



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Mechaninėms pažaidoms atsparių 3D megztinių medžiagų
tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje**

Baigiamasis magistro projektas

Julija Krauledaitė
Projekto autorė

Doc. dr. Kristina Ancutienė
Vadovė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Mechaninėms pažaidoms atsparių 3D megztinių medžiagų tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje

Baigiamasis magistro projektas
Aprangos mados inžinerija / Fashion Engineering (621J40004)

Julija Krauledaitė
Projekto autorė

Doc. dr. Kristina Ancutienė
Vadovė

Doc. dr. Daiva Mikučionienė
Recenzentė

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Julija Krauledaitė

Mechaninėms pažaidoms atsparių 3D megztinių medžiagų tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, **Julijos Krauledaitės**, baigiamasis projektas tema „**Mechaninėms pažaidoms atsparių 3D megztinių medžiagų tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje**“ 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

Aprangos mados inžinerija

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS

Studentei Julijai Krauledaitei

1. Baigiamojo projekto tema:

„Mechaninėms pažeidoms atsparių 3D megztinių medžiagų tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje“ (LT)

„Investigation of 3D Knitted Fabrics to Protect Against Mechanical Risk and Application in Protective Clothing“ (EN)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Darbo tikslas – nustatyti 3D megztinių medžiagų struktūros įtaką mechaninių pažeidimų atsparumui ir komforto savybėms.

1. Ištirti 3D megztinių medžiagų atsparumą įpjovimui peilio ašmenimis, pradūrimui ir abrazyviniam dilinimui;
2. Nustatyti 3D megztinių medžiagų struktūros ryšį su atsparumo mechaninėms pažeidoms rodikliais;
3. Ištirti 3D megztinių medžiagų struktūros įtaką laidumui oro;
4. Pateikti tirtų 3D megztinių medžiagų taikymo rekomendacijas apsauginėje aprangoje.

3. Pradiniai projekto duomenys: 3D megztinės medžiagos, LST EN 388 „Apsauginės pirštinės nuo mechaninių pažeidimų“ ir LST EN ISO 9237 „Medžiagų laidumo orui nustatymas“ standartai.

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas turi būti originalus ir atliktas pagal baigiamųjų darbų metodinius reikalavimus aiškiai bei nuosekliai išdėstant informaciją.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra: santrauka, įvadas, apžvalginė dalis, tyrimo metodika, eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė, virtualaus apsauginio gaminio projektavimo rezultatai, išvados, literatūros sąrašas.

6. Grafinės projekto dalies sudėtis - plakatas su pagrindiniais tyrimų rezultatais ir išvadomis.

7. Projekto konsultantai -

Magistrantė: Julija Krauledaitė
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovė: Kristina Ancutienė.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovė: Jurgita Domskienė.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Turinys

Įvadas	11
1. Literatūros analizė	13
1.1 Techninė tekstilė, skirta apsaugai nuo mechaninio poveikio	13
1.2 Techninės paskirties pluoštai, naudojami apsaugai nuo mechaninio poveikio	14
1.3 Techninės paskirties mezginiai ir jų tyrimai.....	17
1.4 Atsparumo įpjovimui ašmenimis vertinimas.....	19
1.5 Apsauginiai gaminiai nuo mechaninio poveikio ir jų komforto savybės	22
1.6 Literatūros apžvalgos apibendrinimas	22
2. Tyrimų objektai ir eksperimentų metodika	24
2.1 Tyrimų objektai	24
2.2 Tyrimų metodika	28
2.2.1 Atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis tyrimo metodika	28
2.2.2 Atsparumo pradūrimui tyrimo metodika	29
2.2.3 Atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo metodika	30
2.2.4 Laidumo orui tyrimo metodika.....	31
3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai	32
3.1 Atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis tyrimo rezultatai	32
3.2 Atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai	38
3.3 Atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatai	43
3.4 Mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai.....	49
3.5 Virtualaus apsauginio gaminių projektavimas	52
Išvados	54
Literatūros sąrašas	56
Priedai	59

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Skirtingų žaliavų atsparumo įpjovimui ašmenimis savybės [10, 13].....	15
1.2 pav. M. Ertekin ir H. E. Kirtay atsparumo įpjovimui ašmenimis tyrimo rezultatai [9].....	16
1.3 pav. Erdvinės struktūros medžiagos schema [26].....	18
2.1 pav. 3D megztinių medžiagų struktūros schema.....	24
2.2 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės megztinių medžiagų pynimo schemos (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius).....	25
2.3 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės megztinių medžiagų pynimo schemos (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius).....	25
2.4 pav. 3D megztinių medžiagų išorinio (a) ir apatinio (b) sluoksnių vaizdai (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius).....	26
2.5 pav. Procentinė žaliavos sudėtis 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius).....	27
2.6 pav. Procentinė žaliavos sudėtis 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius).....	28
2.7 pav. Bandymo mašinos „SATRA STM 611” įranga: a) bendras vaizdas, b) bandinio įtvirtinimo rėmas.....	28
2.8 pav. Atsparumo pradūrimui naudojamos įrangos dalys: laikymo įtaisas (a) ir plieninė adata (b) [45]	29
2.9 pav. 3D megztinių medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo metu užfiksuotas vaizdas	30
2.10 pav. Martindale dėvėjimosi ir atsparumo dilinimui bandymo mašina „SATRA STM 633”	30
3.1 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atsparumo įpjovimui tyrimo rezultatai	32
3.2 pav. Koreliacinis atsparumo įpjovimui rodiklio I ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)	34
3.3 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumo įpjovimui tyrimo rezultatai	35
3.4 pav. Koreliacinis atsparumo įpjovimui rodiklio I ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu m_q (b)	37
3.5 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai (variacijos koeficientas $CV = 1,71 \div 6,44 \%$).....	38
3.6 pav. 3D megztinių medžiagų 20E-2-X ir 28E-2-X pradurtų bandinių vaizdai.....	39
3.7 pav. 20E-2-0, 28E-2-0 ir 20E-2-2, 28E-2-2 medžiagų pradūrimo kreivės	39
3.8 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s	40
3.9 pav. Koreliacinis specifinės pradūrimo jėgos F_s ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) bei specifiniu tankiu D (b).....	40

3.10 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai (variacijos koeficientas $CV = 1,35 \div 4,15 \%$).....	41
3.11 pav. 3D megztinių medžiagų 20E-1-X ir 28E-1-X pradurtų bandinių paveikslai	41
3.12 pav. 20E-1-0, 28E-1-0 ir 20E-1-2, 28E-1-2 3D megztinių medžiagų pradūrimo kreivės	42
3.13 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės 3D medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s	42
3.14 pav. Koreliacinis ryšys tarp specifinės pradūrimo jėgos F_s ir plieninės vielutės kiekio (a) bei specifinio tankio D (b).....	43
3.15 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X megztinių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui N tyrimo rezultatai ($CV = 0,38 \div 8,51 \%$).....	44
3.16 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų bandinių vaizdai po abrazyvinimo dilinimo tyrimo	45
3.17 pav. Koreliacinis atsparumo abrazyviniam dilinimui ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)	46
3.18 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X megztinių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatai ($CV = 3,82 \div 8,10 \%$).....	46
3.19 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų bandinių vaizdai po abrazyvinimo dilinimo bandymo	47
3.20 pav. Koreliacinis atsparumo abrazyviniam dilinimui ryšys su paviršiniu tankiu (a) ir plieninės vielutės kiekiu (b)	48
3.21 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų laidumo orui tyrimo rezultatai ($CV = 3,06 \div 5,56 \%$)	49
3.22 pav. Koreliacinis ryšys tarp laidumo orui koeficiento B ir plieninės vielutės kiekio (a) bei paviršinio tankio (b)	50
3.23 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų laidumo orui tyrimo rezultatai ($CV = 0,85 \div 6,58 \%$)	50
3.24 pav. Koreliacinis laidumo orui koeficiento B ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)	51
3.25 pav. Skaitmenizuoti apsauginės liemenės detalės Modaris aplinkoje.....	52
3.26 pav. Virtualus apsauginės liemenės nuo mechaninio poveikio vaizdas Modaris 3D aplinkoje ir rekomenduojamos medžiagos.....	53

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Techninės paskirties pluoštų savybių palyginimas [14-16]	15
1.2 lentelė. Austinių, megztinių ir neaustinių medžiagų, skirtų apsaugai nuo įpjovimo peilio ašmenimis, privalumai ir trūkumai [6]	17
1.3 lentelė. Standartų palyginimas [9, 35].....	20
2.1 lentelė. 3D megztinių medžiagų charakteristikos	27

Krauledaitė, Julija. Mechaninėms pažaidoms atsparių 3D megztinių medžiagų tyrimas ir taikymas apsauginėje aprangoje. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Kristina Ancutienė; 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: 3D megztinė medžiaga, mechaninė pažaida, atsparumas įpjovimui peilio ašmenimis, atsparumas pradūrimui, atsparumas abrazyviniam dilinimui, laidumas orui, apsauginė apranga.

Kaunas, 2018. 58 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame projekte tirta 16-ka 3D megztinių medžiagų, kurios numegztos dviejų adatinių apskritosiomis 20E ir 28E klasių skersinio mezgimo mašinų klasėmis. Medžiagos numegztos naudojant skirtingą žaliavą skirtinguose 3D megztinės medžiagos sluoksniuose: aukštos molekulinės masės polietileniniai daugiagijai siūlai (HPPE) ir plieninė vielutė – išoriniame, apatiniame sluoksniuose, poliesteriniai verpalai (PES) – apatiniame sluoksnyje, tamprūs poliamidiniai siūlai (PA) – jungiamajame sluoksnyje. Remiantis EN 388:2003 „Apsauginės pirštinės nuo mechaninių pažaidų“ standartu, atlikti 3D megztinių medžiagų atsparumo mechaninėms pažaidoms tyrimai: atsparumo įpjovimui diskinio peilio ašmenimis, pradūrimui ir abrazyviniam dilinimui. Šiais eksperimentais siekta nustatyti tiriamų medžiagų atsparumo mechaninėms pažaidoms darbinių charakteristikų lygmenis ir išsiaiškinti, kaip kinta atsparumo rodiklis, keičiant medžiagos sandaros ir struktūros parametrus, tokius kaip kilpų tankumą, plieninės vielutės kiekį ir jos numegzimo kryptį medžiagoje. Siekiant įvertinti 3D megztinių medžiagų struktūros įtaką komforto savybėms buvo atliktas laidumo orui tyrimas remiantis LST EN ISO 9237:2007 „Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas“ standartu.

Tyrimų rezultatai parodė, jog geriausiomis atsparumo įpjovimui ir abrazyviniam dilinimui savybėmis pasižymi 3D megztinės medžiagos, kurios numegztos naudojant HPPE daugiagijį siūlą, susuktą su plienine vielute. Taip pat geriausiu atsparumu įpjovimui ir abrazyviniam dilinimui pasižymi medžiagos, kurios numegztos su didesniu plieninės vielutės kiekiu ir medžiagos, kurios turi didesnį paviršinį tankį. 3 iš 16-kos tirtų 3D megztinių medžiagų atitinka aukščiausius atsparumo įpjovimui (5-ąjį) ir abrazyviniam dilinimui (4-ąjį) lygmenis, o 15-ka iš 16-kos 3D megztinių medžiagų atitinka aukščiausią atsparumo pradūrimui – 4-ąjį, lygmenį. Atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai parodė, jog specifinė pradūrimo jėga yra atvirkščiai proporcinga plieninės vielutės kiekiui ir specifiniam tankiui.

Nustatyta, jog 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D megztinės medžiagos dėl didesnio kilpų tankumo, paviršinio tankio ir storio užtikrina 1,3 ÷ 2,3 karto geresnę atsparumą įpjovimui ir 1,9 ÷ 12,1 karto geresnę atsparumą abrazyviniam dilinimui nei 3D megztinės medžiagos, numegztos 20E mezgimo mašinos klase naudojant tas pačias žaliavas.

3D megztinių medžiagų struktūros charakteristikos, tokios kaip kilpų tankumas, storis ir paviršinis tankis, lemia laidumą orui, todėl žemesne – 20E, mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos dėl mažesnio kilpų tankumo, storio ir paviršinio tankio geba praleisti didesnę oro srauto kiekį negu 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D medžiagos.

Apsauginių drabužių nuo mechaninių pažaidų gamyboje, tokių kaip liemenių, prijuosčių, pirštinių ir pan., siekiant užtikrinti aukštą atsparumą įpjovimui, abrazyviniam dilinimui ir pradūrimui, rekomenduojama naudoti HPPE, susuktą su plienine vielute.

Krauledaitė, Julija. Investigation of 3D Knitted Fabrics to Protect Against Mechanical Risk and Application in Protective Clothing. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Kristina Ancutienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Polymer and Textile Technology (F02), Technological Sciences (F)

Keywords: 3D weft-knitted fabric, mechanical risk, blade cut resistance, puncture resistance, abrasion resistance, air permeability, protective clothing.

Kaunas, 2018. 58 pages.

Summary

In this master's final degree project 16 different 3D weft-knitted fabrics were evaluated. 3D fabrics were knitted on a circular weft-knitting machines of two different gauges: 20E gauge and 28E gauge. Four different raw materials were used for the production of fabrics: high molecular mass polyethylene (HPPE) multifilament yarn and steel wire in the outer layers (for the front and reverse), polyester spun yarn for the reverse and elastic polyamide yarn in the binding layer. According to the standard EN 388:2003 "Protective gloves against mechanical risks" circular blade cut, puncture and abrasion resistance tests were carried out on the 3D weft-knitted fabrics. These experiments were conducted to determine the level of performance of investigated materials to mechanical risks and to identify how the index of resistance of the investigated materials varies when changing their composition and structural parameters, such as stitch density, the quantity of steel wire and so on. According to the standard LST EN ISO 9234:2007 "Textiles. Determination of permeability of fabrics to air" air permeability test was carried out on the 3D weft-knitted fabrics for assessing comfort properties.

It was defined, that 3D weft-knitted fabrics best results on tests: circular blade cut and abrasion resistant were achieved using HPPE yarn twisted with steel wire, higher mass per unit area with more significant amount of steel wire. 3 of the 16 investigated 3D weft-knitted fabrics had the highest 5th blade cut and the highest (4th) abrasion resistance performance level. 15 of the 16 of 3D weft-knitted fabrics had the highest (4th) level of puncture resistance. It was defined that the specific force has negative correlation with the percentage of steel wire and density.

3D fabrics knitted on a circular weft-knitting machine of gauge 28E due to a higher stitch density, higher mass per unit area, density and fabric's thickness ensure 1.3 ÷ 2.1 times greater blade cut and 1.9 ÷ 12.1 times greater abrasion resistance result, than fabrics knitted on gauge 20E, using the same raw materials.

3D fabrics knitted on a circular weft-knitting machine of gauge 20E due to lower stitch density, mass per unit area and density ensure better air permeability than fabrics knitted on a 28E gauge knitting machine.

For high cut, abrasion and puncture resistance properties, HPPE twisted with steel wire can be recommended to use for the apparel garments – protective vests, aprons, gloves.

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju magistro baigiamojo projekto vadovei doc. dr. Kristinai Ancutienei už pagalbą ir patarimus rengiant baigiamąjį darbą, Fizinių ir technologijų mokslo centro Tekstilės institutui už numegztus tiriamuosius objektus bei įmonei Granberg AS už bendradarbiavimą atliekant eksperimentinius tyrimus.

IVADAS

Kiekvienais metais daugėja žmonių, kurie susižaloja savo darbo aplinkoje, todėl apsauginiai drabužiai yra laikomi viena iš greičiausiai augančių techninės tekstilės sektoriaus grupės dalių. Pramonės sektoriuje dirbantys žmonės dažnai susiduria su mechaniniu poveikiu – įpjovimais, trintimi, įdūrimais. Visa tai kelia ypatingą riziką asmens sveikatai, kuri yra svarbiausias prioritetas. Kasmet didėjantis apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio poreikis, mokslininkus skatina tobulinti esamas apsaugines medžiagas, jų struktūras tam, kad apsauginiams gaminiams būtų galima suteikti daugiau funkcinių savybių.

Apsauginių gaminių projektavimui nuo mechaninio poveikio plačiai naudojamos megztinės medžiagos dėl gamybos technologijos privalumų, tokių kaip mažesnės gamybos kainos ir trumpesnio gamybos ciklo, lyginant su kitomis gamybos technologijomis – audimu, neaustinių medžiagų gamyba. Vis dėlto daugelis mokslininkų tvirtina, jog vienasluoksnės megztinės medžiagos neužtikrina pakankamo apsaugos lygio nuo mechaninių pažeidimų, todėl viena iš labiausiai plėtojamų apsauginės aprangos sektoriaus sričių yra apsauginių medžiagų gamybos proceso tobulinimas, ieškant naujų technologinių sprendimų.

Apsauginių medžiagų kūrimui yra svarbu žinoti ryšį tarp medžiagos struktūros ir atsparumo mechaniniam poveikiui. Daugelis mokslininkų atlieka medžiagų tyrimus, susijusius su atsparumu mechaniniam poveikiui. Vis dėlto mokslininkai pripažįsta, jog iki šio momento atlikti tyrimai nėra išsamūs, todėl turi būti atliekami detalesni tyrimai, siekiant išsiaiškinti ryšį tarp megztinių medžiagų struktūros charakteristikų ir atsparumo mechaninėms pažeidoms tam, kad būtų galima patobulinti apsaugines medžiagas.

Didžiausia apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio problema yra dėvėjimo patogumas, nes aukštas atsparumas mechaniniam poveikiui yra pasiekiamas sumažinant medžiagos komforto savybes – lankstumą, laidumą orui. Pastebėta, jog daugelis žmonių yra linkę rizikuoti susižeisti, nei dėvėti nepatogų apsauginį gaminį. Todėl juntamas apsauginių medžiagų poreikis, kurios pasižymėtų aukštu apsaugos lygiu, tačiau būtų išspręsta ir dėvėjimo patogumo problema.

Per kelis dešimtmečius 3D megztinės medžiagos įgyjo reikšmingą pranašumą tekstilės pramonėje dėl gero storio ir paviršinio tankio santykio, aukštų termofiziologinių savybių kaip laidumo orui bei galimybės naudoti įvairias žaliavas skirtinguose medžiagos sluoksniuose, taip medžiagai suteikiant kelias skirtingas savybes. Manoma, jog 3D megztinės medžiagos bus plačiau taikomos apsauginių drabužių projektavime, atlikus išsamius tyrimus ir išsiaiškinus ryšį tarp medžiagos struktūros parametrų ir atsparumo mechaniniam poveikiui.

Baigiamajame magistro projekte tirtos 3D megztinės medžiagos, numegztos 20E ir 28E apskritosiomis skersinio mezgimo mašinų klasėmis. Taip siekta išsiaiškinti 3D megztinių medžiagų

struktūros charakteristikų įtaką mechaniniam poveikiui ir komforto savybei. Eksperimentiniai tyrimai atlikti remiantis standartais EN 388:2003 „Apsauginės pirštinės nuo mechaninių pažeidimų“ ir LST EN ISO 9237:2007 „Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas“.

Darbo tikslas – nustatyti 3D megztinių medžiagų struktūros savybių įtaką mechaninių pažeidimų atsparumui ir komforto savybėms.

Uždaviniai:

1. Ištirti 3D megztinių medžiagų atsparumą įpjovimui peilio ašmenimis, pradūrimui ir abrazyviniam dilinimui;
2. Nustatyti 3D medžiagų struktūros ryšį su atsparumo mechaninėms pažeidoms rodikliais;
3. Ištirti 3D megztinių medžiagų struktūros įtaką laidumui oro;
4. Pateikti tirtų 3D megztinių medžiagų taikymo rekomendacijas apsauginėje aprangoje.

1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Šiame skyriuje aptariami apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio svarba. Apžvelgiamos svarbiausios ir plačiausiai taikomos sudedamosios dalys, kurios parenkamos projektuojant apsaugines medžiagas nuo mechaninio poveikio: žaliava, medžiagų struktūra. Aptariami reikšmingiausi kitų autorių atlikti eksperimentiniai tyrimai, susiję su apsauginės tekstilės nuo mechaninių pažeidimų įvertinimu. Apžvelgiamos pagrindinės apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio problemos ir aptariamoms galimos apsauginės tekstilės vystymosi tendencijos.

1.1 Techninė tekstilė, skirta apsaugai nuo mechaninio poveikio

Apsauginiai drabužiai yra priskiriami prie vienos iš sparčiausiai augančių techninės tekstilės sektoriaus grupės dalių [1]. Daugeliui žmonių visame pasaulyje tenka dirbti ypatingos rizikos darbo aplinkoje, nuo kurios darbuotojus privaloma apsaugoti [2]. Todėl pagrindinė spartaus apsauginių drabužių augimo ir vystymosi priežastis yra susijusi su žmonių sveikata ir darbo sauga [1], kuri yra laikoma svarbiausiu prioritetu.

Mechaninis poveikis, kaip pjūviai, įdūrimai, smūgiai, didelė trintis, yra laikomas vienu iš rizikingiausiu aplinkos poveikiu žmogaus sveikatai. Mechaninį pavojų iššaukiantys aštrūs ir sunkūs daiktai gali sukelti nubrodinimus, įpjovimus ar įdūrimus žmogaus odoje. Todėl daugelyje pramonės sektoriaus darbo vietų apsauga nuo mechaninio poveikio yra svarbiausias darbdavių prioritetas [3]. Dėl kasmet darbo vietose didėjančio nelaimingų atsitikimų skaičiaus yra juntamas apsauginių gaminių nuo smūgių ir įpjovimų poreikis, todėl problemos, susijusios su apsauginiais drabužiais ir žmogaus sveikata darbo aplinkoje, yra šiuo metu daugelio mokslininkų nagrinėjama tyrimų tema [4, 5]. Atliekami eksperimentai skatina kurti naujus gamybos metodus, struktūras, siekiant apsauginėms medžiagoms ir iš jų projektuojamiems gaminiams suteikti daugiau funkcinių savybių [1, 4].

Apsauginių drabužių projektavimui tekstilės medžiagos yra naudojamos jau daugelį metų [6]. Naudojant tekstilės medžiagas norimas apsaugos lygis yra pasiekiamas parenkant tinkamą žaliavą, medžiagos struktūrą bei taikant specialią apdailą [4]. Žmogui mechaninis poveikis gali būti mirtinas, todėl labai svarbu tinkamai parinkti komponentus, kurie sudaro apsauginį drabužį.

Toliau pateikiama literatūros apžvalga, susijusi su žaliavomis, medžiagų struktūromis, kurios naudojamos projektuojant medžiagas, skirtas apsaugai nuo mechaninių pažeidimų.

1.2 Techninės paskirties pluoštai, naudojami apsaugai nuo mechaninio poveikio

Techninės paskirties pluoštų ir siūlų rinkoje yra platus ypatingų savybių pluoštų (angl. *high-performance fibre*), kurie pasižymi išskirtinėmis savybėmis bei dideliu stiprumu, pasirinkimas techniniam ir pramoniniam naudojimui [2]. Po to, kai buvo išrasti ypatingų savybių pluoštai, atlikta nemažai mokslinių tyrimų, kurie buvo sutelkti į apsaugos priemones: pirmiausiai apsaugos priemonės iš ypatingų savybių pluoštų buvo panaudotos kariuomenėje, o vėliau pradėta taikyti profesinėje saugoje [7].

Ypatingų savybių pluoštus, kurie naudojami apsauginių medžiagų gamyboje nuo mechaninio poveikio, galima suskirstyti į dvi grupes: organinius ir neorganinius pluoštus [6]. Apsauginių medžiagų, skirtų apsaugai nuo mechaninių pažeidimų, projektavimui naudojami šie ypatingų savybių pluoštai:

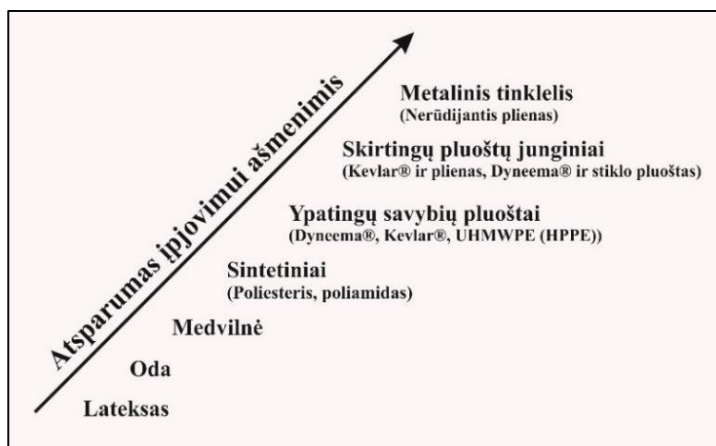
1. Aramidinis pluoštas – organinis sintetinis pluoštas, gautas iš linijinių poliamidų [8]. Aramidiniai pluoštai pasižymi dideliu stiprumu, dideliu standumo modulių, mažu tankiu, geru atsparumu ugniai. Aramidiniai pluoštai yra skirstomi į dvi grupes: para-aramidiniai ir meta-aramidiniai [2]. Para-aramidiniai pluoštai yra tinkami naudoti apsauginėje aprangoje, kurioje svarbus geras atsparumas įpjovimui, dilinimui ar aukštai temperatūrai [9]. Dažniausiai para-aramidiniai pluoštai naudojami balistinėje aprangoje, kaip apsauginės liemenės, šalmai ar įpjovimui atsparių pirštinių, prijuosčių gamyboje. Visame pasaulyje para-aramidiniai pluoštai geriau žinomi tokiais prekės ženklais kaip *Kevlar®* (DuPont), *Twaron®* (Acordis), *Technora®* (Teijin) [2].

