

Uporabna svojstva vatrogasnog interventnog odijela

Jeleč, Vlatka

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Textile Technology / Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:201:903383>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Textile Technology University of Zagreb - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

DIPLOMSKI RAD

**UPORABNA SVOJSTVA VATROGASNOG INTERVENTNOG
ODIJELA**

Vlatka Jeleč

Zagreb, rujan 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
Zavod za odjevnu tehnologiju

DIPLOMSKI RAD

**UPORABNA SVOJSTVA VATROGASNOG INTERVENTNOG
ODIJELA**

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Anica Hursa Šajatović

Autor:

Vlatka Jeleč 10426/TTI-OI

Zagreb, rujan 2018.

Zahvaljujem tvrtki Odjeća d.o.o. iz Zagreba na ustupljenim uzorcima za ispitivanje i realizaciju diplomskog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Anici Hursi Šajatović, izv. prof. dr. sc. Sanji Ercegović Ražić te asistentici Jeleni Peran na korisnim savjetima i pomoći koju su mi pružile pri izradi ovog rada.

Najiskrenija zahvala mojoj majci na financijskoj i moralnoj podršci tijekom studiranja.

Diplomski rad izrađen je na Sveučilištu u Zagrebu Tekstilno-tehnološkom fakultetu, na Zavodu za materijale, vlakna i ispitivanje tekstila i Zavodu za odjevnu tehnologiju.

Rad sadrži:

Broj stranica: 55

Broj tablica: 13

Broj slika: 25

Broj formula: 6

Broj literaturnih izvora: 21

Članovi povjerenstva:

1. Izv. prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić, predsjednik
2. Izv. prof. dr. sc. Anica Hursa Šajatović, član
3. Doc. dr. sc. Renata Hrženjak, član
4. Prof. dr. sc. Branka Vojnović, zamjenik člana

Rad je pohranjen u knjižnici Tekstilno-tehnološkog fakulteta u Zagrebu, Prilaz baruna Filipovića 28a.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. Opasnosti za zdravlje vatrogasaca i utjecaj osobne zaštitne opreme	2
2.1. Učinkovitost zaštitne odjeće.....	4
2.2. Zaštitna odjeća prema zaštitnoj funkciji.....	6
2.2.1. Kemijska zaštitna odjeća	6
2.2.2. Toplinska zaštitna odjeća	7
2.2.3. Tehnička zaštitna odjeća	7
2.2.4. Odjeća za zaštitu od hladnoće i nevremena.....	8
2.2.6. Vatrogasna odjeća za strukturne požare	9
2.2.7. Vatrogasna odjeća za požare otvorenog tipa (šumski požari).....	11
2.2.8. Reflektirajuća odjeća za posebno gašenje požara	13
2.3. Materijali za izradu toplinske zaštitne odjeće	14
2.3.1. Funkcija zaštitnih slojeva materijala	18
2.4. Ostala zaštitna oprema za vatrogasce.....	18
2.5. Održavanje i testiranje odjevnih sustava za zaštitu od topline i plamena	22
2.6. Inteligentna vatrogasna odjeća	25
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	29
3.1. Postupci i uređaji	29
3.1.1. Utvrđivanje dimenzijskih i konstrukcijskih karakteristika plošnih proizvoda.....	29
3.1.2. Određivanje savojne čvrstoće.....	32
3.1.3. Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja	32
3.1.4. Ispitivanje otpornosti materijala na plošno habanje primjenom habalice po Martindale-u	33
3.1.5. Ispitivanje otpornosti na gorenje primjenom vertikalnog testa	35
3.1.6. Ispitivanje vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka	36
4. REZULTATI I RASPRAVA	38
4.1. Rezultati utvrđivanja dimenzijskih i konstrukcijskih karakteristika plošnih proizvoda	38
4.2. Rezultati određivanja savojne čvrstoće	41
4.3. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja.....	43
4.4. Rezultati ispitivanja otpornosti materijala na plošno habanje primjenom habalice po Martindale-u	47
4.5. Rezultati ispitivanja otpornosti na gorenje primjenom vertikalnog testa.....	50
4.6. Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka	52

