



Britta Liisa Brutus, Ada Traumann, Merje Beilmann

PÄÄSTERIHMA TEHNILISE KIRJELDUSE VÄLJATÖÖTAMINE

LÕPPARUANNE

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Tallinn 2024

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1 TOOTE RAKENDUSUURINGU LÄBIVIIMINE	5
1.1 Taustauuring	5
1.2 Toote eesmärk ja kirjeldus	5
1.3 Toote materjalide hankimine	6
1.3.1 Pannal	8
1.3.2 Karabiin	9
1.3.3 Trossi kinnitusaas	10
1.3.4 Tross-tropp	11
1.3.5 Rihmapael	11
2 PÕHIMATERJALIDE JA ÕMBLUSSÕLMEDE MEHAANILIS-FÜÜSIKALISTE OMADUSTE TESTIMINE	12
2.1 Rihmapael	12
2.1.1 Rihmapaela parameetrid	12
2.1.2 Rihmapaela testimine	12
2.2 Niit	13
2.2.1 Niidi parameetrid	13
2.2.2 Niidi hõrdekindluse testimine	13
2.3 Toote õmblussõlme testimine	14
2.3.1 Uurimisküsimused testimiseks	15
2.3.2 Esimene testkehade testimine laboris ja järeldused	15
2.3.3 Teine testkehade õmblemine	16
2.3.4 Teine testkehade testimine laboris ja järeldused	16
3 PROTOTÜÜBI VALMISTAMINE	18
3.1 Materjalid	18
3.2 Tehnoloogia	19
4 PÄÄSTERIHMA ERGONOOMILISUSE HINDAMISE METOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE	20
5 TOOTE VASTAVUSHINDAMINE	22
5.1 Toote hindamismeetodid	22
KOKKUVÕTE	25
VIIDATUD ALLIKAD	27
LISAD	28

SISSEJUHATUS

Päästeamet pöördus TTK poole 2023. aasta suvel seoses toote arendustööga. Valminud olid esmased protonäidised, mida oli päästjate endi poolt testitud töökeskkonnas ettetulevate stsenaariumite järgi. Testimine oli salvestatud videotena.

Arendatav toode on päästja töövahend (joatoru ja vooliku kandeseade). Arendatava toote nimetus on oluline, sest loodav toode on päästja abistamiseks, mitte tema turvamiseks mõeldud vahend. Lähtuvalt nõõripäästes kasutatava vahendi järgi otsustatakse toode nimetada päästerihmaks.

Päästerihm on funktsionaalne abivahend, mis pakub alternatiivi slingile ning on kasutatav abitrossina päästetöödel. Toote arendamisel lähtutakse päästja erinevatest tööülesannetest. Toode kantakse tuletõrjajate kaitserõivaste peal.

Antud uurimistöö raames arendatakse päästerihma tehniline dokumentatsioon, mis on jagatud viide etappi.

Esimeses etapis tehakse tootele taustauuring, kus viiakse läbi intervjuu esmase protonäidise autoriga toote vajaduste kirjeldamiseks ning uuritakse turul olevaid sarnase funktsiooniga valmistooteid ja materjale. Viiakse läbi toote tekstiiliosa materjalide näidiste hankeprotsess nende testimiseks. Tellitakse vastavad põhi- ja abimaterjalid.

Teises etapis viiakse läbi Tallinna Tehnikakõrgkooli (TTK) laboris mehaanilis-füüsikalised testid tootes olevate tekstiilmaterjalidele ja õmblussõlmedele: põhimaterjali (rihma pael) ja rihma õmblussõlmede tõmbetugevuse määramine. Tehakse tootele esmased tehnilised joonised.

Kolmandas etapis õmmeldakse toote tekstiiliosa kaks prototüüpi kahes erinevas mõõdus.

Neljandas etapis toimub toote testimine. Esmaseks päästerihma testimiseks töötatakse lõputöö raames välja vastav testimismetoodika, mis hõlmab erinevaid liigutusi ja küsitlust, et hinnata toote kasutusmugavust ja esmast ohutust. Samuti peab testimismetoodika tooma välja võimalikud päästerihma puudused, mis vajavad parendamist. Kuna päästerihm arendatakse välja kahes erinevas pikkuses, siis metoodika peab andma tagasisidet selle vajalikkusest.

Viiendas etapis toimub toote vastavuse hindamine ISO 9001 seeria või samaväärse standardi alusel vastavat kvaliteeditööriista kasutades.

Uurimistöö etappide läbimise järel koostatakse prototüübile parendustega tehniline

dokumentatsioon, milleks on toote baaslõige (rihma õblemise juhis koos tehnoloogilise kirjeldusega), baassuuruste skaala koos vajalike põhimõtetudega. Antud uurimistöö on konfidentsiaalne ja ei kuulu avaldamisele kolmandatele osapooltele.

1 TOOTE RAKENDUSUURINGU LÄBIVIIMINE

Uurimisraporti esimene peatükk keskendub toote kirjeldusele toote eesmärgist lähtuvalt. Sellest tulenevalt, keskendutakse sobivate materjalide ja furnituuride erinevate alternatiivide otsingule ning nende sobivuse analüüsimisele. Toote arendusel on lähtutud sellest, et toodet ei hakata tellima suurtes kogustes ning valitud materjalid oleksid kättesaadavad ka üksikute tellimuste teostamiseks.

1.1 Taustauuring

Taustauuringust selgus, et sarnaste toodete valik on väike (Lisa 1). Teadusartiklite põhjal on mitmed uuringud seotud autodes olevate turvarihmadega [1],[2]. Päästerihmale kõige sarnasemad uuringud olid seotud rakmete testimisega kõrgustes töötamisel [3],[4]. USAs välja antud raamatu põhjal „Taktiline tuletorjuja“ on päästja varustuses kirjeldatud nn taskutesse mahtuvaid vahendeid ning tööriistu, kus on päästerihmale sarnane toode – *webbing*, milleks on rullikusse tõmmatav lintrihm [5].

1.2 Toote eesmärk ja kirjeldus

Loodud esmase prototüübi autoriks on päästja. Tema esialgne idee kasvas välja slingist (nööri pääste varustuses olev vahend), mida on hea päästjatel kasutada näiteks metsatulekahjudes (inimese väljakandmine metsast) või ka kannatanu välja kandmisel põlevast majast. Vastupidiselt nöörpääste varustuses olevale vahendile peab olema arendatav toode reguleeritav, mis annab tootele multifunktsionaalsuse.

Loodav joatoru kandeseade lihtsustab vooliku hoidmist, kuna vooliku vedamine hoonetes ja kõrgustes on raske. Suurema voolikuga ja joatoruga opereerimisel ei ole vaja enam kahte meest. Loodav toode võib aidata ära hoida võimaliku tööõnnetuse. Loodavat toodet on võimalik kasutada mitmel erineval viisil nagu näiteks kannatanu toomisel (kanderaamiga) ohuolukorrast välja, kinnitada sellele erinevaid tööriistu vms. Loodavat toodet saavad kasutada päästjad ohuolukorras ka teineteise päästmisel nagu näiteks põlevast majast väljatoomisel. Läbi katuse kukkudes jääks päästja vooliku külge rippuma ja karabiinidega tross-tropist saaks päästja end vajadusel ise vabastada.