2. Didelio stiprumo, aukštos molekulinės masės polietileninis pluoštas (UHMWPE, HPPE) – organinis dirbtinas pluoštas, kuris pasižymi dideliu tempiamuoju stipriu ir modulių [2]. Nustatyta, jog UHMWPE yra 10 kartų stipresnis už plieną ir lengvesnis už vandenį [10]. Taip pat didelę paklausą ir platų panaudojimą užtikrina šios UHMWPE naudingos savybės: aukštas atsparumas cheminiam poveikiui, trinčiai. UHMWPE rinkoje yra žinomi šiais prekės ženklais: *Dyneema®* (DSM), *Spectra®* (Honeywell), *Tekmilon®* (Mitsui) [2]. Megztinės medžiagos numegztos iš UHMWPE naudojamos apsauginių gaminių projektavimui – apsauginėms pirštinėms, fechtavimosi kostiumui, miškininko-benzopjūklininko apsauginiam kostiumui [2].

3. Polibenzoksazolinis pluoštas (PBO) – sintetinis polimerinis pluoštas, kuris buvo sukurtas JAV karinių tyrimų centre [11]. Nustatyta, jog PBO yra apie 2 kartus stipresnis už para-aramidinį pluoštą (*Kevlar®*), pasižymi labai aukštu LOI¹, o ištįsa yra apie 3 % [10]. Techninės paskirties pluoštų rinkoje geriau žinomas *Zylon®* (Toyoba) prekės ženklu.

¹ Deguonies indekštas (Limited oxygen index, LOI) – medžiagos nedegumo rodiklis – mažiausias deguonies koncentracija deguonies ir azoto mišinyje, kai medžiaga dar gali degti su liepsna tam tikromis bandymo sąlygomis (Aiškinamasis tekstilės terminų žodynas, 2001)

Taip pat apsauginių medžiagų/gaminių, skirtų apsaugai nuo mechaninių pažeidimų, projektavimui naudojami tradiciniai, tokie kaip anglies, metalo (iš vario, nerūdijančio plieno) pluoštai. Iš tradicinių pluoštų plačiausiai naudojamas metalo pluoštas – neorganinis pluoštas, kuris apsauginėje aprangoje nuo mechaninių pažeidimų, kaip įpjovimų, smūgių, naudojamas jau daugelį metų. Dažniausiai naudojamas metalas – nerūdijantis plienas, kuris pasižymi aukštesniu atsparumu įpjovimui (žr. 1.1 pav.) nei ypatingų savybių pluoštai, tokie kaip aramidiniai, tačiau pagrindinis gaminių su metalo pluoštų trūkumas, jog sumažėja gaminio patogumo dėvėjimui savybė – „gaminys yra sunkus ir prarandamas lankstumas“ [12].



1.1 pav. Skirtingų žaliavų atsparumo įpjovimui ašmenimis savybės [10, 13]

1.1 lentelėje pateikiamos pagrindinės techninės paskirties pluoštų, naudojamų apsauginių medžiagų nuo mechaninio poveikio gamyboje, charakteristikos. Pagal pateiktas pluoštų charakteristikas galima teigti, jog ypač didelio stiprumo pluoštai – aramidiniai, UHMWPE ir PBO, pasižymi aukšta savitąja tempimo jėga. Tuo tarpu tradicinis pluoštas – metalas, pasižymi aukštu atsparumu karščiui ir geriausiu atsparumu įpjovimui (žr. 1.1 pav).

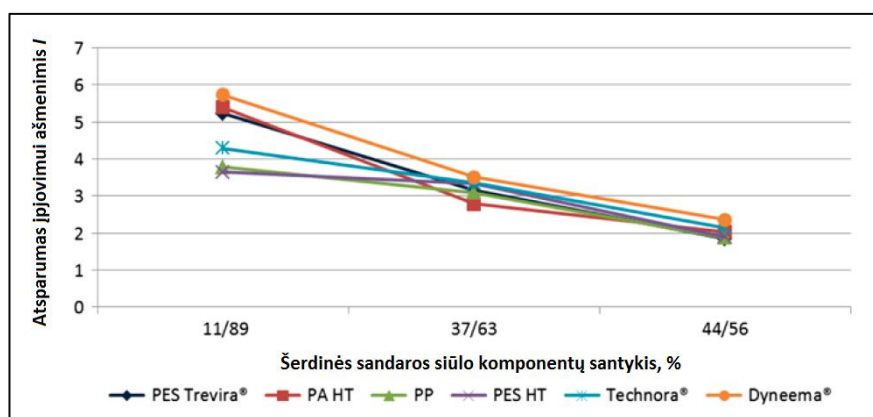
1.1 lentelė. Techninės paskirties pluoštų savybių palyginimas [14-16]

Pluoštas	Savitoji tempimo jėga, cN/dtex	Ištįsa nutrūkimo momentu, %	Drėgnis, %	Tankis, g/cm ³	LOI, %	Atsparumas karščiui, °C
Aramidinis (Kevlar®)	19	2,4	0,5-4,5	1,44	29	550
UHMWPE (Spectra®/Dyneema®)	35	3,5	0	0,97	16,5	150
PBO (Zylon®)	37	3,5	2,0	1,54	68	650
Metalas (plienas)	2,65	1,1	0	7,86	0	1600

Projektuojant medžiagas, skirtas apsaugai nuo mechaninių pažeidimų, labai svarbu parinkti tinkamą pluoštą, nuo kurio savybių priklauso galutinis apsauginės aprangos atsparumo mechaniniam poveikiui lygis. Todėl siekiant pagerinti pluoštų atsparumo mechaniniam poveikiui savybes, būtini išsamūs tyrimai. Keletas mokslininkų, siekdami pagerinti esamų ypatingų savybių pluoštų savybes tam, kad būtų pasiektas geresnis atsparumas įpjovimui, atliko įvairius fizikinius ir cheminius tyrimus.

Taip pat šiuo metu daugelio mokslininkų, siekiančių pagerinti medžiagų atsparumą mechaninėms pažeidoms, tyrimai sutelkti į apsauginių medžiagų gamyboje naudojamus heterogeninius siūlus [6]. Heterogeniniai siūlai laikomi perspektyviais, nes sujungiamos skirtingų savybių žaliavos. Pagal atliktų mokslinių tyrimų rezultatus nustatyta, jog aukštam atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis ir abrazyviniam dilinimui yra tinkamas naudoti para-aramidinio pluošto ir plieno junginys [4].

M. Ertekin [9] su kolegomis ištyrė audinius, išaustus iš heterogeninių siūlų – gijinių šerdinės sandaros siūlų, apsuktų su para-aramidiniais verpalais. Tyrimo metu siekta išsiaiškinti šerdinės sandaros siūlo komponentų santykio įtaką audinių atsparumui mechaninėms pažeidoms. Tyrimo rezultatais (žr. 1.2 pav.) nustatyta, jog mažinant heterogeninių siūlų, t. y. gijinio šerdinės sandaros siūlo, apsukto su para-aramidiniu verpalu, komponentų santykį, padidėja medžiagos paviršinis tankis ir storis, o tai pagerina medžiagos atsparumą įpjovimui ašmenimis, abrazyviniam dilinimui bei pradūrimui [9].



1.2 pav. M. Ertekin ir H. E. Kirtay atsparumo įpjovimui ašmenimis tyrimo rezultatai [9]

Keletas mokslininkų ištyrė siūlų bei pluoštų atsparumą įpjovimui. H. S. Shin su kolegomis [17] aprašė siūlų atsparumo įpjovimui tyrimą, kuris atliekamas įtempimo ir šlyties apkrovos sąlygomis. Rebouillat [18] su kolegomis palygino aramidinio, stiklo ir metalo (plieno) pluoštų savybes kompozitinėse formose, kurios taikomos apsaugai nuo neigiamo aplinkos poveikio. Pagal atlikto tyrimo rezultatus autoriai teigia, jog apsauginiams gaminiams nuo įpjovimo (pvz. pirštinėms) nėra tinkama naudoti vien tik metalo pluoštą (nerūdijantį plieną), nes apsauginis gaminys praranda lankstumo savybes [18].

Taigi, vienas iš svarbiausių apsauginių medžiagų, skirtų apsaugai nuo mechaninių pažeidimų, komponentų yra tinkamo pluošto parinkimas, kuris lemia galutinį apsauginės aprangos atsparumo mechaniniam poveikiui lygį. Dėl didėjančio apsauginių gaminių nuo mechaninių pažeidimų poreikio, mokslininkai yra skatinami tirti ir vystyti šiuo metu rinkoje naudojamus aukštu atsparumu mechaniniam poveikiui pasižyminčius pluoštus, siekiant suteikti jiems dar geresnes apsaugines savybes. Manoma, jog pagerinus pluoštų savybes, medžiagų atsparumas mechaniniam poveikiui taip pat bus pagerintas [6].

1.3 Techninės paskirties mežginiai ir jų tyrimai

Megztinė medžiaga yra populiariausia ir plačiausiai naudojama medžiagos struktūra, kuri taikoma apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio – įpjovimo, projektavimui [12]. 1.2 lentelėje pateikiami įvairių tekstilės struktūrų, kurios naudojamos apsauginių medžiagų nuo įpjovimo peilio ašmenimis, privalumai ir trūkumai.

1.2 lentelė. Austinių, mežtinių ir neaustinių medžiagų, skirtų apsaugai nuo įpjovimo peilio ašmenimis, privalumai ir trūkumai [6]

Medžiagos struktūra	Automatizavimas/kaina	Gamybos ciklas	Struktūros lankstumas	Mechaninių savybių stabilumas	Pluoštų taikymas
Mežginys	Vidutinė/žema	Trumpas	Aukštas	Žemas	Ribotas
Audinys	Vidutinė/vidutinė	Ilgas	Vidutinis	Aukštas	Platus
Neaustinė	Vidutinė/aukšta	Ilgas	Žemas	Aukštas	Platus

Pagrindiniais mezgimo technologijos privalumais yra laikomi mažesnė gamybos kaina ir didesnis gamybos našumas, lyginant su kitomis medžiagų gamybos technologijomis – dėl šių priežasčių mežtinės medžiagos taikomos plačiau, nei kitos medžiagų struktūros techninės paskirties gaminiuose [5].

Techninės paskirties mežtinės medžiagos gali būti mežamos tiek skersinio, tiek metmeninio mezgimo mašinomis [8], kurios geba mežti medžiagas iš ypatingų savybių pluoštų, tokių kaip para-aramido, UHMWPE, metalo [19]. Skersinio mezgimo mežginiai dėl našesnės gamybos [20], lyginant su metmeninio mezgimo mežtinėmis medžiagomis, yra plačiau naudojami drabužių gamybai [20].

Anksčiau mežtinės medžiagos buvo retai naudojamos apsaugai nuo mechaninio poveikio, pvz. smūgių. Tačiau tobulinant ir gerinant pluoštų savybėmis, pastebėta, jog mežtinės medžiagos, kurios numegztos iš mechaninėms pažeidoms atsparesnių pluoštų, pasižymi mažesniu paviršiniu tankiu, universalesniu projektavimo procesu, lyginant su kitomis medžiagų struktūromis [21].

Naudojant mezgimo technologiją galima numegzti įvairias, skirtingas medžiagų struktūras. Dėl to tiriant mežtinio atsparumą mechaninėms pažeidoms, vis dar sudėtinga nustatyti medžiagos struktūros įtaką mechaniniam poveikiui. Moksliniuose žurnaluose yra pateikiami keletas reikšmingų mokslininkų tyrimų, kurie atlikti siekiant iširti mežtinių medžiagų atsparumą mechaninėms pažeidoms [22, 21, 28].

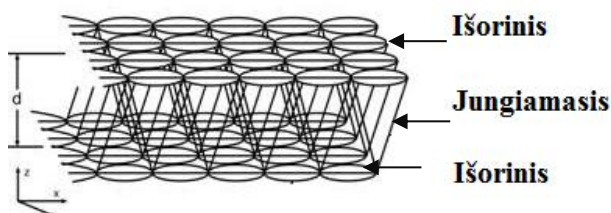
Yao [22] su bendraautoriais teigia, jog skersinio mezgimo mežtinės medžiagos gali geriau pasipriešinti prasiskverbimo jėgai, kuri deformuoja medžiagos kilpas dėl gerai žinomos priežasties – mežtinė medžiaga pasižymi aukštesnėmis deformacijos savybėmis, todėl deformacijos metu yra patiriamas gilesnis prasiskverbimas į struktūrą.

Fangueiro [21] su kolegomis ištyrė vienos ir dviejų adatinių skersinio mezgimo megztinių medžiagų iš ypatingų savybių pluoštų, t. y. aukštos savitosios tempimo jėgos poliamidinio (PA HT), polipropileninio (PP HT), poliesterinio (PES HT), aukštos molekulinės masės polietileninio (UHMWPE) ir para-aramidinio (p-AR), atsparumą įpjovimui peilio ašmenimis ir pradūrimui. Nustatyta, jog dviejų adatinių skersinio mezgimo megztinė medžiaga, numegzta iš UHMWP, atitinka aukščiausius atsparumo įpjovimui (5-ąjį) ir atsparumo pradūrimui (4-ąjį) lygmenis pagal EN 388:2003. Taip pat nustatyta, jog vienos adatinės skersinio mezgimo megztinė medžiaga iš para-aramidinio pluošto pasižymi geriausiu atsparumu pradūrimui. Autoriai pagal atliktų tyrimų rezultatus rekomenduoja megztinę medžiagą, numegztą dviejų adatinių skersinio mezgimo mašina iš UHMWPE, naudoti apsauginių drabužių gamybai dėl gero santykio tarp atsparumo mechaninėms pažeidoms savybių ir užtikrinamų termofiziologinių savybių, tokių kaip laidumo orui.

B. N. Vu Thi [23] su kolegomis ištyrė skirtingų struktūrų (audinių, mezginių) medžiagų atsparumą įpjovimui peilio ašmenimis. Gauti rezultatai parodė, jog skersinio mezgimo megztinė medžiaga pasižymi geresniu atsparumu įpjovimui peilio ašmenimis negu audinys, išaustas iš tokios pačios žaliavos – aukštos molekulinės masės polietileninio pluošto.

Daugelis tyrėjų tvirtina, jog vienasluoksnės megztinės medžiagos neužtikrina pakankamo apsaugos lygio nuo mechaninio poveikio, tokio kaip įpjovimo peilio ašmenimis. Todėl viena iš labiausiai vystomų apsauginės medžiagų sričių yra kūrimas naujų technologijų ir struktūrų, kurios būtų tinkamos ir taikomos mechaniniam poveikiui atsparių medžiagų gamyboje [4]. Taip buvo pradėta vystyti daugiasluoksnės medžiagos [24]. Vis dėlto pastebėta, jog daugiasluoksnės medžiagos pasižymi didesniu paviršiniu tankiu ir mažesnėmis dėvėjimo patogumo savybėmis, tokiomis kaip lankstumu, laidumu orui, lyginant su vienasluoksnėmis medžiagomis [24]. Nors medžiagų, skirtų apsaugai nuo mechaninių pažeidimų, atsparumas neigiamam aplinkos poveikiui yra svarbiausia charakteristika, tačiau sparčiai tobulėjant gamybos technologijoms, mokslininkai siekia sukurti optimalų apsauginės medžiagos charakteristikų santykį tarp reikiamo apsaugos lygio ir dėvėjimo patogumo savybių, t. y. kad dėvimas apsauginis gaminys būtų lengvesnis, o apsauginės medžiagos lankstesnės [24].

Gana svarbią vietą techninių mezginių grupėje užima erdviniai mezginiai [8]. Erdvinės struktūros megztinė medžiaga (žr. 1.3 pav.) (angl. *spacer*) – tai 3D megztinė medžiaga, kurią sudaro du atskirai numegzti medžiagos sluoksniai, sujungiami kartu erdviniais siūlais [25].



1.3 pav. Erdvinės struktūros medžiagos schema [26]

Priklausomai nuo parinktos žaliavos, erdvinės struktūros megztinės medžiagos gali būti vadinamos dvipusiais (angl. *double faced knitted fabric*) mezhiniais, jeigu abi mezhinio pusės yra vienodos [19]. Naujausiomis skersinio mezhimo mašinomis galima numegzti erdvinės struktūros medžiagas [8].

Per kelis dešimtmečius 3D medžiagos įgyjo reikšmingą pranašumą tekstilės pramonėje [27] dėl charakteristikų, kurių nebuvo galima pasiekti naudojant kitas gamybos technologijas [28], todėl šios struktūros medžiagos yra plačiai taikomos tekstilės pramonėje [19]. Erdvinės struktūros medžiagos pasižymi mažesniu paviršiniu tankiu, plačiu išgaunamo medžiagos storio diapozonu (1,5 ÷ 65 mm), aukštomis komforto ir termofiziologinėmis savybėmis [25, 27], geromis mechaninėmis charakteristikomis [28] bei, svarbiausia, galimybe taikyti skirtingas žaliavas atskiruose sluoksniuose. Dėl šių pranašumų, lyginant su kitomis tekstilinėmis struktūromis, pastebimas erdvinės struktūros medžiagų gamybos augimas ir naudojimo taikymas techninės tekstilės sektoriuje [29].

T. Alpyildiz [30] su bendraautorais ištyrė ir palygino įprastų skersinio mezhimo pynimo struktūrų, tokių kaip lygiojo skersinio, skersinio pliūšo su erdvinės struktūros mezhine medžiaga, kuri numegzta su paklojimu ir be, atsparumą mechaninėms pažeidoms: įpjovimui peilio ašmenimis ir smūgiui. Nustatyta, jog erdvinės struktūros mezhinė medžiaga pasižymi geresniu atsparumu įpjovimui peilio ašmenimis ir smūgiui, lyginant su įprastomis mezhinių medžiagų struktūromis – lygiojo skersinio ir skersinio pliūšo. Taip pat nustatyta, jog erdvinės struktūros mezhinių medžiagų atsparumą mechaniniam poveikiui galima pagerinti, jei medžiaga yra numegzta su papildomai paklotu siūlu.

Dėl visuomenėje kasmet augančio apsauginių gaminių poreikio, daugelis mokslininkų atlieka tyrimus, susijusius su medžiagų atsparumu mechaniniam poveikiui. Naudojant apsauginių medžiagų gamybai populiarią mezhimo technologiją, galima išgauti skirtingų struktūrų medžiagas, todėl siekiama iširti medžiagos struktūros įtaką mechaninių pažeidimų atsparumo lygiui. Nepaisant atliktų tyrimų, stebėtinai mažai yra žinoma apie atsparumo įpjovimui charakteristikas, ir vis dar nėra aiški mezhinio struktūros įtaka vienam iš dažniausiai pasitaikančių mechaniniam poveikiui – įpjovimui peilio ašmenimis [31]. Todėl daugelis mokslininkų, analizuojančių apsauginių medžiagų nuo mechaninio poveikio temą, pripažįsta, jog turi būti atlikta daugiau tyrimų, siekiant išsiaiškinti ryšį tarp mezhinių medžiagų struktūros ir atsparumo mechaninėms pažeidoms [6, 32].

1.4 Atsparumo įpjovimui ašmenimis vertinimas

Apsauginiai drabužiai, kurie skirti apsaugai nuo mechaninio poveikio, turi pasižymėti aukštu atsparumu įpjovimui – tai laikoma viena iš svarbiausių apsauginio gaminio charakteristikų [22, 31]. Tyrimais nustatyta, jog medžiagos storis turi tiesioginį ryšį su atsparumu įpjovimui savybėmis: didinant medžiagos storį, medžiaga pasižymi geresniu atsparumu įpjovimui [24]. Vis dėlto mažai

žinoma apie kitų medžiagos struktūros parametrų įtaką įpjovimui [33]. Todėl siekiant tai suprasti, svarbu tinkamai parinkti medžiagų įpjovimo atsparumui naudojamą vertinimo metodą. Europoje medžiagų atsparumą įpjovimui galima įvertinti šiais standartais:

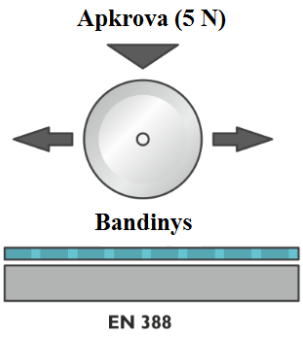
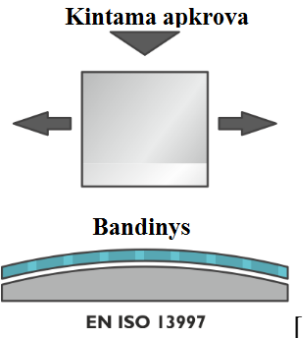
1. BS EN 388 – standartas, kuris naudojamas apsauginių pirštinių įvertinimui, nes rankos ir plaštakos patiria didžiausią grėsmę susižeisti pavojingose darbo aplinkos sąlygose. Eksperimento metu tiriamoms medžiagoms prapjauti naudojamas priešpriešiais besisukantis diskinis peilis, kuris sukasi kintama kryptimi esant nustatytai apkrovai. Taip pat standarte įvertinami kiti mechaniniai poveikiai, tokie kaip atsparumas abrazyviniam dilinimui, pradūrimui ir plėšimui [9].

2. BS EN ISO 13997 – standartas skirtas įvertinti įvairių apsauginių rūbų atsparumą įpjovimui. Tyrimo metu naudojamas aštrių ašmenų įrankis, kuriuo pjaunama per medžiagą [34].

3. BS EN 1082-3 – standartas skirtas įvertinti apsauginių medžiagų atsparumą įpjovimui ir smūginiam prakirtimui. Standartas buvo vystomas siekiant nustatyti apsauginių pirštinių atsparumą įpjovimui iš tokių medžiagų kaip oda [9].

1.3 lentelėje pateikiami aptartų atsparumo įpjovimui standartų tarpusavio palyginimas.

1.3 lentelė. Standartų palyginimas [9, 35]

BS EN 388:2003	BS EN ISO 13997:1999	BS EN 1082-3:200
1	2	3
Atsparumas įpjovimui diskiniu peilio ašmenimis matuojamas darbinių charakteristikų lygmenimis: 1 – žemiausias, 5 – aukščiausias lygmuo.	Atsparumas įpjovimui matuojamas niutonais (N)	Atsparumas įpjovimui (smūginiam prakirtimui) matuojamas milimetrais
Bandiniai pjaunami priešpriešiais besisukančiu diskiniu peiliu, kuris sukasi kintama kryptimi esant nustatytai apkrovai 	Bandiniai pjaunami aštriais ašmenimis per bandinį 	Bandinys yra įpjaunamas standartiniu pjovimo peiliu, kuris laikomas bloke
4-tasis darbinių charakteristikų lygmuo	Pjovimo apkrova $\geq 13\text{N}$	Peilio energijos poveikis yra 0,65 J, 1,47 J arba 2,45 J – priklausomai nuo medžiagos atsparumo savybių
5-tasis darbinių charakteristikų lygmuo	Pjovimo apkrova $\geq 22\text{N}$	

Lentelės tęsinys kitame puslapyje

1.3 lentelės tęsinys

1	2	3
Atsparumas įpjovimui matuojamas ciklų skaičiumi, reikalingu prapjauti bandinį (BS EN 388:2003) 2016 m. pabaigoje išleistas papildytas standartas (BS EN 388:2016), kuriame pakeista atsparumo įpjovimui ašmenimis tyrimo procedūra: tyrimas nėra baigiamas, kai bandinys visiškai prapjaunamas (kaip pagal BS EN 388:2003), o pjaunamas, kol diskinis peilis pasiekia 60 ciklų. Toliau vertinimo procedūra išlieka tokia pati.	Atsparumas įpjovimui matuojamas jėga, kuri reikalinga prapjauti medžiagą 20 mm atstumu	Atsparumas įpjovimui matuojamas prasiskverbimo gyliu (mm)
Nustatyta apkrovos jėga (5 N)	Reguliuojama apkrovos jėga	Nustatyta apkrovos jėga
Bandymui naudojamas diskinis peilis	Bandymui naudojamas aštrių ašmenų peilis	Bandymui naudojamas aštrių ašmenų peilis
Bandiniai yra 60±6 mm pločio ir 100±10 mm ilgio	Bandiniai yra 25 mm pločio ir 100 mm ilgio (gali būti naudojamas 25x25 mm dydžio bandinys atliekant vieną įpjovimą)	Bandinys yra vamzdelio formos, mažiausiai 10 mm ilgio, o skersmuo 100±10 mm

E. Irzmanska ir A. Stefko [32] mokslinio tyrimo metu remiantis BS EN 388:2003 ir BS EN ISO 13997:1999 standartais ištyrė 12-kos skirtingų apsauginių medžiagų iš ypatingų savybių pluoštų atsparumą įpjovimui bei palygino tyrimo rezultatus. Autoriai teigia, jog BS EN 388:2003 standartas yra pigesnis ir aiškiau įvertinamas mechaninės pažaidos lygis, lyginant su BS EN ISO 13997:1999 standartu. Vis dėlto nustatyta, jog BS EN 388:2003 standartu vertinant labai atsparių medžiagų iš metalo atsparumą įpjovimui dėl galimo kontakto su metalu bandymo mašina gali sustoti galutinai neįpjovus medžiagos – tai apsunkina medžiagų atsparumo įpjovimui įvertinimą. Tyrimo autoriai teigia, jog BS EN ISO 13997:1999 standartas yra objektyvesnis, vertinant labai atsparių medžiagų įpjovimo savybes (keramikos, para-aramidinio pluošto).

