

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Bronislavas Stonkus**

**MEZGINIŲ IŠ KANAPIŲ PLUOŠTO SANDAROS IR  
FIZIKINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Vaida Jonaitienė

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**MEZGINIŲ IŠ KANAPIŲ PLUOŠTO SANDAROS IR  
FIZIKINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Tekstilės inžinerija (kodas 621J40002)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Vaida Jonaitienė  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Daiva Mikučionienė  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Bronislavas Stonkus  
(data)

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Bronislavas Stonkus

(Studento vardas, pavardė)

Tekstilės inžinerija (kodas 621J40002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Mezginių iš kanapių pluošto sandaros ir fizikinių savybių tyrimas“

### AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. birželio 7 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Bronislavo Stonkaus**, baigiamasis projektas tema „**Mezginių iš kanapių pluošto sandaros ir fizikinių savybių tyrimas.**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

**Stonkus Bronislavas. Mezginių iš kanapių pluošto sandaros ir fizikinių savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Vaida Jonaitienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas fakultetas.**

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Polimerų ir tekstilės technologija.

Reikšminiai žodžiai: *Kanapės pluoštas, sandara, laidumas orui, pumpuravimasis.*

Kaunas, 2016. 44 p.

## **SANTRAUKA**

Celiulioziniai pluoštai labai plačiai pramonėje naudojami. Plačiausiai vartojami medvilnės ir linų pluoštai, tačiau yra ir alternatyvių, pramonei mažiau žinomų celiuliozinių pluoštų, kurie savo savybėmis nenusileidžia, o kai kuriais aspektais ir lenkia populiariausiuosius. Tai dilgėlių, džiuoto, sizalio, taip pat ir kanapės pluoštas.

Šiame magistro baigiamajame darbe buvo tiriami, skirtingo ilginio tankio ir procentinės pluoštinės sudėties verpalai iš kanapių ir medvilnės pluoštų mišinių A verpalas sudarytas iš 55% kanapės ir 45% medvilnės pluoštų, B atitinkamai iš 40% ir 60%. Verpalai gauti iš Ukrainos mokslų akademijos, luobinių augalų instituto. Iširtos verpalų stipruminės savybės, kokybė, nustatyta pusciklio diagramos tempimo kreivė, kuri buvo palyginta su kitų celiuliozinių pluoštų tipinėmis tempimo kreivėmis.

Ištirus verpalų stiprumines savybes, buvo patikrintas turimų verpalų tinkamumas mezgimo procesui. Tam tikslui buvo suprojektuoti ir numezgti viengubieji ir dvigubieji mežginiai iš A ir B verpalų. Mezгимui buvo naudojamos 10E ir 12E klasės, fanginės STOLL mezgimo mašinos.

Mežginiai buvo bandomi laboratorijoje, siekiant išanalizuoti jų sandaros ir fizikines savybes. Tam buvo atliekami mežginių laidumo orui, pūkavimosi ir pumpuravimosi bandymai. Išmatuoti ir apskaičiuoti mežginių sandaros rodikliai.

Nustatyta, kad mišriapluoščiai verpalai iš kanapės ir medvilnės pluoštų yra tinkami mezgimui, jų standumas yra ženkliai mažesnis už lininių verpalų ir labai artimas grynpluoštei medvilnei. Taip pat nustatyta, jog nuo mežginių sandaros priklauso gaminių išvaizda ir ilgaamžiškumas

**Stonkus Bronislavas. Investigation of Structure and Physical Properties of Hemp Knits. Master's thesis in Textiles Engineering / supervisor assoc. prof. Vaida Jonaitienė; The Faculty of Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.**

Research area and field: Technological Sciences, Polymers and Textiles Technology.

Key words: *Hemp fibre, structure, air permeability.*

Kaunas, 2016. 44 p.

## SUMMARY

Cellulosic fibres are widely used in textile and clothing industry. The most popular between cellulosic fibres are cotton and linen, but there is also alternatives for these fibres, which has similar properties as the popular ones and in some fields are even better. These fibres are: nettle, jute, sisal and hemp.

In this paper two different yarns were tested, A – contained 55% hemp and 45% of cotton fibre in it, B – contained 40% of hemp and 60% of cotton. Yarns were provided by Ukrainian science academy, bast plants institute. These yarn were tested, to find out their strength and elasticity properties, graphs were drawn from the results of testing these yarns. Results were compared with other cellulosic fibres. After testing these yarn, they were used to produce a knitted fabric. For that purpose, single and double layer fabrics were designed and knitted. They we knitted using 10E and 12E machine gauge, STOLL flat knitting machines.

Knitted fabrics, made from A and B yarns were tested in laboratory to measure their structural and physical properties. Air permeability, surface fuzzing and to pilling tests were made, structural properties were both: measured and calculated.

The research has showed that yarns from hemp and cotton are suitable for knitting. Yarn stiffness is much lower than pure linen yarn, and its almost as low as pure cotton yarn. It also showed, that knitted fabric visual properties and durability depends on its structure.

## Turinys

IŽANGA .....	9
1. Apžvalga .....	11
1.1 Pluoštinės kanapės augalas. ....	11
1.2 Kanapių auginimas.....	13
1.2.1 Kanapių auginimas Lietuvoje.....	14
1.3 Pluošto savybės. Plaukelių ilgis, stiprumas.....	15
1.4 Cheminė kanapės žaliavos sudėtis. ....	16
1.5 Kanapės ir linų pluoštų savybių palyginimas.....	17
2. Metodologinė dalis .....	20
2.1 Tiriamasis objektas.....	20
2.2 Verpalų ilginio tankio nustatymas. ....	20
2.3 Verpalų mechaninių savybių nustatymas. ....	21
2.4 Mezginio sandaros rodiklių nustatymas. ....	22
2.5 Laidumo orui nustatymo metodika. ....	23
2.6 Atsparumo pūkuotumui ir pumpuravimuisi tyrimas .....	24
2.7 Atsparumo dilinimui nustatymas. ....	25
2.8 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika.....	26
3. Tiriamoji dalis.....	28
3.1 Verpalų stipruminių savybių nustatymo tyrimas .....	28
3.2 Kanapių pluošto pritaikomumas mezgimo procesui .....	30
3.3 Mezginių sandaros rodikliai.....	33
3.4 Mezginių laidumo orui nustatymas.....	33
3.5 Mezginių atsparumo pumpuravimuisi nustatymas.....	35
3.6 Mezginių atsparumo dilinimui nustatymas .....	36
Išvados.....	41
Literatūros sąrašas.....	43

## Paveikslų sąrašas

2.1 pav. KERN EG/EW elektroninės svarstyklės.....	21
2.2 pav. Bandinių tempimo mašina ZWICK Z005 [14]. .....	21
2.3 pav. L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija) oro laidumo matavimo prietaisas. ....	23
2.4 pav. Martindale bandymų įrenginys. ....	24
3.1 pav. Verpalo A, pusciklio tempimo diagrama. ....	28
3.2 pav. Verpalo B, pusciklio tempimo diagrama. ....	29
3.3 pav. Celiuliozinių verpalų tempimo diagramos [23]. ....	29
3.4 pav. Precizinio pervijimo mašina (CORCHI LETTROMECCANICA, Italija). ....	30
3.5 pav. Mezgimo mašinos klasės parinkimo pagal siūlo storį, rekomendacinė lentelė [21].	31
3.6 pav. STOLL CMS 530 HP mezgimo mašina [21]. ....	32
3.7 pav. Mezginių laidumo orui rezultatai. ....	34
3.8 pav. Mezginių pumpuravimos įvertinimas balais. ....	36
3.9 pav. Maksimalus sūkių skaičius iki mezginiui suyrant.....	38
3.10 pav. Mezginių suminiai masės nuostoliai. ....	39

## Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Plaukelių vidutinis ilgis skirtingose pluoštinės kanapės augalo stiebo dalyse [2].	16
1.2 lentelė. Iš skirtingų augalo stiebo vietų gautos žaliavos, trūkimo jėga [2].	16
1.3 lentelė. Komponentai sudarantys pluoštinės kanapės žaliavą (%) [2].	17
1.4 lentelė. Elementariųjų linų ir kanapės pluoštų plaukelių savybių palyginimas [2].	17
2.1 lentelė. Megztų medžiagų atsparumo pūkuotumui ir pumpuravimuisi programa.	25
2.2 lentelė. Mezginių pūkuotumo ir pumpuruotumo įvertinimo aprašas.	25
3.1 lentelė. Verpalų trūkimo charakteristikos.	28
3.2 lentelė. Mezginių sandaros rodikliai.	33
3.3 lentelė. Mezginių laidumo orui rezultatai.	34
3.4 lentelė. Mezginių vidutiniai masės nuostoliai.	37
3.5 lentelė. Mezginių iš kanapių pluošto vidutinė masės nuostoliai.	39



## IŽANGA

Vienas iš celiuliozinių pluoštų yra kanapės pluoštas. Kanapių pluoštas itin tvirtas, lyginant su kitais natūraliais pluoštais (medvilnės, linų, dilgėlių), todėl jis nuo seno plačiai naudojamas virvių, tinklų, burių gamyboje. Taip pat agrotekstilėje, bei geotekstilėje.

Kanapė visame pasaulyje paplitęs augalas, nors kilęs jis iš Himalajų kalnų vietovės, iš kur vėliau paplito po rytinę ir pietinę Azijos žemyno dalį. Jau prieš 5000 m. Kinijoje buvo kultivuojama kanapė, būtent iš Kinijos šis augalas paplito po visą pasaulį. Kanapė buvo ir vis dar yra auginama visuose žemynuose (išskyrus Antarktida), nes gali prisitaikyti tiek prie tropinio, tiek prie atšiauraus šiaurės Europos klimato. Šiame amžiuje, kanapės auginimas dėl pluošto labiausiai paplitęs Kinijoje, Rusijoje, Prancūzijoje, Ukrainoje, Jungtinėje Karalystėje, Vokietijoje, Lenkijoje, Suomijoje ir netgi Kanadoje. Visgi pluoštinių kanapių auginimas nėra labai populiarus, ir savo mastu, negali lygintis su kitomis pluoštinių augalų kultūromis.

Pluoštinės kanapės auginimas yra nesudėtingas, kanapė gerai auga visų tipų dirvožemyje. Augalo auginimui nereikalingi pesticidai, kurie labai dideliais kiekiais naudojami kultivuojant vilnamedžius. Taip pat auginant pluoštines kanapes, dirvožemis nėra sekinamas, kaip auginant kai kurias grūdines kultūras, todėl galima šį augalą kultyvuoti daugelį metų iš eilės. Pastebėta, jog pluoštinė kanapė, netgi pagerina dirvožemio kokybę, išvalydama jį nuo sunkiųjų metalų [1].

Praeityje, prieš atrandant pigius cheminius pluoštus, kanapė buvo naudojama gaminti virves, burinius audinius, tentinius audinius. Pirmojo pasaulinio karo metu, kanapė buvo naudojama vokiečių uniformoms gaminti. Visgi pasibaigus karui, Jungtinėse Amerikos Valstijose ir vakarų Europoje kanapes buvo uždrausta auginti, nes padaugėjo atvejų, kai jos buvo auginamos dėl narkotinių medžiagų.