Vastavalt tellija poolt esitatud esmasele prototüübile koosneb toode tekstiilist (pael/rihm) ja metallist osadest (Fotod 1 ja 2).



Foto 1. Päästeameti prototüüp



Foto 2. Prototüübi rihma laius

Metallist trossi pikkus peab lähtuma vooliku diameetrist. Päästja enda poolt läbiviidud testides kasutati b-voolikut, mille läbimõõt on 75 mm, tagades suurema veesurve ja läbivoolu. Trossi kandevõime peaks olema vähemalt 50 – 60 kg, et tagada näiteks kätevaba kandraami kasutus koos kannatanuga nelja päästja vahel. Veevoolik survega 10 bar on raskusega 50 – 60 kg. Tross-tropp on kinnitub karabiiniga rihma kolmnurk-kandaasa külge. Karabiin peab olema kergesti avatav tulekustutuskindlusega.

Päästerihma pikkus peab olema reguleeritav lähtuvalt kandja kehamõõtudest. Lahtine vöö ots peab olema kinnitatav.

Arendatavat toodet soovitakse kombineerida tulekustutuse kaitserõivaga. Eesmärk on muuta toode päästja varustuse kohustuslikuks osaks, mistõttu on seda kaasav väljaõpe ja kasutusomaduste teavitustöö oluline juba päästekooli tasemel.

1.3 Toot materjalide hankimine

Toote materjalide hankimisel lähtus TTK toodete taustauuringust nii teadusartiklite kui internetist leitavate kommerts-toodete näol.

Toote materjalide hankimiseks nimetati toote parameetrid ja määrati nende olulisus tellija seisukohast (Tabel 2). Tõlgendatud vajaduste olulisust on hinnatud kolme palli süsteemis, kus 1 - väheoluline, 2 - oluline ja 3 - väga oluline vajadus. Tabelis 2 toodud andmed on vaadatud üle vaheraporti esitamisel ning muudatused on viidud sisse lähtuvalt Päästeameti poolse esindaja tehtud tähelepanekutest.

Oluline on märkida, et vastavalt furnituuriga tegelevate firmade infole määrab mitmed parameetrid suuresti miinimumkogus, mida tulevikus soovitakse hankida.

Tabel 2. Arendatava toote parameetrid ja tõlgendatud vajadus

Toote parameeter	Olulisus vana	Olulisus uus	Määrang
Rihmapael	3	3	PES või PP, UV-kindel, vastavalt tehnilisele kirjelduse olemasolule
Rihmapaela laius	3	3	50 mm, arvestada saadavust vastavalt min nõuetele
Rihmapaela värv	1	2	Erksavärviline (arvestada saadavust vastavalt min nõuetele)
Rihmapaela tulekindlus	2	3	Aluseks võtta hingamisaparaatide tulekindluse standard tekstiilosadele
Rihmapaela löikekindlus		3	Aluseks võtta hingamisaparaatide löikekindluse standard tekstiilosadele
Rihma otsa kinnituseks vajalik takjapaela laius	3	2	25 - 30 mm, vastavalt tehnilisele kirjelduse olemasolule
Takjapaela tulekindlus	2	1	Väheoluline
Takjapaela koormustugevus (kare ja pehme pool)	2	2	Vastavalt tehnilisele kirjeldusele
Takjapaela värv	1	1	Väheoluline
Pannal	3	3	Lihtne avada ühe vajutusega pinge all; lihtne avada kinnastega
Pandla mõõt	3	2	50 mm-le rihmapaelale sobiv
Pandla tulekindlus	2	2	Aluseks võtta hingamisaparaatide tulekindluse standard mittetekstiilosadele
Pandla värv	1	1	Väheoluline
Kandetrossi kinnituse aasa kuju rihma külge	3	3	Vastavalt tehnilisele kirjeldusele
Kandetrossi kinnituse aasa materjal	2	3	Vastavalt tehnilisele kirjeldusele
Niidi jämedus	3	3	min 70 tex
Niidi värv	1	2	Kontrastne põhimaterjalile (õmbluse katkemise tuvastamiseks)
Niidi tulekindlus	2	2	<i>Fire resistant</i> (FR) viimistlus
Rihma hooldus	3	3	Kohtpuhastus

Materjalide hankimiseks kontakteeruti mitmete kohalike ettevõtete/ edasimüüjatega ning saadi erinevaid pakkumisi nii rihmapaelale, niitudele kui ka ülejäänud furnituurile.

1.3.1 Pannal

Materjalide hankeprotsessi käigus vaadati läbi erinevaid saadaolevaid pandlaid. Kaaluti termoplastikust (hea tulekindlusega, kannab kaalu ca 400 kg) pannalde kasutamist (fotod 3 ja 4), kuid katsetamisel selgus, et need on kohmakad ning ei ole piisavalt kergelt avatavad.



Foto 3. Due Emme 2M pannal HB/40



Foto 4. Due Emme 2M pannal SHB/40

Metallpannaldest kaaluti nii algsele näidisele sarnaseid avamiskidadega pandlaid (Foto 5 ja 6), kui ka avamisnuppudega pannalt (Foto 7).



Foto 5. Kidadega pannal must



Foto 6. Kidadega pannal hõbedane



Foto 7. Nuppudega pannal

Valmistatavatele prototüüpidele sobivaimaks valikuks hinnati avamiskidadega COBRA® PRO STYLE pannal firmalt AustriAlpin (Foto 8). Pandlal on kvaliteetsed kinnitused, mis vastavad kõrgeimatele ohutusstandarditele, on valmistatud Austrias kõrgekvaliteedilisest 7075 alumiiniumisulamist koos tugevate messingist ja roostevabast terasest sisemiste vabastusmehhanismidega. Pannal avaneb ainult siis, kui mõlemad vabastusklambrid on

alla vajutatud, ning ei avane kunagi koormuse all. Rihm on pandla ühel poolel reguleeritav sisseehitatud liuguri abil, teisel küljel tuleb see kinnitada õmblusega. Valiku aluseks oli COBRA® pandla patenteeritud sulgemismehhanism, põhjaliku tehnilise kirjelduse olemasolu ja sobivus kuni 50 mm laiustele paeltele. Algselt oli murekohaks avamiskidadega pandla avamismugavus kinnastega. Selle lahendamiseks vajadusel on pakkumisel ka samasugune pannal, mille avamiskidad on suuremad (foto 9).



Foto 8. COBRA® PRO STYLE pannal



Foto 9. COBRA® PRO STYLE XL pannal

1.3.2 Karabiin

Karabiinide puhul kaaluti alternatiiviks metallile (Foto 10) ka termoplastikust variante (Foto 11), kuid enamus Eestis pakutavatest on pöörleva peaga, mis turvalahendustesse ei sobi.



