grupės bandinių šilumos mainų priklausomybė nuo erdvinio mezginio storio

Atsižvelgus į rastos priklausomybės tarp antrosios grupės bandinių storio ir laidumo orui rezultatus, nuspręsta patikrinti ar egzistuoja koreliacija tarp bandinių laidumo orui ir šiluminių mainų dinamikos, rezultatai pateikti 3.23 paveiksle.



3.23 pav. Koreliacija tarp antrosios grupės bandinių šilumos mainų ir bandinių laidumo orui

Kaip matoma iš 3.23 paveiksle pateiktų rezultatų, koreliacija tarp bandinių laidumo orui ir šiluminių mainų dinamikos egzistuoja ir pradeda ryškėti po ilgesnės stebėjimo trukmės - po 15 min ši priklausomybė tampa stipri ($R^2 = 0,9394$) bei laikui bėgant didėja (po vienos valandos trukmės $R^2 =$

0,9631). Pastebėta, kad didėjant laidumo orui rezultatams, šilumos izoliacinės savybės prastėja, t.y., kuo laidesnis erdvinis mežginys orui, tuo prastesnės ir šilumos izoliacinės savybės.

3.5. Atliktų tyrimų apibendrinimas ir rekomendacijos

Sukūrus ir ištyrus dvi erdvinų mežginių grupes – pirmoji, kai mežginio pynimas yra toks pats, tačiau skiriasi žaliavų išsidėstymas skirtinguose mežginio sluoksniuose; antroji, kai atskirų sluoksnių žaliavų išsidėstymas yra toks pats, tačiau skiriasi jungiančiojo sluoksniuose tūšų žingsnis ir skaičius raporte – nustatyta, kad šių grupių mežginių elgsena yra skirtinga ir jiems negalima taikyti tokių pačių savybių prognozavimo metodų.

Tyrimų rezultatai parodė, kad erdvinų mežginių paviršinis tankis ir storis priklauso tiek nuo naudojamos žaliavos (pluoštinės sudėties ir siūlų ilginio tankio), tiek nuo jungiančiojo sluoksniuose tūšų žingsnio ir skaičiaus raporte. Paaiškėjo, kad mežginių storiui labai svarbus jungiančiojo sluoksniuose naudojamų siūlų pluoštinė sudėtis ir tipas. Gauta, kad didžiausiu storiu pasižymėjo mežginiai, kurių jungiančiojo sluoksniuose tūšos buvo sudarytos iš gijinių poliesterinių siūlų. Akivaizdu, kad didesnio standumo siūlai (lyginant su kitiems variantams naudotais vilnoniais, medvilniniais ar akrilnitriliniai verpalais) užtikrina tvirtesnę erdvinę mežginio formą ir didesnę mežginio storį, nors vidiniam jungiančiajam sluoksniuose naudotų PAN ir medvilninių verpalų ilginis tankis buvo apie 30 % didesnis nei gijinių PES siūlų. Taigi, siekiant užtikrinti stabilesnę erdvinio mežginio formą ir didesnę mežginio storį, jungiančiajam sluoksniuose turėtų būti naudojami didesnio standumo gijiniai siūlai.

Analizuojant antrosios grupės mežginius, kurių išoriniai sluoksniuose sudaryti iš vilnonių verpalų, o vidinis sluoksniuose – iš poliesterinių siūlų, nustatyta, kad didėjant jungiančiojo sluoksniuose tūšų žingsniui ir skaičiui raporte, mežginio storis taip pat didėja. Tačiau šis didėjimas nėra tolygus. Padidinus jungiančiųjų tūšų žingsnį nuo 0 iki 1, mežginio storis padidėjo tik 5 %. Didžiausias storio pokytis - net 46 % - užfiksuotas jungiančiosios tūšos žingsnį padidinus nuo 1 iki 3. Šį žingsnį padidinus nuo 3 iki 5, mežginio storis padidėjo 29 %, žingsnį padidinus nuo 5 iki 7, storis padidėjo 16 %, nuo 7 iki 9 – 15 %. Taigi, jungiančiųjų tūšų žingsnį toliau didinant, žingsnio įtaka mežginio storiui palaipsniui mažėja. Taip pat, pastebėta, kad nors mažiausio raporto bandinio (Vilna / PES / Vilna 0) paviršinis tankis dėl skirtingo lankų skaičiaus tame pačiame sąlyginiame ploto vienetu yra šiek tiek didesnis nei didesnio raporto bandinių (Vilna / PES / Vilna 1 ir Vilna / PES / Vilna 3, atitinkamai, 10 g/m² ir 16 g/m²), tačiau šio bandinio storis yra mažiausias grupėje. Vadinas, nors lankų skaičius ir išsidėstymas mežginyje lėmė mežginių paviršinio tankio skirtumus, tačiau storio rezultatus nulėmė jungiančiojo sluoksniuose tūšų skaičius raporte – kuo didesnis šių tūšų skaičius raporte, tuo didesnis ir mežginio storis.