XXa. pabaigoje, susidomėjimas kanapių kultivavimu tiek dėl maistinių savybių, tiek dėl ekologiškų ir greitai atsinaujinančių resursų, stipriai išaugo. Šalia tradicinio kanapės pluošto panaudojimo tekstilėje, didelė dalis naujų pramonės šakų pradėjo rodyti susidomėjimą šiuo žaliaviniu pluoštu. Atsirado nauji panaudojimo būdai, tokie kaip:

- Statybinėms ir izoliacinėms medžiagoms – cemento blokeliai su dalimi pluošto, akustinės izoliacinės medžiagos, apšiltinimo medžiagos, pigios neaustinės medžiagos ir t.t.
- Medžiagos kompozitams – ypač automobilių pramonėje, sankabų bei stabdžių paviršiams.

- Popieriui – celiuliozē naudojama blanknotams gaminti, taip pat cigarečių pramonėje, arbatos maišeliams, kartografijoje.
- Buitinei tekstilei – rankšluoščiams, patalynei, aprangai.
- Techninei tekstilei – laminatams, burėms, tinklams, virvėms.
- Geotekstilei ir agrotekstilei, sodininkystei – neaustinės medžiagos, sustiprinamosios agromedžiagos krantinėms, šlaitams, patiesalai gyvūnams, bioskaidūs vazonai gėlėms.

# 1. Apžvalga

## 1.1 Pluoštinės kanapės augalas.

Kanapės augalas (lot. *Cannabis sativa* L.) yra vienmetis augalas, apsidulkinantis vėjo pagalba. Kanapės augalas turi daug atmainų, visgi pagal paplitimą galima išskirti tris pagrindines: šiaurinė kanapė, vidurio Europinė ir pietinė kanapė. Šiaurinė kanapės atmaina pasižymi trupu augimo periodu (trunkančiu nuo 60 iki 75 dienų), dideliu sėklų derliumi, labai maža dalis celioliozės pluošto esančio šiame augale, pasižymi prastomis savybėmis. Pietinė kanapė užaugina didelį kiekį biomasės, tarp kurios ir kokybišką pluoštą, sėklų brandina nedaug, tačiau pasižymi ilgu vegetacijos periodu, kuris trunka virš 150 dienų. Europinės kanapės savybės yra kažkur per vidurį tarp šių dviejų rūšių [2]. Žemiau pateiktame 1.1 pav. pavaizduota kanapės augalo iki pluošto auginimo ciklas.



**1.1 pav.** Kanapės auginimo ciklas. (a) kanapių augalai (b) šviežias kanapės augalo stiebas (c) sudžiūvęs kanapės augalo stiebas (d) pluošto ryšuliai (e) pluoštas.

Pluoštinių kanapių stiebas užauga iki 180 cm aukščio (kartais iki 3-6 metrų), yra tiesios, taisyklingos formos. Pluoštinės kanapės – vieni unikaliausių ir naudingiausių buičiai, bei pramonei augalų, nes iš jų galima pagaminti net iki 50 000 įvairiausių gaminių, pradedant tradiciniais maisto produktais ir tekstilės gaminiiais, baigiant statybinėmis medžiagomis.

Šie augalai – tai tarsi atsvara pasauliniam klimato atšilimui. Pluoštiniai augalai, vegetacijos laikotarpiu, sugeria apie 2,5 tonos CO<sub>2</sub> iš 1 hektaro dirbamos žemės, taip prisidedami prie klimato atšilimo mažinimo. Pluoštinės kanapės yra itin draugiškos aplinkai. Ne tik auginimas, bet ir produktai iš kanapių yra reikšmingi aplinkos saugojimui, nes yra siejami su tvarumo ir ekologiškumo principais [3].

Iš pluoštinės kanapės stiebų, gaunamos dviejų tipų žaliavos, kurias galima panaudoti pramonėje: kanapių spalvai, gaunami susmulkinus sumedėjusią augalo stiebo šerdį ir kanapių

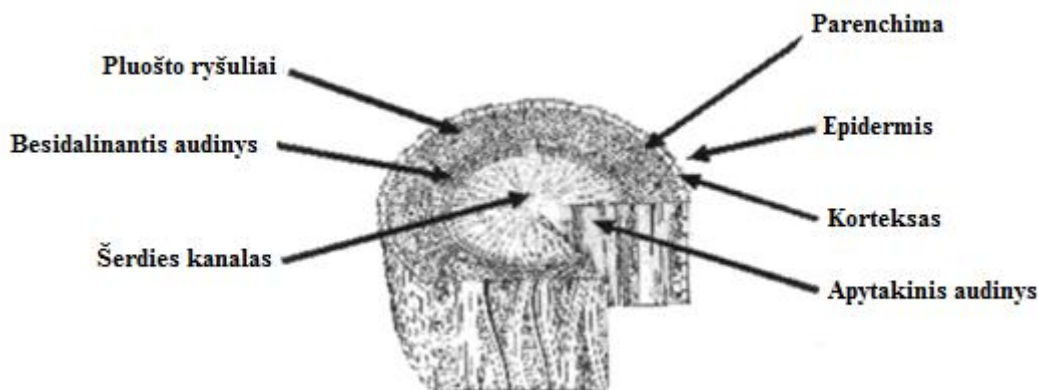
pluoštas, gaunamas atskiriant nuo stiebo pluoštą. Kanapės stiebas, priklausomai nuo rūšies, susideda apytiksliai iš 20-40% pluošto, kuris yra stiebo paviršiuje ir 60-80% medienos (spalių).

Anatomiškai, kanapės sėklas sudaro: riebalai (25-38%), baltymai (apie 25%) ir angliavandeniai (apie 25%) . Augalo šaknys labai stiprios ir šakotos, kartais įsiskverbiančios į dirvą net iki 1.5-2 metrų. Pirmuosius 80 cm šaknys labai stipriai šakojasi, mažesnės augalo šaknys gali nutolti nuo centrinės šaknies iki 100 cm atstumu horizontalia kryptimi. Didžiausia šaknies masė sukaupia 20-40 cm atstumu nuo žemės paviršiaus. Šaknų struktūra priklauso nuo drėgmės lygio, dirvos struktūros. Durpingoje dirvoje augančios kanapės augalo šaknys dažniausiai siekia vos 60 cm. [2].

Pluoštinės kanapės stiebas nesišakoja (tais atvejais, kai augalai vienas šalia kito susodinti tankiai), subrendusio augalo stiebo skersmuo siekia 10-13 mm. Tuo atveju, kai augalai susodinti retai, stiebas šakojasi į daug mažesnių šakų. Augalai dažniausiai auga iki 150-200cm aukščio, tiesa, itin palankiomis sąlygomis, gali pasiekti 400 cm aukštį [2].

Kanapės augalų lapai auga ant lapkočių, kurie ant augalo stiebo išsidėstę gana toli vienas nuo kito. Lapkočių tankumas ant augalo stiebo priklauso nuo to, kurioje stiebo dalyje jie yra. Vidurinėje ir viršutinėje stiebo dalyje, auga pavieniai lapai, tuo tarpu apatinėje stiebo dalyje, lapai auga simetriškai į priešingas puses. Augalui bręstant, lapai gelsta ir palaipsniui pradeda kristi [2].

Augalo stiebo struktūra priklauso nuo augalo porūšio. Stiebą sudaro korteksas, cholenchima, pirminis plaušų žiedas, antrinis plaušų žiedas ir mediena. Plaušų žiedas, kuris perdirbimo metu paverčiamas pluoštu, yra tiesiai po korteksu. Plaušai stiebe susiklijavę į ryšulius, kuriuos laiko pektinai ir anastomosės. Plaušai nėra pasiskirstę tolygiai stiebe. Didžiausia plaušų koncentracija yra vidurinėje stiebo dalyje, o pačioje stiebo apačioje (žemiau vadinamojo stiebo kaklo), plaušai yra susiklijavę su labai dideliu kiekiu lignino ir nėra tinkami technologiniam apdorojimui. Stiebo viršuje, plaušų koncentracija stipriai mažėja, o žiedyno viršuje plaušų koncentracija tokia maža, kad stiebas lengvai lūžta. Atstumas tarp stiebo kaklo ir žiedyno vidurio yra vadinamas „technologiniu ilgiu“, kad atskirti technologiskai perdirbamo, t.y. naudingo stiebo ilgį. 1.2 pav. pavaizduotas kanapės stiebo skersinis ir išilginis pjūvis, kuriame matyti visi kanapės stiebą sudarantys komponentai [2].



**1.2 pav.** Kanapės stiebo skersinis ir išilginis pjūvis [4].

Didžiausias pirminių plaušų kiekis yra stiebo vidurinėje dalyje. Antriniai plaušai susiformuoja vėlesnėse augalo brendimo stadijose, turi daugiau lignino, todėl yra sunkiai atskiriami. Rezultate, antriniai plaušai mažina bendrą pluošto vertę, sunkina apdirbimą. Bendras plaušų kiekis augalo stiebe priklauso nuo keleto faktorių: genetinio potencialo, žemės derlingumo, augalų sodinimo tankumo, derliaus nuėmimo laiko [4].

## 1.2 Kanapių auginimas.

Europoje, kanapių auginimas labiausiai paplitęs Ukrainoje, Lenkijoje, Vengrijoje ir Prancūzijoje. Nors pluoštinė kanapė mėgsta šiltą klimata, visgi buvo pastebėta, jog augalas išgyvena prie nedidelių šalčių (iki  $-7$  laipsnių C), šia savybe pranokdamas linus, todėl Lenkijoje (ypač šiaurinėje dalyje) ūkininkai tai pastebėję, drasiai pradėjo auginti pluoštines kanapes [5].

Kanapių auginimui tinkama žemė: juodžemė, sanplovinis gruntas, molingos žemės, kalkės maišytos su humusu, ir netgi melioruotos durpingos žemės. Svarbu, kad dirvožemis būtų kiek įmanoma puresnis, reguliariai drėkinamas. Augalas labai jautrus žemės rūgštingumui. Optimalus pH kanapių augalams yra nuo 7.1 iki 7.6. Rūgštingumui kylant, dirva turėtų būti kalkinama. Augalai neturėtų būti auginami dirvožemyje, kurio pH žemesnis nei 6.0 [5].

Kanapę, taip pat galima auginti dirvoje, užterštoje sunkiaisiais metalais. Atliktas eksperimentas parodė [6], kad kanapės gali pašalinti didelius kiekius vario, cinko, kadžio ir švino be jokių neigiamų kokybinių ar kiekybinių poveikių pačiam augalui. Remiantis

eksperimento išvadamis, iš vieno hektaro kanapėmis apsodintos žemės, per sezoną galima pašalinti po 377 gramus švino ir 144 gramus vario. Eksperimentas parodė, jog naudinga auginti kanapes keletą sezonų toje pačioje vietoje, taip išvaloma dirva ir užkertamas kelias sunkiesiems metalams, per grūdines ar kitas maistines kultūras, patekti į žmogaus organizmą [1].