Medžiagų atsparumo įpjovimui charakteristika yra laikoma svarbiausia apsauginio gaminio nuo mechaninio poveikio komponentu. Nors yra galimybė naudoti skirtingus standartus, kuriais įvertinamas medžiagų atsparumas mechaninei pažaidai, tačiau tyrimų metodikos toliau vystomos, nes pastebėta, jog „atsparumas įpjovimui priklauso nuo storio, todėl tai neleidžia įvertinti kitų medžiagos struktūros savybių įtakos mechaniniam poveikiui“ [33].

1.5 Apsauginiai gaminiai nuo mechaninio poveikio ir jų komforto savybės

Didžiausia apsauginių drabužių nuo mechaninio poveikio problema yra susijusi su gaminio dėvėjimo patogumu [9]. Gerai žinomas faktas, jog aukštas apsaugos lygis nuo mechaninio poveikio yra pasiekiamas sumažinus medžiagos komforto savybes [36]. Nepakankamas apsauginės aprangos funkcionavimas ir dėvimo gaminio patogumas, darbuotojus verčia rizikuoti susižeisti dėl nedėvimos nepatogios apsauginės aprangos [37]. Projektuojant apsauginius gaminius nuo mechaninio poveikio, jų tinkamumas dėvėjimui turi būti apsvarstomas įvertinant fiziologinį komforto jausmą ir ergonomines gaminio savybes [37]. Technologijoms sparčiai tobulėjant, daugelis mokslininkų siekia išvystyti optimalų santykį tarp aukšto apsaugos lygio ir pakankamai gero komforto savybių užtikrinimo.

Apsauginei aprangai svarbios termoizoliacinės savybės – laidumas orui yra pageidaujamas rodiklis [38], „nes raumenims dirbant išsiskirianti šiluma turi lengvai pereiti į atmosferą“ [8]. Medžiagų laidumas orui priklauso nuo pluoštų ir siūlų savybių, medžiagos struktūros [38]. Nustatyta, jog erdvinės struktūros medžiagos pasižymi geromis laidumo orui savybėmis [25]. Manoma, jog dėl erdvinės struktūros medžiagų pranašumo, lyginant su kitomis tekstilės medžiagų struktūromis, t. y. galimybės skirtinguose erdvinės struktūros medžiagos sluoksniuose naudoti skirtingų savybių pluoštus, taip pasiekiant gerą termofiziologinių savybių santykį su apsaugos lygiu, šių medžiagų taikymas apsauginiams drabužiams techninės tekstilės sektoriuje įgys reikšmingą pranašumą. Tačiau reikalingi išsamūs tyrimai, siekiant išsiaiškinti erdvinės struktūros parametrų įtaką mechaninio poveikio atsparumui ir komforto savybėms.

1.6 Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Kiekvienais metais pastebimas vis labiau augantis gaminių, apsaugančių nuo mechaninio poveikio, poreikis. Ši tendencija mokslininkus skatina kurti naujas medžiagas, kurios pasižymėtų geresnėmis funkcinėmis savybėmis. Apsauginių medžiagų atsparumas mechaninėms pažeidoms priklauso nuo pluoštų, siūlų savybių bei medžiagos struktūros. Nustatyta, jog vienasluoksnės megztinės medžiagos neužtikrina reikiamo apsaugos lygio nuo mechaninio poveikio, o daugiasluoksnės medžiagos ženkliai sumažina medžiagos komforto savybes kaip lankstumą dėl ženkliai didesnio paviršinio tankio. Pagrindinė apsauginių gaminių nuo mechaninio poveikio problema yra tai, jog dėl gerų apsaugos charakteristikų yra sumažinamas fiziologinis komforto jausmas žmogui dėvint apsauginį gaminį.

Vystant apsaugines medžiagas, daugelis mokslininkų pastebėjo, jog erdvinės struktūros pasižymi savybėmis, kuriomis būtų galima optimizuoti gerą apsaugos lygio ir komforto savybių santykį. Siekiant parinkti optimalų variantą, reikia nustatyti medžiagos struktūros parametrų įtaką mechaninėms pažeidoms. Daugelis mokslininkų, nagrinėjančių medžiagų parametrų įtaką atsparumui

mechaninėms pažeidoms, patvirtina, jog nėra atlikta pakankamai tyrimų, kurie padėtų išsiaiškinti ryšį tarp atsparumo mechaninėms pažeidoms ir megztinių medžiagų struktūrų.

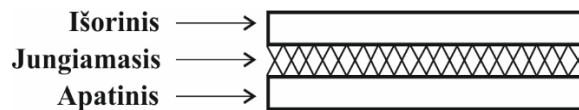
Šiame darbe tirtos 3D megztinės medžiagos bei siekta išsiaiškinti parinktų tiriamųjų objektų sandaros ir struktūros charakteristikų įtaką medžiagų mechaninių pažeidimų atsparumui bei laidumui oro. Aptarti tyrimo rezultatai bus naudingi tolimesnių apsauginių medžiagų vystymosi procesui.

2. TYRIMŲ OBJEKTAI IR EKSPERIMENTŲ METODIKA

Šiame skyriuje aprašomi tiriamųjų objektų, t. y. 3D megztinių medžiagų, charakteristikos ir taikytų eksperimentinių tyrimų metodikos. Remiantis LST EN ISO 139:2005 „Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka“ standartu [39], prieš atliekant tyrimus, bandiniai ramybės būsenoje išlaikyti ne mažiau kaip 24 val. kondicinėse sąlygose: temperatūra $t = 20 \pm 2$ °C ir santykinis oro drėgnis $\varphi = 65 \pm 4$ %.

2.1 Tyrimų objektai

Darbe tirtos 3D megztinės medžiagos, kurių principinė struktūros schema pateikiama 2.1 paveiksle.



2.1 pav. 3D megztinių medžiagų struktūros schema

3D megztinės medžiagos buvo numegztos dviejų adatinių apskritosiomis 20E ir 28E skersinio mezgimo mašinų klasėmis. Tiriamųjų objektų mezgimui naudotos šios žaliavos:

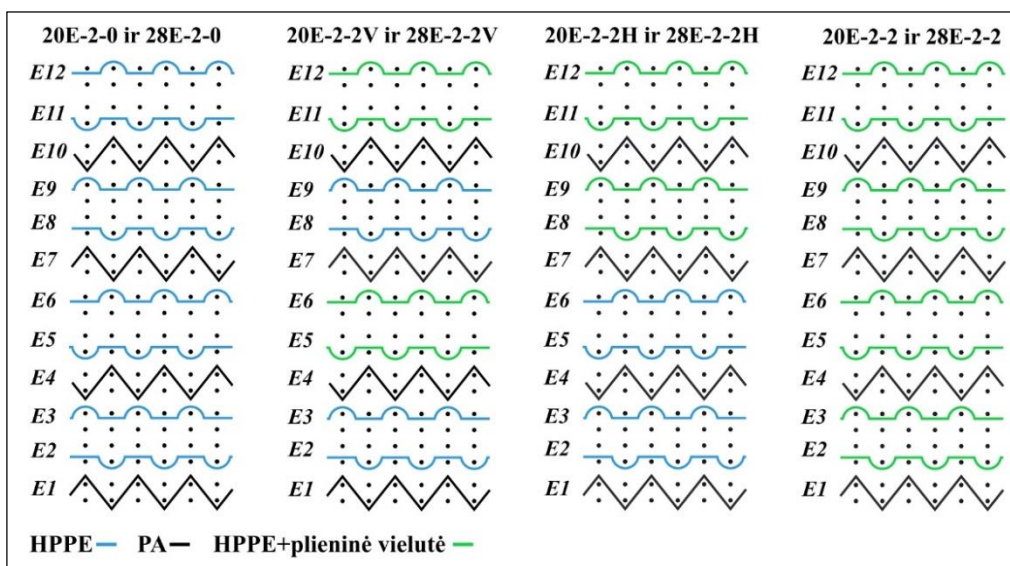
1. **Aukštos molekulinės masės polietileniniai (HPPE) siūlai** (22,2 tex, 100 gijų, susukta „S“ kryptimi 100 m^{-1}) – HPPE yra netoksiškas ir pasižymi geresnėmis atsparumo dilinimui ir varginimui savybėmis negu aramidiniai pluoštai [40].
2. **Poliamidiniai siūlai** (PA, 3,2 tex (10 gijų x 2) – sintetiniai tamprūs tekstūruoti siūlai iš poliamidinio pluošto. Naudoti išorinio ir apatinio 3D megztinių medžiagų sluoksnių sujungimui.
3. **Poliesteriniai verpalai** (PES, 20 tex) – sintetiniai verpalai iš poliesterinio pluošto, kuris beveik nesugeria drėgmės, todėl greitai išdžiūsta. Poliesteriniai verpalai naudoti apatiniame sluoksnyje siekiant apsauginėms medžiagoms suteikti geresnes dėvėjimo patogumo savybes kaip lankstumą, gerą grifą.
4. **HPPE + plieninė vielutė** (0,05 mm) – plieninė vielutė susukta su HPPE daugiagiju siūlu „S“ kryptimi (100 m^{-1}), siekiant padidinti medžiagų atsparumą mechaninėms pažeidoms.

Tiriamuosius objektus pagal naudotą žaliavos sudėtį galima suskirstyti į dvi grupes:

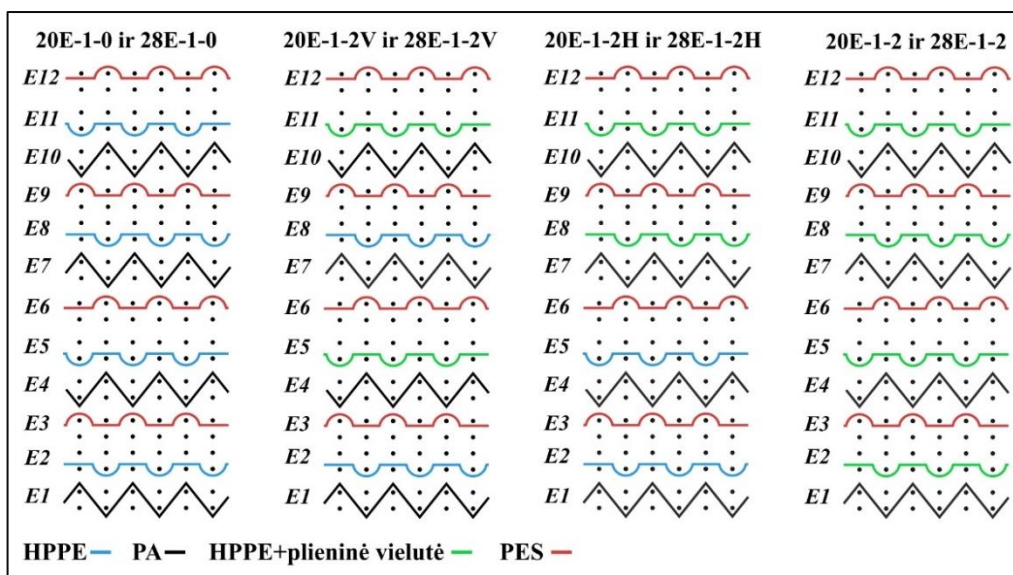
1. 3D megztinių medžiagų sluoksniai – išorinis ir apatinis – vienodi.
2. 3D megztinių medžiagų sluoksniai – išorinis ir apatinis – skiriasi pagal naudotos žaliavos sudėtį. Išorinis sluoksnis numegztas naudojant HPPE ir/arba HPPE + plieninę vielutę, siekiant padidinti medžiagos atsparumą mechaninėms pažeidoms, o apatinis sluoksnis numegztas naudojant poliesterinius verpalus, siekiant pagerinti apsauginės medžiagos dėvėjimo patogumą.

Kiekvienam tiriamam objektui suteiktas specialus žymėjimas, susijęs su 3D megztinės medžiagos struktūros parametrais. Pirmasis žymėjimo skaičius nurodo mezgimo mašinos klasę: 20E arba 28E. Antrasis skaičius nurodo išorinio ir apatinio 3D megztinių medžiagų sluoksnių tarpusavio ryšį: 1 – mezginių išorinis ir apatinis sluoksniai yra skirtingi, 2 – mezginių išorinis ir apatinis sluoksniai yra vienodi. Trečiasis 3D megztinių medžiagų žymėjimo skaičius nurodo plieninės vielutės kiekį mezginių struktūroje: 0 – mezginyje nėra plieninės vielutės, 2V – plieninė vielutė numegzta stulpelių (vertikalia) kryptimi, 2H – plieninė vielutė numegzta eilučių (horizontalia) kryptimi, 2 – plieninė vielutė numegzta eilučių (horizontalia) ir stulpelių (vertikalia) kryptimis.

Tirtų 3D skersinio mezgimo mezginių medžiagų pynimo schemas pateikiamos 2.2 ir 2.3 paveiksluose, kuriuose įvairiems mezginių variantams naudotos žaliavos pavaizduotos skirtingomis linijų spalvomis.

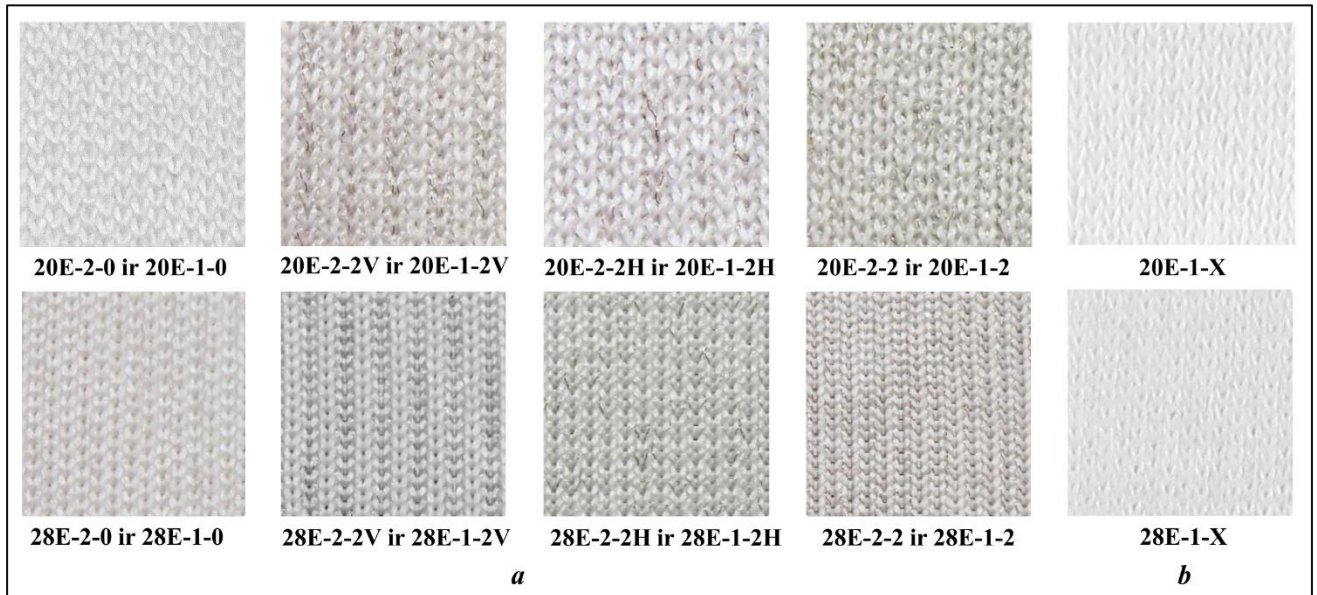


2.2 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės mezginių medžiagų pynimo schemas (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius)



2.3 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės mezginių medžiagų pynimo schemas (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius)

2.4 paveiksle pateikiamas 3D megztinių medžiagų išorinio ir apatinių sluoksnių vaizdai. 20E-2-X ir 28E-2-X megztinių medžiagų grupių atveju išorinis ir apatinis sluoksniai yra vienodi, o 20E-1-X ir 28E-1-X megztinių medžiagų grupių atveju išorinis sluoksnio vaizdas sutampa su 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų išorinio sluoksnio vaizdu, tačiau skiriasi apatinio sluoksnio vaizdas, kuris numegztas iš poliesterinių verpalų (žr. 2.4b pav.).



2.4 pav. 3D megztinių medžiagų išorinio (a) ir apatinio (b) sluoksnių vaizdai (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius)

3D megztinėms medžiagoms nustatytos struktūrinės charakteristikos: kilpų tankumas (P_h , P_v), storis h , paviršinis tankis m_q . Visų tirtų 3D megztinių medžiagų struktūrinės charakteristikos nustatytos išmatavus penkių bandinių vertes ir atlikus statistinius skaičiavimus. 3D megztinių medžiagų horizontalusis P_h (eilučių) ir vertikalusis P_v (stulpelių) tankumas ir kilpų skaičius kvadratiniam centimetre nustatyti remiantis LST EN 14971:2006 standartu [41]. Storis h nustatytas naudojant SCHMIDT stormatį, remiantis LST EN 5084:1996 standartu [42]. Medžiagų paviršinis tankis m_q nustatytas pagal standartą LST EN 12127:1999 [43]. Specifinis tankis D apskaičiuotas pagal formulę (1) [44]:

$$D = \frac{m_q}{h}, \text{ kg/m}^3 \quad (1)$$

čia m_q yra paviršinis tankis (kg/m^2), h yra storis (m).

3D megztinių medžiagų charakteristikos pateikiamos 2.1 lentelėje.

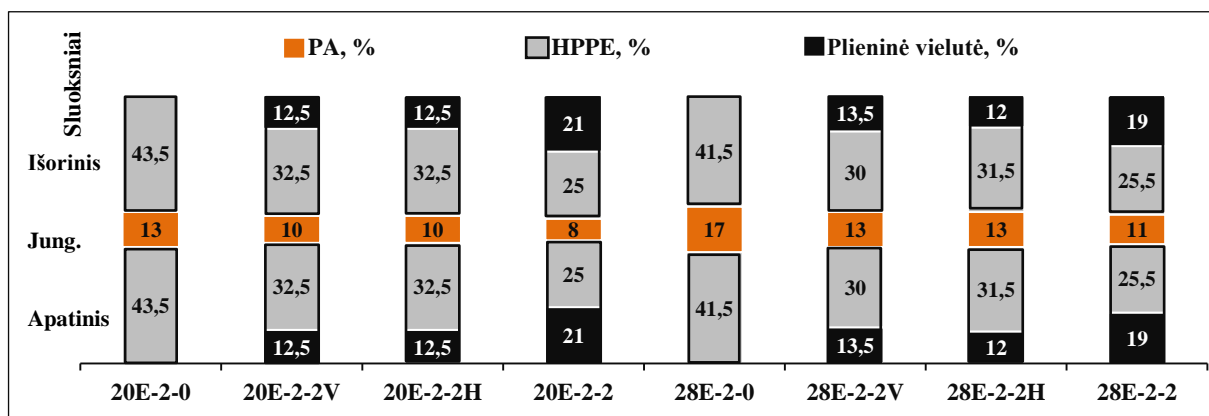
2.1 lentelė. 3D megztinių medžiagų charakteristikos

Žymėjimas	Tankumas, cm ⁻¹		Kilpų skaičius, cm ⁻²	Storis <i>h</i> , mm	Paviršinis tankis <i>m_q</i> , g/m ²	Specifinis tankis <i>D</i> , kg/m ³
	<i>P_h</i>	<i>P_v</i>				
20E-2-0	10	12	120	1,1±0,06	304±4,6	276
20E-2-2V	11	11	121	1,1±0,05	404±7,6	367
20E-2-2H	11	11	121	1,1±0,06	403±7,7	366
20E-2-2	12	10	120	1,2±0,04	513±1,9	428
28E-2-0	14	14	196	1,5±0,03	423±3,9	282
28E-2-2V	17	12	204	1,5±0,03	611±5,3	407
28E-2-2H	17	12	204	1,5±0,01	615±5,7	410
28E-2-2	18	11	198	1,6±0,08	826±7,5	516
20E-1-0	11	12	132	1,2±0,03	338±4,4	282
20E-1-2V	11	11	121	1,3±0,06	370±1,7	285
20E-1-2H	11	11	121	1,3±0,05	374±1,9	288
20E-1-2	12	10	120	1,3±0,04	418±1,5	322
28E-1-0	14	14	196	1,5±0,03	439±2,8	293
28E-1-2V	15	13	195	1,5±0,03	528±2,3	352
28E-1-2H	15	13	195	1,5±0,01	524±4,5	349
28E-1-2	18	12	216	1,7±0,08	711±6,2	418

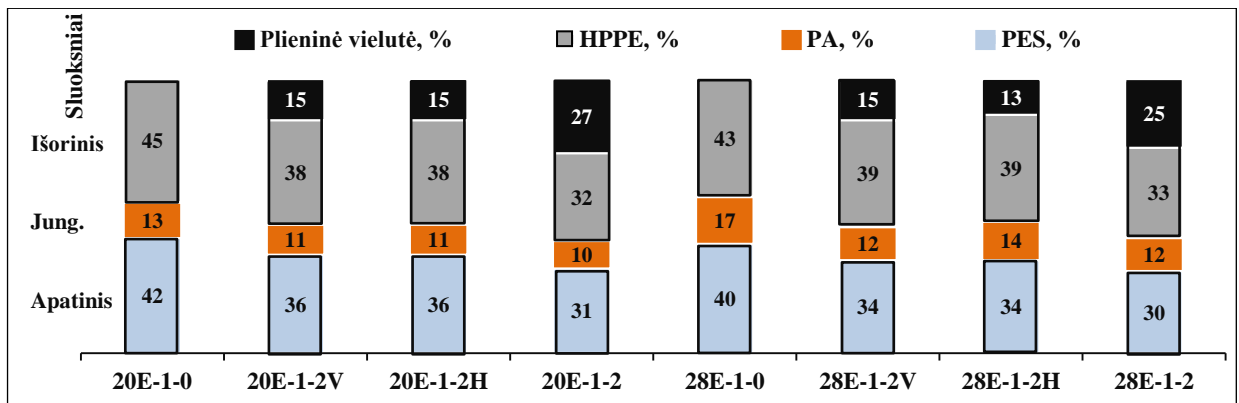
3D megztinių medžiagų procentinė žaliavos sudėtis apskaičiuota eksperimentiniu bandymu: iš kiekvieno 10x10 cm dydžio tirtos medžiagos bandinio sluoksnio (išorinio, jungiamojo, apatinio) išardytas vienodas skaičius raportų, o kiekviena išardyta žaliava (HPPE, PA, PES, plieninė vielutė) pasverta tekstilinėmis svarstyklėmis. Procentinė žaliavos sudėtis apskaičiuota pagal matematinę formulę (2):

$$P = \frac{m}{M} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

čia: *m* – žaliavos masė (g) atskiruose sluoksniuose, *M* – bendra išardytos žaliavos masė (g) iš trijų medžiagos bandinio sluoksnių. 3D megztinių medžiagų procentinė žaliavos sudėtis pateikiama 2.5 ir 2.6 paveiksluose.



2.5 pav. Procentinė žaliavos sudėtis 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius)



2.6 pav. Procentinė žaliavos sudėtis 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų (čia X – trečiasis specialaus žymėjimo skaičius)

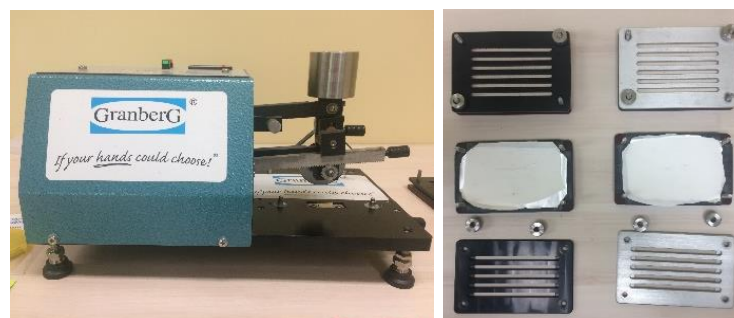
2.2 Tyrimų metodika

3D megztinėms medžiagoms atlikti atsparumo mechaninėms pažeidoms tyrimai: atsparumo įpjovimui, pradūrimui ir abrazyviniam dilinimui. Šiais tyrimais siekta nustatyti tiriamųjų medžiagų atsparumo mechaninėms pažeidoms darbinių charakteristikų lygmenis ir išsiaiškinti, kaip kinta tiriamų medžiagų atsparumo rodiklis, keičiant medžiagos sandaros ir struktūros elementus, tokius kaip kilpų tankumą, plieninės vielutės kiekį ir jos numezgimo kryptį medžiagoje.

3D megztinių medžiagų komforto savybių įvertinimui atliktas laidumo orui tyrimas.