Apibendrinus aptartus mežginių storio tyrimo rezultatus galima teigti, kad, projektuojant erdvinį mežginį, turi būti tinkamai pasirinkti atskirų sluoksniuose siūlai bei, įvertinus storio ir siūlų sąnaudų santykį, pasirinktas tinkamas jungiančiojo sluoksniuose tūšų žingsnis.

Atlikus pirmosios grupės bandinių laidumo orui tyrimą nustatyta, kad geriausiais laidumo orui rezultatais pasižymėjo bandiniai, kurių išoriniams sluoksniuose buvo pasirinkti vilnoniai verpalai (vidinio sluoksniuose tūšas formuojant iš vilnonių, medvilninių verpalų ar PES siūlų), išskyrus atvejį, kuomet vidinį sluoksniuose sudarė PAN verpalai. Ypač geru laidumu orui pasižymėjo erdviniai mežginiai, kurių išoriniai sluoksniuose numegzti iš vilnonių verpalų, o jungiantysis sluoksniuose iš PES siūlų (517,70 dm³/m²s), kadangi PES siūlai maksimaliai išsaugo erdvinę struktūrą, leisdami per vidinį sluoksniuose lengviau cirkuliuoti orui. Bandiniai, kurių vidiniam sluoksniuose buvo parinkti PAN verpalai,

pasižymėjo prasčiausiais laidumo orui rezultatais, tam įtakos turėjo tekstūruota tūrinė PAN verpalų struktūra, kuri galimai sumažino erdvinio mezginio akytumą, o tuo pačiu ir laidumą orui. Iš šių rezultatų matoma, kad atskirų erdvinio mezginio sluoksnių pluoštinė sudėtis (siūlų žaliava ir siūlo struktūra) turi reikšmingos įtakos laidumui orui. Taip pat pastebėta, kad laidumui orui įtakos turi ir pluoštinės sudėties pasiskirstymas sluoksnuose. Pavyzdžiui, iš gautų rezultatų matyti, kad bandinys, kurio išoriniai sluoksniai sudaryti iš PES siūlų, o vidinis iš vilnionių verpalų, pasižymi geresniu laidumu orui ($362,39 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$) už bandinį, kurio vienas išorinis ir jungiantysis sluoksniai sudaryti iš PES siūlų, o kitas išorinis sluoksnis iš vilnionių verpalų ($322,31 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$). Šie rezultatai parodo žaliavos parinkimo atskiriems mezginio sluoksniams svarbą.

Atlikus antrosios grupės bandinių laidumo orui matavimus, pastebėtas tendencingas laidumo orui didėjimas, mažėjant jungiančiojo sluoksnių tąsų žingsniui ir skaičiui raporte. Didžiausiu laidumu orui pasižymėjo bandinys, kai tąsos žingsnis yra 0, t.y. tąsa gaunama tik tarp gretimų priekinės ir užpakalinės adatinių adatų sudaromų lankų ($801,60 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$). Mažiausiu laidumu orui pasižymėjo bandinys su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tąsų skaičiumi raporte ($517,70 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{s}$). Mažinant vidinį sluoksnį sudarančių tąsų žingsnį nuo 9 iki 0, laidumas orui didėjo atitinkamai – 5%, 20,5%, 27%, 39% ir 55%.

Apibendrinus gautus laidumo orui rezultatus pastebėta, kad pirmosios grupės erdvinio mezginių laidumo orui negalima prognozuoti nei pagal jų paviršinį tankį, nei pagal storį. Tuo tarpu antrosios grupės erdviniam mezginiams nustatyta stipri laidumo orui priklausomybė nuo mezginio storio, taip pat egzistuoja priklausomybė ir nuo paviršinio tankio. Taigi, laidumo orui priklausomybė nuo mezginio storio bei paviršinio tankio egzistuoja tik tuo atveju, kai mezginių pluoštinė sudėtis (vertinant kiekvieną erdvinio mezginio sluoksnį) yra tokia pati, o struktūrinių rodiklių vertės yra labai artimos.