Foto 10. Hõbedane karabiin

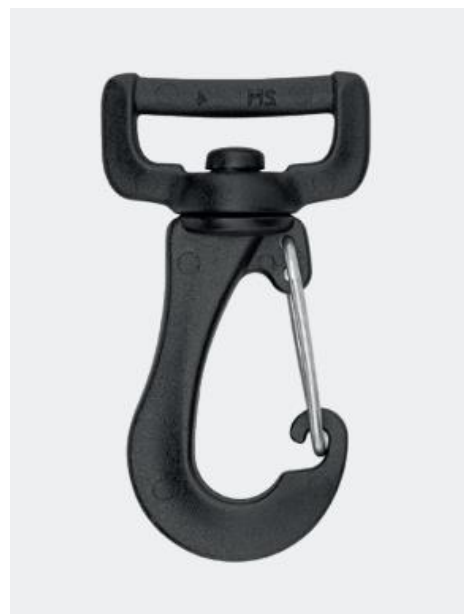


Foto 11. Due Emme 2M SMH karabiin

Sobivaimaks variandiks hinnati happekindel vedrukarabiin pakkujalt Dutyhook (Foto 12), valmistatud AISI 316 roostevabast terasest, mis on korrosioonikindel terasesulam, tuntud oma kõrge vastupidavuse poolest.



Foto 12. Vedrukarabiin

1.3.3 Trossi kinnitusaas

Trossi kinnitusaasa jaoks saadi pakkumisi vaid pisematele D-rõngastele ja nelikant aasadele (Fotod 13 ja 14). Esialgseid pakkumised ei sobinud antud toote arenduseks, sest pakutud aasa detailide puhul jaotuks neile rakendatav jõud ebaühtlaselt, mis pikemal kasutamisel võib viia aasa deformeerumise või purunemiseni. Lisaks libiseb selliste aasade puhul nende külge kinnitatava trossi karabiin mööda aasa ringi. Sellest tulenevalt sooviti leida kinnitusaasa detail, mis oleks samasugune või väga sarnane esialgsele näidisele. Sobivaimaks variandiks hinnati jaotatud, keevitatud, poleeritud ja happekindel kolmnurga kujuline aas (Foto 15), taaskord pakkujalt Dutyhook. See detail on sarnaselt karabiinidele valmistatud vastupidavast AISI316 roostevabast terasest.



Foto 13. D-rõngas



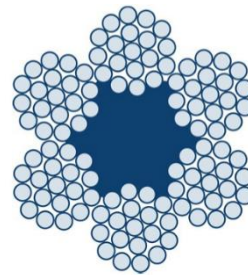
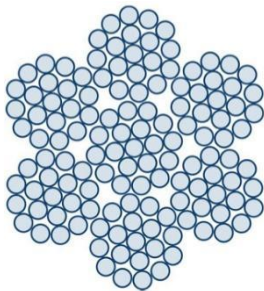
Foto 14. Nelikant aas



Foto 15. Kolmnurkne aas jaotusega

1.3.4 Tross-tropp

Lähtuvalt tellija poolt esitatud näidise otsustati leida ettevõtte, kellel on tropivalmistamise tehnoloogia ja testimise kogemus. Päästerihmale hinnati sobivaks metalltross, pikkusega ca 32 cm (kousist kousini), valmistatuna 3 mm roostevabast terastraadist. Sellist trossi on võimalik tellida nii roostevaba kui ka tsingituna. Tsingitud terastrossil on keskel nõr nagu näha ristlabilõike tüübist S14 (Joonis 1b). Trossi tõmbekoormus on tsingitud terastrossi puhul 100 kg ja katkemiskoormus 5,42 kN. Roostevabast trossi tõmbekoormus on mõnevõrra väiksem - 90 kuni 94 kg ning katkemiskoormus 5,12 kN. Tõstetrosside puhul on traatide arv ja trossi ristlabilõige oluline, et tagada selle tugevus. Trossitropi valmistamiseks peab kasutama vähemalt 19 traadiga trossi (Joonis 1a,b). Trossi ristlabilõikeks sobib nii S33 kui ka S14 (Joonis 1a,b). Trossi mõlema otsa kousidesse kinnituvad metallist karabiinid. Terastraadist otsad on võimalik töödelda termokahaneva kummist materjaliga.



Joonis 1a. Terastrossi ristlabilõige 6x19 traati, S33 Joonis 1b. Terastrossi ristlabilõige 6x19 traati, S14

1.3.5 Rihmapael

Esimesena sai katsetatud Coats Eesti OÜ poolt pakutavat tööstuslikuks kasutamiseks sobivat lapikut paela. Kasutatud paelale on võimalik tellida ka FR (*Fire Retardant*) viimistlus. Kasutatava laiuse (40,0 mm) dikteerisid algselt saadaolevad furnituurid, eelkõige pandla laius. Nimetatud paelaga viidi läbi õmblussõlmede testimine. Töö käigus selgus, et prototüüpidel kasutatav rihmapael peaks olema laiem (50,0 mm) ja paksem.

2 PÕHIMATERJALIDE JA ÕMBLUSSÕLMEDE MEHAANILIS-FÜÜSIKALISTE OMADUSTE TESTIMINE

Põhimaterjalide ja õmblussõlme testimine viidi läbi TTK tekstiilmaterjalide testimise laboris ning tulekindluse test telliti Riia Tehnikaülikooli laborist *Personal Protective Equipment Laboratory*. Peamised tekstiilist põhimaterjalid, mida saab testida on niit ja rihmapael. Tingimused päästerihma tekstiilist detailidele on järgmised: tulekindlus, tõmbetugevus, õmbluste tõmbetugevus, õmbluste hõõrdekindlus.

2.1 Rihmapael

2.1.1 Rihmapaela parameetrid

Õmbluste tõmbetugevuse ja niidi hõõrdekindluse testid teostati algse, Coats Eesti OÜ poolt pakutava lapiku paelaga (Tabel 3). Hilisema parameetrite täienduse ajel vahetati rihmapael välja laiem ja paksema koormarihma vastu (Tabel 4), millele teostati tulekindluse, tõmbetugevuse kui ka värvipüsivuse test.

Tabel 3. Rihmapael 1

Tüüp	Lapik pael
Värv	Must
Materjal	100% polüester
Laius	40,0 mm ($\pm 0,5$)
Paksus	1,3 ($\pm 0,1$) mm
Kaal	25 g/m

Tabel 4. Rihmapael 2

Tüüp	Koormarihm
Värv	Oranž
Materjal	100% polüester
Laius	50,0 mm ($\pm 0,5$)
Paksus	2,0 ($\pm 0,1$) mm
Kaal	79,00 g/m

2.1.2 Rihmapaela testimine

Tulekindluse testid rihma paelale sooritati vastavalt EN 13274-4:2020 standardile, temperatuuril 20,4°C, õhuniiskus 20,8% (Lisa 5). Aluseks võeti hingamisaparaadi

tulekindluse standard. Värvipüsivuse hindamine märg- ja kuivhõõrdumisele sooritati vastavalt standardile EN ISO 105-X12:2016 (Lisa 10). Samuti kontrolliti rihmapaela tõmbetugevust standardi EN ISO 13934-1:2013 alusel. Rihmapaela tõmbetugevus oli ~5000N (Lisa 13).

