

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
POLÜMEERMATERJALIDE INSTITUUT
TEKSTIILITEHNOLOOGIA ÕPPETOOL

TULEKINDLAD TEKSTIILID NING NENDE
KASUTAMINE

Bakalaureusetöö

Kristel Kiris

Juhendaja: Anti Viikna, Tekstiilitehnoloogia õppetool,
professor, õppetooli juhataja

Materjalitehnoloogia õppekava KAOB02/09

2014

Autorideklaratsiooni vorm

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli bakalaureusekraadi taotlemiseks ja et selle alusel ei ole varem taotletud akadeemilist kraadi.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud või (avaldamata tööde korral) toodud autorlus välja põhitekstis.

Kristel Kiris

SISUKORD

Sissejuhatus	5
1. Mis on tekstiilide tulekindlus ja kuidas seda hinnatakse?	7
2. Tulekindlad kiud ja miks nad on tulekindlad?	8
2.1. Miks on mõned tekstiilid tulekindlad?	8
2.2. Tuntumad tulekindlad kiud.	9
2.2.1. Reaktoplastid	10
2.2.2. Novoloid-kiud – Kynol	11
2.3. Polüaramiidid ja polüimiidid	12
2.3.1. Aramiidid – kuumakindlad kiud	12
2.3.2. Polüimiidkiud	14
2.3.3. Polüamiidimiidkiud	14
2.4. Poolsüsinikkiud	15
2.5. Polübensimidiasoolkiud – PBI	15
2.6. Polübensoksasoolkiud – PBO	17
3. Tekstiilide muutumine tulekindlaks viimist-lusega	17
3.1. Vastupidavad viimistlused	18
3.1.1. THPX viimistlus tselluloosile ning tema segudele	18
3.1.2. Pyrovatex CP ja muud taolised tooted	20
3.1.3. Polüestrist kanga termo-sublimatsioonitöötlus	21
3.1.4. Broomi sisaldusega emulsioonpolümeeridega katmine	21
4. Tekstiili tulekindluse määramise standardid	22
4.1. Tulekindlate materjalide standartite katsemeetodid	22
4.2. Standardid tulekindlatele riieele	24

5. Tulekindlate tekstiilide kasutamine	26
5.1. Tulekindlad tekstiilid igapäevaelus.	27
5.2. Tulekindlad tekstiilid sõjaväes	28
5.2.1 Sõjaväe lendurite kaitserõivastus	29
5.3. Tuletõrjajate riietus.....	29
6. Tulekindlate tekstiilidega kaasnevad kesk-konnaprobleemid ning nende ennetamine	30
7. Tulekindlate tekstiilide tuleviku arengu-suunad.....	32
Kokkuvõte	34
Summary	36
Kasutatud kirjandus	37

SISSEJUHATUS

Tulekindlateks tekstiilideks loetakse parandatud omadustega tekstiile, mis omavad kõrget kuumakindlust ja termilist lagunemistemperatuuri. Sellest tulenevalt peavad nad olema võimelised kaitsma lahtise leegi, põletuste ning soojuskiirguse eest. [1]

Tekstiilmaterjalide süttimis- ja põlemiskindlus on tänapäeval väga aktuaalne teema, kuna selliseid materjale kasutatakse paljudes suurtes ning tähtsates valdkondades nagu sõjandus, transport ja tuletõrje ning lisaks sellele ka tavainimeste poolt igapäevaelus. Selleks et tagada nendes valdkondades tegutsevate inimeste võimalikult hea turvalisus leegi ning kuumuse eest, mõeldakse ka tänapäeval välja uusi tekstiile ning viimistlusi, et kaitse oleks parem ning kauakestvam.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida erinevaid tulekindlaid tekstiile ning nende omadusi, samal ajal silmas pidades nende tulevase kasutamise valdkondi. Tulekindlaid omadusi saab tekstiilile lisada kahel viisil: kasutades kiude, mis iseenesest juba on tulekindlad või viimistleda tavalisi kiude vajaminevate omaduste saavutamiseks. Sellest tulenevalt tahetakse selle bakalaureusetöö käigus jõuda järeldusele, kumb meetod on parem. Vastuse väljaselgitamiseks on püstitatud järgmised hüpoteesid:

- a) Paremad tulekindlad tekstiilid on valmistatud tulekindlatest kiududest, mitte viimistluse teel saadud.
- b) Eluohtlikes valdkondades (tuletõrje, sõjavägi) kasutatakse enamjaolt tulekindlatest kiududest valmistatud tekstiile.

Bakalaureusetöö põhiosa koosneb seitsmest osast ning annab seega põhjaliku ülevaate tulekindlatest tekstiilidest ning nendega seotud teemadest.

Esimese osa eesmärgiks on anda ülevaade tulekindluse hindamisest ning vastata küsimusele, mida üleüldiselt tulekindlateks tekstiilideks loetakse. Teine osa tutvustab tuntumaid tulekindlaid kiude, nende omadusi ning väga lühidalt ka kasutust. Kolmas osa koosneb erinevatest tuntud viimistlusmeetoditest, millega tagatakse tulekindlus. Lühidalt on ka toodud mittevastupidava viimistluse üldiseloostus ning kasutusvaldkonnad, kuid bakalaureusetöö eesmärkidest ning hüpoteesidest lähtuvalt, keskendub kolmas osa rohkem vastupidavale

viimistlusele. Erinevatest standartidest, mida tulekindlatele tekstiilidele esitatakse, saab ülevaate neljandas peatükis, kus on välja toodud ka erinevate valdkondade standarditele vastavuse testimise meetodid. Viies peatükk annab ülevaate tulekindlate tekstiilide kasutusvaldkondadest. Suurema tähelepanu alla on sõjaväelaste ning tuletõrjajate poolt kasutatavad riided, kuna tänu sellele saab teist hüpoteesi kinnitada või ümber lükata. Kuna tulekindluse tagamiseks viimistluse teel on kasutatud palju erinevaid kemikaale võivad saadud tekstiilid ning nende viimistlemine olla keskkonnale ohtlikud. Sellised ohud ning nende ennetamine ja piiramine on kuuenda osa eesmärgiks. Viimane osa annab ülevaate tulekindlate tekstiilide tulevikusuundadest ning toob välja võimalikud uuendused nanotehnoloogias ning ineltekstiilides.

1. MIS ON TEKSTIILIDE TULEKINDLUS JA KUIDAS SEDA HINNATAKSE?

Tulekindlad materjalid kuuluvad kõrgsuutlike materjalide alla, see tähendab nad on valmistatud kõrgtehnoloogilistest kiududest. Kõrgtehnoloogiline kiud kui mõiste viitab sellele, et nende loomisel ja tootmisel on esmalt kasutatud materjaliteaduse uusimaid saavutusi. Ilma teadusliku lähenemiseta neid kiudusid ei oleks. Nad on parandatud omadustega kiud ning tulekindlate materjalide puhul omavad need kiud näiteks kõrget kuumakindlust ja termilist lagunemistemperatuuri. [1]

Paljud materjalid ja tooted nagu rõivad, kodutekstiilid, ühiskondlikes hoonetes kasutatavad tekstiilid, jne kujutavad endast tulekahju korral süttides inimesele ohtu. Selle ohu ja põlengute vältimiseks ongi välja töötatud rida meetodeid tekstiilmaterjalide süttimis- ja põlemiskindluse tagamiseks. [1]

Selleks et defineerida tulekindlaid materjale peab algselt teadma põlemise olemust. Põlemine on õhuhapniku juuresolekul materjaliga toimuv keemiline oksüdatsioonireaktsioon. Seega kui tekstiil on keemiliselt ehituselt suuteline hapnikuga reageerima siis ta süttib ning seda nimetatakse süttivaks materjaliks. Sinna alla kuuluvad enamuse orgaanilisi materjale kuigi osad on kergesti ning osad raskesti süttivad. Orgaanilistest tekstiilidest peetakse tulekindlaks siis mitesüttivaid materjale. Ehk lihtsamini öeldes tekstiilid, mille kiud pole võimelised hapnikuga reageerima. [1]

Tulekindlaid materjale saab jagada süttimis- ning põlemiskindlateks, kuna alati ei pea need tähendama ühte ja sama. Süttimiskindlateks materjalideks loetakse kas raskesti süttivast kiust valmistatud või süttimist tõkestava töötusega viimistletud materjale. Sellist tüüpi kangad ei sütti kuid kontaktis lahtise leegiga hakkavad nad lagunema. Põlemiskindlad materjalid on jälle kas põlemiskindlatest kiududest valmistatud või vastava viimistluse saanud materjalid. Nende eesmärgiks on aga olla täielikult vastupidav kõrgete temperatuuride toimele ning tagama inimeste täieliku kaitse tule eest. [2]

Tekstiilde tuleohtlikkust on väga keeruline hinnata, kuna see sõltub paljudest teguritest, nagu polümeeri enda ehitus, tekstiili ehitus (kootud või mitte, lõnga ehitus), tekstiili kaal, kius

olevad lisaaained, tekstiilile rakendatud keemiline töötlus ning hiljem katse tingimused. Kõik tekstiilid põlevad kui nad puutuvad kokku sobivat tüüpi leegiga, kuumusega, hapniku hulgaga ja paraja kokkupuute ajaga. [3]

Süttivustestidega on teada saadud, et tulekindluse määramisel mängib suurimat rolli materjali enda vastupidavus leegile, tähtsusetult järgnesid sellele tekstiili kaal, riidesiduse tüüp, ning materjali paksus. Ka kanga segud mängivad tulekindluse hindamisel rolli. Kanga segud, mis on tehtud kahest erinevast kiust moodustavad täiesti teistsuguse reaktsiooni leegiga kokkupuutel, kui segu moodustavad kiud eraldiseisvatena. Näiteks võib tuua polüestri, mille vastupidavus leegile on suurem kui puuvillal. See eest aga põlevad polüestri ja puuvilla segutekstiilid väga kiiresti. [3]

Tähtsal kohal on ka tekstiili struktuur, kuna see määrab ära kui palju õhku on kangas. Tekstiilid, millel on avatud konstruktsioonid süttivad üldjuhul kiiremini ning ka leek levib mööda seda sorti tekstiili kiiremini. Juhul kui leegiga satub kokku materjal, mis on karustatud, vanutatud või muud moodi tekitatud karvase pinnaga, esineb tekstiilmaterjali peal nii nimetatud pindmine leegisähvatus ehk leek levib kiirelt tekstiilmaterjali pinnal põhimaterjali süütamata. See nähtus on ohutu nii kaua kuni leegi intensiivsus on piisavalt madal, et see ei süüta põhimaterjali. [3]

2. TULEKINDLAD KIUD JA MIKS NAD ON TULEKINDLAD?

2.1. Miks on mõned tekstiilid tulekindlad?

Kuna põlemine on hapnikuga liitumise protsess, siis sõltub põlemine hapniku sisaldusest. Õhus on hapnikku ligikaudu 21%, ülejäänud gaasid, lämmastik, vesi jne ei toeta põlemist. Praktikas on leitud, et kui suurendada õhus hapniku sisaldust, võivad põleda ka need materjalid, mis tavalise hapnikusisalduse juures ei põle. Mõned materjalid on aga suutelised põlema madalama hapnikusisalduse juures kui 21%. See nähtus annab võimaluse klassifitseerida aineid (materjale) nende põlemiseks vajaliku hapnikuhulga järgi. Vastavat näitajat nimetatakse hapniku piirindeksiks (limiting oxygen indeks, LOI), mis on sisuliselt minimaalne keskkonna hapnikusisaldus, mille juures materjal võib põleda. Rida hapniku piirindekseid on esitatud tabelis 3.1.

