



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituut

**KOSMOSEJAAMADES KASUTATAVA
INTELLIGENTSE RÕIVA PROTOTÜÜPIDE
VALMISTAMINE**

**MAKING PROTOTYPES OF AN INTELLIGENT GARMENT
USED IN SPACE STATIONS**

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Kaia Liisa Hakk

Üliõpilaskood: 179249EANB

Juhendaja: Tiia Plamus, vanemlektor

Kaasjuhendaja: Kristel Kiris, tehnilise tekstiili
võtmekliendihaldur

Tallinn, 2020

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.

"....." 2020.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Kaia Liisa Hakk (autori nimi) (sünnikuupäev: 08. juuni 1998)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

KOSMOSEJAAMADES KASUTATAVA INTELLIGENTSE RÕIVA PROTOTÜÜPIDE VALMISTAMINE,

mille juhendaja on Tiia Plamus,

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

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.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kaia Liisa Hakk, 179249

Õppekava, peeriala: EANB, Materjalitehnoloogia

Juhendajad: Vanemlektor, Tiia Plamus PhD, +372 562 11653,
tiia.plamus@taltech.ee

Tehnilise tekstiili võtmekliendihaldur, Protex Balti AS, Kristel
Kiris, +372 568 17852

Konsultandid: Piret Mellik, külalisõppejõud

Tallinna Tehnikaülikool, piret.mellik@taltech.ee

Kersti Merimaa, lektor

Tallinna Tehnikaülikool, +372 620 2904,
kersti.merimaa@taltech.ee

Lõputöö teema:

Kosmosejaamades kasutatava intelligentse rõiva prototüüpide valmistamine
Making prototypes of an intelligent garment used in space stations

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Südamerütmi- ja liikuvussensoritega intelligentse särgi ning moodulrõiva valmistamine.
2. Uurida, kuidas mõõta astronauti tervisenäitajaid kosmosejaama pardal viibides igapäevategevusi segamata.
3. Kosmosejaamas kantavate rõivaste elutsükli uurimine.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kuu atmosfääri ning kehaga toimuvate muutuste uurimine. Tutvumine kosmosejaamas ning avakosmoses kasutatavate rõivaste materjalidega.	10.01.2020
2.	Esimene bakalaureusetööde seminar	10.04.2020
3.	Prototüüpide tootejooniste ning sensori skeemi valmistamine. Materjalide välja valimine. Prototüüpide tehnoloogilise järjestuse paika seadmine, tehnoloogilise kaardi valmistamine.	15.04.2020
4.	Prototüüpide lõigete valmistamine. Detailide laserlõikamine, sensori vooluringi loomine ja joonise valmistamine. Moodulsärgi	06.05.2020

	magneti moodulühenduse loomine. Särkide õmblemine ning paranduste tegemine.	
5.	Teine bakalaureusetööde seminar.	08.05.2020
6.	Läbilõikejooniste ja tehnoloogilise kaardi valmistamine.	17.05.2020
7.	Järeltööde tegemine, järeltöödele põhinedes uue moodulühendusega särki valmistamine.	18.05.2020
8.	Lõputöö teoreetilise ja praktilise osa lõpetamine.	23.05.2020
9.	Töö puhastamine ja ettevalmistamine lõplikuks esitamiseks.	31.05.2020
10.	Bakalaureusetöö esitamine	04.06.2020
11.	Lõputöö kaitsmine	11.06.2020

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** ".....".....201....a

Üliõpilane: Kaia Liisa Hakk ".....".....201....a
/allkiri/

Juhendaja: Tiia Plamus ".....".....201....a
/allkiri/

Juhendaja: Kristel Kiris ".....".....201....a
/allkiri/

Konsultant: Piret Mellik ".....".....201....a
/allkiri/

Konsultant: Kersti Merimaa..... ".....".....201....a
/allkiri/

Programmijuht: Tiia Plamus ".....".....201....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	9
Lühendite ja tähiste loetelu	10
SISSEJUHATUS	11
1 INIMENE MAAILMARUUMIS	13
1.1 Kuu	13
1.2 Eluolud	14
1.2.1 Gravitatsioon	14
1.2.2 Atmosfäär	15
1.2.3 Vesi	16
1.3 Psühholoogiline mõju	16
1.4 Kehaga toimuvad muutused	17
2 KOSMOSES KASUTATAVAD RÕIVAD	19
2.1 Seni kosmoses kasutuses olevad rõivad ja nende materjalid	19
2.1.1 Skafander	19
2.1.2 Kosmoselaevas kantavad rõivad ja nende ergonoomika.....	20
3 NÕUDED KOSMOSES KASUTATAVATELE ALUSRÕIVASTELE JA NENDE MATERJALIDELE	22
3.1 Kosmoses kasutatavate alusrõivaste kiuline koostis	22
3.1.1 Meriino vill.....	22
3.1.2 Polüamiid (PA)	23
3.1.3 Polüester (PL)	23
3.1.4 <i>Tencel</i>	24
3.2 Alusrõivaste olulised omadused ja neile esitatavad nõuded	25
3.2.1 Veeauru läbilaskvus.....	25
3.2.2 Õhuläbilaskvus.....	25
3.2.3 Isepuhastuvus	26
3.3 Tuleviku väljavaated kosmosejaamas kantavatele alusrõivastele	27
3.3.1 Moodulrõivad	27
3.3.2 Faasi muutvad materjalid	27
4 INTELLIGENTSE RÕIVA ELEMENDID KOSMOSERÕIVASTUSES.....	29
4.1 Sensorid.....	30
4.1.1 Südamerütmisensorid	31
4.1.2 Liikuvussensorid	32
4.1.3 Temperatuurisensorid	32

4.2	Intelligentsetes rõivastes kasutatavad abimaterjalid – elektrit juhtiv niit	33
5	KOSMOSEJAAMAS KANTAVATE RÕIVASTE VALMISTAMISEL KASUTATAVAD TEHNOLOOGIAD	34
5.1	Laserlõikus	34
5.2	Lamineerimine	35
5.3	Materjalide ühendamise meetodid	36
5.3.1	Topeltkatteõmblus (<i>flatlock</i>)	37
5.3.2	Altkatteõmblus.....	38
6	PROTOTÜÜPIDE TEHNILISED ANDMED	39
6.1	Läbi viidud materjalide katsetused ja nende tulemused	39
6.1.1	Pindtihedus.....	39
6.1.2	Õhuläbilaskvus.....	41
6.2	Tehnilised joonised ja tehnoloogiline järjestus	42
6.2.1	Sensorsärgi tehniline joonis ja tehnoloogiline järjestus	43
6.2.2	Moodulsärgi tehniline joonis ja tehnoloogiline järjestus	44
6.3	Sensorite ühendamise skeem.....	45
7	PROTOTÜÜPIDE VALMISTAMINE	47
7.1	Sensorsärgi valmistamine.....	47
7.1.1	Järeldused	51
7.2	Moodulsärgi valmistamine	52
7.2.1	Järeldused	54
	KOKKUVÕTE	56
	ABSTRACT	57
	Kasutatud kirjanduse loetelu	59
	LISA 1. LEKAALID VÄHENDATUNA	64
	LISA 2. MATERJALIDE KAART	66
	LISA 3. PROTOTÜÜPIDE TEHNOLOOGILISED JÄRJESTUSED	67
	LISA 4. PINDTIHEDUSE ARVUTAMINE	72
	LISA 5. ÕHULÄBILASKVUSE ARVUTAMINE	73
	LISA 6. LASERLÕIKUSE PARAMEETRITE TESTIMINE	77

Jooniste sisukord

Joonis 1.1 Kuu suurus võrreldes Maaga [6]	14
Joonis 2.1 Apollo skafander [15].....	19
Joonis 2.2 2019. aastal tutvustatud skafander xEMU [15]	20
Joonis 2.3 LES [19].....	21
Joonis 3.1 FX3340 <i>MinAir</i>	26
Joonis 3.2 Moodulrõivas [37]	27
Joonis 3.3 <i>Outlast®</i> materjal [40]	28
Joonis 4.1 Integreeritud elektroonika [46]	30
Joonis 5.1 Topeltkatteõmblus	37
Joonis 5.2 Katteõmblus	38
Joonis 6.1 Mõõtmiste näide.....	39
Joonis 6.2 Pindtiheduse keskmised väärtused standardhälvetega.....	40
Joonis 6.3 Õhuläbilaskvuse keskmised väärtused standardhälvetega.....	42
Joonis 6.4 Sensorsärgi tehniline joonis	43
Joonis 6.5 Moodulsärgi tehniline joonis.....	44
Joonis 6.6. Sensori skeem	45
Joonis 7.1 Meriino villa/ <i>Tencel</i> kanga laserlõikamine	48
Joonis 7.2 Trikotaažkanga laserlõikamine	49
Joonis 7.3 Sensorsärgi nimesilt	50
Joonis 7.4 Ühendatud sensorkeem.....	51
Joonis 7.5 Sensorsärk	52
Joonis 7.6 Moodulsärgi nimesilt	53
Joonis 7.7. Magnetühendusega moodulsärk	54
Joonis 7.8 Takjühendusega moodulsärk.....	55

EESSÕNA

Antud projekt võeti vastu ettevõttes Protex Balti AS. Projekti teemat aitas sõnastada TalTech Mehaanika ja tööstustehnika instituudi insener Janno Nõu. Informatsiooni käsitlemine toimus TalTech „Disaini ja Tuleviku Tehnoloogia“ õppekava magistrantidega. Bakalaureusetöö valmimisele aitas kaasa TalTech vanemlektor ja materjalitehnoloogia eriala programmijuht Tiia Plamus. Lõigete valmistamisel andis nõu Piret Mellik ning prototüüpide tehnoloogilise osaga seoses jagas näpunäiteid lektor Kersti Merimaa. Praktiline osa valmis ettevõttes Protex Balti AS, mille tehnilise tekstiili võtmekliendihaldur Kristel Kiris oli ka lõputöö kaasjuhendaja.

Tänu sõnad ettevõttele Protex Balti AS ning kõigile eelpool mainitud isikutele käesoleva bakalaureusetöö raames osutatud nõu ja abi eest.

Juba pool sajandit on Maalt saadetud inimesi kosmosesse. Tehnika arenedes ning teadmiste kogunemisel oleme tänapäeval jõudnud sinnamaani, et kosmosereiside kestvused pikenevad, plaanitakse missiooni Marsile ning tulevikus on ette nähtud rajada Kuule sobilik elukeskkond.

Kosmosejaamast väljudes ootab inimest keskkond, kus ta ellu ei jääks. Kosmosejaamas sees imiteeritakse Maa keskkonda, kus inimene saab viibida ilma lisavarustust kandmata.

Astronauti heaolu ja tervis kosmosejaama pardal on väga olulised. Hetkel on seal kasutuses erinevad elektroonilised süsteemid, et jälgida astronauti elutegevust kosmosejaama pardal. Siiski on parameetrite mõõtmine üsna tülikas, kuna selleks kasutatakse masinaid, mis nõuavad rohkelt juhtmeid ning ööpäevane jälgimine ei oleks sellistes tingimustes aktsepteeritav. Intelligentne rõivas sisaldab integreeritud elektroonikat, mis teeks inimese näitajate jälgimise lihtsamaks ning ei häiriks astronauti igapäevategevusi kosmosejaama pardal.

Intelligentne rõivas, avakosmos, moodulrõivas, toote tehniline joonis, bakalaureusetöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

- ARFL – Ameerika Ühendriikide Õhujõudude Materjalilabor (ingl k *U.S Air Force Research Laboratory*)
- CSA – Kanada Kosmoseagentuur (ingl k *Canadian Space Agency*)
- EKG - elektrokardiogramm
- ESA – Euroopa Kosmoseagentuur (ingl k *European Space Agency*)
- g – gravitatsioonijõu ühik
- GND - seadmesse saabuva vooli/pinge maandamine (ingl k *This pin must be connected to ground*)
- ingl k – inglise keeles
- ISS – Rahvusvaheline Kosmosejaam (ingl k *International Space Station*)
- JAXA – Jaapani Kosmoseuurimise Agentuur (ingl k *Japanese Exploration Agency*)
- LES – Stardi ülikond (ingl k *Launch Entry Suit*)
- NASA – USA Riiklik Astronautika- ja Kosmoseagentuur (ingl k *National Aeronautics and Space Administration*)
- PCM – faasi muutvad materjalid (ingl k *phase change materials*)
- PA – polüamiid
- PES – polüester
- SCL – seadmest väljuva signaali sagedus (ingl k *Serial Communications Clock*)
- SDA – seadmest väljuva ja saabuva info töötlus (I2C meetodil) (ingl k *Serial Data I2C*)
- SFT – targa kanga muundur (ingl k *smart fabric transducer*)
- TiO₂ – titaandioksiid
- VCC - seadmesse saabuv vool või toitepinge (ingl k *Supply Voltage*)

SISSEJUHATUS

Läbi ajaloo on tehtud mitmeid katseid uurida kosmost ning seal leiduvat. Algselt saadeti kosmosesse vaid süstikuid, mis olid Maalt juhitud. Seejärel reisisid avakosmosesse loomad ning 1959. aastal maandusid Kuul esimesed inimesed. Juba pool sajandit on Maalt saadetud inimesi kosmosesse. Lisaks uurimisreisidele Kuule viivad astronautid läbi ka tööülesandeid Rahvusvahelise Kosmosejaama (ISS) pardal. 2012. aastal aset leidnud missioon ISS pardal kestis 340 päeva, mis on kõige pikem missioon 2020. aastani. Tehnika arenedes ning teadmiste kogumisel oleme tänapäeval jõudnud sinnamaani, et kosmosereiside kestvused pikenevad, plaanitakse kosmosereisi Marsile ning tulevikus on ette nähtud rajada Kuule sobilik elukeskkond.

Ekstreemsed eluolud ning eraldatus ülejäänud maailmast võivad organismile mõjuda hävitavalt. Kosmosejaamast väljudes ootab inimest keskkond, kus ta ellu ei jääks. Seetõttu on loodud rõivasüsteemid, mis ellujäämise võimalikuks teevad. Skafandrit kasutatakse avakosmoses, kui lahkutakse kosmosejaama pardalt. Ülejäänud aja kosmosejaamas veetes kannavad astronautid sarnaseid rõivaid nagu Maal. Seda seetõttu, et kosmosejaamas sees imiteeritakse Maa keskkonda, kus inimene saab viibida ilma lisavarustust kandmata. Elu eraldatuses ja kinnises süsteemis viibimine võib astronauti psüühikale mõjuda laastavalt. Sellepärast alustatakse koostööd psühholoogidega juba pikalt enne kosmoselennu algust ning nõustamine jätkub ka missiooni lõppedes. Vaimse tervise säilimiseks on pardale loodud näiteks rohe- ja lugemisalad. Inimese füüsilise parandamiseks on loodud kosmosejaama pardale erinevaid treeningsüsteeme, mis väiksema gravitatsiooni juures võimalikud on.

Käesolev lõputöö on valminud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli magistriõppekava „Disaini ja tehnoloogia tulevik“ magistrantidega. Lõputöö on valminud mitmeid riike kaasava projekti „IGLUNA 2020“ raames. Üheks ülesandeks sai uurida rõivaste eluringi kosmoses. Hetkel on rõivaste eluiga väga lühike ning enamuse avakosmoses kasutatud riietest enam Maale tagasi ei jõua. Teiseks ülesandeks oli uurida tehnoloogia integreerimist rõivastesse. Selleks kasutati sensoreid, mis mõõdavad astronauti näitajaid teda segamata. Viimase eesmärgina tutvuti rõivaste eluringiga kosmoses ning võimalustega seda eluringi pikendada.

Bakalaureusetöö praktiline osa koosneb prototüüpide valmistamisest, mille alla kuulub prototüüpide lõigete valmistamisega, detailide kontroll, nende laserlõikamine ja lamineerimine ning õmblemine. Lõpufaasis plaaniti sensorsärgi puhul elektroonika integreerimist ning moodulsärgil magnetühenduse loomist.

Käesolev lõputöö annab ülevaate Kuu keskkonnast ja eluoludest kosmoselaeval. Lõputöö eesmärgiks on liikuvussensoriga intelligentse särgi ning moodulrõiva valmistamine. Lõputöö annab ülevaate hetkel kasutatavate intelligentsete rõivaste tehnoloogiast ning nende võimalusest kasutada neid ka väljaspool Maad. Käesolevas töös tuuakse välja erinevaid võimalusi intelligentse rõivastuse valmistamiseks, kasutades selleks sensoreid ja erinevaid intelligentseid materjale.

1 INIMENE MAAILMARUUMIS

Avakosmoses domineerivad äärmiselt ekstreemsed tingimused. Ilma skafandrita kosmosejaamast välja astudes, võib juhtuda järgmine:

- Kuna õhus puudub hapnik, kaotaks inimene 15 sekundi jooksul teadvuse.
- Vere ning teiste kehavedelike temperatuur tõuseb keemistemperatuurini ning seejärel jäätub olematu õhurõhu tõttu.
- Kuna kehavedelikud jõuavad keemistemperatuurideni, siis sisemised organid paisuvad.
- Inimene puutub kokku ekstreemsete temperatuurivahemikega: -100 °C kuni 120 °C-ni.
- Organism on kaitseta erinevat tüüpi kiirguse eest: kosmilised kiired, päikesetuuled.
- Astronaut võib pihta saada suurel kiirusel lenduvate tolmuosakeste või kividega.