Pirmosios bandinių grupės atveju gauta, kad geriausia šilumos izoliacija, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo mezginiai su vilna, o blogiausiais šilumos izoliacija pasižymėjo mezginys, kurio visi sluoksniai buvo numegzti iš medvilninių verpalų. Patikrinus ar egzistuoja priklausomybė tarp pirmosios grupės erdvinio mezginių storio ir šilumos mainų dinamikos, pastebėta, kad tiek proceso pradžioje (po 15 min), tiek ir proceso pabaigoje (po 1 h) egzistuoja labai silpnas ryšys tarp erdvinio mezginių, kurių struktūra tokia pati, tačiau atskiri sluoksniai numegzti iš skirtingų žaliavų siūlų, storio ir šilumos mainų per mezginį stebimuoju laikotarpiu. Taigi, ir šiuo atveju, kaip ir laidumo orui tyrimo metu, nustatyta, kad ryšys tarp šių mezginių storio ir šiluminių savybių yra labai silpnas arba jo visai nėra.

Vertinant antrosios grupės bandinių šilumos mainų dinamiką nustatyta, kad geriausia šilumos izoliacija, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo bandinys su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsniui ir skaičiumi raporte. Nuosekliai mažinant jungiančiojo sluoksnio tąsų žingsnį ir skaičių raporte, šilumos mainų dinamika nuosekliai spartėja, t.y. šilumos izoliacinės savybės prastėja.

Nustatyta, kad egzistuoja priklausomybė tarp antrosios grupės mezginių storio ir šilumos mainų dinamikos, ir ji stiprėja didėjant stebėjimo trukmei. Kadangi šiuo atveju visi parametrai išlaikomi pastovūs, o kinta tik jungiančiojo sluoksnio raportas, tai akivaizdu, kad jungiančiųjų tąsų sukuriamas storesnis ir labiau užpildytas vidinis sluoksnis padidina mezginio termoizoliaciją, tai yra apsunkina šilumos mainus tarp vidinio ir išorinio sluoksnių. Taip pat nustatyta, kad egzistuoja koreliacija tarp

bandinių laidumo orui ir šiluminių mainų dinamikos ir ji laikui bėgant stiprėja (po 15 min stebėjimo $R^2 = 0,9394$, po 1 h - $R^2 = 0,9631$). Kuo erdvinis mežginys laidesnis orui, tuo prastesnės jo šilumos izoliacinės savybės.

Apibendrinant šilumos mainų dinamikos rezultatus galima teigti, kad tiek pirmosios, tiek antrosios grupės mežginiai pasižymėjo gera šilumos izoliacija, kadangi nei vieno bandinio išorinio sluoksnio temperatūra po 1 h nepasiekė 40°C temperatūros (iki tokios temperatūros buvo įkaitinta plokštė, ant kurios laikyti tiriamieji bandiniai).