Erinevate ainete hapniku piirindeksid.

Tabel 2.1

Aine	LOI	Aine	LOI
Polüetüleenoksiid	15	Polümetüülmetakrülaat	17
Polüakrüülnitriil	18	Polüetüleen	18
Polüstüreen	18,5	Polüpropüleen	18,6
Tselluloos	19	Polüetüleentereftalaat	21
Polüvinüülalkohol	22	Nailon-6,6	23
Vill	25,2	Modakrüülkiud	26,8
Polükarbonaat	27	Nomeks, Aramid	28,5
Fenoolformaldehüüdvaik	35	Neopreen	40
Polüvinüülkloriid	60	Süsinik (süsi)	60
Polütetrafluoretüleen	95		

Materjalid, mille LOI on suurem kui 25, on õhus põlemisel isekustuvad. Materjalid, mille LOI on alla 25, põlevad õhus kergesti. Näiteks tselluloosmaterjalid, nagu puuvill jt, põlevad kergesti, sest nende isesüttimistemperatuur on piirides 350-400°C ja põlemissoojus 4,3 kcal/g. Põlemine levib kiiresti. Riituseseme põlemise korral võib juba 15 sekundit pärast põlemise algust tekkida rõivakandjal rasked põlemishaavad. [2]

Villal on terve rida soovitatavaid omadusi. Villa LOI on 25,2, mis on märgatavalt üle õhu hapnikusisaldusest. Seega põleb vill õhu käes vaid teatud tingimustel. Vill ei ole termoplastne ja süttimistemperatuur on 600 kraadi. Põlemissoojus on suhteliselt madal: 4,9 kcal/g. Materjalina on villane kangas hea soojusisolaator. Põlemisel see söestub. Seetõttu võib öelda, et villasest materjalist tooted ei ole eriti tuleohtlikud. [2]

2.2. Tuntumad tulekindlad kiud.

Kuumakindlad orgaanilised polümeersed kiud on sellised, mis kõrgetel temperatuuridel on püsivad ja keemiliselt ei lagune. Tavaliselt on nad ka kemikaalikindlad, seda eriti

oksüdatsiooni suhtes. Kiud peavad kuumutamisele tavaliselt vastu pidama teatud aja vältel ja seda korduvalt. Mõnikord defineeritakse ka mingi kõrge temperatuur, millele kiud peavad vastu pidama lühiajaliselt, näiteks korraks leegi (~1000°C) läbimisel. Nende kiudude hapniku piirindeks (LOI) peab olema suhteliselt kõrge vältimaks süttimist. [1]

Selliste kiudude kõrge kuumakindlus on tagatud nende makromolekulide ahelate aromaatses või heterotsükklilise struktuuriga, mis tagab tavaliselt nii kuuma- kui ka kemikaalikindluse. Kõrgeks kuumakindluseks loetakse kiu omaduste säilimist temperatuuril üle 200°C ja väga kõrgeks üle 350°C. Sealjuures ei tohi toimuda kiu pehmenemist ega sulamist. [1]

Tavaliselt on kuumakindlatel kiududel ka kõrge elastsusmooduli väärtus, suur tõmbetugevus ja piisav jäikus. Kuid on ka erandeid, nagu näiteks polüetüleen, mis ei ole kuumakindel, vaid kaldub kuumutamisel sulamisele. Sealjuures on anorgaanilised ja mineraalsed kiud suure kuumakindlusega. [1]

Kuumakindlaid kiude saab laias laastus jagada kahte rühma:

1. Leeki inhibeerivad kiud, nagu aramiidkiud, modakrüülkiud, polübensimidiasoolkiud – PBI, Panox (oksüdeeritud akrüül), fenool-, asbest- ja keraamiline kiud.
2. Keemiliselt modifitseeritud kiud ja kangad, nagu leegikindel puuvill, vill, viskoos ja sünteetilised kiud. [4]

2.2.1. Reaktoplastid

Reaktoplastide üheks tunnuseks on nende prepolümeersete vaikude täiendav polümeriseerumine ja ristsidemete moodustumine, mis toimub kõrgendatud temperatuuril. Tekib ruumiline struktuur, mis üldjuhul on kuumakindel, ja protsess on pöördumatu. Reaktsioonivõimelt on erinevad vaigud erinevad. Nii tekib melamiiniformaldehüüd-vaikudes ristsidumine kiirelt, novolakkvaigud on märksa aeglasema kõvastumisega. Mõlemat tüüpi polümeeridest on võimalik valmistada kiudu. [1]

2.2.1.1. Melamiinformaldehüüdvaigud – Basofil

Basofil on melamiini või tema derivaatide polükondensatsiooni produkt formaldehüüdiga. Reaktsiooni käigus tekib reaktoplastidele tüüpiline kolmedimensiooniline võrestik, mis annab saadud materjalile kuumakindluse, madala süttimisvõime ja kõrge kemikaalikindluse. Basofil on ainus tööstuslikult toodetav melamiinkiud (Enka, North Carolina, USA). Melamiinformaldehüüdvaigud töödeldakse kiuks ekstrusiooni teel. Vaigud on sealjuures väga viskoossed (300-3000P). Tekstiilmaterjalide valmistamiseks võivad nad olla liiga haprad. Selleks, et haprust vähendada, kasutatakse kondensatsioonireaktsioonil modifitseeritud melamiini derivaate, kus modifikaator toimib ühtlasi ka sisemise plastifikaatorina. Kiu tootmisprotsess on kaheastmeline: polükondensatsioonisektor ja kiu formeerimise sektor. Basofil-kiudude omadused on tihedalt seotud nende makromolekulide keemilise struktuuri ja tootmisprotsessiga. Selle kiu tugevateks külgedeks on tema suhteliselt kõrge hapniku piirindeks (LOI=32%), madal/halb soojusjuhtivus ja suurepärase dimensiooniline stabiilsus kuuma käes. Leegis ta ei sula ega hakka tilkuma. [1]

Basofil-kiudude tugevus on looduslike kiudude tugevuse tasemel ja teda võib kedrata niidina, kududa riideks ja töödelda kõikidel tekstiilitehnoloogia meetoditel. Tugevuse suurendamiseks võib Basofil-kiudu segada teiste tugevamate kiududega. Tema värvimine on raskendatud. [1]

Basofil-kiude kasutatakse seal, kus on nõutavad kuuma- ja leegikindlus ning kemikaalikindlus, nagu näiteks kõrgetemperatuuriline filtrimine, leeki ja soojust isoleerivad vildid ja leegi- ja kuumakindlad rõivad. Lisaks kõrge temperatuuriga seotud tööstusharude, kasutatakse melamiini kiude ka voodipesu tööstuses, sisustuse tootmises autodele ning lennukitele ja kaitseriietuses tööstustöölisele. [1][3]

2.2.2. Novoloid-kiud – Kynol

Kynol-kiud on amorfse struktuuriga, osaliselt ristseotud makromolekulidega fenool-formaldehüüdi polükondensatsioonil saadud materjal, mida valmistab *Kynol Corporation* Jaapanis. Novoloid-kiududel on suurepärase sooja- ja elektriisolatsiooni omadused, füüsikaliste omaduste säilimine madalatel temperatuuridel, silmapaistev kemikaalikindlus

hapete, lahustite, kütuste, veeauru suhtes, ei sula ühelgi temperatuuril, põlemisel eritavad minimaalselt suitsu, väga väike kahanemine kuumutamisel, mittetoksilisus. [1]

Kynol-kiud on ellipsi kujulise ristlõikepinnaga ja kuldkollast värvi. Kiud on kohevad ja hea kuumakindlusega. Neid kasutatakse tööstuses tekstiilmaterjalidena ja ohutust tagavate toodetena. Kasutusvaldkondi on mitmeid: kuuma-ja leegikindlad materjalid, nagu kaitseriietus, eesriided, isolatsioonimaterjalid, lennukites jm kasutatavad tekstiilid., samuti kasutatakse kaablite, komposiitide, tihendus- ja pakkematerjalide valmistamisel. [1]

2.3. Polüaramiidid ja polüimiidid

Neid kiude hakati tootma 1960. aastatel. Nenede tunnuseks on makromolekulaarses struktuuris aromaatsete lülide vahelduv sisaldus:

- a) Amidorühmadega $-\text{CONH}-$ polüaramiidid, lühendatult aramiidid;
- b) Imidorühmadega $(-\text{CO}-)_2\text{N}-$ polüimiidid, heterotsükklilised polüimiidid
- c) Või mõlematega, polüamidoimiidid

Kõiki neid kiudusid iseloomustab kõrge kuumakindlus, mis lühikese eksponeerimise käigus võib ulatuda üle 300 kraadi, ja lisaks süttimis- ja leegikindlus. [1]