[1]

Jätkusuutliku elu arendamiseks puudub avakosmoses atmosfääri rõhk ning hapnik. Kosmosejaamas sees on võimalik jäljendada Maal eksisteerivaid tingimusi nii, et skafandri kandmine sees pole vajalik. Kosmosejaamast välja astudes peab aga kosmonaut ellu jäämiseks selga panema skafandri. [1]

Astronaudid valitakse rahvusvahelistest kandidaatidest. Sinna kuuluvad kosmonaudid ja astronaudid erinevatest maailma agentuuridest: Euroopa Kosmoseagentuur (ESA), Venemaa kosmoseprogramm, Kanada Kosmoseagentuur (CSA), Jaapani Kosmoseuurimise Agentuur (JAXA) ja USA programm (NASA). Iga riik valib kosmosesse sõitmiseks valmis olevad inimesed oma kriteeriumite järgi. [2]

Nende peamiseks vaheks on treeningu olemus. Kosmonaudid on õpetatakse välja Venemaa kosmoseprogrammis, astronaudid aga NASA, JAXA, ESA või CSA poolt. Et kvalifitseeruda ametisse, peab astronaut olema kuni 40 aastat vana ja ei tohi olla pikem kui 180 cm. Kosmonaudi ameti puhul ei võeta vastu üle 30 aastaseid kandidaate, maksimaalseks pikkuseks on 170 cm. [3]

1.1 Kuu

Tavaline kaugus Maast on 238 555 kuni 384 400 km. Tema diameeter on 3745 km ning mass $7,35 \times 10^{22}$ kg, mis moodustab 0,01% Maa kaalust. Joonisel 1.1 on näha Kuu suurus

võrreldes osakesega Maast. Gravitatsioon Kuu pinnal on 1/6 Maa peal olevast gravitatsioonist ja temperatuurivahemik -248 °C-st kuni 123 °C-ni. [4] [5]



Joonis 1.1 Kuu suurus võrreldes Maaga [6]

Kuu on ainuke päikesesüsteemi taevakeha peale Maa, kus inimesed on käinud, sealt proove kogunud ning neid uurinud. Esimesena külastas Kuud Nõukogude Liidu meeskonnata süstikud Luna 1 ja Luna 2 1959. aastal. Esimesed inimesed, kes 20. juulil 1969 Kuule astusid, olid USA astronaut Neil Armstrong ja Buzz Aldrin ning hetkel on viimaseks inimeseks 1972. aastal Apollo 17 missiooni ajal Kuul käinud astronaut Gene Cernan. Aastaks 2019 oli sinna edukalt meeskonnata missioone teinud riike 7. [7] [4]

Kuule on tehtud mitmeid uurimisretki läbi kosmosesüstikute. Nende abil kogutakse informatsiooni taevakeha keskkonna, pinna ning muude omaduste kohta. On teada, et atmosfäär on ülimalt hõre ning sisaldab ohtlikke gaase, mis on inimorganismile kahjulikud. Taevakeha pinnal ei esine ka tuult ega vihmahooge, mistõttu püsivad 1969. aastal tehtud jalajäljed Kuu pinnal veel miljoneid aastaid. 320 meetri paksuse puudritaolise kivipinna all leidub kivine geoloogia – löögikraatrid, ammu mitteaktiivsed vulkaanid ja suured kogud tardunud laavat. [8]

1.2 Eluolud

1.2.1 Gravitatsioon

Üheks olulisemaks faktoriks kosmoselendu plaanides on gravitatsioon. Tiireldes ümber Maa, kogeb meeskond vabalangemist ehk mikrogravitatsiooni. Lennu alguses tunnevad astronautid lühikese aja vältel hüpergravitatsiooni. Kiirenduse üldiseks ühikuks on m/s^2 . Et eristada omavahel vabalangemise kiirendust regulaarsest kiirendusest,

kasutatakse tähist g . Maal vaadeldakse gravitatsioonijõudu kui organismide vahel mõjuvat tõmbejõudu. Lisaks omavahel mõjuvatele jõududele sõltub see ka taevakeha massist. Sellele tuginedes on igal taevakehal viibides objektidel erinev kaal. Kuul on sama keha kaal 6 korda väiksem, kui ta oleks Maal. Gravitatsioonijõud Maal on $1 g$, mida nimetatakse standard gravitatsioonijõuks ning see võrdub $9,80665 \text{ m/s}^2$ -ga. Mikrogravitatsioon on olek, kus inimesele mõjub gravitatsioon, mis on väiksem kui $1 g$. Hüpergravitatsioonis olles mõjub inimesele $1 g$ -st suurem jõud. Lennu alguses võib astronaut tunda kuni $3 g$ tugevust gravitatsioonijõudu. [2]

1.2.2 Atmosfäär

Maa atmosfäär sisaldab peamiselt 78% lämmastikku (N) ning 21% hapnikku (O). Lisaks sellele leidub koostises 0,93% argooni (Ar), 0,04% süsinikdioksiidi (CO_2) ning mikrokogustes neooni (Ne), heeliumi (He), metaani (CH_4), krüptooni (Kr), vesinikku (H), vett (H_2O). Merepinnast ligikaudu 120 kilomeetri kõrgusel saab alguse kosmos. 5,5 km kõrgusel on atmosfäär poole hõredam kui ta on maapinnal. 12. kilomeetrist ülevalpool on õhk nii hõre ja hapnikusisaldus nii väike, et hapnikumaskidest ei piisa. Alates 19. kilomeetrist merepinnast peab inimene kandma skafandrit, mis varundab inimest hapniku ja inimestele sobiliku õhurõhuga. [1]

Merepinnast kõrgemale tõustes langevad atmosfääri õhurõhk ning hapniku sisaldus õhus progresseeruvad. Selle tulemusena jõuab organismi kudedesse üha vähem hapnikku ning inimese töövõime väheneb. Madala hapnikusisaldusega ruumis viibides vastab inimkeha sellele tihedama sisse-välja hingamisega, proovides säilitada hapniku taset arteriaalses veres. Keha on võimeline kohanema ning funktsioneerima madaldatud hapnikutasemega. Väiksema õhurõhuga keskkonnas viibimine võib endaga kaasa tuua:

- peavalud;
- tiheda lihaste kurnatuse;
- psüühiliste talituste halvenemise (mälu, loogiline mõtlemine);
- otsuse- ja arvamusvõime langemise;
- halva une kvaliteedi. [9]

Meeskonnaliikmed peavad viibima keskkonnas, mis võimaldaks neil ellu jääda ja toimida kosmoses kui süsteemi osa. Sobiva koostisega kunstlik atmosfäär ja sobiv rõhk on kõige suurema tähtsusega inimese jaoks. See tagab hapniku ja rõhu, mida nende kehad vajavad. Inimesed on võimelised ellu jääma erineva koostisega atmosfäärides ning vajalikud tingimused on selleks järgmised:

- Organismi jaoks piisav rõhk, et vältida kehavedelike aurustumist.
- Õhus sisalduva hapniku osarõhk ei tohi tekitada hapniku toksilisust.
- Pikkadel reisidel tuleb varustada kosmosejaama vääriskaasidega, et vältida atelektaasi.
- Kõik atmosfääri koostisosad peavad olema vähese aktiivsusega või piisavalt madala sisaldusega, et ennetada nende toksilisi efekte.
- Ümberolev atmosfäär peab sisaldama minimaalselt tule- ja plahvatusohtlikke aineid.

Missiooni planeerides tuleb atmosfääri koostise valikul arvestada erinevaid aspekte: lennu pikkus, eesmärgid, uurimuslikud nõudmised ning seadmed kosmosejaama sees. [2]

1.2.3 Vesi

Veel on suur tähtsus inimese elus – lisaks joogiveele kasutatakse seda ka näiteks hügieeni hoidmiseks ja majapidamistöde tegemiseks. Taimede kasvatamisel kosmoselaevas läheb samuti vaja vett nende kastmiseks. Keskmine veekasutus astronauti kohta ööpäevas on 2,84-5,16 liitrit. Rahvusvahelises Kosmosejaamas (ISS) toimib hetkel veeringlussüsteem. Süsteem töötleb ümber õhuniiskust, mis tekib jäätmevee süstikute kütuseelementidest, uriinist, suuhügieenist ning kätepesust. [2]

1.3 Psühholoogiline mõju

Kosmoselend toob astronautidele tohutul hulgal psühholoogilist heaolu. Riskid tekivad pikemaperioodilistel kosmoselendudel, kui astronaut peab mentaalselt hakkama saama erinevate ohtude, isolatsiooni ja piirangutega. Kui lühikestel kosmoselendudel on mikrogravitatsioon uudne ja huvitav, siis pikemalt seal viibides võib see inimesele tekitada ebamugavust. Suurimaks psühholoogiliseks mureks reisidel on eraldatus oma kultuurist ning lähedastest. [10]

Alates 1989. aastast hakkas NASA kasutama väliste psühhiaatrite ja psühholoogide grupe. Nende ülesandeks sai tulevaste astronautide vaimse tervise hindamine. Meeskonnad pidid hindama katsealuste vaimset heaolu, kui nad sooritasid kosmoses ettetulevaid ülesandeid. [2]

1990-te aastate keskpaigas loodi *Shuttle-Mir* programm, mis toimus USA ja Venemaa koostöös. Missiooni eesmärgiks oli saada rohkem informatsiooni pikaperioodiliste kosmoselendude olemusest ja kosmoses nii pikalt viibimisest. NASA kaasas projekti psühholooge ja psühhiaatreid, et jälgida NASA astronaute Venemaa kosmosejaama pardal. Enamjaolt on kosmoses esinevad mentaalsed probleemid sarnased Maal kõrge stressiga keskkonnas olles. Nendeks on:

- vähene uni ja raskused magama jäämisel;
- ärrituvus;
- tujude kõikumised;
- enese mahalaitmine, enesekindluse kaotamine;
- ärevuse ja närveerimise suurenemine. [11]

Tänapäeval algab psühholoogiline tugi juba treeningutel ja püsib kuni missiooni lõpuni ning ka peale seda, et aidata astronautil harjuda eluga Maal. [11]

1.4 Kehaga toimuvad muutused

NASA ning Nõukogude ja Venemaa kosmoseprogrammid on aastate vältel kogunud biomeditsiinilisi andmeid. Nendest on ilmnenu, et kosmoses elamine võib põhjustada tõsiseid füsioloogilisi ja kliinilisi muutusi inimkehas. Inimene võib sellises keskkonnas elada kuni aasta. Selle perioodi jooksul suudab astronaut sooritada ettenähtuid ülesandeid rahuldavalt, hoolimata tema organismiga toimuvatest muutustest. Kõik organismis toimuvad muutused ei taastu peale Maale tagasijõudmist. Avakosmoses viibides muutuvad järgmised keha funktsioonid:

- luudes väheneb kaltsiumi ja teiste mineraalide sisaldus;
- kahaneb lihasmassi protsent;
- toitained imenduvad halvemini seedesüsteemi;
- aneemia tekke võimalus suureneb;
- nõrgeneb keha immuunsüsteem. [12]

Oluline erinevus Maa ja avakosmose vahel on asjaolu, et kosmoses viibides tekib astronautil justkui kaaluta olek. See tähendab, et sellises gravitatsiooni ruumis viibides on eseme näiline kaal väiksem kui tema kaal Maal. Sellist seisundit nimetatakse ka mikrogravitatsiooniks, mis on sünonüüm väljenditele kaaluta olek ja nullgravitatsioon. Kaaluta olekus olles keha muutub. Kehavedelikud kogunevad pähe ja rinda, mis mõjutab näo väljanägemist, käte suurust, häält ning tihtipeale ka haistmismeelt. Vahetult peale vabalangemise saavutamist võtab keha hoiaku, mis on erinev kui

istumis- või seisuasend Maal. Kael, õlad, puusad, küünarnukid ja põlved painduvad mõnevõrra. See mõjutab meeskonnaliikme vaatevälja, pikkust ja haardeulatust. Astronauti lihasmass väheneb 10-20% viibides 5-10 päeva orbiidil. Peamiselt vähenevad lihased jalgades ja seljas. Mõne aja pärast suureneb inimese pikkus lülisamba pikenemise tõttu. Pikkus suureneb seistes ligikaudu 3% juba esimesel päeval mikrogravitatsioonis. Istudes võib keha pikkus muutuda isegi kuni 6%, mis mõjutab kosmosejaama istumiskohti ning skafandri disaini. [2] [13]

2 KOSMOSES KASUTATAVAD RÕIVAD

2.1 Seni kosmoses kasutuses olevad rõivad ja nende materjalid

2.1.1 Skafander

Avakosmoses on temperatuur $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ lähedal, kuid kui kosmosejaama pind on paljastatud päikesekiirgusele, võib selle pinnatemperatuur kerkida $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ni.

Kosmoseülikond on erinevatest materjalidest ja seadmetest koosnev süsteem, mille eesmärk on hoida inimest elus kosmose ekstreemsetes oludes. Skafander koosneb kolmest üksusest: ihukate, elu-abi süsteem ning kommunikatsiooni moodul. [1] [14]

Skafandril on mitu elutähtsat ülesannet - säilitada stabiilne temperatuur, niiskus ning atmosfäärirõhk, kuid samaaegselt tagada kaitse radiatsiooni, päikesetuulte ning suurte gaasipilvede eest. Kasutatavad materjalid peavad tagama päikeseenergia neelamise, temperatuuritundlikkuse, gaasiläbilaskvuse, soojusjuhtivuse, mehaanilise tugevuse, venivuse ja töötluskindluse. [14]



Joonis 2.1 Apollo skafander [15]

Järgmised ameeriklased, kes oma jala Kuu pinnale asetavad, kannavad 2019. aastal tutvustatud skafandrit *Exploration Extravehicular Mobility Unit* ehk xEMU (esitatud joonisel 2.2), mis on suur areng 1970ndatel kasutatud Apollo skafandritest (joonisel 2.1). Eelnimetatud skafander on alles arengufaasis, kuid selles asetsevad süsteeme katsetatakse hetkel veealustes tingimustes. Aastal 2023 on planeeritud orbiidil testimised. [16]



Joonis 2.2 2019. aastal tutvustatud skafander xEMU [15]

2.1.2 Kosmoselaevas kantavad rõivad ja nende ergonoomika

Kosmosesüstiku sisemised tingimused imiteerivad Maa keskkonda. Õhurõhk on 1 atmosfäär (atm) ning temperatuuri ja õhuniiskust on võimalik reguleerida. Seetõttu, peale spetsiaalsete ülikondade, mida kantakse õhulendu alustades ning Maa õhuruumi taassisenedes, kannavad astronautid kosmosejaama pardal tavalisi riideid. Stardiülikond (ingl k *Launch Entry Suit* - LES), mis on näha joonisel 2.3, kaitseb astronauti juhul kui leiab aset rõhuleke. See varustab kandjat piisava rõhuga, et elada üle hädamaandumine Maale. Kui astronaut peaks LES-i kandes kokku puutuma külma veega, võimaldab rõivas ka termokaitse. Ülikonna varustusse kuuluvad näiteks:

- erakorraline hapnikuvarustussüsteem;
- langevarju rakmed ning langevari automaatse avanemissüsteemiga;
- 2 liitrit varu joogivett;
- päästepary;
- signaalrakett ja paljud muud süsteemid. [17] [18]



Joonis 2.3 LES [19]

Mitu kuud enne missiooni starti valivad ISS meeskonnaliikmed välja rõivad, mida kosmosejaamas kanda. Seal ei ole pesupesemise võimalust, kasutatud riided asetatakse väikesesse transpordisõidukisse ehk prügisüstikusse. Kui nimetatud süstik stardib Maal, on selle peal varud, mida meeskonnale tuua. Sama süstik lahkub ISS pardalt prügiga. Terve süstik hävineb koos transporditava prügiga, kui see Maa atmosfääri taassiseneb. Seetõttu ei vaheta astronautid ka nii tihti rõivaid kui inimesed Maal. Tavaliselt on missiooni ajal igal pardaliikmel kasutada trenni tegemise ajaks üks paar pükse ja särk iga kolme päeva kohta. Tööriideid vahetavad nad aga iga kümne päeva tagant. Alusriided, nagu pesu ja sokid, määrduvad kiiremini ning uus paar võetakse kasutusse iga kahe päeva tagant. Lisaks T-särkidele on liikmetel kasutada kaks kampsunit, jooksu- ja treeningtossud. [17] [18]

Kosmoselaevas kantavad rõivad peavad astronauti seljas hästi istuma, kuid samal ajal võimaldama maksimaalset liikuvust ning õhuläbilaskvust. Liibuvatel rõivastel on õmblus nahaga pidevalt kontaktis. Seetõttu peavad õmblused olema pehmed ning inimest minimaalselt segama. Levinumad niidid spordirõivaste kangaste õmblemisel on valmistatud tekstureeritud polüestrist või polüamiidist, mis pakuvad head õmbluskatvust ning elastsust. [20]

3 NÕUDED KOSMOSES KASUTATAVATELE ALUSRÕIVASTELE JA NENDE MATERJALIDELE

3.1 Kosmoses kasutatavate alusrõivaste kiuline koostis

Kosmoses kasutatavate alusrõivaste valmistamiseks võib valida nii looduslikke kui ka keemilisi kiudusid. Kangad valitakse, arvestades toote eesmärki ning vajalikke nõudeid seatud tingimustes. Kosmoses kasutatavate alusrõivaste materjalides kasutakse enim erinevaid sünteetilisi kiudusid nagu näiteks polüester ja polüamiid, aga samas sobivad alusrõivaste koostisesse ka näiteks meriino vill, ning *Tencel* kiud. Järgnevalt on antud ülevaade iga kiu omadustest.