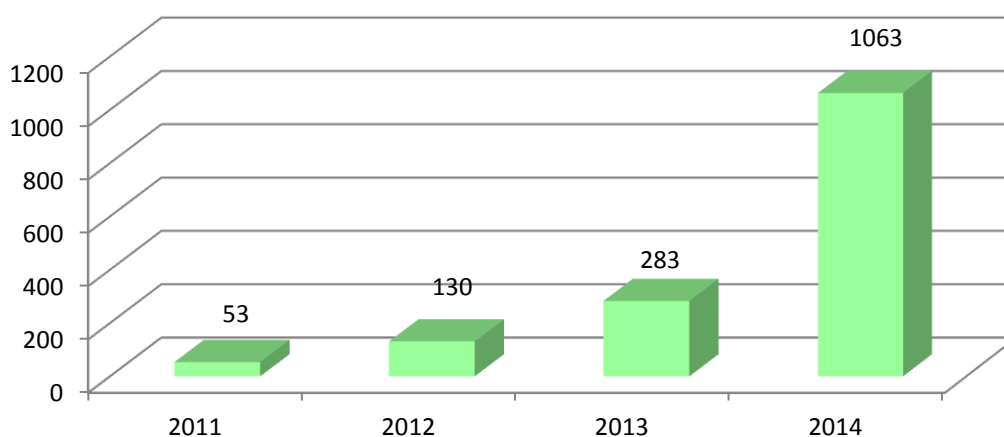
### 1.2.1 Kanapių auginimas Lietuvoje.

Lietuvoje auginami nereikšmingi kiekiai šių augalų, o jų paklausa užpildoma importuotais. Išplėtojus pluoštinių kanapių auginimą ir perdirbimą į pluoštą, būtų galima importuotą produkciją pakeisti vietine pluoštinių kanapių produkcija.

Lietuvoje kanapių auginimas orientuotas į sėklų derlių. 2014 metais pasėliai sėkloms sudarė 71 proc. visų pluoštinių kanapių pasėlių. Nors susidomėjimas pluoštinėmis kanapėmis, jų auginimu ir perdirbimu Lietuvoje didėja, augintojai susiduria su problemomis, kurios būdingos, bet kuriai naujai auginamai žemės ūkio kultūrai. Visų pirma, Lietuvoje nėra selekcijos, todėl visa sėkla, kuri privalo būti sertifikuota, importuojama. Tai reiškia priklausomybę nuo kitų šalių rinkų ir didesnes sąnaudas.

Lietuvoje per 2011-2014 metus pluoštinių kanapių plotai sparčiai padidėjo (1.3 pav.). Nors iki jų įteisinimo, auginami kiekiai buvo nedideli, plotai kasmet didėjo, o teisiškai nebelikus jokių kliūčių jas auginti, 2014 metais deklaruoti 3,8 karto didesni plotai nei 2013-aisiais.

2011 metais pluoštinių kanapių buvo auginama 54 ha, o 2014 metais deklaruota 1063 ha pluoštinių kanapių, iš kurių 755 ha auginami sėklai, 308 ha pluoštui [7].



1.3 pav. Pluoštinių kanapių plotas Lietuvoje 2011-2014 metais, ha [7].

Kanapių auginimas patrauklus tuo, kad galima jas auginti keletą metų iš eilės toje pačioje dirvoje, nes dirva nėra alinama, kaip auginant kai kurias kitas kultūras. Taip pat nereikia rūpintis dėl piktžolių, nes auginant kanapes augalai sodinami tankiai ir auga labai sparčiai, todėl jos sėkmingai konkuruoja su kitais augalais, neduodamos galimybės piktžolėms augti. Maža to, kanapių šaknys skverbiasi giliai į gruntą, taip jį purendamos, todėl žemė po kanapių derliaus, neretai paliekama geresnės būklės ir tinkama kitoms kultūroms auginti. Auginant pluoštines kanapes labai svarbu, jog augalui netrūktų kalio ir kalcio, kurie vaidina esminį vaidmenį augalo ląstelių formavimesi.

Dėl didžiulio augimo tempo ir didelio kiekio užauginamos biomasės yra sudėtinga nuimti pluoštinių kanapių derlių. Azijos šalyse tai vis dar daroma rankiniu būdu, Europoje naudojami kombainai, tačiau dažniausiai technika yra sena ir nedemonstruojanti didelio našumo [8].

### **1.3 Pluošto savybės. Plaukelių ilgis, stiprumas.**

Vis labiau naudojant sintetinius pluoštus, kanapių pluoštas buvo išstumtas į panaudojimą ne tekstilinės pramonės reikmėms ir šiek tiek į neaustinę (todėl mažesnės vertės) tekstilę. Poliesteris, polipropilenas ir kiti panašūs sintetiniai pluoštai yra labai lengvai pritaikomi vartotojų poreikiams, todėl sėkmingai konkuruoja su natūraliais pluoštais. Visgi, pluoštinių kanapių natūralumas labai vertinamas. Esant šiuolaikinėms tekstilės technologijoms galima pagaminti įvairaus storio ir minkštumo audinius. Kanapės pranašesnės už medvilnę, nes jas auginant nereikia žemės nuodyti milžiniškais chemikalų kiekiais. Ekologiškumo svarbos suvokimas lemia atsigręžimą į natūralius pluoštus tekstilės pramonėje. [9,10].

Pluošto savybės, tarp kurių ir pluošto ilgis, labai skiriasi skirtingose stiebo vietose. Žemiau pateiktoje 1.1 lentelėje matyti, jog didžiausias vidutinis plaukelių ilgis koncentruotas vidurinėje stiebo dalyje, o pačioje apačioje (0-15.5 cm nuo žemės) ir augalo viršūnėje, plaukeliai yra patys trumpiausi.

**1.1 lentelė.** Plaukelių vidutinis ilgis skirtingose pluoštinės kanapės augalo stiebo dalyse [2].

<b>Kanapės augalo stiebo dalis, nuo - iki (cm)</b>	<b>Plaukelių vidutinis ilgis (mm)</b>
<b>0 – 15.5</b>	5.1
<b>75.5 – 95.5</b>	10.2
<b>105.5 – 135.5</b>	9.1
<b>155.3 – 175.5</b>	8.9
<b>195.5 – 215.5</b>	8.3
<b>235.0 – 245.0</b>	3.9

Ta pati tendencija atsispindi ir pluošto stiprumo charakteristikoje. Žemiau pateiktoje 1.2 lentelėje matyti, jog didžiausias stiprumas yra vidurinėje stiebo dalyje esančio pluošto, o mažiausiai stiprus - stiebo apačioje esantis pluoštas. Viršutinėje stiebo dalyje esantis pluoštas, nors ir nepasižymėjo dideliu elementariųjų plaukelių ilgiu, turi geras stiprumines sąvybes.

**1.2 lentelė.** Iš skirtingų augalo stiebo vietų gautos žaliavos, trūkimo jėga [2].

<b>Stiebo dalis</b>	<b>Pluošto trūkimo jėga (kg)</b>
<b>Apačia</b>	11.3
<b>Tarp apačios ir vidurio</b>	42.7
<b>Vidurys</b>	31.6
<b>Tarp vidurio ir viršaus</b>	32.8
<b>Viršus</b>	36.2

#### **1.4 Cheminė kanapės žaliavos sudėtis.**

Kanapės pluošto žaliavą pagrinde sudaro celiuliozė, pektinai ir vašakai. Pektinai sulipina elementariusius plaukelius tarpusavyje, taip suformuodami plaušų ryšulius. Ligninas padengia elementariųjų plaukelių paviršių ir netgi įsiskverbia į celiuliozę, taip stipriai paveikdamas gijų standumą ir stiprumą. Kiti komponentai, sudarantys kanapės pluoštą, yra: hemiceliuliozė, dervos, riebalai, baltymai ir t.t. Procentalūs kiekvienos sudedamosios dalies kiekiai pluošte, pateikiami 1.3 lentelėje.



**1.3 lentelė.** Komponentai sudarantys pluoštinės kanapės žaliavą (%) [2].

<b>Komponentas</b>	<b>Procentinė masės dalis, %</b>
<b>Vanduo</b>	6.2
<b>Dulkės</b>	1.2
<b>Vaškai</b>	1.47
<b>Vandenyje tirpios medžiagos</b>	2.45
<b>0.5% HCl tirpale, tirpios medžiagos</b>	0.89
<b>Pektinai</b>	1.42
<b>Hemiceliuliozė</b>	5.08
<b>Ligninas</b>	1.75
<b>Celiuliozė</b>	76.89
<b>Baltymai</b>	2.65

### 1.5 Kanapės ir linų pluoštų savybių palyginimas.

Abu šie pluoštiniai augalai yra panašūs, tiek savo auginimu, struktūra, tiek ir pluošto perdirbimu ir netgi pluošto savybėmis. Žemiau pateikta 1.4 lentelė, palyginanti šių dviejų pluoštų savybes.

**1.4 lentelė.** Elementariųjų linų ir kanapės pluoštų plaukelių savybių palyginimas [2].

<b>Fizikinė savybė</b>	<b>Linai</b>	<b>Kanapės</b>
<b>Plaukelių ilgis* (mm)</b>	2 - 120	2 - 90
<b>Vidutinis plaukelių ilgis (mm)</b>	20	15
<b>Plaukelių skersmuo (μm)</b>	17 - 20	10 - 30
<b>Plaukelių storis (Nm(neris))</b>	1500 - 9500	800 - 8500
<b>Vidutinis plaukelių storis (Nm(neris))</b>	3620	3460
<b>Nutrūkimas nuo savo masės (km)</b>	23 - 72	27 - 63
<b>Vidutinis nutrūkimas nuo savo masės (km)</b>	49	46
<b>Ištįsa</b>	1.5	1.5

\*Maksimalus antrinės žaliavos ilgis siekia iki 5 mm.

Kaip matome iš 1.4 lentelės, linų pluošte, plaukeliai yra ilgesni, todėl ir vidutinis plaukelio ilgis didesnis yra linų pluošte, tačiau kanapės pluošte plaukeliai yra plonesni, o patys ploniausi yra beveik du kart plonesni už ploniausius, esančius linų pluošte. Stipruminės šių pluoštų savybės yra labai panašios, o ištįsa – vienoda.

Tekstilės medžiagų gamyba Lietuvoje 2009-2013 metais didėjo. Tačiau didėjimą sąlygojo didėjanti medžiagų ir siūlų, iš dirbtinių ir sintetinių pluoštų, gamyba, kuri 2013 metais sudarė 80 proc. visų pagamintų audinių. Sintetinių medžiagų paklausa gerokai didesnė, todėl tikėtina, kad medžiagų gamyba iš kanapių, kaip ir linų pluoštų, spartaus didėjimo Lietuvoje nesudarytų.

Teigiama, kad natūralių pluoštų paklausa ateityje didės, nes medvilnės perdirbimo potencialas yra ribotas, todėl daugelis suinteresuotų gamintojų yra optimistiškai nusiteikę dėl perspektyvų pluošto iš kanapių rinkoje. Taip pat yra nerimaujama dėl didžiulės aplinkai daromos žalos auginant medvilnę, o į kanapes žiūrima kaip į aplinkai nekenksmingą ir net naudingą augalą [11].

Visgi, Lietuvoje tekstilės srityje kanapių pluošto panaudojimo galimybės audinių ir mezginių gamyboje galėtų būti labai mažų apimčių, didesnis panaudojimo pritaikymas galėtų būti kilimų gamyboje, kurių per pastaruosius penkerius metus gamyba padidėjo 6,7 karto.