2.3.1. Aramiidid – kuumakindlad kiud

Aromaatsed polüamiidid ning aramiidid on ühed kõige sagedamini kasutatavad polümeerid tulekindlate tekstiilide valmistamiseks. Neid hakati esmakordselt tootma 1960'ndates. Seda tüüpi kiud leiavad kasutust tuletõrjajate ja sõjaväelaste kaitserõivaste ning tööstustöölise vormiriiete tootmises. Aramiidkiudude alla lähevad tuntud nimed nagu Nomex, Kevlar, Twaron, Technora, Teijinconex, X-Fiber, Kermel, Newstar. [3]

Tööstuslikult toodetavatest aramiidkiududest on kõige tuntum ja ühtlasi ka esimesi Nomex (meta-aramiid), mis on kristalliline termoplast. Tema sulamistemperatuur on 365 kraadi ja ta on töödeldav temperatuuril üle 400 °C. [1]

Nomex- kiudusid kasutatakse pikaajalistes rakendustes madalamatel temperatuuridel (150 °C) ja lühiajaliselt 300 °C juures. Seega on nad ideaalsed materjalid kuumfiltrimisel, kaitseriietuse

tootmisel jne. Nende kemikaalikiindlus hapete ja aluste suhtes jätab siiski soovida. Põhjuseks on amidorühmade tundlikkus hüdroolüüsile. Kuumutamisel üle 450 °C Nomex-tüüpi aramiidid lagunevad termiliselt. Tekib sitke, süsinikurikas söekiht, millel on samuti soojust isoleerivad omadused nendel pindadel, kuhu ta on ladestunud. [1]

Selline suurepärase kuuma- ja leegikiindlus võimaldab meta- aramiidkiude kasutada nii pehmete (painduvate) kaitserõivaste valmistamiseks kui ka kärjetaoliste kergete konstruktsioonimaterjalide tootmiseks. Meta- aramiide kasutatakse ka segus teiste kõrgsuutlike kiududega, et tõsta aramiidi kõrgsuutlikkust. Ja alandada toote omahinda. Eriti segatakse aramiide odavate kuumakindlate kiududega, nagu viskoos, mis on töödeldud fosforhappega ja on nii muudetud leegikindlaks. Tootmises on materjal Karvin, mis sisaldab 30% Nomex'it, 5% Kevlar'it ja 65% Viscose FR. On ka teisi kuumakindlate kiudude segusid. Nende segude söestumisel tekkiv söekiht ei ole nii heade termoisolatsiooni omadustega kui puhas aramiid. Söekiht on nõrgem ja kaitseb vähem leegi toime eest. [1][3]

Kevlar (para-aramiid) on vedelkristalse struktuuriga materjal, mille jäigad varrasmolekulid on liitunud tugevate intermolekulaarsete jõudude abil külge külje kõrvale, mistõttu Kevlar- tüüpi polümeerid ei ole termoplastsed ja nende sulamistemperatuur on ~640 °C. [1]

Para-aramiidid nagu Kevlar, Twaron ja nende modifikatsioonid on väga hea tõmbetugevusega, mis on tingitud nende kiudude makromolekulide sümmeetrilisest ehitusest ja materjali kristalliinsusest. Need kiud on samuti kuumakindlad. Polümeer laguneb termiliselt 590 °C juures. Polümeeri pikaajaliseks töötemperatuuriks loetakse 180 °C, lühiajaliseks 450 °C. Termilise destruktsiooniga kaasneb samuti materjali söestumine nagu meta-aramiidide korralgi. Para-amiidi LOI on 30-31% ja teda loetakse kokkuvõttes paremaks materjaliks kui meta- aramiidi. Sealjuures on para-aramiid kallis ja halvemini tekstiilmaterjaliks töödeldav, mistõttu teda ei saa puhtal kujul kasutada kaitserõivaste ja filtrimaterjalide valmistamisel. Seetõttu kasutatakse selleks otstarbeks meta-para-aramiidide segusid või lisatakse neile veel teisigi kuumakindlaid kiudusid, ka kopolümeerseid vedelkristalle. [1]

2.3.2. Polüimiidkiud

Kuigi maailmas toodetakse palju erinevaid polüimiidi polümeere, siis ainult osad neist sobivad tekstiilmaterjalideks. Üldjuhul on polüimiididest tekstiilide tootmine mitmeastmeline ja seetõttu ka tülikas. [3]

Polüimiidkiudude suure kuumakindluse tagab makromolekulide spetsiifiline keemiline ehitus. Nimelt sisaldab polüimiidide makromolekul imiidset lämmastiku aatomit (=N-), millele puudub asendatav vesiniku (H-) aatom. See võimaldab polümeeri ahelas tekkida stabiilsel ja jäigal heterotsüklilisel ringil. [1]

Tänu omapärasele ehitusele on polüimiidkiudude termilise lagunemise temperatuur 500 °C lämmastiku keskkonnas ja 450 °C õhus, mis on väga kõrge kuumakindlus. Näited polüimiididest on PRD (tootja: DuPont), polüpüromelliitimiid (DuPont), Arimiid T (Venemaa), Arimiid T-TK 160 (Venemaa), P84 (Lenzing). [1]

P84 on polüimiidkiud, mis on välja töödatud Austrias. P84 polüimiidkiud on saadud aromaatsetest dianhüdriididest ja aromaatsetest diisotsüanaatidest ning omab üli head termilist stabiilsust. Polümeer ei sulata ning omab klaasistumistemperatuuri 315°C. P84 kiudu kasutatakse kõrgetel temperatuuridel filtreerimisel, isolatsioonimaterjalidena ning harvemal juhul kaitseriietuses. [3]

Lenzing FR on kuumakindel materjal. Selle tootmine põhineb looduslikul toorainel – puidul. Lenzing FR saab kasutada nii kuuma- kui leegikindla materjalina, seega on tal palju rakendamisvõimalusi. Kasutatakse Lenzing Modal protsessi. Kiud baseerub kõrge märgmooduliga regenereeritud tselluloosist toodetud kiul. [5]

2.3.3. Polüamiidimiidkiud

Kui tetrakarboksüülhappe dianhüdriidkomponent polüimiidi sünteesil asendada trimelliithappega, siis reaktsioonil näiteks metüleendianiliiniga või vastava diisotsüanaadiga saadakse polümeer nimetusega polüamiidimiid, mille tuntumaks esindajaks on Kermel, mida toodetakse Prantsusmaal juba alates 1971. aastast. [1]

Kermel'i struktuur ei ole eriti korrapärane, mis takistab kokkuvõttes tema kristallumist ja muudab tema tiheduse suhteliselt madalaks. Seetõttu on ta hästi värvitav. Kermel

tõmbetugevus on võrreldav tavalise polüamiidi ja polümeta-aramiidi tugevusega, aga Kermel'il on tunduvalt halvem vastupidavus UV-kiirgusele. LOI on madalam kui polüimiididel, kuid võrreldav aramiididega. [1]

Kermel'it kasutatakse 100%-lise kaitserõivastuse valmistamisel või segus teiste kuumakindlate kiududega, nagu näiteks Viscose FR'iga. Alusriiete valmistamisel kasutatakse kiudude segu P84 ja Viscose FR'iga. Segud villaga on kasutatavad mundrite, pulloveride jne valmistamiseks. [1]

2.4. Poolsüsinikkiud

Oksüdeeritud polüakrüülkiud on redeltüüpi makromolekulidega polümeerid, mida toodetakse kontrollitava oksüdatsioonireaktsiooni teel. Saadud kiududel on head kuumakindluse omadused tänu osaliselt karboniseerunud struktuurile. Juhul kui neid kiude edasi karboniseerida inertses atmosfääris ja kõrgetel temperatuuridel on saaduseks grafiit- ning süsinikkiud. Tuntumad kaubamärgid on Celiox, Grafil, Pyron, Sigrafil, Panox. [1][3]

Oksüdeeritud polüakrüülkiudude keemiline ehitus ei ole täpselt kindlaks tehtud, kuid oletatakse, et tema makromolekulis võivad olla erinevad lämmastiku aatomit sisaldavad struktuuriühikud. [1]

Üheks näitajaks on tihedus, mis sõltub karboniseerumise astmest ja kiu kahanemisest oksüdatsiooniprotsessil. Mida kõrgem on tihedus, seda suurem on karboniseerituse aste ja hapniku piirindeks LOI. Ideaalselt on LOI 55%. [1]

Pool süsinikiud ei põle ega sula ja tilgu. Nad hoopis söestuvad ning kustutavad ennast ise ära. Need kiud on iseenesest suhteliselt nõrgad ning omavad madalat kulumiskindlust. Seetõttu kasutatakse neid tavaliselt segudes, kas aramiididega, PBI'ga, Rayoniga või polüesterkiududega, moodustades suurepärase tulekindlusega, tugeva ja vastupidava toote. [3]

2.5. Polübensimidiasoolkiud – PBI

PBI on suhteliselt uus kuuma-, süttimis- ja kemikaalindel kiud, mida kasutatakse palju kosmoserõivastuse valmistamisel. Teda peetakse parimaks orgaaniliseks kõrgsuutlikuks kiuks

üldse. Kiu suurepäraseks omadused on tingitud aromaatsesest ja poolredelstruktuurist ning tema amorfsest ehitusest. [1]

Enamik PBI-kiude töödeldakse tänapäeval väävelhappega, et tõsta nende süttivuskindlust. Sulfoneeritult kahaneb PBI-kiud leegis vähem kui 10%. Väävelhappelise töötlemise kõrval kasutatakse ka fosforhappelist töötlust. Saadud kiud on kasutatav eriti kriitilistes tingimustes. [1]

PBI-kiudude madalaim LOI on 41%, mis viitab heale leegikindlusele. Tänu oma suurele LOI arvule ei põle PBI õhus üldse ning ei sula ega tilgu. Ehk kiud säilitab oma füüsikalised ja mehaanilised näitajad küllaltki muutumatuna temperatuuri laias piirkonnas (vt. tabel 3.2). [1][3]

PBI-kiudude hinnanguline termiline stabiilsus.