2.2.1 Atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis tyrimo metodika

Šio tyrimo tikslas yra įvertinti medžiagos atsparumą įpjovimui peiliu ir nustatyti įpjovimo rodiklio I vertę, kuri siejama su medžiagos atsparumo įpjovimui darbinių charakteristikų lygmeniu. Tyrimas atliktas standartine diskinio peilio pjovimo mašina – „SATRA STM 611“ (žr. 2.7 pav.), remiantis standarto LST EN 388:2003 „Apsauginės pirštinės nuo mechaninių pažeidų“ 6.2 punktu [45].



a

b

2.7 pav. Bandyto mašinos „SATRA STM 611“ įranga: a) bendras vaizdas, b) bandinio įtvirtinimo rėmas

Iš kiekvienos tiriamosios medžiagos iškerpami po vieną 60x100 mm dydžio bandinį išilgine ir skersine kryptimis. Prieš kiekvieną bandymą, naudojant kontrolinį bandinį (60x100 mm) iš medvilnės brezento, yra tikrinamas peilio aštrumas šia seka: kontrolinis bandinys įtvirtinamas rėmelyje ant aliuminio folijos ir filtravimo popieriaus lakšto. Įtvirtinimo rėmelis su kontroliniu bandiniu įstatomas į

mašiną, o peilį laikanti svirtis nuleidžiama ant kontrolinio bandinio. Įjungiamo bandymo mašina ir užrašomas ciklų skaičius C_n , kuris pasiektas mašinai sustojus – perpjovus medžiagą. Tiriamoji medžiaga bandoma atliekant tą patį eksperimentą kaip kontrolinį bandinį ir užrašant ciklų skaičių (T), kuris buvo pasiektas perpjovus tiriamąją medžiagą.

Kiekvieno tirtu bandinio atsparumo įpjovimui rodiklio I vertė apskaičiuojama pagal matematinę formulę (3) [45]:

$$I_n = \frac{(\overline{C_n} + T_n)}{C_n} \quad (3)$$

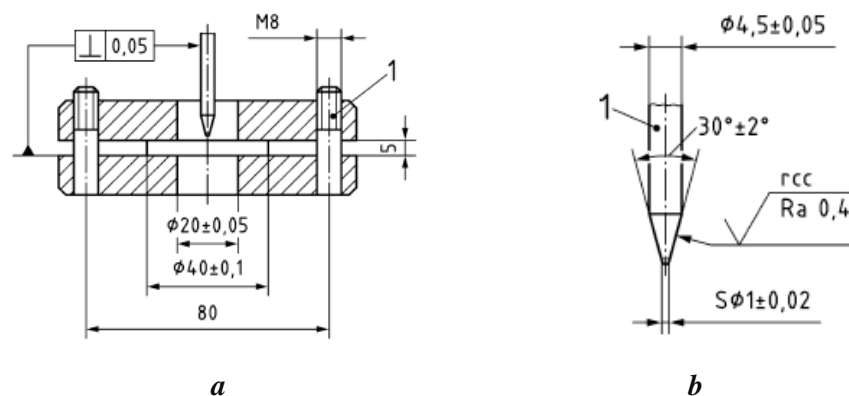
čia $\overline{C_n}$ yra vidutinė kontrolinio bandinio ciklų vertė prieš bandinio T_n įpjovimą ir po jo; T_n – tiriamojo bandinio įpjovimo ciklų skaičius.

Galutinė bandinio atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis rodiklio I vertė apskaičiuojama pagal formulę (4) [45]:

$$I = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} I_n \quad (4)$$

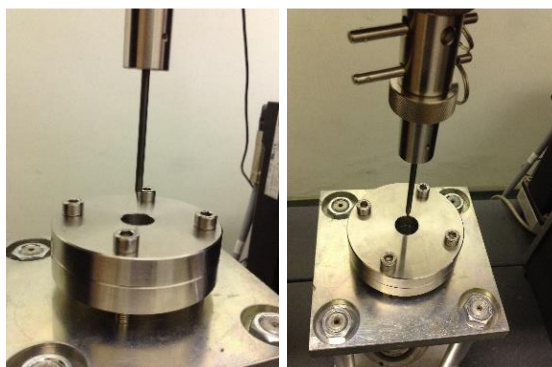
2.2.2 Atsparumo pradūrimui tyrimo metodika

Atsparumo pradūrimui tyrimo tikslas nustatyti plieninės adatos spaudimo jėgą F , kuri reikalinga pradurti tiriamajam bandiniui. Tyrimas atliktas remiantis EN 388:2003 standarto 6.4 punktu [45]. Atsparumo pradūrimui eksperimentui naudojami keturi 60x60 mm dydžio bandiniai, kurie iškirpti iš skirtingų kiekvienos tiriamos medžiagos vietų. Eksperimento tyrimo metu naudojamas įtaisas, kuris laiko tiriamąjį bandinį, ir plieninė adata, kurios forma turi atitikti 2.8b paveiksle nurodytiems matmenims.



2.8 pav. Atsparumo pradūrimui naudojamos įrangos dalys: laikymo įtaisas (a) ir plieninė adata (b) [45]

Bandymas atliekamas kompiuterizuota CRE tipo tempimo mašina Zxick/Roell (Z050) (žr. 2.9 pav.).



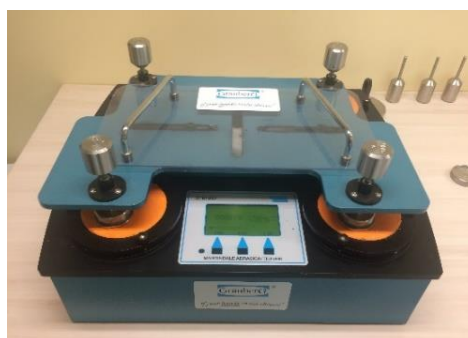
2.9 pav. 3D megztinių medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo metu užfiksuotas vaizdas

Laikymo įtaiso centre priveržiamas bandinys taip, jog išorinis paviršius būtų nukreiptas link plieninės adatos. 100 mm/min greičiu link bandinio leidžiama plieninė adata žemyn ir užrašoma jėga, kuri buvo panaudota praduriant tiriamą bandinį.

Eksperimentas atliekamas su keturiais tiriamos medžiagos bandiniais. Gautiems eksperimentinio tyrimo rezultatams atliekami statistiniai skaičiavimai ir nustatomas tiriamojo objekto atsparumo pradūrimui lygmuo.

2.2.3 Atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo metodika

Atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo tikslas įvertinti medžiagos gebėjimą atlaikyti abrazyvinį dilinimą, esant žinomam slėgiui. Eksperimentinis tyrimas atliktas remiantis EN 388:2003 standarto 6.1 punktu [45]. Tyrimo metu naudota Martindale dėvėjimosi ir atsparumo dilinimui bandymo mašina „SATRA STM 633“, kurios bendras vaizdas pateikiamas 2.9 paveiksle.



2.10 pav. Martindale dėvėjimosi ir atsparumo dilinimui bandymo mašina „SATRA STM 633“

Iš kiekvienos tiriamos medžiagos iškerpami keturi apskritimo formos bandiniai (\varnothing 38 mm). Bandiniai įtaisomi į bandinio laikiklio žiedus. Naudojant paviršiaus svarstį, kruopščiai įtvirtinama abrazyvinė medžiaga, priveržiant laikantįjį rėmelį. Ant viršutinės bandymo mašinos plokštės įtaisomi tiriamųjų bandinių laikikliai, kurie bandinius tyrimo metu spaudžia $9 \pm 0,2$ kPa slėgiu.

Tiriamieji bandiniai pradami tikrinti po 100 ciklų. Nepastebėjus pratrintų vietų, tęsiamas eksperimentas iki 2-ojo darbinio charakteristikų lygmens, t. y. kai pasiekiamas 500 ciklų skaičius. Apžiūrint tiriamąjį objektą, bandiniai ir abrazyvinė medžiaga švariai nuvalomi suspaustu oru, patikrinamas bandinio laikiklių ir abrazyvinės medžiagos rėmelių priveržimas, jei reikia jie priveržiami prieš tęsiant bandymą.

Siekiant užfiksuoti kuo tikslesnį ciklų skaičių, kai tiriamuosiuose objektuose atsiranda pratrūnimas, bandiniai tikrinami dažnesniais intervalais negu nurodyta standarte, t.y. nepasiekus reikiamo darbinio charakteristikos lygmenio.

Gautiems eksperimentinio tyrimo rezultatams atliekami statistiniai skaičiavimai ir nustatomas medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui lygmuo.

2.2.4 Laidumo orui tyrimo metodika

3D megztinių medžiagų laidumas orui nustatytas ATL-2 laidomačiu, remiantis LST EN ISO 9237:2007 „Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas“ [46] standartu. Eksperimento metu tirtas 10 cm² bandinio plotas, o oro srauto debitas matuotas esant 200 Pa slėgių skirtumui.

Nesusiraukšlėjęs bandinys suspaudžiamas tarp laikiklių (tūtos ir tinklelio). Įjungus laidomačio variklį ir oro reguliavimo vožtuvą, oro debitas pamažu didinamas, kol pasiekiamas reikiamas slėgių skirtumas, t.y. 200 Pa. Pasiekus stabilias sąlygas, matuojamas praleisto oro srauto kiekis per tekstilinę medžiagą bei užrašoma užfiksuota jo vertė. Kiekvienos tiriamos medžiagos laidumas orui matuojamas mažiausiai 10 kartų skirtingose bandinio vietose, esant toms pačioms sąlygoms. Išmatavus 10 kartų skirtingose bandinio vietose praleisto oro srauto kiekį, apskaičiuojama vidutinė praleisto oro srauto per tekstilinę medžiagą vertė. Laidumo orui rodiklis B apskaičiuojamas pagal formulę (5) [47]:

$$B = \frac{q}{S \cdot t}, \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{s}) \quad (5)$$

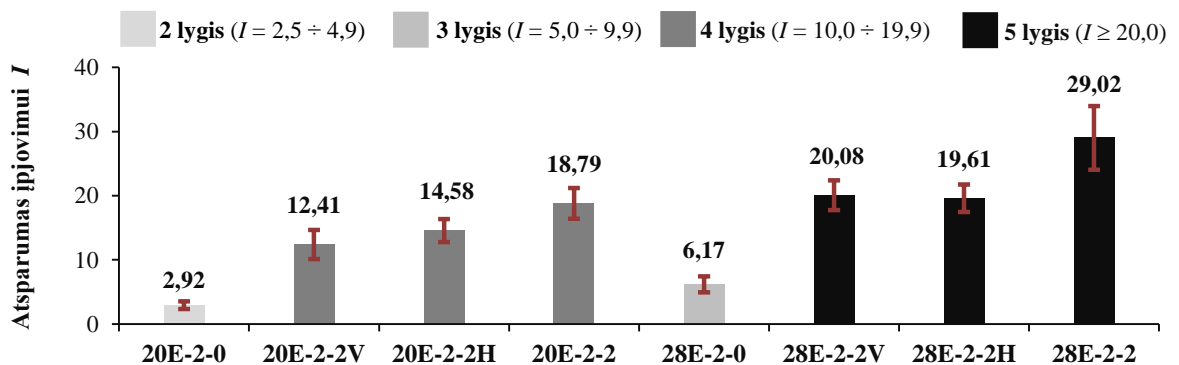
čia q – vidutinis pro medžiagą praėjusio oro kiekis, m³; S – tiriamo bandinio plotas, m²; t – laikas, per kurį praėjo oro kiekis q , s.

3. EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikiami eksperimentinių tyrimų metu gauti rezultatai ir jų analizė, kuri atlikta remiantis skaitinėmis ir grafinėmis rezultatų išraiškomis bei jas lyginant su 3D megztinių medžiagų struktūros charakteristikomis.

3.1 Atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis tyrimo rezultatai

Žemiausias tarp tirtų 20E-2-X ir 28E-2-X grupės megztinių medžiagų atsparumo įpjovimui ašmenimis rodiklis I (2,92), kuris atitinka 2-ąjį darbinių charakteristikų lygmenį, gautas 20E-2-0 medžiagos (žr. 3.1 pav.) – tai 3D megztinė medžiaga be plieninės vielutės, numegzta 20E skersinio mezgimo mašinos klase, ir kurios paviršinis tankis m_q mažiausias tarp visų tirtų 3D megztinių medžiagų (žr. 2.1 lentelę). Ta pačia mezgimo mašinos klase, tačiau su HPPE + plienine vielute išoriniame ir apatiniame medžiagos sluoksniuose numegztos 20E-2-2 medžiagos atsparumo įpjovimui rodiklis I padidėjo 6,4 karto (543,5 %) ir buvo pasiektas 4-tas atsparumo lygmuo. Pagrindinis faktorius, turėjęs įtakos tokiam rezultatų skirtumui – HPPE daugiagijo siūlo susukimas su plienine vielute, kas 68,8 % padidino tiriamosios megztinės medžiagos paviršinį tankį m_q , o specifinis tankis D padidėjo 55 %, lyginant su 20E-2-0 medžiagos charakteristikomis.



3.1 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atsparumo įpjovimui tyrimo rezultatai

20E-2-2V ir 20E-2-2H medžiagų atsparumo įpjovimui rodiklių I rezultatai gauti labai panašūs: atitinkamai 12,41 ir 14,58 – abi medžiagos atitinka 3-čią atsparumo įpjovimui lygmenį. Atsižvelgiant į 20E-2-2V ir 20E-2-2H medžiagų charakteristikų panašumus: kilpų skaičių kvadratiniam centimetre, storį h , paviršinį tankį m_q , procentinę žaliavos sudėtį (žr. 2.1 lentelę ir 2.5 pav.), ir apskaičiuotų rezultatų paklaidų ribas, galima teigti, jog plieninės vielutės, kuri susukta su HPPE, numegzimo kryptis medžiagoje, t. y. ar plieninė vielutė numegzta tik eilučių kryptimi (20E-2-2H), ar tik stulpelių kryptimi (20E-2-2V), neturi reikšmingos įtakos geresniam medžiagos įpjovimo atsparumui.

Lyginant 20E-2-2V ir 20E-2-2H medžiagų atsparumo įpjovimui rodiklių I rezultatus su 20E-2-2 medžiagos, nustatyta, jog medžiagą numegzrus su plienine vielute eilučių ir stulpelių

kryptimis yra pasiekiamas 28,8 ÷ 51,4 % didesnis atsparumas įpjovimui negu 20E-2-2V ir 20E-2-2H medžiagų, kuriose plieninė vielutė numegzta stulpelių arba eilučių kryptimis. Geresnį 20E-2-2 megztinės medžiagos atsparumą įpjovimui lėmė didesnis plieninės vielutės kiekis jos sandaroje ir kiti struktūriniai skirtumai: numezgus plieninę vielutę eilučių ir stulpelių kryptimis, plieninės vielutės kiekis 20E-2-2 medžiagoje padidėjo 68,0 %, lyginant su 20E-2-2V ir 20E-2-2H medžiagų procentine žaliavos sudėtimi, o paviršinis tankis m_q padidėjo 27 %. Koreliacinė analizė (žr. 3.2 pav.) parodė, jog plieninės vielutės kiekis megzinio struktūroje ir paviršinio tankio m_q ryšys su atsparumo įpjovimui rodikliu I yra labai stiprus (atitinkamai $r = 0,99$ ir $r = 0,96$), todėl galima teigti, jog didesnį plieninės vielutės kiekį ir paviršinį tankį m_q turinčios medžiagos yra atsparesnės diskinio peilio ašmenų įpjovimui.

28E mezgimo mašinos klase numegztų 3D megztnių medžiagų atsparumo įpjovimui rodikliai I gauti didesni visais atvejais, lyginant su 20E mezgimo mašinos klase numegztomis 3D megztnėmis medžiagomis, naudojant tas pačias žaliavas. Trijų 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų atsparumo įpjovimui ašmenimis rodikliai I atitinka aukščiausią – 5-tąjį, lygmenį (žr. 3.1 pav.). Lyginant 28E ir 20E mezgimo mašinos klasėmis numegztas 3D megztnes medžiagas pagal procentinės žaliavos sudėtį (žr. 2.5 pav.), plieninės vielutės kiekis šiose medžiagose skiriasi nežymiai, todėl geresnį tirtų 28E-2-X medžiagų grupės atsparumą įpjovimui lėmė didesnis kilpų tankumas, paviršinis tankis m_q bei storis h .

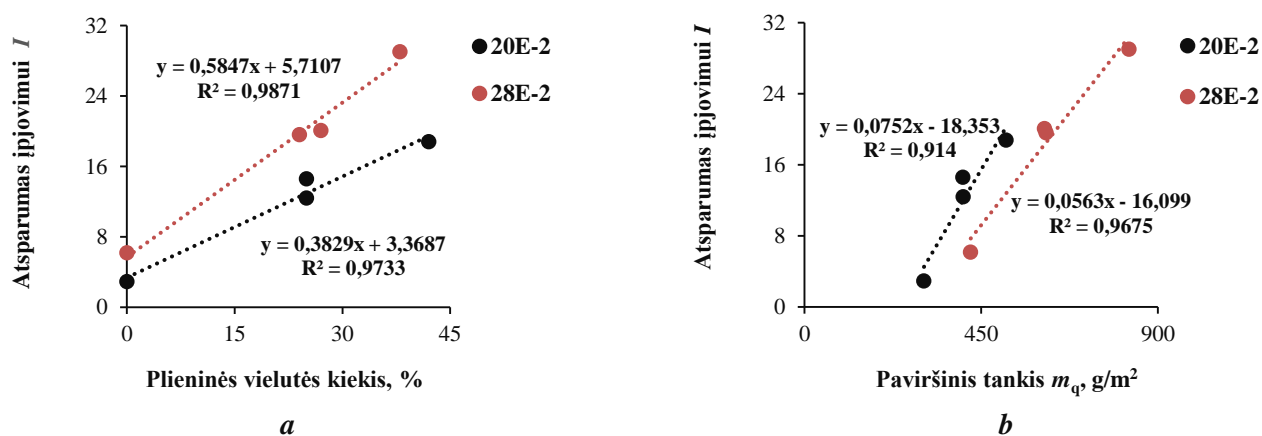
Lyginant skirtingomis mezgimo mašinų klasėmis numegztas medžiagas be plieninė vielutės, 28E-2-0 medžiagos atsparumo įpjovimui rodiklis I gautas 2 kartus (111,3 %) didesnis nei 20E-2-0 medžiagos ir atsparumo įpjovimui lygmuo iš 2-ojo padidėjo iki 3-iojo. Geresnį 28E-2-0 medžiagos atsparumą įpjovimui lėmė 39,14 % didesnis paviršinis tankis m_q ir 36,36 % didesnis storis h , lyginant su žemesne mezgimo mašinos klase numegztos 20E-2-0 medžiagos struktūrinėmis charakteristikomis. Taip pat geresnį 28E-2-0 medžiagos atsparumą įpjovimui lėmė 63,3 % didesnis kilpų skaičius kvadratiniam centimetre, nors specifinis tankis D tik 2,1 % didesnis lyginant su 20E-2-0 medžiaga.

Lyginant medžiagų, kurios numegztos ta pačia 28E mezgimo mašinos klase, tačiau be plieninės vielutės (28E-2-0) ir su plienine vielute (28E-2-2), atsparumo įpjovimui rodiklių I rezultatus, 28E-2-2 medžiagos atsparumo įpjovimui rodiklis I yra 4,7 karto (370,34 %) didesnis negu 28E-2-0 medžiagos. Geresnį 28E-2-2 medžiagos atsparumą įpjovimui lėmė HPPE susukimas su plienine vielute, kuri sudaro 38,0 % tirtos 3D megztnės medžiagos žaliavos sudėties (žr. 2.5 pav.). Taip pat 28E-2-2 medžiagą numezgus su plienine vielute, šios medžiagos paviršinis tankis m_q yra 95,27 %, o specifinis tankis D yra 83 % didesnis, lyginant su 28E-2-0 medžiagos struktūros charakteristikomis – tai pagrindiniai faktoriai, lėmę 28E-2-2 medžiagos geresnį atsparumą įpjovimui. Tuo tarpu 28E-2-2 medžiagą lyginant su 20E-2-2, kuri numegzta žemesne – 20E, mezgimo mašinos

klase, tačiau naudojant tas pačias žaliavas, 28E-2-2 atsparumas įpjovimui ašmenimis yra 1,54 karto (54,44 %) didesnis. Pagrindinę įtaką tokiam rezultatų skirtumui turėjo medžiagų struktūriniai skirtumai, nes pagal procentinę žaliavos sudėtį (žr. 2.5 pav) plieninės vielutės, HPPE ir PA kiekis 28E-2-2 ir 20E-2-2 medžiagose yra panašus: 28E-2-2 medžiagos 1,65 karto (65 %) didesnis kilpų skaičius kvadratiniam centimetre, 1,3 karto (33,33 %) didesnis storis h ir 1,6 karto (61,01 %) didesnis paviršinis tankis m_q nei 20E-2-2.

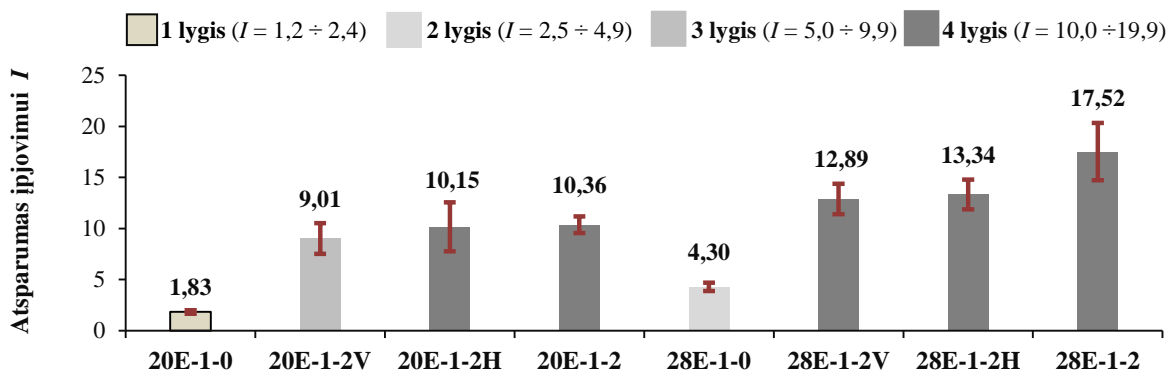
28E-2-2V ir 28E-2-2H medžiagų atsparumo įpjovimui rodikliai I gauti panašūs: 20,08 ir 19,61 atitinkamai, todėl atsižvelgus į paklaidų ribas, abi tirtos medžiagos įvertintos aukščiausiu – 5-ju, lygmeniu. Kaip ir žemesne mezgimo mašinos klase numegztų 20E-2-2V bei 20E-2-2H medžiagų atveju, tiriant 28E mezgimo mašinos klase numegzta 28E-2-2V ir 28E-2-2H medžiagas, nepastebėta ryškesnė plieninės vielutės numezgimo krypties (eilučių ar stulpelių) įtaka geresniam atsparumui diskinio peilio įpjovimui.

Atlikus koreliacinę analizę (žr. 3.2 pav.) tarp ištirtų 28E-2-X grupės medžiagų atsparumo įpjovimui rodiklio I ir sandaros charakteristikų, nustatyta, jog plieninės vielutės kiekis mezginyje ir paviršinis tankis m_q turi stiprų ryšį su atsparumo įpjovimui rodikliu I (atitinkamai $r = 0,99$ ir $r = 0,98$), kaip ir 20E-2-X grupės medžiagų atveju. Šiems parametrams didėjant, medžiagos yra atsparesnės diskinio peilio įpjovimui.



3.2 pav. Koreliacinis atsparumo įpjovimui rodiklio I ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)

Atlikus 3D megztinių medžiagų, kurių apatinis sluoksnis numegzta iš poliesterinių verpalų, atsparumo įpjovimui diskinio peilio ašmenimis eksperimentinį tyrimą, galima teigti, jog 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumo įpjovimui rodikliai I gauti $1,38 \div 1,81$ karto ($27,4 \div 44,86$ %) mažesni nei 20E-2-X, 28E-2-X 3D megztinių medžiagų. Toliau pateikiama 3D megztinių medžiagų 20E-1-X ir 28E-1-X grupių eksperimentinio atsparumo įpjovimui diskinio peilio ašmenimis tyrimo rezultatų (žr. 3.3 pav.) analizė, kuri atlikta lyginant rodiklio I vertę su medžiagų struktūrinėmis charakteristikomis.



3.3 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumo įpjovimui tyrimo rezultatai

Žemiausias tarp visų 16-kos tirtų 3D megztinių medžiagų atsparumo įpjovimui ašmenimis rodiklis I (1,83) gautas 20E-1-0 medžiagos (žr. 3.3 pav.) – ji atitinka tik 1-ąjį atsparumo įpjovimui diskinio peilio ašmenimis darbinį charakteristikų lygmenį – tai 3D megztinė medžiaga be plieninės, numegzta 20E skersinio mezgimo mašinos klase. Ta pačia 20E mezgimo mašinos klase, tačiau su plienine vielute išoriniame medžiagos sluoksnyje numegztos 20E-1-2 medžiagos atsparumo įpjovimui ašmenimis rodiklis yra 5,67 karto (466,12 %) didesnis ir pasiektas 4-tas atsparumo įpjovimui ašmenimis darbinis lygmuo. Taigi, plieninė vielutė ženkliai pagerina megztinės medžiagos atsparumą įpjovimui: 20E-1-2 medžiagos, kuri numegzta su plienine vielute, susukta su HPPE, eilučių ir stulpelių kryptimis, paviršinis tankis m_q ir specifinis tankis D yra 23,67 % ir 14,18 % atitinkamai didesni, lyginant su 20E-1-0 medžiagos struktūrinėmis charakteristikomis – tai pagrindiniai faktoriai, kurie lėmė 20E-1-2 medžiagos geresnį atsparumą įpjovimui.