5. ZAKLJUČAK	53
LITERATURA.....	54

SAŽETAK

Odijevanje je jedna od temeljnih ljudskih potreba, a odjeća štiti tijelo od vanjskih utjecaja. Osobna zaštitna oprema u vatrogastvu predstavlja posljednju liniju obrane zdravlja i života radnika. Na učinkovitost obavljanja radnih aktivnosti vatrogasaca utječe odjevni sustav s cjelokupnom opremom za zaštitu od topline i plamena. Stupanj zaštitnog djelovanja materijala, od kojih se izrađuju interventna vatrogasna odijela, ovisi o sastavu i konstrukciji materijala, kao i količini topline i vremenu izloženosti. Zaštita koju odjevni sustavi moraju pružiti je u prvom redu nezapaljivost odjeće.

U eksperimentalnom dijelu rada provedena je analiza materijala za izradu vatrogasnog interventnog odijela. Provedena su ispitivanja uporabnih (mehaničkih i fizikalnih svojstava, konstrukcijskih karakteristika materijala, otpornost na habanje, vodonepropusnost i dr.) i funkcionalnih svojstava primjenom normiranih metoda ispitivanja.

Ključne riječi: zaštitna odjeća, vatrogasci, materijali i ispitivanje materijala

1. UVOD

Tijekom rada, vatrogasac je izložen različitim štetnostima i opasnostima u okolini. Opasnosti na radnom mjestu i negativni utjecajni faktori određuju se analizom sigurnosti, odnosno procjenom rizika. Tijekom požara temperature kojima su izložene površine zaštitne odjeće i opreme mogu doseći do 600°C, a kod požara zapaljivih tekućina mogu se razviti temperature i do 1200°C [1, 2].

Funkcija zaštitne odjeće je zaštititi ljudsko tijelo od štetnih utjecaja, a njen učinak zaštite uglavnom ovisi o karakteristikama materijala od kojih je izrađena, kao i o načinu izrade. Ukoliko temperatura tijela prelazi 41,5°C dolazi do otkazivanja vitalnih organa, a naposljetku i smrti zbog čega je iznimno važno adekvatno se zaštititi. Osim toga, dobar odabir zaštitne odjeće uvelike utječe na pojavu toplinskog stresa, odnosno na prevenciju pojave istog [2 – 4].

Vatrogasci su najizloženiji mehaničkim opasnostima, padovima i rušenjima, utjecaju općenitih opasnosti pri radu na otvorenom (promet motornih vozila, loše vrijeme i slaba uočljivost), udaru električne struje, eksplozijama i hladnim tvarima. Štetnosti kojima su izloženi jesu: kemijske tvari, fizikalne štetnosti, biološke štetnosti te umor i iscrpljenost [5].

Zaštitna odjeća za vatrogasce, kao i zaštitna odjeća općenito, predviđena je da zaštiti korisnika od jedne ili više opasnosti istovremeno. Međutim, nabavu zaštitnih odjevnih sustava unutar određenih radnih vatrogasnih društava i jedinica diktiraju cijene pa dolazi do velikog raspona u kakvoći između zaštitnih odjevnih sustava koji su u trenutačnoj upotrebi, što znači da dolazi i do razlike u samoj zaštiti. Stoga je nužno odjevne sustave za zaštitu od topline i plamena opremiti informacijama o tome koliko dugo odjevni predmet pruža dostatnu zaštitu prilikom njege, nošenja i izlaganja vatri [5, 6].

U ovom radu istražena su svojstva triju materijala koja se koriste za izradu vatrogasnog interventnog odijela trgovačkih naziva *NomexTM*, *Lainer membrana Sympatex[®]* i *silikonizirani Kevlar[®]*. Na temelju istraživanja i ispitivanja navedenih materijala doneseni su zaključci o prikladnosti materijala za izradu vatrogasnog odijela.

