



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

KIULISE KOOSTISE MÕJU TEKSAKANGA FÜÜSIKALIS-MEHAANILISTELE OMADUSTELE

EFFECT OF FIBRE COMPOSITION ON PHYSICO- MECHANICAL PROPERTIES OF DENIM FABRIC

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Gretel Brus

Üliõpilaskood: 206473EANB

Juhendaja: Tiia Plamus, vanemlektor

Kaasjuhendaja: Nele Mandre, doktorant

Tallinn 2023

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." 20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Gretel Brus

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
"Kiulise koostise mõju teksakanga füüsikalise-mehaanilistele omadustele",

mille juhendaja on Tiia Plamus ja kaasjuhendaja on Nele Mandre,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna
Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse
tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna
kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni
autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Gretel Brus, 206473EANB

Õppekava, peaeriala: EANB16/17, Materjalitehnoloogia

Juhendaja: vanemlektor, Tiia Plamus, 6202904

Kaasjuhendaja: doktorant, Nele Mandre

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kiulise koostise mõju teksakanga füüsikalis-mehaanilistele omadustele

(inglise keeles) Effect of fibre composition on physico-mechanical properties of denim fabric

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kolme- ja neljakomponentsete teksakangaste kiulise koostise mõju analüüsimine teksakanga füüsikalis-mehaaniliste omadustele ning optimaalseima koostise leidmine.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjandusliku ülevaate koostamine	27.03.2023
2.	Materjalide valiku määramine	31.03.2023
3.	Katsetuste läbiviimine	28.04.2023
4.	Tulemuste analüüs	01.05.2023
5.	Kaitsmistootluse esitamine	08.05.2023
6.	Bakalaureusetöö esitamine	05.06.2023
7.	Bakalaureusetöö kaitsmine	09.06.2023

Töö keel: Eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 5.juuni 2023a

Üliõpilane: Gretel Brus 5. juuni 2023a

/allkiri/

Juhendaja: Tiia Plamus 5. juuni 2023a

/allkiri/

Kaasjuhendaja: Nele Mandre 5. juuni 2023a

/allkiri/

Programmijuht: Tiia Plamus 5. juuni 2023a

/allkiri/

Lühendite ja tähiste loetelu

cN/tex – sentinjuutonit teksi kohta

CO – puuvill

dtex – detsiteks

EL – elastaan

g/tex – grammi teksi kohta

Nm – meetriline number

PES – polüester

VI – viskoos

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu	6
EESSÕNA.....	9
SISSEJUHATUS	10
1. TEKSAKANGAS JA SELLE AJALUGU	12
1.1 Teksakanga struktuur	13
1.2 Kiuline koostis	15
1.2.1 Peamiste teksakanga kiudude omadused	16
1.3 Teksakanga kasutamine tänapäeval.....	19
1.3.1 Teksarõivad	19
1.3.2 Teised rakendusalaad	19
2. TEKSAKANGA TOOTMINE	20
2.1 Lõnga ketramine	20
2.1.1 Rõngasketrus	20
2.1.2 Rootorketrus	21
2.1.3 Kompaktne ketrus	21
2.2 Lõngade värvimine	22
2.2.1 Indigo	22
2.2.2 Muud värvid	22
2.3 Viimistlemine	22
2.3.1 Kivipesu	22
2.3.2 Ensüümpesu	23
2.3.3 Happepesu.....	23
2.4 Teksakanga tootjad	24
3. TEKSAKANGA TOOTMISE MÕJU KESKKONNALE	25
3.1 Jäätmed	25
3.2 Ümbertöötlemine.....	25
3.2.1 Mehaaniline	25
3.2.2 Keemiline	26
4. TEKSAKANGA OMADUSED	27
4.1 Miinimumnõuded teksakangale.....	29
5. KASUTATUD MATERJALID JA MEETODID	30
5.1 Materjalid	30
5.2 Meetodid	31
5.2.1 Katsekehade konditsioneerimine.....	32
5.2.2 Pindtihedus	32
5.2.3 Riide tihedus	33
5.2.4 Tõmbetugevus	33
5.2.5 Rebimistugevus	34

5.2.6 Hõõrdekindlus	35
5.2.7 Õhuläbilaskvus	36
5.2.8 Mikroskoopia	37
6. TULEMUSED JA ANALÜÜS.....	39
6.1 Kiudude mikroskoopiline määramine.....	39
6.2 Pindtiheduse määramine	40
6.3 Riide tiheduse määramine	41
6.4 Tõmbetugevuse määramine	42
6.5 Rebimistugevuse määramine	44
6.6 Riide tiheduse ja hõõrdekindluse sõltuvuse hindamine	45
6.7 Riide tiheduse ja õhuläbilaskvuse sõltuvuse hindamine.....	47
7. JÄRELDUSED	49
KOKKUVÕTE	52
SUMMARY	54
KASUTATUD KIRJANDUS	56
LISAD	60
Lisa 1 Soojus- ja heliisolatsioonimaterjal Inno-Therm®/Métisse®	61
Lisa 2 Teksakangaste sidused	62
Lisa 3 Katseskeem koos katsemeetodite ja -seadmetega	64
Lisa 4 Hõõrdekindluse hõõrdetsüklite intervallid	65
Lisa 5 Teksakangaste K1-K8 lõime- ja koelõngade kiud	66
Lisa 6 Pindtiheduse arvutamise andmed.....	70
Lisa 7 Riide tiheduse arvutamise andmed	71
Lisa 8 Tõmbetugevuse arvutamise andmed	73
Lisa 9 Kangaste K1-K6 rebimistugevuse arvutamise lähteandmed	75
Lisa 10 Hõõrdekindluse katsekehad	78
Lisa 11 Õhuläbilaskvuse arvutamise lähteandmed	80

EESSÕNA

Käesolev bakalaureusetöö „Kiulise koostise mõju teksakanga füüsikalise-mehaanilistele omadustele“ viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudi tekstiilitehnoloogia laboris. Töö on seotud ettevõttega Põldma Kaubanduse AS, kelle eesmärk on leida võimalikult vastupidav ja mugav teksakangas.

Autor soovib tänada juhendajat Tiia Plamust, kes juhendas lõputöö läbiviimisel. Samuti oli suureks abiks kaasjuhendaja Nele Mandre, kes andis loa kasutada oma doktoriõppe raames katsetatud teksakangaste K6-K9 katsetulemusi analüüsimiseks ning pakkus abi praktilise osa läbiviimisel.

Bakalaureusetöös uuriti, kuidas mõjutab erinev protsentuaalne kiuline koostis puvilla-, polüester-, elastaan- ja viskooskiudu sisaldavate kolme- ja neljakomponentsete teksakangaste füüsikalise-mehaanilisi omadusi. Sellest lähtuvalt püüti leida kõige optimaalsem teksakanga kiuline koostis. Bakalaureusetöös kasutatud kangad on toodetud Türgi ettevõttes Kipaş Holding A.Ş. ja India ettevõttes KG Denim.

Võtmesõnad: teksakangas, füüsikalise-mehaanilised omadused, teksakanga kiuline koostis, bakalaureusetöö

SISSEJUHATUS

Teksakangas on maailmas üks vanimaid kangaid ning tänapäeval tekstiilitööstuses üks enim kasutatud materjale. See on tuntud kui vastupidav ning moes aegumatu kangas. Algselt kasutati teksatooteid tööriivastena, kuid tänapäeval toodetakse sellest põhiliselt igapäevaselt kantavaid riivaid. Peamiselt kasutatakse teksakangast teksapükste tootmiseks, kuid see on ka populaarne valik teiste riivaste, nagu jakkide, seelikute, pluuside ja kleitide valmistamisel. Kanga laialdasest kasutusest tekib ka palju jäätmeid, mistõttu on oluline kanga tootmisel arvestada, et valmistatud tooteid saaks võimalikult kaua kasutada ning nende ümbertöötlemine poleks keeruline. [1]

Keeruline on toota teksakangast, mis oleks heade tugevusomadustega, piisavalt õhkuläbilaskev, veniv, ei kuluks kiiresti ning oleks ka pika elueaga. Kangas sisalduvad kiud mõjutavad kanga kvaliteeti ja omadusi. Kiudude puhul on oluline nende tüüp, omadused ning tootmismeetod kui ka kiududest kedratud lõngad. Erinevate kiudude mõju uurimine teksariidele tagab paremad võimalused toota võimalikult head kangast arvestades selle tugevus- ja mugavusomadusi ning muuta sellega teksakangas jätkusuutlikumaks suurendades selle vastupidavust.

Antud bakalaureusetöö eesmärk on kolme- ja neljakomponentsete teksakangaste kiulise koostise mõju analüüsimine teksakanga füüsikalise-mehaanilistele omadustele ning optimaalseima koostise leidmine. Eesmärgi saavutamiseks määratakse teksakangaste pind- ja riide tihedus, tõmbe- ja rebimistugevus, õhuläbilaskvus ning hinnatakse vastupidavust hõõrdumisele. Lisaks teostatakse kangaste kiududele morfoloogiline analüüs, et määrata lõime- ja koelõngades sisalduvad kiud.

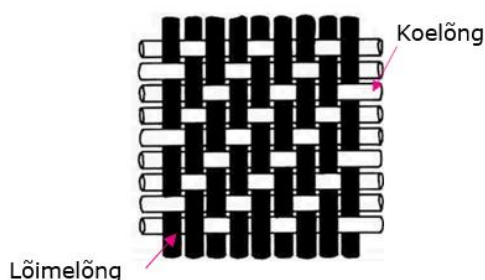
Töö raames uuritakse üheksat erineva kiulise koostisega kolmekomponentset ja neljakomponentsed kangast. Kolmekomponentsed kangad sisaldavad puuvilla, polüestrit ja elastaani ning neljakomponentsed sisaldavad puuvilla, polüestrit, elastaani ja viskoosi. Üheksast kangast nelja kanga pindtiheduse, riide tiheduse, tõmbe- ja rebimistugevuse ja hõõrdekindluse andmed on võetud analüüsimiseks ja võrdlemiseks Nele Mandre kirjutatud teadusartiklitest „Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fibre Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics” [2] ja „Impact of laser fading on physico-mechanical properties and fibre morphology of multicomponent denim fabrics” [3].

Bakalaureusetöö esimene pool annab ülevaate teksakangast ja selle omadustest, tootmisest, viimistlusest ning jätkusuutlikkusest. Teises pooles keskendutakse katsetatavatele materjalidele ning standarditele vastavate katsemeetodite

kirjeldamisele. Viimases osas avaldatakse katsete tulemused, analüüsitakse neid ning tehakse järeldused.

1. TEKSAKANGAS JA SELLE AJALUGU

Teksakangas on tugev ja vastupidav riie, mis koosneb koelõngadest, mida läbivad kaks või enamat lõimelõnga. Joonisel 1.1 on näidatud lõime- ja koelõngade paiknemine klassikalises teksakangas. Kanga madala keerdumusega koelõng on tavaliselt valge ning suurema keerdumusega lõimelõng on värvitud. Traditsiooniliselt on teksakanga lõimelõngad värvitud indigo sinise värviga. Valmis kootud teksakangal on sinine puuvillast kedratud lõimelõng pealmine nähtav osa ning valge alumine koelõng täitev osa. [1]



Joonis 1.1 Teksakanga lõime- ja koelõng [4]

Algselt kasutati teksakangast pükste, polsterdamise ja markiiside jaoks. Tänapäeval kasutatakse teksakangast kõige rohkem teksapükste tootmiseks. Toodetakse ka jakke, kotte, kleite, seelikuid, särke ja lühikesi pükse. [1]

Teksakangast tuntakse ka laialt levinud ingliskeelse sõna *denim* järgi. Arvatakse, et see sõna pärineb prantsuskeelsest sõnast *serge de Nimes*, mida tõlgendatakse kui toimse sidusega kangas, mis valmistati esimest korda Prantsusmaal, Nimes linnas. [5] Seevastu teksapüksid pärinevad Itaalia linnast Genoa, kus valmistati esimest korda puuvillaseid pükse. Alates 18. sajandist seostatakse teksariiet ka Ameerikaga, kuna seal hakati rohkelt kasutama indigo sinist värvi teksapükste värvimiseks. Sellest riigist sai alguse ka kõige tuntum teksakangast toodete valmistaja Levi Strauss. Kuigi Ameerikas kasutati indigo värvi teksamaterjali värvimisel palju, pärineb indigo sinine värv Indiast. Seal kasutati indigo värvi kõige esimesena, mistõttu on India pälvitud algse päritolu tiitli mainitud värvile. [1]

19. sajandil toodeti teksapükse Ameerika kaevanduse töötajatele (vt joonis 1.2). Tööriiete puhul oli oluline, et need oleksid piisavalt rebenemiskindlad, tugevad ja vastupidavad. Tänapäeval tuntud teksapükste firma asutaja Levi Strauss tootis kaevandajatele pükse, mis pidid vastama kaevanduses olevatele rasketele töötingimustele. Pükste eluea suurendamiseks kasutati tugevaid ja vastupidavaid

materjale ning kergemini rebenevatele kohtadele, nagu taskutele, kinnitati poldid. Tänu sellele kogus Levis Strauss tehtud toodetega kuulsust. [1]

Teksakangast pükse ei kasutatud ainult tööriietena. 1930. aastatel hakkid kauboid Hollywoodis teksapükse omastama kui osa oma rõivastusest ning II maailmasõja ajal kandsid sõdurid puhkuse ajal neid vabaajariietena. II maailmasõja ajal langes teksakanga tootmine, kuid peale sõda hakkasid erinevad teksakangast tootvad ettevõtted, nagu Wrangler ja Lee, uuesti tegutsema. [1] 1950. aastatel hakkasid noored kandma teksapükse väljendades sellega oma iseseisvust ja mässumeelset suhtumist ellu [5]. Seetõttu keelasid avalikud kohad, nagu teatrid ja koolid, teksade kandmist [1].

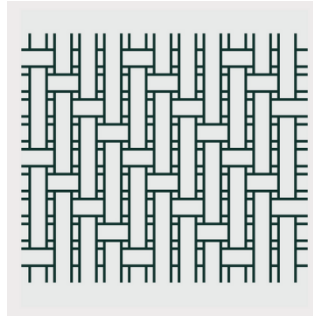


Joonis 1.2 Kaevanduse töötajad teksapükse tööpükstena kandmas 19. sajandil Ameerikas [6]

1.1 Teksakanga struktuur

Teksakanga struktuuri iseloomustatakse peamiselt kolme erineva sidusega, mille puhul on oluline lõime- ja koelõngade paiknemine kangas. Sidustel on korduv muster, mis tekib lõime- ja koelõngade üksteise peal asetsemise kordadest. Teksakanga siduseid liigitatakse toimseteks, murdtoimseteks ja atlass-sidusteks, mille seast kõige rohkem kootakse toimse sidusega teksakangast. Toimse sidusega kangaid kootakse kasutades murdarve $3/1$ ja $2/1$. Murdtoimse sidusega kangaid kootakse kasutades murdarve $3/1$ või $2/2$. Murdarvu lugeja näitab, mitu lõimelõnga läheb üle koelõnga ja murru nimetaja näitab, mitu koelõnga läheb lõimelõnga alt läbi. Siduses paremale või vasakule liikudes korratakse sama mustrit, kuid liigutakse diagonaalselt ühe rea võrra ülesse. Kui toimse

siduse diagonaalne joon liigub paremale poole, nimetatakse seda parempoolse toimejoonega toimseks siduseks. Vasakule poole liikudes kutsutakse toimset sidust vasakpoolseks. Joonisel 1.3 on näidatud parempoolne 3/1 toimne sidus. Murdtoimne sidus tekitatakse, kui toimejoon lõhutakse erinevate intervallidega. Joonisel 1.4 on näidatud 2/2 murdtoimne sidus. [1]

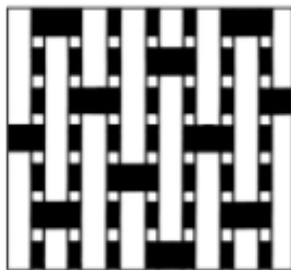


Joonis 1.3 3/1 toimne sidus [7]



Joonis 1.4 2/2 murdtoimne sidus [8]

Atlassidusega teksakangastel paiknevad lõimelõngad 1 cm^2 alal. Atlassiduses teksakangad on ka paksemad ja raskemad kui toimse sidusega kangad. [9] Teksakangal on atlassiduse murdarv $4/1$, mille puhul neli lõimelõnga läheb üle koelõngade ja üks koelõng läheb üle lõimelõngade. [1]. Atlassidus on hästi drapeeruv ja annab teksakangale pehmema tunde, läike ja luksulikuma välimuse. Võrreldes toimsete ja murdtoimsete sidustega on atlassidusega kangal pealmisel poolel rohkem lõimelõngu ning tätvate lõngadena vähem koelõngu. [9, 10] Joonisel 1.5 on $4/1$ atlassiduse struktuur.



Joonis 1.5 4/1 atlass-sidus [11]

1.2 Kiuline koostis

Esimesed teksakangad valmistati 100% puuvillast ning on siiani jäänud peamiseks kiuks teksakanga koostises [1, 12]. Teksakanga materjali lisatakse ka teisi erinevaid sünteet- ja tehiskiude. Üldjuhul lõimelõngad on valmistatud puuvillast ning sünteetilised ja tehiskiud on kedratud koelõnga sisse. Muude kiudude lisamine kanga koostisesse aitab muuta kanga omadusi vastavalt soovitud tulemustele. [1]

Teksakangasse lisatakse väikeses koguses elastaankiude, et muuta kangas elastsemaks, pakkudes toote kandmisel mugavust. Tavaliselt on selle kiu osakaal kangas kuni 5%. Elastaankiud suudavad pikeneda umbes 200% ning on hea kujumäluga. Kuigi elastaan annab teksakangale head funktsionaalsed omadused, pole selle lisamine lõnga südamikku lihtne. Elastaankiud on väga elastse ning sileda ja libeda pinnaga, mistõttu on lõnga ketramisel keeruline tagada kiu paiknemist lõnga südamikus. Kui elastaani filamentkiud ei püsi teiste kiudude keskel, võib hiljem viimistlusprotsessi käigus tekkida kangas defekte. [5]

Polüestrit lisatakse teksakangasse tugevusomaduste ja vastupidavuse tõstmiseks. Polüestri lisamine muudab teksakanga tootmise odavamaks ning kangastelgede töötlikkuse efektiivsemaks. [5]

Teksakanga koostisesse lisatakse ka puidutselluloosi massist valmistatud regenereeritud tselluloosikiude ehk tehiskiude, nagu viskoosi, modaali ja lyocelli. Tehiskiud on jätkusuutlikud kiud ning need võimaldavad muuta teksakanga tootmist keskkonnasõbralikumaks. Regenereeritud tselluloosikiud sobivad teksakanga kudumiseks tänu oma suurele veeimavusele ja õhuläbilaskvusele parandades kanga drapeeruvust. [5]

Regenereeritud tselluloosikiudude hulka kuuluvat kiudu lyocell tuntakse kaubandusliku nime Tencel järgi. Lyocelli kasutatakse teksakangas oma omaduse poolest olla märjas

olekus tugevam kui puuvill, säilitades 85% oma tugevusest kuivas olekus. Lisaks on lyocellil teised olulised omadused, nagu õhuläbilaskvus, dimensionaalne stabiilsus, vastupidavus, kergus, peensus ning võrreldes puuvilla ja viskoosiga kõrgem kortsumiskindlus. Tencel on ka kaks korda tugevam kui puuvill. Kiud on naha vastas olles meeldivama tundega ja suure õhuläbilaskvusega. [5]

Valmistatakse ka 100% Tencelit sisaldavat teksakangast kui ka segades seda teiste kiududega, nagu puuvillaga ja viskoosiga. 100% Tencelit sisaldavat teksakangast peetakse oma drapeeruvuse ja mugava tunde tõttu kõrgtasemeliseks teksakangaks. Tenceli ja viskoosi segu eelistatakse madalama hinna tõttu võrreldes kangaga, mis sisaldab ainult Tencelit. [5]

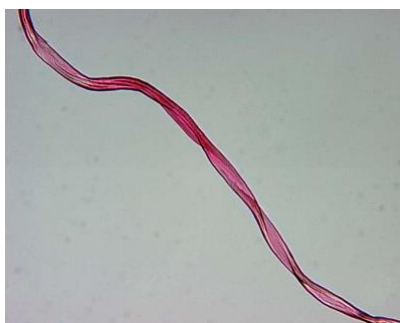
Harva lisatakse teksakangasse ka villa, et kaitsta keha külma eest. Tavaliselt sisaldab villakiuga teksakangas 10-15% villa ning ülejäänud on puuvill. Kuigi villa sisaldav teksakangas hoiab sooja ja on pehmem, on selle puuduseks villa omadus kokku tõmbuda. Omaduste parandamiseks saab villakiude keemiliselt töödelda. [5]

Teksakanga raskuse vähendamiseks kasutatakse siidi. Siidil on olulised omadused: tugevus, pehmus, vastupidavus, kergus, soojus, kortsumiskindlus ja hea drapeeruvus. [13] Oma peensuse ja tugevuse tõttu on siidi lihtne lisada teksakangasse [5].