### **Literatūros apžvalgos apibendrinimas**

- Kanapių pluoštas nors ir žinomas daugybę metų, tačiau ilgai buvo pamirštas. Pastaraisiais metais, susidomėjimas šiuo pluoštu augo, dėl platesnių panaudojimo galimybių.
- Kanapės pluošto auginimas yra patrauklus ūkininkams, nes kultivuojant šį augalą, pastebima pozityvi įtaka dirvožemio kokybei.
- Pluoštinės kanapės auginimas yra labai ekologiškas, lyginant su medvilnės pluošto auginimu.

**Darbo tikslas** – nustatyti pynimo įtaką mezginių iš kanapių pluošto sandarai ir fizikinėms savybėms.

### **Uždaviniai:**

1. Ištirti verpalų, iš kanapių ir medvilnės pluošto, stiprumines savybes. Palyginti gautas pusciklio tempimo kreives su tipinėmis kitų celiuliozinių pluoštų tempimo kreivėmis.

2. Nustatyti verpalų tinkamumą mezgimo procesui, parinkti tinkamos klasės mezgimo mašinas turimiems verpalams.
3. Suprojektuoti ir numegzti mezginius lygiuoju skersiniu ir lastikiniu 1+1 pynimu iš mišriapluoščių, kanapės ir medvilnės pluoštų verpalų.
4. Ištirti pynimo įtaką mezginių iš kanapių pluošto sandarai ir fizikinėms savybėms: laidumą orui, atsparumą pūkavimuisi ir pumpuravimuisi ir atsparumą dilinimui.
5. Aptarti ir palyginti rezultatus ir pateikti išvadas.

## 2. Metodologinė dalis

Visi eksperimentai buvo atliekami standartinėse klimato sąlygose, esant  $T=(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  temperatūrai,  $\phi =(65 \pm 4) \%$  santykiniam oro drėgnumui, kaip nurodoma LST EN ISO 139:2005 standarte [12].

### 2.1 Tiriamasis objektas.

Šio tyrimo objektas dveji skirtingos pluoštinės sudėties ir ilginio tankio verpalai, gauti iš Ukrainos mokslo akademijos, pluoštinių augalų instituto.

**A** – Verpalas, kurio ilginis tankis  $2 \times 66 \text{ tex}$  (nustatyta tyrimų eigoje), pluoštinė sudėtis: 55/45 % atitinkamai kanapės ir medvilnės pluoštų.

**B** – Verpalas, kurio ilginis tankis  $67 \text{ tex}$  (nustatyta tyrimų eigoje), pluoštinė sudėtis: 40/60 % atitinkamai kanapės ir medvilnės pluoštų.

Iš verpalų A ir B buvo numegzti bandiniai lygiuoju skersiniu ir lastikiniu 1+1 pynimais, megztos medžiagos darbe sužymėtos taip:

**A1** – mežginiai numegzti iš verpalo A, lygiuoju skersiniu pynimu, 10 E klasės mezgimo mašina.

**A2** – mežginiai numegzti iš verpalo A, lastikiniu 1+1 pynimu, 10 E klasės mezgimo mašina.

**B1** – mežginiai numegzti iš verpalo B, lygiuoju skersiniu pynimu, 12 E klasės mezgimo mašina.

**B2** – mežginiai numegzti iš verpalo B, lastikiniu 1+1 pynimu, 12 E klasės mezgimo mašina.

### 2.2 Verpalų ilginio tankio nustatymas.

Paruošiami vienodo ilgio bandiniai. Nustatoma bandinių masė pasvėrus verpalo atkarpa elektroninėmis svarstyklėmis. Bandymas atliekamas kalibruotomis svarstyklėmis, bandinius sveriant po vieną. Išanalizavus gautus rezultatus, gaunama vidutinė bandinio masės vertė.

Bandiniams matuoti naudojama liniuotė. Bandiniams svėrti naudojamos elektroninės svarstyklės KERN EG/EW (2.1pav). Šių svarstyklių maksimali svėrimo masė - 150g., minimali svėrimo masė – 0,02,  $e=0,01 \text{ g.}$ ,  $d=0.001 \text{ g.}$



**2.1 pav.** KERN EG/EW elektroninės svarstyklės.

### **2.3 Verpalų mechaninių savybių nustatymas.**

Verpalų savybės tempiant nustatomos tempimo bandymo mašina ZWICK Z005 (ZWICK/ROELL GROUP, Vokietija. 2.2 pav). Bandymų mašina susieta su kompiuterine programa, kurioje suvedus pradinis duomenis, fiksuojami bandymo rezultatai: maksimali trūkimo jėga, absoliuti trūkimo jėga, savitoji trūkimo jėga, maksimali jėga į ploto vienetą, maksimali jėga į masės vienetą, ištįsa esant maksimaliai jėgai, trūkimo ištįsa, vidutinė kvadratinė nuokrypa, variacijos koeficientai. Taip pat nubrėžiama pusciklio tempimo kreivė. Bandymas atliekamas pagal standarto LST EN ISO 2062:2009 reiklavimus, naudojant 50N jutiklį ir esant 250 mm/min spaustuvų judėjimo greičiui. Atstumas tarp spaustuvų bandymo metu – 500 mm. Bandymas buvo kartojamas po 20 kartų, abiejų rūšių verpalams [13].



**2.2 pav.** Bandinių tempimo mašina ZWICK Z005 [14].

## 2.4 Mezginių sandaros rodiklių nustatymas.

Mezginių sandaros rodikliai nustatomi naudojant standartą BS 5441:1998. Rodikliams nustatyti išmatuojami mezginių tankumai  $P_h$  (horizontalusis mezginių tankumas) ir  $P_v$  (vertikalusis mezginių tankumas), taip pat faktinis kilpos ilgis  $l$ . Turint šiuos duomenis, galima apskaičiuoti likusius sandaros rodiklius: kilpos žingsnį ( $A$ ), kilpos aukštį ( $B$ ), tankumų santykio koeficientą ( $C$ ), bei medžiagos paviršinį tankį  $M$  [15].

$P_h$  ir  $P_v$  (atitinkamai horizontalusis ir vertikalusis mezginių tankumas) nustatomi pagal LST EN 14971:2006 standartą. Skaičiuojamos mezginių kilpos horizontaliąja ir vertikaliąja kryptimis 10 cm atkarpoje ir padalinus iš 10 gaunamas kilpų skaičius centimetre. Kilpos skaičiuojamos naudojant liniuotę, nes tiriamos atkarpos net 10 cm, o tankumai nėra dideli, todėl galima nesunkiai įžiūrėti be vaizdą didinančios priemonės. Bandymas pakartojamas skirtingose mezginių vietose, iš viso 5 kartus. Kad rezultatus būtų galima laikyti tinkamais, įsitikiname, jog rezultatai nevarijuoja daugiau nei 5 % [16].

Nustačius  $P_h$  ir  $P_v$  apskaičiuojame kilpos žingsnį ( $A$ ), kilpos aukštį ( $B$ ), tankumų santykio koeficientą ( $C$ ), pagal formules pateiktas žemiau [17]:

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

$$A = \frac{10}{P_h}; \quad (2)$$

čia  $P_h$  - horizontalusis mezginių tankumo koeficientas,  $\text{cm}^{-1}$ ;  $A$  – kilpos žingsnis, mm.

$$P_v = \frac{10}{B}; \quad (3)$$

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

čia  $P_v$  - vertikalusis mezginių tankumo koeficientas,  $\text{cm}^{-1}$ ;  $B$  – kilpos aukštis, mm.

$$C = \frac{P_h}{P_v} = \frac{B}{A}; \quad (5)$$

čia  $C$  – tankumų santykio koeficientas,  $P_h$  - horizontalusis mezginių tankumo koeficientas,  $P_v$  - vertikalusis mezginių tankumo koeficientas,  $A$  – kilpos žingsnis, mm,  $B$  – kilpos aukštis, mm.

Mezginių paviršinis tankis apskaičiuojamas pagal formulę [17]:

$$M = l \times P_h \times P_v \times T \times 10^{-2}; \quad (6)$$

čia  $M$  – mezginių paviršinis tankis  $\text{g/m}^2$ ,  $l$  – faktinis mezginių kilpos ilgis, mm,  $P_h$  - horizontalusis mezginių tankumo koeficientas,  $P_v$  - vertikalusis mezginių tankumo koeficientas,  $T$  – ilginis verpalų tankis, tex.

## 2.5 Laidumo orui nustatymo metodika.

Šis bandymas atliekamas tekstilinėms medžiagoms: audiniams, mezginiams ir neaustinėms medžiagoms. Bandymo metu matuojamas oro debitas prasiskverbiantis pro tekstilinės medžiagos paviršių. Bandymas atliktas remiantis LST EN ISO 9237:1997 standartu [18]. Bandymas atliekamas L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija) oro laidumo matavimo prietaisu (2.3pav.). Bandymą atlikti galima skirtingo paviršiaus ploto bandiniams, t.y. galima naudoti apskritos formos bandinio laikiklius kurių paviršiaus plotas: 5 cm<sup>2</sup> , 20 cm<sup>2</sup> , 50 cm<sup>2</sup> , 100 cm<sup>2</sup>. Prietaiso matavimo skalės turi: 50 Pa, 100 Pa, 200 Pa , bei 500 Pa matavimo skales.

Bandinys įtvirtinamas žiedo formos laikiklyje, kurio kiaurymės plotas 5 cm<sup>2</sup>. Įjungiamas siurbimas, oro srautas skverbiasi per mezginio paviršių. Siurbimo intensyvumas didinamas, kol pasiekiamas 100 Pa slėgių skirtumas. Tuomet matuojamas oro srauto debitas praeinantis pro bandinio paviršių. Bandymas kartojamas 5 kartus, iš gautų bandymų rezultatų apskaičiuojama vidutinė reikšmė.



**2.3 pav.** L14DR (Karl Schroder KG, Vokietija) oro laidumo matavimo prietaisas.

Laidumas orui  $R_n$ , apskaičiuojamas pagal formulę:

$$R_n = \frac{D}{A} \cdot 167; \quad (7)$$

Čia  $R_n$  – laidumas orui, mm/s;  $D$  – oro srauto debito aritmetinis vidurkis,  $\text{dm}^3/\text{min}$ ;  $A$  – efektyvus bandinio plotas,  $\text{cm}^2$ ; 167 – matavimo vienetų konvertavimo koeficientas.

## 2.6 Atsparumo pūkuotumui ir pumpuravimuisi tyrimas

Šis bandymas atliktas naudojant LST EN ISO 12945-2:2000 standartą, taip vadinamu „Modifikuotu Martindale metodu“. Paruošiami apskriti mezginių bandiniai, kurių paviršius veikiamas kito tekstilinio paviršiaus, tam tikra jėga. Bandinys juda specialiais kreiptuvais, „piešdamas“ Lissajous figūrą. Pavaros mechanizmas judina bandinio laikiklio kreiptuvo plokštę horizontalia kryptimi ir kiekvienas kreiptuvo plokštės taškas brėžia tą pačią figūrą. Judėjimo trajektorija kinta nuo apskritimo, iki vis siaurėjančios elipsės, kol tampa tiese, tokiu būdu visi mezginio taškai patiria vienodą trintį bandymo eigoje [19].



2.4 pav. Martindale bandymų įrenginys.