Išvados

1. Suprojektuotos ir ištirtos dvi skersinių erdviųjų mezginių grupės – pirmosios grupės bandinių pynimas ir jo raportas toks pats, tačiau atskirų sluoksnių pluoštinė sudėtis skirtinga (11 variantų); antrosios grupės bandinių pluoštinė sudėtis tokia pati, tačiau skyrėsi jungiančiojo sluoksnio tūšų žingsnis ir skaičius raporte (6 variantai).
2. Nustatyta, kad erdviųjų mezginių storis priklauso nuo jungiančiojo sluoksnio tūšas sudarančių siūlų žaliavos ir tipo bei jungiančiojo sluoksnio tūšų žingsnio ir skaičiaus raporte:
 - 2.1. Gijiniai poliesteriniai siūlai vidiniame sluoksnyje nulėmė didesnę mezginio storį (10,6 – 11,4 mm) nei mezginių su vilnoniais verpalais (9,1 – 9,8 mm), medvilniniais verpalais (8,2 – 8,5 mm) ar akrilnitriliniiais verpalais (7,5 – 8,2 mm) vidiniame sluoksnyje.
 - 2.2. Didėjant jungiančiojo sluoksnio tūšų žingsniui raporte nuo 0 iki 9, mezginių storis padidėjo nuo 3,5 mm iki 10 mm, tačiau šis pokytis nėra tolygus: jungiančiųjų tūšų žingsniui padidėjus nuo 0 iki 1, mezginio storis padidėjo tik 5 %, toliau didinant šį žingsnį nuo 1 iki 9, storis didėjo 15 - 46 %.
 - 2.3. Siekiant užtikrinti stabilesnę erdvinio mezginio formą ir didesnę mezginio storį, jungiančiajam sluoksniui turėtų būti naudojami didesnio standumo gijiniai siūlai bei didinamas jungiančiojo sluoksnio tūšų žingsnis bei skaičius raporte.
3. Nustatyta, kad laidumas orui priklauso nuo erdviųjų mezginių sudarančių siūlų pluoštinės sudėties bei skirtingos pluoštinės sudėties siūlų išsidėstymo tvarkos atskiruose sluoksniuose:
 - 3.1. Geriausiais laidumo orui rezultatais pasižymėjo bandiniai, kurių išoriniams sluoksniams buvo pasirinkti vilnoniai verpalai. (Vilna/PES/Vilna – 517,70 dm³/m²s, Vilna/Vilna/Vilna – 480,96 dm³/m²s ir Vilna/Medvilnė/Vilna - 429,19 dm³/m²s). Bandiniai, kurių vidiniam sluoksniui buvo parinkti tekstūruoti PAN verpalai, pasižymėjo prasčiausiais laidumo orui rezultatais (Vilna/PAN/Vilna – 230,46 dm³/m²s ir Vilna/PAN/Medvilnė – 243,82 dm³/m²s).
 - 3.2. Nustatyta, kad laidumui orui įtakos turi ir pluoštinės sudėties pasiskirstymas sluoksniuose: bandinys PES/Vilna/PES pasižymi geresniu laidumu orui (362,39 dm³/m²s) už bandinį PES/PES/Vilna, nors abu bandinius sudaro du PES ir vienas vilnos sluoksnis; bandinys Vilna/PES/Vilna (517,70 dm³/m²s) pasižymi geresniu laidumu orui už PES/Vilna/Vilna (339,01 dm³/m²s), nors abu bandinius sudaro du vilnos ir vienas PES sluoksnis.
 - 3.3. Mažiausiu laidumu orui (517,70 dm³/m²s) pasižymėjo bandinys Vilna/PES/Vilna 9 su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tūšų žingsniui ir skaičiumi raporte. Mažinant vidinį sluoksnį sudarančių tūšų žingsnį nuo 9 iki 0, laidumas orui didėjo, atitinkamai, 5%, 20,5%, 27%, 39% ir 55%.
 - 3.4. Nustatyta, kad laidumo orui priklausomybė nuo erdvinio mezginio storio bei paviršinio tankio egzistuoja tik tuo atveju, kai mezginių pluoštinė sudėtis (vertinant kiekvieną erdvinio mezginio sluoksnį) yra tokia pati, o struktūrinių rodiklių vertės yra labai artimos.
4. Nustatyta, kad šilumos mainų dinamika priklauso nuo erdviųjų mezginių sudarančių siūlų pluoštinės sudėties bei vidinį sluoksnį sudarančių tūšų žingsnio ir skaičiaus raporte:
 - 4.1. Lėčiausia pirmosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo mezginiai su vilna, išorinis šių bandinių paviršius išilo iki 34°C temperatūros. Blogiausiais rezultatais pasižymėjo mežginys, kurio visi sluoksniai buvo numegzti iš medvilninių verpalų (37°C).

- 4.2. Lėčiausia antrosios grupės bandinių šilumos mainų dinamika, vertinant po vienos valandos stebėjimo, pasižymėjo mezginiai su didžiausiu jungiančiojo sluoksnio tų žingsniu, jų išorinis paviršius įšilo iki 33,7°C temperatūros. Mažinant jungiančiojo sluoksnio tų žingsnį ir skaičių raporte, šilumos mainų dinamika nuosekliai spartėja, t.y. šilumos izoliacinės savybės prastėja (kai žingsnis 0, išorinio sluoksnio temperatūra po 1 h - 37,3°C).
- 4.3. Nustatyta, kad egzistuoja antrosios grupės mezginių šilumos mainų dinamikos priklausomybė nuo storio, ir ji stiprėja, ilgėjant stebėjimo trukmei.
- 4.4. Nustatyta stipri koreliacija tarp antrosios grupės bandinių laidumo orui ir šiluminių mainų dinamikos. Didėjant laidumui orui, šilumos izoliacinės savybės prastėja.