Lina on oma omadustelt vastupidav kiud ning sellest tehtud kangaid peetakse luksuslikeks materjalideks. Linakiud sobivad hästi teksaseelikute, -jakkide, -kleitide ja -pükste valmistamiseks. Eelistatakse kiudude segu, kus 70% on puuvill ja 30% on lina, kuna selle koostisega saab toota kulutõhusat ning hästi drapeeruvat teksakangast. [5]

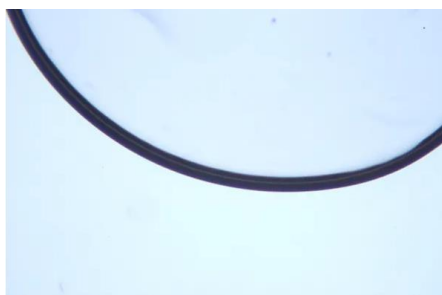
1.2.1 Peamiste teksakanga kiudude omadused

Puuvillakiud koosneb peamiselt tselluloosist. Lisaks sisaldab see endas väiksemas koguses ligniini, hemitselluloosi, pektiine, vahasid ja rasvasid ning proteiine. Puuvillakiudu saab eristada teistest kiududest iseloomuliku keerdumuse järgi. Joonisel 1.6 on puuvilla mikroskoopiline pilt. Puuvillal on hea niiskuseimavus, vastupidavus ning oma pehmuse tõttu tekitab see keha vastas mugava tunde. Kuivas olekus on puuvilla tõmbetugevus 27-44 g/tex ja tihedus 1,54 g/cm³. [14]



Joonis 1.6 Puuvillakiud 250x suurendusega [15]

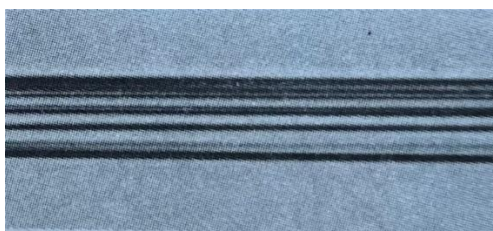
Polüesterkiud on sünteetiline kiud, mis on valmistatud polümerisatsiooni teel polüetüleentereftalaadist. Polüester tagab kangas tugevuse, on omadustelt kortsumisvastane ja kemikaalidele vastupidav. Polüesterkiu tunneb ära ühtlase ja sileda pinna poolest. Lisaks võivad need olla poolläbipaistvad. Joonisel 1.7 on näidatud polüesterkiud. Polüesterkiu tihedus on $1,39 \text{ g/cm}^3$. [16]



Joonis 1.7 Polüesterkiud 100x suurendusega [17]

Elastaanikiud on sünteetiline kiud, mis on valmistatud polüüretaanist. Elastaanil on suur venivus, mis tagab rõivaste kandmismugavuse. Elastaanikiudu on lihtne tuvastada. See koosneb pidevatest ja peenetest filamentide kogumist, mis on omavahel koos. Kiul on väike tõmbetugevus $6-11 \text{ cN/tex}$ ning selle tihedus on $1-1,2 \text{ g/cm}^3$. [18]

Viskooskiud kuulub regenereeritud tsellulooskiudude alla. Viskooskiul on väiksem vastupidavus kui polüesterkiul. Mainitud kiud tagab parema õhuläbilaskvuse ja muudab kanga pehmemaks. Viskoos on üsna sile kiud, kuid selle pinnal esinevad iseloomulikud pikisuunalised triibud, mis kulgevad kogu kiu pikkuses. Triibud on paremini nähtavad kasutades suuremaid suurendusi mikroskoobiga kiu vaatamisel. Viskoosi tugevus on $15-30 \text{ cN/tex}$ ja tihedus on $1,52 \text{ g/cm}^3$. [18]



Joonis 1.9 Viskoosiu mikroskoopia [18]

1.3 Teksakanga kasutamine tänapäeval

1.3.1 Teksarõivad

Teksakangast kasutatakse peamiselt teksapükste tootmiseks. Teksapüksid on tootmise algusest kuni tänapäevani olnud üks kõige populaarsemaid rõivaesemeid. Teksapüksid on aja jooksul kujunenud praktiliseks rõivaesemeks erinevates sotsiaalsetes olukordades, nagu töökeskkonnas ja vabal ajal. Kuigi minevikus olid teksapükste kandmine ametlikes kohtades ebatavaline, on tänapäeval on need laialdaselt aktsepteeritud nii vabaaja- kui ka tööriivana. [5]

Teksapüksid on läbi aegade püsinud populaarsetena tänu oma vastupidavusele ja mugavusele. Tänapäeval toodetavad teksapüksid on väga mitmekülgsed. Neid saab värvida erinevatesse toonidesse ning töödelda, et tekitada soovitud efekte, nagu pleegitus ja kulutus. Samuti on teksapükse lihtne hooldada. [5]

Peale teksapükste toodetakse teksakangast ka teisi rõivaesemeid, nagu jakke, kleite, seelikuid, pluuse ja kotte. Muude rõivaesemete seas on teksakangas eriti populaarne materjalivalik jakkide ja seelikute puhul. Levinud on kanda ka teksajakke koos teksapükste või -seelikuga esteetilisel eesmärgil. [5]

1.3.2 Teised rakendusala

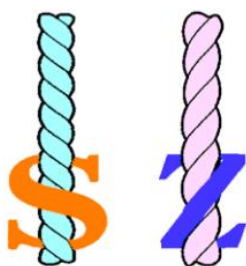
Peale rõivaesemete kasutatakse teksakangast vähemal määral ka mööblitööstuses ja ka isolatsioonimaterjalina. Mööblitööstuses kasutatakse seda mööbliesemete polsterdusmaterjalina, voodikatetena ja diivanipatjade ümbristena. Teksakangast kasutatakse mööblitööstuses vastupidavuse ning iseloomilku välimuse pärast. [5]

Isolatsioonimaterjalina (vt Lisa 1) saab ümbertöödeldud teksakanga kiude kasutada erinevates tööstustes, mille hulka kuuluvad peamiselt auto- ja akustikatööstus. Lisaks hõlmab kasutusvaldkonda ka soojus-, ventilatsiooni- ja õhukonditsioneeritehnika. [19]

2. TEKSAKANGA TOOTMINE

2.1 Lõnga ketramine

Lõnga ketramise protsess kanga valmistamiseks on kasutusel olnud mitmeid sadu aastaid. Ketramisel tõmmatakse lõnga, et muuta kiud peenemaks ning vähendada valmistatava kanga tihedust. Seejärel keeratakse lõnga tugevuse tõstmiseks S- või Z-suunaline keerd, mis on kujutatud joonisel 2.1. Lõpuks keritakse kedratud lõng pooli peale. [5]



Joonis 2.1 Lõnga S- ja Z-suunaline keerdumus [19]

Kanga struktuuri ja füüsikalisi-mehaanilisi omadusi mõjutavad erinevad ketramistehnoloogiad [20]. Puuvilla ketramiseks kasutatakse peamiselt kolme erinevat meetodit: rõngasketrust, rootorketrust ja kompakset ketrust. Teksapükste lõimelõngu toodetakse suurusega 4,0 Nm kuni 12,5 Nm. Toodete, nagu kergemate teksapükste, vestide, seelikute ja kleitide, tootmisel kasutatakse peenemaid lõngu suurusega 12,5 Nm kuni 30,0 Nm. [5]

2.1.1 Rõngasketrus

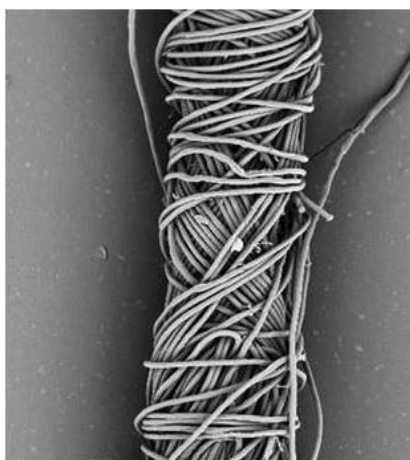
Rõngasketrust kasutatakse kõige laialdasemalt staapelkiududest lõnga tootmiseks [21]. Rõngasketrusmasinaga saab toota peeneid lõngu, mis on kõrge kvaliteediga ning jätavad teksakangale pehmema tunde [5]. Selles protsessis nõrgendatakse heie ning saadakse kiuline kimp, mis vastab lõnga peensusele. Kiu kimp keritakse pöörlevale raamile, kust edasi läbib heiekimp tavaliselt kolmest valtsist koosneva venitusseadme. Peale venitamist keeratakse kiud kas S- või Z-suunas keerleva pooliga varustatud võlli abil lõnga struktuuriks. [22] Joonisel 2.2 on kujutatud rõngasketrusega kedratud lõng.



Joonis 2.2 Rõngasketrusega kedratud lõng [23]

2.1.2 Rootorketrus

Rootorketrust on hakatud laialdasemalt kasutama alates 1970ndate lõpust. See meetod on väga kiire võrreldes rõngasketrusega. Kogu protsess on võimalik automatiseerida ning on ka tänu sellele produktiivsem ja madalama hinnaga. Tänapäeval kasutatakse rootorketrus väga palju teksakanga tootmisel, USA-s toodetakse 95% teksamaterjali lõngast sellel meetodil. Seevastu rõngasketrusele on rootorketrusel saadud lõngad jämedamad ning nende hõõrdekindlus on suurem. [5, 22, 24] Protsessi käigus antakse kiudude kogu ette sisendina, kiud avatakse ja need transporditakse kuni rootori sooneni. Lõpuks keeratakse lõngadesse keerd ja keritakse lõng rootorile. Joonisel 2.3 on skaneeriva elektronmikroskoobi pilt rootorketrusega kedratud lõngast. [5]



Joonis 2.3 Rootorketrusega kedratud lõng [24]

2.1.3 Kompaktne ketrus

Kompaktne ketrus erineb rõngasketrusest võimalusega kasutada karvase struktuuriga kiude, et nendest valmistada sileda pinnaga lõng (joonis 2.4). Karvased kiud põhjustavad halvemaid tugevusomadusi nii lõngale kui ka valmistatavale kangale. Kompaktketrusel väheneb lõngade karvasus oluliselt erinevate kondensaatorite kasutamisel. Need pidurdavad üksikute kiudude liikumist ketruse kolmnurgas (inglise keeles *spinning triangle*). Lisaks paraneb selle protsessi käigus lõnga ühtlus. [5]



Joonis 2.4 Kompaktse ketrusega lõng [23]

2.2 Lõngade värvimine

2.2.1 Indigo

Teksakanga traditsiooniline värv on naturaalne indigo sinine. Indigo värvi on kasutatud tekstiilitööstuses juba aastast 2400 eKr. Sellest ajast kuni 19nda sajandini toodeti indigo sinist värvi erinevatest taimedest, mis sisaldasid vajalikku pigementi. Tänapäeval kasutatakse teksakanga tööstuses lõngade värvimiseks sünteetilist indigo sinist värvi. Sünteetiline indigo on odavam kui naturaalne ning teeb värvimise protsessi kergemaks ja kiiremaks, kinnitades lõngade külge paremini. [5]

2.2.2 Muud värvid

Peale indigo kasutatakse väävel-, otse- ja reaktiivvärve, et värvida teksakangas teistesse toonidesse. Väävelvärvidega saab teksakangast värvida pruuniks, siniseks, oliiviroheliseks või muudeks tuhmimateks värvideks. Väävelvärvidega teksakangastel on hea värvipüsivus pesemisele ning vastupidavus pleekimisele päikesevalguse käes. [5]

Otsevärvidel on lai värvipalett ning nende kasutamine on lihtne ja odav. Nende negatiivseks pooleks on väike värvipüsivus pesemise toimele, mis limiteerib nende kasutamist. [5]

Reaktiivvärve kasutatakse peamiselt puuvilla värvimiseks. Reaktiivvärvid on kõige vähem populaarsemad teksakangaste värvimisel, sest need vajavad värvimiseks spetsiaalseid lisaseadmeid, nagu auruteid. Reaktiivvärvidega värvitud teksakangas jääb väga ühtlase värvusega. Seetõttu kasutatakse kanga mustaks värvimisel peamiselt reaktiivvärve. [5]

2.3 Viimistlemine

2.3.1 Kivipesu

Kivipesu on teksakanga kõige levinum viimistlusprotsess. Kivipesu korral lisatakse kangaste vahele abrasiividena toimivad pimss- või vulkaanikivid. Kivipesu eesmärk on anda teksakangale kulutatud välimus ja muuta see pehmemaks. Tavaliselt pestakse värskelt indigoga värvitud kangaid, sest neil on väike abrasioonikindlus ning kividega

saadud efekt jääb paremini näha. [25] Kulutatud välimus tekib kivide abrasiooni käigus vastu kangast, mille tulemusena kivid eemaldavad pealmistelt lõngadelt värvi. On olemas ka erineva kuju ja suurusega kivid ning need valitakse vastavalt kanga kaalule. Saavutatav kulutusaste sõltub ka protsessiajast. [25, 26]

2.3.2 Ensüümpesu

Ensüümviimistluse eesmärgiks on töödelda teksakangas pehmemaks, mugavamaks, siledamaks ja tekitada kulunud välimus (inglise k *fade effect*) [27]. Kangas pestakse tsellulaasi põhises vedelikus [26]. Ensüümid langudavad kanga pinna peal olevad tselluloosikiud, mis omakorda eemalduvad pesemise käigus. Lisaks eemaldub osaliselt kangast värv. Kanga tugevusomadused vähenevad ensüümviimistluse käigus, sest selle käigus lagunevad tselluloosiahelad ning moodustuvad lühemad tselluloosi polümeerid. [25]

Ensüümpesu puhul on kolm erinevat olulist parameetrit: temperatuur, pH tase ja aeg. Tsellulaasi ensüümidel on spetsiifiline pH ning selle kontrollimiseks kasutatakse puhverlahust. Neutraalses keskkonnas peab pH väärtus olema 6,0-8,0 55 °C juures ning happelises lahuses töötavad need kõige paremini 4,5-5,5 vahel 50 °C juures. Peale ensüümpesu on oluline kangalt maha pesta ensüümijäägid. [5, 26]

Ensüümpesu on keskkonnasõbralikum kui kivipesu, sest pesuvett saab taaskasutada. Protsessis kasutatakse väiksemas koguses vett ja kemikaale ning kestab lühemat aega. Võrreldes kivipesuga on ensüümviimistlus ka kangale ja masinale vähem kahjulikum. [25]

2.3.3 Happepesu

Happepesu jaoks kasutatakse sarnaselt kivipesule pimsskive, kuid happepesu korral peab pimsskive leotama enne pesemist tugevas oksüdeeriva aine lahuses, kas 5-10% naatriumhüpolkloritis või 3-6% kaaliumpermanganaadis. Seejärel eemaldatakse üleliigne lahuse vedelik pannes kivid võrkkangasse või kivid pannakse pöörlevasse kuivtrummlisse koos kangaga, mis imab endasse jääke. Peale kivide ettevalmistamist pannakse teksakangas koos kividega trummelmasinasse 10-30 minutiks. Kui soovitud happepesu tulemus on saadud, pestakse teksakangas veega kividelt eralduva tolmu eemaldamiseks 5 minutit. Lisaks peab oksüdeeriva aine lahuse kasutamise käigus tekkinud ained eemaldada. Kaaliumpermanganaadi kasutamisel tekib mangaandioksiid, mis eemaldatakse oksaalhappega. Naatriumhüpolkloritise kasutamisel tekkinud kloriidi

jääk eemaldatakse antikloori ja naatriumbisulfitiga. Happepesu tulemuseks on kangal pesuefekt sinise ja valge värvi kontrastiga. [5]

2.4 Teksakanga tootjad

Teksakanga tootmine moodustab suure osa kogu maailmas toodetavatest kangamaterjalidest. Teksakanga tootmise turuhinnaks määrati 2021. aastal 18,1 miljardit USA dollarit. Prognoosi kohaselt tõuseb turu suurus 2030. aastaks 29,4 miljardi USA dollarini. [28]

Teksakangast toodetakse tänapäeval peamiselt Aasia riikides. Kõige suuremad tootjad asuvad Hiinas, Türgis, Indias, Pakistanis, Bangladeshis. Varem oli teksakanga kõige suurem tootja Ameerika Ühendriigid, kuid viimaste aastakümnete jooksul on Aasia riigid tootmise koguse ületanud. [29] 2021. aasta statistikaandmete järgi on Hiina kõige suurem teksakanga tootja, millele järgneb Pakistan, India ja Türgi. Lisas 6 on välja toodud 2021. aasta kõige suuremate tootjate ja eksportijate andmed koos rahalise väärtusega. [30]

3. TEKSAKANGA TOOTMISE MÕJU KESKKONNALE

3.1 Jäätmed

Teksakanga tööstus on maailmas järjest laiaulatuslikum, seega tekib ka valmistatud toodetest ja tootmisel tekkivatest jääkidest palju jäätmeid. Suurem osa jäätmetest viiakse prügilatesse ja põletatakse. Ainult väike osa neist töödeldakse ümber või taaskasutatakse. [5]

Teksakanga tootmisel saab eristada kolme erinevat jäätmete gruppi:

- tarbijaeelsed jäätmed;
- tarbijajärgsed jäätmed;
- tööstuslikud jäätmed.

Tarbijaeelsete jäätmete alla käivad tööstuses tootmisprotsesside jaoks vajalikuid toorained ning materjalid turustamiseks valmistoodete saamiseks. Tarbijajärgsed jäätmed on oma eluringi läbinud tooted, mis ei ole funktsioneerivad tarbija jaoks enam. Tööstuslike jäätmete hulka kuuluvad tootmise käigus tekkivad jäätmed. [31]

3.2 Ümbertöötlemine

Teksakangast töödeldakse ümber nii mehaaniliselt kui ka keemiliselt. Mehaanilise protsessi käigus lõhutakse tekakangas avades niidid, defibrilleerides (inglise k *defibrilling by cutting*), purustades, kraasides või muul purustaval viisil. Keemilises protsessis lõhutakse teksakangas molekulaarsel tasemel monomeerideks, mille jaoks kangas lahustatakse kemikaalivannis ning saadud monomeerid ühinevad omavahel, et saada uus lõng. [32]

3.2.1 Mehaaniline

Teksakanga mehaaniline ümbertöötlemine on keeruline ja aeganõudnev protsess, sest kangas sisaldab üldjuhul peale puuvilla ka teisi kiude. Erinevaid kiude on üksteisest raske eraldada. Enne kanga lõhustamist eemaldatakse metallist ja nahast osad ning sildid. Tavapärane protsess on hüdropõimumine, mille käigus kõrge surve all veega põimitakse omavahel kiud. Kraasimise protsessis eraldatakse kiud omavahel hoides kiude ühe pinnaga oma küljes ja kammides samal ajal teise pinnaga kiude, et saada

eraldatud kiud. Kraasimine teel eraldatud kiududest on võimalik toota uusi lõngu või segada neid ümbertöötlemata puuvilla kiududega. [32]

Peale mehaanilist ümbertöötlemist on kiudude tugevusomadused märgatavalt vähenenud. Neid kiude võib kasutada uue teksakanga tootmisel, kuid selle jaoks segatakse neid ümbertöötlemata kiududega. [5]

3.2.2 Keemiline

Teksakangas koosneb üldjuhul segatud kiududest, mis teeb selle ümbertöötamise raskemaks, kuna kiududel on erinevad füüsikalised ja keemilised omadused. Teksakanga puhul teeb ka keemilise ümbertöötamise raskemaks asjaolu, et teksakanga lõimelõngad on värvitud. See lisab kogu protsessi lisaamme. Keemilises protsessis eeltöödeldakse kangast, mille käigus eemaldatakse metallosakesed, puhastatakse ja purustatakse kangas. Seejärel depolümeriseeritakse kiud algseteks monomeerideks. Järgnevas puhastamise faasis puhastatakse kiudude kogu ebapuhtuste või keemiliste jääkide eemaldamiseks. Sellele järgneb repolümerisatsioon, kus monomeerid liidetakse polümeerideks, et tekiks uus kiud. Lõpuks saab keemiliselt ümbetöödeldud kiud ketrata lõngaks, et toota uut kangasmaterjali. [32]

4. TEKSAKANGA OMADUSED

Teksakanga omadused sõltuvad füüsikalis-mehaanilistest omadustest, mis on omakorda tingitud kiulisest koostisest. Kanga tugevusomadusi hinnatakse rebimis- ja tõmbetugevusega ning hõõrdekindlus näitab vastupidavust. Mugavusomadusi hinnatakse õhuläbilaskvusega ning teksakanga koostisesse lisatud elastaankiu protsendiga. Omadusi mõjutavad ka kanga pindtihedus, riide tihedus, sidus ja lõngade jämedus. [33]

Pindtihedus näitab kanga ruutmeetri kaalu [43]. Riide tihedus näitab lõngade arvu sentimeetri kohta [46]. Tõmbetugevus näitab maksimaalset rakendatavat tõmbejõudu katsekehale [47]. Rebimistugevus on tõmbejõud, mis on vajalik kanga rebenemise algamiseks, jätkamiseks ja levimiseks [48]. Hõõrdumine on füüsiline kiudude, lõngade ja kangaste kulumine, mis tekib ühe tekstiilpinna hõõrdumisel vastu teist pinda [49]. Õhuläbilaskvuseks nimetatakse katsekehast risti läbiva õhuvoolu kiirust kindlal alal, rõhu langusel ja ajal [52].