Nagrinęjant plieninės vielutės, susuktos su HPPE, numegzimo krypties įtaką atsparumo rodiklio I vertei tarp 20E-1-X 3D megztinių medžiagų, nenustatyta reikšminga plieninės vielutės numegzimo krypties, t. y. eilučių, ar stulpelių, įtaka geresniam medžiagos įpjovimo atsparumui. 20E-1-2V ir 20E-1-2H medžiagų atsparumo įpjovimui rodiklių I rezultatai (atitinkamai 9,01 ir 10,15) kinta paklaidų ribose, kaip ir 20E-2-2V ($I = 12,41$) bei 20E-2-2H ($I = 14,58$) medžiagų atveju.

Nagrinęjant plieninės vielutės kiekio įtaką atsparumo įpjovimui tarp 20E mezgimo mašinos klase numegztų 3D medžiagų, nustatyta, jog 20E-1-2 medžiaga, kurioje plieninė vielutė yra numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis, atsparumo įpjovimui rodiklis I gautas didesnis nei medžiagų su mažesniu plieninės vielutės kiekiu (20E-1-2V, 20E-1-2H). Tačiau šių medžiagų rezultatai kinta paklaidų ribose, nors 20E-1-2 medžiaga turi 80 % (1,8 karto) didesnę plieninės vielutės kiekį savo struktūroje nei 20E-1-2V ir 20E-1-2H.

Lyginant 20E-1-2V ir 20E-1-2H megztinių medžiagų, kurių apatinis sluoksnis numegzta iš poliesterinių verpalų, atsparumo įpjovimui rodiklių I vertes su 20E-2-2V ir 20E-2-2H, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai numegzti iš mechaninėms pažaidoms atsparesnių pluoštų, nustatyta, jog pastarųjų 3D megztinių medžiagų atsparumas įpjovimui yra 37,7 ÷ 43,7 % didesnis dėl panaudoto didesnio plieninės vielutės kiekio (žr. 2.5 pav.). Kita vertus, visos šios keturios 3D megztinės

medžiagos atitinka 4-tą atsparumo įpjomimui peilio ašmenimis lygmenį. Taigi, didesnis plieninės vielutės kiekis mezginyje padidina medžiagos atsparumą įpjomimui, tačiau naudojant 3D skersinio mezgimo megztinę medžiagą su mažesniu procentinės plieninės vielutės kiekiu jos struktūroje ir su PES apatiniame sluoksnyje, pasiekiamas pakankamai aukštas atsparumas įpjomimui, išlaikant ir medžiagos komforto savybes: lankstumą, gerą grifą.

Tuo tarpu lyginant 20E-1-2 megztinę medžiagą, kurioje HPPE + plieninė vielutė yra numegzta stulpelių ir eilučių kryptimis tik išoriniame sluoksnyje, su 20E-2-2, kurioje HPPE + plieninė vielutė numegzta stulpelių ir eilučių kryptimis išoriniame ir apatiniame sluoksniuose, pastarosios medžiagos atsparumo rodiklio I vertė yra 1,81 karto (81,37 %) didesnė. Dėl 20E-2-2 medžiagoje esančio didesnio plieninės vielutės kiekio, paviršinis tankis m_q yra 22,7 %, o specifinis tankis D yra 32,92 % didesnis negu 20E-1-2 medžiagos – šie struktūriniai skirtumai lėmė geresnį atsparumą įpjomimui. Kita vertus abi 20E-1-2 ir 20E-2-2 medžiagos atitinka tą patį – 4-tą, atsparumo įpjomimui lygmenį, todėl galima teigti, jog nors 20E-1-2 atsparumas peilio ašmenimis yra 1,81 karto (44,86 %) mažesnis už 20E-2-2, tačiau medžiaga, kurioje HPPE + plieninė vielutė numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis tik išoriniame medžiagos sluoksnyje, taip pat užtikrina pakankamai aukštą atsparumą įpjomimui.

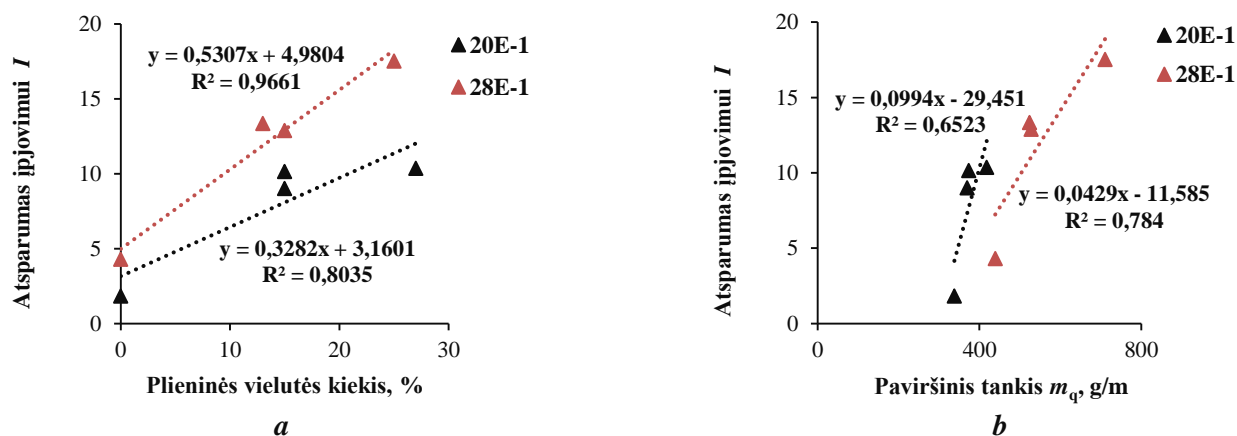
Aukštesne – 28E, mezgimo mašinos klase numegztų 3D megztinių medžiagų (28E-1-X) atsparumo įpjomimui rodikliai I yra didesni visais atvejais, lyginant su 20E mezgimo mašinos klase numegztomis medžiagomis (20E-1-X), naudojant tas pačias žaliavas. Geresnį 28E-1-X grupės medžiagų atsparumą įpjomimui lėmė didesnis kilpų tankumas, paviršinis tankis m_q bei storis h , nes plieninės vielutės kiekis medžiagos yra panašus.

Lyginant medžiagų, kurios numegztos ta pačia 28E mezgimo mašinos klase, tačiau be plieninės vielutės (28E-1-0) ir su plienine vielute (28E-1-2), atsparumo įpjomimui rodiklių I rezultatus, nustatyta, kad 28E-1-2 medžiagos, kuri atitinka 4-tą atsparumo lygmenį, rodiklis I yra net 4,1 karto (307,4 %) didesnis negu 28E-1-0 medžiagos. Numezgus 28E-1-2 medžiagą iš HPPE, susukto su plienine vielute, išoriniame sluoksnyje, šios medžiagos paviršinis tankis m_q yra 1,62 karto (61,96 %) didesnis lyginant su 28E-1-0, todėl buvo pasiektas aukštas atsparumas įpjomimui. Tuo tarpu 28E-1-2 medžiagą lyginant su 20E-1-2, kuri numegzta 20E mezgimo mašinos klase, bet naudojant tas pačias žaliavas, 28E-1-2 atsparumas įpjomimui rodiklis I yra 1,69 karto (69,1 %) didesnis, nors šių medžiagų procentinė žaliavos sudėtis yra labai panaši (žr. 2.6 pav.). Taigi, geresnį 28E-1-2 medžiagos atsparumą įpjomimui lėmė 1,8 karto (80 %) didesnis kilpų skaičius kvadratiniam centimetre, 1,33 karto (30,8 %) didesnis storis h ir 1,7 karto (70,1 %) didesnis paviršinis tankis m_q .

28E-1-2V ir 28E-1-2H medžiagų atsparumo įpjomimui rodikliai gauti panašūs: 12,89 ir 13,34. Kaip ir 20E-1-2V, 20E-1-2H medžiagų atveju, ir 28E mezgimo mašinos klase numegztoms 28E-1-2V ir 28E-1-2H medžiagoms plieninės vielutės numezgimo krypties įtaka geresniam įpjomimo atsparumui nenustatyta.

Nagrinęjant 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų ryšį tarp atsparumo įpjovimo rodiklio I ir plieninės vielutės kiekio mezginio struktūroje, nustatyta, jog tankesnėje medžiagos struktūroje didesnis plieninės vielutės kiekis ženkliu pagerina medžiagos atsparumą įpjovimui: 28E-1-2 medžiaga, kuri numegzta su plienine vielute eilučių ir stulpelių kryptimis yra $31,3 \div 35,9$ % atsparesnė įpjovimui už medžiagas su mažesniu plieninės vielutės kiekiu (28E-1-2V, 28E-1-2H). Tuo tarpu tarp žemesne 20E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų reikšmingesnė plieninės vielutės kiekio įtaka įpjovimo atsparumui nenustatyta.

Atlikus koreliacinę analizę (žr. 3.4 pav.) tarp 28E-1-X grupės medžiagų atsparumo įpjovimui rodiklių I ir sandaros charakteristikų, nustatyta, jog plieninės vielutės kiekis mezginyje ir paviršinis tankis m_q turi stiprų ryšį su atsparumo įpjovimui rodikliu I (atitinkamai $r = 0,98$ ir $r = 0,89$). Taip pat galima teigti, jog didėjant mezginio kilpų skaičiui kvadratiniam centimetre, koreliacinis ryšys tarp atsparumo įpjovimui rodiklio I ir plieninės vielutės kiekio mezginyje bei paviršinio tankio m_q , yra stipresnis, lyginant su mezgimais, kurių kilpų skaičius yra mažesnis.



3.4 pav. Koreliacinis atsparumo įpjovimui rodiklio I ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu m_q (b)

Apibendrinimas. Pagal atlikto atsparumo įpjovimui peilio ašmenimis tyrimo rezultatus galima teigti, jog 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D megztinės medžiagos dėl didesnio kilpų tankumo, paviršinio tankio m_q ir storio h užtikrina $1,3 \div 2,35$ ($26,3 \div 135$ %) karto geresnį atsparumą įpjovimui nei 20E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos. Nustatyta, jog atsparumo įpjovimui rodiklis I turi stiprų koreliacinį ryšį su plieninės vielutės kiekiu mezginio struktūroje ($r = 0,90 \div 0,99$) ir paviršiniu tankiu m_q ($r = 0,81 \div 0,98$). Medžiagų struktūrinių parametrų, tokių kaip paviršinio tankio ir storio, ryšį su atsparumu įpjovimui patvirtina ir kitų mokslininkų atlikti tyrimai: medžiagos pasižymi geresniu atsparumu įpjovimui esant didesniai storio ir paviršiniui tankiui [5, 9].

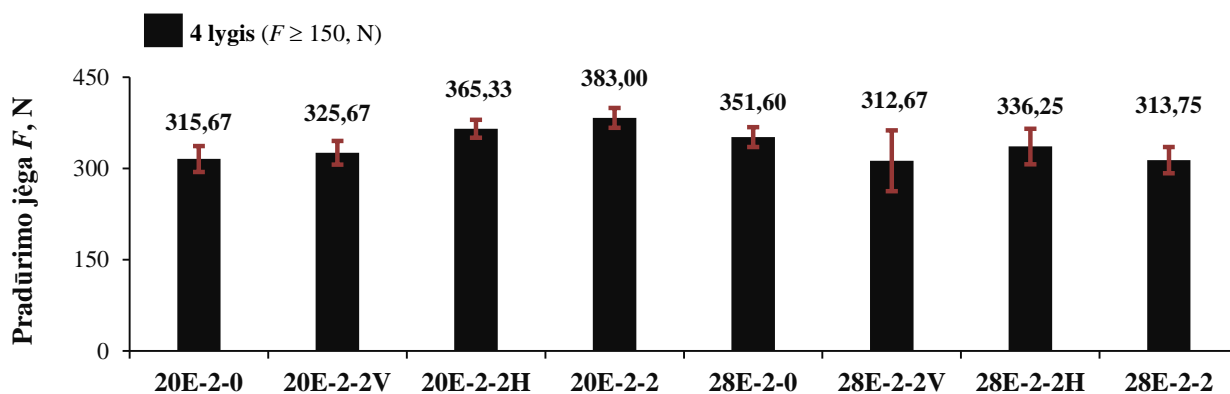
Tyrimo metu nenustatyta reikšminga plieninės vielutės numegzimo krypties – eilučių ar stulpelių, įtaka geresniam medžiagų įpjovimui atsparumui.

Nustatyta, jog 3D skersinio mezgimo megztinės medžiagos, kurių išorinis ir apatiniai sluoksniai numegzti naudojant tokią pačią žaliavą – HPPE siūlus ir/ar HPPE+plieninę vielutę, yra $1,4 \div 1,8$ kartų

(38,7 ÷ 81,87 %) atsparesnės įpjovimui nei 3D megztines medžiagos, kurių apatinis sluoksnis numegztas iš poliesterio. Tačiau 3D medžiagos (20E-1-X, 28E-1-X), kurių apatiniame sluoksnyje naudotas poliesteriniai verpalai, siekiant pagerinti apsauginės medžiagos komforto savybes, taip pat atitinka pakankamai aukštą atsparumą įpjovimui: penkios iš aštuonių šios grupės medžiagų atitinka 4-tą atsparumo įpjovimui lygmenį. Galima teigti, jog 3D medžiagos struktūra, kurią sudaro išorinis, jungiamasis ir apatinis sluoksniai, yra tinkama apsauginių medžiagų nuo įpjovimo naudojimui, nes parenkant skirtingas žaliavas galima pasiekti gerą santykį tarp atsparumo mechaninei pažeidai ir komforto savybių, tokių kaip lankstumo, gero grifo.

3.2 Atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai

Atlikus 3D megztinių medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimą nustatyta, jog 15-ka iš 16-kos tirtų mezginių atitinka aukščiausiąjį – 4-ąjį, darbinio charakteristikų lygmenį pagal EN 388:2003. 3.5 paveiksle pateikiama 20E-2-X ir 28E-2-X 3D megztinių medžiagų, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai yra vienodi, tyrimo rezultatai.

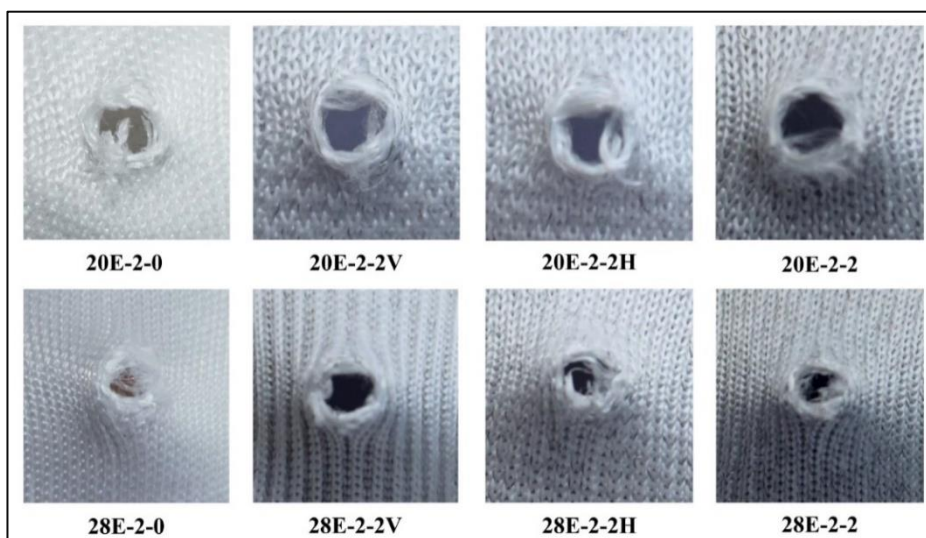


3.5 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai (variacijos koeficientas $CV = 1,71 \div 6,44 \%$)

Tiriant skirtingomis skersinio mezgimo mašinų klasėmis – 20E ir 28E, numegztų 20E-2-X ir 28E-2-X grupės 3D megztinių medžiagų atsparumą pradūrimui, pastebėta skirtinga pradūrimo jėgos F kitimo tendencija (žr. 3.5 pav.). Tarp 20E-2-X grupės tirtų medžiagų didžiausia pradūrimo jėga F (383,0 N) nustatyta 20E-2-2 medžiagai, kurioje plieninė vielutė numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis. Tuo tarpu tarp 28E-2-X grupės medžiagų didžiausia pradūrimo jėga F (351,6 N) nustatyta 28E-2-0 medžiagos, kuri numegzta be plieninės vielutės, tačiau visų tirtų šios medžiagų grupių rezultatai kinta paklaidų ribose.

3.6 paveiksle pateikiami 3D megztinių medžiagų bandinių vaizdai po atlikto atsparumo pradūrimui tyrimo. Iš 3.6 paveikslo matyti, jog 20E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų bandiniuose suformuotos mechaninės pažeidos – skylės, yra didesnės už 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų. Tai galima paaiškinti tuo, jog 20E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos yra retesnės struktūros už 28E mezgimo mašinos klase numegztas 3D medžiagas, todėl

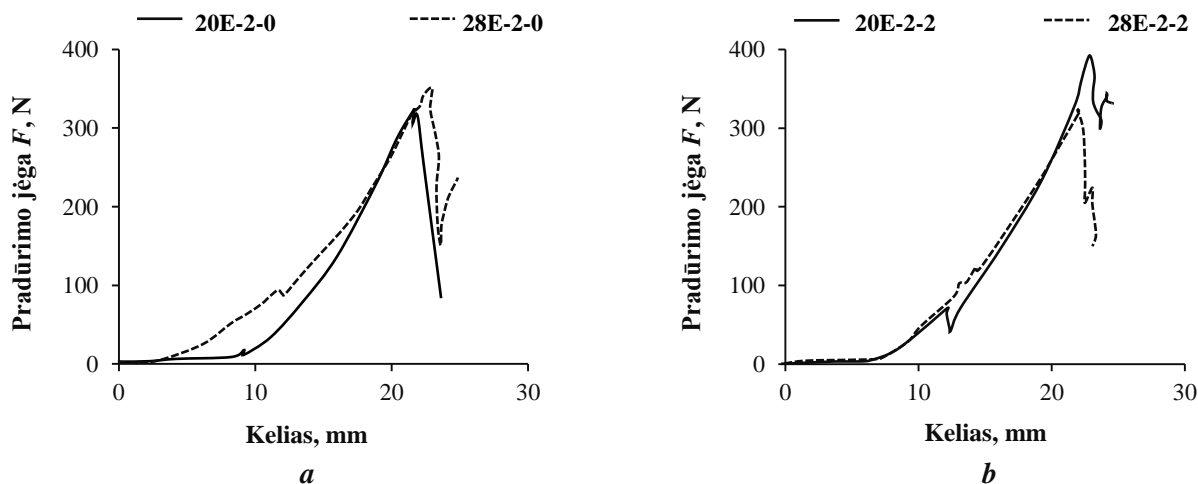
kilpos lengviau pasiduoda veikiančiai pradūrimo jėgai, o tankesnėje struktūroje kilpos greičiau grįžta į pradinę padėtį.



3.6 pav. 3D megztinių medžiagų 20E-2-X ir 28E-2-X pradurtų bandinių vaizdai

Taip pat apžiūrint medžiagų bandinius pastebėta, jog bandinius pradūrus plienine adata išliko duobimo įlinkis, kurio dydis priklauso nuo medžiagos sandaros charakteristikų: medžiagų su didesniu plieninės vielutės kiekiu ir kilpų tankumu įlinkimo deformacija yra didesnė už retesnės struktūros medžiagas ir mažesniu plieninės vielutės kiekiu.

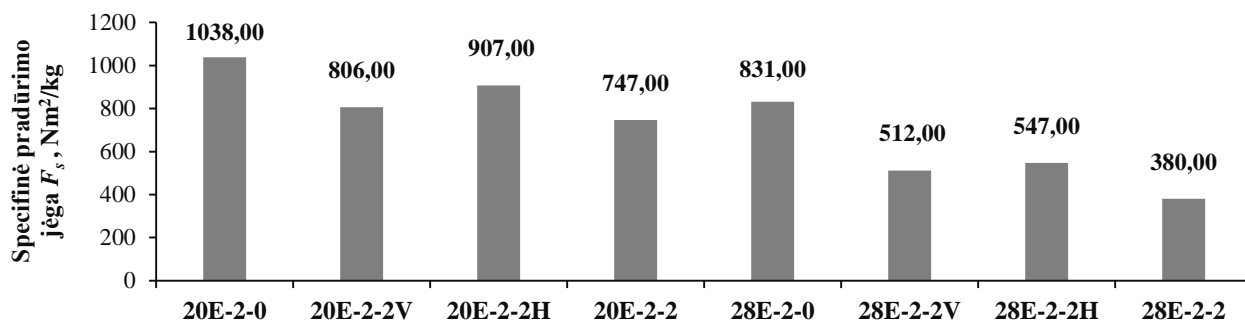
Palyginus 20E-2-0 ir 28E-2-0 medžiagų be plieninės vielutės pradūrimo kreives (žr. 3.7a pav.) matyti, jog 28E-2-0 medžiagai pradurti reikia didesnės jėgos ir sunaudojama daugiau energijos, nei medžiagai 20E-2-0, numegztai 20E mezgimo mašinos klase ir naudojant tas pačias žaliavas. Taip pat skiriasi pradūrimo kreivių pobūdis – 28E mezgimo mašinos klase numegztai medžiagai pradurti jau pradiniame etape sunaudojama daugiau energijos nei 20E mezgimo mašinos klase numegztai medžiagai. Taigi, kol mezginio struktūroje nėra plieninės vielutės, lemiamą įtaką pradūrimui turi medžiagos kilpų tankumas ir paviršinis tankis m_q – kuo šie parametrai didesni, tuo pradūrimui reikia didesnės jėgos.



3.7 pav. 20E-2-0, 28E-2-0 ir 20E-2-2, 28E-2-2 medžiagų pradūrimo kreivės

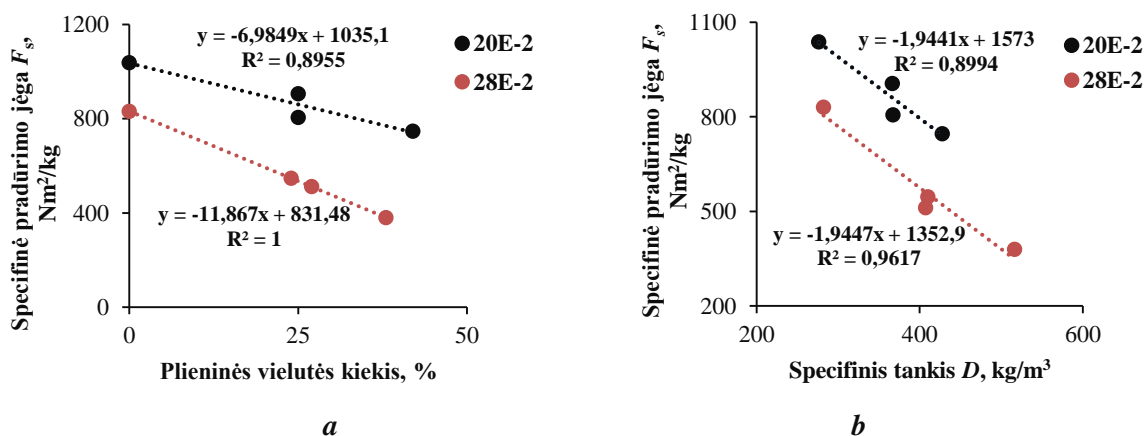
Lyginant 20E-2-2 ir 28E-2-2 medžiagas, kuriose plieninė vielutė, susukta su HPPE, yra numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis išoriniame ir apatiniame sluoksniuose, pradūrimo kreivė pasikeičia. Pagal grafike (žr. 3.7b pav.) pateiktas tipines bandinių pradūrimo kreives, matyti, jog pradūrimo pobūdis pradūriant abejas medžiagas yra panašus visoje pradūrimo eigoje, tik skiriasi jėgos dydis – 20E-2-2 medžiagai pradurti reikia didesnės jėgos, nei 28E-2-2 medžiagai, numegzta 28E mezgimo mašinos klase, naudojant tas pačias žaliavas.

Lyginant skirtingų 3D megtinių medžiagų pradūrimo rezultatus buvo apskaičiuota tirtų megtinių specifinė pradūrimo jėga F_s (žr. 3.8 pav.) pradūrimo jėgą F padalinus iš medžiagos paviršinio tankio m_q [44].