Bandymo metu naudojamas skritulio formos, 140 mm skersmens, veltinis. Ant veltinio uždedamas tiriamasis bandinys, gerąją pusę į viršų. Įtaisymo svareliu bandinys apkraunamas, kad gerai prisispautų ir nesudarytų raukšlių, tuomet bandinys įveržiamas užveržiančiu žiedu. Bandymas vyksta kol pasiekiamas lentelėje numatytas sūkių skaičius (2.1 lentelė).



**2.1 lentelė.** Megztų medžiagų atsparumo pūkuotumui ir pumpuravimuisi programa.

Tekstilės tipas	Abrazyvo tipas	Apkrovos masė (svoris)	Įvertinimo stadija	Sūkių skaičius
<b>Megztos medžiagos</b>	Bandomoji megzta medžiaga (geroji pusė/geroji pusė) arba vilnonė medžiaga	155±1	1	125
			2	500
			3	1000
			4	2000
			5	5000
			6	7000

Turint visus 6 bandinius, jie apšviečiami šviesos šaltiniu taip, kad krentanti šviesa su bandinio paviršiumi sudarytų nuo 5° iki 15° kampą. Žiūrėti reikia taip, kad atstumas nuo akių iki bandinio paviršiaus būtų nuo 30 cm iki 50 cm. Siekiant kuo tikslesnio įvertinimo, pūkuotumo ir pumpuravimosi laipsnį vertina trys nepriklausomi stebėtojai.

Pūkuotumo ir pumpuravimosi laipsnis nustatomas remiantis 2.2 lentelėje pateiktais aprašais.

**2.2 lentelė.** Mezginių pūkuotumo ir pumpuruotumo įvertinimo aprašas.

Laipsnis	Aprašymas
5	Nepasikeitė.
4	Nežymus pūkavimasis paviršiuje ir (arba) dalinai susiformavę pumpurėliai.
3	Vidutinis pūkavimasis paviršiuje ir (arba) vidutinis pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai dalinai dengia bandinio paviršių.
2	Ryškus pūkavimasis paviršiuje ir (arba) ryškus pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai dengia didelę bandinio paviršiaus dalį
1	Ypač ryškus pūkavimasis ir (arba) ypač ryškus pumpuravimasis. Įvairaus dydžio ir tankumo pumpurėliai dengia visą bandinio paviršių.

## 2.7 Atsparumo dilinimui nustatymas.

Šiam bandymui atlikti naudojamas Martidale' o bandymų įrenginys, kurio vaizdas pateiktas 2.4 pav. Bandymas atliekamas vadovaujantis LST EN ISO 12947-1:2001 standartu.

Iš keturių bandomųjų mezginių buvo iškerpama po šešis apskritimo formos bandinius kurių skersmuo 38 mm, bandiniai įtvirtinami laikikliuose. Tuomet veikiami numatyta jėga, trinami abrazyvu (standartine medžiaga kurios skersmuo nemažesnis nei 140mm) , slenkamaisiais judesiai (judėjimo trajektorija piešia vadinamąją Lissajous figūrą) [22].

Mezginių atsparumas dilinimui įvertinamas nustatant bandinio masės nuostolį ir jį išreiškiant procentais. Masės nuostolis nustatomas kiekvienam pasirinktam sūkių skaičiui, kuriam esant bandinys suyra [22].

## 2.8 Statistinių rodiklių skaičiavimo metodika.

Siekiant atlikti eksperimentų duomenų analizę, skaičiuojami šie statistiniai rodikliai:

- Aritmetinis vidurkis  $\bar{x}$
- Vidutinė kvadratinė nuokrypa  $S$
- Variacijos koeficientas  $V$
- Absoliutinė atsitiktinė paklaida  $\Delta_a$
- Santykinė absoliutinė paklaida  $\delta_a$

Aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} ; \quad (8)$$

čia  $\bar{x}$  – aritmetinis vidurkis;  $x_i$  – bandymų rodiklių vertės;  $n$  – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Bandymų rezultatų sklaida apibūdinama vidutine kvadratine nuokrypa, parodydama elementariųjų bandymų verčių nutolimą nuo aritmetinio vidurkio.

Apskaičiuojama pagal formulę:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} ; \quad (9)$$

čia  $S$  – vidutinė kvadratinė nuokrypa;  $x_i$  – bandymų rodiklių vertės;  $\bar{x}$  – aritmetinis vidurkis;  $n-1$  – vadinamasis laisvės laipsnių skaičius.

Variacijos koeficientas įvertina rezultatų sklaidą atsižvelgiant į elementariųjų bandymų skaičių ir į vidutinę bandymų vertę. Apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \% ; \quad (10)$$

čia  $V$  – variacijos koeficientas;  $S$  – vidutinė kvadratinė nuokrypa;  $\bar{x}$  – aritmetinis vidurkis.

Santykinė absoliutinė paklaida apskaičiuojama pagal formulę:

$$\Delta_a = \frac{t_a \cdot S}{\sqrt{n}} \cdot 100\% ; \quad (11)$$

čia  $\Delta_a$  – santykinė absoliutinė paklaida;  $t_a$  – Stjudento kriterijus;  $S$  – vidutinė kvadratinė nuokrypa;  $n$  – elementariųjų bandymų eksperimento taške skaičius.

Santykinė absoliutinė paklaida parodo rezultatų sklaidą atsižvelgiant į elementariųjų bandymų skaičių ir vidutinę bandymų vertę, išreikšiamą procentais. Apskaičiuojama pagal formulę:

$$\delta_a = \frac{\Delta_a}{x} ; \quad (12)$$

čia  $\Delta_a$  – absoliutinė atsitiktinė paklaida, %;  $\bar{x}$  – aritmetinis vidurkis.

### 3. Tiriamoji dalis

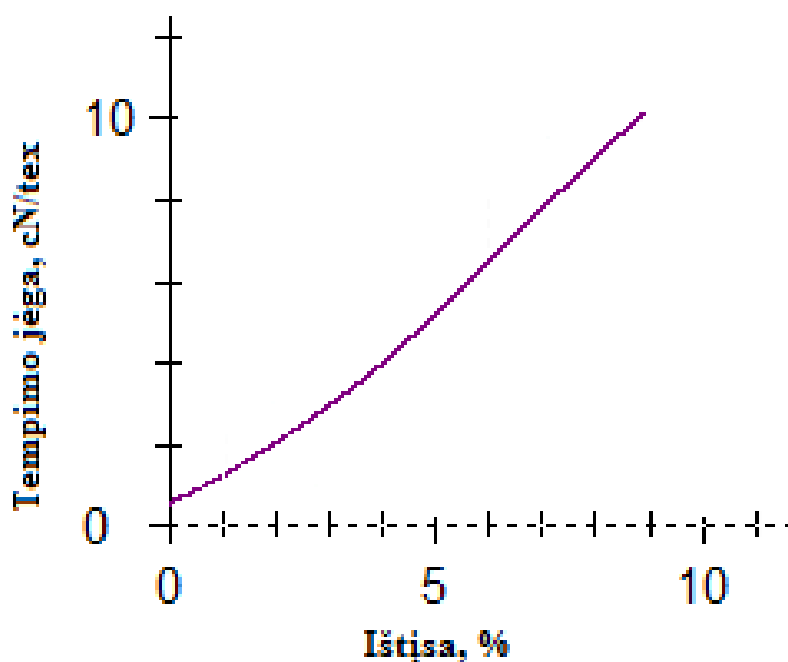
#### 3.1 Verpalų stipruminių sąvybių nustatymo tyrimas

Siūlų stiprumas ir išilginė deformacija yra savybės, lemiančios verpalų kokybę, bei panaudojimo spektrą. Stiprumas nėra labai svarbi savybė lemianti verpalų panaudojimo galimybes mezgime, nes verpalų patiriami įtempiai nebūna maksimalūs ir dažniausiai mezgimo metu siekia 1.5-3.5 cN [21].

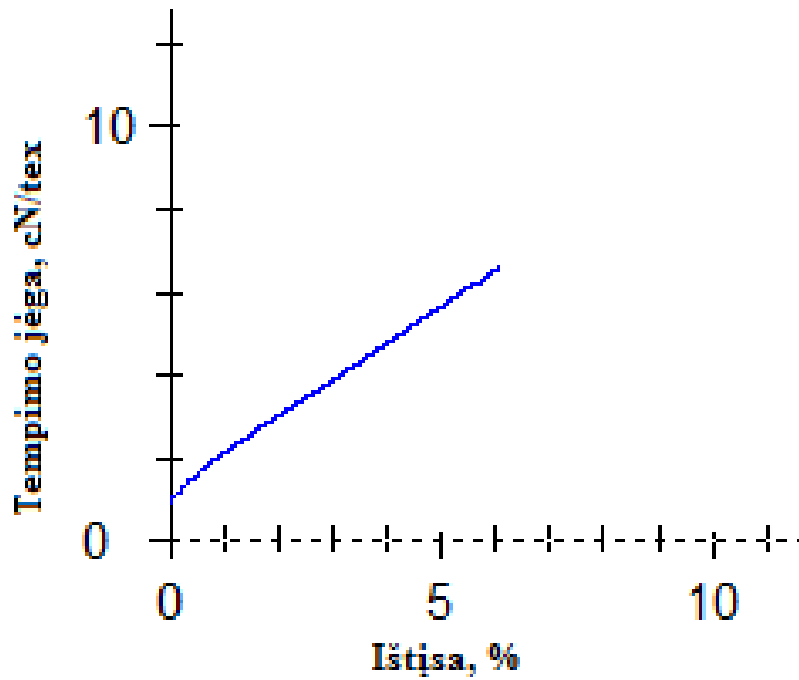
Verpalų tamprumas yra daug svarbesnė verpalų savybė, lengvinanti verpalų sėkmingą panaudojimą mezgime. Taip yra, nes netamprūs verpalai, dažnai sukelia problemų mezgimo metu: siūlai trūkinėja - krenta mezgimo našumas, padidėja brokuotų mezginių atsiradimo tikimybė. Kai kuriais atvejais, didelį standumą turintys verpalai yra visiškai netinkami mezgimui. Todėl, norint įsitikinti, ar turimi verpalai potencialiai tinkami mezgimui, buvo atliktas tempimo bandymas, kurio rezultatai pateikti 3.1 lentelėje. Pusciklio tempimo kreivės pateiktos 3.1 ir 3.2 pav.

3.1 lentelė. Verpalų trūkimo charakteristikos.

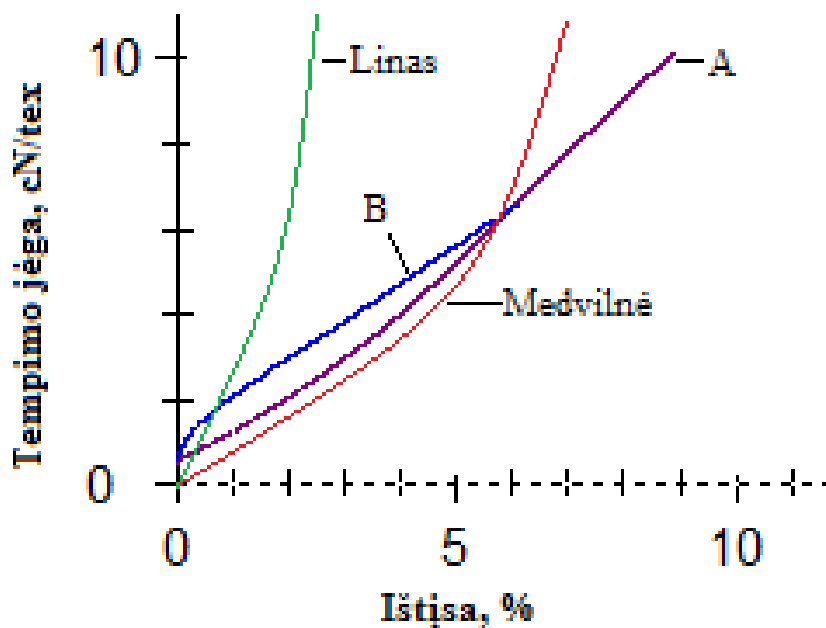
Verpalas	Trūkimo jėga F, cN/tex	Trūkimo jėgos variacijos koef. $V_F$ , %	Trūkimo ištįsa $\epsilon$ , %	Trūkimo ištįsos variacijos koef., $V_\epsilon$
A	9.452	8.15	9.895	6.61
B	6.611	6.44	15.47	11.54



3.1 pav. Verpalų A, pusciklio tempimo diagrama.