2.2 Niit

2.2.1 Niidi parameetrid

Õmblussõlmede testimiseks ja võrdlemiseks valmistatud testkehade õmblemiseks kasutati kolme erinevat niiti (Tabel 5):

- **Coats Flame Master** - spetsiaalse viimistlusega polüestrist õmblusniit, püsiva leegikaitsega, sertifitseeritud EN 15025 kohaselt kasutamiseks EN469, EN11612, EN 11611 ja EN 14116 FR-rõivaste puhul, vastab Euroopa kaitseriieetuse standarditele;
- **Coats gral** - lubrikeeritud polüesterniit, mis on valmistatud eelstabiliseeritud suure tugevusega katkematust polüestrist, suurema katkemistugevuse ja optimaalse venivusega, OEKO-TEX® poolt sertifitseeritud vastavalt standardile STANDARD 100;
- **Coats gral wr (gral AWF)** - valmistatud 100% pidevfilamentpolüestrist, PFC-vaba anti-wick viimistlusega (suur veekindlus), kõrge purunemiskindlus ja optimaalsed venitusomadused, suurepärase kulumiskindlusega.

Tabel 5. Niitude tehniline kirjeldus

Tähis	Niit	Niidi jämedus (tex)	Tõmbetugevus (cN)	Pikenemine (min-max %)
A	Coats Flame Master	70	3040	18-25
B	Coats gral	60	4230	17-22
C	Coats gral wr (gral AWF)	80	5200	17-22

2.2.2 Niidi hõõrdekindluse testimine

Hõõrdekindluse testimine sooritati vastavalt EVS-EN ISO 12947-2:2016 standardile, temperatuuril 24°C, õhuniiskus 35%. Hinnati visuaalselt niidi hõõrdekindlust pööretel 10 000 ja 14 200 (Foto 16 ja 17). Õmblused on tehtud niidiga Coats Flame Master. Pisted on kulunud, aga mitte katkenud.



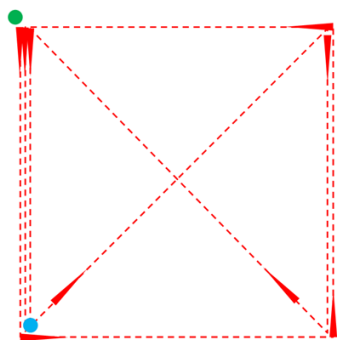
Foto 16. Testkeha peale 10 000 pööret



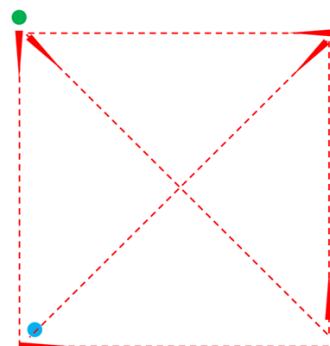
Foto 17. Testkeha peale 14 200 pööret

2.3 Tote õmblussõlmede testimine

Käsitletavas tootes on üks olulisim õmblussõlm, mistõttu on oluline garanteerida, et kasutatud tehnoloogia ning ka õmblusniit peab vastu toote kasutamisel, sellele rakenduvale jõule. Päästerihma peamise õmblussõlme tõmbetugevuse testimiseks õmmeldi testkehad. Testkehade õmblusel katsetati katkestuseta õmblusjoont (kast + X) nii koos kui ka ilma algus- ja lõppkinnitusteta (kuna niit on jäme ja rihma struktuur samuti jämedakoeline, siis võivad kinnituste kohale tekkida eenduvad sõlmekesed, mis omakorda võivad suurendada hõõrdumist). Kinnitusteta õmbluse suund on näha joonisel 2, kinnitustega õmbluse suund joonisel 3. Kinnitusteta õmblusele tehti võrdluseks rohkem tõmbesuunaga risti asetsevad õmblusjooni.



Joonis 2. Kinnitusteta õmblus



Joonis 3. Kinnitustega õmblus

Õmblussõlme puhul katsetati erinevaid versioone: 1 õmblusjoonega, 2 õmblusjoonega (teineteise suhtes pärisuunaliselt õmmeldud, ehk kui üks peaks hakkama hargnema/purunema, siis teine toetab, kuna tekitavad vastassuunalisusega tasakaalu), pööramata ja pööratud lõikeservad, pööramata lõikeservadel erinevad õmbluskaugused (ühel pool $\leq 0,2$ cm teisel pool ≥ 1 cm). Iga niidiga sooritati 1 järgmise kirjeldusega õmblussõlmega testkehadest:

- **0**- kast + X ilma algus- ja lõppkinnitusteta (ühekordsed materjalikihid, pööramata lõikeserv)

- **1-** kaks teineteise suhtes pärisuunaliselt õmmeldud kasti + X ilma algus- ja lõppkinnitusteta (ühekordsed materjalikihid, pööramata lõikeserv)
- **2-** kast + X ilma algus- ja lõppkinnitusteta (ühekorde + kahekordne materjal, pealmise detaili lõikeserv õmblussõlme ulatuses tagasi pööratud)
- **3-** kast + X algus- ja lõppkinnitustega (ühekordsed materjalikihid, pööramata lõikeserv)

2.3.1 Uurimisküsimused testimiseks

Testimistelt oodati vastuseid järgmistele küsimustele:

1. Millised erinevused esinevad erinevate niitidega sooritatud õmblustel tõmbejõu rakendamisel ja kui olulist rolli need antud toote puhul mängivad?
2. Kas 1 ja 2 õmblusjoonega sooritatud õmblussõlmedel esineb tõmbejõu rakendamisel erinevusi?
3. Kas kinnitusteta ja kinnitustega õmblustel esineb tõmbejõu rakendamisel erinevusi?
4. Kas tõmbejõule ristisuunaliselt sooritatud õmbluste arv mõjutab tõmbejõu rakendamisel õmblussõlme vastupidavust?
5. Kas ja kui palju õmbluskaugus lõike-/pöördeservast tõmbejõu rakendamisel õmblussõlme vastupidavust mõjutab?

2.3.2 Esimene testkehade testimine laboris ja järeldused

Tõmbetugevuse testid põhiõmblussõlmele sooritati vastavalt EN ISO 13934-1:2013 standardile, temperatuuril 24°C, õhuniiskus 35%.

Tabel 6. Esimese tõmbejõu testi tulemused

Niidi tähis	Testkeha nr.	Maksimaalne jõud (N)	Venivus max jõu korral (%)
A - Coats Flame Master	1.0	2934.73	15.77
	1.1	4266.55	21.72
	1.2	3296.17	17.77
	1.3	2121.30	10.47
B - Coats gral	2.0	3518.51	19.04
	2.1	5084.75	25.20
	2.2	4351.71	21.64
	2.3	2973.12	16.08
C - Coats gral wr (gral AWF)	3.0	3219.25	17.21
	3.1	5091.90	25.64
	3.2	4046.88	21.09
	3.3	2555.81	13.49

Esimese tõmbejõu testi (Tabel 6) põhjal tehti järgmised järeldused:

1. Kahe pärisuunaliselt õmmeldud õmblusjoonega õmblussõlm on tugevam, kui ühe õmblusjoonega (1.1; 2.1; 3.1).
2. Rohkemate tõmbesuunale risti olevate õmblusjoontega õmblussõlm on tugevam (1.0; 2.0; 3.0 võrreldes 1.3; 2.3; 3.3).
3. Terve õmblussõlme ulatuses kolmekordnise materjali kasutamine teeb selle tugevamaks (1.2; 2.2; 3.2 võrreldes 1.0; 2.0; 3.0).
4. Õmblusjoonte algus- ja lõppkinnituste olemasolu või puudumine ei avaldanud õmblussõlme tugevusele arvestatavat mõju.