3.8 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s

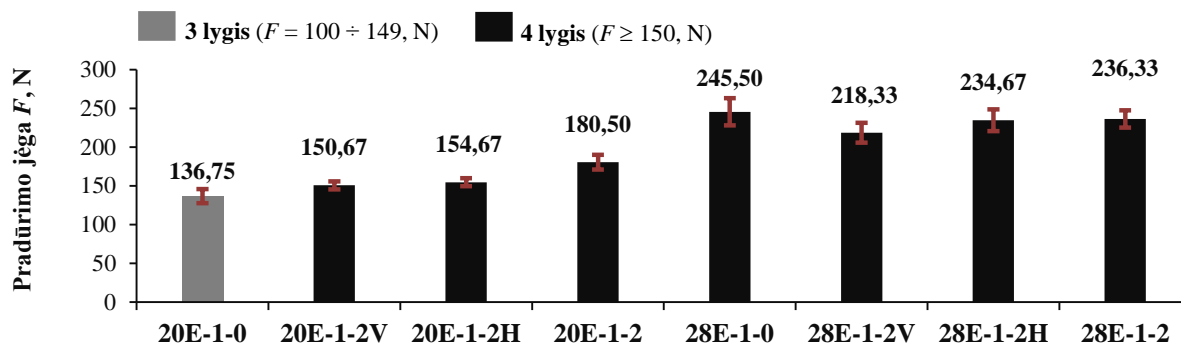
Atlikus koreliacinę analizę (žr. 3.9 pav.), nustatyta, jog specifinė pradūrimo jėga F_s yra atvirkščiai proporcinga plieninės vielutės kiekiui megtinio struktūroje ($r = -(0,95 \div 1,0)$) ir specifiniam tankiui D ($r = -(0,95 \div 0,98)$) – didinant plieninės vielutės kiekį, didėja medžiagos specifinis tankis D , todėl reikalinga mažesnė specifinė pradūrimo jėga F_s .



3.9 pav. Koreliacinis specifinės pradūrimo jėgos F_s ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) bei specifiniu tankiu D (b)

3D megtinių medžiagų, kurių apatinis sluoksnis numegzta iš poliesterinių verpalų, visais atvejais pradūrimo jėga F užfiksuota mažesnė (žr. 3.10 pav.), lyginant su 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagomis, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai numegzti naudojant mechaninėms pažaidoms atsparesnes žaliavas: 20E mezgimo mašinos klase numegztų 20E-1-X medžiagų su poliesteriniais verpalais apatiniame sluoksnyje atsparumas pradūrimui yra $2,12 \div 2,36$ karto ($52,9 \div 61,11$ %) mažesnis, o 28E mezgimo mašinų klase numegztų medžiagų 28E-1-X atsparumas yra $1,33 \div 1,43$

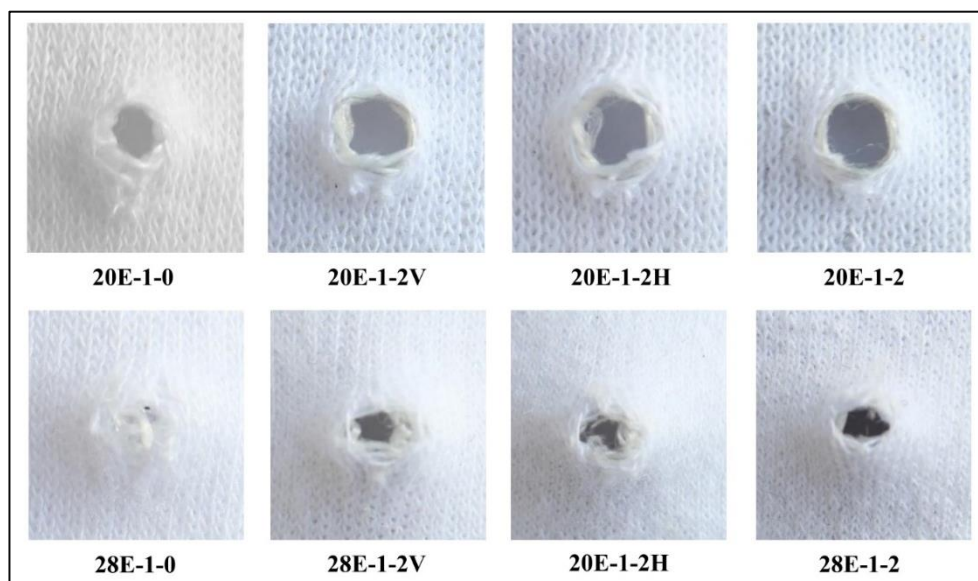
karto (24,7 ÷ 30,2 %) mažesnis už 3.5 paveiksle pateiktus atsparumo pradūrimui rezultatus. Tačiau 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumas pradūrimui yra pakankamai aukštas, nes 7-ios iš 8-nių tirtų medžiagų atitinką aukščiausią – 4-tą, darbinio charakteristikų lygmenį pagal EN 388:2003.



3.10 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatai (variacijos koeficientas CV = 1,35 ÷ 4,15 %)

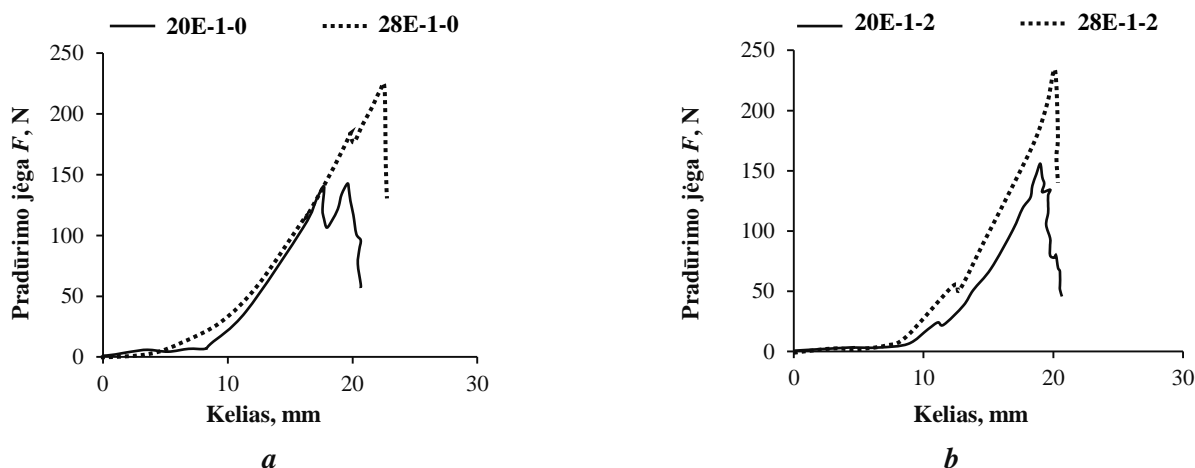
Kaip ir 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atveju (žr. 3.5 pav.), pastebėta skirtinga 20E-1-X ir 28E-1-X megztinių medžiagų pradūrimo jėgos F kitimo tendencija tarp skirtingomis mezgimo mašinų klasėmis – 20E ir 28E, numegztų medžiagų (žr. 3.10 pav.). Tarp 20E-1-X grupės tirtų medžiagų didžiausia pradūrimo jėga F (180,50 N) nustatyta 20E-1-2 medžiagai, kurioje plieninė vielutė išoriniame mezginio sluoksnyje numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis. Tuo tarpu tarp 28E-1-X grupės medžiagų rezultatai kinta paklaidų ribose.

3.11 paveiksle pateikiami 20E-1-X ir 28E-1-X bandinių vaizdai po atsparumo pradūrimui tyrimo. Iš pateiktų vaizdų matyti, jog kaip ir 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atveju, žemesne mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų bandiniuose suformatuotos mechaninės pažaidos – skylės, yra didesnės už 28E-1-X medžiagų. Pastebėta, jog bandinių įlinkiai nėra tokie ryškūs, kaip 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atveju. Kadangi šių 3D medžiagų struktūroje naudotas mažesnis plieninės vielutės kiekis, medžiaga mažiau išsiduobia, nes plieninė vielutė nepasižymi tampriosiomis savybėmis.



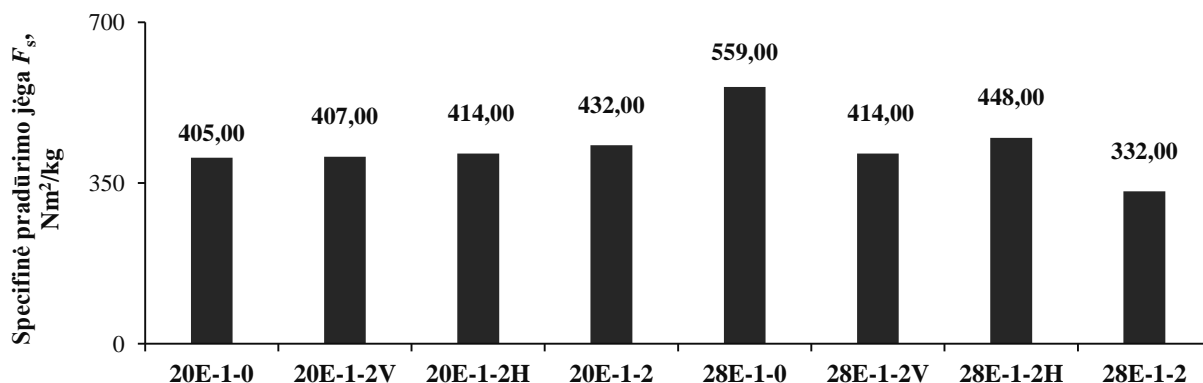
3.11 pav. 3D megztinių medžiagų 20E-1-X ir 28E-1-X pradurtų bandinių paveiksliai

Lyginant 20E-1-0 ir 28E-1-0 medžiagų, kurių struktūroje nėra plieninės vielutės, tipines pradūrimo kreives (žr. 3.12a pav.) galima teigti, jog medžiagų pradūrimo pobūdis yra panašus visoje pradūrimo eigoje, skiriasi tik jėgos dydis: 28E-1-0 medžiagai pradurti reikia didesnės jėgos, nei 20E-1-0 medžiagai, numegztai 20E mezgimo mašinos klase ir naudojant tas pačias žaliavas. Tokia pati tendencija pastebėta lyginant 20E-1-2 ir 28E-1-2 medžiagų, kurių struktūroje plieninė vielutė numegzta eilučių ir stulpelių kryptimis, tipines pradūrimo kreives (žr. 3.12b pav.). Galima teigti, jog siekiant pradurti 28E mezgimo mašinos klase numegztas medžiagas su poliesteriu apatiniame sluoksnyje, sunaudojama didesnė energija nei deformuojant žemesne mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų bandinius.



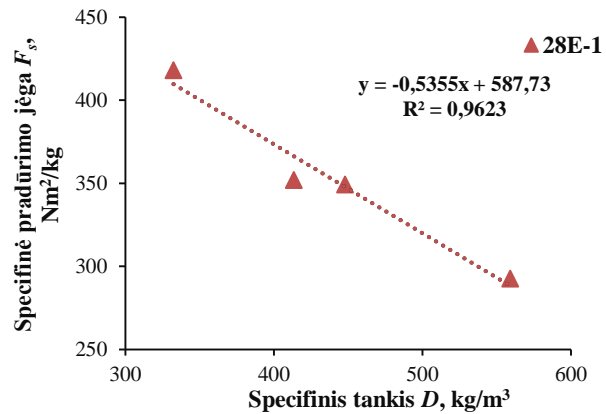
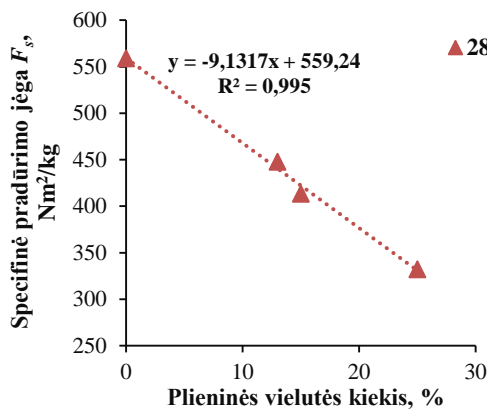
3.12 pav. 20E-1-0, 28E-1-0 ir 20E-1-2, 28E-1-2 3D megztnių medžiagų pradūrimo kreivės

3.13 paveiksle pateikiama apskaičiuota 20E-1-X ir 28E-1-X specifinė pradūrimo jėga F_s . Iš paveikslo matyti, jog tarp 20E-1-X medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s kinta neženkliai, todėl nustatyti koreliacinę priklausomybę nėra prasminga. Tuo tarpu tarp 28E-1-X medžiagų apskaičiuota specifinė pradūrimo jėga F_s kinta ženkliau.



3.13 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės 3D medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s

Atlikus koreliacinę analizę (žr. 3.14 pav.), nustatyta 28E mezgimo mašinos klase numegztų 3D medžiagų specifinė pradūrimo jėga F_s yra atvirkščiai proporcinga plieninės vielutės kiekiui ($r = -0,997$) ir specifiniam tankiui D ($r = -0,98$), kaip ir 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų atveju.



a

b

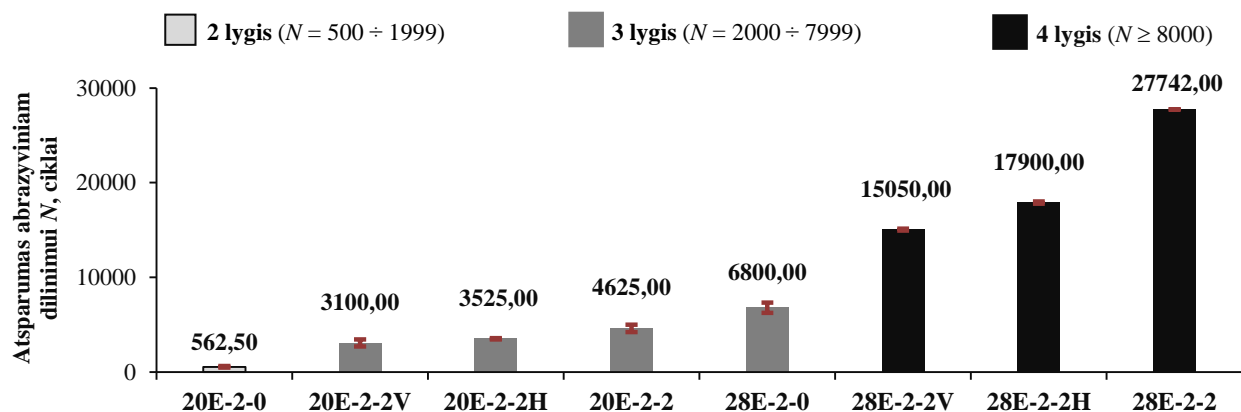
3.14 pav. Koreliacinis ryšys tarp specifinės pradūrimo jēgas F_s ir plieniņės vielutės kiekio (a) bei specifinio tankio D (b)

Apibendrinimas. Pagal atlikto atsparumo pradūrimui tyrimo rezultatus galima teigti, jog 15-ka iš 16-kos tirtų 3D megztnių medžiagų pasižymi aukštu atsparumu pradūrimui ir atitinka aukščiausią – 4-tą, lygmenį pagal EN 388:2003. Nustatyta, jog 3D medžiagos, kurių išorinis ir apatinis sluoksnai numegzti naudojant HPPE siūlus ir/ar HPPE + plieniņę vielutę, yra 1,3 ÷ 2,31 karto atsparesnės pradūrimui negu 3D megztnės medžiagos, kurių apatinis sluoksnis numegztas naudojant poliesterinius verpalus.

Nustatyta, jog 28E-2-X, 20E-2-X ir 28E-1-X medžiagų specifinė pradūrimo jēga F_s yra atvirkščiai proporcinga plieniņės vielutės kiekiui megzinyje struktūroje ($r = -(0,95 \div 1,0)$) ir specifiniam tankiui D ($r = -(0,95 \div 0,98)$) – didinant plieniņės vielutės kiekį, didėja medžiagos specifinis tankis D , todėl reikalinga mažesnė specifinė pradūrimo jēga F_s . Tarp 20E-1-X medžiagų specifinė pradūrimo jēga kinta nežymiai, todėl ryšys su plieniņės vielutės kiekiu ir specifiniu tankiu D nenustatomas.

3.3 Atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatai

Atlikus 3D megztnių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimą, nustatyta, jog 28E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos (28E-1-X ir 28E-2-X), yra ženkliai atsparesnės dilinimui už 20E mezgimo mašinos klase numegztas medžiagas, naudojant tas pačias žaliavas (20E-1-X ir 20E-2-X). Toliau pateikiama 20E-2-X ir 28E-2-X grupės 3D megztnių medžiagų, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai numegzti naudojant mechaninėm pažaidoms atsparesnes žaliavas, rezultatų (žr. 3.15 pav.) analizė.



3.15 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X megztinių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui N tyrimo rezultatai ($CV = 0,38 \div 8,51 \%$)

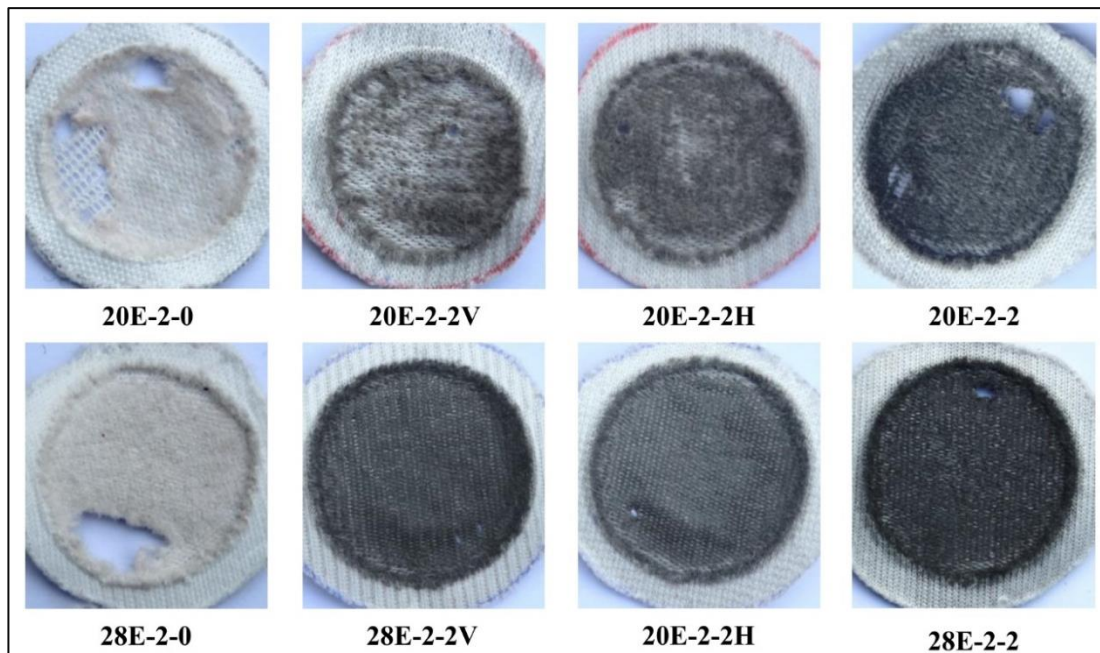
Lyginant skirtingomis skersinio mezgimo mašinos klasėmis (20E ir 28E) numegztų medžiagų atsparumą abrazyviniam dilinimui (žr. 3.15 pav.) matyti, jog 28E-2-X grupės medžiagos yra ženkliai atsparesnės abrazyviniam dilinimui nei 20E-2-X grupės 3D megztinės medžiagos, kurios numegztos naudojant tas pačias žaliavas. 28E-2-2 medžiagai prireikė net 6 kartus daugiau ciklų, kol bandiniuose susidarė mechaninė pažeida – skylė, negu žemesne mezgimo mašinos klase numegztai 20E-2-2 medžiagai. Kitoms 28E klase numegztoms medžiagoms prireikė $4,9 \div 12,1$ karto daugiau ciklų tam, kad bandiniai būtų pratrinti, lyginant su 20E mezgimo mašinos klase numegztomis medžiagoms iš tokių pačių žaliavų. Pagal 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų procentinės žaliavos sudėtį (žr. 2.5 pav.) plieninės vielutės kiekis skiriasi nežymiai, todėl aukštesne (28E) mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos pasižymi geresniu atsparumu abrazyviniam dilinimui dėl šių struktūrinių skirtumų: didesnio kilpų tankumo, paviršinio tankio m_q ir storio h .

Nagrinęjant plieninės vielutės kiekio įtaką 3D megztinių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui, galima teigti, jog didinant plieninės vielutės kiekį mezgimo struktūroje, pasiekiamas geresnis medžiagos atsparumas dilinimui. Nustatyta, jog 20E mezgimo mašinos klase 20E-2-2 numegzta medžiaga su plienine vielute eilučių ir stulpelių kryptimis yra $31,2 \div 49,2 \%$ atsparesnė dilinimui nei 3D medžiagos, kurios numegztos ta pačia mezgimo mašinos klase, bet mažesniu plieninės vielutės kiekiu (20E-2-2V, 20E-2-2H). Analogiška tendencija pastebėta tarp aukštesne mezgimo mašinos klase numegztų 3D medžiagų: 28E-2-2 atsparumas abrazyviniam dilinimui yra $54,98 \div 84,33 \%$ didesnis, lyginant su 28E-2-2V ir 28E-2-2H medžiagų atsparumu dilinimui.

Tyrimo metu pastebėta, jog 3D megztinės medžiagos, kuriose HPPE + plieninė vielutė numegzta eilučių kryptimi, yra atsparesnės abrazyviniam dilinimui nei medžiagos, kuriose HPPE + plieninė vielutė numegzta stulpelių kryptimi: 20E-2-2H atsparumas yra $13,7 \%$ geresnis už 20E-2-2V, o 28E-2-2H medžiaga yra $18,9 \%$ atsparesnė dilinimui nei 28E-2-2V.

Tiriant 28E mezgimo mašinos klase numegztų 3D megztinių medžiagų, kurių struktūroje yra HPPE siūlas, susuktas su plienine vielute, (28E-2-2V, 28E-2-2H, 28E-2-2), atsparumą dilinimui

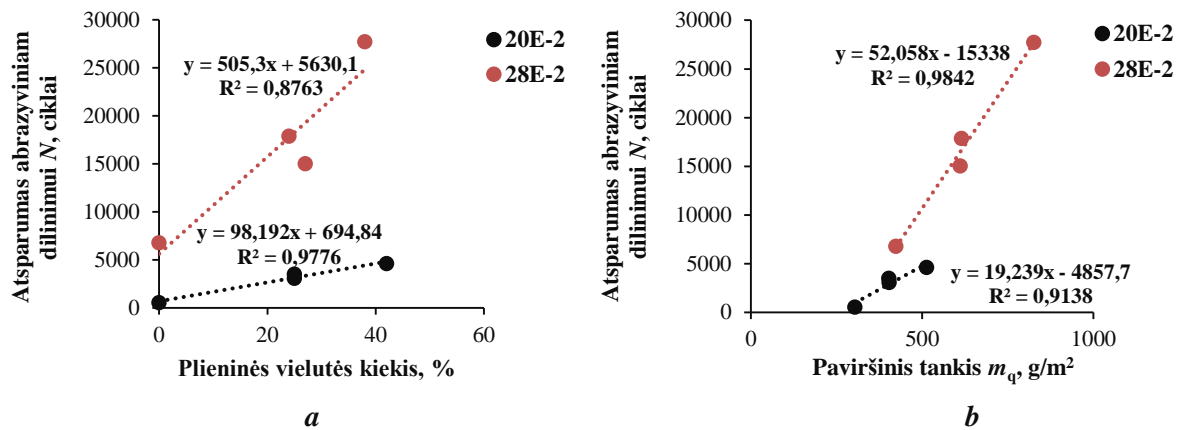
pastebėta, jog abrazyvinė medžiaga po beveik 6000 ciklų visiškai nudilina išorinį ir jungiamąjį 3D megztinės medžiagos sluoksnius. Tai ženkliai sumažina abrazyvinės medžiagos poveikį, todėl pasiekiamas didelis ciklų skaičius, siekiant pratrinti apatinį megztinės medžiagos sluoksnį. 3.16 paveiksle pateikiami megztinių medžiagų bandinių vaizdai po atlikto tyrimo.



3.16 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X grupės medžiagų bandinių vaizdai po abrazyvinimo dilinimo tyrimo

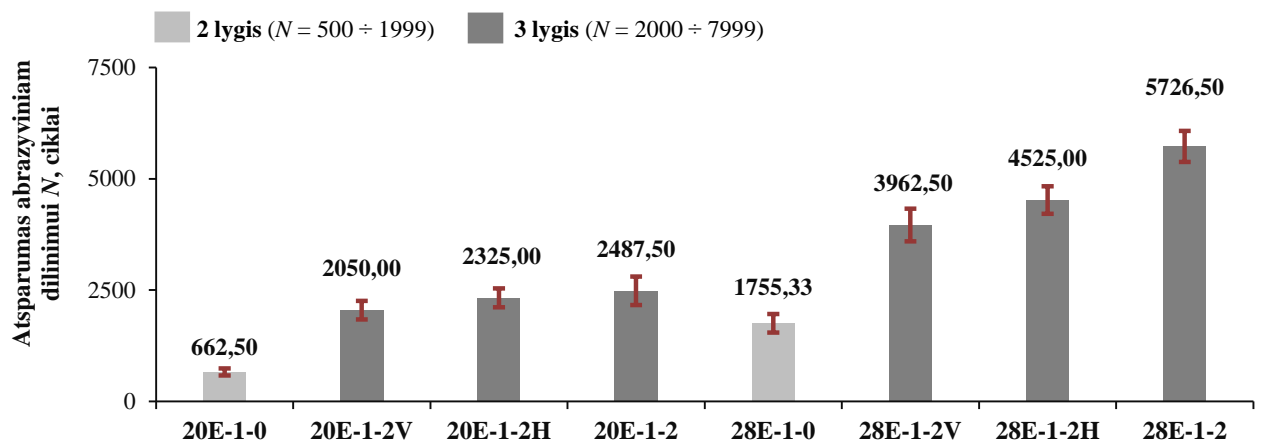
Pagal 3.16 paveiksle pateiktus bandinių vaizdus matoma, jog pažaidų dydžiai nėra dideli, nes dilinant bandinius buvo siekiama užfiksuoti, kuo tikslesnį mechaninės pažaidos susidarymo momentą. Kita vertus, pagal gautus 28E-2-X medžiagų grupės tyrimo rezultatus, kai buvo užfiksuotas $1,9 \div 3,5$ karto didesnis abrazyvinio dilinimo ciklų skaičius tam, kad medžiaga atitiktų aukščiausią – 4-tą, lygmenį, pasiektame ciklų skaičiuje užfiksuotos santykinai nedidelės pažaidos. Galima teigti, jog 28E klase numegztos 3D megztinės medžiagos pasižymi labai geru atsparumu abrazyviam dilinimui ir būtų tinkamos projektuojant gaminius, skirtus apsaugai nuo abrazyvinio dilinimo.