3.1.1 Meriino vill

Meriino villa eristab tavalisest lambavillast esmaselt kiu jämedus. Kui lambavilla kiu läbimõõt on tavaliselt 40 µm, siis meriino villal varieerub läbimõõt vahemikus 15-24 µm. Väiksema läbimõõduga kiud on kergemad ning neist valmistatud tekstiilmaterjalid on seljas mugavamad. Meriino vill on looduslik, taastuv ning bioloogiliselt lagunev materjal. Võrreldes villakiudu näiteks puuvilla ning erinevate sünteetiliste kiududega, on meriino villal kõrge UV-kiirguse taluvus. Villakiul on leeki aeglustavad omadused ning see talub temperatuure kuni 270 °C. Tulekahjudes vabanevaid mürgiseid aineid tekib vähem ning kiud ei sula ega tilgu. Meriino vill on allergiavaba ning vastupidav – villakiudu saab painutada 20 000 korda ilma et see puruneks ning kaotaks oma esialgse kuju.. Et tema omadusi veelgi parendada, segatakse meriino villa erinevate kiududega nagu näiteks siid, viskoos, *Tencel*, polüester ja polüamiid. [21] [22] [23]

Vaatamata kiu hüdrofoobsele pinnale on vill hügrokoopne materjal, mis on võimeline imama õhust suures koguses veeauru olenevalt suhtelisest õhuniiskusest. Teatud suhtelise õhuniiskuse korral on villal sarnane niiskuse sorptsioon kui inimese nahal. Vill on võimeline salvestama soojusenergiat, et see hiljem vabastada. Kiud võib absorbeerida kuni 33% oma massist, ilma, et inimene tunneks end ebamugavalt. See on tunduvalt rohkem kui ühelgi teisel tekstiilkiul. Vee või veeauru absorbeerimisel hakkab vill eraldama soojusenergiat. See vähendab ebamugavustunnet villaseid rõivaid kandva inimese liikumisel kuivast sisekeskkonnast külma väliskeskkonda. [24]

Meriino villa on võimalik kasutada järgmistes rakendustes:

- tulekindlad tekstiilmaterjalid ning rõivad;
- erinevad ohutusrõivad;
- antimikroobsed kangad;
- soojus- ning heliisolatsioonimaterjalid. [25] [24]

3.1.2 Polüamiid (PA)

Polüamiidi puhul on tegemist sünteetilise kiuga ning seda tuntakse ka nailoni nime all. Polüamiidkiust tekstiilmaterjalid toodi esmakordselt turule 1930ndatel. Algselt kasutati materjali II maailmasõja ajal langevarjude ning nõõride valmistamiseks. 10 aastat hiljem võeti see kasutusse rõivatööstuses, kus sellest sai sukkade valmistamise materjal. Erinevates tekstiili- ja rõivatööstuse valdkondades on kasutusel erineva jämedusega polüamiidkiud – autotööstuses kuni 33 000 dtex, sukkades 6,7 dtex. Polüamiidil on head mehaanilised omadused, keemiline vastupidavus ning piisav elastsus. Kiud ei ima endasse liialt niiskust ning sel on hea vastupidavus hõõrdumise toimele. Materjali nõrkuseks on selle halb soojapidavus, mistõttu ei sobi polüamiidi kasutada talverõivastes. Märjaks saamisel tundub polüamiidkangas külm ning rõivas kuivab aeglaselt. Kiud võivad kiiresti elektriseeruda, kuid seda omadust parandatakse, kasutades antistaatilisi viimistlusi. [26] [27] [28]

Algsete materjalikatsetuste tulemusel oli PA ebaõnnestunud projekt. Avastati, et materjali omadusi on võimalik parendada, segades seda erinevate teiste kiududega – polüester, elastaan, puuvill. Tänapäeval segatakse kiudu erinevate teiste kiududega, tulemuseks kõigi kiudude kombineeritud omadustega materjalid. Polüamiidkangaid kasutatakse naiste aluspesus, sukkades ja elastsetes rõivastes nagu pluusid, kleidid, ujumisriided. Kodudes võib polüamiidtooteid näha voodikatete, vaipade ja kardinate näol. [26] [29]

3.1.3 Polüester (PL)

1941. aastal avastatud ning 1945. aastal *DuPont*'i poolt patenteeritud kiud polüester (PL) on enim toodetud sünteetiline kiud tänu oma headele omadustele, madalatele tootmiskuludele ning madalale hinnale. Polüesterit toodetakse peamiselt polüetüleentereftalaadist, kuid leidub ka teistel keemilistel ainetel põhinevaid

polüestrid. Materjal leiab tihtipeale kasutust puuvilla, villa ning siidi alternatiividena. [27] [28]

Polüester on hüdrofoobne kiud, mis ei ima niiskust. Samas liigub niiskus kergesti läbi polüestrist materjali. Polüester on vastupidav kiud ning bioloogilised tegurid nagu hallitus, kiudu ei kahjusta. Kangas ei veni välja ning ei kortsu – valmistatud tooted ei kaota oma kuju. Mida kõrgema kvaliteediga on kangas, seda väiksem on pillingu tekkimise tõenäosus. Valmistatud rõivaid on lihtne puhastada ning peale pesu kuivavad need kiiresti. Oma oleofiilse olemuse tõttu hoiab materjal kinni õlipõhiseid vedelikke ning lõhnu, näiteks higi. Sarnaselt polüamiidkiule on ka polüesterkiud kergesti elektriseeruvad. Polüester kangastest valmistatakse väga palju erinevaid tooteid – jakid, sokid, aluspesu. Polüesterit kasutatakse tihti just spordirõivastes madala niiskuse absorptsiooni, soodsa hinna ning lihtsa hooldamise tõttu. [25] [26] [28]

3.1.4 Tencel

Tencel kiud kuulub tehiskiudude alla, mis saadakse loodusliku toorme muundamisel lahustamise teel. *Tencel* kiudusid toodetakse puidumassist sarnaselt viskoosile – puidumassist saadud tselluloos lahustatakse orgaanilises lahustis. Seejärel surutakse lahus läbi ketrusdүүsist ning moodustuvad kiud, millest on võimalik kedrata niiti ja lõnga. *Tencel* on biolagunev. Tootja Lenzing AG sõnul absorbeerib *Tencel* kiud niiskust 50% rohkem kui puuvill. [30] [31]

Tencel on hea õhuläbilaskvusega materjal. Valmistatud kangast kasutatakse tihti spordirõivaste valmistamisel. Kui soovitakse vähendada *Tencel*'i niiskusimamisvõimet, siis pigem segatakse *Tencel*'it puuvillaga. Üha enam kasutatakse *Tencel* kiudu ka meditsiinirõivastes. Kangas on tugev ja ei rebene ning kõrge niiskusimavus teeb sellest hea valiku nimetatud rõivaste kategoorias. [25] [32]

3.2 Alusrõivaste olulised omadused ja neile esitatavad nõuded

Alusrõivaste materjalide tähtsaimateks omadusteks on mugavus, hea istuvus ning õhuläbilaskvus. Järgnevalt on antud ülevaade välja toodud alusrõivaste omadustest ning nende omaduste määramise meetoditest.

3.2.1 Veeauru läbilaskvus

Riiete mugavus on seotud tasakaaluga inimese keha temperatuuri ning väliskeskkonna vahel. Lisaks sellele peab balanss kehtima ka keha soojustootmise ja soojuskao vahel. Töötades ekstreemsetes oludes toodab keha märkimisväärses koguses soojusenergiat, mis viib kehatemperatuuri tõusuni. Higi avaldub nii vedeliku kui ka auruna, et alandada kehatemperatuuri. Higi aurustumisel keha pinnalt, kehatemperatuur langeb. Seega, naha peal kantavad rõivad peaksid higi ja kuumuse materjalist läbi laskma. Vastasel juhul on tulemuseks ebamugavus. Selle tõttu on materjali soojusomadused ja auru läbilaskvus olulised faktorid aluskihi materjali valikul. [33]

Veeauru läbilaskvuse all mõistetakse riiete omadust lasta läbi 1 m² suuruse pinna ühe sekundi kestel teatav hulk (mg) veeauru tingimusel, et riideproovi kummalgi küljel on erinev suhteline niiskus. Hingavate kangaste puhul võib difusioon olla väga kõrge. Standardis EVS-EN ISO 15496:2018 „*Textiles -- Measurement of water vapour permeability of textiles for the purpose of quality Control*“ on kirja pandud materjali veeauru läbilaskvuse määramise katsemeetodid. [34]

3.2.2 Õhuläbilaskvus

Kanga õhuläbilaskvus iseloomustab kanga omadust lasta läbi õhuvoolu. Õhuläbilaskvus on õhuvoolu liikumiskiirus risti läbi katsekeha etteantud tingimustel (katsekeha pindala, rõhulang, aeg). Erinevatel rõivastel on paika pandud erinevad nõudmised õhuläbilaskvuse jaoks. Olulist rolli omab õhuläbilaskvus näiteks filtrites, langevarjudes, spordirõivastes. Mida suurem on kanga õhuläbilaskvus, seda halvemini hoiab kangas sooja. Seetõttu peavad soojapidavate toodete materjalid omama madalat õhuläbilaskvuse näitajat. Erinevad uuringud on näidanud, et enim mõjutavad õhuläbilaskvust riide või trikotaažmaterjali tihedus, lõnga joontihedus ning keerdumus. Samas on olulised ka kanga paksus, poorsus, struktuur ning geomeetria. [35].

Kanga õhuläbilaskvust mõõdeti vastavalt standardi EN ISO 9237:2000 "Textiles - Determination of permeability of fabrics to air" esitatud nõuetele. Õhuläbilaskvuse määramiseks vastavalt eelpool mainitud standardile, on võimalik kasutada katseseadet FX3340 *MinAir*, mis on näidatud joonisel 3.1. Vastavalt standardile valitakse rõivamaterjalide katsetamiseks rõhulang 100 Pa ning mõõdetakse õhuläbilaskvust 20 cm² suuruselt alalt. Mõõtmise tulemusena saadakse õhuläbilaskvuse väärtus ühikus m/s või õhuläbilaskvustegur, mille ühikuks on l/m²·s.



Joonis 3.1 FX3340 *MinAir*

Katsemetoodika on järgmine. Mõõdetav materjal asetatakse 20 cm² suurusele katsetusalale. Masin lukatakse kinni ning katse käivitatakse. Katse loetakse lõppenuks, kui näit seadme tablool stabiliseerub.

3.2.3 Isepuhastuvus

Üha populaarsemaks on tõusmas materjalid, mis on nn isepuhastumisvõimega. See omadus ei ole oluline vaid mugavuse tõttu. Näiteks ei pea isepuhastuvaid rõivaid nii sageli pesema.

Kõige levinum meetod selle saavutamiseks tekstiilitööstuses on õhukese fotokatalüütilise materjalikihi lisamine. Üks tõhusamaid aineid on nanokristalne titaandioksiid (TiO₂). Viimistluse efektiivsuse tõstmiseks tuleb TiO₂ nano-osakesed tekstiilkiududele kanda väga õhukese elastse kihina, et kanga käitlus ja mehaanilised omadused (nt: rebenemistugevus) ei muutuks. Lisaks peab kahe kihi kinnitumine olema piisavalt tugev, et taluda korduvat pesemist. Meetodi puuduseks on asjaolu, et kasutatavad tehnoloogiad – sool-geel ja keemiline sadestamine – nõuavad kõrget temperatuuri. [30]

3.3 Tuleviku väljavaated kosmosejaamas kantavatele alusrõivastele

3.3.1 Moodulrõivad

Kosmoses kantakse iga rõivast kindlaksmääratud aeg ning seejärel visatakse see prügisüstikusse. Kanga kulu minimaliseerimise ja prügi tekke vähendamiseks otsitakse uusi mooduseid rõivaste valmistamiseks. Modulaarne rõivas on toode, mille detaile saab vastavalt vajadusele välja vahetada. Tänu oma mitmekülgsele on kasutajal võimalik mooduleid integreerida nii, nagu talle on sobilik. Joonisel 3.2 on kujutatud disaineri Flavia La Roca loodud moodulrõivas. Ühte rõivaeset on võimalik kasutada erinevalt. [36] [37]



Joonis 3.2 Moodulrõivas [37]

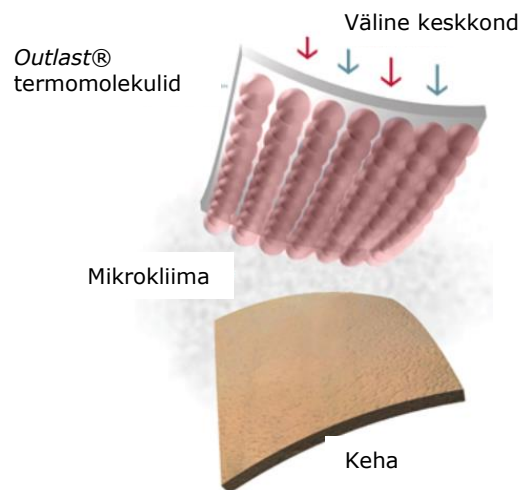
Moodulrõivad jälgivad mitmeid keskkonda säästvaid aspekte. Võimaldades erinevaid detaile rõival hõlpsasti vahetada, on võimalik pikendada toote eluiga. Lisaks võimaldab riie modulaarsus nende katkiminemise korral vahetada välja vaid rikunud detaili. Võimalik on hoida kokku ka pesemise arvelt – kasutaja peseb vaid määrdunud osad tootest. [36] [38]

3.3.2 Faasi muutvad materjalid

PCM (ingl k *phase change materials*) ehk faasi muutvad materjalid on materjalid, mis on võimelised muutma oma olekut – tahkest vedelaks, vedelast tahkeks ning kasutama ära soojust, mida saab hoiustada ja järk-järgult materjalist vabastada. Sellised materjalid absorbeerivad, keha soojusenergiat. Faasi muutus toimub, kui keha jahtub. PCM materjalide toimimise põhimõte on järgmine:

- soojuse neeldumise toimetel läheb materjal üle tahkest olekust vedelasse;
- faasi üleminekul absorbeerib materjal keskkonnast soojust;
- kui temperatuur langeb, materjal uuesti tahkub ning soojus eraldub;
- kasutades PCM isoleerkihina, on võimalik varundatud soojust või külma hoiustada ning seda hiljem vabastada. [25] [39]

Faasi muutvaid materjale on mitmeid – parafiinid, soola hüdraadid ja rasvhapped. Veepõhised faasi muutvad materjalid koosnevad enamjaolt veest. Soola hüdraatide põhjal valmistatud materjal sisaldab anorgaanilisi soolasid ja vett. Parafiinidel põhinevad faasi muutvate materjalide toormaterjal on nafta. Taimepõhised faasi muutvad materjalid on orgaanilised, kuna sisaldavad taimeõli või loomarasva. PCM materjale kasutati algselt kosmoseülikondades ning -kinnastes, et kaitsta astronaute ekstreemsete temperatuurikõikumiste eest. NASA on välja arendanud materjali *Outlast®*, esitatud joonisel 3.3, mis kasutab ära PCM omadusi, et pakkuda mugavaimat rõivast oma astronautidele. [25] [39] [40]



Joonis 3.3 *Outlast®* materjal [40]

4 INTELLIGENTSE RÕIVA ELEMENDID KOSMOSERÕIVASTUSES

Intelligentsete materjalide ehk intelmaterjalide väljaarendamist alustati 1960-70ndatel aastatel. Tekstiilis kasutatavate materjalideni jõuti 1990ndate lõpus, kui hakati kasutama kujumäluga niite ja materjale. Inteltekstiilmaterjalide all mõeldakse materjale, mis on võimelised täitma järgmisi ülesandeid:

- suudavad juhtida, kanda üle või jaotada elektrivoolu, valgust, soojusenergiat, keemilisi aineid ning aineosakesi läbi materjali;
- suudavad muuta oma teatud füüsikalisi omadusi kasutaja välise signaali ja keskkonnast tulevate tegurite toimetel;
- on võimelised kaitsma kiirguste eest;
- suutelised kaitsma keemiliste ainete ja bioloogiliste ohtude leviku eest;
- erinevate sensorite- ja täiturmehhanismide kaudu kogutakse biofüüsikalisi andmeid. [41]

Tänapäevaks on välja kujunenud mitu erinevat haru ning intelmaterjalid on jagunenud kategooriatesse: passiivsed, aktiivsed ning üliintelmaterjalid. Passiivsed intelmaterjalid registreerivad vaid informatsiooni väliskeskkonnast. Nende materjalide kohustuslikuks komponendiks on sensor, mis töötab kui närvisüsteem. Aktiivsed intelligentsed materjalid registreerivad väliskeskkonnast saadavat infot, kuid lisaks sellele ka reageerivad saadud infole. Lisaks sensoritele on sellistel materjalidel ka täiturmehhanismid, mis vastavad sensoritelt saadud signaalidele iseseisvalt või tsentraalselt. Viimased ja võimsamad üliintelmaterjalid omandavad info väliskeskkonnast, reageerivad sellele ning kohandavad oma tegevuse vastavalt saadud infole. Nende materjalide puhul peab süsteemis olema nii sensorid, täiturmehhanismid kui ka kontrollseade ehk aju. Kontrollseade tunnetab, analüüsib ja aktiveerib materjalile vajaliku reaktsiooni. [41]

Kuigi selline integreeritud intelligentse rõiva valdkond ei asenda tavapärasest tehnikast, on ta siiski leidnud endale koha tänapäevases elektroonikamaailmas. Tänapäeval on võimalik integreerida sensorid ka rõivasse. Andurid vajavad siiani ka muud riistvara – protsessor, saatja ja patareid. Tekstiilmaterjalist valmistatud elektroodid on valmistatud juhtivatest materjalidest, näiteks metall-lõnga kudumine materjali või hõbeosakesed silikoonkummis. Võimalused e-tekstiilseadmete masstootmiseks pole veel lõplikult välja arendatud. [42] [43] [44]

NASA kosmoselendude uuringute programm arendab välja rõivastesse sisse integreeritud sensorite süsteemi, mis suudaksid monitoorida inimese erinevaid kehalisi parameetreid kosmoselennu vältel. Praegu kasutusel olevad sensorid vajavad toiteallikat ehk patareid ning juhtmeid. Nende kasutus piirab liikuvust, need vajavad kaitset niiskuse eest ning samuti esineb nende töös häireid. [45]

4.1 Sensorid

Sensor teisendab teabe ühest energiavaldkonnast (magnetiline, keemiline, kiirgav) elektridomeeniks, võimaldades seda signaali digitaalselt töödelda ja talletada. Targa kanga muundur (SFT) on kangas, mida on töödeldud või modifitseeritud käituma kui andur. Sensorid on võimelised registreerima mitmeid keemilisi ja füüsilisi parameetreid: temperatuur, rõhk, jõud jpm. [42]

Jäikade sensorite kõrvale on tekkinud ka pehmed, silmnähtamatult rõivasse integreeritud sensorid. Joonisel 4.1 kujutatud, ettevõtte *BePop*, intelligentse kanga sensor on võimeline mõõtma mitmeid füüsilisi parameetreid nagu jõud, liikuvus, GPS signaal ja kaal. [46]



Joonis 4.1 Integreeritud elektroonika [46]

Inimesega otseses kontaktis olevate muundurite loomisel on kangad sobilikuks algmaterjaliks. Oluliseks parameetriks SFS valmistamisel on kanga struktuur – selle järgi saab kindlaks teha, kuidas mehaanilist komponenti kanga külge kinnitada. Kootud kangad on üldiselt stabiilsemad kangad ja seetõttu on neid raskem deformeerida.