Toimse sidusega teksakangas on raskem, suuremate tugevusomadustega ning hõõrdekindlam kui atlass-sidusega kangas. See on tingitud toimse siduse tihedamast struktuurist, kus lõngad põimuvad diagonaalselt ning tekib lõime- ja koelõngade vahel rohkem põimumispunkte. Seevastu on atlass-siduse lõimelõngad kanga pinna peal põimumiskohtade vahel pikemad, mistõttu on selle struktuur hõredam ning pindtihedus väiksem. Struktuurist tingituna on toimse sidusega kangal rohkem lõngu 1 cm² kohta kui atlass-sidusega kangal. [1, 34, 35]

Jämedamate lõngadega teksakangal on suurem tõmbe- ja rebimistugevus kui peenemate lõngadega teksakangal. See on tingitud jämedamate lõngade suuremast ristlõikepindalast, mis võimaldab suuremat pinget taluda enne katkemist. Samuti suurendab lõnga jämedus kanga hõõrdekindlust. Suurema riidetihedus korral on hõõrdekindlus kõrgem. [35]

2021. aastal läbiviidud uurimistöös „Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fibre Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics” uurisid [2] Mandre ja teised teadlased kahe- ja neljakomponentsete teksakangaste kiulise koostise mõju mehaanilistele omadustele. Teadustöö käigus selgus, et suurem lõngade arv 1 cm kohta vähendab õhuläbilaskvust. Uurimustöö katsetulemused näitasid, et suure pindtihedusega ja tiheda struktuuriga teksakangad olid hõõrdekindlamad. Seevastu tiheda struktuuriga kangad vähendasid õhuläbilaskvust, mis oli tingitud väikestest pooridest lõngade vahel. Optimaalseks koelõngade arvuks leiti 18 lõnga/1 cm². Uuritud kangastest väike koelõngade arv

vähendas kangaste tugevusomadusi, kuid suurem arv koelõngu vähendasid õhuläbilaskvust märkimisväärselt. Uurimistöös leiti, et viskoosi sisaldus kangas tõstis õhuläbilaskvust. Lisaks näitasid tulemused, et õhuläbilaskvust mõjutas rohkem lõnga diameeter kui lõngade arv 1 cm² kohta. Selgus, et kõigil lõimelõngadel olid paremad tõmbe- ja rebimistugevuse omadused ning elastaani suurem sisaldus vähendas tõmbetugevust, kuid polüestri sisaldus tagas paremad tugevusomadused. [2]

2008. aastal läbiviidud teadustöös "Stretch and Bagging Properties of Denim Fabrics Containing Different Rates of Elastane", kus uuriti elastaani koguse mõju teksakanga tugevusomadustele, kinnitas [36] ka Nilgün Özdil, et elastaani sisalduse suurenemisel vähenevad kanga tõmbe- ja rebimistugevuse omadused. Lisaks järeldas [36] Özdil, et väiksema elastaani sisaldusega kangad võivad olla väiksemate tugevusomadustega, kuna tootes lõnga, kus elastaan asub lõnga südamiku sees, ei kontrollita piisavalt kiudude paiknemist lõngas, mistõttu ei aita tugevust tagavad polüester- või viskooskiud panustada lõnga tugevusele.

Saiful Hoque, Imranul Shahid, Abdullah Al Parvez, Jakir Hossain ja Sheenrina Miyan Sheen viisid [37] 2022. aastal läbi uurimistöö „Knitted Denim Fabrics: Fabrication Process and Fibrous Influence on Several Properties of the Fabric“, kus hinnati kootud teksakangastes olevate kiudude mõju teksakanga mehaanilistele omadustele. Teadustöös leiti, et peenem lõng väiksema karvasusega teeb kanga poorsemaks ja suurendab seeläbi õhuläbilaskvust. Seepärast suurema polüestri sisaldusega teksakangad võivad olla rohkem õhuläbilaskvamad, kuna polüesterkiud on peenem ja vähem karvasem kui puuvillakiud. Uurimustöös täheldati [37], et polüesterkiul on hea hõõrdekindlus ja tõmbetugevus võrreldes looduslike kiududega. Lisaks järeldati [37], et suurem kanga pindtihedus muudab kanga hõõrdekindlamaks, sest suurem arv kiude pindalaühiku kohta suurendab vastasmõju ja hõõrdumisjõudu kiudude vahel.

2017. aastal viisid [38] Abdul Basit, Wasif Latif, Sajjad Ahmad Baig, Abdur Rehman, Muhammad Hashim, Muhammad Zia Ur Rehman läbi uurimustöö „The Mechanical and Comfort Properties of Viscose with Cotton and Regenerated Fibres Blended Woven Fabrics“, mille käigus testiti viskoosi ja puuvilla õhuläbilaskvust. Leiti, et on viskoosil ja puuvillal sarnased tõmbetugevused, kuid viskoosi rebimistugevus ja õhuläbilaskvus on suurem. [38]

2017. aasta uuringus „Influences of Elastane Content, Aesthetic Finishes and fabric weight on mechanical and Comfort Properties of Denim Fabric“ uurisid [39] AK Choudary ja Sheena Bansal, kuidas mõjutab elastaani sisaldus ja pindtihedus teksakanga mugavusomadusi. Töös leiti, et kanga suurema pindtiheduse korral on nii lõime- kui ka koelõnga suunas suurem tõmbe- ja rebimistugevus ning elastaani sisalduse

suurenemisel tugevusomadused vähenevad. Selgus, et tihedamat struktuuri tekitav kõrgem pindtihedus ja elastaani koguse suurendamine vähendab õhuläbilaskvust. [39]

4.1 Miinimumnõuded teksakangale

Teksakanga traditsiooniline sidus on 3/1 toimne sidus ning enamus teksakangaid on kootud mainitud sidusega. Klassikalise 411 g/m² pindtihedusega teksakanga puhul on lõimelõngu 152-163 ja koelõngu 97-107 tk/cm. Reeglina kootakse teksakangas 3/1 või 2/1 toimse sidusega ja 3/1 või 2/1 murdtoimse sidusega. Kanga pindtihedus võib varieeruda vahemikus 118-560 g/m². Pluuside ja särkide jaoks kasutatakse teksakangast pindtihedusega 118-271 g/m². Teksapükste, pükste, jakkide ja polsterduse jaoks kasutatakse raskemat kangast, pindtihedusega 272-560 g/m². [40]

Teksakanga tugevusomadused on olulised aspektid kanga vastupidavuse tagamisel, mistõttu on määratud tõmbe- ja rebimistugevusele ning hõõrdekindlusele soovituslikud miinimumnõuded. Tabelis 4.1 on esitatud olulisemate teksatoodete miinimumnõuded, mis on määratud Eesti Rõiva- ja Tekstiililiidu poolt avaldatud dokumendis „Rõivamaterjalide omadused ja vead. Soovituslikud miinimumnõuded ja katsemeetodid“. [41]

Tabel 4.1 Miinimumnõuded tõmbetugevusele, rebimistugevusele ja hõõrdekindlusele [41]

Omadus	Standard	Püksid ja lühikesed püksid	Seelikud	Pintsakud ja jakid
Tõmbetugevus	ISO 13934-1	250 N	250 N	200 N
Rebimistugevus	ISO 13937-2	15 N	15 N	12 N
Hõõrdekindlus, 9 kPa	EN ISO 12947	18000 tsüklit	18000 tsüklit	16000 tsüklit

5. KASUTATUD MATERJALID JA MEETODID

5.1 Materjalid

Antud lõputöös uuritakse üheksat erinevat teksakangast, millest autor on katsetanud kangad (vt tabel 5.1) K1 kuni K5 täielikult ise, õhuläbilaskvuse määranud kangastel K6-K9. Ülejäänud andmed on võetud analüüsimise eesmärgil Nele Mandre teadusartiklitest „Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fibre Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics” [2] ja „Impact of laser fading on physico-mechanical properties and fibre morphology of multicomponent denim fabrics” [3]. Edaspidi kasutatakse tabelite ja jooniste lihtsustamise eesmärgil kangaste nimetamiseks loodud süsteemi, kus nimetuse K-täht viitab sõnale “kangas” ja sellele järgnev number vastavale järjekorranumbrile.

Üheksa erineva kiulise koostisega teksakanga seas on kolm kolmekomponentset ja kuus neljakomponentset kangast. Kangad K1 ja K4 on Türgi ettevõttest nimega Kipaş Holding A.Ş. ning kangad K2, K3, K5, K6, K7, K8 ja K9 on India ettevõttest nimega KG Denim. Kangaste valik on tehtud vastavalt ettevõtete poolt pakutavatele teksakangastele ning kangaste valimisel arvestati ka koostisega, et neid oleks võimalik omavahel võrrelda. Tabelis 5.1 on välja toodud kangaste nimetused, kiuline koostis ja sidused. Kangaste koostised on spesifitseeritud ettevõtete poolt. Lisas 2 on esitatud kangaste K1-K9 siduste pildid.

Tabel 5.1 Teksakangaste nimetused, kiuline koostis ja sidus

Jrk nr	Kangas	Puuvill, %	Polüester, %	Elastaan, %	Viskoos, %	Sidus
1	K1	82	16	2	-	3/1 toimne sidus
2	K2	80	18	2	-	3/1 toime sidus
3	K3	79,7	18,8	1,5	-	4/1 atlass-sidus
4	K4	65	22	2	11	3/1 toimne sidus
5	K5	60,2	20,8	6,5	11	3/1 toimne sidus
6	K6	69	19	2	10	3/1 toimne sidus
7	K7	67,7	20	1,8	10,5	4/1 atlass-sidus
8	K8	75	19	1,5	4,5	4/1 atlass-sidus
9	K9	75	13,5	2	9,5	3/1 toimne sidus

5.2 Meetodid

Katsetatakse järgmisi füüsilis-mehaanilisi omadusi: pindtihedust, riide tihedust, tõmbetugevust, rebimistugevust, õhuläbilaskvust ja hõõrdekindlust. Lisaks tehakse kiududele morfoloogiline uuring.

Katsemeetodid on valitud vastavalt teksakangale oluliste nõuete ja omaduste põhjal. Valikul arvestati ka Tallinna Tehnikaülikooli tekstiilitehnoloogia laboris olevate katseseadmete olemasoluga. Katsemeetodid põhinevad standarditel. Tabelis 5.2 on välja toodud standardid mõõdetavate parameetrite määramiseks ning oluline lisainfo. Lisas 3 on kujutatud ülevaatlilikult katsemeetodite skeem koos katseseadmetega.

Tabel 5.2 Kasutatavad katsemeetodid ja standardid

Jrk nr	Parameeter	Standard	Katsekehade suurus	Katsekehade arv	Autori katsetatud kangad
1	Katsekehade konditsioneerimine	EVS-EN ISO 139:2005/A1:2011 Tekstiil. Standardkeskkond konditsioneerimiseks ja testimiseks	-	-	-
2	Pindtihedus	EVS-EN 12127:2000 Tekstiil. Kangasmaterjalid. Pindtiheduse määramine väikeproovidest	100 cm ²	5	K1-K5
3	Riide tihedus	EVS-EN 1049-2:2000 Tekstiil. Riie. Struktuur. Analüüsimeetodid. Osa 2: Riide tiheduse (niitude arvu) määramine pikkusühiku kohta	1 cm ²	5	K1-K5
4	Tõmbetugevus	ISO 13934-1:2013 <i>Textiles - Tensile properties of fabrics - Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method</i>	43 x 5 cm	10	K1-K5
5	Rebimistugevus	EVS-EN ISO 13937-2:2000 <i>Textiles - Tear properties of fabrics - Part 2: Determination of tear force of trouser-shaped test specimens (Single tear method)</i>	20 x 5 cm	10	K1-K5
6	Õhuläbilaskvus	EVS-EN ISO 9237:2000 Tekstiil. Kangasmaterjalide õhuläbilaskvuse määramine	20 cm ²	10	K1-K9

Tabel 5.2 Kasutatavad katsemeetodid ja standardid järg

Jrk nr	Parameeter	Standard	Katsekehade suurus	Katsekehade arv	Autori katsetatud kangad
7	Hõõrdekindlus	EVS-EN ISO 12947-2:2016 <i>Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 2: Determination of specimen breakdown</i>	38 mm	3	K1-K5
8	Mirkoskoopia	-	-	-	K1-K9

5.2.1 Katsekehade konditsioneerimine

Konditsioneerimiseks kasutatakse standardit EVS-EN ISO 139:2005/A1:2011 Tekstiil. Standardkeskkond konditsioneerimiseks ja testimiseks. Enne katsetamist konditsioneeritakse kõik katsekehad 24 tundi kliimas, kus standardatmosfääri temperatuur on $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus on $65,0\text{ \%} \pm 4,0\text{ \%}$. [42]

5.2.2 Pindtihedus

Katse eesmärk on määrata väikeste mõõtmetega teksakanga proovide pindtihedus standardtingimustel. Katse läbiviimiseks kasutatakse septsiaalset James Heal proovikehade lõikurit ja kaalu Mettler AE200 (joonis 5.1). [43]



Joonis 5.1 Kaal Mettler AE200 (vasakpoolne) ja James Heal proovikehade lõikur (parempoolne) [44, 45]

Standardi EVS-EN 12127:2000 [43] järgi lõigatakse välja 5 katsekeha mõõtmetega 100 mm x 100 mm kanga erinevatest piirkondadest. Katsekehad kaalutakse grammides täpsusega 1 mg, arvutatakse pindala ning andmete järgi arvutatakse igale katsekehale pindtihedus vastavalt valemile (5.1). Saadud tulemuste põhjal arvutatakse pindtiheduse aritmeetiline keskmine ja standardhälve.

$$M = \frac{m \cdot 1000}{A} \quad (5.1)$$

kus M - pindtihedus, g/m²,

m - katsekeha mass, g,

A - katsekeha pindala, cm². [43]

5.2.3 Riide tihedus

Katse eesmärk on määrata vastava standardi järgi lõngade arv sentimeetri kohta. Vastavate mõõtudega kangatükkide lõngad harutatakse harutajaga lahti ja loendatakse. [46]

Vastavalt standardile EVS-EN 1049-2:2000 [46] lõigatakse lõigatakse 5 katsekeha lõimelõnga ja 5 katsekeha koelõnga suunas suurusega laiussega 6,5 cm ja pikkusega 6 cm. Lõngu loendatakse 5 cm kohta, selleks peab eelnevalt harutama katsekeha 5 cm laiuseks. Seejärel arvutatakse lõime- ja koelõngade arv ühe sentimeetri kohta jagades loendatud lõngade arv viiega. Lõime- ja koesuunaliste katsekehade kohta arvutatakse aritmeetilised keskmised. Lõngade arvu ruutsentimeetri kohta arvutatakse liites lõime- ja koelõngade arvud sentimeetri kohta.

5.2.4 Tõmbetugevus

Katse eesmärk on mõõta katsekeha pikenemine konstantsel kiirusel maksimaalse jõu juures ning katsekeha purunemisel. Katse käigus mõõdetakse katsekehale mõjuv maksimaalne jõud, pikenemine maksimaalse jõu juures, jõud purunemisel ja pikenemine rebenemisel. Katsetamiseks kasutatakse tõmbemasinat Instron 5866 (joonis 5.2). [47]



Joonis 5.2 Tõmbemasin Instron 5866 [47]

Standardi ISO 13934-1:2013 [46] kohaselt lõigatakse igast kangast välja 5 katsekeha lõimelõnga suunas ja 5 katsekeha koelõnga suunas mõõtmatega 43 x 5 cm. Lõikamisel peab katsekeha laius olema paralleelne lõime- või koelõngadega ning peab olema piisavalt pikk, et jätta lõimelõnga suunas umbes 0,5 cm pikkused narmad katse ajal lõngade hargnemise vältimiseks. Mõõtepikkus on 400 mm ± 1 mm. Katsekehadele rakendatav eelpinge on 5 N. Katsekeha kinnitatakse nii, et selle pikisuunaline keskjoon läbiks haaratsite esiservade keskpunkti. Mõõdetud tulemustest kasutatakse maksimaalset koormust njuutonites iga katsekeha kohta, arvutatakse selle aritmeetiline keskmine katkekoormus ning arvutatakse suhteline katkekoormus valemi (5.2) järgi.

$$P_0 = \frac{P_t \cdot 1000}{B \cdot G_s} \quad (5.2)$$

kus P_0 – suhteline katkekoormus, Nm/g,

P_t – keskmine katkekoormus, N,

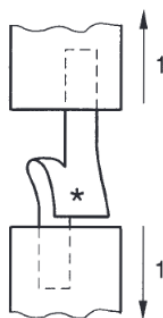
G_s – pindtihedus, g/m²,

B – katsekeha laius, mm. [46]

5.2.5 Rebimistugevus

Rebimistugevuse katsetamise eesmärk on määrata ristkülikukujulise katsekeha rebimistugevus, mis lõigatakse lühema serva keskelt osaliselt pooleks. Rebimistugevuse katsetamiseks kasutatakse sama katseseadet (vt joonis 5.2), mida kasutatakse tõmbetugevuse määramiseks. [48]

Standardi EVS-EN ISO 13937-2:2000 [48] järgi lõigatakse välja 5 katsekeha lõimelõnga suunas ja 5 katsekeha koelõnga suunas. Katsekehad on ristkülikukujulised: $200\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ pikad ja $50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ laiad. Pikisuunaline lõhk suurusega $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ lõigatakse katsekeha laiuse keskele. Lõikamata küljele märgistatakse rebenemise ots suurusega $25\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$, et näidata rebenemise asukohta rebenemise lõppedes. Mõõtepikkuseks määratakse 100 mm. Pikenemise kiiruseks seatakse 100 mm/min. Katsekeha pannakse haaratsite vahele nii, et üks sisselõikega eraldatav äär oleks ülemise haaratsi vahel ja teine alumise haaratsi vahel ning sisselõige oleks haaratsite keskel (vt joonis 5.3). Lõikamata osa on vabas olekus. Liikuv haarats pannakse liikuma kiirusega 100 mm/min kuni markeeritud punktini. Seejärel määratakse rebimiseks kuluv jõud njuutonites. Jälgitakse, kas rebenemine toimub jõu suunas ning et niidid ei libiseks kangast rebenemise ajal välja. Kui katsekeha ei rebene lõngadega paralleelselt, ei arvestata antud katsekehaga tulemuste arvutamisel.

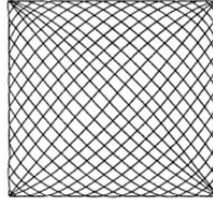


Joonis 5.3 Katsekeha tõmbemasina haaratsite vahel [48]

Tulemusi saab arvutada nii elektroonselt kui ka manuaalselt. Antud töös on kasutatud manuaalset meetodit arvutamiseks. Selle jaoks jagatakse rebimistugevuse graafik neljaks osaks, millest kasutatakse teist, kolmandat ja neljandat piirkonda tulemuste arvutamiseks. Igast piirkonnast määratakse iga katsekeha kohta kaks kõige kõrgemat tippu ja kaks kõige madalamat tippu. Nii lõime- kui ka koelõngade katsekeha tulemustele arvutatakse aritmeetiline keskmine. Kui katsekeha ei rebene lõngadega paralleelselt, ei arvestata tulemuste arvutamisel antud katsekehaga. [48]

5.2.6 Hõõrdekindlus

Standardi EVS-EN ISO 12947-2:2016 [49] järgi lõigatakse poroloonvahust ringid diameetriga 38 mm katsekehade alla ning hõõrdumiseks abrasiivkangas ja selle alla viltmaterjalist ringid läbimõõduga 140 mm. Katsekehasid hõõrutakse abrasiivkanga vastu translatsioonilise liikumisega tekitades *Lissajous* (joonis 5.4) kujund. Katsekeha hoidja pöörleb samal ajal vabalt ümber oma telje. [49]



Joonis 5.4 Lissajous kujund [50]

Katse teostatakse *Martindale* katseseadmega (joonis 6.5). Katsekeha kinnitatakse katsekeha hoidikusse, kus peal pool on katsetatav materjal ja selle all vahtmaterjal. Testkangale vastastikku asendisse alumisele poole asetatakse abrasiivkangas, mille alla pannakse viltmaterjal. Katsekehadele asetatakse peale koormused suurusega 9 kPa ning hõõrdumiskoormuseks on $595 \text{ g} \pm 7 \text{ g}$. Hõõrdetsüklid määratakse vastavate intervallide järgi (vt Lisa 4). Katsekehi hinnatakse visuaalselt suurendava vahendi abil peale igat tsükli. Hõõrdekindluse tsüklite arv määratakse, kui ühel proovist on purunenud vähemalt kaks lõnga. Hõõrdekindlus määratakse teostatud tsüklitele sellele eelneva tulemuse järgi.



Joonis 5.5 James Heal *Martindale* katseseade [51]

5.2.7 Õhuläbilaskvus

Vastavalt standardile EVS-EN ISO 9237:2000 [52] on katsekehad pindalaga 20 cm^2 ja rõhu languseks määratud 100 Pa. Õhuläbilaskvuse hindamiseks kasutatakse katseseadet FX 3340 MinAir (joonis 5.6) Katsekeha paigaldatakse ringikujulise hoidja vahele ning kinnitatakse piisava pingega, et ei tekiks kortse. Vastava katseseadmega surutakse õhuvoolu kangast läbi. Õhuvool registreeritakse kuni stabiilsed tingimused on saavutatud. Katset tuleb korrata kanga eripiirkondades vähemalt 10 korda. Mõõtmistele arvutatakse aritmeetiline keskmine ning standardhälve.