3.2 pav. Verpalų B, pusciklio tempimo diagrama.



3.3 pav. Celiuliozinių verpalų tempimo diagramos [23].

Iš 3.3 pav. Matyti, jog A ir B verpalai turi mažesnę stiprumą už tempimo diagramoje pavaizduotus lininius (sauso verpimo 70 tex) ir medvilninius (2 x 25 tex, kočiotiniai) verpalus [23]. Verpalų A ir B standumas daug mažesnis už lininio verpalo ir labai panašus į medvilnės (iki tempimo jėga pasiekia 6 cN/tex). Tempimo jėgos diapazone tarp 1.5-3.5cN, kuriame yra dažniausiai verpalų mezgimo metu veikiančios tempimo jėgos vertės [21], A verpalo ištiša

didesnė už B verpalą ištįsą, tačiau abiejų verpalų ištįsos šiame diapazone buvo panašios ir tik truputį mažesnės už tipinę medvilninio verpalą ištįsą. Tokie rezultatai parodo, didelį potencialą verpalų pritaikymui mezgime.

### 3.2 Kanapių pluošto pritaikomumas mezgimo procesui

Prieš mezgimą, būtina pervijimo operacija. Jos metu pašalinami vidiniai verpalų įtempiai, įsitikinama ar nėra verpale ydų (didelių mazgų, ryškaus verpalų suplonėjimo, susilpnėjimo). Siūlas pervežamas ant kūginės ritės, gauta pakuotė tinkamesnė mezgimo procesui, nes nuo jos verpalas nusiveja lengvai, o pervijimo operacijos metu pašalinus vidinius įtempius, verpalas suvyniojamas vienodu kietumu visame savo ilgyje. Pervijimui naudojama 8 galvučių precizinio pervijimo mašina (3.4 pav.). Pervijimo metu, siūlą paviršius padengiamas parafinu, tai dar labiau palengvina mezgimo procesą, nes toks verpalas lengviau slysta pro mezgimo mašinos kreiptukus, temptukus, kompensatorių akutes ir siūlvedžių akutes.

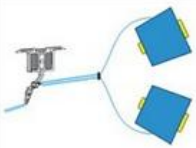
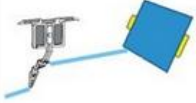


3.4 pav. Precizinio pervijimo mašina (CORCHI LETTROMECCANICA, Italija).

Žinant verpalo ilginį tankį, galima nuspręsti kokios klasės mezgimo mašiną naudoti. Tam naudojamės mezgimo mašinų gamintojo STOLL rekomendacine lentele, pateikta 3.5 pav. Tiesa tam, kad pasinaudoti lentele, reikia pasiversti ilginį tankį  $T$ , į verpalo storio matavimo vienetą Nm. Tą darome pagal pateiktą formulę:

$$Nm = \frac{1000}{T}; \quad (13)$$

čia Nm - verpalo storį nurodantis numeris, T – verpalo ilginis tankis, tex.

Gauge	assembled processing [Nm]	Final count [Nm]
	 <p>Several fine threads are assembled and fed as a thick yarn to the yarn carrier.</p>	 <p>Yarn thickness of the assembled threads Example: <math>6 \times 16/2</math> <math>16/2=8</math> <math>8:6=1,33</math></p>
2	6 x 16/2	1,2 - 1,4
2.5	6 x 18/2	1,3 - 1,6
3	5 x 18/2	1 - 2
3 m.3L	15 x 20/2	0,65 - 1
3.5	6 x 24/2	1,4 - 2,5
4	5 x 24/2 6 x 34/2	1,4 - 3
5	4 x 24/2 4 x 34/2	3 - 4,5
7	2 x 22/2 2 x 28/2	4,5 - 7
8	2 x 24/2 2 x 34/2	6 - 8
10	2 x 36/2 1 x 24/2	8 - 12
12	1 x 24/2 2 x 44/2	10 - 18
14	1 x 28/2 2 x 40/1	14 - 20
16	1 x 48/2 1 x 54/2 1 x 60/2	20 - 30

3.5 pav. Mezgimo mašinos klasės parinkimo pagal siūlo storį, rekomendacinė lentelė [21].

Bandiniai buvo mezgami plokčiomis fanginėmis, STOLL CMS 530 HP mezgimo mašinomis (3.6 pav), 10E ir 12E klasėmis (mašinos klasės pasirinktos pagal turimų verpalų storį ir rekomendacijas nurodytas 3.5 pav.)



**3.6 pav.** STOLL CMS 530 HP mezgimo mašina [21].

Mezgimas 10E klasės mezgimo mašina, naudojant verpalą A:

- A verpalą mezgimo metu, buvo susiduriama su nesklaidumais. Dėl nevienodos verpalų kokybės, buvo vizualiai matomi verpalų suplonėjimai ir sustorėjimai, dėl kurių mezgimo metu, verpalas trūkinėjo, mezginiai buvo skylėti. Visgi, sumažinus mezgimo mašinos karnetų judėjimo greitį iki 0.7 m/s, mezgant lygiuotu skersiniu pynimu (A1), mezgimas vyko sklandžiai.
- Mezgant lastikinį pynimą (A2) verpalai trūkinėjo dar intensyviau. Mezgant dvejomis adatinėmis, kilpų sudarymo metu verpalas patiria tempimą priešingomis kryptimis, o dėl itin didelio kanapių pluošto standumo ir nevienodos kokybės, vietose kur buvo suplonėjimai, verpalas trūkdavo. Mezginiai buvo skylėti. Greitį sumažinus dar labiau iki 0.6 m/s ir maksimaliai sumažinus lekštinių temptukų sukuriamą verpalų įtempį, bandiniai buvo numezgti. Sudaromų raštų kuponų mezgimas nedideliais greičiais.

Mezgimas 12 E klasės mezgimo mašina, naudojant verpalą B:

- Mezgant verpalą B, lygiuotu skersiniu pynimu (B1) buvo susiduriama su tomis pačiomis problemomis, kaip mezgant verpalą A. Visgi, parinkus nedidelį mezgimo greitį (0.7 m/s) ir maksimaliai sumažinus verpalų patiriamą tempimą mezgimo mašinos temptukuose, mezgimas vyko sklandžiai.







- Mezgant lastikinį pynimą (B2), verpalas buvo linkęs trūkinėti. Mezgant dvejomis adatinėmis, kilpų sudarymo metu verpalas patiria tempimą priešingomis kryptimis, todėl silpniausiose verpalo vietose – trūksta. Greitį sumažinus dar labiau iki 0.6 m/s ir maksimaliai sumažinus lekštinių temptukų sukuriama verpalo įtempį, bandiniai buvo numezgti.

### 3.3 Mezginių sandaros rodikliai.

Numezgti bandiniai buvo palikti „atsigulėti“ 48 valandas, tuomet patalpinti į kondicines sąlygas ir dar po 24 valandų, buvo matuojami mezginių sandaros rodikliai. Matavimų ir skaičiavimų rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Mezginių sandaros rodikliai.

Mezginio žymėjimas	A1	A2	B1	B2
Ilginis tankis (T), tex	66 x 2		67	
Pynimas	Lygusis skersinis	Lastikinis	Lygusis skersinis	Lastikinis
Siūlo klojimo schema				
Vertikalusis tankumas, Pv	7.5 ± 0.32	6.5 ± 0.20	10 ± 0.11	7 ± 0.34
Horizontalusis tankumas, Ph	5.5 ± 0.08	11 ± 0.18	7 ± 0.20	14 ± 0.18
Kilpos žingsnis (A)	1.818	0.909	1.429	0.714
Kilpos aukštis (B)	1.333	1.538	1	1.333
Tankumų santykio koeficientas (C)	0.733	1.692	0.670	1.867
Faktinis kilpos ilgis (l), mm	7.650 ± 0.12	7.775 ± 0.08	5.867 ± 0.07	6.033 ± 0.14
Paviršinis tankis M, g/m <sup>2</sup>	416.688	733.805	275.080	424.422

### 3.4 Mezginių laidumo orui nustatymas

Viena iš svarbių vartojamųjų savybių mezginiams yra laidumas orui. Laidūs orui mezginiai ne tik leidžia odai lengviau kvėpuoti, tačiau ir padeda išgarinti drėgmę. Šią savybę lemia:

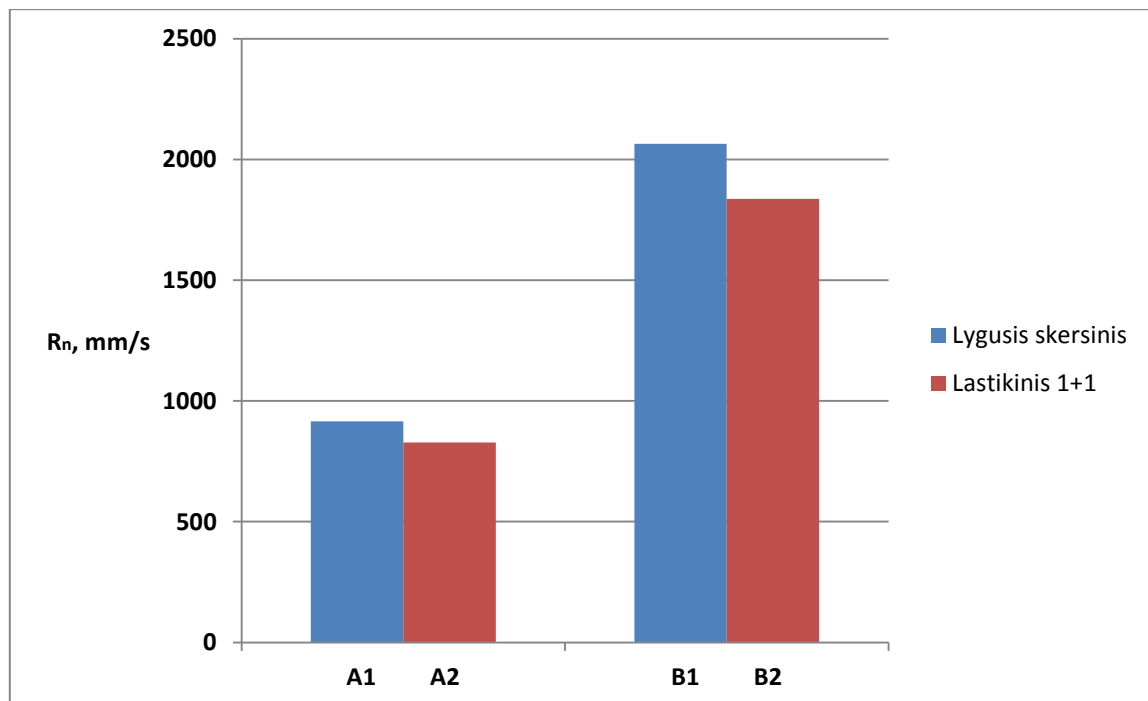
- Mezginių tankumas
- Paviršinis tankis

- Pynimas
- Pluošto savybės
- Apdaila

Siekiant įsitikinti kaip mezginių laidumą orui veikia skirtingi pynimai ir paviršinis mezginio tankumas, buvo atliktas laidumo orui bandymas, kurio rezultatai pateikti 3.3 lentelėje ir 3.7 pav.