Lausmaterjalid moodustatakse kiududest ning tugevdatakse erinevate ühendamisemeetodite abil. [47]

4.1.1 Südamerütmissensorid

Südamerütmi mõõdavad rindkere piirkonnale asetatud elektroodid. Elektrokardiograafia abil saadakse südame löögisageduse graafik. Tavaline integreeritav elektrokardiogrammi (EKG) sensor vajab liidest naha ning elektri vooluringi vahel, et saada infot südametöö kohta. Keha elektrijuhtivuse mehhanism kaasab ioone laengukandjatena. Bioelektrilise signaali saamiseks muundatakse ionivool elektrivooluks, mis juhtmetes liigub. Protsess toimub, kui elektrit juhtivaid elemente sisaldavad elektroodid on kontaktis kehas sisalduvate elektrolüütidega. [44] [48]

Keha pindmiseid elektroode võib asetada kehale, et mõõta bioelektrilisi signaale. Esialgsed biosignaali mõõtmised toimusid sukelduselektroodide abil, mis kujutasid endast ämbritäit soolalahust, kuhu patsient aetas oma käe või jala. 1917. aastal esitleti plaatelektroode. Imiteerides sukelduselektroodide mehaanikat, asetati naha ja plaatelektroodi vahele soolalahuses vatipadi. Biosignaali elektroodid kooskasutuses erigeelidega aitavad mõõta vajalikke aspekte. Erigeelid loovad juhtiva kihi naha ja elektroodi vahel. Elektrood käitub kui muundur nahanärvide ionitranspordi ja juhtiva materjali elektroonse transpordi vahel. Selline muunduri tegevus loob signaali, mida sensor on võimeline tundma. EKG signaalid elektroodidest on nõrgad, amplituud 0,5 mV-4 mV ning informatsiooni sagedus 0,01-250 Hz. [49] [48]

Metallist plaatelektrood koosneb õhukesest metallplaadist ning elektrit juhtivast elektrolüüdi geelist, mis aitab luua kontakti nahaga. Plaadid valmistatakse kas nikli ja hõbeda sulamist, platinast, kullast või puhtast hõbedast. Painduv plaat valmistatakse aga fooliumist. [48]

Astronautide pikema perioodiliste reise puhul, kus astronaudi iga liigutus nõuab rohkem pingutust ning higieritus võib olla suurem, kasutatakse peale pihustavaid elektroode. Sellise variandi puhul pihustatakse või värvitakse nahale osa juhitavat materjali, mis on eelnevalt töödeldud elektrolüüdi kihiga. [48]

4.1.2 Liikuvussensorid

Liikuvussensorid mõõdavad pidevaid mehaanilisi vibratsioone nagu lühiajaline vibratsioon plahvatustest või löökidest ning madalsageduslik kiirendamine liikuva keha poolt. [48]

Liikuvussensorid põhinevad inertsiaalsetel efektidel. Kui keha kiirendab, toimub suhteline liikumine pesa ja seismilise massi vahel, mida mõõdab nihkeandur. Sensorid on teatud oma tundlikkuse, dünaamilise ulatuse ning sageduskaja tõttu. Tundlikkuse tõttu on võimalik mõõta ka kõige väiksemat kiirendust. Juhul kui tulemus peab jääma lineaarse, on võimalik dünaamilist ulatust kasutada maksimaalse kiirenduse leidmiseks. [48]

Piesoelektrilised liikuvussensorid mõõdavad seismilise massi poolt avaldatavat jõudu piesoelektriliste kristallide kaudu. Sellised andurid ei saa mõõta pidevaid või aeglaselt muutuvaid kiirendusi kuna kristallid mõõdavad muutusi pinge kaudu. [48]

4.1.3 Temperatuurisensorid

Inimese organism töötab efektiivselt väikeses temperatuurivahemikus, mistõttu peaaegu kõik organismi tegevused sõltuvad temperatuurist. [48]

Temperatuurisensorid mõõdavad keha toodetavat soojushulka ning ebatavaste näitajate korral annab sensor kas analoogse või digitaalse väljundi. Tänapäeval on olemas nii kontaktsed kui mittekontaktset sensoritüübid. Kontaktset temperatuurisensorid peavad olema füüsilises kontaktis eseme või inimesega, et korrektseid andmeid mõõta. Mittekontaktset sensorid kasutavad soojuse liikumist ja radiatsiooni, et tuvastada muutusi. Leidub erinevaid temperatuurisensoreid: termopaar, termistor ning kiudoptiline sensor. Termopaar on kõige sagedamini kasutatav sensor. Nende ülesehitus on lihtne, kasutamine kerge, ebakorrapärasuste tuvastamise reaktsioon on kiire ning nad suudavad mõõta temperatuure vahemikus - 200 °C kuni 2000 °C. [50]

4.2 Intelligentsetes rõivastes kasutatavad abimaterjalid – elektrit juhtiv niit

Elektrit juhtiva niidi kasutamiseks ei ole vaja spetsiaalseid vahendeid. Niit on täielikult isoleerimata. See tähendab, et niit ei ole kaetud mittejuhtiva materjaliga. Projekti loomisel tuleb ette vaadata, et erinevaid laenguid kandvad niidid omavahel kokku ei puutuks. Sel juhul tuleb voluringi lühis ja seade ei tööta. Kui on vaja, et niidid üksteisest üle läheksid, tuleks vahel kasutada isoleerivat kihti. [51]

Elektrit juhtivad kiud koosnevad mittejuhtivast substraadist, mis on kas kaetud või põimitud elektrit juhtivate elementidega. Substraatkiududeks tavapäraselt on puuvill, polüester, nailon. [52]

Juhtiv niit on võimeline kandma voolu samamoodi nagu juhtmed ning seda saab kasutada vooluahela loomiseks. See võimaldab õmblejal luua paindlik voluring. Seda, kas niit on elektrit juhtiv, saab kontrollida voltmeetriga. Passiivsete ja aktiivsete voluringide loomisel kasutatakse juhtivat niiti seda riidesse tikkides. Passiivsete elementide hulka kuuluvad takistid, kondensaatorid, indikaatorid, muundurid ning aktiivsete sekka pooljuhid ja valgusdiodid. Juhtivaid niite valmistatakse erinevatest materjalidest nagu vask, hõbe, kuld, teras. Näiteks on hõbedaga kaetud niidid valmistatud nailonist niidid, mis on kaetud hõbedaga. Hõbe on juhtiv element. [43] [51]

Lisaks eelmainitud elektrit juhtivatele niitidele on maailmas välja töötatud ka erinevaid polümeeride baasil toodetud elektrit juhtivaid niite. Näiteks elektroketruse abil on võimalik toota erinevaid juhtivaid kiude ja niite. Kiudude koostisesse lisatakse erinevaid elektrit juhtivaid polümeere nagu näiteks polüaniliin või polüpürrool. Samuti võib juhtivuse saavutamiseks lisada kiududele erinevaid süsinikuosakesi. [53]

5 KOSMOSEJAAMAS KANTAVATE RÕIVASTE VALMISTAMISEL KASUTATAVAD TEHNOLOOGIAD

Rõivaste valmistamisel kasutatakse erinevaid tehnoloogiaid. Valik sõltub otseselt valmistatavatest toodetest ning nende kogustest. Rõivaste valmistamisel kasutatakse detailide ühendamiseks erinevaid ühendusmeetodeid. Levinum ühendusmeetod on niitühendus. Detailide juurdelõikuses kasutatakse samuti erinevaid meetodeid. Üheks uusimaks meetodiks on laserlõikus. See sai alguse 1960ndatel aastatel ning tänapäeval on sellega võimalik lõigata väga erinevaid materjale – metall, kivimeid, plaste, kumme, nahka, tekstiile ja paljusid muid materjale. Lamineerimisega on võimalik tõsta rõiva veekindlust ning pikendada toote eluiga. Järgnevas peatükis antakse ülevaade laserlõikustehnoloogiast, lamineerimisest, dubleerimisest ning materjalide ühendamisemeetoditest. [54] [55]

5.1 Laserlõikus

Laserlõikurseade koosneb laserlõikeriistast, optilisest süsteemist laseri suunamiseks, kontrollpaneelist, tööpinnast ja ventilatsioonisüsteemist. [54]

Optiline süsteem koosneb mitmetest osadest – lasertuub, peeglid, lõikepea ja lääts. Neist olulisim on lasertuub, mis sisaldab jahutuskanaleid, vajalikke peegleid ning laseri tekitamiseks kõrgepingevoolu keskkonda. Laser on väga kõrge intensiivsusega valguskiir, tema tekitamine saab alguse lasertuubist. CO₂ laserlõikusmasina puhul on selleks infrapunakiir, mis on inimsilmale nähtamatu. Protsessi käigus fokuseeritakse laserkiir ning seda intensivistatakse läätsel abil lõikepingi peal. Kui laserkiir puutub kokku materjaliga, temperatuur tõuseb ning materjal sulab, põleb ja aurustub. [54]

Laserlõikepea on fokuseeritud täpselt nii, et fookuspunkti kuju oleks ideaalselt ümmargune ning otsaku keskel. Selleks, et tagada lõikamisel kõrge kvaliteet, peab fookuslääts olema puhas. Määrduvad läätsed absorbeerivad kiirgavat energiat, kuumenevad ning deformeeruvad. Vältimiseks kasutatakse surugaasi – selle voog läbib läätsel pinda ning kaitseb neid määrdumast suitsuosakeste ning heitgaasidega. [54]

Tekstiilmaterjalide töötlemisel täidab laserlõikepink mitmeid funktsioone – hoiab materjali protsessi ajal paigal; minimaliseerib peegeldumisel tekkivaid põletusjälgi ning toetab ventilatsioonisüsteemi tööd, viies eemale lõikamisel tekkivaid jääke. [54]

Protsessi parameetrid on väga olulised, et tagada laserlõikuse kõrge kvaliteet. Olulisemateks parameetriteks on laseri võimsus, lõikekiirus, fookuskaugus, otsaku suurus ning rakendatav surugaas. [54]

Laseri võimsus on laserkiirgusena kiiratud energia sekundis. Protsessis sõltub parameeter materjali koostisest ja paksusest, lõigatavate detailide keerulisusest. Suurema võimsusega laseri abil on võimalik lõigata tihedamaid materjale. Madalama võimsusega on võimalik lõigata õhemaid materjale, nagu näiteks erinevad tekstiilmaterjalid. Tekstiilitööstuses kasutatakse enamjaolt lasereid võimsusega 60-100 W. Samas kõrgsuutlike kiudude, näiteks aramiidkiudude (näiteks *Kevlar*) lõikamisel kasutatakse laserit võimsusega 400 W. [54]

Lõikuskiirus peab olema kooskõlas laseri võimsuse, materjali kuju ja paksuse ning neeldumisvõimega, et lõigata läbi materjali. Tihedamaid materjale lõigatakse suurema kiirusega ning intensiivsema laserkiire võimsusega ning vastupidi – madalal kiirusel väikse laserkiire võimsusega. Keerukamate detailide puhul peab lõikuskiirus olema madalam, et tagada lõikustäpsus. [54]

Fookuskaugus on kaugus objektiivi ja laserkiire vahel. Mida väiksem on fookuskaugus, seda teravam on fookuspunkt. Lühikest fookuskaugust kasutatakse õhukeste, lamedate materjalide korral. Suuremaid kaugusi eelistatakse paksude ning ebäühtlaste materjalide puhul. [54]

5.2 Lamineerimine

Tekstiilitööstuses kasutatakse lamineerimist, et parendada kangaste omadusi, näiteks tuule- või vihmakindlus. Lisaks riiete valmistamisele kasutatakse lamineerimist ka autotööstuses ja purjede valmistamisel. [56]

Rõivatööstuses tähendab lamineerimine liimikihiga vaheriide ühendamist põhiriidest detailiga temperatuuri, surve ja aja abil, eesmärgiga anda põhidetallile lisatugevust, mis võimaldaks selle soovitud kuju ja vormi säilitamist. Rõivatööstuses kasutatakse laialdaselt ka dubleerimist, mis samamoodi on kasutusel, et lisada põhidetallidele lisaväärtust nagu tugevus, kuid selle protsessi käigus ei kaeta materjali täielikult liimmaterjali kihiga. Ühendamiseks kasutatakse erinevaid lamineerimismasinaid. Liimmaterjal võib olla vee- või lahustipõhine, kuid seda toodetakse ka tahke või želatiinilaadse struktuurina, mis sulab kuumuse rakendamisel. Selle tulemusena muutuvad saadud materjali füüsikalised omadused. Ükskõik millise materjali

lamineerimisel saadakse eranditult lamineeritud kangas, mis on jäigem kui algmaterjalid. Kanga lamineerimisel peab arvestama kanga kiulise koostise, kanga paksuse ja soovitud tulemusega. Lamineerimisprotsessis toimub kiudude pehmendamine: temperatuuri, surve ja aja koosmõjudel. Liimmaterjal, mida kasutatakse kangaste liitmiseks, peab pakkuma tugevaimat haakumist minimaalse koguse korral. Liiga palju liimainet on ressursside raiskamine ning võib viia kanga jäigastumiseni ja vähendada veeauru läbilaskvust. [56]

5.3 Materjalide ühendamismeetodid

Toote valmistamise oluline etapp on toote valmis õmblemine, kasutades erinevaid õmbluseid ja õmbluspistete liike. Õmblus on kahe või enama kangakihi ühendamine. Piste moodustub erinevate niitide kooskasutamisel. Nii õmbluse kui piste kvaliteet mõjutab toote omadusi – tugevus, vastupidavus, elastsus, välimus. [55]

Tekstiilitööstuses on pisted jagatud kuute klassi, mis omakorda sisaldavad alagruppe. Tabelis 5.1 on välja toodud pistetüüpide klasside jagunemine. EVS-EN ISO 4915-1991 „Textiles -- Stitch types -- Classification and terminology“ standardis on välja toodud nõuded erinevatele pistetüüpidele. Klass 600 pistete moodustamisel võib õmblusmasinal kasutada 3 -9 niiti. Pisted katavad õmbluse nii detaili paremalt kui ka pahemalt poolt. Sõltuvalt kasutatud niitide arvust saadakse ka erinevad katteõmblused. Katteõmbluseid kasutatakse peamiselt trikootažmaterjalist toodete valmistamisel. Nimetatud klassi õmblusi kasutatakse ühendusmeetoditena alusrõivastes, spordirõivastes ning lasteriides. [55]

Tabel 5.1 Pistetüüpide klassid

Pistetüüp	Klassi nimetus
100	Ahelpisted (<i>Chain stitches</i>)
200	Käsitsi pisted (<i>Hand stitches</i>)
300	Süstikpisted (<i>Lockstitches</i>)
400	2-5 niidilised ahelpisted (<i>Multi-thread chain stitches</i>)
500	1-4 niidilised ahelpisted (<i>Over-edge chain stitches</i>)
600	3-9 niidilised ahelpisted (<i>Cover-seam chain stitches</i>)

Spordirõivaste valmistamisel kasutatakse enamjaolt ahelpisteõmbluseid, sest nimetatud õmblused on elastsed. Õmblused võivad katkeda, kui selle venitamisel rakendada suurt

jõudu. Mida suurem on elastaani koostis kangas, seda suurem on õmbluse katkemise sagedus. Vältimiseks tuleb enne õmblema asumist:

- Kasutada tootele ja materjalile sobivat niiti, nõela ja nõela teravikku
- Määrata õmbluse asukohale ja materjali omadustele vastavalt õige pistetihedus ja õmbluse laius. [20]

5.3.1 Topeltkatteõmblus (*flatlock*)

Pistetüüpide klassi 600 kompleksseim pistetüüp on 606, topeltkatteõmblus, mida võib nimetada ka pealt- ja altkatteõmbluseks. Tööstuses nimetatakse seda õmblust kui *flatlock*. Antud õmblus katab detailide ühendamisel lõikeservad nii pealt kui alt niitide üksteisega põimumisel. Olemas on ka altkatteõmblus, kus lõikeservad on niitide põimumisega kaetud ainult pahemalt poolt. Detailide ühendamisel asetatakse kaks või enam detaili üksteise peale ja ühendatakse mööda ettenähtud õmblusjoont. Topeltkatteõmblusel asetatakse kangad üksteise kõrvale ja detailide lõikeservad ühendatakse *flatlock* õmblusega. Antud pistetüübi kasutamisel ei jää õmblusvarusid, mis annab õmblusele ühtlase laugja ilme. Tegemist on tasase profiiliga õmblusega, mis sobib minimaalse hõõrdumise tõttu liibuvate rõivaste valmistamiseks, kuna õmblus ei tekita ebamugavustunnet. Joonisel 5.1 on välja toodud 4-niidiline topeltkatteõmblus. 606 pistetüüpi kasutatakse spordirõivaste ning ujumisriiete valmistamiseks. Niidi kulunorm toote valmistamisel on suurem kui lihtühendusõmblustel. Niidi kulu sõltub niitide arvust õmbluses, laiusest ning pistetihedusest. [55] [57] [58]



Joonis 5.1 Topeltkatteõmblus

5.3.2 Altkatteõmblus

Altkatteõmblus kuulub pistetüüpide klassi 400, 2-5-niidilised ahelpisted. Pistet 406 kasutatakse laialdaselt, kuna õmblused katavad töötlemata lõikeservad ning hoiab õmbluse lamedana. Katteõmblus kuulub õmblustüüpide klassi „*Lapped seam*“ (LS), kus materjalikihid ühendatakse ühe või enama pistereaga ning on näidatud joonisel 5.2. Õmbluste standardis on katteõmblused arvulise tähistusega 2.04.01 kuni 2.04.09 ning need võivad olla 1- kuni 4-niidilised. Katteõmbluse õmblemisel ei kasutata käsitsi pisteid. [55]

Katteõmblust kasutatakse trikotaažmaterjalist toodete allääre töötlemisel (kleidid, pluusid, püksid, alusrõivad). Õmblused on väga tugevad ja elastsed. [55]



Joonis 5.2 Katteõmblus

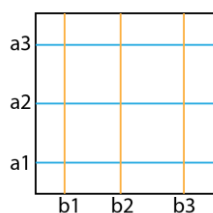
6 PROTOTÜÜPIDE TEHNILISED ANDMED

6.1 Läbi viidud materjalide katsetused ja nende tulemused

Lõputöö raames valiti välja kaks katset, mille kaudu kangaid testida – pindtihedus ja õhuläbilaskvus. Valitud katsed viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia laboris. Pindtiheduse määrati kolmele erinevale kangale, mida kasutati prototüüpide valmistamisel. Õhuläbilaskvuse katsetamisel võeti eelmises katses kasutatud kolmele kangale lisaks 5 erinevat materjali, et võrrelda erineva kiulise koostisega kangaste õhuläbilaskvust. Enne katsetamist kõik materjalid konditsioneeriti vastavalt standardile ISO 139 „Textiles — Standard atmospheres for conditioning and testing“. Katsed viidi läbi samuti konditsioneeritud kliimas.