Joonis 5.6 Katseseade FX 3340 MinAir [53]

5.2.8 Mikroskoopia

Lõngade ja kanga struktuuri uurimiseks ning hõõrdekindluse käigus purunenud lõngade pildistamiseks kasutatakse digitaalset mikroskoopi Dino-Lite (joonis 5.7) ning arvutitarkvara DinoCapture 2.0. Lõngade uurimiseks asetati umbes 5 cm pikkused lõime- ja koelõngad mikroskoobi alla. Kanga struktuuri pildistati suurendusega 50x, et teha kindlaks kanga struktuur ning näha, kui tihedalt asetsevad lõngad. Hõõrdekindluse katsekehi pildistati mikroskoobiga peale katsetamist purunenud lõngade visuaalseks demonstreerimiseks.



Joonis 5.7 Digitaalne mikroskoop Dino-Lite [autori pilt]

Kiudude uurimiseks kasutatakse valgusmikroskoopi Euromex BioBlue BB.4260-P (joonis 5.8) koos arvutitarkvaraga ImageFocus4. Lõime- ja koelõngadest lõigati väike kiudude kimp ning harutati kiud omavahel lahti. Seejärel asetati kiukimp alusklaasile, valati selle peale destilleeritud vett ning asetati pealisklaas alusklaasi peale. Lõpuks pandi klaasid koos katseprooviga mikroskoobi alla ning vaadeldi 100-kordse ja 400-kordse suurendusega.



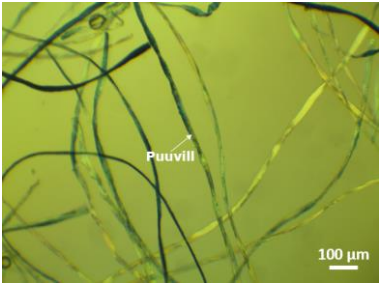
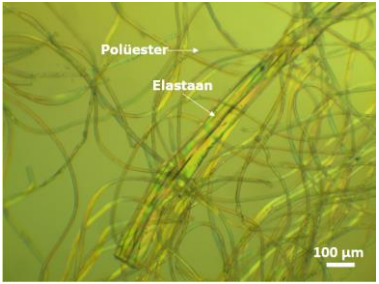
Joonis 5.8 Valgusmikroskoop Euromex BioBlue BB.4260-P [54]

6. TULEMUSED JA ANALÜÜS

6.1 Kiudude mikroskoopiline määramine

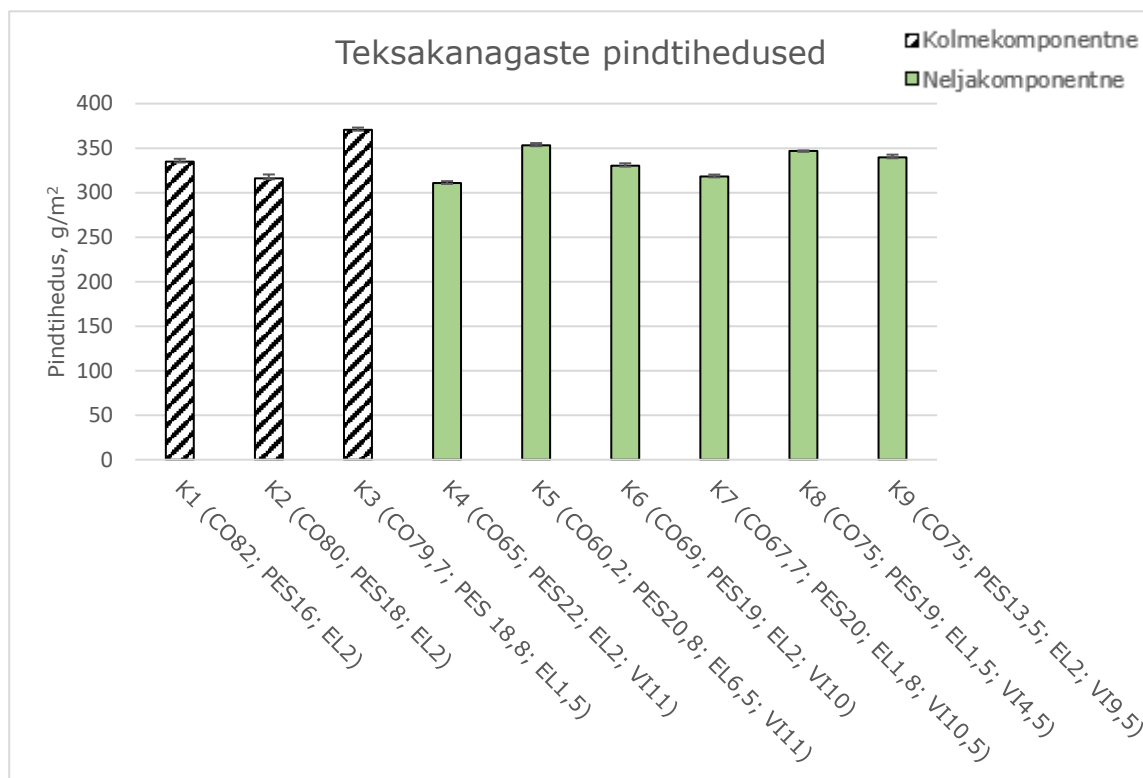
Teksakangastele teostati lõngade morfoloogiline analüüs, et määrata teksakangaste lõime- ja koelõngades sisalduvad kiud. Tabeli 6.1 piltidelt on näha neljakomponentses kanga K9 lõime- ja koelõngades sisalduvad kiud. Lisas 5 on 100-kordse ja 400-kordse suurendusega mikroskoopilised pildid teksakangaste K1-K8 lõime- ja koelõngas sisalduvatest kiududest koos kiudude nimetustega. Kõikide kolme- ja neljakomponentsete kangaste lõimelõngad sisaldavad puuvilla. Kolmekomponentsete kangaste koelõngad koosnevad polüestrist ja elastaanist ning neljakomponentsed koelõngad sisaldavad polüestrit, elastaani ja viskoosi. Koelõngades sisalduv elastaankiu diameeter on teisest kolmest kiust mitmeid kordi suurem, mistõttu on seda lihtne tuvastada. Lõimelõngas tumedamad puuvillakiud on lõngade pealmised värvitud kiud ning sisemised kiud, kuhu värv ei ole ulatunud, on heledamad puuvillakiud. Viskooskiudude tuvastamisel on kasutatud 400-kordset suurendust iseloomulike pikisuunaliste joonte tuvastamiseks.

Tabel 6.1 Teksakanga K9 lõime- ja koelõngade kiuline koostis

Kangas	K9	
	Lõimelõng	Koelõng
Suurendus	100x	100x
Mikroskoopilised pildid		
Kiuline koostis	Puuvill	Polüester, elastaan
Koelõng		
Suurendus	400x	
		
Kiuline koostis	Viskoos	

6.2 Pindtiheduse määramine

Joonisel 6.1 on kujutatud tulpdiagrammina arvutuslikud keskmised pindtihedused koos standardhälvetega. Kangaste nimetuste järel on sulgudes lühenditena märgitud kiulised koostised protsentides, mis kehtib ka kõikide järgnevate tulemustes ja analüüsis esitatud graafikute kohta. Lisas 6 on esitatud pindtiheduse arvutamise lähteandmed ja vahetulemused.



Joonis 6.1 Teksakanagaste pindtihedused

Joonise 7.1 tulemustest saab järeldada, et kõige suurema pindtihedusega kangas on kolmekomponentne kangas K3, vastavalt (371 ± 3) g/m² ning kõige väiksem väärtus on neljakomponentsel kangal K4, vastavalt (311 ± 2) g/m². Mainitud tulemuste vahele jäid kõige kergemad kangad K2 ja K7, keskmise pindtihedusega kangad K1, K6, K8 ja K9 ning keskmisest natuke suurema tulemusega kangas K5. Nii kolme- kui ka neljakomponentsete kangaste seas on nii madala, keskmise ja kõrge pindtihedusega teksakangaid.

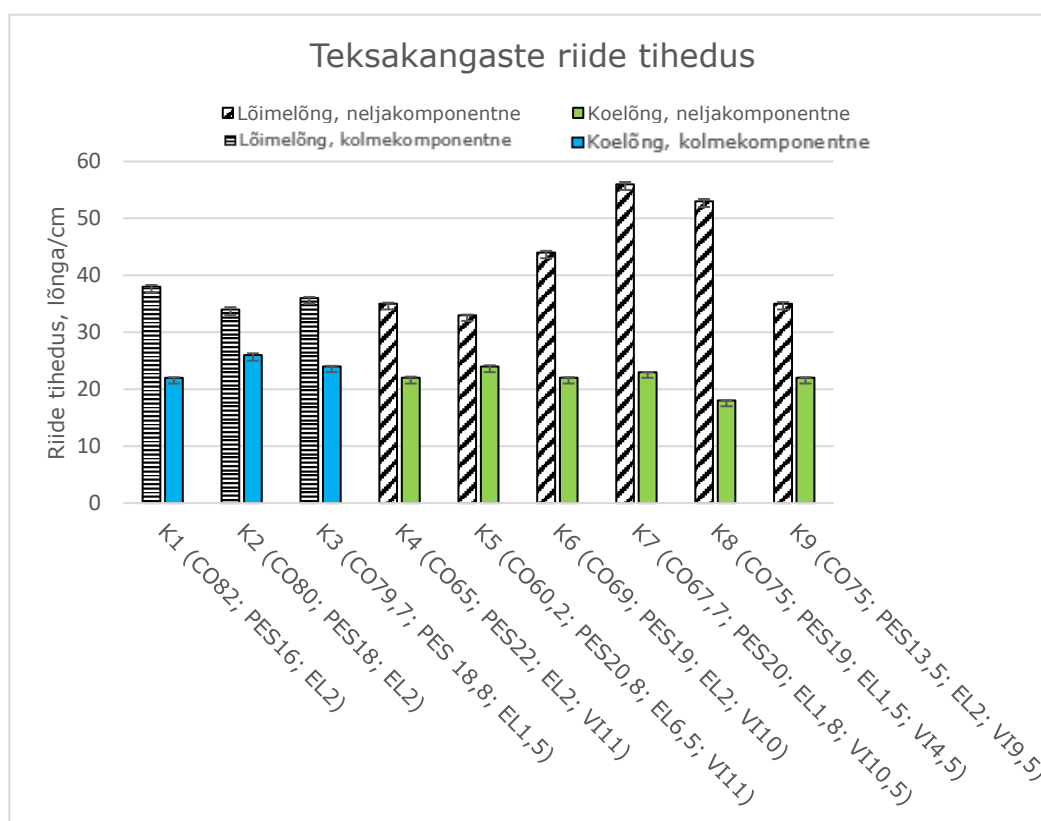
Üldjuhul on toimse sidusega teksakangas raskem kui atlass-sidusega. Seevastu on vastavalt määratud sidustele (vt Lisa 2) kõige raskem atlass-sidusega kangas K3 ja kõige kergem toimse sidusega kangas K4. Põhjus seisneb lõngade paiknemise

tiheduses. Kanga K4 lõimelõngad hõredemalt kootud kui kanga K3 siduse struktuuris paiknevad lõimelõngad.

Pindtihedus mõjutab ka antud töös katsetatud tõmbetugevust. Suurema pindtiheduse korral on kangas raskem ning avaldab rohkem vastupanu tõmbele.

6.3 Riide tiheduse määramine

Riide tiheduse arvutamiseks loeti nii koe- kui ka lõimelõngade arv 1 cm² kohta. Joonisel 6.2 on esitatud kanga lõngade arvutuslikud keskmised. Lisas 7 on välja toodud riide tiheduse arvutamiseks lähteandmed ja vahetulemused.



Joonis 6.2 Teksakangaste riide tihedus

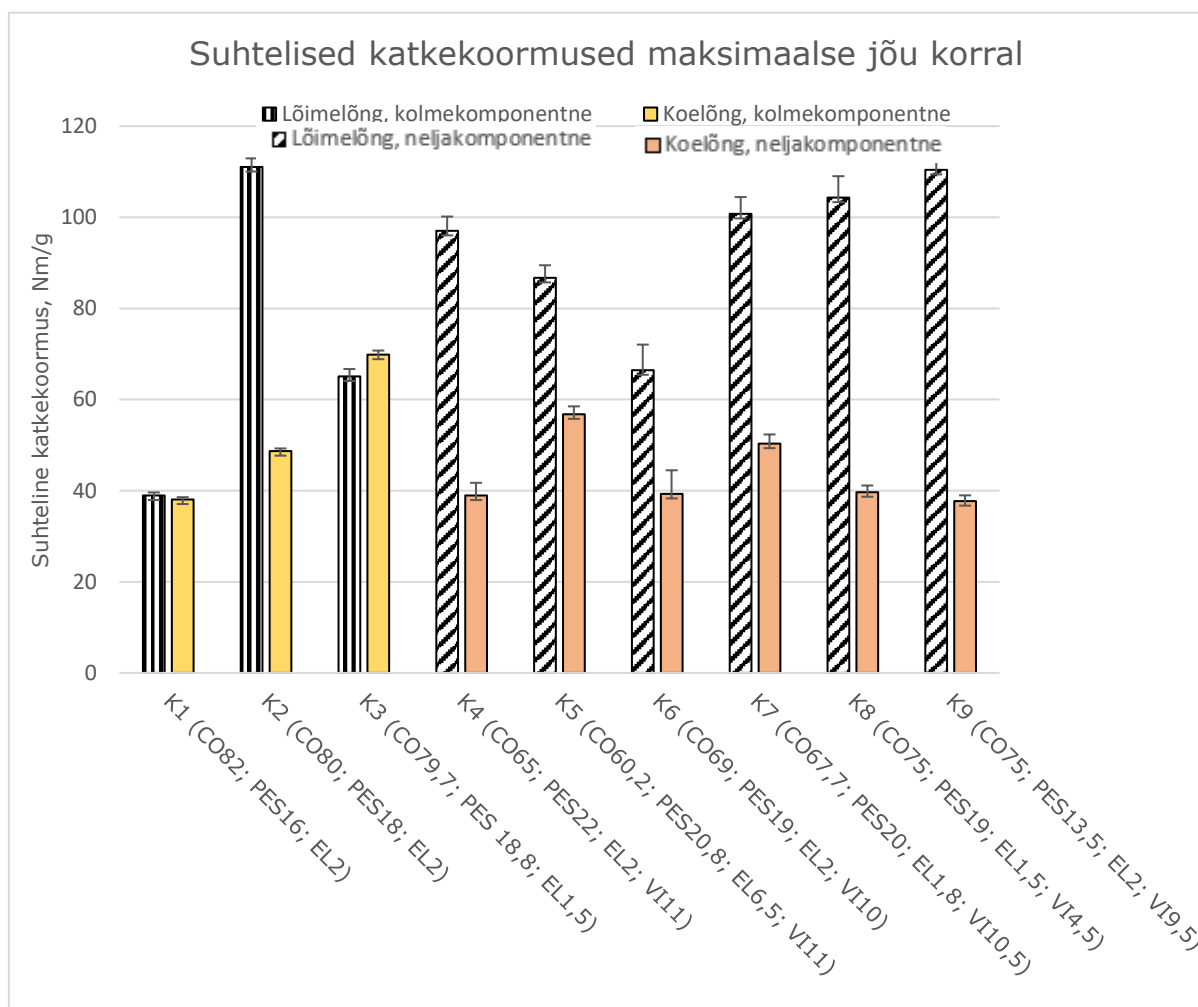
Jooniselt 6.2 on näha, et kõikidel teksakangastel on lõimelõngu rohkem kui koelõngu. Märgatavalt rohkem lõimelõngu on neljakomponentsetel teksakangastel K7 (56 lõnga/cm) ja K8 (53 lõnga/cm). Vastavalt sidustele (vt Lisa 2) on eelnevalt mainitud kangaste lõimelõngad võrreldes kõigi teiste kangastega tihedamalt kootud. Kanga K4 väike lõimelõngade arv (35 lõnga/cm) on tingitud siduses hõredalt paiknemisest (vt Lisa

2). Kangastel K1, K2, K3, K4, K5 ja K9 on uuritavatest kangastest keskmine tulemus. Kangal K6 on lõimelõngu keskmisest natuke rohkem, 44 lõnga/cm.

Arvestades kõikide kangaste koelõngade arve, ei ole nende tulemused väga erinevad üksteisest. Enamike kangaste tulemused jäävad vahemikku 22-24 lõnga/cm. Üldjuhul on altass-sidusega teksakangastel vähem koelõngu kui toimse sidusega kangastel. Seda on graafikult näha ainult ühe atlass-sidusega kanga K8 puhul, millel on kõige vähem koelõngu, vastavalt 18 lõnga/cm, ja ühe toimse sidusega kanga K2 puhul, millel on 26 lõnga/cm.

6.4 Tõmbetugevuse määramine

Tõmbetugevuse hindamiseks määrati igale kangale maksimaalne jõud njuutonites ning arvutati suhteline katkekoormus, mis arvutati vastavalt valemile 5.2.



Joonis 6.3. Suhteline katkekoormus lõime- ja koelõnga suunas

Joonisel 6.3 on tulpdiaagrammina kujutatud diagramm, millel on näha arvutuslikult keskmised suhtelised katkekoormused maksimaalse jõu korral lõime- ja koelõnga suunas ning nende standardhälbed. Lisas 8 on välja toodud tõmbetugevuse lähteandmed ja vahetulemused.

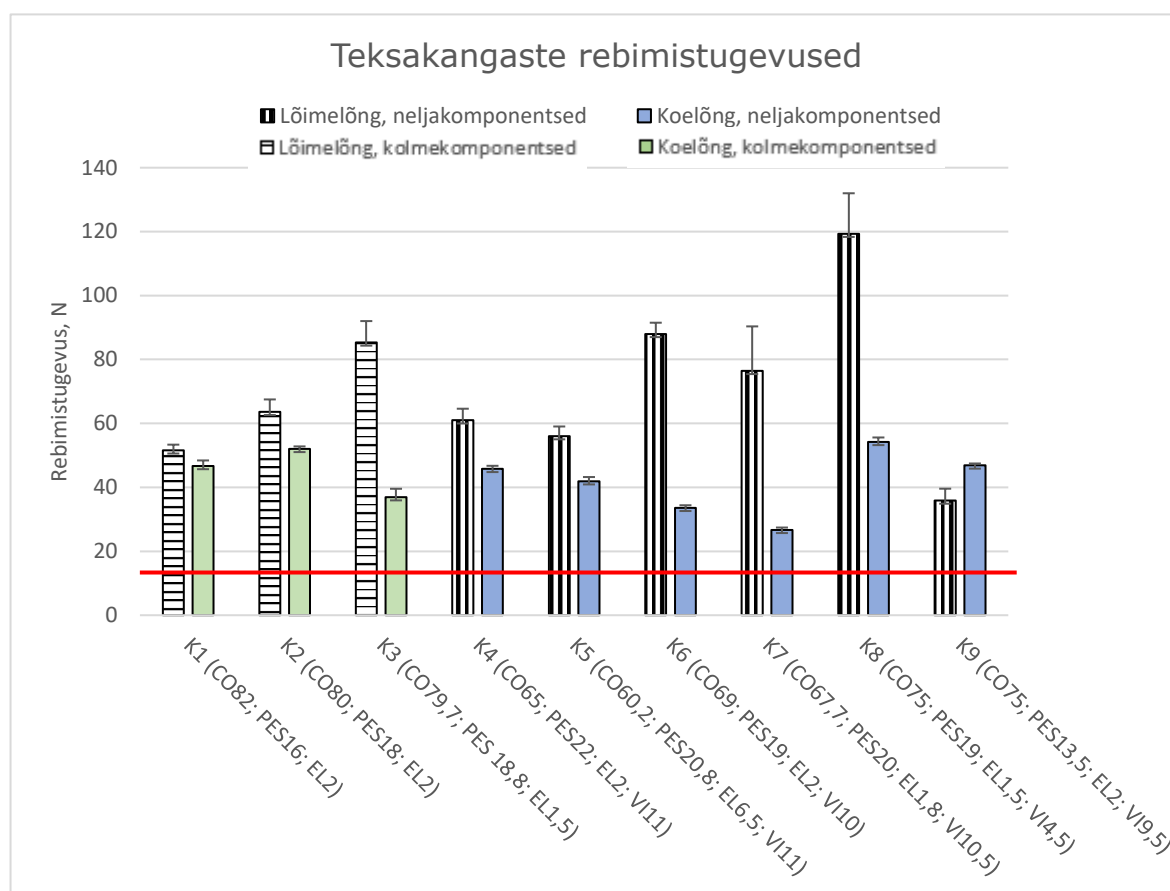
Jooniselt 6.3 on näha, et enamikel kangastel on suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral lõimelõnga suunas suurem kui koelõnga suunas, sest teksakanga sidustel langeb suurem pinge koelõngadele. Seevastu on kangal K3 koelõnga suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral (70 ± 1) Nm/g natuke suurem kui lõimelõnga suunas (65 ± 2) Nm/g. Mainitud kanga suuremat tulemust koelõnga suunas võib hüpoteetiliselt põhjendada suurema pinge langemisega lõimelõngal. Kangal K6 on väga sarnane suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral (66 ± 6) Nm/g lõimelõnga suunas kangale K3, sest neil on sarnane polüestri sisaldus, vastavalt kangal K6 19% ja kangal K3 18,8%.