Järeldustest lähtuvalt otsustati sooritada kordustest eelnevalt välja selgitatud parimate omadustega õmblussõlmele.

2.3.3 Teine testkehade õmblemine

Teise testimise jaoks õmmeldi iga niidiga 1 parendatud õmblussõlmega testkeha - 2 teineteise suhtes pärisuunaliselt õmmeldud kasti + X ilma algus- ja lõppkinnitusteta, pealmise detaili lõikeserv õmblussõlme ulatuses tagasi pööratud.

2.3.4 Teine testkehade testimine laboris ja järeldused

Teine testkehade testimine sooritati samuti vastavalt EN ISO 13934-1:2013 standardile, temperatuuril 24°C, õhuniiskus 35% (Tabel 7).

Tabel 7. Teise tõmbejõu testi tulemused

Niidi tähis	Testkeha nr.	Maksimaalne jõud (N)	Venivus max jõu korral (%)
A - Coats Flame Master	4.0	4608.32	23.34
B - Coats gral	5.0	5313.78	25.91
C - Coats gral wr (gral AWF)	6.0	4808.66	24.11

Teisest testist on näha õmblussõlme tugevuse olulist paranemist Coats Flame Master ja Coats gral niitidega, Coats gral wr aga vastupidiselt kaotas tugevust (Tabel 7).

Tabel 8. Kahe testi võrdlusandmed

	I test	II test
Niidi tähis	Maksimaalne jõud (N) - 2 kordne materjal	Maksimaalne jõud (N) - 3 kordne materjal
A - Coats Flame Master	4266.55	4608.32
B - Coats gral	5084.75	5313.78
C - Coats gral wr	5091.90	4808.66

Kahe testi võrdlusest järeldub, et kasutada võib nii Coats Flame Master kui ka Coats gral niiti (Tabel 8). Eelistada võiks Coats Flame Masterit, mis on juba olemasoleva FR (Fire Retardant) viimistlusega. Tulemuste põhjal saab ligikaudselt arvutada niidi koormust järgnevalt: 1N (njuuton) \approx 9,81 kg. Lähtuvalt arvutusest saab väita, et selle niidiga teostatud parendatud õmblussõlm talub raskust $4608.32 / 9,81 \approx 470$ kg.

3 PROTOTÜÜBI VALMISTAMINE

3.1 Materjalid

Lähtuvalt koosoleku (kuup. 27.08.2024) arutelule ja parameetrite täiendusele (Tabel 1) alustati materjalide hankimist kahe esmanäidise valmistamiseks. Näidismaterjalide hankimisel arvestati nende saadavusega lähtuvalt miinimumi nõuetest tulevikus vajamineva tootmisprotsessi tarbeks. Rihma pandlaks valiti COBRA® PRO STYLE, mille kindaga avamine on kõige mugavam võrreldes taustauuringu raames analüüsitud panneldega. Kuna algne katsetatud rihmapael osutus siiski liiga kitsaks ja pehmeks, valiti uus rihmapael koormarihmade valikust (laius 50 mm, oranž), et see sobiks valitud COBRA® pandlaga, (Foto 18). Koormarihmade hulgas on ka erksavärvilisi valikuid, mida päästerihma puhul oluliseks peeti.

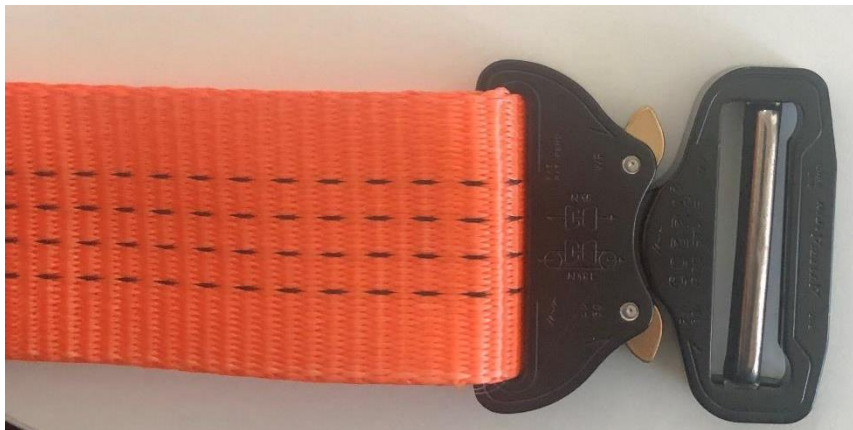
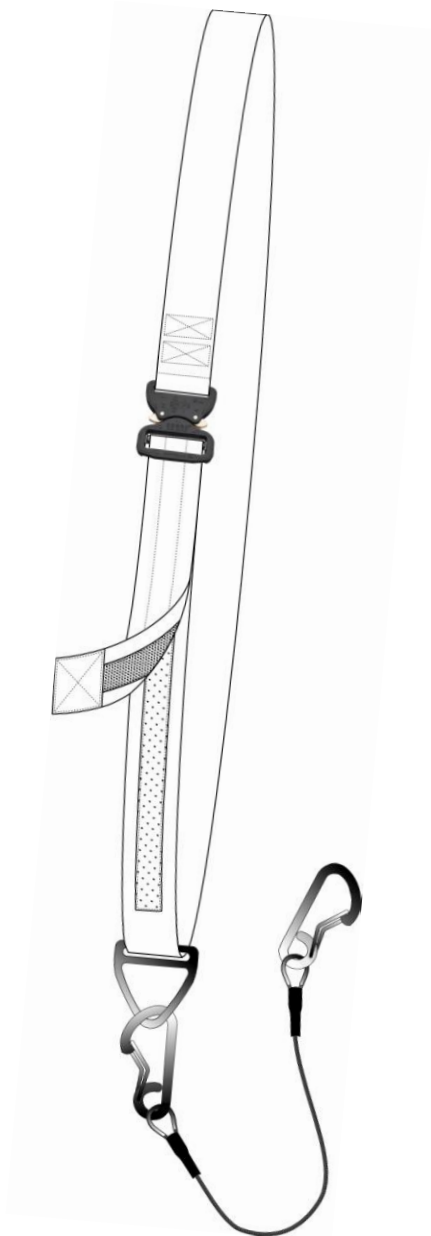


Foto 18. Päästerihma pannel ja pael 50 mm laiusena

Tekstiilist päästerihmale kinnitatakse metallist (roostevaba) kolmnurkse kujuga vööaas. Aasasid sai katsetatud erinevates jämedustes ja mõõtudes, sobivaim osutus valituks just jaotusava järgi. Prototüüpidel kasutatava aasa jaotusava on just sellise mõõduga, et rihm ei mahks selles avas ringi keerama. See garanteerib trossi kinnitusaasa püsiva soovitud asendi. Prototüüpide jaoks telliti ettevõttest Certex kaks erinevat aasa külge riputatavat 3 mm-st terastrossi: tsingitud ja roostevaba. Trossi ühte otsa, mis kinnitub rihma küljes oleva kinnitusaasakülge, sai valitud vedrukarabiin läbimõõduga 8 mm, mille purunemiskoormuseks on antud 1020 kg. Trossi teise otsa sai valitud veidi väiksem karabiin, mida on lihtsam käsitseda, läbimõõduga 6 mm ja purunemiskoormusega 440 kg. Esmanäidistel on üks ots töödeldud termokahanevaga ja teine ots jäetud alumiiniumist või tsingitud terasest hülsiga, kuna termokahaneva materjaliga töötlemine tõstab trossi hinda.