Literatūros sąrašas

1. MD. ABOUNAIM. Process development for the manufacturing of flat knitted innovative 3D spacer fabrics for high performance composite applications [interaktyvus] 2010 [žiūrėta 2020-04-28]. Prieiga per: <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A25504/attachment/ATT-0/>
2. BRUER, S. M., N POWELL, G. SMITH. Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications. *Juornal of Trxtile and Apparel, Technology and Managment* [interaktyvus]. Vol. 4 (4), 2005 [žiūrėta 2020-04-28]. Prieiga per: https://textiles.ncsu.edu/tatm/wp-content/uploads/sites/4/2017/11/Bruer_full_149_05_small.pdf
3. ISMAEL, N., FERNANDO, A., ANDREW, S. and WATERTON Taylor, L. Textile technologies for the manufacture of three-dimensional textile preforms. *Research Journal of Textile and Apparel* [interaktyvus]. Emerald Publishing Limited 2017 Vol. 21 No. 4, pp. 342-362 [žiūrėta 2020-04-28]. ISSN: 1560-6074. Prieiga per: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RJTA-06-2017-0034/full/html>
4. IONESI, D., CIOBANU C. and R., C BUDULAN. Development of 3D knitted fabrics. 17th International Conference, Structure and Structural Mechanics of Textiles, TU Liberec, Czech Republic 2010 [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-29]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/273632938_DEVELOPMENTS_OF_3D_KNITTED_FABRICS
5. GRIES, T., M. Raina, T. Quadflieg, O. Stolyarov. 1 - Manufacturing of textiles for civil engineering applications. *Textile Fibre Composites in Civil Engineering 2016*, pp. 3-24 [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-29]. doi: 10.1016/B978-1-78242-446-8.00002-1
6. ČIUKAS, Ričardas ir Daiva MIKUČIONIENĖ. *Specialiosios paskirties mezginių technologija: mokomoji knyga*. VŠĮ Šiaulių universiteto leidykla: Šiauliai, 2007. Pp. 106-122
7. STANYS Sigitas, Erika ADOMAVIČIŪTĖ, Vaida JONAITIENĖ. *Neaustinės medžiagos I dalis: mokomoji knyga* [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2012 [žiūrėta 2020-04-29]. Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/981/neaustines-medziagos-i-d/>
8. SCHRANK, M., BEER M., BECKERS M., T. GRIES. 10 - Polymer-optical fibre (POF) integration into textile fabric structures [interaktyvus]. *Polymer Optical Fibers: Fibre Types, Materials, Fabrication, Characterisation and Applications*, 2017, pp. 337-348 [žiūrėta 2020-04-29]. doi: 10.1016/B978-0-08-100039-7.00010-5
9. Mayer&Cie. Spacer fabric solutions [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-01] Prieiga per: <http://www.tekstiltechnik.com.tr/mayercie-spacer-fabric-solutions/>
10. TRÜMPER, W. Semi-finished Weft Knitted Fabrics and Weft Knitting Techniques. In: Cherif C. (eds) *Textile Materials for Lightweight Constructions* [interaktyvus]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016, pp 213-250 [žiūrėta 2020-05-01]. doi: 10.1007/978-3-662-46341-3_6
11. YIP, J. 1 - Advanced textiles for intimate apparel. *Advances in Women's Intimate Apparel Technology* [interaktyvus]. Woodhead Publishing Series in Textiles, 2016, 3-23 [žiūrėta 2020-05-18]. doi: 10.1016/B978-1-78242-369-0.00001-3
12. GONG, R. H. *Specialist Yarn and Fabric Structures: Developments and Applications* [interaktyvus]. Elsevier, 2011, pp. 109-117 [žiūrėta 2020-04-20]. Prieiga per: <https://books.google.lt/books?id=KQ5IAgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