Üldiselt polüestri suurem sisaldus suurendab lõngade suhtelist katkekoormust maksimaalse jõu korral. Seevastu katsetulemuste põhjal on näha, et kõige suurema polüestri sisaldusega (22%) kangal K4 on suur suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral (97 ± 3) Nm/g, kuid mitte kõige suurem. Mainitud kanga koelõngal on madal tõmbetugevuse väärtus, mis on tingitud kanga väikesest pindtihedusest (vt joonis 6.1). Kõige madalama polüestri sisaldusega (13,5%) kangal K9 on suur suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral lõimelõnga suunas, vastavalt (110 ± 3) Nm/g, kuid koelõnga suunas on see uuritavatest kangastest kõige madalam, vastavalt (38 ± 1) Nm/g. Kangal K5 on suur polüestri sisaldus (20,8%), mis suurendab koelõnga suunas suhtelist katkekoormust (57 ± 2) Nm/g. Seevastu lõimelõnga suunas on väärtus keskmine (87 ± 3) Nm/g, mis on tingitud võrreldes teiste uuritavate kangastega suuremast elastaani sisaldusest (6,5%).

Kõige suurem tõmbetugevus lõimelõnga suunas on kangal K2, kuigi sellel on keskmine polüesterkiu sisaldus (18%) võrreldes uuritud teksakangastega. Kangastel K7 ja K8 on ka suured tõmbetugevused lõimelõnga suunas. Mainitud kangastel on atlasse-sidus, mis üldiselt vähendab tõmbetugevust, kuid nende puhul suurendab suurem polüestri sisaldus tulemusi. Koelõnga suunas on kangal K8 suurem suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral kui kangal K7. Madalaid tulemusi nii lõime- kui ka koelõnga suunas kanga K1 puhul põhjustab madal polüestri sisaldus (16%).

6.5 Rebimistugevuse määramine

Rebimistugevuse määramiseks arvutati iga kanga kohta nii lõime- kui ka koelõnga suunas rebimistugevuse aritmeetilised keskmised njuutonites. Joonisel 6.4 on välja toodud rebimistugevuse andmed koos standardhälvetega. Lisas 9 on esitatud rebimistugevuse lähteandmed ja vahetulemused. Punane joon graafikul näitab rebimistugevuse miinimumnõudeid teksapükstele ja lühikestele teksapükstele (vt tabel 4.1)



Joonis 6.4 Rebimistugevus lõime- ja koelõnga suunas

Jooniselt 6.4 on näha, et kõikide kangaste rebimistugevused nii lõime- kui ka koelõnga suunas vastavad miinimumnõuetele. Peale kanga K9 on lõimelõnga suunas rebimistugevus suurem kui koelõnga suunas. Ühtlasi on mainitud kangal kõige väiksem rebimistugevus (36 ± 4) N lõimelõnga suunas, mis on tingitud kõige väiksemast polüestri sisaldusest (13,5%).

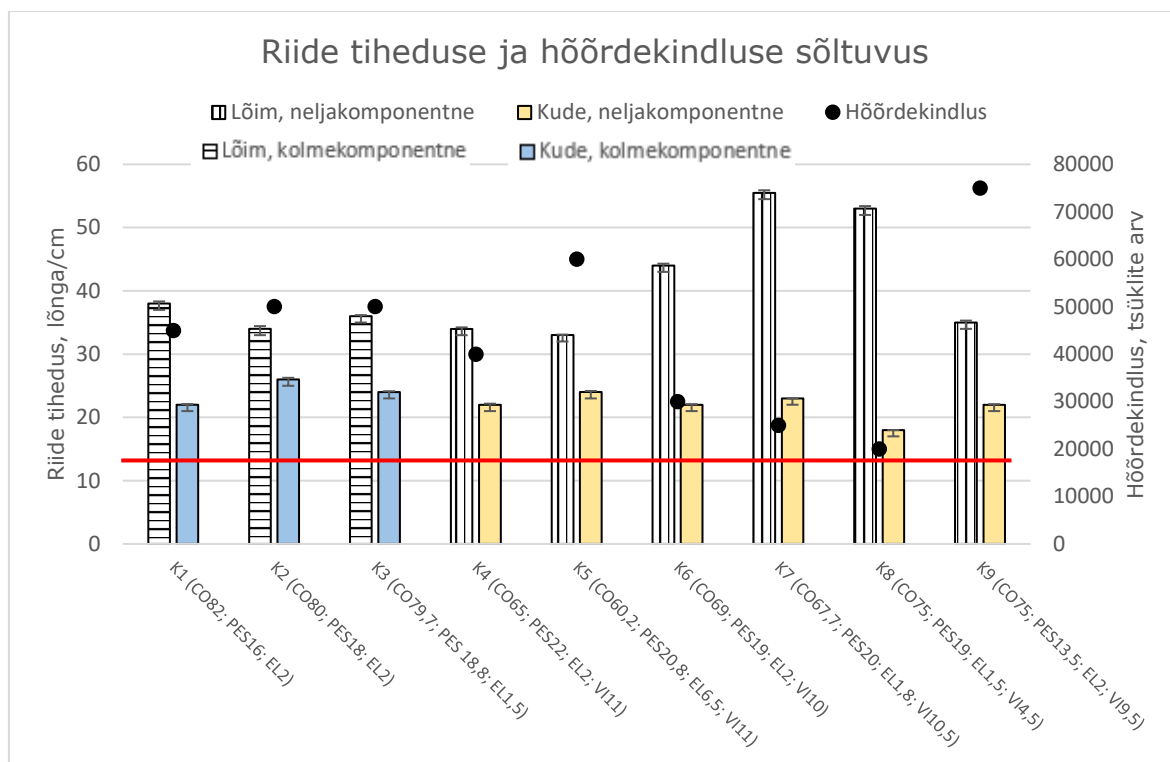
Sarnaselt tõmbetugevusele suurendab kõrge polüestri sisaldus rebimistugevust. Seevastu on kõige suurema polüestri sisaldusega (22%) teksakangal K4 madal rebimistugevus lõimelõnga suunas ja keskmine tulemus koelõnga suunas. Kangad K1, K2 ja K5 näitasid kangad lõimelõnga suunas madalat rebimistugevust. Kangal K5 on

küll kõrge polüestri sisaldus (20,8%), kuid uuritud kangastest kõige kõrgem elastaanisaldus (6,5%) vähendab kanga rebimistugevust. Kanga K1 puhul vähendab rebimistugevust lõimelõnga suunas madal polüestri sisaldus (16%), mis tuleb välja kanga K2 näitel, mille kõrgem polüestrisisaldus (18%) suurendas rebimistugevust.

Üldjuhul on atlass-sidustega kangastel madalam rebimistugevus kui toimse sidustega kangastel. Seevastu on rebimistugevuse graafikult näha, et kõigil atlass-sidustega kangastel (K3, K7 ja K8) on suur rebimistugevus lõimelõnga suunas vaatamata nende keskmisele polüestri sisaldusele. Kangal K8 on lõime- ja koelõnga suunas kõige suurem rebimistugevus, vastavalt (119 ± 13) N ja (54 ± 1) N. Kõikides uuritavatest kangastest keskmise polüestri sisaldusega kangaste K8 ja K7 puhul suurendab rebimistugevust lõimelõnga suunas suur lõimelõngade arv 1 cm^2 kohta (vt joonis 6.2). Uuritavate kangaste koostisega võrreldes keskmise polüestri sisaldusega kanga K3 rebimistugevust lõimelõnga suurendab kõrge pindtihedus (vt joonis 6.1). Võrreldes teiste uuritud kangastega on kangastel K3, K7 ja K8 suured standardhälbed, mida põhjustab atlass-siduse ebaühtlasem struktuur kui toimsel sidusel. Kanga K3 kahe katsekeha rebimistugevuse katsed ebaõnnestusid, mida võib hüpoteetiliselt põhjustada suurem jõud rebimissuunas.

6.6 Riide tiheduse ja hõõrdekindluse sõltuvuse hindamine

Määrati iga kanga hõõrdekindlus intervallide kaupa (vt Lisa 9). Hõõrdekindlus on määratud tsükllite arvuga, mida kangas läbib hõõrdumise käigus. Joonisel 6.5 on esitatud riide tiheduse ja hõõrdekindluse sõltuvuse graafik diagrammina ning riidetiheduse standardhälbed. Lisas 10 on välja toodud hõõrdekindluse katsekehade pildid. Punane joon graafikul näitab hõõrdekindluse miinimumnõudeid pükstele ja lühikestele pükstele (vt tabel 4.1)



Joonis 6.5 Riide tiheduse ja hõõrdekindluse sõltuvus

Jooniselt 6.5 on näha, et kõik katsetatud teksakangad vastasid hõõrdekindluse miinimumnõuetele. Suurim hõõrdekindlus on kõige väiksema polüestri sisaldusega (13,5%) kangal K9, vastavalt 75000 tsükliite. Kõige väiksem hõõrdekindlus esineb võrreldes teiste uuritavate kangastega keskmise polüestri sisaldusega kangal K8, vastavalt 20000 pööret. Nende kangaste hõõrdekindlus on drastiliselt erinev, kanga K9 tulemus olles 3,75 korda suurem kanga K8 tulemusest. Üldjuhul on teksakanga hõõrdekindlus kõrgem suurema riidetiheduse ja polüestri sisalduse korral. Kuna riide tiheduse puhul on koelõngade arv uuritavate kangaste puhul üsna sarnane, mõjutab peamiselt lõimelõngade arv hõõrdekindlust. Kanga K8 puhul on näha, et sellel on rohkem lõimelõngu (53 lõnga/cm) kui kangal K9 (35 lõnga/cm), kuid mainitud kangaste koelõngade arvu erinevus on ainult 4 lõnga/cm. Kanga K8 väike hõõrdekindlus on tingitud ka atlass-sidusest (vt Lisa 2) ning vastupidiselt suurendab kanga K9 hõõrdekindlust toimne sidus.

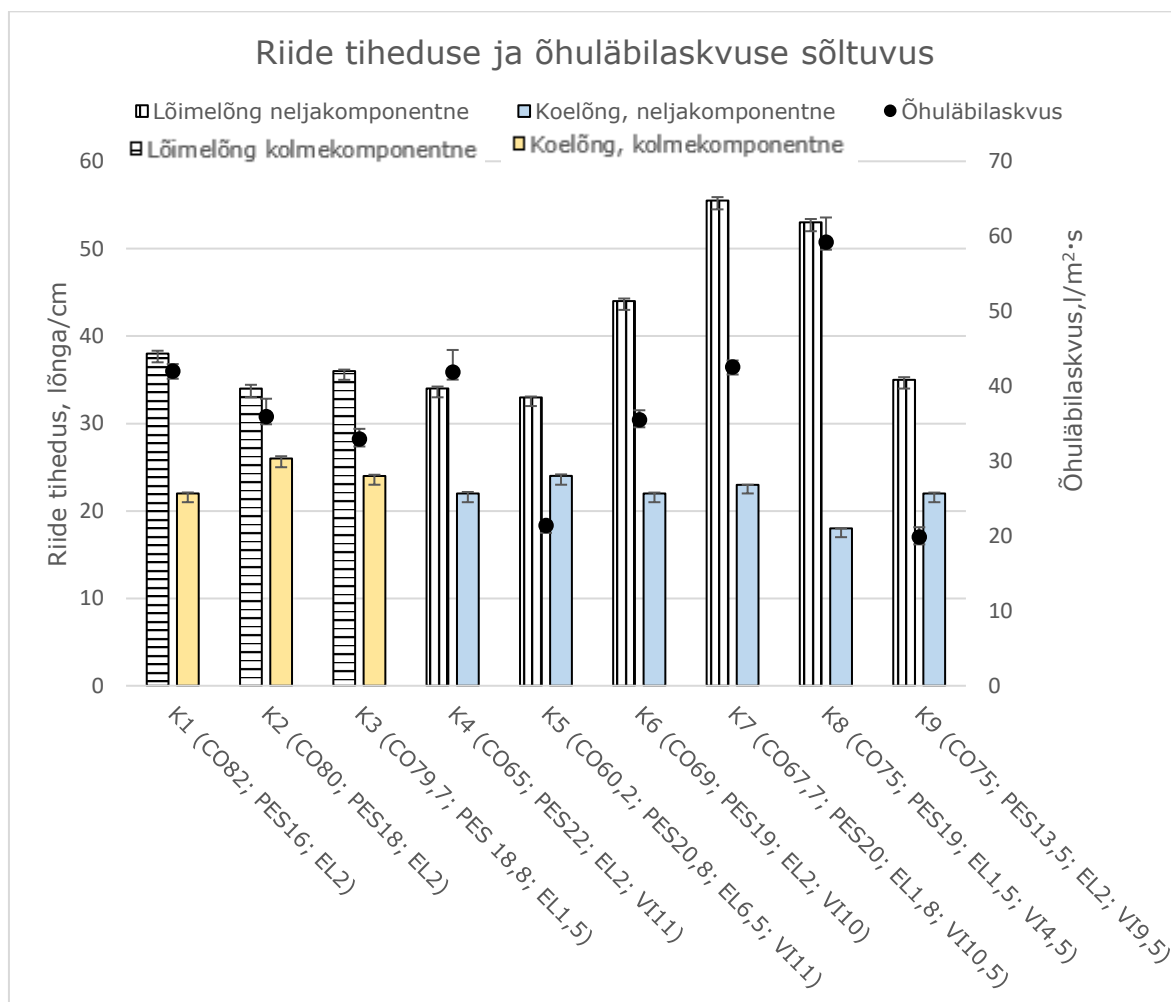
Madalad hõõrdekindlused on kangastel K7 ja K6, vastavalt 25000 ja 30000 pööret, kuigi neil on suur arv lõimelõngu. Madal hõõrdekindlus on tingitud kanga K7 puhul sarnaselt kangale K8 atlass-sidusest. Kanga K6 puhul võib hüpoteetiliselt järeldada, et madalat hõõrdekindlust mõjutab lõnga jämedus.

Uuritavatest kangastest keskmised hõõrdekindlused on kangastel K1, K2 ja K3, vastavalt 45000, 50000, 50000. Nendel kangastel on sarnane arv lõime- ja koelõngu.

Kõige suurema polüestri sisaldusega (22%) kangal K4 on eelnevalt mainitud kangastest väiksem hõõrdekindlus, mis on tingitud madalast riide tihedusest. Kangal K5 on kangast K4 suurem hõõrdekindlus (60000 pööret), mille tagab suur polüestri sisaldus (20,8%).

6.7 Riide tiheduse ja õhuläbilaskvuse sõltuvuse hindamine

Õhuläbilaskvus mõõdeti iga kanga puhul kümnest erinevast kohast ning tulemuste aritmeetilise keskmised on esitatud joonisel 6.6 koos standardhälvetega. Võrdluseks on lisatud riide tiheduse andmed, sest õhuläbilaskvus sõltub otseselt lõime- ja koelõngade arvust 1 cm² kohta. Lisas 11 on esitatud õhuläbilaskvuse lähteandmed ja vahetulemused.



Joonis 6.6 Riide tiheduse ja õhuläbilaskvuse sõltuvus

Üldjuhul on õhuläbilaskvus suurem madalama riide tiheduse korral. Jooniselt 6.6 on vastupidiselt kirjandusele näha, et kangal K8, millel on suur lõimelõngade arv (53

lõnga/cm), on suur õhuläbilaskvus, $(59 \pm 3) \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$. Kangal K9, millel on märgatavalt väiksem lõimelõngade arv (53 lõng/cm), on väike õhuläbilaskvus, $(20 \pm 1) \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$. Kanga K8 puhul tõstab õhuläbilaskvust atlass-sidus ja kanga K9 puhul vähendab seda toimne sidus. Sarnaselt hõõrdekindlusele ei ole katsetatud koelõngadel suurt mõju õhuläbilaskvusele sarnaste koelõngade arvu tõttu.

Viskoosi ja puuvilla sisaldus suurendab üldjuhul õhuläbilaskvust ja polüestri suurem sisaldus vähendab, kuid sama puuvilla koostisega kangaste K8 ja K9 tulemustest on näha, et suurema polüestri sisalduse korral on õhuläbilaskvus parem ja väiksema viskoosi sisalduse korral on õhuläbilaskvus halvem. See on tingitud kanga K8 atlass-sidusest, mis laseb toimse siduse tõttu paremini õhku läbi.

Kangastel K1, K4 ja K7 on sarnased keskmise väärtusega õhuläbilaskvuse tulemused arvestades kõikide kangaste õhuläbilaskvust. K1 puhul tõstab õhuläbilaskvust kõrge puuvilla sisaldus (82%) ja väike polüestri sisaldus (16%). Kangastel K4 ja K7 on õhuläbilaskvust vähendav suur polüestri sisaldus, kuid mainitud kangaid muudab õhuläbilaskvamaks sarnane viskoosi sisaldus, mis puudub kangal K1.

Kangastel K2, K3 ja K6 on võrreldes kõikide uuritud kangastega keskmisest natuke madalamad õhuläbilaskvused. Sarnase kiulise koostise tõttu on kanga K2 ja K3 tulemused lähedased. Kangal 6 on mõlemast eelnevalt mainitud kangast madalam puuvilla sisaldus, kuid mainitud kanga õhuläbilaskvust suurendab viskoosi sisaldus. Madal tulemus on väikse riide tihedusega kangal K5 tingitud kõrgest polüestri ja madalast puuvilla sisaldusest.

7. JÄRELDUSED

Teksakangaste katsetamisel ja analüüsimisel selgus, et kõikide vajalike tugevus- ja mugavusomadustega teksakanga kiulist koostist on keeruline leida. Erinevad kiud ja nende protsentuaalne väärtus koostises mõjutab erinevalt teksakanga füüsilis-mehaanilisi omadusi. Samuti mõjutavad omadusi sidused. Teksakanga vastupidavuse seisukohast on kõige olulisemad omadused tõmbe- ja rebimistugevus ning hõõrdekindlus. Kanga mugavust hinnatakse õhuläbilaskvuse ja elastaankiu sisalduse järgi.

Suured suhtelised katkekoormused maksimaalse jõu korral olid lõimelõnga suunas enamikel keskmise polüestri sisaldusega kangastel. Neljakomponentsete teksakangaste suhtelist katkekoormust alandas suurest polüestri sisaldusest tingitud väike puuvilla protsent. Suurem elastaani sisaldus kanga K5 puhul alandas tulemust natuke. Vaatama lõimelõnga suunas kanga K2 suurele ja kanga K6 väikesele suhtelisele katkekoormusele maksimaalse jõu korral, mis on hüpoteetiliselt tingitud teksakanga jämedatest lõngadest ja pikkadest kiududest, näitasid neljakomponentsed kangad paremaid tulemusi. Madalate polüestrisisaldustega viskoosita kangal K1 ja viskoosiga kangal K9 olid drastiliselt erinevad suhtelised katkekoormused maksimaalse jõu korral. Sellest saab järeldada, et segades viskoosi polüesterkiuga, on tõmbetugevuse omadused üldiselt paremad kui ilma viskoosita kolmekomponentsed kangad.

Kolmekomponentsete teksakangaste puhul koelõnga suunaline suhteline katkekoormus maksimaalse jõu korral suurenes polüestrisisalduse suurenemisel ning puuvilla- ja elastaankiu vähenemisel. Neljakomponentsete koelõnga suunaliste teksakangaste puhul on näha, et viskooskiud ei suurenda otseselt tugevusomadust. Samuti on nii suure kui ka väikse polüestri sisaldusega neljakomponentsetel kangastel nii kõrged kui ka madalad tulemused. Samuti kehtib see ka puuvilla sisalduse kohta.

Kõik katsetatud teksakangad ületasid rebimistugevuse miinimumnõuded. Rebimistugevuse tulemustest on näha, et lõimelõnga suunas on kõrgema polüestri sisalduse tõttu tekkinud madal puuvillasisaldusega neljakomponentsetel kangastel madalad ja keskmised rebimistugevused võrreldes uuritud teksakangastega. Viskoos tõstis rebimistugevust ainult kolmel kangal, K6, K7 ja K8. Suurema elastaanisaldusega kangastel oli madal rebimistugevus. Väike polüestri ja keskmine puuvilla sisaldus vähendas rebimistugevust lõimelõnga suunas.

Kolmekomponentsed kangad K1, K2 ja K3 näitavad paremaid rebimistugevuse omadusi lõimelõnga suunas kui neljakomponentsed kangad K4, K5 ja K9. Sellest võib järeldada, et puuvilla osakaalu vähendades polüestri ja viskoosi sisalduse suurendamine ei tõsta

rebimistugevust. Liiga vähe polüestrit lisades ei ole ka rebimistugevus suur. Väiksema viskoosi sisaldusega kangad näitasid paremaid rebimistugevuse omadusi.

Teoorias uuritule vastupidiselt oli suurema riide tihedusega kangastel väike hõõrdekindlus. Keskmise riide tihedusega kangad näitasid keskmisi hõõrdekindluse tulemusi. Väikese riide tihedusega nii lõime- ja koelõnga suunas ja kõige väiksema polüestri sisaldusega teksakangas K9 näitas teistest kangastest märkimisväärselt suuremat hõõrdekindlust, 75000 tsükli. Mainitud toimse sidusega kanga puhul suurendas hõõrdekindlust kõrge viskoosi ja kõrge puuvilla sisaldus. Vaatamata väga erinevatele tulemustele, vastasid kõik teksakangad hõõrdekindluse miinimumnõudele (18 000 tsükli).