3.2 Tehnoloogia

Prototüüpide tehnoloogia väljatöötamise puhul võeti arvesse õmblussõlmedele teostatud mehaaniliste-füüsikaliste omaduste testide tulemusi. Valmis toote tehniline joonis (Joonis 4, Lisa 10), tootekaart koos õmblussõlmede läbilõikejoonistega (Lisa 7) ja tehniline kirjeldus, milles sisaldub kasutatavate materjalide spetsifikatsioon, toote õmblemise järjekord ning suuruste skaala kirjeldus koos vastavate kehamõõtudega.



Joonis 4. Toote tehniline joonis

4 PÄÄSTERIHMA ERGONOOMILISUSE HINDAMISE METOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE

Päästerihma ergonoomilisuse hindamine viidi läbi lõputöö raames (Lõputöö laetakse ülesse TTK DSpace keskkonda).

Esmalt tutvuti erinevate uurimistöödega, mida varasemalt on tehtud nii Tallinna Tehnikakõrgkoolis kui ka rahvusvaheliselt, hinnates kriitiliselt erinevate liigutuste olulisust lähtuvalt arendatavast tootest, kuna enamus uuringuid on pigem viidud läbi kaitserõivaste hindamiseks.

Päästerihma ergonoomilisuse hindamiseks otsustati koostada testimismetoodika koos küsimustikuga, mille väljatöötamine toimus mitmes etapis (Joonis 5).

Esmalt koostati esialgsed toote ergonoomilisuse hindamise liigutused, tuginedes varasematele uuringutele [6,7]. Selleks, et hinnata testimismetoodika liigutuste valikut, viidi järgnevalt läbi struktureeritud intervjuu Päästeameti eksperdiga, sisaldades avatud küsimusi (Lisa 8).

Intervjuu küsimuste koostamine ja läbiviimise eesmärgiks oli saada kinnitust ja sisendit, kas allikate analüüsi põhjal loodud testimismetoodika ja selles planeeritud liigutused vastavad päästjate tööülesannetele. Intervjuu küsimused olid koostatud selliselt, et võimaldada eksperdil jagada oma teadmisi ja kogemusi avatult ning detailselt.

Kolmandas etapis toimus testimismetoodika parendamine, lähtuvalt intervjuu käigus saadud tagasisidest ning vastustest. Järgnevalt on toodud ära liigutused ja tegevused, mille põhjal otsustati päästerihma ergonoomilisust hinnata:

- Rihma pealepanek tavavormile kinnastega (kustutus- ja päästekindad) ning ilma kinnasteta
- Rihma paigaldamine roobale (tulekustutusrõivale) kinnastega ja ilma kinnasteta
- Rihma paigaldamine päästeautos hingamisaparaadiga varustuse peale
- Autost väljumine täisvarustuses koos paigaldatud rihmaga
- CAFS-i (Compressed Air Foam System) kinnitamine rihma tross-tropiga ja liikumine sirgelt viie meetri ulatuses
- Treppidest üles-alla liikumine koos CAFS-ga ning joa suunamine ülespoole
- Vooliku vedamine ilma rihmata ja rihmaga
- Kandraami kandmine rihmaga
- Teise päästja väljavedamine rihma abil

Keha liikumisvabaduse hindamiseks tehakse mitmeid harjutusi, nagu:

- käte sirutamine üles, külgedele ja ette
- küljepainutused
- kummardamine
- kükid
- toengpõlvituse harjutus

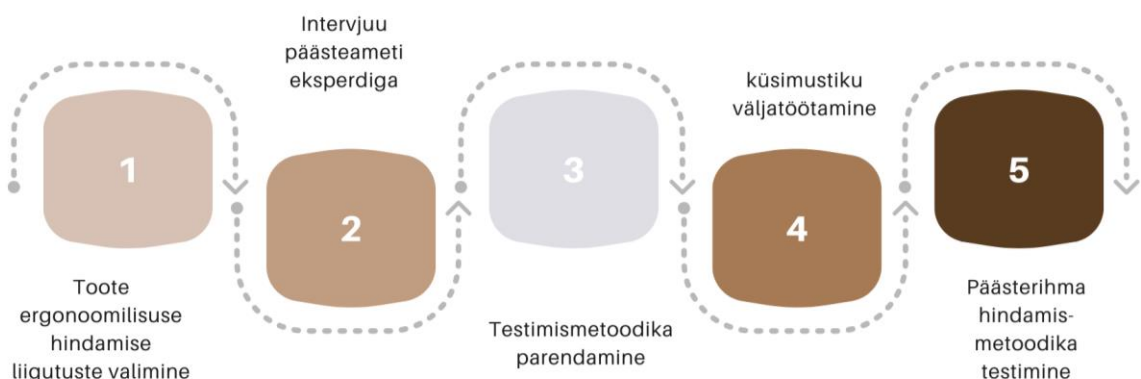
Viimase harjutusena hinnatakse rihma kaalu ja kasutatavust koos teiste abivahenditega. Subjektiiivsed hinnangud kandja poolt annavad ülevaate rihma praktilisusest ja sellest, kui hästi see sobib päästetöödeks erinevates olukordades. Kasutaja tagasiside aitab hinnata, kas rihm vastab päästja ootustele ja on piisavalt ergonoomiline igapäevaseks kasutamiseks.

Neljandas etapis toimus küsimustiku väljatöötamine. Küsimustik on suunatud päästetöötajatele, kes on läbinud testimise, kandes arendatavat päästerihma (Lisa 9).

Küsimustiku täitmine on tehtud vastaja jaoks võimalikult lihtsaks, sisaldades peamiselt kinniseid küsimusi, mille puhul tuleb vastajal hinnang anda 5-pallisel Likerti skaalal. Lõpphinnang ja tagasiside on esitatud avatud küsimustena.