Tabel 2.2

Temperatuur °C	Katse kestvus
600	3-5 s
450	5 min
400	1 tund
330	24 tundi

PBI pürolüüsil ja põlemisel eraldub vähe soojust. Olukordades, kus materjal peab inimest kaitsma vahetult leegis, on väga oluline, et materjal ise pürolüüsudes või isegi põledes ei lisaks väliskuumusele omalt poolt lisakuumust. PBI materjalidel on see soojushulk tühine, vaid 10 kW/m², kui lubatud väärtus on 65 kW/m². Kuna PBI-kiud ei põle õhus, ei erita ta ka suitsu ja gaasi märkimisväärses koguses. [1]

PBI'l on lisaks kõrgele LOI arvule ka hea kemikaalikindlus ja niiskusesisaldus. Tänu nendele omadustele on PBI suurepärase kiud, mida kasutada tule blokeerimiseks tulekindlates tekstiilides ning kaitserõivastes. Kuigi tema füüsikalised omadused on suhteliselt keskmised, saab teda kasutada paljude erinevate tulekindlate tekstiilist varustuste tegemiseks. PBI'd on kerge ka ühendada teiste materjalidega nagu näiteks süsinik ja aramiidkiud. Seda ühendamise võimalust kasutatakse üldjuhul suhteliselt palju, selleks et saada paremad omadused või odavam hind. Näiteks on kasutatud tuletõrjajate riietuse valmistamiseks segu, mis koosneb 60% para-aramiidist ja 40% PBI'st. [3]

2.6. Polübensoksasoolkiud – PBO

PBO-kiudude arendamine algas 1970'ndatel aastatel. Sünteesitud polübensoksasoolpolümeerid osutusid sama kuumakindlateks kui meta-aramiidkiud (kuni 250 °C), kus veel ei täheldatud erilist tõmbetugevuse vähenemist. Viimasel ajal tehtud uuringute põhjal on tõestatud nende materjalide omaduste säilimine õhu käes kuumutamisel 650 °C-ni ja inertgaasi keskkonnas üle 700 °C. [1]

Tänapäeval tuntud PBO-kiud on Zylon. Kiu kõrge kuumakindlus on tagatud asjaoludega, et makromolekulis puuduvad süsivesinikfragmendid, nagu näiteks =CH–, ja kiud on poolredelstruktuuriga. Nende kiudude kuumakindlust on mõõdetud kuni 650°C-ni ja LOI väärtuseks 68%, mis on üks kõrgemaid väärtusi üldse ning on näiteks kahekordselt suurem kui on tavalise meta-aramiidkiu LOI. Need kiud on kõige kuumakindlamad tööstuslikult toodetavad orgaanilised kiud maailmas. [1][3]

PBO-kiude kui kuuma- ja keemiakindlaid kasutatakse rakendustes, kus nõutakse materjali mehaaniliste omaduste säilimist kõrgendatud temperatuuridel, näiteks kuumakaitse rõivastus, kuumade gaaside filtrimine, kõrgetel temperatuuridel kasutatavad konveierlindid ja armatuurid, tuletõkked lennukites ja kosmoselaevades. [1]

3. TEKSTIILIDE MUUTUMINE TULEKINDLAKS VIIMISTLUSEGA

Tekstiilkanga pinna või –kiudude muutmine on üks lihtsamaid meetodeid, kuidas tulekindlus materjalidele kanda. Selleks, et tekstiili pinda muuta saab kasutada mitmeid erinevaid meetodeid. Tekstiili tööstuses jagatakse viimistlemisviisid üldiselt nende vastupidavuse järgi mitte vastupidavaks ja vastupidavaks. [6]

Mittevastupidavad viimistlused on need, mis tulevad puhtas vees pestes kergelt maha. Nad suudavad tavaliselt vastu pidada keemilisele puhastusele, mis ei sisalda vesinikkeskonnaga lahusteid. Seda tüüpi viimistlusi kasutatakse tavaliselt ühekordseks kasutuseks mõeldud esemetes, näiteks ühekordsed haiglates kasutatavad kehakatted, pidude kostüümid ning isegi mõned seinakatted, kas siis tekstiilist või paberist. Neid võib kasutada ka tööriietuses või

kardinate, kuid sellisel juhul peab viimistluse pärast igat pesu uuesti peale kandma. Viimistlused kantakse tavaliselt tekstiili peale vesilahuse pihustamisega või vesilahuses immutamise. [7]

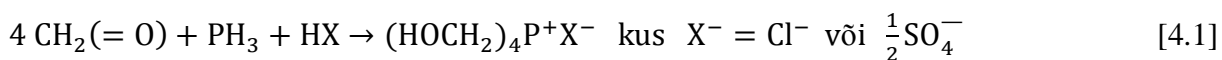
Vastupidavad viimistlused suudavad aga vastu pidada üldjuhul vähemalt 50 pesukorrale ilma oma omadusi kaotamata. Nende viimistluste tegemine ning kiule kinnitamine on keerukam protsess, kuid tulemuseks on mitmekordse kasutusega, kerged, mugavad tooted, mis omadustelt sarnased tulekindlatele kiududele. [7]

Kuna tegu on kemikaalidega viimistlemisega siis võib arvata, et saadud materjal võib kahjulikult mõjutada inimese tervist ning heaolu. Üldjuhul on tulekindlate viimistluste toksilisus suhteliselt madal, kuna reageerides materjaliga kinnituvad nad kindlalt kiudude külge või sisse ning neid eraldub minimaalses koguses. Need eraldunud osakesed võivad sattuda inimeste hingamisteedesse ning seal kogunema hakata, kuid isegi pikaajalise kokkupuutega ei tohiks ületada nende osakeste hulk kriitilist piiri, kust maalt nad inimesele mürgiseks muutuvad. Selliste tulemuste teada saamiseks on tehtud paljusid erinevaid katseid nii Saksamaal, Šveitsis kui ka Ameerika Ühendriikides, kus on tehtud uurimisi autode, kontoriruumide ning mööbliga. Nende uuringute tulemusena on tulekindlate viimistluste ohtlikus ja mürgisus hinnatud samale tasemele kui igapäeva kasutuses olevad kemikaalid. [8]

3.1. Vastupidavad viimistlused

3.1.1. THPX viimistlus tselluloosile ning tema segudele

See on üks juhtivaid viimistluse viise viimase 50 aasta vältel ning sellele tehakse uuendusi tänaseni ning põhineb tetrakis(hüdroksümetüül)fosfooniumsooladel (THPX). Viimistluse keemia põhineb reaktsioonivõimelisel saadusel, mida toodetakse lisades formaldehüüdi fosfiinile happelises keskkonnas (vt. valem 4.1).



THPX keemiat kasutatakse üldjuhul Probani valmistamise protsessis. Selles protsessis on tetrakis(hüdroksümetüül)fosfooniumkloor (THPC) või -sulfiid (THPS) juba eelnevalt reageeritud karbamiidiga ning lahus on reguleeritud 5-8 pH juurde enne kui seda puuvilla peale kantakse. Seejärel lahusega koos olevad puuvilla kiud kuivatatakse ning töödeldakse

gaasi faasis oleva ammoniaagiga, mis lõplikult kinnitab lahuse kiududele. Siinkohal koosneb viimistluse struktuur peamiselt N-CH₂-P sidemetest, kus fosfor pole veel suuteline oksüdeeruma. Saadud viimistlust võib hoida õhu käes, et lasta fosforil oksüdeeruda ning moodustada fosfiinoksiid. Lihtsam viis on aga viimistlus töödelda vesinikperoksiidiga ning saavutada sama tulemus. Põhiline nende reaktsioonide juures on see, et lõpptoode ei sisaldaks hüdrolüüsitavaid ahelaosasid, mis asuks fosfori lähedal. [7]

Selle meetodiga saadakse ühte populaarsemat tulekindlat viimistlust, milleks on Proban. Samal põhimõttel toodetakse ka vähemtuntuid viimistlusi nagu Banwear, FR-7A ja Ultrasoft. Seda kasutatakse tavaliselt tööriiete viimistlemiseks ning on isegi võrreldav tulekindla kiu Nomex'iga kuigi Probanil on mugavuse eelised. Seda kasutatakse ka puuvillaste kaupade peal nii hotellides, hoolekodudes, institutsioonides kui ka sõjalistes rakendustes. [7]

THPX lõppviimistlus on antimikroobne ning viimistlemise käigus ei kahjustu ka puuvill. Kuna praktiliselt mingit keemilist reaktsiooni puuvillaga ei toimu, säilitab puuvill oma algse pehmuse ning ka lõnga paindlikkus jääb üsna sarnaseks, mis tagab hea rebenemistugevuse. Kui viimistlusega tekstiil viiakse kokku lahtise leegiga siis see söestub ning ei sula ega aita kaasa tule levikule. Seda sorti viimistluse positiivseks küljeks on veel kasutusvõimalus nii kootud kui ka mittekoatud tekstiilide puhul. Kahjuks takistab viimistluse laialdasemat levikut asjaolu, et paljudel tekstiili viimistlusega tegelevatel firmadel pole protsessiks vajalikku ammoniaagi gaasi kambrit. Lisaks sellele saab THPX viimistlusega kangaid värvida üldjuhul ainult küüpvärvidega, kuna need on ainsad mis vastavad viimistlusega kaasnevale oksüdatsiooni nõudele. [7]

THPX viimistlusega saab üldjuhul töödelda puuvilla segusid polüestriga, kuid seda kuni polüestri osakaal ei ületa 20%, kuna vastasel korral kaotab viimistlus oma omadused. Segu, mis koosneb 88% Probaniga töödeldud puuvillast ning 12% nailonist, müüakse kaubandusliku nimega Indura ning seda kasutatakse suure mugavusega tööriiete valmistamiseks. Lisaks sellele on osades tuletõrjajate riietes kasutatav tepitud isolatsiooni kangas FlameQuilt valmistatud Indura ja Basofili segust, millele on lisatud ka leeki aeglustavat Rayon kiudude segu. FlameQuilt'ile sarnane toode on ModaQuilt, mis on valmistatud modakrüülist ja Probaniga töödeldud puuvillast. [7]

3.1.2. Pyrovatex CP ja muud taolised tooted

Pyrovatex põhineb peamiselt fosfoonahpe(3-{[hüdrosümetüül] amino}-3-oksopropüül) – dimetüülesteri molekulil (vt. valem 4.2). Seda ainet võib veel nimetada N-metüloom dimetüül fosfoonhappe propaanamiidiks.