13. Prototyping and analyzing physical properties of Weft knitted spacer fabrics as a substitute for wound dressings [interaktyvus]. *The Journal of The Textile Institute*, 110:9, 1246-1256, [žiūrėta 2020-05-01]. doi: 10.1080/00405000.2018.1557358
14. HASSANZADEH S., H. HASANI, M. ZARREBINI. Thermoset composites reinforced by innovative 3D spacer weft-knitted fabrics with different cross-section profiles: Materials and manufacturing process. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. Elsevier, December 2016, Vol. 91(1), 65-76 [žiūrėta 2020-05-04] doi: 10.1016/j.compositesa.2016.09.017
15. WŁODARCZYK, B. and K. KOWALSKI. Technology and Properties of Distance Five-layered Double-Weft-Knitted Fabrics with Elastomeric Threads [interaktyvus]. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2014, 103 (1), 68-73, [žiūrėta 2020-05-04]. Prieiga per: Research Gate
16. MC MURRAY (US). Decorative faced multi-layer weft knit spacer fabric, method, and articles made therefrom. Inventor: Brian McMurray. 105 Vann Pl, (56) Aberdeen, NC (US) 28315. US PATENT, US 7,611,999 B2. May 20, 2004. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US7611999B2/en>
17. NIKE Intc. (US). Flat-knit support garment for upper torso.) Inventors: Josue DIAZ, Paul R . MONTGOMERY, Lori SEARS, Andrea J . STAUB. Beaverton , OR (US). US PATENT, US 10,368 , 590 B. August 6, 2019. United States Patent and Trademark Office [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US10368590B2/en>
18. DUSSERRE, G. and G. BERHNART. 2 - Knitting processes for composites manufacture. *Advances in Composites Manufacturing and Process Design* [interaktyvus]. Elsevier, 2015, 27-53, [žiūrėta 2020-05-04]. doi:10.1016/B978-1-78242-307-2.00002-6
19. CHERIF, C., KRZYWINSKI S., DIESTEL O., SCHULZ C., LIN H., KLUG P., W. TRÜMPER. Development of a process chain for the realization of multilayer weft knitted fabrics showing complex 2D/3D geometries for composite applications. *Textile Research Journal* [interaktyvus]. 2012, 82(12), 1195-1210 [žiūrėta 2020-05-05]. doi: <https://doi.org/10.1177/0040517511429602>
20. Md.Abounaim Gerald Hoffmann Olaf Diestel Chokri Cherif. Thermoplastic composite from innovative flat knitted 3D multi-layer spacer fabric using hybrid yarn and the study of 2D mechanical properties. *Composites Science and Technology* [interaktyvus]. February 2010, Vol. 70 (2), 363-370 [žiūrėta 2020-05-05]. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.11.008>
21. MA, P. and J., GAOMING J. and G. ZHE. 11 The three dimensional textile structures for composites. *Advanced Composite Materials: Properties and Applications* [interaktyvus]. January 2017 [žiūrėta 2020-05-04]. doi: 10.1515/9783110574432-011
22. TRÜMPER W., LIN H., CALLIN T., BOLLENGIER Q., CHERIFL C. and S KRZYWINSKI. Recent developments in multi-layer flat knitting technology for waste free production of complex shaped 3D-reinforcing structures for composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus]. Vol. 141, 48th Conference of the International Federation of Knitting Technologists (IFKT) 8–11. Moenchengladbach, Germany, June 2016, [žiūrėta 2020-05-04]. doi:10.1088/1757-899X/141/1/012015
23. KANAKARAJ P., RAMACHANDRAN R. R., B.S. DASARADAN. Development of Multi-Layer Fabric on a Flat Knitting Machine. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* [interaktyvus]. June 1, 2014, Vol. 9(2) [žiūrėta 2020-05-15]. doi: 10.1177/155892501400900203
24. DE ARAUJO M., R. FANGUEIRO H.HU. Weft-knitted structures for industrial applications. *Advances in Knitting Technology*. Woodhead Publishing Series in Textiles [interaktyvus]. Honk Kong, 27 March, 2014, pp. 136-170 [žiūrėta 2020-05-05]. doi:10.1177/155892501400900203