6.1.1 Pindtihedus

Katse viidi läbi vastavalt standardis EVS-EN 12127:2000 „Tekstiil. Kangasmaterjalid. Pindtiheduse määramine väikeproovidest“ välja toodud nõuetele. Bakalaureusetöö raames otsustati pindtihedust mõõta kolmel materjalil, mida prototüüpide valmistamiseks kasutati – meriino villa segu, trikotaažkangas ning võrkkangas. Katse alguses tuli igast katsetatavast kangast välja lõigata 10x10 cm suurused tükid. Kuna puudus lõikematriits, lõigati detailid välja käsitsi. Seejärel mõõdeti katsekeha pikkust kolmest ning laiust kolmest kohast. Joonisel 6.1 on välja toodud mõõtmise kohad.



Joonis 6.1 Mõõtmiste näide

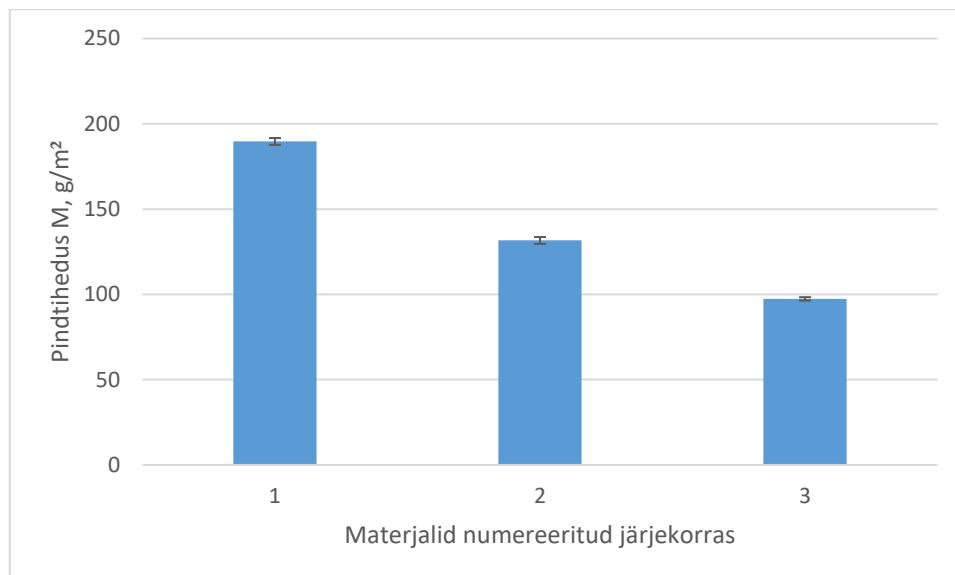
Kui kangatükid olid välja lõigatud ning üle kontrollitud, kaaluti katsekehad (kasutati kaalu *Mettler AE 200*). Kaal registreeriti, kui kaalu näitaja jäi paika. Kui kõik katsekehad olid kaalutud, tuli välja arvutada materjalide pindtihedused vastavalt valemile 6.1:

$$M = \frac{m \times 10000}{A} \quad (6.1)$$

m on konditsioneeritud testkanga kaal, g

A on sama testkanga pindala, cm^2

Joonisel 6.2 on esitatud graafik materjali keskmiste pindtiheduste ning nende standardhälvetega. LISAs 4 on esitatud tabelite kujul mõõtmiste ja kaalumiste tulemused. Materjal nr 2, 80% PA/ 20% EA kanga, katsetatud kangatükkide keskmine pindtihedus oli $(190 \pm 2) \text{ g/cm}^2$, nagu näidatud tabelis L4.1. Tabelis L4.2 esitatud materjal nr 1, 50% meriino villa/ 50% *Tencel* kanga keskmiseks pindtiheduseks saadi arvutuste teel $(132 \pm 2) \text{ g/cm}^2$. Viimasena katsetati võrkkangast, materjal nr 3. Kuna katsetükid valmistati olemasolevast kangast, jätkus võrkmaterjali vaid $9 \times 9 \text{ cm}$ mõõtmega tükkideks ning neid lõigati välja kolm. Katsete tulemusel saadi võrkkanga keskmiseks pindtiheduseks $(97 \pm 1) \text{ g/cm}^2$. Vastavalt katsetele ilmnes, et trikotaažkangas omab suurimat pindtihedust. Tegemist oli käega katsumisel ka tihedaima kangaga. Nimetatud kangast otsustati kasutada sensorskeemi kandva materjalina. Väikseima pindtihedus registreeriti võrkkangal ning see valiti kaenlaaluste detailide materjaliks.

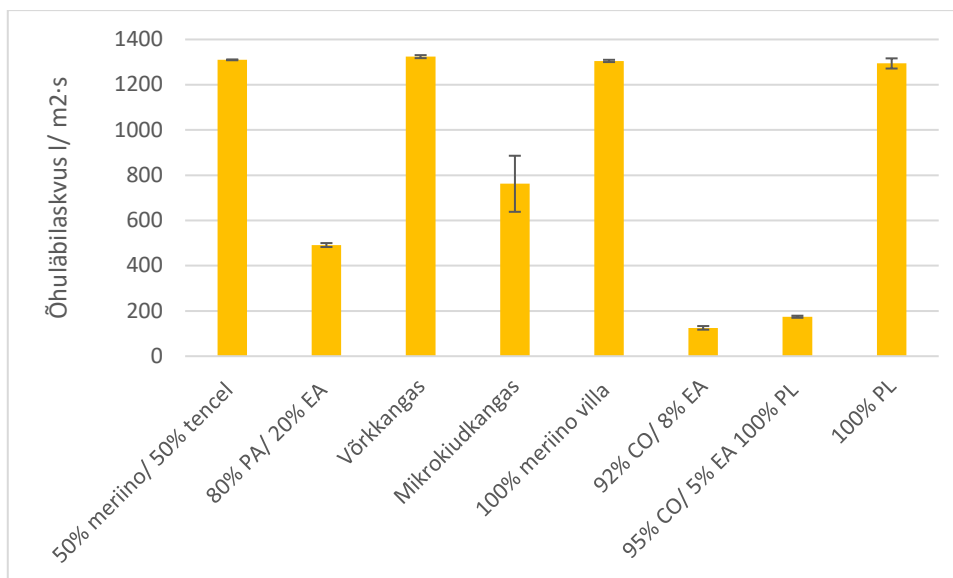


Joonis 6.2 Pindtiheduse keskmised väärtused standardhälvetega

6.1.2 Õhuläbilaskvus

Et hinnata erinevate alusrõivaste materjalide õhuläbilaskvust sõltuvalt materjali kiulisest koostises ning struktuurist, testiti kaheksat erinevat materjali, mis sobiksid kasutamiseks selles valdkonnas. Kõigi kangaste katsetulemused on välja toodud LISAs 5. Joonisel 6.3 on välja toodud graafik õhuläbilaskvustegurite väärtustega ning standardhälvetega. Kõige suurema õhuläbilaskvusega kangaks osutus võrkkangas (tabel L5.3), mille keskmine õhuläbilaskvus oli 1324 l/m²·s. Tulemus oli oodatav, kuna see oli ainuke testitav kangas, millel oli võrgutaoline struktuur. 100% polüesterkanga õhuläbilaskvus saadi katsetulemusel 1294 l/m²·s (tabel L5.8). Võrreldi ka 100% meriino villa kangast (tabel L5.5) ning 50% meriino/ 50% *Tencel* segu (tabel L5.1), mille tulemused olid üsna sarnased. Puhta meriino kanga keskmiseks õhuläbilaskvuseks oli 1305 l/m²·s ning meriino villa segu keskmiseks 1309,9 l/m²·s. LISA 5 asuvates tabelites leidub veel tabel L5.2, mis näitab 80% polüamiid/ 20% elastaan kanga katsetulemusi. Suurima standardhälbega oli mikrofiiber kangas, tulemused välja toodud tabelis L5.4. Väikseimate õhuläbilaskvusega kangasteks osutusid 92% puuvilla/ 8% elastaan segu (tabel L5.6) ning 95% puuvill/ 5% elastaan kangas (tabel L5.7).

Suure õhuläbilaskvusega kangad sobivad hästi alusriietesse. Tavapäraselt on tegemist õhemate kangaste, mis seljas kandes ei tekita kandjal rasket tunnet. Materjalid lasevad hästi õhku läbi ning see vähendab ka inimese higi teket soojenemise tõttu. Katsetatud materjalide suurima õhuläbilaskvusega kangas, võrkkangas, leidis kasutust kaenlaaluste detailidena. Sensorskeemi integreerimiseks oli vaja tihedamat kangast. Õhuke materjal nagu valitud põhimaterjal ei oleks voluringi kandnud ning toode oleks välja veninud. 80% polüamiid/ 20% elastaan kangal oli testitud kangaste seast üks väiksemaid õhuläbilaskvuse parameetreid. 50% meriino vill/ 50% *Tencel* kangas näitas katsetuste tulemusel kõrget õhuläbilaskvustegurit. Kosmosejaama kliimat hoitakse üldiselt 20 °C kuni 23 °C vahel. Isegi igapäevategevusi sooritades eritab astronaut kehavedelikke. Et higi ja muud vedelikud materjali kinni ei jääks, on oluline faktor kanga valimisel õhuläbilaskvus. Meriino villa/*Tencel* segu on õhuke, pehme kangas ja see valiti prototüüpide põhimaterjaliks.



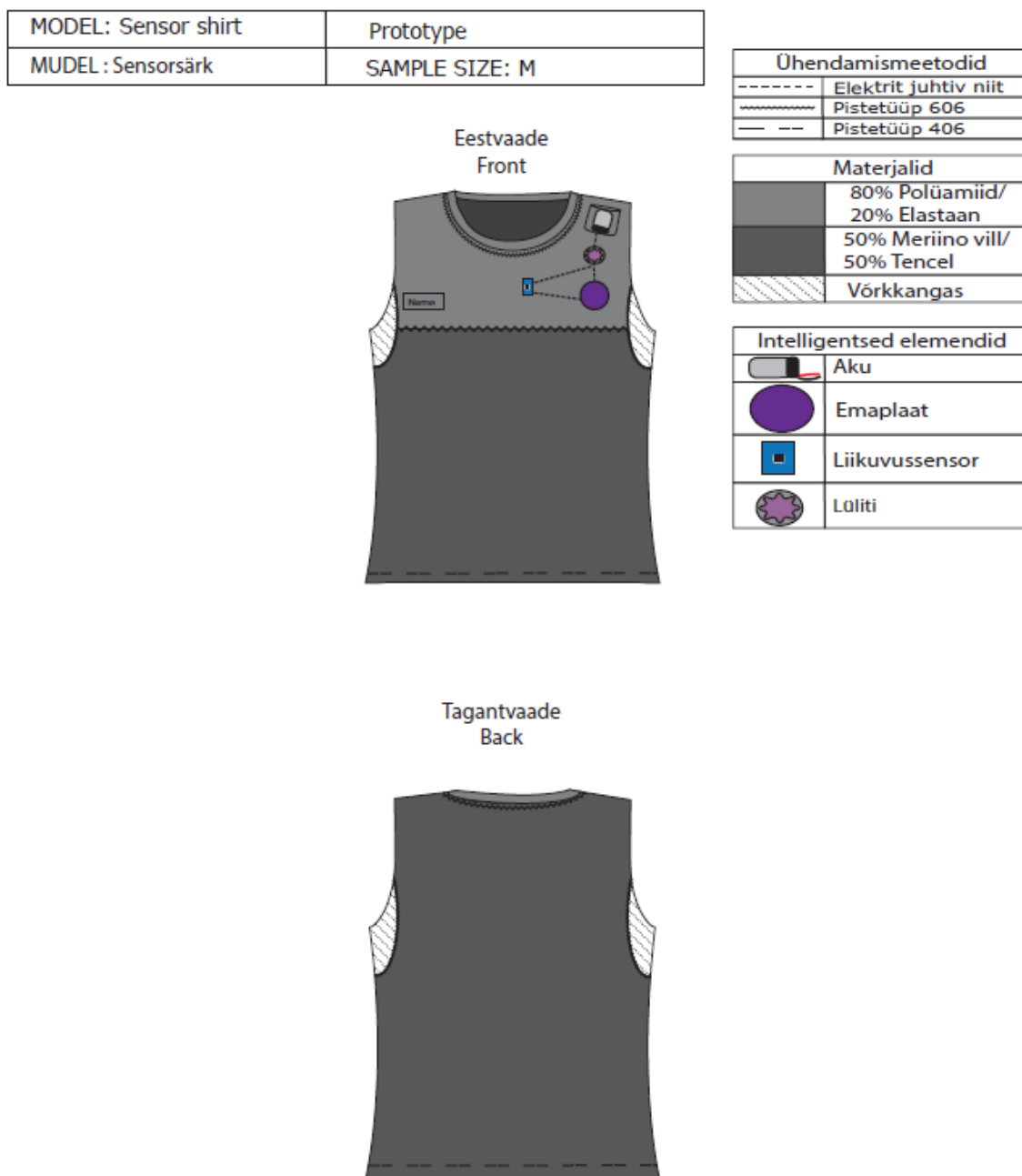
Joonis 6.3 Öhuläbilaskvuse keskmised väärtused standardhälvetega

6.2 Tehnilised joonised ja tehnoloogiline järjestus

Tehnilised joonised sisaldavad joonist tootest eest- ja tagant vaates. Lisaks on joonisel välja toodud ka kasutatavad materjalid ning lisamaterjalid. Joonised valmistati programmis *Adobe Illustrator 2018*.

Tehnoloogiline järjestus sisaldab toote valmistamise erinevaid etappe. Alustades detailide väljalõikamisest, on iga tehnoloogiline protsess tehnoloogilises järjestuses välja toodud. Iga tegevuse juures on välja toodud ka kasutatavad masinad ning tehnilised andmed. Tehnoloogilised järjestused on esitatud lisades, tabelistes L3.1 ja L3.2. Läbilõikejoonised ning tingmärgid on joonistatud programmis *Adobe Illustrator 2018*. Legendides välja toodud kasutatavad materjalid on välja toodud ka LISAs 2, tabelis L2.1.

6.2.1 Sensorsärgi tehniline joonis ja tehnoloogiline järjestus

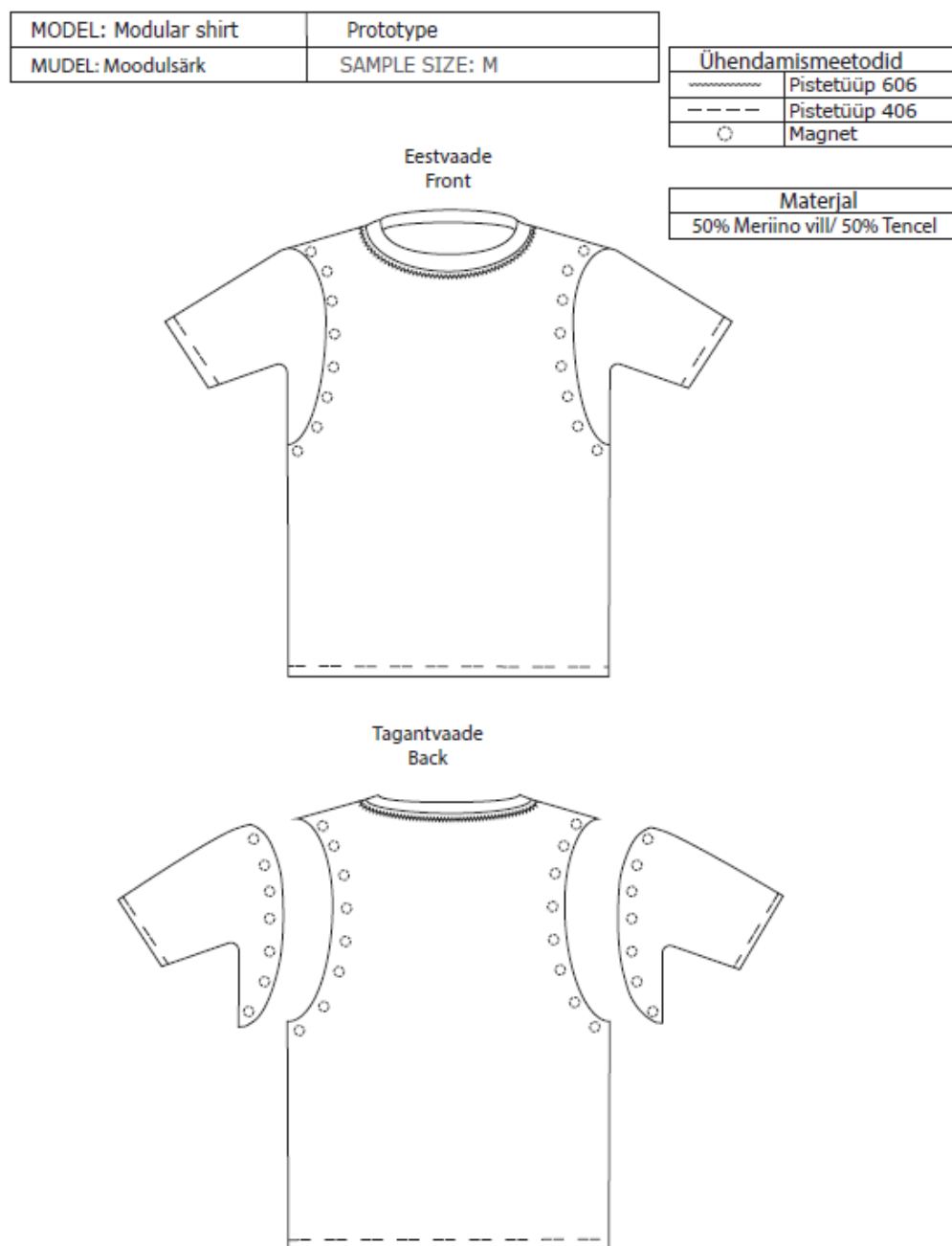


Joonis 6.4 Sensorsärgi tehniline joonis

Tehnilisel joonisel esitati prototüüp eest- ja tagant vaates (joonis 6.3). Paremal asuvates legendides toodi välja kasutatavad pistetüübid, kõik kasutatavad kangad, vooluringi osad ning illustreeritud sensorskeem.

Lisades oleva tabelis L3.1 on esitatud sensorsärgi valmimisel loodud tehnoloogiline järjestus alates särgi osade väljalõikamisest ja lõpetades aku tasku kinnitamisega. Sensorskeemi ühendamine on lahti seletatud peatükis 6.3.