Koreliacine analize nustatyta (žr. 3.17 pav.), jog 20E-2-X ir 28E-2-X megztinių medžiagų atsparumas abrazyviam dilinimui turi stiprią tiesioginę priklausomybę su plieninės vielutės kiekiu ($r = 0,94 \div 0,99$) ir paviršiniu tankiu m_q ($r = 0,96 \div 0,99$): medžiagos, turinčios didesnę plieninės vielutės kiekį ir paviršinį tankį, yra atsparesnės abrazyviam dilinimui. Taip pat geresnį atsparumą abrazyviam dilinimui užtikrina aukštesne mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos, dėl didesnio kilpų tankumo ir storio h – tai įrodo 28E-2-X grupės medžiagų rezultatai, lyginant su 20E-2-X grupės medžiagų atsparumu abrazyviam dilinimui, nors plieninės vielutės kiekis skiriasi nežymiai.



3.17 pav. Koreliacinis atsparumo abrazyviniam dilinimui ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)

Atlikus 3D medžiagų - 20E-1-X ir 28E-1-X, atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimą, nustatyta, jog 6-ios iš 8-nių tirtų medžiagų atitinka aukštą 3-čią atsparumo dilinimui lygmenį. Taip pat galima teigti, jog 3D megztinės medžiagos (žr. 3.18 pav.), kurių apatinis sluoksnis numegztas iš poliesterinių verpalų, yra 1,5 ÷ 4,8 karto mažiau (33,87 ÷ 79,36 %) atsparios abrazyviniam dilinimui nei 20E-2-X ir 28E-2-X grupės 3D megztinės medžiagos (žr. 3.15 pav.). Ypač ženklus atsparumo abrazyviniam dilinimui skirtumas nustatytas tarp aukštesne (28E) mezgimo mašinos klase numegztų 3D medžiagų, t. y. 28E-2-X ir 28E-1-X. Toliau pateikiama 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatų analizė (žr. 3.18 pav.).



3.18 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X megztinių medžiagų atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatai (CV = 3,82 ÷ 8,10 %)

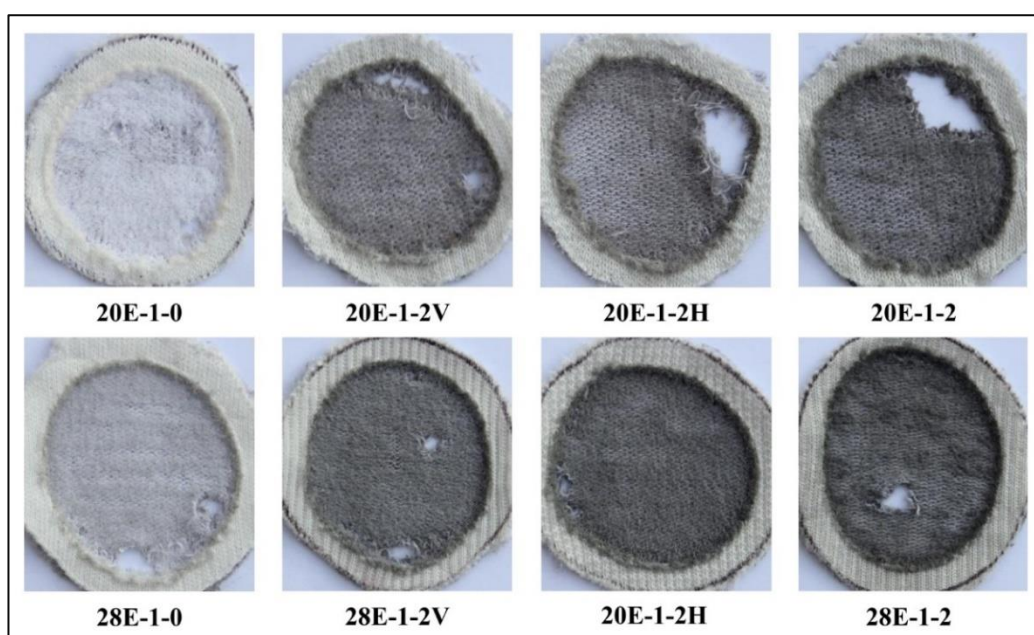
Tarp visų tirtų 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų mažiausiai ciklų, dilinant bandinį su abrazyvine medžiaga, prireikė 20E-1-0 medžiagai (N = 662,5), kuri numegzta 20E mezgimo mašinos klase be plieninės vielutės. Lyginant 20E-1-0 medžiagos atsparumą dilinimui su 20E-2-0, kai apatiniame medžiagos sluoksnyje naudota tokia pati žaliava, kaip ir išoriniame, t. y. HPPE, 20E-1-0 atsparumas dilinimui gautas 17,78 % arba 100 ciklų didesnis negu 20E-2-0. Atsižvelgiant į šių medžiagų struktūros charakteristikas, galima teigti, jog pagrindinis faktorius turėjęs įtakos 20E-1-0

medžiagos geresniam atsparumui abrazyviniam dildymui, tai 11,18 % didesnis paviršinis tankis m_q ir 9,1 % didesnis storis h (žr. 2.1 lentelę).

Pagal atlikto atsparumo dilinimui tyrimo rezultatus galima teigti, jog aukštesne (28E) mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos, pasižymi geresniu atsparumu abrazyviniam dilinimui, kaip ir prieš tai išanalizuotų 20E-2-X ir 28E-2-X 3D megztinių medžiagų atveju (žr. 3.15 pav.). 28E-1-2 medžiagai prirėkė 2,3 kartų (130,2 %) daugiau ciklų negu 20E-1-2, kol bandiniuose susidarė mechaninė pažeida – skylė. Kitoms 3D megztinėms medžiagoms prirėkė $1,9 \div 2,6$ karto arba $94,62 \div 164,96$ % daugiau ciklų tam, kad bandiniai būtų pratrinti, lyginant 28E-1-X ir 20E-1-X grupių medžiagas. Pagal procentinės žaliavos sudėtį (žr. 2.6 pav.), tarp 20E ir 28E mezgimo mašinų klasėmis numegztų 3D medžiagų, naudojant tas pačias žaliavas, plieninės vielutės kiekis skiriasi nežymiai, todėl geresnį 28E-1-X grupės medžiagų atsparumą abrazyviniam dilinimui lėmė šie struktūriniai skirtumai: didesnis kilpų tankumas, paviršinis tankis m_q ir storis h .

Tiriant 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų atsparumą dilinimui nustatyta plieninės vielutės numegzimo krypties įtaka geresniam atsparumui mechaninei pažeidai: medžiagos, kuriose plieninė vielutė numegzta eilučių kryptimi, yra $13,41 \div 14,2$ % atsparesnės dilinimui nei medžiagos, kuriose plieninė vielutė išmegzta stulpelių kryptimis. Tokia pati išvada gauta tiriant 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagas: plieninė vielutė numegzta eilučių kryptimi užtikrina $13,7 \div 18,9$ % geresnį atsparumą dilinimui, nei numezgus ją eilučių kryptimi.

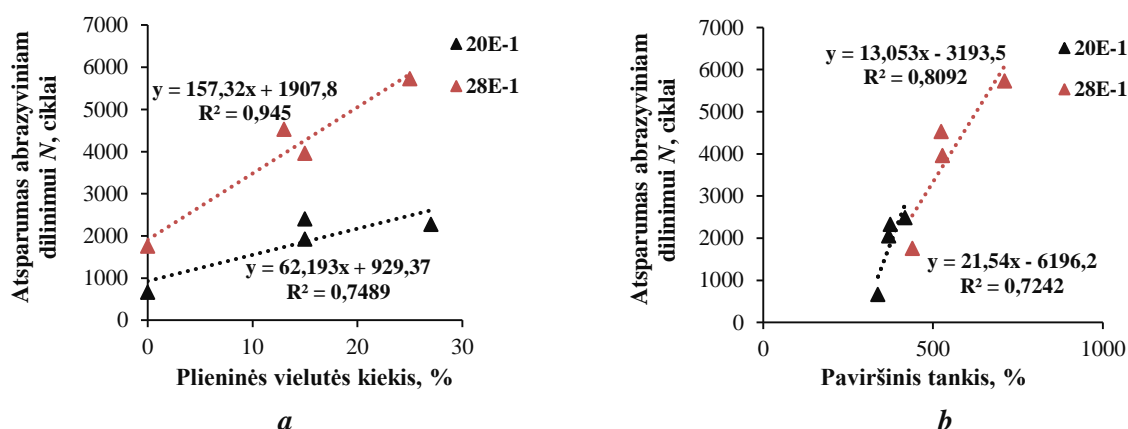
Tyrimo metu vertinant 28E klase numegztų mezginių 28E-1-2V, 28E-1-2H, 28E-1-2 bandinius pastebėta, jog abrazyvinė medžiaga po beveik 2000 ciklų visiškai nudilina išorinį sluoksnį. Sumažėjus abrazyviniam poveikiui, medžiagoms reikalingas didesnis didesnis ciklų skaičius, tam, kad būtų pratrintas apatinis bandinio sluoksnis. 3.19 paveiksle pateikti bandinių vaizdai po atlikto tyrimo.



3.19 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų bandinių vaizdai po abrazyvinimo dilinimo bandymo

Iš 3.19 paveiksle pateiktų 3D megztinių medžiagų bandinių vaizdų matyti, jog šių medžiagų mechaninės pažaidos – skylės yra kur kas didesnės nei 20E-2-X, 28E-2-X medžiagų atveju (žr. 3.16 pav.). Dėl panaudoto mažesnio plieninės vielutės kiekio 20E-1-X, 28E-1-X megztinėse medžiagose, jos yra mažiau atsparios abrazyviniam dilinimui.

Koreliacine analize nustatyta (žr. 3.20 pav.), jog 3D megztinių medžiagų atsparumas dilinimui yra tiesiogiai proporcingas plieninės vielutės kiekiui ($r = 0,87 \div 0,97$) ir paviršiniam tankiui m_q ($r = 0,85 \div 0,90$) – didinant šiuos parametrus medžiagos pasižymi geresniu atsparumu abrazyviniam dilinimui. Taip pat geresnį atsparumą abrazyviniam dilinimui užtikrina didesnis kilpų tankumas ir storis.



3.20 pav. Koreliacinis atsparumo abrazyviniam dilinimui ryšys su paviršiniu tankiu (a) ir plieninės vielutės kiekiu (b)

Apibendrinimas. Pagal atsparumo abrazyviniam dilinimui tyrimo rezultatus nustatyta, jog 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D megztinės medžiagos dėl didesnio kilpų tankumo, paviršinio tankio m_q ir storio h užtikrina 1,9 ÷ 12,1 kartų geresnį atsparumą abrazyviniam dilinimui nei 20E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos. Nustatyta, jog atsparumas abrazyviniam dilinimui turi stiprų tiesioginį ryšį su plieninės vielutės kiekiu mezginio struktūroje ($r = 0,87 \div 0,99$) ir paviršiniu tankiu ($r = 0,85 \div 0,99$).

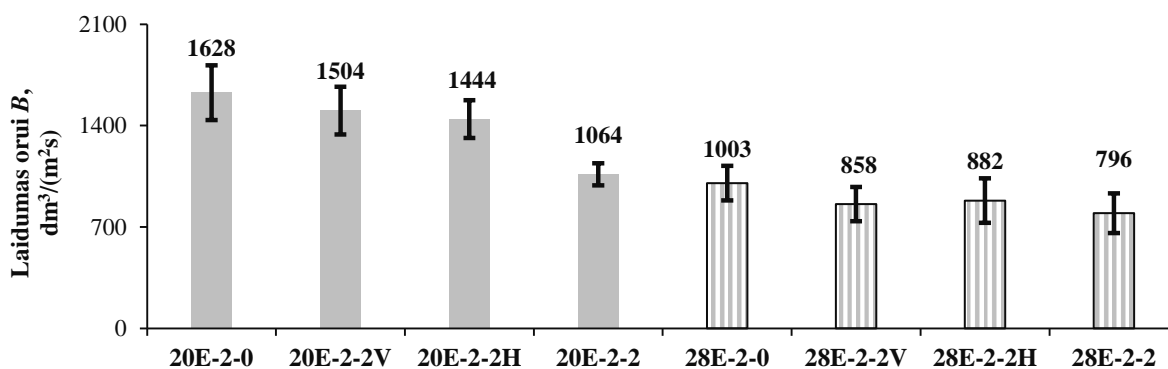
Nustatyta, jog medžiagos, kuriose plieninė vielutė numegzta eilučių kryptimi yra 13,4 ÷ 18,9% atsparesnės abrazyviniam dilinimui už medžiagas, kuriose plieninė vielutė numegzta stulpelių kryptimi.

Nustatyta, jog 3D megztinės medžiagos, kurių išorinis ir apatiniai sluoksniai numegzti naudojant tokią pačią žaliavą – HPPE siūlus ir/ar HPPE+plieninę vielutę, yra 1,5 ÷ 4,8 kartų atsparesnės dilinimui už 3D megztines medžiagas, kurių apatinis sluoksnis numegztas iš poliesterinių verpalų.

Nustatyta, jog aukščiausią – 4-tą, atsparumo abrazyvinio dilinimo lygmenį atitinka trys 3D megztinės medžiagos – visos jos numegztos 28E mezgimo mašinos klase su plienine vielute išoriniame ir apatiniame sluoksniuose. 10 iš 16-kos tirtų 3D megztinių medžiagų atitinka 3-čią atsparumo abrazyviniam dilinimui lygmenį.

3.4 Mezginių laidumo orui tyrimo rezultatai

Techninės paskirties medžiagoms yra svarbios komforto savybės, todėl be atliktų mechaninėms pažeidimams atsparumo tyrimų, ištirtas 3D megztinių medžiagų laidumas orui, siekiant nustatyti, kokį oro srauto kiekį geba praleisti 3D megztinės medžiagos. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų laidumo orui tyrimo rezultatai pateikiami 3.21 paveiksle.



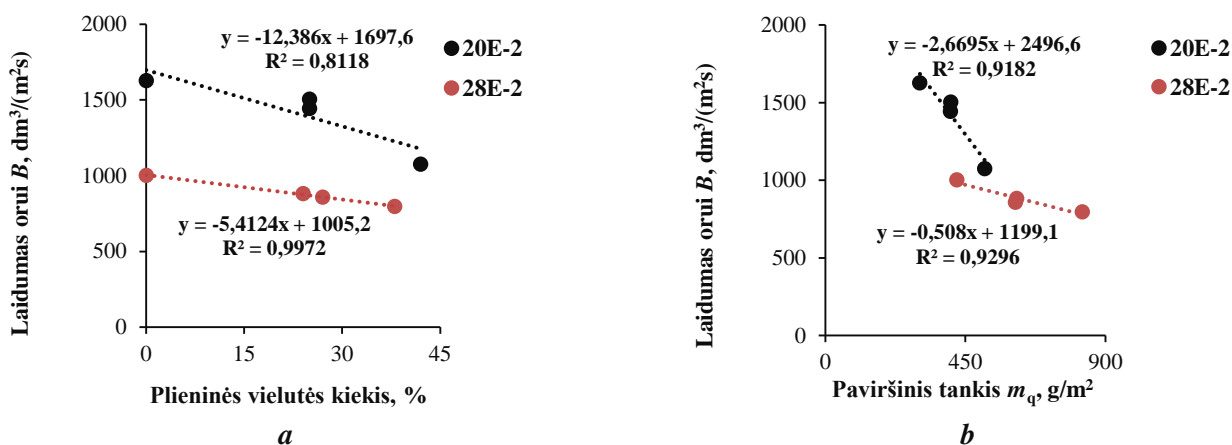
3.21 pav. 20E-2-X ir 28E-2-X medžiagų laidumo orui tyrimo rezultatai ($CV = 3,06 \div 5,56 \%$)

Pagal apskaičiuotus laidumo orui koeficientus B (žr. 3.21 pav.), geresnėmis laidumo orui savybėmis pasižymi 20E mezgimo mašinos klase numegztos 3D medžiagos, kurių B vertės gautos didesnės negu numegztų aukštesne 28E mezgimo mašinos klase: 20E-2-2 medžiagos laidumo orui koeficientas B yra 1,34 karto (33,67 %) didesnis nei 28E-2-2. Kitų 20E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų rodiklis B yra $1,62 \div 1,75$ karto ($62,3 \div 75,3 \%$) didesni nei 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų, kurioms naudotos tos pačios žaliavos.

Nustatyta, jog 20E ir 28E mezgimo mašinų klasėmis numegztos 3D medžiagos – 20E-2-2 ir 28E-2-0, praleidžia panašų oro srauto kiekį, nors jos skiriasi ne tik kilpų tankumu, storiu h , paviršiniu tankiu m_q , bet ir struktūroje esančiomis žaliavomis (žr. 2.1 lentelę, 2.5 pav.). Galima teigti, jog 20E mezgimo mašinos klase numegzta medžiaga su plienine vielute eilučių ir stulpelių kryptimis praleidžia panašų oro srauto kiekį, kaip ir 28E mezgimo mašinos klase numegzta medžiaga, kurios struktūroje nėra plieninės vielutės.

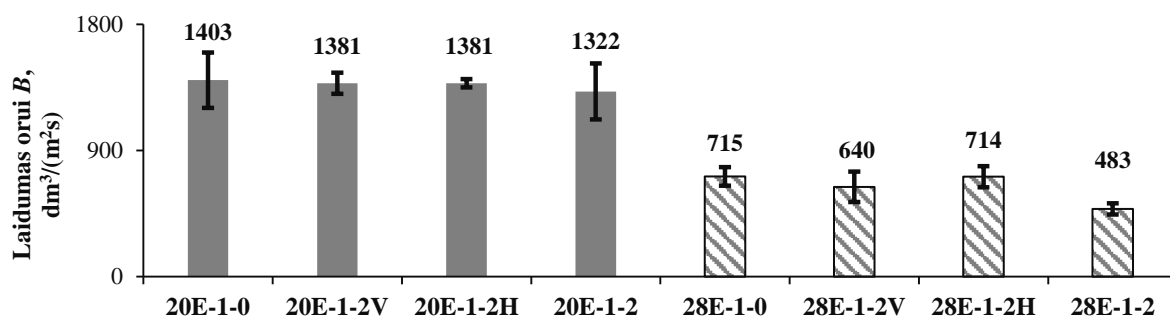
Nagrinęjant plieninės vielutės kiekio ryšį su medžiagų laidumu orui, nustatyta, jog tarp 20E mezgimo mašinos klase numegztų 3D megztinių medžiagų yra reikšminga plieninės vielutės kiekio įtaka medžiagos gebėjimui praleisti oro srauto kiekį: plieninę vielutę numegzus eilučių ir stulpelių kryptimis (20E-2-2), 3D megztinės medžiagos laidumo orui savybė sumažėja 1,53 karto (53,01 %), lyginant su 3D megztine medžiaga, kuri numegzta be plieninės vielutės (20E-1-0). Tarp 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų su skirtingu plieninės vielutės kiekiu, rezultatai kinta neženkliai, tačiau tendencija pastebėta ta pati: be plieninės vielutės medžiagos geba praleisti didesnį oro srauto kiekį.

Koreliacine analize (žr. 3.22 pav.) nustatyta, jog 3D megztinių medžiagų laidumo orui koeficientas B yra atvirkščiai plieninės vielutės kiekiui ($r = -(0,90 \div 0,99)$) ir paviršiniam tankiui m_q ($r = -0,96$): didėjant šiems rodikliams, mažėja medžiagos gebėjimas praleisti oro srauto kiekį.



3.22 pav. Koreliacinis ryšys tarp laidumo orui koeficiento B ir plieninės vielutės kiekio (a) bei paviršinio tankio (b)

Atlikus 3D megztinių medžiagų 20E-1-X ir 28E-1-X (žr. 3.23 pav.) laidumo orui tyrimą nustatyta, jog 28E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų su poliesteriniais verpalais apatiniame sluoksnyje, laidumo orui koeficientas yra $1,1 \div 1,65$ karto ($8,18 \div 39,32$ %) mažesnis, negu 3D medžiagų, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai yra vienodi (28E-2-X). Lyginant 20E mezgimo mašinos klase numegztų medžiagų laidumo orui B koeficientus, nustatyta, jog medžiagos numegztos su poliesteriniais verpalais apatiniame sluoksnyje geba praleisti $1,1 \div 1,2$ karto ($8,18 \div 13,82$ %) mažesnę oro srauto kiekį, nei medžiagos, kurių išorinis ir apatinis sluoksniai numegzti iš HPPE ir/ar HPPE + plieninė vielutė. Tačiau 20E-1-2 medžiaga, kuri numegzta su plienine vielute eilučių ir stulpelių kryptimis išoriniame sluoksnyje, geba praleisti $1,24$ karto ($24,25$ %) didesnę oro srautą negu 20E-2-2 medžiaga, kurioje panaudotas didesnis plieninės vielutės kiekis. Toliau pateikiama 20E-1-X ir 28E-1-X grupės medžiagų laidumo orui analizė.



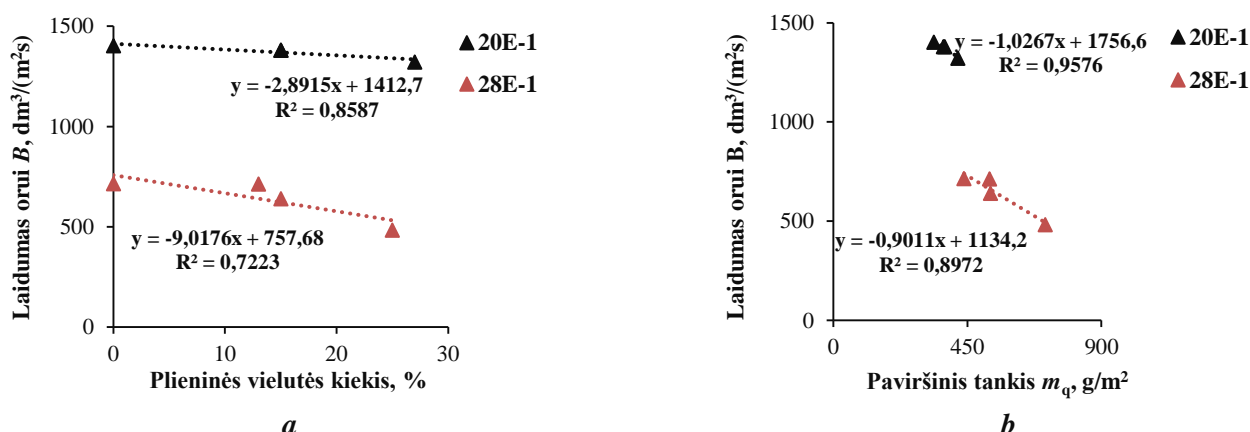
3.23 pav. 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagų laidumo orui tyrimo rezultatai ($CV = 0,85 \div 6,58$ %)

Ištirus 3D megztinių medžiagų, kurių apatinis sluoksnis numegzta naudojant poliesterinius verpalus, laidumą orui, galima teigti, jog žemesne mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos pasižymi ženkliai geresniu laidumo orui savybėmis: 20E mezgimo mašinos klase numegztos 20E-1-X medžiagos geba praleisti $1,93 \div 2,74$ karto ($93,4 \div 173,7$ %) didesnę oro srauto kiekį negu

28E mezgimo mašinos klase numegztos 28E-1-X medžiagos. Tarp 20E-2-X ir 28E-2-X tirtų medžiagų nustatyta, jog 20E klase numegztos medžiagos geba praleisti 1,34 ÷ 1,75 karto (33 ÷ 75 %) didesnę oro srauto kiekį per tirtas tekstilės medžiagas, todėl galima teigti, jog esant mažesniai plieninės vielutės kiekiui, t. y. plieninę vielutę numezgus tik išoriniame sluoksnyje, gautas reikšmingesnis skirtumas tarp skirtingomis mezgimo mašinų klasėmis numegztų 3D megztinių medžiagų laidumo orui savybių.

Tyrimo metu nenustatyta reikšmingesnė plieninės vielutės numezgimo krypties (eilučių ar stulpelių) įtaka medžiagų laidumo orui.

Koreliacine analize (žr. 3.24 pav.) nustatyta, jog 3D megztinių medžiagų praleisto oro srauto kiekis yra atvirkščiai yra atvirkščiai proporcingas plieninės vielutės kiekiui mezinio struktūroje ($r = -(0,85 \div 0,93)$) ir paviršiniam tankiui m_q ($r = -(0,95 \div 0,98)$). Taip pat pagal tyrimo rezultatus galima teigti, jog medžiagų laidumui oro turi įtakos kitos charakteristikos – kilpų tankumas, storis, todėl žemesne mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos (20E-1-X) geba praleisti didesnę oro srauto kiekį nei aukštesne 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D medžiagos (28E-1-X).