See viimistlus on vees lahustatav ning tema toodetel on tavaliselt kerge formaldehüüdi lõhn. Pyrovatex CP peamine komponent on monofunktsionaalne ning on seega võimeline reageerima tselluloosiga happelise katalüsaatori juuresolekul. Selle reaktsiooni tulemuseks on amiidi taolised struktuurid. Kuigi mõistlikel tingimustel ei kinnitu amiidrühm viimistluses isegi happelise katalüsaatoriga hästi. Seetõttu kasutatakse seda viimistlust koos amino vaiguga, et saavutada suuremat haakumist puuvillale. [7]

Pyrovatex CP viimistlusele on tehtud ka uuendusi, et vähendada lahtiseid formaldehüüdi struktuure. Uut viimistlust nimetatakse Pyrovatex CP-LF, kus LF tähistabki madaldatud formaldehüüdi sisaldust. Nii tavaline kui ka väiksema formaldehüüdi sisaldusega Pyrovatex vastavad Euroopa Ökotex standarditele. Sarnane Pyrovatex CP-LF'ile on Aflammit KWB, mis on tänu HPLC'le palju puhtam toode ning mis on võimeline saavutama suurema formadehüüdi sidumise taseme, vähendades vaba eralduva formaldehüüdi hulka. Formaldehüüdi probleemidele on leitud veel lahendusi. Nimelt on välja selgitatud, et lisades Pyrovatex'ile või Aflammit KWB'le lämmastikuga rikastatud melamiinvaiku, suurendab see formaldehüüdi rühmade sidumisvõimet. Lisaks sellele suurendas rohkema lämmastiku koostisega vaik viimistluste tulekindlust ning vastupidavust pesule. [7]

Seda tüüpi viimistluste puhul on märgatud endiselt erinevaid probleeme, millest üks on happeline hüdrolüüs, mis tekib viimistletud toote hoiustamisel. Seda saab küll vähendada kui pärast viimistluse kinnitamist kangale, seda kangast väga põhjalikult neutraliseerides, kuid täielikult happelist hüdrolüüsi pole suudetud eemaldada. Lisaks sellele halvendavad osad versioonid seda tüüpi viimistlusega puuvilla rebenemistugevust, mis on suure tõenäosusega tingitud kangasse jäänud happe rünnakust niiskele tselluloosile. Kokkuvõttes peab küll korrektselt tekstiilile kinnitatud Pyrovatex CP viimistlus vastu üle 50 pesukorra, kuid ta pole ikkagi nii vastupidav kui Proban tüüpi viimistlused ning on väga tundlik klooril baseeruvatele valgenditele. [7]

3.1.3. Polüestrist kanga termo-sublimatsioonitöötlus

Euroopas on seda tüüpi viimistlemise toode tuntud Afflamit PE all. Sarnane toode sellega on Flammex, mida toodetakse Saksamaal aga see pole nii populaarne. [7]

Peamine toode, mida kasutatakse polüestrist kanga termo-sublimatsioonitöötlemisel on vedel fosfonaat. Viimistlemise protsess hõlmab polüestri immutamist fosfonaadi vesilahuses. Pärast kuivamist, kuumutatakse kangast umbes 190-210°C juures 30-40 sekundit. Selle tulemusena muutuvad kiud pehmeks ning fosfonaat tungib kiudude sisse. Pärast seda toimub kanga jahutamine, mille käigus jääbki leegi aeglusti kanga sisse. Kui kangas on ära jahtunud, pestakse seda, et eemaldada kõik üleliigne mis kangasse ei imendunud. [7]

Selle viimistlusmeetodi puhul tuleb aga silmas pidada, et see ei tööta mittekootud tekstiilide puhul, kuna mittekootud materjalid tõmbuvad töötlemisprotsessiks vajaminevatel suuritel temperatuuridel kokku. Seega erinevalt kootud materjalidest, mida on võimalik pingutusraami külge kinnitada, pole võimalik mittekootud materjalide puhul kuidagi ära hoida kahanemist. [7]

3.1.4. Broomi sisaldusega emulsioonpolümeeridega katmine

Seda sorti viimistlemine on sobilik 100% polüestrist toodetele ning puuvilla ja polüestri segudele. See kasutab väga stabiilset kopolümeeri, mis sisaldab 35-45% broomi, mis on saadaval 40% tahke vesiemulsioonina TexFRon. Seda emulsiooni on võimalik peale kanda immutamise, printimisega, pihustamisega või isegi kasutades tasandusnuga. See tekitab kanga peale leeki aeglustava paindliku kile, mis püsib kangal vähemalt 50 pesukorda tavalise kodupesumasina. [7]

Vajaduse korral on võimalik tagada viimistlusele täiendav süttimiskindlus. Selleks tuleb lisada kopolümeerile antimoni oksidi. Kanga alkatmise puhul lisatakse kopolümeerile tavaliselt paksendaja ning vajaduse korral ka ristsidemete tekitaja vastupidavuse parandamiseks. Tänu nendele omaduste parandamise võimalustele kasutatakse seda tüüpi viimistlust mitte ainult töö riiete tegemisel ja voodipesus vaid ka varikatuste vooderdisena. [7]

Läbipaistvat katet, mis on sobilik polüestri ning polüestri ja puuvilla segule, valmistatakse lisades broomitud akrülaadiga kopolümeeri vesidispersioon akrüülhappe komonomeeri, kus

sünergistiks on kolloidne Sb_2O_5 . Kuna tekkinud kate on läbipaistev on seda võimalik panna nii kanga pealmisele küljele kui ka tagumisele küljele, ilma kanga algset välimust muutmata. Neil polümeersetel viimistlustel on mittepölmümeersete broomi sisaldavate leegi aeglustite eelised keskkonna ees, kuna polümeerid püsivad kangas ning on ohutud mürgisuse seisukohast. [7]

4. TEKSTIILI TULEKINDLUSE MÄÄRAMISE STANDARDID

4.1. Tulekindlate materjalide standartite katsemeetodid

Kuna tegemist on inimese tervisele ja heaolule väga ohtliku valdkonnaga, on tulekindlatele rõivastusele ning esemetele esitatavad nõuded eriti karmilt reglementeeritud. Selleks, et selgusele jõuda, kas tulekindlad tekstiilid vastavad vajalikele standarditele leidub palju erinevaid katsemeetodeid. Erinevaid meetodeid rakendatakse olenevalt tekstiili kasutamise lõppesmärgist ning riigist, kus seda hiljem kasutama hakatakse. Tehtavad standardite testid üldjuhul kirjeldavad eri spetsifikatsioone nagu proovi tüüp ja suurus, leegi või kuumuse allikas ning leegi ja aluspinna kontakti kestvus. Tabel 5.1 toob välja mitu tähtsat testimise meetodit, mida kasutatakse erinevate tekstiilmaterjalide puhul. [3]

Tulekindlate tekstiilide testimise meetodid erinevates valdkondades.

Tabel 4.1

Tekstiili kasutamise valdkond	Standardi testimise meetod	Kommentaariid
Mööbliesemed	BS 5852: Osa 1 ja 2: 2006 BS 5852: 1990(1998) ISO 8191:Osa 1 ja 2 (sama mis BS 5852: 1990) BS EN 1021-1: 2006 BS EN 1021-2: 2006	Sigareti ning simuleeritud tiku leek (süttimine 20. sekundiga) Väikse või suure skaalaga testid koos väikeste leekidega ning puidust võrevooditega. Katsed sigarettidega Katsed tiku leekidega (süttimine 15. sekundiga)

	BS 6807: 2006 BS 5867: osa 2: 1980(1990)	Diivanite ja madratsite süttivuse testimine Väikese leegiga katse kardinate ja eesriietega
Uneriided	BS 5722: 1991 AS1249	Katsed väikeste leekidega Austraalia standardi katsetamine laste uneriiete jaoks
Voodipesu	BS 7175: 1989 (1994) BS ISO 12952-1/4: 1999 BS ISO12952-2/3: 2001 Prantsuse määrus 2000-164	Patjade ja tekkide süttivuse testimine Voodipesu süttivuse testimine sigarettide ja tiku leegiga Prantsuse standardis voodipesu testimiseks sigarettidega
Kaitserõivastud	EN 533, NF P92 503 (M1) BS 7175 Crib 5	Katsed hõõgivate ning põlevate süüteallikatega
Vaibad	DIN 4102 (B1), FAR25-853	Katsed põlevate süüteallikatega vähemalt 15 sekundi vältel
Mittekootud materjalid	NF P92 503	
Tekstiilmaterjalid lennukites	ASTM E 906 1983, kasutab Ohio ülikooli soojust eraldavat kalorimeetrit NF P 92501: 1995 Prantsuse „M test“	Kiiritamine 35 kW/m ³ all väikeste süüteallikatega. Kiiritamine väikese põletiga

4.2. Standardid tulekindlatele riitele

Tulekindlate riite kasutamisel on erinevad nõuded vastavalt töö iseloomule. Euroopas kehtiv standard EN531 – „Kaitserõivad tööstustöölisele, kes puutuvad kokku kuumusega“ (v.a tuletõrjajate ja keevitajate rõivad) määrab ära rõivaste kaitse klassi, omadused ja nõuded. Rõivastel peab olema informatsioon kaitse klassi (A, B, C, D või E) ning tüübi kohta. Lisaks sellele rõivad, mis vastavad D ja E klassi nõuetele, peavad olema varustatud mitmete lisadetailidega (taskud, kinnitused). Täpse kirjelduse erinevatest kaitseklassidest ning nende omadustest saab tabelist 5.2. [9]

Kaitseklasside liigitus.