6.2.2 Moodulsärgi tehniline joonis ja tehnoloogiline järjestus



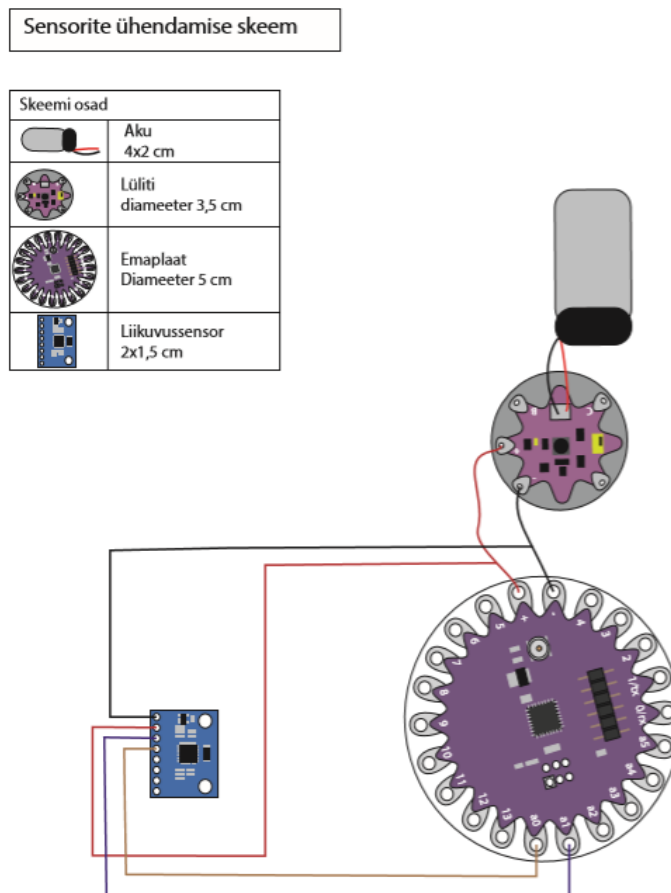
Joonis 6.5 Moodulsärgi tehniline joonis

Moodulsärgi tehnilisel joonisel on särk eest- ja tagant vaates (joonis 6.4). Paremal asuvates legendides on märgitud kasutatavad ühendamismeetodite pistetüübid ja materjalid. Et rõhutada särgi modulaarsust, on tagavaates varrukadetailid põhiosast veidi eemale viidud.

Moodulsärgi tehnoloogiline järjestus on kirjeldatud lisades asuvas tabelis L3.2, alustades detailide välja lõikamisest. Tehnilisi tingimusi kanga laserlõikamiseks katsetati ning tulemused on toodud LISA 6.

6.3 Sensorite ühendamise skeem

Sensorsärgi valmistamisel otsustati kasutada kahte mõõtvat sensorit: südamerütmi- ning liikuvussensor. Sensorite vajavad lisaks ka emaplaati ning toitvat akut. Südamesensori töökorra kahtluse tõttu otsustati see prototüübist välja jätta. Särgi sisse integreeritava sensorskeemi loodi programmis *Adobe Illustrator 2018*, mis on näha joonisel 6.6. Vooluringi loomisel lähtuti tarnija poolt antud joonisest. Kõik ühendati elektrit juhtiva niidiga. Integreerimine toimus käsitsi, jättes toote paremale poole lühikese piste ning pahemale pikema pistepikkuse.



Joonis 6.6. Sensori skeem

Vasakul legendis on välja toodud kõik vooluringi osad, nende suurused ning illustreeritud välimus. Vooluringi loomisel katsetati enne toote külge kinnitamist läbi nende töökindlus. Skeemi järgi loodud vooluring kinnitas liikuvussensori aktiveerimist. Probleem aga tekkis südamesensori ühendamisel. Üks anduri juhtmetest oli pakis katki läinud ning küljest ära tulnud. Selline sensor ei annaks korrektset tulemust hilisematel mõõtmistel ja seetõttu otsustati sensorsärgist südamerütmissensor välja jätta.

Elektrit juhtivate niitide kaudu ühendatakse kõik skeemi osad. Erinev värvus näitab niitide ühendamist. Niidid ei tohi omavahel kokku puutuda, muidu on vooluring häiritud ning see ei tööta. Sensori toimimiseks on vajalik aku, mis on särki integreeritud, asetades see vasakule õlale, rangлуу kohale. Asukohaks valiti selline koht, et see ei segaks astronauti igapäevategevusi. Aku on ühendatud lülitiga, mille diameetriks on 3,5 cm. Lisaks sisse-välja lülitamisele on sellel ka rohkem eesmärke. Plaat ühendab aku ja emaplaadi ning turvalisuse kaalutlustel kaitseb see ka liiga suurte pingete eest. Koodi hakkab lugema 5 cm-lise diameetriga emaplaat. Sinine ristkülik mõõdab liikuvust. Liikuvussensori igal väljundil on oma eesmärk. Käesolevas töös valiti välja neli kõige tähtsamat väljundit, milleks olid:

- VCC – seadmesse saabuv vool või toitepinge;
- GND – seadmesse saabuva voolu/pinge maandamine;
- SDA – seadmest väljuva ja saabuva info töötlus (I2C meetodil);
- SCL – seadmest väljuva signaali sagedus.

7 PROTOTÜÜPIDE VALMISTAMINE

Särkide valmistamine hakkas lõigete valmistamisega. Lõiked valmistati Polümeeride ja tekstiilitehnoloogia labori arvutiklassis kasutades *Gerber Technology* programmi. Prototüüpe hakati modelleerima T-särgi M suuruse baaslõike järgi. Sensorsärgi puhul oli vaja eraldada kaenlaalused detailid ning esiosa ülemine ja alumine osa. Moodulsärgi puhul tuli esi- ja tagaosad detailidelt eemaldada kaenlakaare osa, mis lisandus varruka lõikele. Sellise lõike puhul oli sobivust arvutiprogrammi abil keeruline paika seada, mistõttu tuli selle detaili istuvust kontrollida peale välja lõikamist. Valmistatud lekaalid on leitavad LISAs 1. Esimesena on välja toodud sensorsärgi detailide lekaalid ning seejärel kõik moodulsärgi valmistamiseks vajalike lekaalide ja detailide loetelu. Laserlõikamisel kasutati laserlõikurset *GH1810T-AT*, mille maksimaalne võimsus on 2900 W. Lamineerimisel kasutati seadet *Transmatic mod. TS 5 PA*.

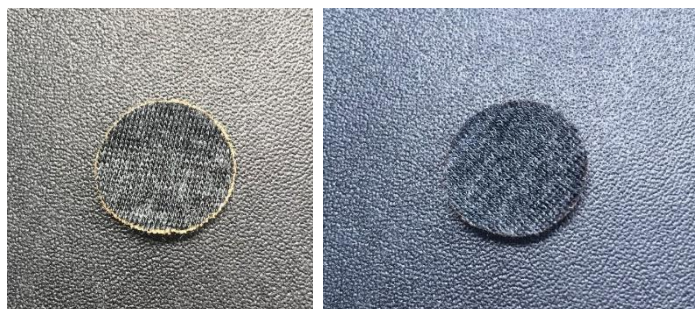
7.1 Sensorsärgi valmistamine

Sensorsärk on maika, mis on valmistatud kolmest erinevast materjalist. Põhimaterjal, mis katab tagaosad ning alumise esiosa, on koostisega 50% meriino vill/50% *Tencel*. Ülemise esiosa valmistamiseks valiti paksem ning tihedam materjal. Seda seetõttu, et materjal peab olema kandev ja mitte välja venima, kui sinna lisada erinevad sensorid ning aku. Valituks osutus materjal sisaldusega 80% polüamiidi (PA) ning 20% elastaan (EA). Kaenlaaluste detailide jaoks valiti materjal, mis võimaldaks maksimaalset õhuläbilaskvust. Välja valitud võrkmaterjal annab prototüübile õhuläbilaskvuse piirkondades, kus inimene enim higistab.

Peale lõigete konstrueerimist ning modelleerimist tuli failid konverteerida *Illustrator*-tüüpi failideks, et neid oleks laserlõikuri programmis võimalik avada. Faili tüübi muutmisel võivad jooned kaduma minna, mistõttu tuli need üle kontrollida ja vajadusel programmis *Illustrator* sobivaks muuta.

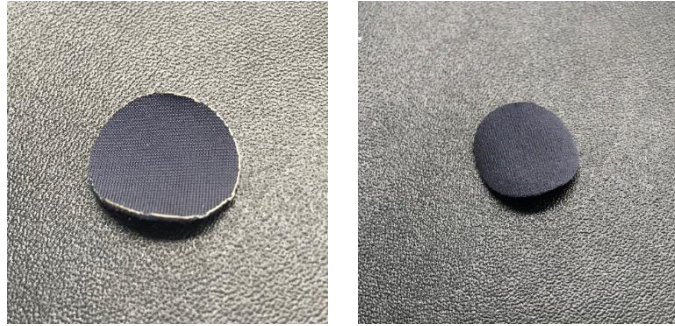
Kui mudeli lõiked olid korras, viidi läbi materjalikatsetused laserlõikamiseks. Katsetamiseks valiti ring, mille diameeter oli 2 cm. Meriino villa ja *Tencel* kanga puhul võeti alustuseks programmi standardseaded, kiirus 100 mm/s, võimsus min 10%, max 25%. Järeldati, et laseri võimsus ja kiirus olid liiga suured ja parameetrid kahjustasid kangast. Järgmisel katsel seadistati kiiruseks 50 mm/s ja võimsus min 10%, max 15%. Tulemus oli ikkagi mitterahuldav, kuna ringi lõikeäärtele avaldati liiga suurt võimsust. Vähendati taas nii kiirust kui võimsust ja katseti kiirusel 5 mm/s ning võimsusega 10%.

Selliste parameetritega lõikamine andis parima tulemuse. Lõikeääred jäid puhtad ning kiududel ei esinenud valgeid lõikeääri. Joonisel 7.1 vasakpoolne pilt iseloomustab esimest katsetust ning parempoolne viimast. Meriino villa ja *Tencel* kanga laserlõikamise katsetamise parameetrid on esitatud tabelis L6.1.



Joonis 7.1 Meriino villa/*Tencel* kanga laserlõikamine

Trikookanga (koostis 80% PA/20% EA) katsumisel oli tunda, et tegemist oli paksema kangaga. Õppides eelmise materjali lõikamisest, seati esimese katse parameetriteks 20 mm/s ja võimsuseks min 10%, max 15%. Lõigatud ringil oli kiududele taas avaldatud liiga suurt kiirust ja võimsust ning lõikeääred muutusid valgeks (joonis 7.2 vasakpoolne pilt). Detaili servad olid sulanud ning tundusid katsudes kõvad. Järgmisel katsel jäeti võimsus samaks, kuid alandati laseri kiirust 15 mm/s-ni. Tulemus oli sarnane esimesele katsele. Kolmanda katse parameetriteks olid 7 mm/s ja võimsus 10%. Ka selle katse tulemus sarnanes esimese kahe katsega. Kuna kiiruse alandamine ei näidanud positiivset tulemust toovat, prooviti kasutada hoopiski suuremat kiirust. Järgneval katsel lõigati laserkiir kiirusega 30 mm/s, 10% võimsusega. See andis tulemusi, sest laserlõikamisest valgeid kõrvetatud ja sulatatud kiude tuvastati juba vähem. Siiski oli lõikeserv käega katsudes kõva ja kare. Seetõttu otsustati järgnevatel katsetel tõsta nii kiirust kui ka võimsust. Parim tulemus saavutati kiirusel 60 mm/s võimsusega min 10%, max 15%. Sel juhul ei täheldatud enam valgeid sulanud ääri ning lõikeserv oli selge ja ei esinenud kõvadust. Joonisel 7.2 on vasakul pool näha laserlõikamise esimese katse ning paremal 7nda katse tulemus. Kõik katseparameetrid on esitatud tabelis L6.2.



Joonis 7.2 Trikotaažkanga laserlõikamine

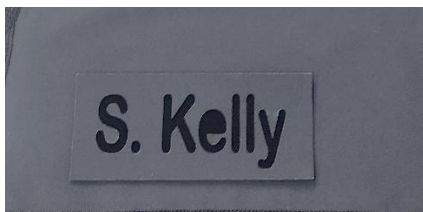
Võrkkanga esimesel katsel saadi rahuldav tulemus, nagu näha esitatud tabelis L6.3. Detail oli selgete lõikeservadega ning kõvasid ega karedaid ääri ei tuvastatud. Laserlõikamise käigus tekkinud kollase lõikejoone vältimiseks katsetati suurema kiirusega, kuid võimsus jäeti samaks. Teine katse andis rahuldava tulemuse.

Kui igale materjalile olid parimad parameetrid kindlaks tehtud, lõigati detailid välja. Lõikamisel jälgiti, et kanga parem pool jääks lõikamisel peale poole, et vältida laseri peegeldumist tööpinnalt kangale, mis võis tekitada ebaõnnestunud lõikuse.

Sensorsärk koosneb kolmest erineva tiheduse ja olemusega kangast. Polüamiidi ja elastaani sisaldusega kangas on tihe, paks ning õhuläbilaskvus on halb. Meriino villa ja *Tencel* segu on väga õhuke, hingav kangas, mis on väga elastne. Võrkkangas on auklik kangas, mis väga hästi ei veni. Materjalide erinevuse tõttu oli särgi õmblemine keeruline. Õmblemisel kasutati polüesterniiti ja põhilise õmblusena topeltkatteõmblust. Särki allääres kasutati katteõmblust. Lameõmblusel kasutati 3 pealmist niiti ning 4 alumist, mistõttu võib õmblust nimetada 7-niidiliseks õmbluseks. 3 pealmist niiti lisavad õmblusele dekoratiivse välimuse. Põhimaterjaliks on õhuke, väga veniv kangas ning 7-niidiline õmblus tagab parema tulemuse õmblemisel. Polüamiidi ja elastaani kangast kaelakaarekandi istuvus ei olnud kõige parem ning peale ühendamist hoidis see püsti. Triikimisel kandi istuvus paranes.

Kui prototüüp oli valmis õmmeldud, lamineeriti särkile nimesilt. Tootele tuli lisada nimi S. Kelly. Tegemist on ühe esimese inimesega, kes veetis ISS pardal 340 päeva. Nimesildi lisamine nägi ette laserlõikamist ning lamineerimist. Pealmine, välja lõigatud nimetähtedega riskülik, mõõtmetega 100x45 mm, tuli kõigepealt lamineerida ning seejärel programmis *Adobe Illustrator 2018* kujundatud nimi välja lõigata. Lõikamisel tõsteti kiirust ja võimsust, kuna tegemist oli liimkangaga seotud materjaliga. Uuteks parameetriteks olid 75 mm/s ning min. võimsus 10% ning max 15%. Alt läbikumavaks, mustaks materjaliks valiti tootmisjääkides olev must trikotaažkangas, mõõtmetega 85x35 mm. Laserlõikuri parameetriteks võeti sel materjalil 100 mm/s ja võimsus 10..20%. Kui vajalikud detailid olid välja lõigatud, liiguti tagasi lamineerimismasina

juurde. Alguses pandi paika nimesildi asukoht särgil ning seejärel asetati must riskülik valitud kohale. Sinna peale asetati hoolikalt liimiga hall nimesilt. Enne lamineerimist kontrolliti, et kõik nimetähed oleksid musta kanga peal. Seejärel kinnitati nimesilt särgile, tulemus on näha joonisel 7.3.



Joonis 7.3 Sensorsärgi nimesilt

Järgmisena alustati sensorskeemi koostamist. Alustuseks tuli valmistada tasku aku jaoks. Tasku asukohaks valiti rangluu pealne vasakul. Tegemist on kohaga, kus liikuvus on minimaalne. Samuti ei sega see inimest igapäevategevusi tegemast ja ei jää ette. Kuna aku asetatakse toote paremale poolele, kuid sensorskeem pahemale, siis tuli luua moodus, kuidas juhe saada pahemale poole. Üheks võimaluseks oli lõigata laserlõikuriga soovitud kohta väikene ring, kust juhe läbi mahuks. Teiseks võimaluseks oli kasutada augustamismasinat. Katse augustamismasinaga näitas, et materjalile tehtud ring oli puhas ning materjali venitamisel ei täheldatud hargnemist, mistõttu otsustati teise võimaluse kasuks. Tasku äärtesse kinnitati laminaat, mille abil oli võimalik see prototüübile kinnitada. Tasku katab augu.

Järgmiseks sammuks oli vooluskeemi valmistamine. Selleks kasutati eelnevalt välja valitud *Lilypad* tooteid ning elektrit juhtivat niiti. Enne vooluskeemi viimist prototüübile katsetati sensorite töökorda. Kontrollimise käigus avastati viga südamesensoris. Kuna lisa sensorit polnud tellitud ning tarneaeg Aasiast oleks olnud liialt pikk, otsustati südamesensor prototüübist välja jätta. Elektrit juhtivad niidid ei tohi omavahel kokku puutuda, sest muidu läheb vooluring lühisesse ja see ei anna soovitud tulemust. Sensorid peavad olema keha vastas, et lugeda inimesi näitajaid. Lüliti, emaplaadi ning liikuvussensori asendid pandi paika ning kinnitati elektrit mittejuhtiva niidiga. Järgmise sammuna võeti elektrit juhtiv niit ning toetudes loodud vooluskeemi joonisele loodi särgi peal vooluskeem. Kui ka see samm sai lõpetatud, oli aeg kontrollida töökorda ka toote peal. Selleks asetati aku oma taskusse, juhe viidi läbi augu pahemale poole, asetati lülitisse ning seejärel asendisse „ON“. Liikuvussensoril lõi põlema roheline tuli, mis viitab korrektsele ühendusele. Kontrolli läbimisel alustati skeemi kinnitamist prototüübile. Võeti kasutusele elektrit mittejuhtiv, õblemisel kasutatud niit ning osad kinnitati tootele. Sellele järgnes elektrit juhtiva niidi kinnitamine. Niidid ei tohi oma sensorskeemi

siseselt kokku puutuda, kuna tekib lühis ning sensor ei mõõda ja ei anna soovitud tulemust. Seetõttu tuli muuta algselt ettenähtud niitide asetust, kuid põhinedes loodud skeemi joonisele, ühendati skeemi osad ükshaaval. Joonisel 7.4 on näha skeemi lõpptulemus. Aku asetseb väljaspool ning juhtmed tulevad läbi augu lülitisse.



Joonis 7.4 Ühendatud sensorkeem

7.1.1 Järeldused

Projekti alguses valiti välja sensorid ning telliti need. Detailide kohalejõudmisel ning töökindluse kontrollimisel avastati, et südamerütmsensor ei tööta nagu soovitud ning see otsustati esimesest prototüübist välja jätta, et valesid andmeid mitte koguda. Arendustöö käigus on võimalik lisada sensorsärgile erinevaid mõõtjaid, olenevalt vajadusele.