**3.3 lentelė.** Mezginių laidumo orui rezultatai.

Mezginio žymėjimas	A1	A2	B1	B2
Laidumas orui D, mm/s	915.16	828.32	2064.12	1837
Vidutinė kvadratinė nuokrypa, S mm/s	140.915	72.409	160.876	118.087
Variacijos koeficientas V, %	15.398	8.742	7.794	6.428
Mezginio paviršinis tankis, M g/m <sup>2</sup>	416.688	733.805	275.080	424.422



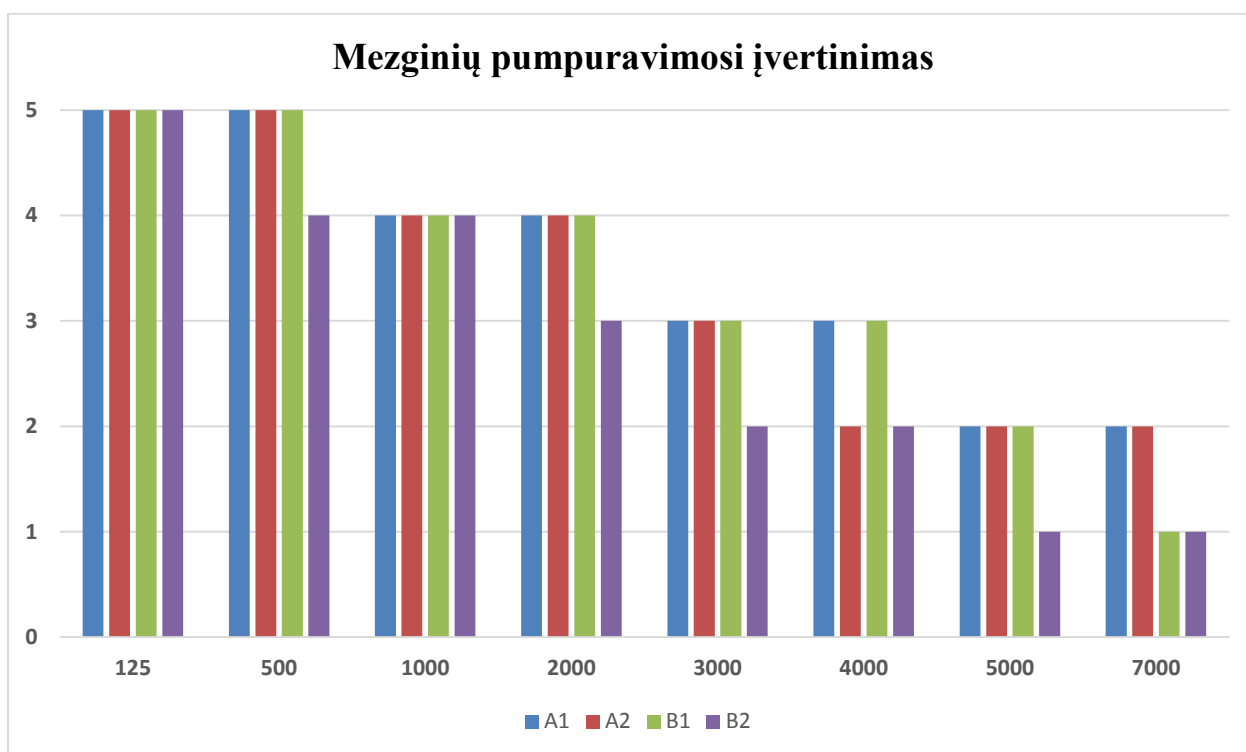
**3.7 pav.** Mezginių laidumo orui rezultatai.

Iš 3.7 pav. Pateiktame grafike matome, jog didesnis laidumas orui buvo mezginių numegztų lygiuoju skersiniu pynimu, tačiau skirtumas tarp pynimų buvo labai nedidelis ir siekė nuo 9 iki 11%. Taip pat laidumas orui beveik nepriklausė nuo ryškiai besiskyrusio paviršinio mezginio tankumo. Dėl tokių rezultatų galima daryti išvadą, jog didžiausią įtaką mezginio oro laidumo savybei turi verpalų storis, kuris daro įtaką mezginio paviršiaus užpildymo koeficientui. Mezginių paviršinis tankis bei pynimas šiai savybei didelės įtakos nedaro.

### **3.5 Mezginių atsparumo pumpuravimuisi nustatymas**

Pumpurėliai susidaro, kai tekstilės medžiagos paviršiuje atsiranda tankiai susinarpliojusio pluošto gumulėliai. Jie atsiranda palaipsniui dėl trinties, vartojant. Pluošto susivėlimas, kai susiformuoja ant paviršiaus pumpurėliai arba paviršiuje esančio pluošto padaugėjimas bei pluošto ar pumpurėlių nusidėvėjimas priklauso nuo pluošto, verpalų ir medžiagų savybių. Pumpurų susiformavimui įtaką daro: verpalų pluoštinė sudėtis, ilginis tankis ir medžiagos konstrukcija.

Po tam tikro sūkių skaičiaus nurodyto bandymo metodologijoje, bandiniai buvo išimami iš prietaiso ir prie tinkamo šviesos kritimo buvo nustatomas pūko bei pumpurų pasiskirstymas bandinio užimame paviršiaus plote. Atsparumas pūkavimuisi ir pumpuravimuisi nustatomas geroje mezginio pusėje, pagal pumpurų ir susivėlimo įtaką balais, kurią vertina nemažiau kaip trys nepriklausomi ekspertai. Iš ekspertų vertinimo išvedamas aritmetinis vidurkis. Rezultatai apvalinami iki sveiko skaičiaus. Bandymo rezultatai - mezginių pūkuotumo ir pumpuruotumo įvertinimai pavaizduoti grafiškai 3.8 pav.



**3.8 pav.** Mezginų pumpuravimosi įvertinimas balais.

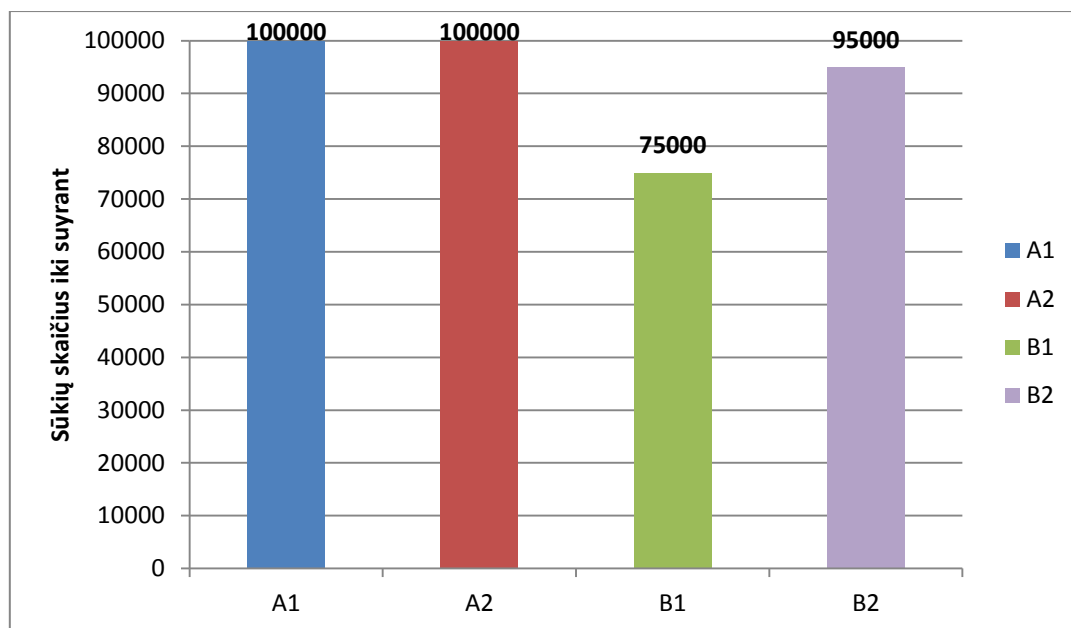
Atlikus atsparumo pumpuravimuisi ir pūkavimuisi bandymą, nustatyta, kad visi bandiniai atlaikė 7000 sūkių, tiesa jų paviršiaus susivėlimo laipsnis buvo skirtingas. A1 ir A2 mezginiai pasižymėjo geresniu atsparumu pumpuravimuisi ir pūkavimuisi, jų įvertinimas po 7000 sūkių buvo 2 balai, kai tuo tarpu B1 ir B2 mezginiai įvertinti vos 1 balu.

Didinant sūkių skaičių visų mezginų atsparumas pumpuravimuisi tolygiai mažėjo. Mažiausiu atsparumu pumpuruotumui ir pūkuotumui pasižymėjo mezginiai B2, megzti lastikiniu 1+1 pynimu ir verpalais, turinčiais sudėtyje daugiau medvilnės pluošto. Po 500 sūkių jau buvo matyti mezginio paviršiuje pumpurų užuomazgos, o minimalų 1 balo įvertinimą šie mezginiai pasiekė po 5000 sūkių.

### 3.6 Mezginų atsparumo dilinimui nustatymas

Suprojektuotų mezginų iš mišriapluoščių kanapių ir medvilnės pluoštų verpalų vartojimui, svarbus veiksnys yra atsparumas dilinimui. Drabužiai dyla labiausiai lankstomose ir lietimosi su kitais paviršiais vietose. Dilinimas yra medžiagos dėvėjimasis dėl trinties, mažėjant medžiagos masei.





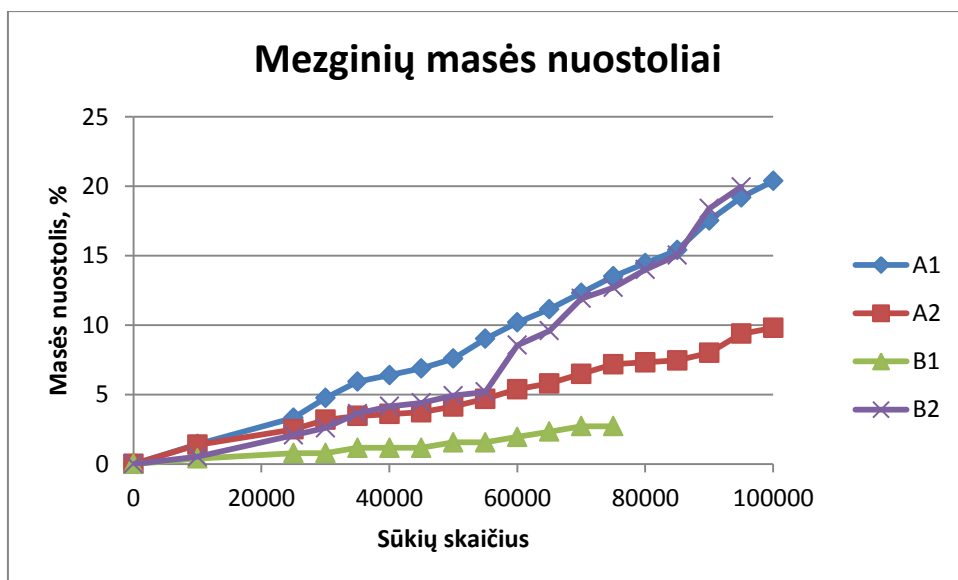
**3.9 pav.** Maksimalus sūkių skaičius iki mezginiui suyrant.