3.24 pav. Koreliacinis laidumo orui koeficiento B ryšys su plieninės vielutės kiekiu (a) ir paviršiniu tankiu (b)

Apibendrinimas. Atlikus laidumo orui tyrimą nustatyta, jog 20E mezgimo mašinos klase numegztos 3D megztinės medžiagos (20E-1-X, 20E-2-X) geba praleisti 1,3 ÷ 2,7 karto (33 ÷ 173,7 %) didesnę oro srauto kiekį nei 28E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos dėl struktūrinių skirtumų, tokių kaip mažesnio kilpų tankumo, storio, mažesnio paviršinio tankio.

Nustatyta, jog 3D megztinių medžiagų laidumo orui koeficientas B yra atvirkščiai proporcingas plieninės vielutės kiekiui ($r = -(0,85 \div 0,99)$) ir paviršiniam tankiui m_q ($r = -(0,95 \div 0,98)$) – didėjant šiems parametrams, mažėja medžiagos gebėjimas praleisti didesnę oro srauto kiekį.

Tyrimo metu nenustatyta reikšmingesnė plieninės vielutės kiekio ir numezgimo krypties (eilučių, stulpelių) įtaka medžiagos gebėjimui praleisti didesnę oro srauto kiekį.

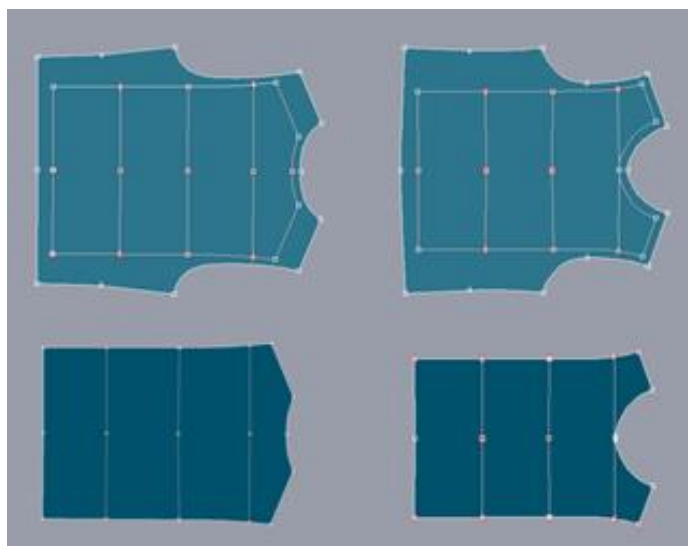
Nustatyta, jog beveik visais atvejais (7-iais iš 8-nių), mechaninėms pažeidoms mažiau atsparios 20E-1-X ir 28E-1-X medžiagos geba praleisti 8,18 ÷ 13,82 % (20E-2-X) ir 23,53 ÷ 39,32 % (28E-2-X) mažesnę oro srauto kiekį, lyginant su 3D megztinėmis medžiagomis, kurios numegztos

nenaudojant poliesterinius verpalus. Todėl galima teigti, jog mechaninėms pažeidoms atsparesnės medžiagos pasižymi geresniu laidumo orui, nes poliesterio verpalas tankiau užpildo medžiagą (20E-1-X, 28E-1-X), nei daugiagijis HPPE siūlas, susuktas su plienine vielute (20E-2-X, 28E-2-X).

3.5 Virtualaus apsauginio gaminio projektavimas

Pagal 3D mėgztinėms medžiagoms atliktų eksperimentinių tyrimų – laidumo orui ir atsparumo mechaninėms pažeidoms, rezultatus, tirtas medžiagas rekomenduojama naudoti apsauginės liemenės nuo mechaninio poveikio projektavimui.

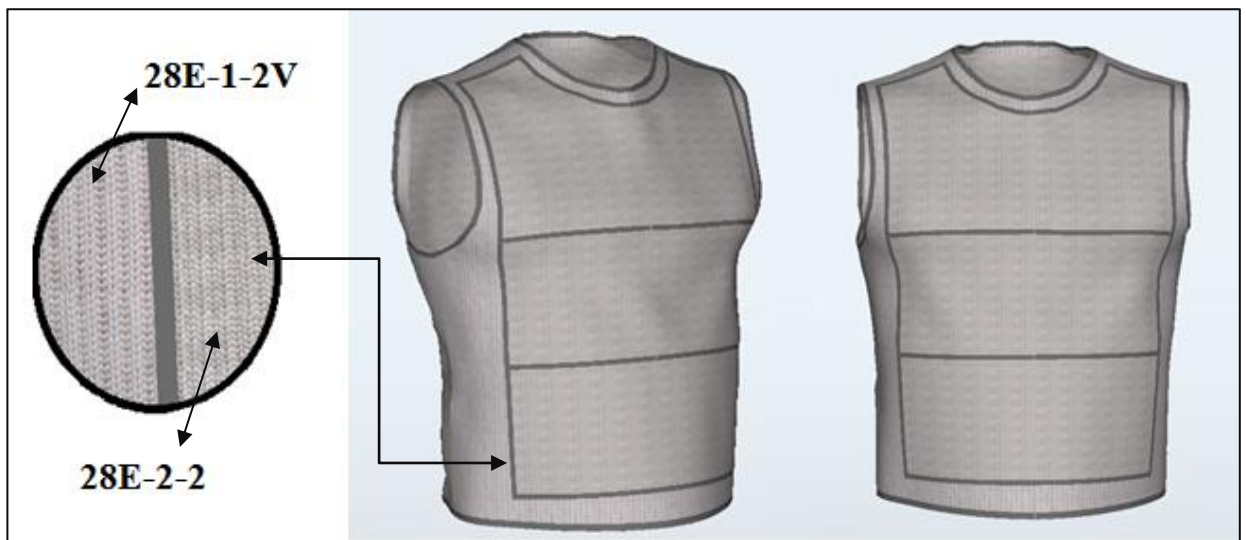
Apsauginė 182-96-84 dydžio vyriška liemenė sukonstruota pagal W. Aldrich „Metric pattern cutting for menswear“ metodiką. Gaminio lekalai skaitmenizuoti aprangos projektavimo sistema (APS) Lectra programa Modaris (žr. 3.25 pav.).



3.25 pav. Skaitmenizuoti apsauginės liemenės detalės Modaris aplinkoje

Tamsesnės spalvos (žr. 3.25 pav.) detalės projektuojamos iš mechaniniam poveikiui labiau atsparių 3D mėgztinių medžiagų, šviesesnės spalvos – mažiau atsparių, todėl apsauginis gaminys yra sudarytas iš dviejų skirtingų medžiagų: arčiau kūno yra mažiau mechaninėms pažeidoms atsparios 3D mėgztinės medžiagos, o gaminio viršuje – mechaniniam poveikiui atsparesnės medžiagos.

Apsauginės liemenės trimatis (3D) vaizdas suprojektuotas APS Lectra Modaris 3D aplinkoje (žr. 3.26 pav.)



3.26 pav. Virtualus apsauginės liemenės nuo mechaninio poveikio vaizdas Modaris 3D aplinkoje ir rekomenduojamos medžiagos

3.26 paveiksle pateikiamas gaminio vaizdas bei apsauginės liemenės padidinta sritis, kurioje matyti rekomenduojamų medžiagų išorinio sluoksnio vaizdai. Atsižvelgiant į siekiamą apsaugos lygį nuo mechaninio poveikio, gaminyje siūloma derinti skirtingas 3D megztines medžiagas. Didesnio apsaugos lygio reikalaujančioms sritims, tokioms kaip krūtinė, rekomenduojama naudoti mechaninėms pažeidoms atsparesnes 3D medžiagas, pvz. 28E-2-2 ar 20E-2-2, o sritis, kur asmuo turi mažesnę tikimybę susižeisti, naudoti mažiau mechaninėms pažeidoms atsparias 3D megztines medžiagas, pvz. 28E-1-2V ar 20E-1-2V, tačiau jos yra lankstesnės ir pasižymi geru grifu.

Apsauginė liemenė dešinėje gaminio pusėje yra užsegama kibiosiomis *velcro* juostomis: pečių linijoje ir šone. Gaminio išoriniai kraštai yra apdorojami kantavimo juostelėmis.

Galutinis apsauginio gaminio masė priklauso nuo parinktų medžiagų. Jei apsauginė liemenė projektuojama iš 28E-2-2 ir 28E-1-2V (žr. 3.26 pav.) medžiagų, apskaičiuota, jog gaminys svertų ~623,6 g.

IŠVADOS

1. Atsparumo įpjovimui diskinio peilio ašmenimis rodiklis I ir abrazyvinio dilinimo ciklų skaičius turi stiprią tiesioginę priklausomybę su plieninės vielutės kiekiu mezgimo struktūroje ($r = 0,90 \div 0,99$ įpjovimo atveju, $r = 0,87 \div 0,99$ abrazyvinio dilinimo atveju) ir paviršiniu tankiu m_q ($r = 0,81 \div 0,98$ įpjovimo atveju, $r = 0,85 \div 0,99$ abrazyvinio dilinimo atveju), todėl didėjant plieninės vielutės kiekiui atsparumas įpjovimui ir abrazyviniam dilinimui gerėja.
2. 28E mezgimo mašinos klase numegztos 3D medžiagos dėl didesnio kilpų tankumo, paviršinio tankio ir storio užtikrina $1,3 \div 2,35$ kartų geresnį atsparumą įpjovimui ir $1,9 \div 12,1$ kartų geresnį atsparumą abrazyviniam dilinimui nei 3D megztinės medžiagos, numegztos 20E mezgimo mašinos klase naudojant tas pačias žaliavas.
3. Trys 3D megztinės medžiagos atitinka aukščiausią atsparumo prapjovimui (5-tąjį) ir abrazyviniam dilinimui (4-tąjį) darbinių charakteristikų lygmenis pagal EN 388:2003. Visos jos numegztos 28E mezgimo mašinos klase ir pasižymi didžiausiu tankumu ir paviršiniu tankiu, o medžiagų struktūroje naudota HPPE + plieninė vielutė.
4. HPPE + plieninė vielutė numegzta tik eilučių ar tik stulpelių kryptimi neturi reikšmingos įtakos 3D megztinės medžiagos įpjovimo ir pradūrimo atsparumui bei komforto savybei: laidumui oro. Reikšmingesnė įtaka nustatyta abrazyvinio dilinimo atsparumui, kai medžiagos, kuriose HPPE + plieninė vielutė numegzta eilučių kryptimi užtikrina $13,4 \div 18,9$ % geresnį atsparumą abrazyviniam dilinimui nei medžiagos, kuriose HPPE+plieninė vielutė numegzta tik stulpelių kryptimi.
5. 15-ka iš 16-kos tirtų 3D megztinių medžiagų atitinka aukščiausią – 4-tąjį, atsparumo pradūrimui lygmenį pagal EN 388:2003. Nustatyta, jog specifinė pradūrimo jėga yra atvirkščiai proporcinga plieninės vielutės kiekiui ($r = -(0,95 \div 1,0)$) ir specifiniam tankiui ($r = -(0,95 \div 0,98)$).
6. 20E mezgimo mašinos klase numegztos 3D megztinės medžiagos dėl mažesnio kilpų tankumo, storio, paviršinio tankio geba praleisti $1,3 \div 2,7$ karto didesnį oro srauto kiekį per medžiagą, negu 28E mezgimo mašinos klase numegztos medžiagos. Nustatyta, jog medžiagų laidumas orui yra atvirkščiai proporcingas plieninės vielutės kiekiui ($r = -(0,85 \div 0,93)$) ir paviršiniui tankiui ($r = -(0,95 \div 0,98)$) – didėjant šiems parametrams, mažėja medžiagos gebėjimas praleisti didesnį oro srauto kiekį.
7. Norint užtikrinti aukštą atsparumą diskinio peilio įpjovimui ašmenimis, abrazyviniam dilinimui ir pradūrimui projektuojant apsauginius drabužius (liemenes, prijuostas, pirštines), rekomenduojama 3D megztinių medžiagų išoriniame ir apatiniame sluoksniuose naudoti HPPE, susuktą su plienine vielute.

8. Siekiant užtikrinti aukštą apsaugos lygį nuo mechaninių pažeidimų ir pagerinti 3D megztinių medžiagų komforto savybes tokias kaip lankstumą, gerą grifą, rekomenduojama išoriniame 3D megztinės medžiagos sluoksnyje naudoti pluoštus, kurie užtikrina aukštą apsaugą nuo mechaninių pažeidimų: prapjovimo, dilinimo, pradūrimo. Apatiniame 3D megztinės medžiagos sluoksnyje rekomenduojama naudoti žaliavą, kuri būtų tinkama artimam kontaktui su žmogaus oda, pvz. hidrofobinius pluoštus (PES Cool-ever ir kt.).
9. Apsauginiame gaminyje rekomenduojama derinti skirtingas 3D megztinių medžiagų grupes. Didesnės apsaugos srityse, tokiose kaip krūtinė, siūloma naudoti didesnio atsparumo mechaninėms pažeidoms medžiagas: 28E-2-2, 20E-2-2. Gaminio srityse, kur asmuo turi mažesnę tikimybę susižeisti, siūloma naudoti 28E-1-2V, 20E-1-2V medžiagas, kurios yra mažiau atsparios mechaniniam poveikiui, tačiau nėra tokios standžios ir yra patogesnės dėvėjimui, lyginant su 28E-2-X grupės medžiagomis.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. NERMINS, M.A., SAAD, M.M., ALI MARWA, A. Multifunctional Laminated Composite Materials for protective Clothing. *International Journal of Engineering and Technology*. 2014, 6(5), 1982-1993. ISSN 0975-4024.
2. SHISHOO, R. Recent developments in materials for use in protective clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2002, 14(3/4), 201-215. Prieiga per: <https://doi.org/10.1108/09556220210437167>
3. JABBAR, M., SHAKER, K., UMAIR, M., NAWAB, Y. Optimizing the performance of woven protective gloves using grey relational analysis, *The Journal of The Textile Institute*. 2017, 108(10), 1715-1719. Prieiga per: DOI: 10.1080/00405000.2017.1281709
4. MIELICKA, E., et al. Three-layer knitted materials for protective clothing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016, 141
5. GOVARTHANAM, K.K., ANAND, S.C., RAJENDRAN, S. Development of Advanced Personal Protective Equipment Fabrics for Protection Against Slashes and Pathogenic Bacteria Part 1: Development and Evaluation of Slash-resistant Garments. *Journal of Industrial Textiles*. 2010, 40 (2), 139–155.
6. WANG, L et al. Cut resistant property of weft knitting structure: a review. *The Journal of The Textile Institute*. 2017 [žiūrėta 2018-02-02]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1398858>
7. THILAGAVATHI, G., RAJENDRAKUMAR, K., and KANNAIAN, T. Development of Textile Laminates for Improved Cut Resistance. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2010, 5(2).
8. ČIUKAS, Ričardas ir Daiva MIKUČIONIENĖ. *Specialios paskirties mezginių technologija: mokomoji knyga*. Šiauliai: VšĮ Šiaulių universiteto leidykla, 2007. ISBN 978-9986-38-816-6.
9. ERTEKIN, M., and KIRTAY, H.E. Cut resistance of hybrid para-aramid fabrics for protective gloves. *The Journal of The Textile Institute*. 2016, 107(10), 1276-1283.
10. HORROCKS A. Richard and Subhash C. ANAND. Handbook of technical textiles: volume 2: Technical Textile Applications. Iš (In): *Technical textiles for knife and slash resistance*. 2-oji laida. Woodhead Publishing, 2016. ISBN: 978-1782-424-65-9.
11. MILAŠIUS, Rimvydas, STANYS, Sigitas, ir ADOMAVIČIENĖ Milda. *Techninės tekstilės medžiagos ir jų savybės: mokomoji knyga*. Kaunas: Vitae Litera, 2007. ISBN 978-9955-686-25-5.
12. BHARDWAY, A., KAUSHIK, J., and JAJPURA, L. Study of Cut-Resistant material, their mechanism, characteristics and evolution performance. *International Journal of Enchanced Research in Science, Technoly & Engineering*. 2016, 5(11), 16-22. ISSN 2319-7463
13. Cut resistance 101_superiorglove [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2018-04-08] Prieiga per: <https://www.slideshare.net/superiorgloveworks/cust-resistance-101>
14. YANG, H.H. *Kevlar Aramid Fibres*. New York: Wiley & Sons, 1993.
15. MIRAFTAB, M. Technical Fibres. Iš (In): HORROCKS, A.R. and ANAND, S.C. *Handbook of Technical Textile*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2000, 29-30.
16. Ghezzi HI-TECH [interaktyvus]. 2006 [žiūrėta 2017-12-15]. Prieiga per: http://www.ghezzi.com/ig/ghezzi_tech/antitaglio_ig.htm

17. SHIN, H. S., ERLICH, D. C., and SHOCKEY, D. A. Test for measuring cut resistance of yarns. *Journal of Materials Science*. 2003, 38, 3603–3610. Prieiga per: doi:10.1023/A:1025673213604
18. REBOUILLAT, S., STEFFENINO, B., and MIRET-CASAS, A. Aramid, steel, and glass: characterization via cut performance testing, of composite knitted fabrics and their constituent yarns, with a review of the art. *Journal of Materials Science*. 2010, 45(19), 5378-5392.
19. BRUER, S.M., POWELL, N., AND SMITH, G. Three-Dimensionally Knit Spacer Fabrics: A Review of Production Techniques and Applications. *Journal of Textile and Apparel, Technology, Management*. 2005, 4(1).
20. CHRISTOPHER M. PASTORE. Opportunities and challenges for textile reinforced composites. *Mechanics of Composite Materials*. 2012, 36(2):97-116.
21. FANGUEIRO, R., et al. Development of High-performance Single Layer Weft Knitted Structures for Cut and Puncture Protection. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2015, 5(225). Prieiga per: doi:10.4172/2165-8064.1000225
22. YAO, X., GUANXIONG, O., YAMING, J. Research on the stab resistant mechanism of the weft knitted fabrics. *J Text Res*. 2011, 32: 48.51.
23. VU THI, B.N., et al. Mechanics and mechanism of cut resistance of protective materials. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. 2009, 52, 7–13.
24. MEMON, Anam Ali et al. Facile fabrication and comparative exploration of high cut resistant woven and knitted composite fabrics using Kevlar and polyethylene. *Fashion and Textiles*. 2018, 5(5) [žiūrėta 2018-04-08]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0122-0>
25. YIP, J., NG, S.P. Study of three-dimensional spacer fabrics: Physical and mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology*. 2008, 206, 359-364.
26. INFUSION FLOW REINFORCEMENTS. [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2018-05-23]. Prieiga per: <http://polynovacomposites.blogspot.com>
27. ANANAD, S.C. Knitted Three-dimensional structure for technical textiles applications. *12th World Textile Conference Autex*. 2012, June 13th-15th. Zadar (Croatia).
28. HASSANZADEH, S., HASANI, H., ZARREBINI, M. Mechanical characterization of innovative 3D multi-cell thermosetcomposites produced with weft-knitted spacer fabrics. *Composite Structures*. 2018, 184, 935-949. ISSN 0263-8223. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.10.048>
29. CHEN, X. Advances in 3D Textiles. *Woodhead Publishing*, 2015 Front Matter. ISBN 9781782422143.
30. ALPYILDIZ, T., et al. Stab and cut resistance of knitted structures: a comparative study. *Textile Research Journal*. 2011, 81(2), 205–214.
31. VU THI, B.N., et al. Effect of friction on cut resistance of polymers. *Journal of Thermoplastic Composite materials*. 2005, 18, 23–35.
32. IRZMAŃSKA, E., STEFKO, A. Comparative Evaluation of Test Methods for Cut Resistance of Protective Gloves According to Polish Standards. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2012; 20, 5(94), 99-103.
33. DOLEZ, P.I., and VU-KHANH, T. Recent Developments and Needs in Materials Used for Personal Protective Equipment and Their Testing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2009, 15(4), 347-362. Prieiga per: DOI: 10.1080/10803548.2009.11076815
34. ISO 13997 (1999) Apsauginė apranga. Mechaninės savybės. Atsparumo įpjovimui aštriais daiktais nustatymas

35. JS gloves. [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-25].
Prieiga per: http://js-gloves.pl/en_standards-1299.html
36. JOHNSON, A., BINGHAM, G.A., AND WIMPENNY, D.I. Additive manufactured textiles for high-performance stab resistant applications. *Rapid Prototyp J* 2013; 19: 199–207.
37. RAJKISHORE, N. Et al. Body armor for stab and spike protection: Part 1: Scientific literature review. *Textile Research Journal*. 2018, 88(7), 812-832.
38. MUSTAFA, E., ERTEKIN, G., and MARMARALI, A. Analysis of thermal comfort properties of fabrics for protective applications. *The Journal of The Textile Institute*. 2017. Prieiga per: DOI: 10.1080/00405000.2017.1402425
39. LST EN ISO 139:2005/A1:2011:E (2005) Tekstilė. Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka.
40. SCOTT, Richard A. Textiles for protection Handbook of technical textiles. Woodhead Publishing, 2005. ISBN-13: 978-1-85573-921-5.
41. LST EN 14971:2006 (2006) Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpų skaičiaus vienetiniame ilgyje ir plotyje nustatymas
42. LST EN ISO 5084:1996 (1996) Tekstilės medžiagų ir gaminių storio nustatymas
43. LST EN 12127:1999 (1999) Tekstilė. Tekstilės medžiagos. Paviršinio tankio nustatymas naudojant mažus bandinius.
44. ARUMUGAM, V., MISHRA, R., TUNAK, M., MILITKY, J. In-plane shear behavior of 3D warp-knitted spacer fabrics. Part II—Effect of structural parameters. *Journal of Industrial textiles*. 2017, 0(00), 1-30. Prieiga per: doi: 10.1177/1528083717747332
45. LST EN 388:2003 (2003) Apsauginės pirštinės nuo mechaninių pažeidimų.
46. LST EN ISO 9237:1997 (1997) Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas
47. DAUKANTIENĖ, Virginija, DOMSKIENĖ Jurgita, ir VAITKEVIČIŪTĖ Viktorija. Siuvinių medžiagotyra: laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2007. ISBN 9955099720.

PRIEDAI

MOKSLINIAI PRANEŠIMAI IR PUBLIKACIJOS MAGISTRO PROJEKTO TEMA

1. J.Krauledaitė, K. Ancutienė, V. Urbelis, S. Krauledas, V.Sacevičienė. The investigation of Knitted Fabrics Properties Againsts Mechanical Risks. 22nd International Scientific Conference “MECHANIKA-2017”. Birštonas, May 19th, 2017. Stendinis pranešimas.
2. J.Krauledaitė, K. Ancutienė, V. Urbelis, S. Krauledas, V.Sacevičienė. „Development and Evaluation of 3D Knitted Fabrics to Protect Against Mechanical Risk”. *Journal of Industrial Textiles*. Pateikiamas patvirtinimo laiškas (žr. 1P pav.) ir straipsnio rengimas *online* publikacijai (žr. 2P pav.).

Journal of Industrial Textiles

Decision Letter (JIT-18-0016.R2)

From: dzhang@charter.net

To: julija.krauledaite@gmail.com, julija.krauledaite@ktu.edu

CC: julija.krauledaite@gmail.com, julija.krauledaite@ktu.edu, kristina.ancutiene@ktu.lt, vu@granberg.no, krauledas@gmail.com, virginija.saceviciene@ktu.lt

Subject: Journal of Industrial Textiles - Decision on Manuscript ID JIT-18-0016.R2

Body: 20-May-2018

Dear Miss Krauledaitė:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Development and Evaluation of 3D Knitted Fabrics to Protect Against Mechanical Risk" in its current form for publication in the Journal of Industrial Textiles.

Thank you for your fine contribution. Please login to your account to finish the author agreement form on-line. For the new online author agreement, what you need to do it:

1. read the agreement
2. at the end of the agreement, check the "I accept" box if you agree all the terms and conditions.

So your paper can be further processed for publication. Please let me know if you have any questions for it.

If you would like your article to be freely available online immediately upon publication (as some funding bodies now require), you can opt for it to be published under the SAGE Choice Scheme on payment of a publication fee. Please simply follow the link to the Contributor Agreement form in the next email and you will be able to access instructions and further information about this option within the online form.

On behalf of the Journal of Industrial Textiles, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
Dr. Dong Zhang
Editor in Chief, Journal of Industrial Textiles
jiteditor@charter.net

Date Sent: 20-May-2018

1P pav. Straipsnio publikacijos „*Journal of Industrial Textiles*” žurnale patvirtinimo laiškas

JIT: Information regarding your article

Gautieji x



UK SAGE Author Services <author.services@sagepub.co.uk>

08:56 (prieš 2 valandas) ☆



skirta man ▾

Welcome to SAGE journal production.

We have just received the final version of Development and Evaluation of 3D Knitted Fabrics to Protect Against Mechanical Risk from the journal's editor. We are now beginning copyediting and will contact you if we encounter any questions. We will send the proof for your review as soon as it is ready. If such correspondence should instead be sent to a different author, or if you expect to be away in the next month, please let us know.

Please let us know if you have any questions. We look forward to publishing your article.

Kind regards,
Sneha Rawat_UK

2P pav. Straipsnio rengimas *online* publikacijai