Projekti käigus otsustati kasutada jäiku sensoreid. Tulemusena jäi prototüüp sensorskeemi kohtades jäik ning hoidis kehast eemale (joonis 7.5). Järgmiste prototüüpide valmistamisel tuleks võimalusel kaaluda pehmete sensorite kasutamist, et muuta astronauti jaoks särgi kandmine mugavamaks. Lisaks jäikusele on skeemi osad reljeefsed ning kandmisel võib esineda hõõrdumisi. Kuna aga skeemi osad peavad olema kontaktis organismiga, tekib nende katmisel probleeme. Skeemi osi ei tohi asetada lamineerimismasina alla, kuid kinni õmblemisel jäävad õmblused ka toote paremale poolele. Võimaluseks on kujundada õmblustest sobiv disain, mis pooldaks skeemi osade katmist.



Joonis 7.5 Sensorsärk

Kosmoses visatakse kasutatud riided prügisüstikusse. Seal olevad esemed hävitatakse enne Maa atmosfääri sisenemist. Sensorsärkide äraviskamine võib missiooni pikkusest olenevalt kujuneda väga kalliks. Idee parendamiseks on võimalus käsitleda sensorskeemi modulaarse osana. Sensorskeem ühendatakse eraldi kangatükile, mis ühendub põhiosaga näiteks takjate või truckide abil. See loob võimaluse särgi kasutusaja lõppemisel elektrooniline osa eemaldada ning uue kasutuselevõtmisel see sinna kinnitada.

7.2 Moodulsärgi valmistamine

Sarnaselt sensorsärgi valmistamisele toimus peale lõigete korrektuuri ja nende üleviimist *Adobe Illustrator 2018* failiks (.ai) detailide puhastamine ning laserlõikuseks valmistamine. Moodulsärk valmistatakse samast materjalist, mis sensorsärgi põhimaterjal, mistõttu polnud sellele materjalile uuesti laserlõikuse katseid vaja teha.

T-särk koosneb esiosast, tagaosast ning moodulvarrukatest. Kõige keerulisem oli moodulvarruka lõike loomine. Selleks võeti õlaõmblust lühemaks ning muudeti käeaugukaare aukohta madalamaks. Seejärel need kaks ühendati omavahel, mis andis

tulemuseks soovitud lõike. Esi- ja tagaosad ning varruka alused ühendused kinnitati lameõmbluse abil. Särgi allääre ning varrukaääre ühendamiseks oli katteõmblus. Prototüüp on ühest materjalist koosneva särgiga ning õmblemine võrreldes sensorsärgiga lihtsam.

Kui toode oli õmmeldud, tuli sarnaselt sensorsärgiga luua nimesilt ka moodulsärgile, mis on näha joonisel 7.6. Nimi ja nimesildi valmistamise meetod jäid samaks, muutus vaid pealmine nimetähtedega lamineeritud kangas. Meriino villa segu kangale lamineeriti liimkangas ning lõigati välja. Laserlõikuri parameetrid jäid samaks, kuna kiiruse ja võimsuse tõstmisel tekkisid kanga äärtesse taas pruunid kõrbemismärgid.



Joonis 7.6 Moodulsärgi nimesilt

Moodulite ühendamisel kasutati magnetiteid, mis lamineeriti kinni. Kasutatavate magnetite diameeter oli 0,9 mm ning paksus 0,3 mm. Lamineerimise parameetriteks on rõhk, kuumus ja aeg. Kõik detailid lamineeriti järgmiste parameetritega:

- Aeg: 15 sek;
- Temperatuur: 135 °C;
- Rõhk: 2,3 mPa.

Magnetite integreerimiseks tuli kõigepealt lamineerida liimkangas meriino villa segu kangale. Seejärel valmistati illustraatoris 20mm laiune riba detail, mis oli sama kujuga kui pluusi ja ka varruka käeaugukaar. Pärast sai seda laserit kasutades laminaadist välja lõigata. Valiku tegemisel arvestati asjaoluga, et magnet on 3 mm paksune ja liimkangas peab magneti täielikult ära katma. Kui ribad olid välja lõigatud, alustati magnetite paigaldamist. Selleks tuli kõigepealt paika panna magnetite vahelised kaugused. Esimesena võeti ette põhiosa käeaugukaared. Mõlemal pool alustati magneti asetamisega käeaugu alla, osaliselt lameõmbluse peale. Seal edasi minnes asetati 50 mm kaugusele 10 mm laiune pabertükk. Pabertükk hoiab ära kanga kokku kleepumise kohas, kuhu hiljem tuleb magnet asetada. Kui magnetite asetused olid paika pandud, korrati sama tegevust teisel käeaugukaarel. Seejärel alustati varrukamoodulitega. Kuna

magnetid peavad väga täpselt üksteisega kokku minema, et põhiosaga ühendamisel ei tekiks vastuolusid, pandi magnetite asetus paika, sobitades asukohad põhiosa magnetite asukohtadega. Kui kõigile oli magnetite asetus paika pandud, alustati nende kinnitamisega. Selleks kasutati eelnevalt asetatud paberribasid, et magnet paika libistada ning seejärel eemaldati paberriba. Ava kinnitamiseks kasutati triikrauda, kuna lamineerimismasinal ei ole võimalust nii täpselt kuumutada ja magnet ei tohi jääda kuumutusplaadi alla.

Magnetkinnitustele avaldati veelkord kuumust, et kinnitumine oleks kindel. Modulaarsuse katsetamisel tekkis siiski probleeme nimetatud ühendusega. Magnetid olid liiga tugevad ning isegi peale kahekordset lamineerimist libisesid oma pesadest välja. Valmis prototüüp on esitatud joonisel 7.7.



Joonis 7.7. Magnetühendusega moodulsärk

7.2.1 Järeldused

Valmistatud magnetühendusega moodulsärk ei osutunud edukaks prototüübiks. Toote valmistamisel esines probleeme magnetite kinnitamisega särki külge. Üheks probleemiks võib välja tuua, et tegemist oli liiga tugevate magnetitega. Idee edasiarendamisel tuleks kaaluda nõrgemate magnetite kasutamist. Veel on võimalus katsetada magnetrõngaste

kasutamist, kuid ka nende puhul tuleks järgida tugevust. Magnetrõngaste positiivseks küljeks on asjaolu, et rõngad on seest tühjad ja seetõttu on ka haakumispind väiksem. Moodulsärgi ideed edasi arendades oleks võimalus magnetühendus asendada truckide või takjatega. Esimese lahenduse puhul võivad truckid keha vastas tekitada ebamugavust, kuid kinnitus ise on kindel. Takjakinnituse puhul peab takja pehmem pool olema põhiosal, et ei tekiks hõõrdumist.

Moodulsärgi prototüübi idee paremaks edastamiseks loodi ka kolmas toode. Lõiked jäid samaks, kui magnetite asemele asetati takjad. Pehme takjariba asetus põhiosa detailile ning kare takjapool varrukamoodulitele. Takjaribad ühendati sarnaselt lamineeritud meriino villa segu kangaribadele, kuid vahele ei asetatud pabertükke. Kui takjad olid tootele kinnitatud, katsetati toote kokku panemist. Tulemus on näha joonisel 7.8. Prototüübi tulemus oli lähedasem soovitud tulemusele. Varrukamooduleid oli mugav eemaldada ja tagasi asetada.



Joonis 7.8 Takjäühendusega moodulsärk

KOKKUVÕTE

Läbi ajaloo on tehtud mitmeid katseid uurida kosmost ning seal leiduvat. Algselt saadeti kosmosesse vaid süstikuid, mis olid Maalt juhitud ning 1959. aastal maandusid Kuul esimesed inimesed. Tehnika arenedes ning teadmiste kogumisel oleme tänapäeval jõudnud sinnamaani, et kosmosereiside kestvused pikenevad ja tulevikus tahetakse rajada Kuule sobilik elukeskkond. Kosmoses kasutatakse palju erinevaid rõivaid. Skafandrit kasutatavad astronautid ja kosmonaudid avakosmoses, kui lahkutakse kosmosejaama pardalt. Ülejäänud aja kosmosejaamas veetes kannavad astronautid sarnaseid riideid nagu Maal. Seda seetõttu, et kosmosejaamas sees imiteeritakse Maa keskkonda, kus inimene saab viibida ilma lisavarustust kandmata.

Lõputöö raames valmistati intelligentse rõiva prototüübid. Sellele eelnesid materjalikatsetused ning lõigete konstrueerimine ja modelleerimine. Materjalidel mõõdeti pindtihedust ning õhuläbilaskvust. Lõigete konstrueerimisel valmistati prototüüpide detailid ning hiljem lõigati need laserlõikuriga välja. Sensorskeemi integreerimine särki toimus käsitsi, kasutades elektrit juhtivat niiti. Moodulrõiva valmistamisel kasutati mitmeid elemente – magnetid, takjad.

Toote töötlemise kirjeldamiseks loodi toote tehniline joonis ning tehnoloogiline järjestus. Esimene prototüüp, sensorsärk, on intelligentne rõivas, mis aitaks jälgida astronauti tervisenäitajaid mugavamalt ning kiiremalt. Teine prototüüp, magnetühendusega moodulsärk, loodi baseerudes materjalikulude vähendamisele. Kuna magnetühendus moodulsärgil ei andnud soovitud tulemusi, loodi lisaks ka kolmas prototüüp – takjähendusega moodulsärk. Selline varrukate ühendamisviis andis soovitud tulemuse.

Sensorsärgi puhul on võimalik elektroonikat integreerida mitmel erineval viisil. Kuna kasutatud rõivad hävitatakse, oleks võimalik sensorsärk samuti luua versioonina moodulsärgist. Sensorskeem oleks võimalik kinnitada särgi külge, kasutades takjaid, et vajaduse korral see taas eemaldada. Moodulsärgi puhul on võimalik kasutada erinevaid ühendusmeetodeid. Magnetühenduse korral tuleks uurida magnetite tugevust. Magnetite asemel on võimalik kasutada takjaid ning trukke. Trukid võivad keha küljes tunduda ebamugavad, kuid kinnitus ise on kindel. Takjate kasutamisel tuleb pehme takjapool asetada põhiosale, et vältida käsivarte hõõrdumist.

Bakalaureusetöö raames seatud eesmärgid said täidetud ning arendustöö tulemusel kogutud informatsiooni põhjal on võimalik tööd tulevikus edasi arendada. Bakalaureuse töö käigus valminud sensor- ja moodulsärgi prototüüpe on võimalik tulevikus edasi arendada kasutades sobivamaid kaasaegseid tehnoloogiaid ja materjale.

ABSTRACT

All through history there have been many missions to explore, what is in the outer space. In the beginning only space shuttles were sent to space and they could entirely be controlled from the Earth. In today's world, different insects and animals have been to space and humans have landed on the Moon. As the whole world is advancing, there are already planned missions to stay in outer space for longer. There are plans to start an environment on Moon and missions to visit Mars.

In addition to space suit and the Start suit, astronauts usually wear similar clothes to those they wear on Earth. This is possible because inside the Spaceship the conditions are imitated to be the same as on Earth.

Astronauts face many difficulties while completing their missions. Extreme conditions and far away from civilization could impact the human's mental and physical health. To help prevent them, there are different ways to monitor the astronaut's health while in space. Because the electronics used to measure can sometimes be big, heavy and uncomfortable to use, monitoring health parameters proves to be difficult. Intelligent clothing contains integrated electronics that could help measure astronaut's help without disturbance or making it his/her daily task.

Other issue while in Space, is cleaning the clothing. At the moment, there is an understanding of how long which garment should be worn. After the time is up, the clothing is piled with other garbage into a separate shuttle that is destroyed before reaching the Earth's atmosphere.

This Bachelor thesis gives an overview of making intelligent clothing and modular clothing. Shirt with sensors shows how an electronics-embedded shirt works and how the details are connected through conductive threads and a battery. Modular clothing is made while thinking about how the clothes are worn. Making the shirt modular helps lessen the material consumption and lengthen the items life cycle.

The project has been made in co-operation with Tallinn University of Technology Master's degree course "Design and Technology Future" students and it is named as "IGLUNA 2020".

There are many ways to make the shirts even better. Future sensor shirt prototyping could be advanced. Instead of hard and stiff details, soft sensing sensors could be placed. This would feel more comfortable to wear. In addition, the sensors would be

more against the body and offer more accurate measuring. Modular shirt prototype with magnetic connection shows that while the idea was good, viability is not. For next prototypes, weaker magnets could be used or even only magnets with only one pole. The velcro-joining prototype turned out to be the updated version from the magnetic shirt. The original idea was successful and the shirt sleeve modules could be removed and attached without a worry.

This thesis gives an overview for intelligent clothing. These ideas can be bettered and multiple changes could be applied to give a better outcome.

Kasutatud kirjanduse loetelu

- [1] Gon D. P. (2011). Complex Garment Systems to Survive in Outer Space, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*.
- [2] Salvendy G. (2012). *Handbook of human factors and ergonomics*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Gorman M. (2020). 5 Main Differences Between an Astronaut and A Cosmonaut? *Astronaut*. Available: <https://astronaut.com/5-main-differences-between-an-astronaut-and-a-cosmonaut/>. [15.05.2020].
- [4] About the Moon. *NASA*. <https://moon.nasa.gov/about/in-depth/>. [15.05.2020].
- [5] Moon Facts. *Space Facts*. <https://space-facts.com/the-moon/>. [15.05.2020].
- [6] About the Moon - In Depth. *NASA*. <https://moon.nasa.gov/about/in-depth/>. [15.05.2020].
- [7] Harvey J. ja Day J. (2016). *Highly Siderophile and Strongly Chalcophile Elements*. Chantilly: The Mineralogical society of America.
- [8] Compositions and origins of the Moon. *Institute of Physics*. <https://beta.iop.org/composition-and-origins-moon>. [15.05.2020].
- [9] Pon M., Gilbert-Jones I. (2001). *Other Industrial Hygiene Concerns: Mine Health and Safety Management*. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc.
- [10] Long Duration Psychology. *NASA History Division*. <https://history.nasa.gov/SP-4225/long-duration/long.htm>. [15.05.2020].
- [11] Patel N. V. (2016). Space Psychology 101: How NASA Keeps Its Astronauts Sane. *Inverse*. <https://www.inverse.com/article/19326-space-psychology-nasa-astronauts-mental-health-mars>. [15.05.2020].
- [12] Longnecker D. E., Manning F. J., Worth Jr M. H. (2004). *Longitudinal Study of Astronaut Health*. Washington: The National Academies Press.
- [13] Griffith G., Goka T. (2009). *The Space Environment: Natural and Induced: Safety Design for Space Systems*, Elsevier Ltd.
- [14] Hongu T., Phillips G. O. (1997). *Fibers in space*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- [15] <https://renderhub.cgsociety.org/dig7/nasa-artemis-xemu-sp>. [07.05.2020]
- [16] Coldewey D. (2019). NASA's new Moon-bound spacesuit is safer, smarter and much more comfortable. *TechCrunch*.

- <https://techcrunch.com/2019/10/10/nasas-new-moon-bound-spacesuit-is-safer-smarter-and-much-more-comfortable/>. [15.05.2020].
- [17] Life in Space. *JAXA Space Station*. <https://iss.jaxa.jp/kids/en/life/02.html>. [17.05.2020].
- [18] Space Wear. *National Aeronautics and Space Administration*. <https://spaceflight.nasa.gov/living/spacewear/index.html>. [17.05.2020].
- [19] NASA. https://www.nasa.gov/externalflash/spacesuit_gallery/hi-resjpgs/10.jpg. [07.05.2020]
- [20] McLoughlin J., Hayes S. (2015). *Joining techniques for sportswear: Textiles for Sportswear*. Manchester, Woodhead Publishing Limited.
- [21] Cassidy T., Goswami P. (2018). *Textile and Clothing Technology*, CRC Press.
- [22] (2019). Wool VS Merino wool: 6 Notable Differences (And Why You Should Care). *Minus 33*. <https://www.minus33.com/blog/wool-vs-merino-wool-6-notable-differences-and-why-you-should-care/>. [04.06.2020].
- [23] Miao M., Xin J. H. (2018). *Engineering of High-performance Textiles*, Elsevier.
- [24] Bhat G. (2017). *Structure and Properties of High-performance Textiles*, Elsevier.
- [25] Harlin A., Jussila K., Ilen E. (2019). *Sport Textiles and Comfort Aspect: High Performance Technical Textiles*, John Wiley & Sons.
- [26] Hari P. K. (2020). *Types and properties of fibres and yarns used in weaving: Woven Textiles - Principles, Technologies and Applications*. The Textile Institute.
- [27] (2020). Polyamide (Nylon) VS Polyester: Differences and Comparison. *Norway Geographical*. <https://norwaygeographical.com/polyamide-nylon-vs-polyester/>. [04.06.2020].
- [28] Boncamper I.(2000). *Tekstiilkiud*. Tallinn: OÜ Infotrükk.
- [29] Hodakel B. (2020). What is Nylon Fabric: Properties, How its made and Where. *Sewport*. <https://sewport.com/fabrics-directory/nylon-fabric>. [04.06.2020].
- [30] Mather R. R., Wardmann R. H. (2015). *The Chemistry of Textile Fibres*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- [31] Benton-Collins K. (2018). Material Guide: How Ethical is Tencel? *Good on you*. <https://goodonyou.eco/how-ethical-is-tencel/>. [24.05.2020].
- [32] (2020). What is Lyocell Fabric: Properties, How its Made and Where. *Sewport*. <https://sewport.com/fabrics-directory/lyocell-fabric>. [04.06.2020].
- [33] Wang R., Liu H. (2011). *Advances in Textile Engineering*. Tianjin: Trans Tech Publications Ltd.