Tabel 4.2

Kood	Omadus	Kaitse klass	Nõue
A	Piiratud süttivus	A	Materjali testimine (vastavalt EN532 meetodile): * Ei tohi ilmnedada tule levikut ... auke ... purdu/jääkpuru * järelpõlemisaeg max 2 sekundit * järelhõõgumisaeg max 2 sekundit
B	Kaitse soojuskonvektsiooni vastu	B1: 3-6 sek B2: 7-12 sek B3: 13-20 sek B4: 21-30 sek B5: >30 sek	Materjali testimine (vastavalt EN367 meetodile): aeg, mis kulub temperatuuri tõstmiseks 24°C-ni (samaväärne teise astme põletusele) mannekeeni seljal, kui tuli on suunatud otse seljale.
C	Kaitse radiatsiooni vastu	C1: 8-30 sek C2: 31-90 sek C3: 91-150 sek	Materjali testimine (vastavalt EN373 meetodile): aeg, mis kulub teise astme põletuse tekkimiseni juhul, kui materjal satub

		C4: >150 sek	soojuskiirgusesse võimsusega 20 kW/m ² .
D	Kaitse sulatatud alumiiniumi pritsmete vastu	D1: 100-200 g D2: 201-350 g D3: >350 g	Materjali testimine (vastavalt EN373 meetodile): PVC film asetatakse mannekeeni selja taha ning sulatatud alumiiniumi pritsmed (väikseim lubatud kogus vastavalt klassile) lendavad seljale. Nõude kohaselt ei tohi PVC film olla rikutud peale neljandat järjestikust testimist. Tavaliselt ei kahjusta testi läbinud materjali ka sulatatud pronks ja teised mineraalid.
E	Kaitse sulatatud raua vastu	E1: 60-120 g E2: 121-200 g E3: >200 g	Materjali testimine (vastavalt EN373 meetodile): PVC film asetatakse mannekeeni selja taha ning sulatatud raua pritsmed (väikseim lubatud kogus vastavalt klassile) lendavad seljale. Nõude kohaselt ei tohi PVC film olla rikutud peale neljandat järjestikust testimist.

EN 470-1 / SS-EN ISO 11611:2007 - „Kaitserõivad keevitamisel ja teistel sarnastel töodel“ sisaldab varasemast rohkem materjalile ja rõivaesemele esitatud füüsilisi ja keemilisi nõudeid. Samuti on uus klassifikatsioon: Klass 1 vastab EN 470-1 temperatuuri tõustes sulametallipritsmete vastase kaitse nõuetele, Klass 2 omab kõrgemaid nõudeid soojuskonvektsiooni ja radiatsiooni suhtes. Kaitserõivastel on teatud nõudmised disaini suhtes, nt taskutel. Samuti on nõudmised rõiva süttivuse osas (EN 531 Kood A). Juhul kui materjal on tulekindel siis:

- a) ei tohi ilmnedu tule levikut
- b) ei tohi tekkida auke

c) materjal ei tohi puruneda ega mureneda

d) järelpõlemisaeg on max 2 sekundit

e) järelhõõgumisaeg on max 2 sekundit. [9]

Standard EN 533 – „Tule levikut piiravad materjalid ja materjalikombinatsioonid“ kehtestab nõuded materjali tule levikut piiravatele omadustele. Liigitussüsteemiks on:

Indeks 1: süttides ei levi materjalis tuli edasi, kuid tulega kokkupuutel võib auk sisse tekkida.

Indeks 2: süttides ei levi materjalis tuli edasi + tulega kokkupuutel ei teki auku.

Indeks 3: Indeks 2 + järelpõlemise aeg max 2 sek. [9]

Tuletõrjajatele lisandub ka muid standardeid. Näiteks juhul kui tegu on maastiku põlengutega, kehtivad tuletõrjajate vastavale kaitseriistusele standard ISO TC 94/SC 14/WG 3. See standard määrab ära tuletõrjaja optimaalse kaitserõivastuse maastiku põlengute korral. Selle kohaselt peavad kaitseriided:

a) lubama high aurustumist ning olema seega veeaurule läbilaskev

b) olema keha ümber lõtv, kerge ning hea ventilatsiooniga

c) kaitsma tuletõrjajat soojuskiirguse eest

d) lubama auruda 1-2 liitrit high tunnis

e) säilitama termilise tasakaalu ja mugavuse sõltumatult tulekahju intensiivsusest, ilmast ning tööde intensiivsusest ja kestvusest

f) minimaliseerima põletushaavade teket

g) minimaliseerida kuumaga kaasnevat väsimust ja stressi. [10]

5. TULEKINDLATE TEKSTIILIDE KASUTAMINE

Kuuma ja põlengute eest kaitsev rõivastus valitakse lähtuvalt kasutuse lõppeesmärgist. Tavalised eesmärgid on: kaitse lahtise leegi eest, kaitse sulanud materjalidega kokkupuutel tekkivate põletuste eest, kaitse soojuskiirguse eest. Sellistel juhtudel kasutatakse kuumakindlaid materjale, mis mõnikord peavad olema isegi mitmekihilised. Mitmekihilistel materjalidel on igal kihil oma ülesanne. Seega tuleb rõiva projekteerimisel arvestada iga

kihiga eraldi ja kõigega kokku. Lisaks sellele peab meeles pidama, et rõivaste kaitsefaktori moodustab kombinatsioon valitud materjalidest ja disainist. Kõrgema riskifaktoriga toodetel nõutakse sertifitseerimiseks ka eritingimusi disainis. [1][3]

Sellist mitmekihilist kaitserõivastust kannavad tuletõrjujad, elektriliinide elektrikud, võidusõidu- ja ralliautode piloodid, päästeteenistuse töötajad ning paljud teised. Nende rõivaste kasutamine, hooldus ja säilitamine on sätestatud vastavate standardite ja eeskirjadega. [1]

5.1. Tulekindlad tekstiilid igapäevaelus.

Tulekindlaid tekstiile ei kasutata mitte ainult sõjaväe ja tuletõrje kaitserõivastes. Väga suures koguses kasutatakse neid ka igapäevaelus nii et ka tavainimesed puutuvad nendega tihedalt kokku. Näiteks valmistatakse tulekindlatest tekstiilidest võidusõitjate vormiriideid ning tööriideid, mida kannavad töömehed ja ehitajad, kes võivad puutuda kokku lahtise leegiga. Tulekindlaid tekstiile ei kasutata ainult rõivatööstuses vaid ka muudes valdkondades. Transpordis mängivad nad suurt rolli, kuna tulekindlatest tekstiilidest on tehtud autode ja ühistranspordi istmed ning eriti tähtsad on need tekstiilid lennukites, kus tulekindlast materjalist on nii istmed, vahekardinad, kui ka tekid ja padjad, mida reisidel pakutakse. Tulekindlaid tekstiile leidub ka ühiskondlikes asutustes nagu büroohooned, koolid, kinod ja teatrid, kus üldjuhul on pehmemööbel ning eesriided, koos kardinade ja vaipadega kasvõi vähesel määral tulekindlad või leeki aeglustavad. Ka kodus keskkonnas leidub leeki aeglustavaid tekstiile. Enamus voodipesu, pehmemööblit ja madratseid on töödeldud leeki aeglustavate ühenditega. Ameerika Ühendriigid on isegi vastu võtnud määruse, millega hakati testima madratseid lahtise leegiga. Seda sama määrust tahetakse ka kehtestada voodipesule ning pehmemööblile. [7]

Täiskasvanute riided pole üldjuhul tulekindlad, kuna selleks puudub tarbija nõudlus ning puuduvad ka kindlad karmid standardid, mis seda nõuaks. Laste ööriided on aga tavaliselt leegi aeglustiga töödeldud puuvillast. Mida aeg edasi seda rohkem on aga hakatud töödeldud puuvilla asemel kasutama termoplastsest sünteetilist tekstiili. [7]

5.2. Tulekindlad tekstiilid sõjaväes

Sõjaväe personal, kes töötavad nii kinnistes ruumides nagu näiteks soomusautodes, laevades, allveelaevades ja lennukites kui ka maaväed, kes puutuvad kokku tuumarelvadega on kõik ohus saada erineva tasemega põletusi. Näiteks võib tuua põhilised ohud, mis on seotud tanki meeskonnaga (vt. tabel 6.1). [10]

Tanki meeskonna põhilised ohud.

Tabel 5.1.

Ohu allikas	Keskmine soojusvoog (kW/m ²)	Aeg esimeste vigastuste tekkimiseni (sek)
Kütuse põlemine	~150	7-12
Plahvatav lahingumoon	~200	<5
Läbistava lõhkekehaga pihta saamine	~500-560	<0,3

Selleks, et anda sõduritele suurem võimalus ellu jääda selliste ohtudega kokkupuutes olles, on sõdurite riietus alati tulekindel. Üks kõige enam kasutatavamaid tulekindlaid materjale näiteks Suurbritannia sõjaväes 2005 aastal oli Proban'iga töödeldud puuvill, kas siis iseseisvalt või seguna polüestriga. Selle eeliseks oli madal hind, hea kättesaadavus ja väike kokku tõmbumine leegiga kokkupuutel. Aga sellel materjalil oli ka halvemaid külgi nagu pikaajaline kandmine nõrgendas kiude ning materjali pesemine oli raskendatud. Meta-aramiid materjalid nagu Nomex, Conex ja Kermel olid üldjuhul kasutusel ainult erinevate spetsialistide poolt. See oli tingitud nende materjalide suurest maksumusest. Samad materjalid on jäänud ka tänapäeva kasutusse. Paljud riigid kasutavad endiselt tavasõdurite kaitserõivana tulekindlaks töödeldud puuvilla ja polüestri segu. Uuenduseks on aga külmade ilmade riietus, mis on valmistatud kolmekihilisest hingavast materjalist, mis muutab riided vetthülgavaks, tuulekindlaks ning leeki aeglustavaks, et tagada sõduri mugavus ja ohutus ka külmades tingimustes. Eriti külmade ilmade puhul on kasutusele võetud ka alusriided, mis on valmistatud meriino villast ning leeki aeglustavast materjalist nagu Lenzig FR. Kasutusel on endiselt ka Nomex ja Kevlar, kuid need esinevad üldjuhul vastavalt lendurite kaitseriietuses ning kuulivestides. [10][11]