Keskmise polüestri sisaldusega (18-19%) kangad varieerusid madalast hõõrdekindlusest kuni suureni. Sellest võib järeldada, et lisades suuremas koguses polüestrit, väheneb selle tõttu puuvilla kogus, kuid hõõrdekindlus võib olla nii madal kui ka suur. Tulemustest ei saa ka järeldada, et viskooskiud oleks hõõrdekindlust suurendanud.

Viskoosi sisaldavate kangaste hõõrdekindlused varieerusid suuresti. Suure polüestri sisalduse pärast vähenenud puuvilla koguse tõttu sarnase riide tihedusega kangastel K4 ja K5 olid erinevad hõõrdekindlused. Atlass-sidusega kangastel oli madalam hõõrdekindlus kui toimse sidusega kangastel, kuid atlass-sidustega kangaste hõõrdekindlust tõstab hüpoteetiliselt jämedam lõng.

Suurema puuvilla sisaldusega kolmekomponentsed kangad (K1-K3) näitasid keskmisi õhuläbilaskvuse tulemusi võrreldes teiste uuritud teksakangaste tulemustega. Viskoosiu sisaldusega kangad (K4-K9) näitasid erinevaid suurusega õhuläbilaskvuse tulemusi, varieerudes $20-59 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}$. Tulemustest on näha, et suurem viskoosi sisaldus ei paranda õhuläbilaskvusomadusi märgatavalt. Kõige madalama viskoosi sisaldusega (4,5%) kangas K8 näitas kõige suuremat õhuläbilaskvust. Suure puuvilla sisaldusega kolmekomponentsed kangad näitasid mitmetest viskoosisisaldusega kangastest sarnaseid või paremaid tulemusi. Kangastel K4-K7 oli viskoosiu õhuläbilaskvuse omadus halvenenud väiksema puuvilla ja suurema polüestri sisalduse tõttu. Erandlikult madal õhuläbilaskvus oli keskmise puuvilla sisaldusega kangal K9, millel oli suur viskoosi sisaldus ja madal polüestri sisaldus.

Pindtiheduse andmetest saab järeldada, et kõige suurema tihedusega kiud, puuvill ja viskoos, ei mõjutanud märgatavalt teksakangaste kaalu 1 cm^2 kohta. Pigem mõjutasid pindtihedust lõngade paiknemise tihedus. Mida tihedam oli struktuur, seda suurem oli pindtihedus.

Riide tiheduse andmetest selgus, et uuritud kangastel olid üsna sarnased koelõngade arvud. Sarnaselt pindtihedusele mõjutas teksakangaste riide tihedust lõngade paiknemise tihedus. Tihedamalt asetsevad lõngad suurendasid riide tihedust.

Kokkuvõtlikult saab järeldada, et mitmetel kangastel olid vastupidavuse ja mugavusomaduse seisukohast head tulemused ühe füüsilise-mehaanilise omaduse osas, kuid jällegi kesised teise parameetri poolest. Seetõttu on oluline leida tasakaal kõigi testitud ja analüüsitud omaduste vahel. Arvestades kõiki katsetatud teksakangaste analüüsitud tulemusi tagamaks head tugevus- ja mugavusomadused, on optimaalne teksakanga kiuline koostis ~75% puuvill, ~19% polüester, ~4,5% viskoos ja ~1,5% elastaan.

Teksakanga füüsikalisi-mehaanilisi omadusi mõjutavad ka teised olulised omadused, nagu lõngade joontihedus ehk jämedus ja kiudude pikkus. Käesolevas töös on esitatud mainitud omadustele hüpoteetilised väited põhjendamaks kirjandusandmetele vastuolulisi tulemusi.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös uuriti kiulise koostise mõju teksakangaste füüsikalise-mehaanilistele omadustele. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli kolme- ja neljakomponentsete teksakangaste kiulise koostise mõju analüüsimine teksakanga füüsikalise-mehaanilistele omadustele ning optimaalseima koostise leidmine.

Uuriti üheksat erineva kiulise koostisega teksakangast, millest kangad K1-K3 koosnesid kolmest komponendist ja ülejäänud kangad K4-K9 olid neljakomponentsed. Kolme- ja neljakomponentsed kangad valiti põhjusel, et need on tugevamad, vastupidavamad ning on paremate mugavusomadustega kui ühe- või kahekomponentsed teksakangad. Materjali valikul pidi arvestama ka ettevõtete Kipaş Holding A.Ş. ja KG Denim poolt pakutava kangavalikuga. Autor katsetas kangaste K1-K5 kõiki lõputöös uuritud füüsikalise-mehaanilisi omadusi ja teostas ka mainitud kangastele morfoloogilise analüüsi ning mõõtis kangaste K6-K9 õhuläbilaskvuse. Ülejäänud teksakangaste tulemused on võetud analüüsimise ja võrdluse eesmärgil tööstusdoktorandi Nele Mandre varasematest teadusartiklitest „Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fibre Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics” ja „Impact of laser fading on physico-mechanical properties and fibre morphology of multicomponent denim fabrics”.

Kolmekomponentsed kangad sisaldasid endas puuvilla, polüestrit ja elastaani ning neljakomponentsed koosnesid puuvillast, polüestrist, elastaanist ja viskoosist. Erineva kiulise koostise mõju uurimiseks määrati teksakangaste pindtihedus, riide tihedus, tõmbe- ja rebimistugevus, hõõrdekindlus ja õhuläbilaskvus. Samuti teostati lõime- ja koelõngadele morfoloogiline analüüs, et määrata kangastes sisalduvad kiud.

Vaatamata sellele, et uuritavate teksakangaste seas oli madala rebimistugevuse ja hõõrdekindlusega teksakangaid, ületasid kõik kangad miinimumnõuded.

Praktilise osa käigus selgus, et enamikel kangastel oli tõmbe- ja rebimistugevus suurem lõimelõnga suunas. Viskoosi lisamine kangasse tõstis teksakanga tugevusomadusi lõimelõnga suunas. Polüestri sisalduse suurenedes tugevusomadused kasvasid. Suurem elastaankiu sisaldus vähendas tugevusomadusi. Atlassidustega kangad olid vähem hõõrdekindlamad ja väiksemate tugevusomadustega kui toimse sidusega kangad.

Bakalaureusetöö praktilise osa analüüsi käigus selgus, et mitmed tulemused olid vastuolulised kirjanduses uuritule:

- Suure riide tihedusega teksakangastel oli suurem õhuläbilaskvus.

- Hõõrdekindlus oli teksakangastel suurem väiksema riide tiheduse ja väiksema polüestri sisalduse korral.
- Viskoosiu suurem sisaldus ei suurendanud õhuläbilaskvust.

Bakalaureusetöös uuritud teksakangaste analüüsimisel tekkinud kirjandusallikatele vastupidised tulemused võisid hüpoteetiliselt mõjutada teksakangaste lõime- ja koelõngade joontihedus ning kiudude pikkus, mida bakalaureusetöös ei uuritud. Sellest lähtuvalt oleks oluline mainitud parameetreid edasi uurida, et teha põhjalikemaid järeldusi teksakanga kiulise koostise ja füüsikalis-mehaaniliste omavahelisele seosele.

Tulemuste analüüsi ja järelduste käigus selgitati välja, et optimaalseim koostis uuritud teksakangaste põhjal oleks teksakangas, mis sisaldab ~75% puuvilla, ~19% polüestrit, ~4,5% viskoosi ja ~1,5% elastaani. Optimaalne koostise valik tehti lähtudes sellest, et teksakangas oleks piisavalt tugev, vastupidav ehk pikema elueaga ning piisavad mugavusomadused oleksid tagatud. Katsetatud teksakangaste seas ei olnud ühtegi kangast, mille kõik füüsikalis-mehaanilised omadused oleksid uuritavatest kangastest parimad olnud. Teksakanga puhul ei saa tagada kangale kõiki häid omadusi korraga, sest ühe omaduse suurendamisel väheneb teine. Seetõttu määrati optimaalseimaks kiuline koostis, mis tasakaalustab kõiki uuritud füüsikalis-mehaanilisi omadusi.

SUMMARY

In this bachelor's thesis, the effect of fibre composition on physico-mechanical properties of denim fabrics were investigated. The aim of the thesis was to analyze the effect of fibre composition of three- and four-component denim fabrics on the physico-mechanical properties of denim fabric and to find the most optimal fibre composition.

Nine denim fabrics with different fibre composition were explored. The fabrics K1-K3 consisted of three components and the fabrics K4-K9 were four-component denim fabrics. Three- and four-component fabrics were chosen because they are stronger, more durable and have better comfort characteristics than one- or two-component denim fabrics. Also, the fabric selection was based on the fabrics offered by the companies Kipaş Holding A.Ş. and KG Denim. The author of this thesis tested all the physico-mechanical properties and performed morphological analysis of the fabrics K1-K5 studied in this thesis and measured air permeability of the fabrics K6-K9. The rest of the denim fabric results were used for the purpose of analysis and comparison from the previous research papers "Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fiber Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics" and "Impact of laser fading on physico-mechanical properties" and fiber morphology of multicomponent denim fabrics" of an industrial doctoral student Nele Mandre.

The three-component fabrics contained cotton, polyester and elastane, and the four-component fabrics consisted of cotton, polyester, elastane and viscose. In order to study the effect of different fiber composition on tensile and tear strength values, abrasion resistance and air permeability of the denim fabrics were determined. A morphological analysis was also performed on the warp and weft yarns to determine the fibers present in the fabrics.

Although there were denim fabrics with low tear strength and abrasion resistance results among the examined denim fabrics, all the fabrics exceeded the specified minimum requirements determined in the document "Characteristics and defects of clothing materials. Recommended minimum requirements and test methods" issued by the Estonian Clothing and Textile Association.

In the practical part, it was determined that most fabrics had greater tensile and tear strength in the warp yarn direction. The addition of viscose to the fabric increased the strength properties of the denim fabric in the direction of the warp yarn. A higher content of elastane reduced tensile and tear strength values. Fabrics with satin weave were less abrasion resistant and had lower strength values than twill weave fabrics. The

analysis of the practical part of the thesis revealed that several results of the tested fabrics were contradictory to what was studied in the literature:

- Denim fabrics with high numbers of threads per unit length had higher air permeability.
- Denim fabrics with lower number of threads per unit length and lower polyester content were more resistant to abrasion.
- Higher content of viscose fibre did not increase air permeability values.

The contradictory results of the literature material that occurred during the analysis of the denim fabrics studied in the thesis could hypothetically be influenced by the linear density of the warp and weft yarns and the length of the fibres, which were not tested in the bachelor's thesis. Therefore, it would be important to further investigate the mentioned parameters.

Based on the analysis of the results and conclusions, it was found that the most optimal composition based on the tested denim fabrics would be a denim fabric containing ~75% cotton, ~19% polyester, ~4.5% viscose, and ~1.5% elastane. The optimal choice of composition was made based on the purpose that the denim fabric would be strong enough, durable, i.e. with a longer lifespan, and sufficient comfort properties would be guaranteed. Among the denim fabrics tested, there was no fabric with all the best physico-mechanical properties. It is not possible to guarantee all the good properties of denim fabric, because when one property is increased, the other decreases. Therefore, a fibre composition that balances all the studied physico-mechanical properties was determined to be optimal.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] S. S. Muhtu, "Sustainability in Denim," 2017.
- [2] N. Mandre, T. Plamus and A. Krumme, "Impact of Weft Yarn Density and Core-yarn Fibre Composition on Tensile Properties, Abrasion Resistance and Air Permeability of Denim Fabrics," 2021. <http://dx.doi.org/10.5755/j02.ms.27532>
- [3] N. Mandre, T. Plamus, A. Linder, A. Krumme and A. Rohumaa, "Impact of laser fading on physico-mechanical properties and," 2023. <https://doi.org/10.3176/proc.2023.2.05>
- [4] A. Hako, "Textile School," [Võrgumaterjal]. <https://www.textileschool.com/6890/denim-weaving-manufacturing-methods-and-technologies/4/>. [Kasutatud 17.05.2023].
- [5] R. Paul, "Denim. Manufacture, Finishing and Applications, Woodhead Publishing," 2015.
- [6] L. Downey, "The True Blue Story Behind the West's Toughest Trousers," 2017 [Võrgumaterjal]. <https://truewestmagazine.com/article/the-true-blue-story-behind-the-vests-toughest-trousers/> [Kasutatud 17.05.2023].
- [7] Bawn Textiles, "Twill weave," [Võrgumaterjal]. <https://bawntextiles.com/blogs/form/twill-weave>. [Kasutatud 14.04.2023].
- [8] A. Rataj, "Basic Weave Structures: Twill," Gist Yarn, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.gistyarn.com/blogs/how-to-weave/basic-weave-structures-twill>. [Kasutatud 14.04.2023].
- [9] "Tushar Indigo Paradise," [Võrgumaterjal]. <https://www.tipdelhi.in/DenimLove/types-of-denim-weaves>. [Kasutatud 18.04.2023].
- [10] Heddels, "7 Weave Patterns To Know – Twill, Basketweave, Satin, and More," 20.03.2023. [Võrgumaterjal]. <https://www.heddels.com/2017/12/7-weave-patterns-to-know-twill-basketweave-satin-and-more/>. [Kasutatud 15.04.2023].
- [11] Polymer Database. [Võrgumaterjal]. <https://polymerdatabase.com/Fibers/Fiberpedia%20W.html>. [Kasutatud 15.04.2023].
- [12] R. Sinclair, "Textiles and Fashion, Materials, Design and Technology, Woodhead Publishing," 2014.
- [13] S. S. Kontrannavar, "Silk denim - A new generation fabric," [Võrgumaterjal]. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/3262/silk-denim>. [Kasutatud 16.04.2023].
- [14] Barnhardt Purified Cotton, "Properties of Cotton," [Võrgumaterjal]. <https://barnhardtcotton.net/technology/cotton-properties/>. [Kasutatud 16.04.2023].

- [15] Texsite, Online Textile Dictionary, [Võrgumaterjal]. <http://en.texsite.info/Cotton>. [Kasutatud 16.04.2023].
- [16] VNPOLYFIBER, "Basic Information of Polyester Staple Fibre," [Võrgumaterjal]. Available: <https://vnpolyfiber.com/basic-information-of-polyester-staple-fiber/#:~:text=Physical%20properties%20of%20Polyester%20Fibers%3A&text=Density%20%3A%201.39%20g%2Fcc,R.H%20and%20%20%20%20C2%B0C>. [Kasutatud 17.04.2023].
- [17] Make Magazine, "Forensics Lab 6.10: Study The Morphology Of Natural And Artificial Fibers," [Võrgumaterjal]. <https://makezine.com/laboratory-610-study-the-morphology/>. [Kasutatud 17.04.2023].
- [18] I. Boncamper, "Tekstiilikiud. Käsiraamat," 1999.
- [19] InnoTherm, "Product Information for Inno-Therm®/Pavatextil," [Võrgumaterjal]. <http://inno-therm.com/product-information/>. [Kasutatud 18.04.2023].
- [20] M. I., Kiron, Effect of Twist on Yarn Strength and Fabric Properties | Twist Directions," [Võrgumaterjal]. <https://textilelearner.net/twist-directions-effect-of-twist/>. [Kasutatud 20.04.2023].
- [21] A. Hakoo, "Textile School,Denim Spinning Manufacturing Methods and Technologies," [Võrgumaterjal]. <https://www.textileschool.com/6856/denim-spinning-manufacturing-methods-and-technologies/>. [Kasutatud 22.04.2023].
- [22] CottonWorks, "Yarn Spinning Processes," [Võrgumaterjal]. <https://www.cottonworks.com/en/topics/sourcing-manufacturing/yarn-manufacturing/spinning-processes/#:~:text=The%20ring%20spinning%20process%20is,a%20removable%20bobbins%20on%20it..> [Kasutatud 23.04.2023].
- [23] Swinsol, "The adoption of mechanical compact spinning," [Võrgumaterjal]. <https://www.swinsol.com/the-adoption-of-mechanical-compact-spinning/>. [Kasutatud 25.04.2023].
- [24] Tongda Textile Machinery, "Ring Spinning and Rotor Spinning Yarn: Properties, Factors and Comparison," [Võrgumaterjal]. <https://www.china-tongda.com/1517.html>. [Kasutatud 25.04.2023].
- [25] H. A. El-Dessouki, "Effect of Different Washing Methods on Mechanical Properties of Egyptian Denim Fabrics," 2015. DOI: [10.21608/idj.2015.101517](https://doi.org/10.21608/idj.2015.101517)
- [26] C. Nilsson, E. Lindstam, "Assesing Denim Quality. A Study of the Denim Value Chain and Critical Aspects of Denim Quality," 2012. [Võrgumaterjal]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1308748/FULLTEXT01.pdf> [Kasutatud 28.04.2023].
- [27] M. I. Kiron, "Textile Learner, Effect of Enzyme Wash on Denim Garments," [Võrgumaterjal]. <https://textilelearner.net/enzyme-wash-on-denim-garments/>. [Kasutatud 23.04.2023].
- [28] Spherical Insights, "Global Denim Fabric Market Insights Forecasts to 2030," [Võrgumaterjal]. <https://www.sphericalinsights.com/reports/denim-fabric-market>. [Kasutatud 29.04.2023].

- [29] Apparel Resources, "Global Denim fabric manufacturing concentrated in Asia," 2014. [Võrgumaterjal]. <https://apparelresources.com/business-news/sourcing/global-denim-fabric-manufacturing-concentrated-in-asia-2/>. [Kasutatud 29.04.2023].
- [30] Statista, "Leading exporters of denim fabric worldwide in 2021," [Võrgumaterjal]. <https://www.statista.com/statistics/1010223/leading-exporters-of-denim-worldwide/>. [Kasutatud 30.04.2023].
- [31] S. U. Aki, C. Cevza, B. Nergis, N. S. Önder, "Understanding Denim Recycling: A Quantitative Study with Lifecycle Assessment Methodology," 2020. DOI: 10.5772/intechopen.92793.
- [32] S. S. Muthu, "Textiles and Clothing Sustainability. Sustainable Fashion and Consumption," 2017.
- [33] P. A. Annis, "Understanding and Improving the Durability of Textiles, Woodhead Publishing," 2012.
- [34] I. Jahan, "Effect of Fabric Structure on the Mechanical Properties of Woven Fabrics," 2017.
- [35] B. P. Corbman, Textiles: Fiber to Fabric.
- [36] Ö. Nilgün, "Stretch and Bagging Properties of Denim Fabrics Containing Different Rates of Elastane," 2008.
- [37] M. S. Hoque, M. I. Shahid, A. A. Parvez, M. J. Hossain and S. M. Sheen, "Knitted Denim Fabrics: Fabrication Process and Fibrous Influence on Several Properties of the Fabric," 2022. <https://doi.org/10.1177/24723444221119845>.
- [38] A. Basit, W. Latif, S. Baig, A. Rehman, M. Hashim and M. Zia-ur-Rehman, "The Mechanical and Comfort Properties of Viscose with Cotton and Regenerated Fibers Blended Woven Fabrics," 2018. DOI:10.5755/j01.ms.24.2.18260.
- [39] S. B. AK Choudhary, "Influences of elastane content, aesthetic finishes and fabric weight on mechanical and comfort properties of denim fabrics," 2018. [Online]. Available: DOI: 10.15406/jteft.2018.04.00119.
- [40] "Denim Fabric Manufacturing," Bulletin Technical, 2004. [Võrgumaterjal]. <https://www.cottoninc.com/wp-content/uploads/2017/12/ISP-1010-Denim-Fabric-Manufacturing.pdf>. [Kasutatud 10.05.2023].
- [41] Eesti Rõiva- ja Tekstiililiit, "Rõivamaterjalide omaduse ja vead. Soovituslikud miinimumnõuded ja katsemeetodid," 2001.
- [42] EVS-EN ISO 139:2005/A1:2011. Tekstiil. Standardkeskkond konditsioneerimiseks ja testimiseks
- [43] EVS-EN 12127:2000 Tekstiil. Kangasmaterjalid. Pindtiheduse määramine väikeproovidest
- [44] Gemini Sustainable Lab Equipment, [Võrgumaterjal]. <https://www.geminibv.com/labware/mettler-ae200-balance/>. [Kasutatud 18.05.2023].

- [45] James Heal. Sample Cutters, [Võrgumaterjal]. https://www.jamesheal.com/instrument/sample_cutters. [Kasutatud 18.05.2023].
- [46] ISO 13934-1:2013 *Textiles - Tensile properties of fabrics - Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method*
- [47] Instron, [Võrgumaterjal]. <https://www.instron.com/en/products/testing-systems/out-of-production-systems/electromechanical>. [Kasutatud 19.05.2023].
- [48] EVS-EN ISO 13937-2:2000 *Textiles - Tear properties of fabrics - Part 2: Determination of tear force of trouser-shaped test specimens (Single tear method)*
- [49] EVS-EN ISO 12947-2:2016 *Textiles - Determination of the abrasion resistance of fabrics by the Martindale method - Part 2: Determination of specimen breakdown*
- [50] Martindale, PPT Group, [Võrgumaterjal]. Available: <https://customercare.pptgroup.com/en/knowledge/what-is-a-lissajous>. [Kasutatud 17.05.2023].
- [51] "Martindale Test Materials," James Heal, [Võrgumaterjal]. <https://login.james-heal.co.uk/en/martindale-test-materials>. [Kasutatud 17.05.2023].
- [52] EVS-EN ISO 9237:2000 Tekstiil. Kangasmaterjalide õhuläbilaskvuse määramine
- [53] "FX 3340 MinAir," TexTest Instruments, [Võrgumaterjal]. <https://texttest.ch/en/portfolio-items/fx-3340-minair/>. [Kasutatud 8.05.2023].
- [54] Euromex BioBlue BB.4260," LabPolis, [Võrgumaterjal]. <https://www.labopolis.com/en/product/euromex-bioblue-bb-4260/>. [Kasutatud 24.05.2023].