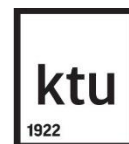
25. MC-MURRAY FABRICS INCORPORATED (US). Multi-layer weft knit spacer fabric. Inventor: Brian MCMURRAY. PTC PATENT, International Publication Number: WO2004/046439 A1. 2004-03-06. World Intellectual Property Organization, International Bureau [žiūrėta 2020-05-05]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/WO2004046439A1/en>
26. GHOSH S., DAR R., S MAITY. Optimization of material and process parameters of fibrous quilt for comfortable heat loss from human body. *The Journal of The Textile Institute* [interaktyvus]. July, 2017, 110:6, 873-881 [žiūrėta 2020-05-05]. doi: 10.1080/00405000.2018.1531742
27. ÖKAN, E.T. and B.M. KAPLANGIRAY. Investigating thermophysiological comfort properties of polyester knitted fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology* [interaktyvus]. February 22, 2019, vol. 5(1) [žiūrėta 2020-05-05]. doi:10.15406/jteft.2019.05.00180
28. SIRVYDAS P. A, NADZEIKIENĖ J, MILAŠIUS R., EIČINAS J., P. KEPRAUSKAS. The Role of the Textile Layer in the Garment Package in Suppressing Transient Heat Exchange Processes. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2006, vol. 14, no. 2 (56) pp. 55-58. ISSN 1230-3666
29. THANGAMANI K., S. SUNDARESAN. A STUDY ON THE COMFORT PROPERTIES OF MULTI LAYER WEFT KNITTED FABRICS. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences Paper* [interaktyvus]. 2017, Vol. 19(3), pp. 699-703 [žiūrėta 2020-03-26]. Prieiga per: Envirbiotechjournals.
30. SUGANTHI T., P. SENTHILKUMAR. Development of tri-layer knitted fabrics for shuttle badminton players. *Journal of Industrial Textiles* [interaktyvus]. 2017, vol. 48(4), pp. 738-760, [žiūrėta 2020-05-10]. doi: 10.1177/1528083717740766
31. Comfort properties of bi-layer knitted fabrics [interaktyvus] [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per: <https://indiantextilejournal.com/articles/FAdetails.asp?id=1387>
32. BLAGA Mirela. COMFORT PROPERTIES OF FUNCTIONAL WEFT KNITTED SPACER FABRICS. *Tekstil ve Konfeksiyon (TEKST KONFEKSIYON)* [interaktyvus]. July 2013, pp. 220-227 [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per: ResearchGate.
33. SUGANTHI T., SENTHILKUMAR P., THERMO-PHYSIOLOGICAL COMFORT OF LAYERED KNITTED FABRICS FOR SPORTSWEAR [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/393360>
34. BIVAINYTE, A. and D. MIKUCIONIENE. Influence of Shrinkage on Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *MATERIALS SCIENCE-MEDZIAGOTYRA*. 2012, 18 (3), 271-274. ISSN 1392-1320.
35. KANDHAVAVIDU, P., R. RATHINAMOORTHYA, R. SURJIT. Moisture and thermal management properties of woven and knitted tri-layer fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR)*. September 2015, vol. 40, pp 243-249. ISSN: 0971-0426.:
36. SUGANTHI, T., P. SENTHILKUMAR. Comfort properties of double face knitted fabrics for tennis sportswear. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. March 2018. Vol. 43, pp. 9-19. ISSN: 0971-0426
37. MIELICKA E., J. JANICKA, R. KOZMINSKA, A. WALAK . Three-layer knitted materials for protective clothing. 48th Conference of the International Federation of Knitting Technologists (IFKT) [interaktyvus]. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 141 (2016) 012003 [žiūrėta 2020-05-10]. Preiga per: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/141/1/012003/pdf>

38. PUSZKARZ, A. K. and I KRUCIŃSKA. Modeling of Air Permeability of Knitted Fabric Using the Computational Fluid Dynamics. *Autex Research Journal* [interaktyvus]. December 2018, vol. 18, no. 4 [žiūrėta 2020-05-05]. doi: <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0007>
BIVAINYTE, A., MIKUCIONIENE D., P. KERPAUSKAS. Investigation on Thermal Properties of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *MATERIALS SCIENCE-MEDZIAGOTYRA*. 2012, 18 (2), 167-171. ISSN 1392–1320.
39. ČIUKAS, R., ABRAMAVIČIŪTĖ, J. Investigation of the air permeability of socks knitted from yarns with peculiar properties. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2010, 18(1):84-88.
40. MILAŠIUS, Rimvydas. *Tekstilės eksperimento teorija ir praktika: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2006.
41. BIVAINYTE, A., D. MIKUCIONIENE. Investigation on the Air and Water Vapour Permeability of Double-Layered Weft Knitted Fabrics. *FIBRES AND TEXTILES IN EASTERN EUROPE*. 2011, 19 (3), 69-73. ISSN 1230-3666.
42. MIKUCIONIENE, D., E. ARBATAITIS. Comparative Analysis of the Influence of Bamboo and Other Cellulose Fibres on Selected Structural Parameters and Physical Properties of Knitted Fabrics. *FIBRES AND TEXTILES IN EASTERN EUROPE*. 2013, 21(3), 76-80. ISSN 1230-3666.

Priedai

1 priedas. Jaunųjų mokslininkų darbų paroda-konkursas Technorama 2019

2019 m. gegužės 9 d. dalyvavau Jaunųjų mokslininkų darbų parodoje-konkurse Technorama. 2019 m. Pristatyto darbo tema „Green Vertical Mini Textile Wall“. Už šį darbą gavau „Ar žinai“ įsteigtą apdovanojimą.