5.2.1 Sõjaväe lendurite kaitserõivastus

Sõjaväe lendurite kaitserõivastust on uuritud juba mitmeid aastaid. Varasemate uuringute eesmärgiks oli võrrelda tavalisi kasutusel olevaid lenduri riietusi uute aramiid ja aramiidsegudega materjalidega, mis oleksid tulekindlad. Teostati mitmeid katseid erinevate mitmekihiliste kaitseriiete ning aluspesu kombinatsioonidega. Tulemuseks oli see, et parema kaitse keskkonnategurite vastu andis mitmekihiline materjal, mitte mitu kihti kõrgsuutlikut materjali. Lisaks jõuti järeldusele, et selle mitmekihilise materjali pealne kiht pidi olema tulekindlast materjalist, kuna juhul kui tulekindlale kihile teine kiht peale panna kaotati tulekindla kihi kasulikkus ära. Kuigi katsete käigus ei tulnud kindlale järeldusele, et tulekindla aluspesu kandmine vajalik oleks, leiti, et see pakub rohkem kaitset, eriti siis kui lendurid kannavad kergetest tekstiilidest valmistatud kostüüme, mida sõjavägi tihti nõuab. Samas tekkis probleeme meta-aramiid materjalidega, kuna nad olid küll tulekindlad aga kokkupuutel kuumaga hakkavad nad kahanema ning võivad katki minna kui kaitserõiva kandja kiireid ja äkilisi liigutusi teeb. Seega võeti pikemat aega kasutusele kaitserõivastus, mis koosnes suletud pooridega PVC vahust, mille sisse oli torgatud augud ja mille mõlemale poole õmmeldi hüdrofiilne materjal. Tulemuseks oli lenduri kostüüm, mis kaitses hüpotermia vastu, juhul kui lendur juhuslikult külma vette kukkus. Lisaks sellele testiti seda kostüümi hetk põlengutega ning tulemuseks oli suurepärase vastupidavusega 80 kW/m^2 väärtusega soojusvoole. Tänapäeval on aga sõjavägedes lendurite kaitseriieetus valmistatud üldjuhul Nomexi ning Kevlari segust, kus ligikaudu 90% sellest on Nomex. See kooslus ühendab endas tulekindluse, mugavuse ja vastupidavuse. Lisaks sellele on see kostüüm suhteliselt kerge ning kaalub ligikaudu 4,5 kg ning seda on lihtne kanda. [10][12]

5.3. Tuletõrjujate riieetus

Tuletõrjujate riieetus peab vastama paljudele tingimustele ning täitma erinevaid funktsioone, millest kõige tähtsamad on kaitse kuumuse ja leekide vastu. Tuletõrjujatel on kahte sorti kaitserõivad olenevalt tulekahju tüübist. Tavaliste põlengute puhul koosneb tuletõrjujate kaitserõivastus leegi aeglustiga pealiskihiga ja sisevoodrist, mis koosneb niiskustõkkest, termobarjäärpinnast ning voodri materjalist. Maastiku põlengute puhul on kaitseriieetus ühe

või kahe kihiline riietus. Välimine kiht seda tüüpi kaitserõivast peegeldab soojuskiirgust tänu riide aluminiseeritud välispinnale. [10]

Tuletõrjajate kaitseriide välimine kiht on esimene kaitsevahend tulekahjus. See tagab tulekindluse, kaitse kuumuse eest ja ka mehaanilise kaitse lõigete, rebenemiste ja marrastuste vastu. Pikemat aega kasutati selle väliskihi jaoks tulekindlaid kiude nagu aromaatsaid polüamiide ja polübensimidiasool kiudu (PBI). Kuigi seda välispinda saab ka valmistada teistest turul olevatest kiududest. Aastatega on meta- ja para- aramiidide segude populaarsus kasvanud ning esile on kerkinud Nomex III ehk Nomexi ja Kevlari segu ning X-Fiber, mis on Conexi ja Technora segu. Paljud riigid kasutavadki tänapäeval Tuletõrjajate kaitseriieetuse valmistamiseks Nomexi ja Kevlari segu. Samas Prantsusmaal on siiani osades kohtades kasutusel polüamiid-imiid nimega Kermel. Lisaks eespool mainitud tulekindlatele kiududele kasutatakse maastiku tulekahjude korral kasutatavates kaitserõivastes ka materjale, millel on tulekindel viimistlus. Nendeks viimistlusteks on näiteks Proban või Pyrovatex. Viimistluste puhul peab aga meeles pidama, et kaitse peaks vähemalt 50 pesukorrale vastu. [10]

Kaitseriieetuse töödeldud vooder hoiab ära kuumuse ülekande väliskeskkonnast kehale. See võib koosneda laustekstiilist, mittekootud, tepitud, lamineeritud või koostud tekstiilist. Selle kaitstva kihi võib moodustada ka kootud tekstiil väliskihi ja voodri vahel, mis kokkuvõttes annaks suurima soojusisolatsiooni samal ajal lubades higistamisega kaasneval liigsel niiskusel eralduda. Kaitserõiva sisemine vooder on üldjuhul tehtud leeki aeglustavate materjalidega või nende segudega. Kui rõiva välimine kiht ja vooder on mõlemad sarnase kiulise koostisega siis muudab see riide eest hooldamise lihtsamaks. [10]

6. TULEKINDLATE TEKSTIILIDEGA KAASNEVAD KESK- KONNAPROBLEEMID NING NENDE ENNETAMINE

Viimase paarikümne aasta jooksul on inimeste teadlikkus kemikaalide mõjude, toksilisuse ning nende võimalike ohtude kohta kiiresti kasvanud. Suur hulk tulekindlust tagavaid aineid on oma kahjulikke omaduste tõttu erinevate rahvusvaheliste keskkonnakomiteede nimekirjas. Paljude nende ainete kasutamine on piiratud või üldse keelatud. Praegusel hetkel on tetrabroombisfenool (TBBPA), dekabromadifenüüleeter (dekaBDE) ja HBCD ühed levinumad broomil baseeruvatest leegiaeglustajatest. DekabDE'd leidub peamiselt

leegiaeglustina plastist korpustes, mida kasutatakse elektri- ja elektroonikaseadmetes, kuid ka tekstiilides, millest valmistatakse mööblit. HBCD'd kasutatakse põhiliselt polüstüreenist isolatsioonides ning erinevate tulekindlate tekstiilide valmistamiseks. [13]

Teaduslikud ning poliitilised arutlused on keskendunud peamiselt eespool mainitud ainetele seoses nendest eralduvate väikeste osakestega, mille kogus on viimaste aastate jooksul ülemaailmselt kasvanud. Uurimuste käigus on neid leitud tolmust, mikroorganismides, kaladest ning loomadest nagu jääkarud, hülged ja röövlinnud. Kemikaalide jääke on leitud isegi inimese verest, kudetest ning rinnapiimast. [3]

Nii penta-, okta- kui ka dekabromodifenüüleetri seonduvaid keskkonnanriske on lähiminevikus põhjalikult hinnatud ning selle tulemuseks on Euroopa Liidu 2003 aasta direktiiv, mis keelab penta- ja okta bromodifenüüleetri kasutamise. 2008. aastal keelati Euroopas ära ka dekaBDE kasutamine elektri- ja elektroonikaseadmetes. Ning Norras ja Rootsis on eraldi siseriiklikud seadused, mis on kehtestanud eraldi keelud ning piirid dekaBDE kasutamisele. Lisaks sellele algatas Ameerika Ühendriikide keskkonnakaitse agentuur ehk EPA 2009. aasta lõpul dekaBDE väljajuurutamise programmi „*DecaBDE Phase-out Initiative*“. Läbirääkimised viidi läbi kahe suurima dekaBDE tootjaga ning suurima sissevedajaga. Kõik kolm ettevõtet olid nõus vähendama 2012. aasta lõpuks järk-järgult dekaBDE'st valmistatud tarbekaupade tootmist, sissevedu ning müüki ning 2013. aasta lõpuks kemikaali kasutamise täielikult lõpetama. Selle EPA algatusega on aastate vältel liitunud ka teised väiksemad dekaBDE tootjad ning sissevedajad. [3][14]

Uuringud on näidanud, et dekaBDE püsib keskkonnas pikemat aega ka pärast toote hävimist, võib tekitada vähki ning isegi mõjutada aju funktsioone. DekabDE ka laguneb ning moodustab sellega mürgiseid kõrvalsaadusi, mida leidub keskkonnas viimastel aastatel aina sagedasemalt. Et kemikaalide ohte piirata ning nende levikut vähendada on Euroopa Liit 2007. aasta võtnud vastu REACH määruse. Vastavalt REACH määrusele peavad ettevõtted tuvastama ja haldama Euroopa Liidus toodetavate ja turustatavate ainetega kaasnevaid riske. Nad peavad näitama Euroopa Kemikaaliametile (ECHA), kuidas ainet ohutult kasutada, ning tutvustama kasutajatele riskijuhtimismeetmeid. Juhul kui riske ei ole võimalik vähendada, võivad ametiasutused eri viisidel piirata ainete kasutamist, kuid pikemas perspektiivis peaks kõige ohtlikumad ained asendama vähem ohtlikega. Määruse täitmiseks REACH määruse peamine eesmärk on inimeste tervise ning keskkonna kaitse kemikaalide poolt püstitatud riskide eest samal ajal suurendades kemikaalitööstuse konkurentsivõimet. Samuti edendab see ainete ohtlikkuse hindamise alternatiivseid meetodeid, et vähendada loomkatsete arvu. [15]

Lisaks eelpool mainitud ainetele on keskkonnakahjulikkuse tõttu keelatud ka teisi aineid. Näiteks järgnevad halogeenitud leegiaeglustid on keelatud rõivaste tulekindlaks tegemisel:

1. Tris(2,3-dibromo-1-propüül)fosfaat
2. Tris(asiridinüül)fosfiinoksiid
3. Polübromobifenüül

Euroopa Liidu komisjoni vaatluse alla on sattunud ka antimoni trioksiidi kasutamine sünergistina koos halogeeni põhiste leegiaeglustitega, mida kasutatakse tekstiilmaterjalide kattekihina, või isegi tekstiilide enda koostises ning leeki aeglustavate värvide koostises. Rahvusvaheline antimoni assotsiatsioon (International Antimon Association) aga on Euroopa Liidu RoHS määruuses nimetatud antimonoksiidide keelu vastu, kuna organisatsiooni sõnul pole suudetud leida veenvaid tõendeid antimonoksiidide toksilisuse või keskkonna mõjude kohta. [3]

Mõnedes riikides ei pruugi olla võimalik kohalike õigusaktide põhjal moodustada jätkusuutlik inimkonna ja keskkonna kaitse, kuna paljud kemikaalid on looduses pikka aega muutumatul kujul ning nad on võimelised levima üle suurte piirkondade. Selleks on moodustatud Stockholmi konventsioon, mis koosneb enam kui 160'st riigist. Stockholmi püsivate orgaaniliste saasteainete konventsioon keelustab või piirab keskkonnale, seal hulgas inimese tervisele kõige ohtlikumate püsivate toksiliste halogeen-orgaaniliste ühendite tootmist ja kasutamist. Püsivateks orgaanilisteks saasteaineteks loetakse ühendeid, mis oma mürgisuse, püsivuse ja bioakumuleeruvuse tõttu ohustavad inimeste tervist ning kahjustavad elusorganisme ja ökosüsteeme. Seega selleks et lahendada kahjulike kemikaalide kasutamisega kaasnevaid keskkonna ning terviseprobleeme on vaja tugevat koostööd riikide ja rahvusvaheliste organisatsioonide vahel. [3][16]