Viiendas etapis toimus esialgne testimine, mis omakorda jagunes kolmeks:

- Esimene kohtumine toimus Nõmme komandos 06.12.2024
- Teine kohtumine ja katsemetoodika testimine toimus välitingimustes Päästeameti hooldusbaasis (Mänsaku 8) 9.12.2024
- Kolmas kohtumine ja metoodika testimine toimus samuti välitingimustes Päästeameti hooldusbaasis (Mänsaku 8) 12.12.2024



Joonis 5. Hindamismetoodika väljatöötamise etapid

5 TOOTE VASTAVUSHINDAMINE

Päästerihm on mõeldud kasutamiseks erinevates päästeoperatsioonides nagu suitsusukeldumisel, veepäästel, metsatulekahjudes, elus või eluta raskuste väljatoomisel hoonest või muus keskkonnas, mis päästja tööülesandeid täites ette tuleb. Seepärast on vajalik läbi viia toote vastavushindamine.

Toote vastavuse hindamine aitab kindlaks teha, kas toode vastab kvaliteedi- ja ohutusstandarditele. Selle abil saab hinnata toote kriteeriumite vastavust nagu materjalide kvaliteet, konstruktsiooni vastavus, funktsionaalsus, kasutusmugavus, hooldus- ja ohutusnõuded.

5.1 Toote hindamismeetodid

Toote hindamist saab läbi viia erinevate hindamismeetoditega. Uue päästerihma mudeli hindamiseks saab kasutada maatriksit, millega saab määrata toote kriteeriumitele vastavuse (Tabel 9). Kui toote vastavus mingis kriteeriumis on puudulik, siis viia täiendavalt läbi toote parameetrite vastavuse kontroll, et kontrollida päästerihma materjalide ja muude parameetrite vastavust kehtivatele nõuetele (Tabel 10).

Tabel 9. Toote kriteeriumite hindamise maatriks

Kriteerium	Puudulik	Rahuldav	Hea	Suurepärane
Materjalide kvaliteet	Materjalid ei vasta tehnilise kirjelduse nõuetele.	Materjalid vastavad osaliselt tehnilise kirjelduse nõuetele.	Materjalid vastavad tehnilise kirjelduse nõuetele.	Materjalid on paremad tehnilise kirjelduse nõuetest.
Konstruktsiooni vastavus	Ei vasta tootekaardile.	Vastab osaliselt tootekaardile.	Vastab tootekaardile.	Ületab tootekaardil olevaid nõudeid.
Kasutusmugavus	Pikkuse reguleerimise võimalus puudub.	Pikkuse reguleerimine on võimalik enne toote kasutamist.	Pikkuse reguleerimine on võimalik toote kasutamise ajal.	Pikkuse reguleerimine on lihtne erinevates olukordades.
Funktsionaalsus	Täidab ainult ühte ülesannet.	Täidab kahte erinevat ülesannet.	Täidab rohkem kui kahte erinevat ülesannet.	Toode on multifunktsionaalne.
Hooldusnõuded	Hooldusnõue puudub.	Hooldusnõue vastab osaliselt tehnilise kirjelduse nõuetele.	Hooldusnõue vastab tehnilise kirjelduse nõuetele.	Hooldusnõue võimaldab toote erineva puhastuse.
Ohutusnõuded	Pannalt ei saa avada pinge all.	Pandla avamine pinge all raskendatud.	Pannalt saab avada pinge all.	Pannal on kiirelt vabanemise funktsiooniga.

Tabel 10. Parameetrite vastavuse hindamiskriteeriumid

Parameeter	Hindamiskriteeriumid			Märkus
	Ei vasta	Vastab osaliselt	Vastab	
MATERJALID: Toode on valmistatud tehnilisele kirjeldusele vastavatest või parematest materjalidest				
Rihmapael				LISA 6
Niit				
Pannal				
Kandetross				
Kandetrossi kinnitus				
Karabiinid				
Takjapael				
KONSTRUKTSIOON: Toode vastab tootekaardil toodud infole ja tehnilisele kirjeldusele				
Päästerihma pikkus				LISA 6 & 7
Päästerihma laius				
Päästerihma pandla tehnoloogia				
Õmblussõlme tehnoloogia				
Õmbluse pistetihedus				
Trossi otsa töötlus				
Karabiinide asukoht				
Takjapaela asukoht				
KASUTUSMUGAVUS: Toode vastab kasutusjuhendile				
Lihtne ja kiire selgapanek				LISA 11
Lihtne reguleerimine				
Kinnastega kergelt suletav				
Kinnastega kergelt avatav				
Lihtne eemaldada tavaolukorras				
Lihtne eemaldada ohuolukorras				
Toote kaal				
HOOLDUS: Toodet on lihtne hooldada ja parandada				
Puhastamise/pesemise võimalikkus				LISA 6
Õmbluste parandamise võimalus				
OHUTUS: Toote parameetritele on väljastatud vastavussertifikaat või läbi viidud vastavushindamine				
Rihmapaela värv				LISA 6
Leegikindlus min 12 s				LISA 5
Õmblussõlme tõmbetugevus				LISA
Trossi tõmbekoormus (vastavussertifikaat)				LISA 4
Trosstropi vastavus				LISA 7
Rihmapaela tugevus				LISA 2
Päästerihmast vabanemine				

Visuaalne kontroll sobib toote seisukorra pisteliseks kontrollimiseks toote kasutusea jooksul (Tabel 11). Soovituslik on kontrollida päästerihma füüsilist seisukorda ja materjalide kvaliteeti vähemalt 4 korda aastas. Visuaalse kontrollimise saab läbi viia päästerihma kasutaja ise. Kui tootel esineb puudusi, siis enne selle järgmist kasutamist teha kindlaks, kas puuduse saab parandada või on vajalik toote väljavahetamine uue vastu. Toote defekteerimisel on vajalik sisse seada vastav sisekorra eeskiri. Kui kasutatud toote seisukorra hindamisel selgub, et riskitase selle kasutamiseks on keskmine või suur, siis kinnitab toote defekteerimise vastutav isik ja määrab selle seisundi.

Tabel 11. Visuaalse kontrolli maatriks kasutatud tootele

Parameeter	Riskitase			Riskitaseme hinne		
	1 Madal	2 Keskmine	3 Suur			
Pannal	Funktsioon toimib	Pannal läheb kergesti lahti	Pannal ei püsi kinni	6	12	18
Kandetrossi karabiinid	Funktsioon toimib	Funktsioon on puudulik	Ei funktsioneer	5	10	15
Kandetross	Ei ole vigastatud	Üks vigastus	Mitu vigastust	4	8	12
Õmbluste korrasolek	Õmblused on terved	Üksik piste hargneb	Õmblus hargneb	3	6	9
Takjapaela haardetugevus	Hoiab hästi	Hoiab keskmiselt	Tuleb lahti	2	4	6
Rihmapaela värvus	Vähe kulunud	Keskmiselt kulunud	Palju kulunud	1	2	3

Toote kasutamisel töökeskkonnas on vajalik läbi viia riskianalüüs lähtuvalt Briti standardi BS 8800:2004 riskimaatriksist [6]. Juurutada toote kontrollimise süsteem koos vajaliku dokumentatsiooniga lähtudes täiendavalt kvaliteedijuhtimise nõuetest [7]. Kasutus- ja hooldusjuhendid peavad olema kõigile kättesaadavad, arusaadavad ning täidetavad. Lisaks pidada regulaarset auditit, et kontrollida päästerihma seisukorda ja vastavust kasutusea jooksul. Regulaarne riskihindamine vähendab ohutegurite tekkimise ohtu ning parandab ohutust tööülesandeid täites.