SERTIFIKATAS

Jaunųjų mokslininkų darbų paroda-konkursas

Šiuo sertifikatu pažymima, kad

**VAIDA
BUZAITĖ**

pristatė darbą jaunųjų mokslininkų
parodoje-konkurse „Technorama 2019“

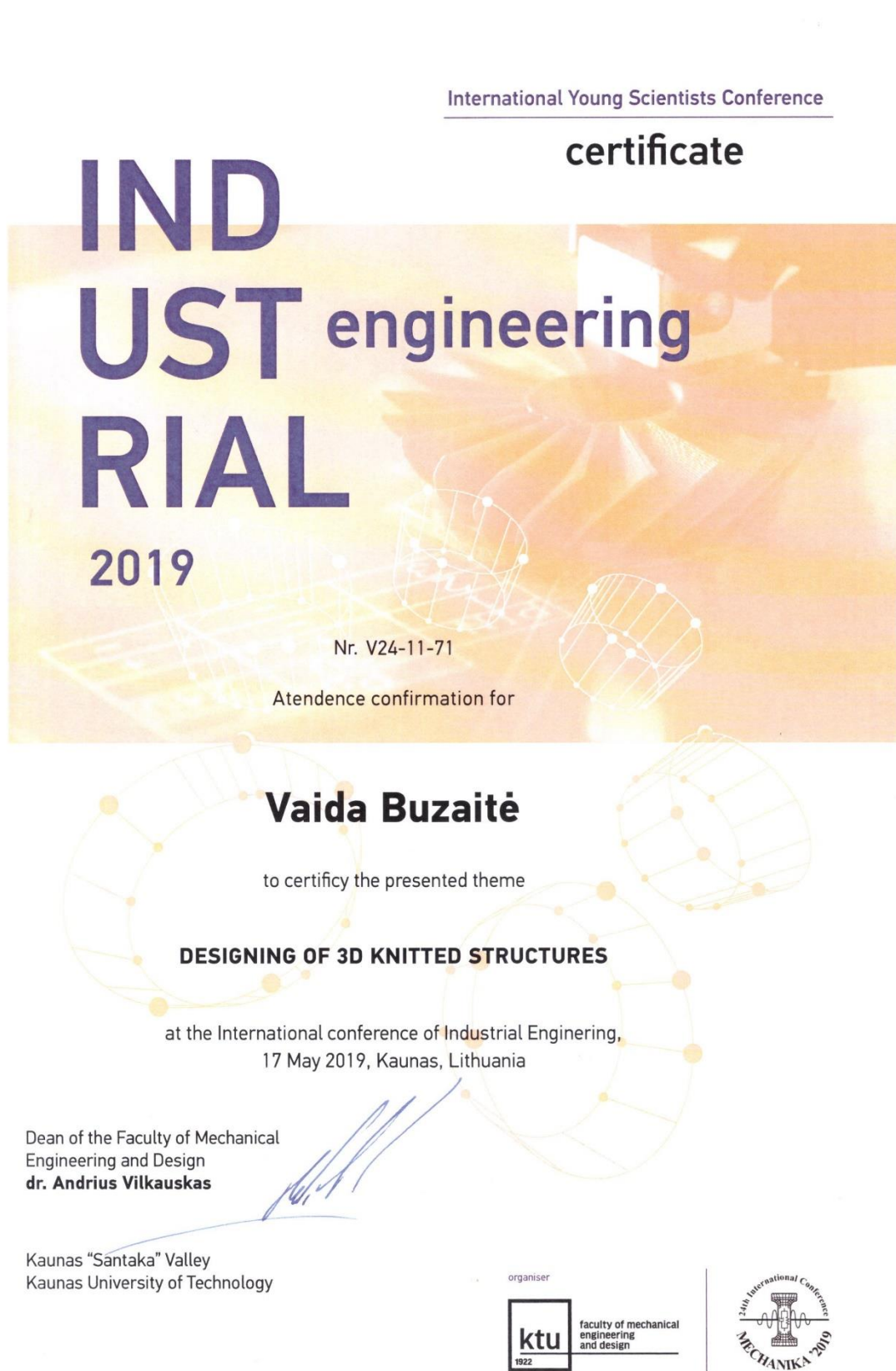


Rektorius
Eugenijus Valatka

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Valatka'.

2 priedas. Gautų rezultatų publikavimas (1)

Tyrimo rezultatai pristatyti 2019 m. gegužės 17 d. vykusioje Pramonės inžinerijos Jaunųjų mokslininkų konferencijoje 2019. Pristatyto pranešimo tema „Design of 3D Knitted Structures“.



3 priedas. Gautų rezultatų publikavimas (2)

Tyrimų rezultatai paskelbti mokslinėje publikacijoje, išspausdintoje Clarivate Analytics Web of Science sąrašo žurnale su citavimo indeksu (Q1 ketvirčio):

Buzaitė, Vaida; Repon, Reazuddin M. D.; Milašienė, Daiva; Mikučionienė, Daiva. „Development of multi-layered weft-knitted fabrics for thermal insulation“, Journal of Industrial Textiles; Article Number: UNSP 1528083719878811, Early Access: SEP 2019.