7. TULEKINDLATE TEKSTIILIDE TULEVIKU ARENGU-SUUNAD

Kaitserõivastus pakub kaitset erinevat liiki keskkonnariskide eest, selleks et säilitada inimeste tervis ning ohutus. Kaitserõivaste tehnoloogia tulevik keskendub ennekõige disainile ning uute materjalide, struktuuride või töötluste väljaarendamisele, mis muudaksid tulevikus

kaitserõivad efektiivsemaks ning mugavamaks. Tuleviku trendideks peetakse ka rohkem teoreetilist tööd ning erinevaid simulatsioone, mis pakuvad olulisi konstrueerimise vahendeid ning täpset infot. Lisaks sellele on need meetodid odavamad, kergemad ning vähem ohtlikud kui suurte eksperimentide korraldamine. [3]

Tähtsat rolli kaitsetekstiilide tuleviku arengusuunades mängivad nanotehnoloogia ja inteltekstiilmaterjalid ehk targad tekstiilid. [3]

Nano materjale võib lisada tekstiilile, nii polümeeride tootmisprotsessis, kui ka hiljem viimistlusetapis, et teha nanoviimistlusega tekstiile. Mikro- ja nanokapseldus on võimeline pakkuma väga tõhusaid meetodeid, mis võimaldavad tekstiili viia erinevaid ühendeid nagu näiteks antibakteriaalseid aineid. Lisaks sellele muudab nanokiudude suur pinna ja ruumala suhe nad suurepäraseks tõrjematerjalideks. Nanokiududest moodustatava struktuuri poorsus muudab ka tekstiili mugavaks. Juba praegu on esile kerkinud polümersavist nano komposiidid, mis omavad kõrgendatud tõmbetugevust ja kuumakindlust ning väiksemat läbitavust gaaside poolt. [3][10]

Inteltekstiilide kasutuselevõtt kaitserõivastuses ei võimalda mitte ainult kergelt tuvastada erinevaid ohte vaid ka on suuteline programmeeritavate reaktsioonidega kaitsta kaitserõivastuse kasutajat. Juba tänapäeval on hakatud aina rohkem kasutusele võtma intelmaterjale. Näiteks edukalt on neid kasutatud kosmoses kasutatavates skafandrites ning sõjaväelaste riietuse, kuhu oli sisse töödatud GPS seade. Kantavaid elektroonika seadmeid disainitakse aina juurde, selleks et vastata uutele ning innovatiivsetele ootustele nii sõjaväes, tervishoius, kosmosetehnoloogias, avalikus julgeolekus ja spordis. Keerukamate intelmaterjalide väljatöötamine ning kasutamine tulevikus muudab kaitserõivad usaldusväärsemaks, turvalisemaks ning mugavamaks.[3][10]

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida erinevaid tulekindlaid tekstiile ning nende omadusi, samal ajal silmas pidades nende tulevase kasutamise valdkondi. Töös on käsitletud tulekindlaid tekstiile, mis on saadud nii tulekindlatest kiududest kui ka tänu viimistlusele. Välja on toodud nende tekstiilide positiivsed omadused ning probleemid. Samuti on lühidalt käsitletud igat liiki kiu või viimistluse kasutamisvaldkondi ning pikemalt on peatunud tulekindlate tekstiilide kasutamise juures. Sellest tulenevalt võib öelda, et töö eesmärk on saavutatud.

Bakalaureusetöö käigus saadud materjali põhjal võib järeldada, et tulekindlad tekstiilid on ajaloo käigus muutunud omadustelt aina paremaks ning ka nende kasutamine on levinud paljudesse erinevatesse valdkondadesse. Sellised tekstiilid on jõudnud nii kaugemale, et üldjuhul kõigil inimestel on nendega ka kokkupuude igapäevaelus, kas siis kodus olemasolevate vaipade, kardinade või transpordivahendite näol. Kuna neid tekstiile kasutatakse nii paljudes erinevates kohtades ning tuli osutab endiselt suurt ohtu inimese tervisele ja heaolule, üritatakse ka tänapäeval tulekindlaid tekstiile uuendada muutes neid mugavamaks ning usaldusväärsemaks.

Töö alguses püstitati ka kaks hüpoteesi. Esimeseks hüpoteesiks oli see, et paremad tulekindlad tekstiilid on valmistatud tulekindlatest kiududest, mitte viimistluse teel saadud. See hüpotees leidis tõestust, kuna võrreldes tulekindlate kiudude ja viimistluste omadusi, selgus, et tulekindlatel kiududel on tunduvalt kõrgem LOI arv ning seega suudavad nad kõrgematele temperatuuridele kauem vastu pidada. Kuigi kõige tähtsamad omadused on tulekindlatest kiududest valmistatud tekstiilidel paremad, on nad raskemad ning ka kallimad kui viimistlusega tekstiilid. Seega kokkupuutel väga kõrgete temperatuuridega ning lahtise leegiga, on üldjuhul otstarbekam valida tulekindlast kiust valmistatud toode, kuid peab arvestama, et selle pikaajaline kasutamine võib raskuse tõttu olla ebamugav.

Teiseks hüpoteesiks oli see, et eluohtlikes valdkondades (tuletõrje, sõjavägi) kasutatakse enamjaolt tulekindlatest kiududest valmistatud tekstiile. See hüpotees leidis kindlasti tõestust tuletõrjajate kaitseriituse puhul, kuna kuigi nende kaitseriitetus on mitmekihiline, siis nende pealmine kiht ning ka vooder on tavaliselt tehtud tulekindlatest kiududest. Vajaduse korral

võib lisada ka erinevaid tulekindlaid viimistlusi, kuid seda tavaliselt ei tehta. Mõningaid probleeme tekitab hüpoteesi tõestamine sõjaväelaste poolt kasutatavate kaitserõivaste puhul. Nimelt töö käigus selgus, et tavasõdurite kaitseriietustes kasutatakse enamjaolt endiselt tulekindlaks töödeldud puuvilla ja polüestri segu ning ainult erinevad spetsialistid ning eriüksuslased kasutavad tulekindlatest kiududest valmistatud kaitserõivaid. Samas, kuna tavasõdurite varustuses on ka kuulivestid ning talvel kasutatavad kaitserõivad, mis on üldjuhul valmistatud tulekindlatest kiududest, võib lugeda ka sellel korral hüpoteesi tõestatuks. Kokkuvõttes võib öelda, et bakalaureusetöö eesmärk on saavutatud ning töös esitatud hüpoteesid on leidnud tõestust.

SUMMARY

Fire resistant textiles and their usage

The aim of this Bachelor's thesis was to research different types of fire resistant textiles and their properties, keeping in mind their future usage. The thesis was written using different books and webpages about fire resistant textiles in estonian, english and german.

This Bachelor's thesis consists of seven main chapters and provides a comprehensive overview of fire resistant textiles. The first chapter provides an answer to the question, what are fire resistant textiles and how they are evaluated. The second and third chapter introduce the most well-known fire resistant fibers and different methods to get flame retardant durable finishes. The fourth chapter of the thesis concentrates on different fire resistant standards put on textiles and even gives some examples on how the standards are tested. The fifth chapter gives an overview of different usages for the textiles, but focuses more on firefighting and military use. The sixth chapter talks about different environmental issues related to flame retardants and the thesis is concluded with fire resistant textile future trends.

In the beginning of the thesis, there were two hypothesis. The first one stated that fire resistant textiles made from inherently flame retardant fibers are better than textiles with flame resistant finish. This Hypothesis was confirmed, because textiles out of inherently flame retardant fibers gave significantly better and longer protection, although generally they were heavier and also more expensive.

The second hypothesis stated that generally textiles made from fire retardant fibers are used by people working in life threatening areas (firefighters, soldiers). Also this hypothesis was confirmed. Even though firefighters use multi-layer garments both the outer and the inner layer are made of fire resistant fibers. When it comes to soldiers it is difficult to confirm the hypothesis, because regular soldiers usually wear fire resistant clothes made from textiles with flame retardant finish and only people from special forces wear armour made of fire resistant fibers. But because regular soldiers also wear bulletproof vests, which are usually made of materials that are made from fireproof fibers, it probably can be said that the hypothesis is confirmed.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Viikna, A., Kõrgsuutlikud kiud ja materjalid, 2007, TTÜ kirjastus
2. Viikna, A., Tekstiilikeemia III, 2005, TTÜ kirjastus
3. Pan, N.; Sun, G., „Functional Textiles for Improved Performance, Protection and Health“, 2011, Woodhead Publishing
4. [www]<http://www.tex.tuiasi.ro/biblioteca/carti/CARTI/Textile/Handbook%20of%20Technical%20Textiles/013.pdf>
5. [www]<http://www.lenzing.com/>
6. Chapman, R. A., Applications of Nonwovens in Technical Textiles, 2010, Woodhead Publishing
7. Weil, Edward D.; Levchik, Sergei V., Flame Retardants for Plastics and Textiles - Practical Applications, 2009, Hanser Publishers
8. Beard, A. Flame Retardants – Frequently asked questions, 2007, http://www.flameretardants-online.com/images/userdata/pdf/168_DE.pdf
9. [www]http://www.bjornklader.ee/UserFiles/File/07_BK_Tulekindel.pdf
10. [www]<http://www.springfieldllc.com/fullpanel/uploads/files/mil-flight-suit-wb-3-13-00002.pdf>
11. Scott, Richard A., Textiles for Protection, 2005, Woodhead Publishing
12. [www] <http://www.brucktextiles.com.au/military-security-fabrics/military>
13. Saksamaa Keskkonnaamet, Bromierte Flammschutzmittel- Schutzengel mit schlechten eigenschaften?, 2008, <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3521.pdf>
14. [www] <http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/actionplans/deccadbe.html>
15. [www] <http://echa.europa.eu/et/regulations/reach/understanding-reach>
16. [www] <http://www.envir.ee/1141190>