LISAD

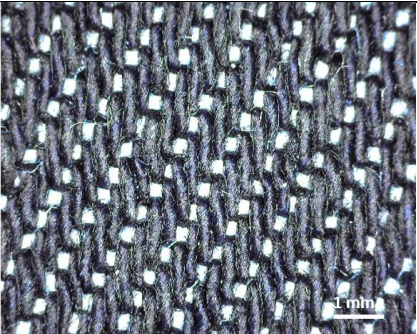
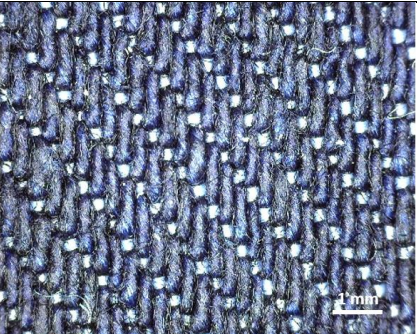
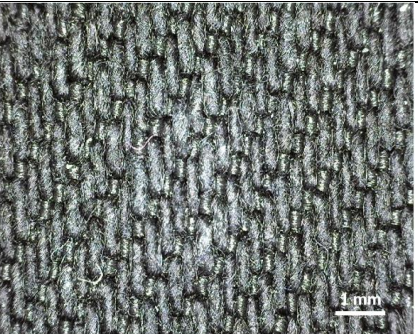
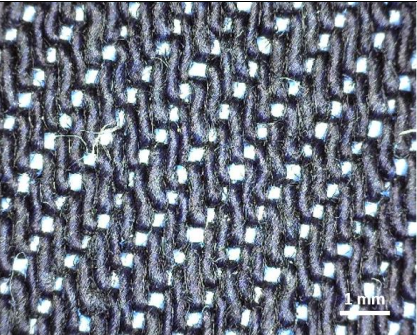
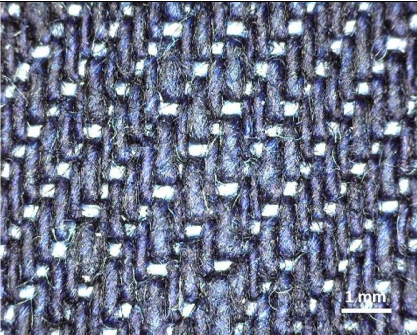
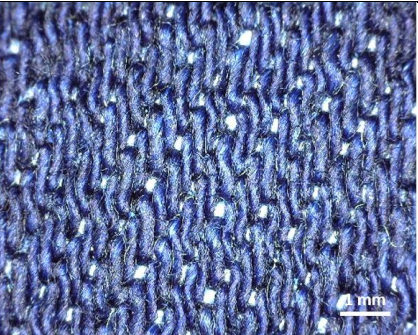
Lisa 1 Soojus- ja heliisolatsioonimaterjal Inno-Therm®/Métisse®



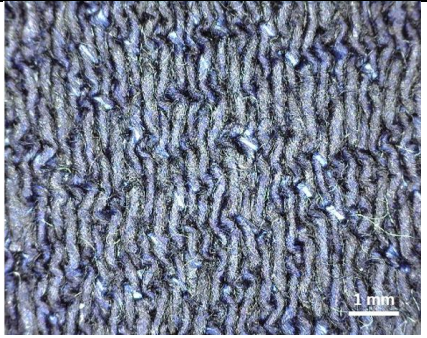
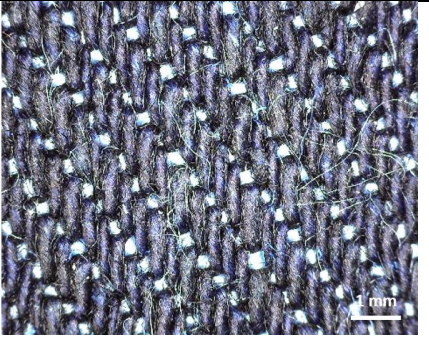
Joonis 1.1 Inno-Therm®/Métisse® soojus- ja heliisolatsioonimaterjal [18]

Lisa 2 Teksakangaste sidused

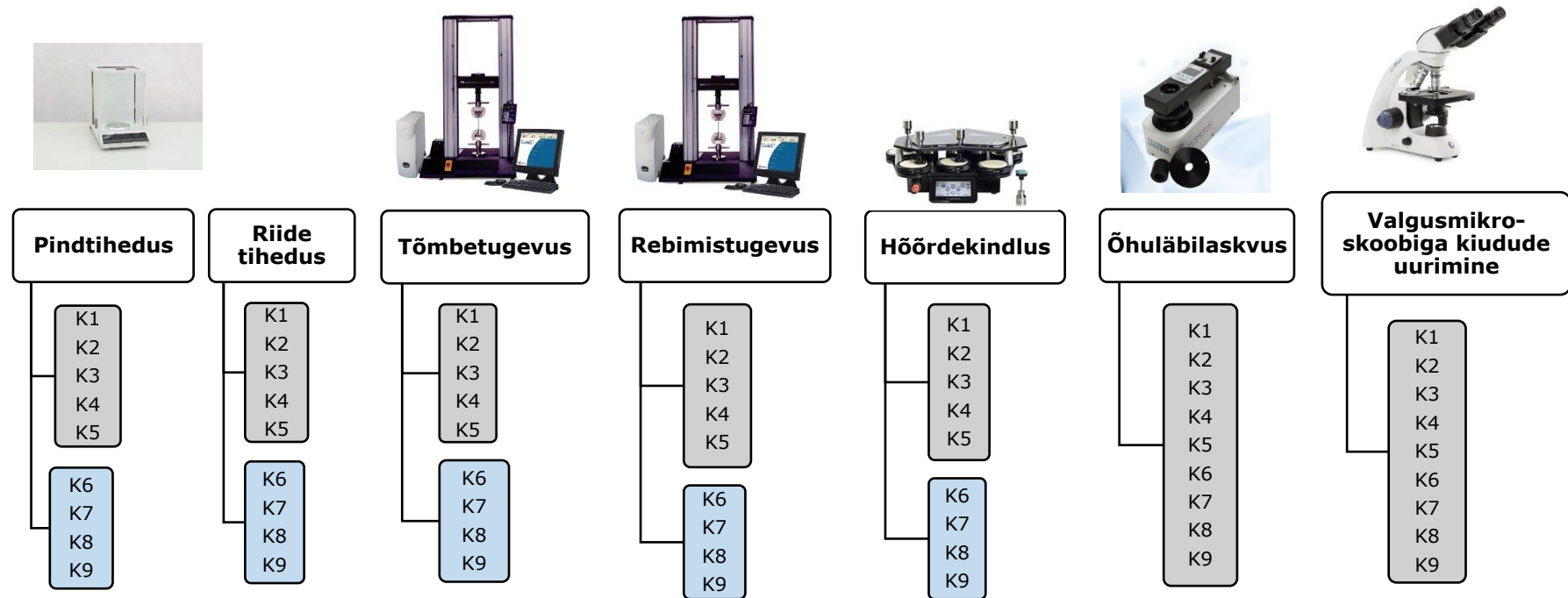
Tabel 2.1 Teksakangaste K1-K9 sidused

Kangas	K1	K2	K3
Kanga pilt			
Sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	4/1 atlass-sidus
Kangas	K4	K5	K6
Kanga pilt			
Sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus

Tabel 2.1 Teksakangaste K1-K9 sidused järg.

Kangas	K7	K8	K9
Kanga pilt			
Sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	3/1 Z-keeruga toimne sidus	4/1 atlass-sidus

Lisa 3 Katseskeem koos katsemeetodite ja -seadmetega



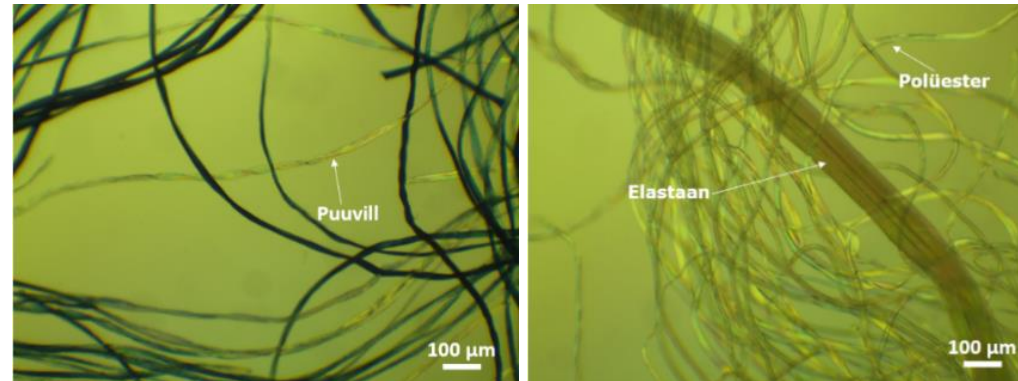
Tabel 3.1 Teksakangaste katseskeem koos katsemeetodite ja -seadmetega, hallil taustal on autori katsetatud kangad ja sinisel taustal on Nele Mandre katsetatud kangad.

Lisa 4 Hõrdekindluse hõrdetsükli intervallid

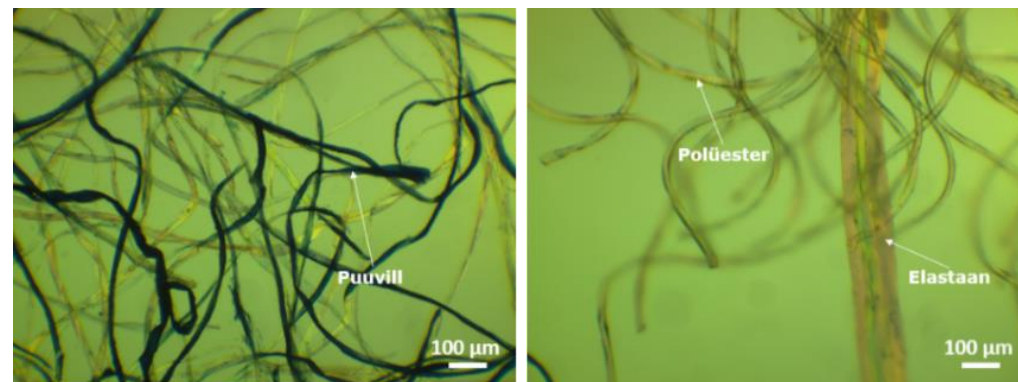
Tabel 4.1 Hõrdekindluse intervallid

Intervallid	Hindamise intervall
Iga 1000 pööride järel (kuni 6000 pöördeni)	1000 – 2000 – 3000 – 4000 – 5000 – 6000
Iga 2000 pööride järel (6001 kuni 20000 pööret)	8000 – 10000 – 12000 – 14000 – 16000 – 18000 – 20000
Iga 5000 pööride järel (20001 kuni 50000 pööret)	25000 – 30000 – 35000 – 40000 – 45000 – 50000
Iga 10000 pööride järel (üle 50001 pööride)	60000 – ... (+ iga täiendava 10000 pööride järel)

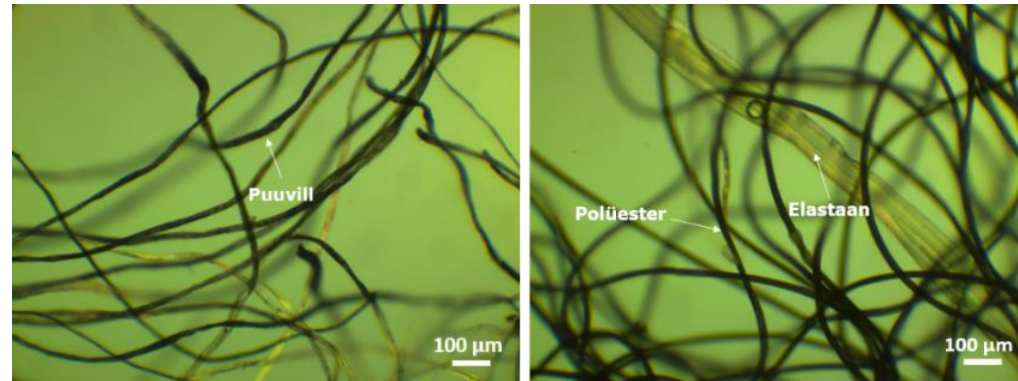
Lisa 5 Teksakangaste K1-K8 lõime- ja koelõngade kiud



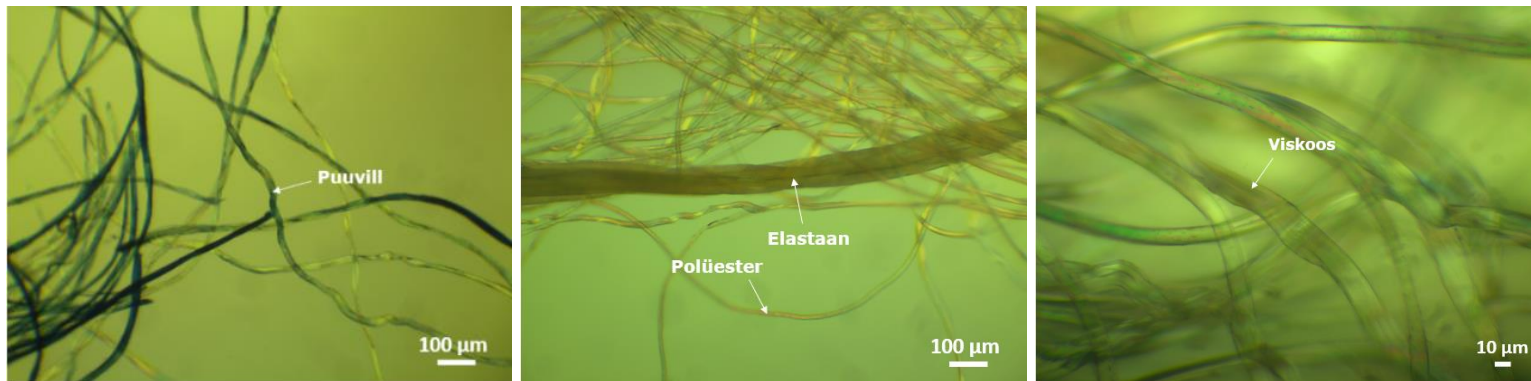
Joonis 5.1 Teksakanga K1 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega.



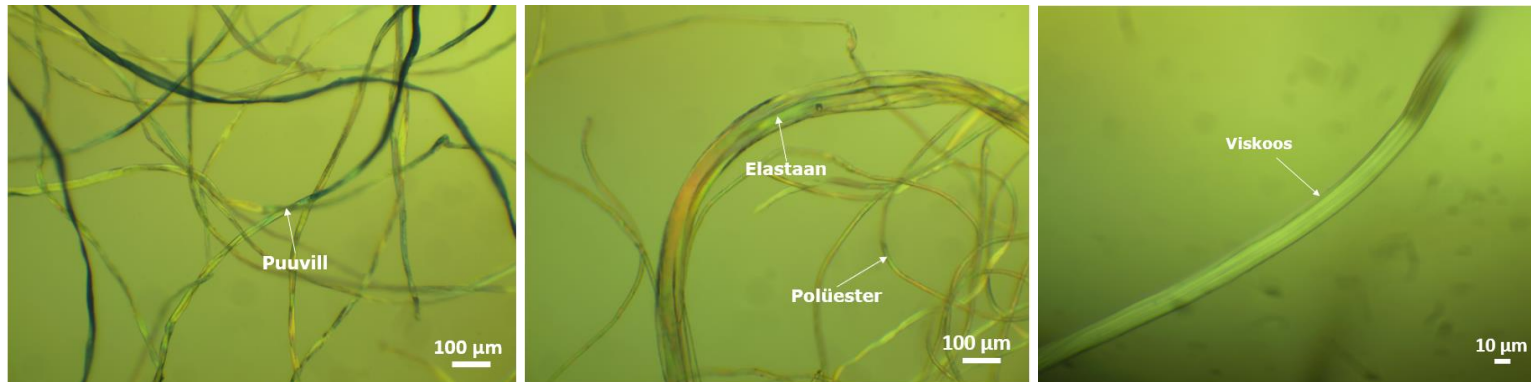
Joonis 5.2 Teksakanga K2 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega.



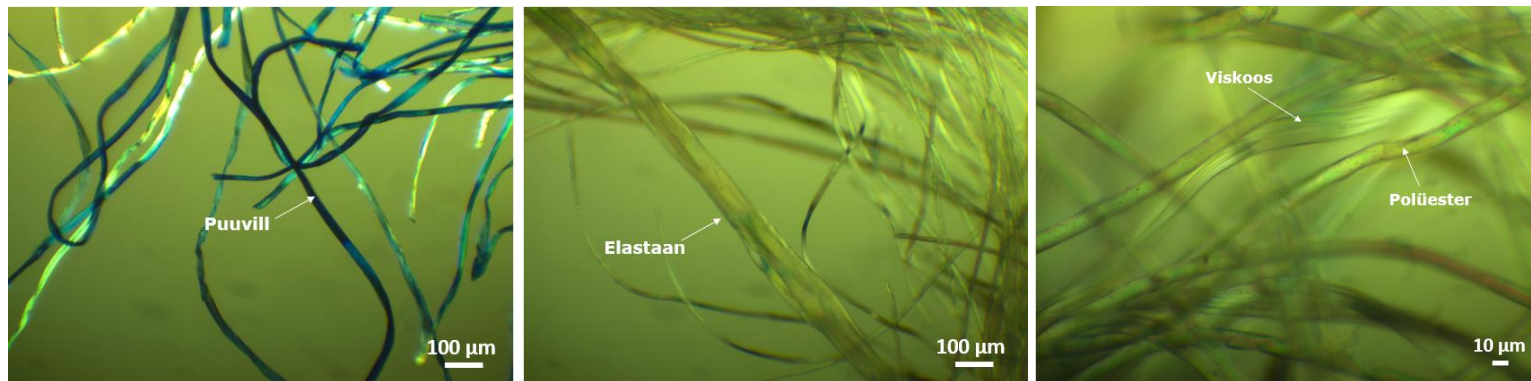
Joonis 5.3 Teksakanga K3 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega.



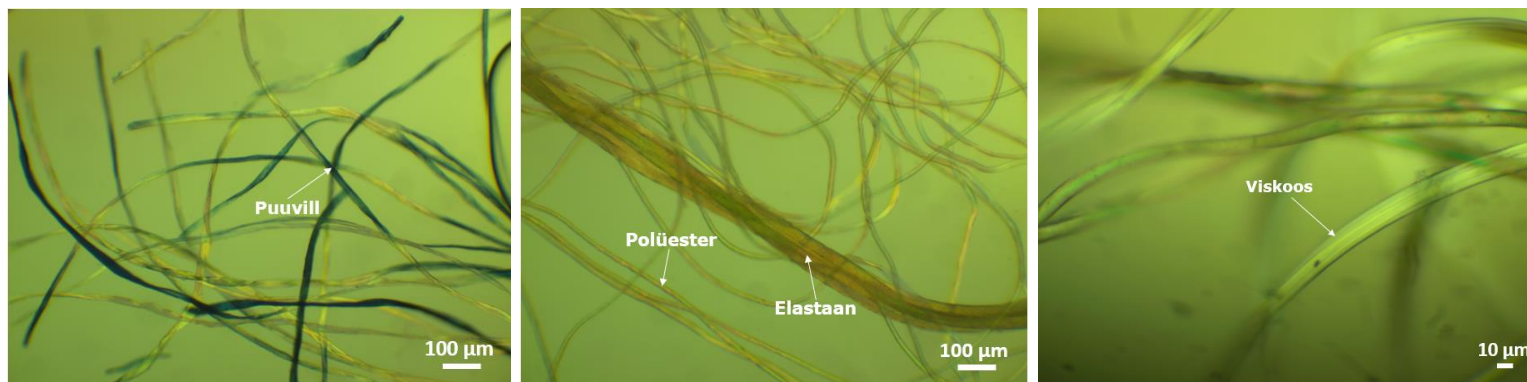
Joonis 5.4 Teksakanga K4 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega, keskmine pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on viskooskiust 400x suurendusega.