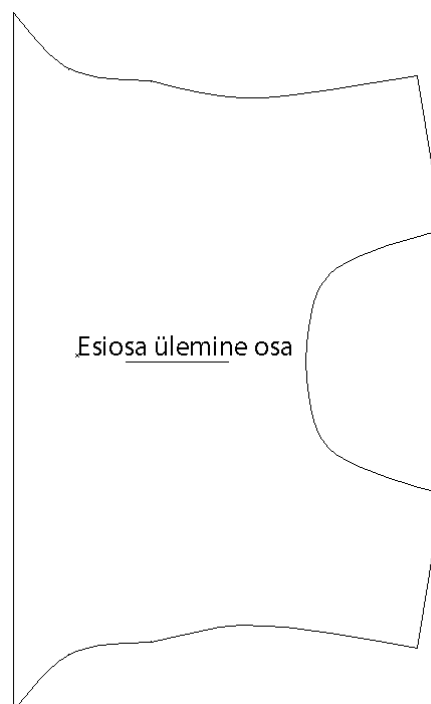
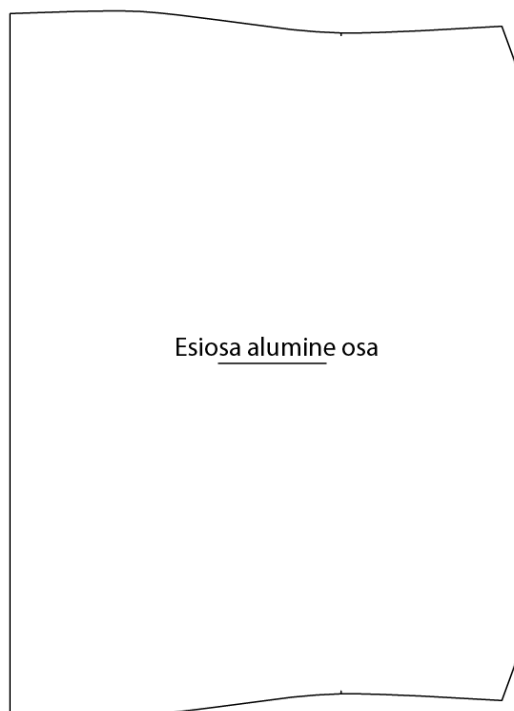
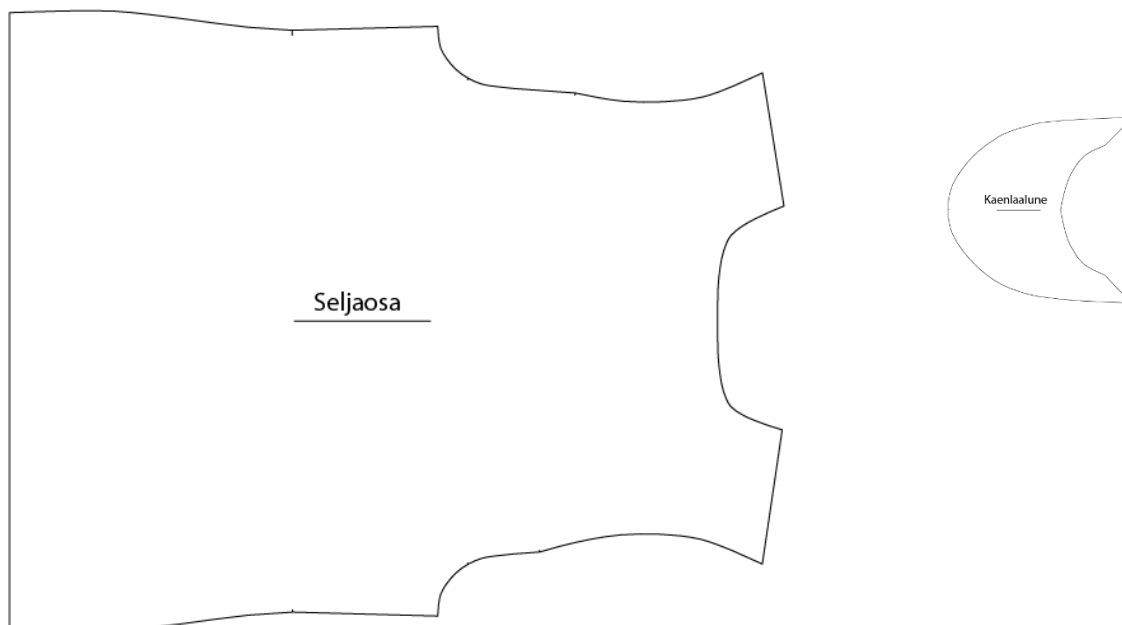
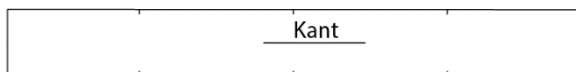
- [34] Plamus T. (2017). *Tekstiilikatsetus loengukonspekt*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.
- [35] Singh J. P., Verma S. (2017). *Woven Terry Fabrics - Manufacturing and Quality Management*. Woodhead Publishing.
- [36] Li M. M., Chen Y., Wang Y. (2018). Modular Design in Fashion Industry. *Journal of Arts & Humanities*.
- [37] Introducing you to two of the new hottest emergin Sustainable Designers. *Fashion Chaning the World*.
<http://www.fashionchangingtheworld.com/categories/introducing-you-to-two-of-the-hottest-emerging-sustainable-designers>. [03.06.2020].
- [38] Peter J. (2018). Transformable Fashion: The Biggest Sustainable Clothing Trend That Never Was. *The Fashion Studies Journal*.
<http://www.fashionstudiesjournal.org/longform/2018/9/15/transformable-fashion>. [17.05.2020].
- [39] What are Phase Change Materials? *Global-E-Systems*. <https://www.global-e-systems.com/en/phase-change-materials/what-are-phase-change-materials/>. [17.05.2020].
- [40] Technology. *Outlast*.
<http://www.outlast.com/en/technology/?9c281ed148d7adf52093=>. [04.06.2020].
- [41] Viikna A. (2007). *Kõrgsuutlikud kiud ja materjalid*, Tallinn: TTÜ kirjastus.
- [42] Castano L. M., Flatau A. B. (2014). *Smart fabric sensors and e-textile technologies: a review*. Maryland: Department of Aerospace Engineering, University of Maryland.
- [43] Garcia-Breijo E., Perez B. G.-L., Cosseddu P. (2017). *Organic Sensors Materials and Applications*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- [44] Shishoo R. (2015). *Textiles for Sportswear*, Elsevier.
- [45] Simons R. N. (2012). *Body-Sensor Networks for Space and Millitary Applications: Antennas and Propagation for Body-Centric Wireless Communications*, London: Artech House.
- [46] Sloboda L. (2015). Embedding Smart Fabric Sensors in Your Next Product. *Engineering*.
<https://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/9699/Embedding-Smart-Fabric-Sensors-in-Your-Next-Product.aspx>. [13.05.2020].
- [47] Markova I. (2019). *Textile Fiber Microscopy - A Practical Approach*. San Francisco: John Wiley & Sons Ltd.

- [48] Booker G. (2012). *Introduction to Biomechatronics*. Raleigh: SciTech Publishing.
- [49] Das V., Boothby A., Lie D. Y. (2016). *Design investigations for robust and continuous online heartbeat monitoring using wearable vs Doppler-based non-contact vital signs biosensors: Nanobiosensors for Personalized and Onsite Biomedical Diagnosis*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- [50] Temperature Sensors. *Electronics Tutorials*. https://www.electronicstutorials.ws/io/io_3.html. [19.05.2020].
- [51] Sewing with Conductive Thread. *Sparkfun*. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/sewing-with-conductive-thread>. [09.05.2020]
- [52] Amirul M., Mills B. R. (2015). *3D woven preforms for E-textiles and composite reinforcements: Advances in 3D Textiles*. Woodhead Publishing Series in Textiles in association with The Textile Institute.
- [53] Plamus T. (2018). *The Influence of Conductive Additives of the Mechanical Properties of Electrospun Mats*, Tallinn: TTÜ Press.
- [54] Vilumsone-Nemes I. (2018). *Industrial Cutting of Textile Materials*. Elsevier.
- [55] Colovic G. (2015). *Sewing, stitches and seams: Garment Manufacturing Technology*. Belgrad: Woodhead Publishing.
- [56] Fung W. (2002). *Coated and Laminated Textiles*. Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute.
- [57] Beaudette E., Park H. (2017). Impact of seam types on thermal properties of athletic bodywear. *Textile Research Journal*.
- [58] Blaz. (2018). What are flatlock seams and when are they useful? *Best Hiking*. <https://besthiking.net/what-are-flatlock-seams/>. [17.05.2020].
- [59] Schwandt M. The Right Serger Stitch for Your Project. *Threads*. <https://www.threadsmagazine.com/2011/12/01/choose-the-right-serger-stitch-for-your-project>. [28.05.2020]

LISAD

LISA 1. LEKAALID VÄHENDATUNA

Sensorsärk






Moodulsärk








LISA 2. MATERJALIDE KAART

Tabel L2.1 Materjalide kaart

Materjalid	Kasutus	Koostis	Pindtihedus g/m ²	Foto	Materjali kulu
Meriino villa segu	Põhimaterjal	50% meriino vill 50% <i>Tencel</i>	131,61		Sensorsärk: 0,6 m Moodulsärk: 1 m
Trikotaaž- kangas	Sensor- skeemi hoidev osa	80% polüamiid 20% elastaan	189,66		Sensorsärk: 0,2 m
Võrkkangas	Kaenlaalused detailid		97,35		Sensorsärk: 0,01 m
Liimkangas	Laminee- rimine				Sensorsärk: 0,01 m Moodulsärk: 0,2 m

LISA 3. PROTOTÜÜPIDE TEHNOLOOGILISED JÄRJESTUSED


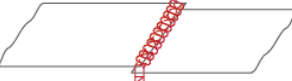
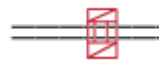
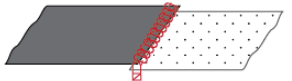
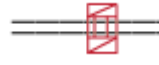
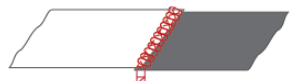
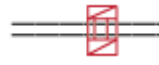
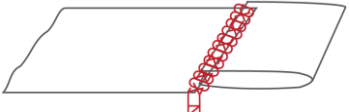

Materjalide legend



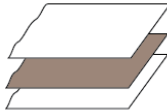



Meriino villa kangas	
Trikotaažkangas	
Võrkkangas	
Liimmaterjal	
Magnet	

Operatsioonide eriala


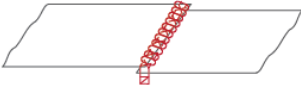
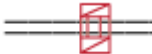
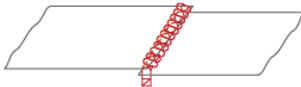
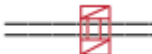
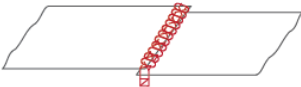
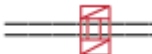
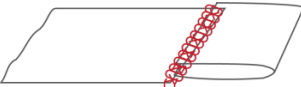

- D – dubleerimine
- F – topeltkatteõmblusmasin (*flatlock*)
- L – laserlõikur
- K- käsitöö
- KÕ- altkatteõmblus
- U – universaal

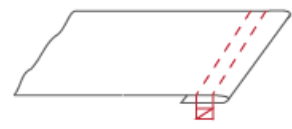
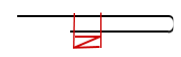

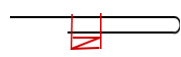
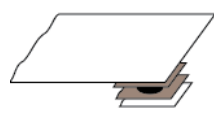
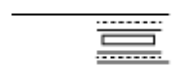
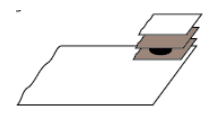

Tabel L3.1 Sensorsärgi tehnoloogiline järjestus

Op jrk nr	Operatsiooni nimetus	Seadmed, seadised	Masina kl	Op eriala	Tehnilised tingimused	Läbilõike joonis	Tingtähis
1.	Kõikide detailide välja lõikamine	Laserlõikur		L	Parameetrid esitatud tabelites 7.1, 7.2 ja 7.3		
2.	Küljeõmbluste õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604L M-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
3.	Kaenlaaluste detailide õmblemine põhidetailiga	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604L M-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
4.	Õlaõmbluste õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604L M-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
5.	Kaelakaare kandi õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604L M-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		

Op jrk nr	Operatsiooni nimetus	Seadmed, seadised	Masina kl	Op eriala	Tehnilised tingimused	Läbilõike joonis	Tingtähis
6.	Allääre töötlemine	Altkattemasin	FD3-B257	KÕ	Pistetüüp: 406 Õmbluse kaugus murdejoonest: 20 mm Piste laius: 5 mm		
7.	Aku tasku dubleerimine	Lamineerimis- masin		LA	Kuumus: 135 °C Rõhk: 2,3 mPa Aeg: 15 sek		
8.	Sensorskeemi loomine			K	Elektrit juhtiv niit, sensorskeemi osad		

Tabel L3.2 Moodulsärgi tehnoloogiline järjestus

Op jrk nr	Operatsiooni nimetus	Masin	Masina kl	Op eriala	Tehnilised tingimused	Läbilõike joonis	Tingtähis
1.	Kõikide detailide välja lõikamine	Laserlõikur		L	Parameetrid esitatud tabelis 7.1		
2.	Varruka alumiste õmbluste õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604LM-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
3.	Küljeõmbluste õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604LM-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
4.	Õlaõmbluste õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604LM-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		
5.	Kaelakaare kandi õmblemine	<i>Flatlock</i> õmblusmasin	FSX6604LM-DD52	F	Pistetüüp: 606 Pistelaius: 7 mm Detailide lõikeservad üksteise peal: 3 mm		

6.	Allääre palistamine	Katteõmblus masin	FD3-B257	KÕ	Pistetüüp: 406 Õmbluse kaugus lõikeäärest: 20 mm Piste laius: 5 mm		
7.	Varruka allääre palistamine	Katteõmblus masin	FD3-B257	KÕ	Pistetüüp: 406 Õmbluse kaugus murdejoonest: 20 mm Piste laius: 5 mm		
8.	Moodulühenduse loomine varrukal	Laserlõikur, dubleerimispress		LA	Kuumus: 135 °C Rõhk: 2,3 mPa Aeg: 15 sek		
9.	Moodulühenduse loomine kehaosal	Laserlõikur, dubleerimispress		LA	Kuumus: 135 °C Rõhk: 2,3 mPa Aeg: 15 sek		

LISA 4. PINDTIHEDUSE ARVUTAMINE

Tabel L4.1 Trikotaažkanga pindtihedus

Materjal 1			
Katse nr	Katsekeha mõõtmed, cm	Kaal, g	Pindtihedus M, g/m ²
1	9,9x10,1	1,8909	189,11
2	9,9x10,2	1,9135	189,49
3	9,7x10,1	1,8837	192,27
4	10x10	1,9030	190,3
5	10,1x10,1	1,9087	187,11
Keskmine			190
Standardhälve			2

Tabel L4.2 Meriino villa/*tencel* kanga pindtihedus

Materjal 2			
Katse nr	Katsekeha mõõtmed, cm	Kaal, g	Pindtihedus M, g/m ²
1	10x10	1,3404	134,04
2	10x9,9	1,3035	131,67
3	9,9x10,1	1,2911	129,12
4	10,1x10	1,3460	133,27
5	10,1x9,9	1,2995	129,96
Keskmine			132
Standardhälve			2

Tabel L4.2 Vörkkanga pindtihedus

Materjal 3			
Katse nr	Katsekeha mõõtmed, cm	Kaal, g	Pindtihedus M, g/m ²
1	8,9x9,1	0,7860	97,05
2	9,1x8,9	0,7954	98,21
3	8,8x9,1	0,7751	96,79
Keskmine			97
Standardhälve			1

LISA 5. ÕHULÄBILASKVUSE ARVUTAMINE

Tabel L5.1 50% meriino/ 50% tencel katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	50% meriino/ 50% tencel
Mõõtmised	l/ m ² ·s
1	1310
2	1310
3	1310
4	1310
5	1314
6	1310
7	1306
8	1310
9	1310
10	1309
Keskmine	1310
Standardhälve	2

Tabel L5.2 80% PA/ 20% EA katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	80% PA/ 20% EA
Mõõtmised	l/ m ² ·s
1	501
2	496
3	504
4	480
5	478
6	481
7	490
8	497
9	497
10	489
Keskmine	491
Standardhälve	9

Tabel L5.3 Vörkkanga katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	Vörkkangas
Mõõtmised	l/ m ² s
1	1330
2	1330
3	1330
4	1320
5	1320
6	1310
7	1320
8	1320
9	1330
10	1330
Keskmine	1324
Standardhälve	7

Tabel L5.4 Mikrokiudkanga katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	Mikrokiudkangas
Mõõtmised	l/ m ² s
1	873
2	685
3	1050
4	873
5	1030
6	653
7	859
8	896
9	857
10	741
Keskmine	762
Standardhälve	124

Tabel L5.5 100% meriino villa katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	100% meriino vill
Mõõtmised	l/ m ² s
1	1310
2	1310
3	1310
4	1310
5	1300
6	1300
7	1300
8	1300
9	1300
10	1310
Keskmine	1305
Standardhälve	5

Tabel L5.6 92% CO/ 8% EA katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	92% CO/ 8% EA
Mõõtmised	l/ m ² s
1	135
2	134
3	129
4	125
5	131
6	126
7	125
8	125
9	116
10	107
Keskmine	125
Standardhälve	8

Tabel L5.7 95% CO/ 5% EA katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	95% CO/ 5% EA
Mõõtmised	l/ m ² ·s
1	181
2	177
3	170
4	181
5	176
6	173
7	168
8	173
9	168
10	177
Keskmine	174
Standardhälve	5

Tabel L5.8 100% PL katsetulemused

Katsekeha kirjeldus	100% PL
Mõõtmised	l/ m ² ·s
1	1290
2	1290
3	1290
4	1360
5	1290
6	1290
7	1290
8	1280
9	1280
10	1280
Keskmine	1294
Standardhälve	22

LISA 6. LASERLÕIKUSE PARAMEETRITE TESTIMINE

Tabel L6.1 Meriino villa segu laserlõikamise parameetrid

50% Meriino vill/ 50% Tencel			
Katse nr	Kiirus, mm/s	Võimsus, %	
		Min.	Max.
1	100	10	25
2	50	10	15
3	10	10	15
4	5	10	10

Tabel L6.2 Trikotaažkanga laserlõikamise parameetrid

80% Polüamiid/ 20% Elastaan			
Katse nr	Kiirus, mm/s	Võimsus, %	
		Min.	Max.
1	20	10	15
2	15	10	15
3	7	10	10
4	30	10	10
5	40	10	15
6	50	10	15
7	60	10	15

Tabel L6.3 Võrkkanga laserlõikamise parameetrid

Võrkkangas			
Katse nr	Kiirus, mm/s	Võimsus, %	
		Min.	Max.
1	60	10	25
2	65	10	15