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad A varianto mezginiai, megzti tiek lygiuoju skersiniu pynimu, tiek lastiku 1+1, kurių pluoštinė sudėtis yra 45 % medvilnės ir 55% kanapių pluošto, pasiekė 100000 dilinimo sūkių. Bandiniai dar nebuvo visiškai suirę po šio bandymo, bet paviršiuje atsirado mažų skylučių. Mezginiai iš B verpalų, megzti lygiuoju skersiniu pynimu, kurių sudėtyje yra daugiau medvilnės pluošto, atlaikė tik 75000 sūkių ir buvo suirę. O B2 varianto mezginiai, megzti lastikiniu 1+1 pynimu, atlaikė 95000 sūkių iki suiro. Bandymo rezultatai – atlaikytų sūkių skaičiai, pateikti 3.9 pav.

Iš gautų rezultatų pateiktų 3.4 lentelėje, buvo apskaičiuojami masės nuostoliai procentais, kurie pateikti 3.5 lentelėje ir pavaizduoti grafiškai 3.10 pav.

3.5 lentelė. Mezginių iš kanapių pluošto vidutinė masės nuostoliai.

Vidutiniai bandinių masės nuostoliai po tam tikro sūkių skaičiaus, %	
Bandinys	
	10000 25000 30000 35000 40000 45000 50000 55000 60000 65000 70000 75000 80000 85000 90000 95000 100000
A1	1,422 3,318 4,739 5,924 6,398 6,872 7,583 9,005 10,190 11,137 12,322 13,507 14,455 15,403 17,536 19,194 20,379
A2	1,379 2,483 3,172 3,448 3,586 3,724 4,138 4,690 5,379 5,793 6,483 7,172 7,310 7,448 8,000 9,379 9,793
B1	0,388 0,775 0,775 1,163 1,163 1,163 1,1550 1,1550 1,938 2,326 2,713 2,713 - - - - -
B2	0,518 2,073 2,591 3,627 4,145 4,404 4,922 5,181 8,546 9,585 11,917 12,694 13,990 15,026 18,394 19,948 -



3.10 pav. Mezginių suminiai masės nuostoliai.

Iš 3.10 pav. Matyti, jog didžiausi masės nuostoliai buvo A1 ir B2 mezginių ir siekė atitinkamai 20,379 % ir 19,948 %. Šie du bandiniai nors ir buvo numegzti skirtingais

pynimais, turėjo beveik vienodą paviršinį mežginio tankį (atitinkamai 416.688 ir 424.422 g/m<sup>2</sup>). Mažiausio tarp bandinių paviršinio tankio mežginio B1 ir didžiausio paviršinio tankio mežginio A2 masės nuostoliai ženkliai mažesni. Mažiausi masės nuostoliai buvo B1 mežginio, ir siekė vos 2,713 %. Tiesa būtent B1 mežginys buvo mažiausiai atsparus dilinimui ir suiro pasiekęs kiek daugiau nei 75000 sūkių.



## Išvados

1. Darbe buvo ištirtos mišriapluoščių verpalų, iš kanapių ir medvilnės pluoštų, stipruminės savybės. Verpalų, kurių sudėtyje yra daugiau kanapių pluošto santykinė trūkimo jėga yra 30 % didesnė už verpalus, kurių sudėtyje yra daugiau medvilnės pluošto.
2. Verpalų A ir B standumas daug mažesnis už lininio verpalą ir labai artimas medvilninio verpalą standumui, ypatingai tai matoma tempimo jėgos diapazone tarp 1.5-3.5cN, kuriame yra dažniausiai verpalą mezgimo metu veikiančios tempimo jėgos vertės.
3. Nustatyta, kad verpalų panaudojimas mezgimui yra galimas, tačiau tik sudarant nesudėtingus pynimus vienos ir dviejų adatinių mezgimo pynimų bazėse.
4. Nustatyta, specialios sąlygos, kuriomis verpalai sėkmingai panaudoti mezgimui: mezgimo mašinos kariatės judėjimo greitis mezgimo metu 50-60% maksimalaus greičio, prieš mezgant verpalams atlikta pervijimo operacija.
5. Laidumo orui priklausomybė nuo mezginio pynimo parodė, kad kuo storesnis meginys, tuo laidumas orui mažesnis. Laidumas orui yra didesnis mezginių numegztų lygiuoju skersiniu pynimu.
6. Tiriant mezginių pynimo įtaką atsparumui nuo pumpuravimosi nustatyta, kad didinant sūkių skaičių visų mezginių atsparumas pumpuravimuisi tolygiai mažėjo, atsparesni dilinimui buvo meginiai numegzti iš A verpalų.
7. Tiriant mezginių pynimo įtaką atsparumui dilinant, nustatyta, kad dilinimui atsparesni meginiai yra numegzti iš A verpalų. Mažiausią dilinimų sūkių skaičių atlaikė meginiai, megti lygiuoju skersiniu pynimu, mezgant B tipo verpalais, kurių sudėtyje yra 60 % medvilnės pluošto.
8. Pastebėta, jog didesnis masės nuostolis dilinimo metu buvo mezginių, turinčių vidutinį mezginio paviršinį tankį ( $416.688$  ir  $424.422$  g/m<sup>2</sup>), tuo tarpu mezginių su ženkiai didesniu paviršiniu tankiu ( $733.805$  g/m<sup>2</sup>) masės nuostolis du kartus mažesnis, o mažo paviršinio tankio ( $275.080$  g/m<sup>2</sup>) mezginio masės nuostolis, daugiau nei 4.5 karto mažesnis.

## Išvados(2)

9. Pastebėta, jog mėginys B1 – numegztas lygiuoju skersiniu pynimu, iš verpalų kurio sudėtyje yra 40% kanapės pluošto, turėjo mažiausius masės nuostolius, kurie po 75000 sūkių, siekė vos 2.713 %.

## Literatūros sąrašas.

1. GRZEBISZ, W., CHUDZINSKI, B., DIATTA, J.B. ir BARLOG, P., *Photoremediation of Soils Contaminated by Copper Smelter Activity. Part II. Usefulness of Non-Consumable Crops*. Natural Fibres, Special edition, 118-112, Flax and Other Bast Plants Symposium. Poznan, 1997.
2. SZALKOSKI, Z. ir PARADNIK, R. *Retting Enginner Guidebook.*, Warsaw, 1965.
3. WIENER, J., KOVAČIČ, V., DEJLOVA, P. *Differences between Flax and Hemp*. Tethical University of Liberec. AUTEX Research Journal 3 (2): 58-63), 2003
4. SZALKOSKI, Z. *Principals of Chemical Technology of Bast Raw Materials and Fibres*, Warsaw, 1967
5. BLACKBURN, R.S. *Biodegradable and sustainable fibers*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2005.
6. GRABOWSKA L., BARANIECKI P. *Three Year Results on Utilization of Soil Polluted by Copper. Produciln Industry of Cultivation of Industrial Crops*. Natural Fibres, Special Edition, 123-131, Flax and Other Bast Plants Symposium 30.09-01.10.1997. Poznan.
7. Tiesioginės išmokos. *2011 m. pasėlių deklaravimo statistika pagal savivaldybių žemės ūkio skyrius (SŽŪS) [interaktyvus]*. Nacionalinė mokėjimo agentūra Prieiga per internetą: < <https://www.nma.lt/index.php/parama/tiesiogines-ismokos/statistika/349> [Peržiūrėta 2016.05.11] >.
8. KANIWSKI R., KUBACKI A., KONCZEWICZ W. *The Technology of Mechanical Harvesting of Hemp for Fibre. Alosing for Separate Harvesting of Hemp Tops and for Seed Production*. Second Global Workshop „Bast Plants in the New millenium“. Natural Fibres. Special Edition. Poznan, 2001.
9. MÜNDER, F., FÜRLI, Ch., HEMPEL H. *Advanced Decortication Technology for unretted Bast Fibres*. Journal of Natural Fibers. The Institute of Agricultural Engineering 1 (1): 49-65, 2004
10. FORTENBERY, T. R., BENNETT, M. *Opportunities for Commercial Hemp Production*. Review of Agricultural Economics 26(1): 97-117, 2004
11. PECENKA, R. et al. *Design of Competitive Processing Plants for Hemp Fibre Production*. International Scholarly Research Network ISR Agronomy. Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim (ATB) Potsdam, Gemany 5 p. 2012
12. LST EN ISO 139:2005. *Tekstilė: Standartinė kondicionavimo ir bandymo aplinka*. (ISO 2062:2009)
13. LST EN ISO 2062:2010. *Tekstilė. Siūlai pakuotėse. Pavienio siūlo trūkimo jėgos ir ištiesos trūkstant nustatymas naudojant bandymo aparatą, tempiantį pastoviu greičiu*. (ISO 2062:2009)
14. Prieiga per internetą. <http://www.zwick.com/en/news/news-detail/article/pruefen-mit-kuehlem-kopf-zwick-pruefmaschine-bei-ebm-pabstn.html> [Peržiūrėta 2016.04.03]
15. BS 5441:1988. *Methods of test for knitted fabrics*. 2012.

16. LST EN 14971:2006. *Tekstilė. Megztinės medžiagos. Kilpų skaičiaus vienetiniame ilgyje ir plotyje nustatymas.*
17. TVARIJONAVIČIENĖ, Beata. *Mezginių sandara ir analizė: mokomoji knyga.* Kaunas: Technologija, 2009.
18. LST EN ISO 9237:1997. *Tekstilės medžiagos. Medžiagų laidumo orui nustatymas.*
19. LST EN ISO 12945-2:2000. *Tekstilė. Tekstilės medžiagų polinkio pūkuotis ir pumpuruotis nustatymas. 2 dalis. Modifikuotas Martindale'o metodas (ISO 12945-2:2000).*
20. MILAŠIUS, R. *Tekstilės eksperimento teorija ir praktika.* Kaunas: Technologija, 2011.
21. H.Stoll Gm H&Co. KG. *CMS handling and knitting technique.* Reutlingen, 2013.
22. LST EN ISO 12947-1:2001. *Tekstilė. Tekstilės medžiagų atsparumo dilinimui nustatymas Martindale'o metodu. Martindale'o atsparumo dilinimui bandymo prietaisas. (ISO 12947-1:1998)*
23. MATUKONIS, A., PALAIMA, J., VITKAUSKAS, A. *Tekstilės medžiagotyra.* Kaunas: Mokslas, 1989.