KOKKUVÕTE

Läbiviidud uurimistöö käigus teostati vastavalt töövõtulepingule Päästeametiga kokkulepitud tegevused. Taustauuringu läbiviimisega analüüsiti sarnaste turul olevate toodete omadusi, materjale ja funktsioone. Arendatavale tootele sobiva nimetuse leidmiseks intervjueriti tellijat ja analüüsiti päästja olemasolevaid töövahendeid. Leiti, et arendatavale tootele on kõige sobilikum nimetus - päästerihm. Päästerihm on multifunktsionaalne ja saab olla slingile asenduseks, mida päästjad praegu töövahendina kasutavad.

Kirjaliku raportina valmis vahearuanne (25. juuni 2024), milles kirjeldati turuuuringu läbiviimist, materjalide näidiste hankeprotsessi ja esitati päästerihma prototüübi tehniline joonis koos esmase tehnilise kirjeldusega.

Peale näidismaterjalide hankeprotsessi läbiviimist ja tellijaga kohtumist, määratleti prototüüpide materjalide parameetrid ning valmistati kaks erineva suurusega tootenäidist. Prototüüpide testimiseks kaasati TTK tudeng, kes oma lõputöö raames töötas välja hindamismetoodika koos erinevate küsimustikega: intervjuu küsimused tellijapoolsele spetsialistile ja testitavatele päästjatele. Peale toote testimist selgusid arendatava toote parameetrid, mis on sobilikud ja mis vajavad muutmist. Lähtuvalt Nõmme komandoga testitud prototüüpide tulemustest on käesolevas kirjalikus töös toodud tehniline joonis ning töö lisadena toote tehniline kirjeldus ja kasutusjuhend.

Peatükis 5 on esitatud toote vastavushindamise juhend maatriksina uuele tootele ja kasutusel olevale tootele, et hinnata olulisemaid parameetreid päästja ohutuse tagamiseks.

Testimisest selgus, et vajalik on prototüübi edasine arendustöö. Päästjad pidasid väga oluliseks, et rihma pannal on nn kiiresti vabaneva süsteemiga. Prototüübil kasutatud Cobra pannal ei võimalda pinge all päästerihmast vabanemist. Teiseks oluliseks muudatuseks oli trosstropi karabiinide suurus. Leiti, et ergonoomiliselt lihtsam on tulekustustuskindlastega käsitleda suuremat karabiini. Lähtuvalt sellest antakse Päästeametile üle ainult üks trosstropp, mille mõlemas otsas on 80 mm-se kõrgusega vedrukarabiinid. Teise trosstropi valmistamiseks vastavaid karabiine ei olnud hangitud.

Üldine tagasiside päästerihma prototüübile oli testimise järel hea. Päästjad leidsid, et joatoru ja vooliku kandeseadmeks on arendatav toode väga hea, võimaldades "käed vabad" liikumise veevooliku vedamisel majja ja trepist üles liikudes. Samuti on päästerihma hea kasutada CAFS-i vedamisel, kergendades selle raskust kandja jaoks keerulistes tingimustes liikudes. Rihm võimaldab kanderaami käsitlemise ja raskuse

vedamise nelja päästjaga. Kui ühel päästjal on võimalik kasutada kaht päästerihma korraga, siis on võimalik üle vasak- ja parempoolse õla asetades tekitada multifunktsionaalne abivahend korvkanderaami käsitlemiseks.

Lähtuvalt eelpool toodule informatsioonile on vajalik antud uurimistöö jätkamine ja prototüübi edasine arendustöö. Vajalik on leida rihmale uus pannel, mis võimaldab kiirelt vabanemist ka pinge all. Samuti on vaja tegeleda rihma paelale alternatiivsete variantide leidmisega, et tagada toote parem värvipüsivus. Testida näiteks erinevate firmade koormarihmade värvipüsivust.

Kahes suuruses prototüübi materjalide hinnaks kujunes S/M suuruses tootele 76,78 euri ja suurus M/L hinnaks 76,92 euri. Siia lisandub veel toote valmistamise hind, mida antud uurimistöö raames ei uuritud. Prototüüpide kaal koos kahe suurema 80 mm-se trosstropi karabiiniga on vastavalt väiksemale suurusele 498 g ja suurem 508 g.

Alternatiivide leidmisel on vajalik ömmelda uus prototüüp ja viia läbi selle hindamine väljatöötatud meetodikat kasutades. Arvestada ka toote hinnaklassi kujunemisega tulevikus.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Reuters, E., Camba, J.D. Understanding emergency workers' behavior and perspectives on design and safety in the workplace. *Applied Ergonomics*, Vol 59, Part A, March 2017, Pg 73-83. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.023>
- [2] Hsiao, H., Whitestone, J., Wilbur, M., Lackore, J.R., Routley, J.G. Seat and seatbelt accommodation in fire apparatus: Anthropometric aspects. *Applied Ergonomics* Vol 51, Nov 2015, Pg 137-151. Available: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.04.004>
- [3] Baszczyński, K. Effect of Repeated Loading on Textile Rope and Webbing Characteristics in Personal Equipment Protecting Against Falls from a Height. July 2015 *Fibres and Textiles in Eastern Europe* 23(4):110-118. Available DOI: [10.5604/12303666.1152741](https://doi.org/10.5604/12303666.1152741)
- [4] Griffiths, S. The design and development of a personal evacuation device. Coventry University 2011, PhD. Available: https://pure.coventry.ac.uk/ws/portalfiles/portal/42018162/Griffiths2011_PhD.pdf
- [5] Freyst van der M., Wehrle, M., Wiggins, R. The tactical firefighter. *Fire Engineering Books*, 2022, 263 pgs
- [6] Vilba, G. Päästjate eririetuse antropomeetrilise meetodi väljatöötamine. Tallinna Tehnikakõrgkooli lõputöö, 2021
- [7] Tamme, G., Saar, E. Päästeameti eri- ja kaitserõivastuse ergonoomika hindamise meetoodika väljatöötamine. Tallinna Tehnikakõrgkooli lõputöö, 2022.
- [8] BS 8800:2004, Guidelines for Health and Safety Management Systems
- [9] EVS-EN 9001:2015, Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Nõuded

LISAD

Lisa 1. Tabel 1. Konkurentsianalüüs turul olevatest toodetest

Lisa 2. Rihmapaela sertifikaat

Lisa 3. Pandla sertifikaat

Lisa 4. Tross-tropi sertifikaat

Lisa 5. Rihmapaela tulekindluse test

Lisa 6. Päästerihma tehniline kirjeldus

Lisa 7. Päästerihma tootekaart

Lisa 8. Intervjuu küsimused eksperdile

Lisa 9. Päästjate küsimustik pärast toote testimise läbimist

Lisa 10. Värvipüsivuse test hõõrdumisel

Lisa 11. Päästerihma kasutusjuhend

Lisa 12. Päästerihma tehniline joonis (eraldi failina)

Lisa 13. Tõmbetugevuse test rihmapaelale