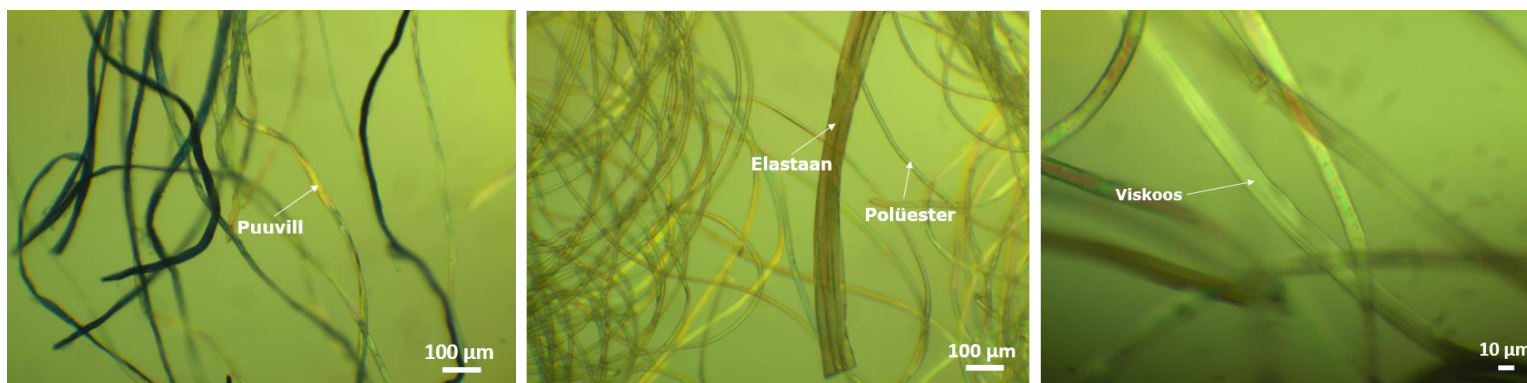
Joonis 5.5 Teksakanga K5 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega, keskmine pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on viskooskiust 400x suurendusega.



Joonis 5.6 Teksakanga K6 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega, keskmine pilt on elastaankiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on polüester- ja viskooskiust 400x suurendusega.



Joonis 5.7 Teksakanga K7 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega, keskmine pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on viskooskiust 400x suurendusega.



Joonis 5.8 Teksakanga K8 kiud: vasakpoolne pilt on puuvillakiust 100x suurendusega, keskmine pilt on elastaan- ja polüesterkiust 100x suurendusega ja parempoolne pilt on viskooskiust 400x suurendusega.

Lisa 6 Pindtiheduse arvutamise andmed

Tabel 6.1 Teksakangaste pindtiheduse arvutamise lähteandmed ja vahetulemused

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Mass, g	3,3941 3,3155 3,3286 3,3390 3,3651	3,2294 3,1533 3,1296 3,1168 3,1720	3,6810 3,6838 3,7050 3,7170 3,7416	3,1410 3,1150 3,0990 3,0900 3,0950	3,5043 3,5066 3,5365 3,5523 3,5585	3,3485 3,3005 3,2872 3,2974 3,2791	3,1917 3,1761 3,1601 3,2135 3,1660	3,4740 3,4745 3,4655 3,4667 3,4608	3,3887 3,3976 3,4028 3,3530 3,4389
Keskmine mass, g	3,3485	3,1602	3,7057	3,1080	3,5316	3,3025	3,1815	3,4683	3,3962
Pindala, cm²	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Pindtihedus, g/m²	339,41 331,55 332,86 333,90 336,51	322,94 315,33 312,96 311,68 317,20	368,10 368,38 370,50 371,70 374,16	314,10 311,50 309,90 309,00 309,50	350,43 350,66 353,65 355,23 355,85	334,85 330,05 328,72 329,74 327,91	319,17 317,61 316,01 321,35 316,60	347,40 347,45 346,55 346,67 346,08	338,87 339,76 340,28 335,30 343,89
Keskmine pindtihedus, g/m²	335	316	371	311	353	330	318	347	340
Standardhälve, g/m²	3	4	3	2	3	3	2	1	3

Lisa 7 Riide tiheduse arvutamise andmed

Tabel 7.1 Teksakanga riide tiheduse arvutamise lähteandmed ja vahetulemused

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Lõimelõngade arv 5 cm kohta	188	173	182	171	164	218	279	264	175
	191	173	180	172	164	220	276	265	175
	190	175	181	172	164	218	279	268	174
	188	170	182	173	163	221	275	263	178
	187	170	181	174	164	221	279	264	175
Koelõngade arv 5 cm kohta	108	128	118	112	118	111	115	89	112
	107	127	119	111	120	111	115	89	112
	107	130	118	110	119	111	115	89	112
	108	129	118	111	118	111	115	89	112
	108	127	117	110	118	112	115	89	111
Lõimelõngade arv 1 cm kohta	37,6	34,6	36,4	34,2	32,8	43,6	55,8	52,8	35,0
	38,2	34,6	36,0	34,4	32,8	44,0	55,2	53,0	35,0
	38,0	35,0	36,2	34,4	32,8	43,6	55,8	53,6	34,8
	37,6	34,0	36,4	34,6	32,6	44,2	55,0	52,6	35,6
	37,4	34,0	36,2	34,8	32,8	44,2	55,8	52,8	35,0
Koelõngade arv 1 cm kohta	21,6	25,6	23,6	22,4	23,6	22,2	23,0	17,8	22,4
	21,4	25,4	23,8	22,2	24,0	22,2	23,0	17,8	22,4
	21,4	26,0	23,6	22,0	23,8	22,2	23,0	17,8	22,4
	21,6	25,8	23,6	22,2	23,6	22,2	23,0	17,8	22,4
	21,6	25,4	23,4	22,0	23,6	22,4	23,0	17,8	22,2

Tabel 7.1 Teksakanga riide tiheduse arvutamise lähteandmed ja vahetulemused järg

Keskmine lõimelõngade arv 1 cm kohta	37,8	34,4	36,2	34,5	32,8	43,9	55,5	53,0	35,1
Keskmine koelõngade arv 1 cm kohta	21,5	25,6	23,6	22,2	23,7	22,2	23,0	17,8	22,4
Standardhälve, lõimelõng	0,3	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3
Standardhälve, koelõng	0,1	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1

Lisa 8 Tõmbetugevuse arvutamise andmed

Tabel 8.1 Tõmbetugevuse lähteandmed ja vahetulemused

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Maksimaalsed jõud lõimelõnga suunas, N	661,86 635,37 663,03 649,86 650,94	1783,03 1712,52 1783,48 1744,31 1748,03	1232,87 1171,85 1213,56 1237,34 1179,73	1580,13 1470,30 1497,62 1461,77 1533,13	1580,13 1470,30 1497,62 1461,77 1533,13	940,61 1190,31 1114,99 1112,91 1121,82	1610,98 1711,62 1580,89 1559,45 1601,70	1856,60 1666,66 1844,50 1860,72 1820,14	1810,68 1934,11 1904,51 1871,78 1863,32
Maksimaalsed jõud koelõnga suunas, N	647,32 625,87 642,93 638,74 632,35	781,21 771,09 760,50 773,85 759,40	1318,86 1300,93 1298,81 1276,14 1283,74	607,36 518,84 583,96 625,87 618,63	977,33 1026,20 963,85 1006,81 1035,08	681,49 685,72 661,21 499,05 714,09	825,72 825,27 845,33 838,34 764,57	708,75 721,86 660,96 713,41 678,66	642,51 655,02 604,24 654,89 650,13
Keskmine jõud lõimelõnga suunas, N	652	1754	1207	1509	1530	1096	1613	1810	1877
Keskmine jõud koelõnga suunas, N	637	769	1296	591	1002	648	820	697	641
Keskmine pindtihedus, g/m²	335	316	371	311	353	330	318	347	340
Proovi laius, mm	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Tabel 8.1 Tõmbetugevuse lähteandmed ja vahetulemused järg

Suhtelised katkekoormused lõimelõnga suunas, Nm/g	39,51	112,85	66,46	101,62	89,53	57,01	101,32	107,01	106,51
	37,93	108,39	63,17	94,55	83,30	72,14	107,65	96,06	113,77
	39,58	112,88	65,42	96,31	84,85	67,58	99,43	106,31	112,03
	38,80	110,40	66,70	94,00	82,82	67,45	98,08	107,25	110,10
	38,86	110,63	63,60	98,59	86,86	67,99	100,74	104,91	109,61
Suhtelised katkekoormused koelõnga suunas, Nm/g	38,65	49,44	71,10	39,06	55,37	41,30	51,93	40,85	37,79
	37,37	48,80	70,13	33,37	58,14	41,56	51,90	41,61	38,53
	38,38	48,13	70,02	37,55	54,61	40,07	53,17	38,10	35,54
	38,13	48,98	68,79	40,25	57,04	30,25	52,73	41,12	38,52
	37,75	48,06	69,20	39,78	58,64	43,28	48,09	39,12	38,24
Keskmine katkekoormus lõimelõnga suunas, Nm/g	39	111	65	97	87	66	101	104	110
Keskmine katkekoormus koelõnga suunas, Nm/g	38	49	70	38	57	39	50	40	38
Standardhälve lõimelõnga suunas, Nm/g	1	2	2	3	3	6	4	5	3
Standardhälve koelõnga suunas, Nm/g	1	1	1	3	2	5	2	1	1

Lisa 9 Kangaste K1-K6 rebimistugevuse arvutamise lähteandmed

Tabel 9.1 Kangaste K1-K6 rebimistugevuse arvutamise lähteandmed ja vahetulemused

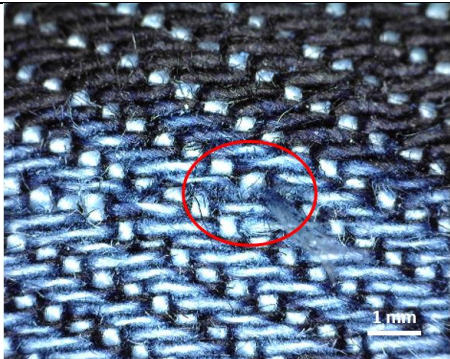
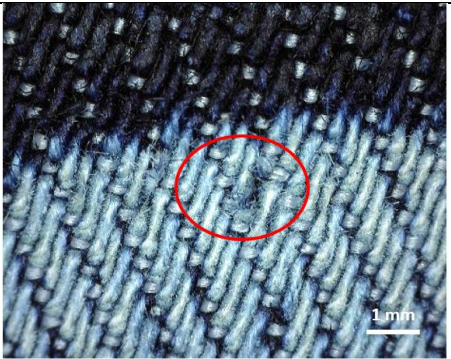
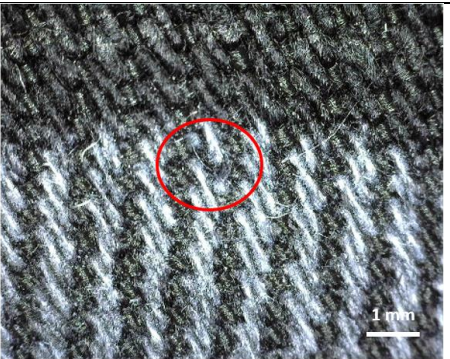
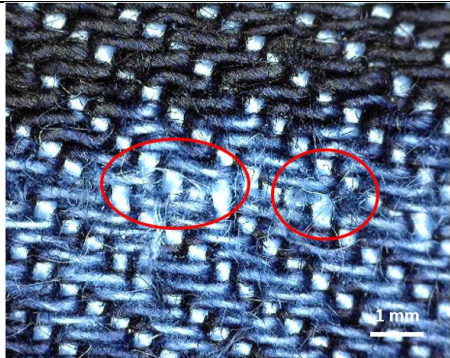
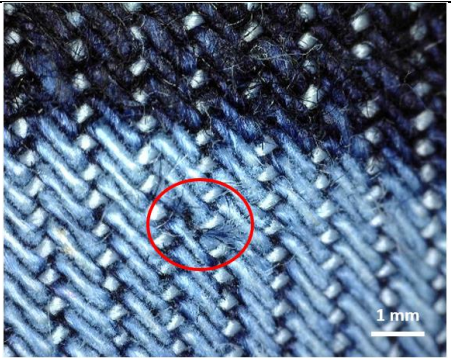
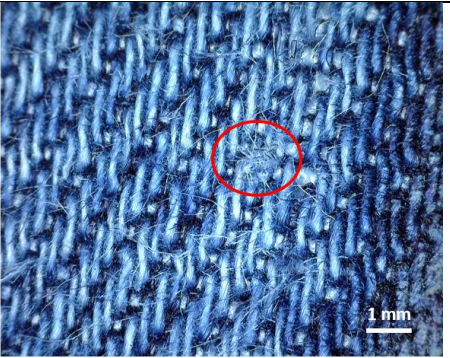
		K1						K2						K3					
Lõngad		Lõim			Kude			Lõim			Kude			Lõim			Kude		
Graafiku sektsioonid		II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV
Maksi- maalsed väärtused, N	Katsekeha 1	61 57	60 59	55 55	62 61	60 58	64 60	70 70	73 72	69 69	63 63	63 61	65 61	Katsekeha rebenes valesti.			52 45	43 43	46 44
	Katsekeha 2	57 54	63 63	59 57	69 66	55 56	59 58	75 73	81 82	88 82	67 66	64 63	60 59	102 100	99 98	96 92	48 46	46 45	46 45
	Katsekeha 3	66 64	66 61	63 59	58 54	67 65	61 58	76 68	82 77	78 76	71 65	65 62	64 62	102 97	106 98	114 111	59 50	51 45	50 48
	Katsekeha 4	65 60	58 57	57 56	61 60	56 57	56 55	76 68	82 77	78 76	65 65	64 62	65 65	Katsekeha rebenes valesti.			50 49	43 43	47 53
	Katsekeha 5	62 60	60 58	67 66	55 54	59 53	57 53	77 73	80 80	74 72	64 60	60 58	71 65	83 83	94 92	93 90	43 42	49 45	43 41
Minimaalsed väärtused, N	Katsekeha 1	37 41	43 44	37 42	31 35	32 33	32 35	55 59	51 53	43 50	41 43	39 39	38 42	Katsekeha rebenes valesti.			20 24	27 28	26 27
	Katsekeha 2	45 46	47 48	40 40	32 32	34 34	35 37	60 58	63 63	53 56	42 43	40 41	38 41	75 77	73 78	69 71	22 23	26 28	25 26
	Katsekeha 3	47 47	44 47	39 40	33 35	37 39	37 37	45 50	55 61	49 54	45 43	42 41	37 39	76 80	76 80	80 81	22 23	37 28	26 27
	Katsekeha 4	41 45	42 43	41 41	33 35	36 37	30 36	43 45	57 61	52 53	36 44	39 40	42 44	Katsekeha rebenes valesti.			30 30	26 27	24 27
	Katsekeha 5	44 46	42 44	43 44	31 30	34 35	34 36	48 48	48 50	51 53	34 35	40 41	41 44	59 62	74 78	64 69	26 28	24 25	25 29
Maksi- maalsete ja mini- maalsete keskmise väärtus, N	Katsekeha 1	49			47			61			52			Katsekeha rebenes valesti.			35		
	Katsekeha 2	52			47			70			52			86			36		
	Katsekeha 3	54			49			64			53			92			38		
	Katsekeha 4	51			46			64			53			Katsekeha rebenes valesti.			37		

	Katsekeha 5	53			44			59			51			78			35			
Keskmine rebimistugevus, N		52			47			64			52			85			36			
Standardhälve		2			2			4			1			7			1			
		K4						K5						K6						
Lõngad		Lõim			Kude			Lõim			Kude			Lõim			Kude			
Graafiku sektsioonid		II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	
Maksi- maalsed väärtused, N	Katsekeha 1	75	68	78	62	55	62	61	65	56	63	53	52	101	93	107	42	40	40	
		75	66	77	60	53	58	63	63	53	55	53	50	98	92	103	40	38	39	
	Katsekeha 2	75	80	76	61	59	54	70	79	82	49	55	55	105	108	94	41	40	42	
		68	73	73	58	58	53	67	79	77	49	51	49	104	106	94	41	38	39	
	Katsekeha 3	79	91	69	63	60	62	79	69	68	55	55	56	107	110	96	45	42	41	
		77	86	65	59	50	57	73	68	62	49	54	56	98	107	92	40	41	40	
	Katsekeha 4	65	64	65	55	53	56	72	69	68	52	52	52	101	112	115	45	42	41	
		64	64	62	53	54	61	72	65	66	49	50	50	101	109	109	41	40	39	
	Katsekeha 5	65	78	76	60	67	61	70	75	70	57	49	58	96	93	93	42	43	42	
		64	78	76	59	58	53	66	68	72	53	48	53	95	92	88	41	41	41	
Minimaalsed väärtused, N	Katsekeha 1	57	46	56	36	30	29	44	46	38	30	35	32	73	70	90	27	26	27	
		60	46	56	38	32	37	44	46	41	32	35	33	73	68	84	27	26	25	
	Katsekeha 2	46	55	47	33	35	31	40	45	43	30	27	32	81	75	62	27	24	26	
		50	57	43	34	37	35	44	48	44	33	30	33	81	75	61	26	22	24	
	Katsekeha 3	46	48	51	33	34	31	34	47	30	31	29	32	76	81	72	26	27	29	
		50	50	52	36	35	31	41	47	41	31	31	33	72	79	70	26	27	28	
	Katsekeha 4	49	39	45	32	34	31	45	43	45	29	30	29	79	82	86	27	27	27	
		50	44	46	35	36	35	49	43	46	30	31	29	65	80	81	25	27	26	
	Katsekeha 5	39	56	53	33	32	37	38	43	48	31	31	29	84	73	72	28	28	26	
		41	56	53	35	35	37	40	42	50	33	33	29	80	66	70	27	28	24	
Maksi- maalsete ja mini- maalsete	Katsekeha 1	63			46			52			44			88			33			
	Katsekeha 2	62			46			60			41			87			33			
	Katsekeha 3	64			46			55			43			88			34			

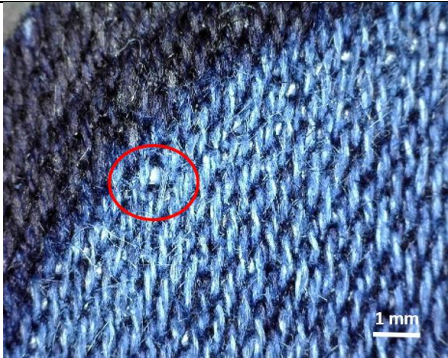
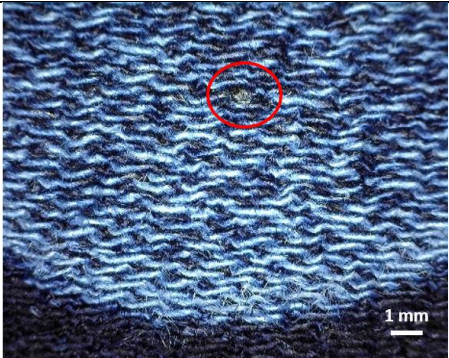
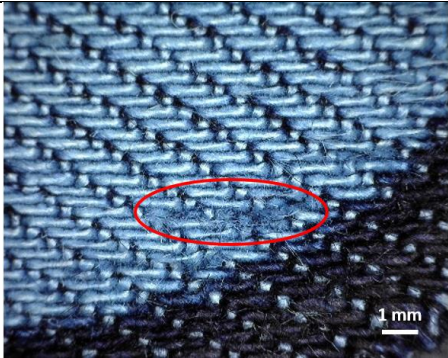
keskmine väärtus, N	Katsekeha 4	55	45	57	40	93	34
	Katsekeha 5	61	47	57	42	84	34
Keskmine rebimistugevus, N		61	46	56	42	88	34
Standardhälve, N		4	1	3	1	3	1

Lisa 10 Hõõrdekindluse katsekehad

Tabel 10.1 Hõõrdekindluse katsetulemused suurendusega 50x, punase ringiga on märgitud lõngade katkemiskohad, autori pildistatud on kangad K1-K5, Nele Mandre pildistatud on K6-K9.

	K1	K2	K3
Pärast lõngade katkemist			
Koostis	CO 82%; PES 16%; EL 2%	CO 18%; PES 18%; EL 2%	CO 79,7%; PES 18,8%; EL 1,5%
Kangas	K4	K5	K6
Pärast lõngade katkemist			
Koostis	CO 65%; PES 22%, EL 2%; VIS 11%	CO 60,2%; PES 20,8%; EL 2%, VIS 6,5%	CO 69%; PES 19%; EL 2%; VIS 10%

Tabel 10.1 Hõõrdekindluse katsetulemused 50x suurendusega, punase ringiga on märgitud lõngade katkemiskohad, autori pildistatud on kangad K1-K5, Nele Mandre pildistatud on K6-K9 järg.

	K6	K7	K8
Katsekeha pärast lõngade katkemist			
Koostis, %	CO 67,7%; PES 20%; EL 1,8%; VIS 10,5%	CO 75%; PES 19%; EL 1,5%; VIS 4,5%	CO 75%; PES 13,5%; EL 1,5%; VIS 9,5%

Lisa 11 Õhuläbilaskvuse arvutamise lähteandmed

Tabel 12.1 Õhuläbilaskvuse arvutamise lähteandmed

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Mõõtmised, $l/m^2 \cdot s$	43 42 43 40 41 42 42 42 43 42	34 33 33 33 40 39 38 37 36 36	34 33 34 33 33 35 34 32 31 31	39 39 39 38 44 47 44 42 44 43	21 21 21 21 22 22 22 23 21 21	36 37 36 35 32 35 36 35 36 36	42 42 42 43 44 43 43 42 41 43	58 57 54 55 61 60 58 64 63 62	19 18 19 18 21 21 21 21 20 21
Keskmine õhuläbilaskvus, $l/m^2 \cdot s$	42	36	33	42	21	36	43	59	20
Standardhälve, $l/m^2 \cdot s$	1	2	1	3	1	1	1	3	1