2. Opasnosti za zdravlje vatrogasaca i utjecaj osobne zaštitne opreme

Uslijed izloženosti vatrogasaca visokim temperaturama moguće su povrede kože zbog toplinskog djelovanja koje može biti direkto ili zračenjem, a stupanj povrede ovisi o tome koliko se povisila temperatura površine kože. Normalna temperatura ljudskog tijela je 36,6°C, dok pri povećanju na temperaturu od 45°C čovjek osjeća bolove. Porastom temperature pojavljuju se tjelesne ozljede koje se ne osjećaju odmah. Pri temperaturama ljudskog tijela višim od 55°C pojavljuju se opekline i oštećenja kože. Opekline se mogu klasificirati od osjetljivosti na bol pa do opekline I., II., III. i IV. stupnja. Vrste opekline ovise o vrijednostima apsorbirane količine toplinskog toka, količini topline, te vremenu izloženosti izvoru topline. Opekline I. stupnja nisu jako rizične, pa radnik može napustiti prostor s vatrom i samostalno potražiti potrebnu pomoć, dok kod opekline II. i III. stupnja više ne može obavljati radne aktivnosti, a može se dogoditi i trajna ozljeda zbog koje više nije sposoban za rad. Osim toga, pri temperaturama tijela od 37-39,5°C kod radnika se mogu javiti vrtoglavica, glavobolja, euforija i psihoze kao i grčevi zbog narušene ravnoteže elektrolita u tjelesnim tekućinama. Temperature tijela od 39,5-41,5°C uzrokuju ozbiljne opasnosti vitalnih funkcija i potenciraju nastanak moždanog udara, vrlo ozbiljnog i složenog stanja koje zahtijeva hitnu medicinsku intervenciju. Pojavljuje se zbunjenost, povraćanje, smanjuje se stupanj svijesti i dolazi do kome. Bez hitne medicinske pomoći vrlo brzo može nastupiti smrt, a ukoliko osoba preživi posljedice mogu biti i trajne. Otkaz vitalnih organa, naposljetku i smrt događa se ukoliko temperatura tijela prelazi 41,5°C [2, 3].

Vatrogasci se prilikom obavljanja svog posla susreću i sa raznim oblicima toplinskog stresa koji se manifestira na različite načine, a njegovi učinci na vatrogasca ovise o vremenu izloženosti visokim temperaturama, intenzitetu napora, kvaliteti zaštitne odjeće te tjelesnoj kondiciji i zdravstvenom stanju vatrogasca. U slučaju da lakši oblici toplinskog stresa napreduju bez tretmana, postaju sve izraženiji i prelaze u sve višu kategoriju. Prema uzlaznom redu, u kategorije su uključeni: toplinski edem, toplinski grčevi, toplinski osip, toplinska hiperventilacija, toplinska nesvijest, toplinska iscrpljenost i na kraju toplinski udar. Vatrogasci često simptome toplinskog stresa primijete tek nakon završetka intervencije uzimajući kratke pauze bez prijave simptoma nadređenima te nastavljaju s intervencijom. Važno je naglasiti kako dobar odabir zaštitne odjeće uvelike utječe na pojavu toplinskog stresa, odnosno na prevenciju pojave istog [2, 4].

Ostale ugroze, odnosno štetnosti i opasnosti koje mogu ugroziti ljudske živote i nanjeti materijalne štete, a kojima su vatrogasci najizloženiji, opisane su u nastavku [5]:

- Mehaničke opasnosti – udar o različite (oštre i šiljate) predmete i objekte, nekontrolirano odlijetanje predmeta
 - ✓ Posljedice su nagnječenja, porezotine i rane
- Padovi i rušenja – pad predmeta i objekata, pad na ravnini, pad s povišenog i u dubinu, poskliznuća, spoticanja, klizavost, zakrčenost, neravno tlo
 - ✓ Posljedice su uganuća, nagnječenja, iščašenja, prijelomi, višestruke ozljede
- Utjecaj općenitih opasnosti pri radu na otvorenom – promet motornih vozila, loše vrijeme, slaba uočljivost
- Električna struja – udar električne struje
 - Posljedice su smrt zbog grčenja dišnih mišića i otkazivanje srca
 - Električni šok – opekline na mjestu kontakta, gubitak svijesti, grčenje mišića, smetnje disanja, povišenje krvnog tlaka, poremetnje srčanog ritma
 - Trajne posljedice – poremcāj srčanog ritma, oštećenje perifernih krvnih žila, oštećenje mozga i živaca, oštećenje sluha i ravnoteže, zamućenje leće, oštećenje bubrega, ožiljci od opekline.
- Eksplozija – blast i crush ozljede, geleri
 - gubitak vida, sluha, ozljede organa, smrt
- Hladne tvari – smrzotine (hipotermija)
 - Smrzotine - zahvaćeno područje je hladno, tvrdo, bijelo i obamrlo, a kada se zagrije postaje mrljasto crveno, otečeno i bolno. Plikovi nastaju za 4–6 h, međutim puni opseg ozljede se može očitovati tek nakon nekoliko dana. Svi stupnjevi smrzotine mogu uzrokovati dugotrajne neuropatske simptome kao što su preosjetljivost na hladnoću, pretjerano znojenje, nepravilan rast noktiju i obamrlost [2].

Moguće štetnosti prilikom gašenja jesu [5]:















- Kemijske tvari – plinovi sagorijevanja: zagušljivci (ugljičkov dioksid, ugljičkov monoksid, cijanovodik, sumporovodik) uzrokuju nedostatak kisika, nadražljivci (sumporov dioksid, sumporov trioksid, aldehidi, fozgen, dušikovi oksidi) uzrokuju iritacije dišnog sustava.
 - Tvari štetne za zdravlje: korozivi, nadražljivci kože, otrovi, mutageni, kancerogeni
- Fizikalne štetnosti – buka, vibracije, zračenje.
- Biološke štetnosti – prijenos krvlju (hepatitis B, C, sida), ubodi od krpelja (krpeljni meningoencefalitis), ubodi inekata kao što su ose i stršljenovi (alergijske i toksične lokalizirane i generalizirane reakcije), ugrizi životinja, najčešće zmija (toksične reakcije) te tetanus i infekcije kao posljedica neočišćenih rana.
- Izloženost sunčevu zračenju – toplinsko zračenje (opekline), ultraljubičasto zračenje (upala kože, melanom kože)
- Umor i iscrpljenost – rezultira smanjenjem radne sposobnosti i opadanjem efikasnosti rada zbog čega može doći do ugrožavanja vlastite sigurnosti i sigurnosti ostalih sudionika.

2.1. Učinkovitost zaštitne odjeće

Prema definiciji, zaštitna odjeća je osobna zaštitna oprema čija je funkcija zaštititi ljudsko tijelo od štetnih utjecaja. Učinak zaštitne odjeće uglavnom ovisi o karakteristikama materijala od kojih je izrađena, kao i o načinu izrade odjeće [6].

Opća norma za zaštitnu odjeću, koja je prihvaćena i primjenjuje se u Republici Hrvatskoj kao hrvatska norma je HRN EN 340:2015. Norma definira zaštitnu odjeću kao odjeću koja pokriva ili zamjenjuje osobnu odjeću te pruža zaštitu od jednog ili više rizika koji mogu ugrožavati sigurnost i zdravlje osoba. Ova norma ne može se koristiti samostalno, već isključivo u kombinaciji sa nekom drugom normom koja sadrži zahtjeve za specifičnim svojstvima odjeće koja mora pružiti odgovarajuću zaštitu na radu. U normi su opisani piktogrami i odgovarajuće norme koje se primjenjuju kod zaštitne odjeće (tab. 1).

Tab. 1: Piktogrami za primjenu zaštitne odjeće [8]

	Zaštita od zahvaćanja pokretnim dijelovima EN 510		Zaštita od hladnoće EN 342
	Zaštita od kemikalija EN 943, EN 13034, EN 14605		Zaštita od kiše EN 343
	Zaštita od statičkog elektriciteta EN 1149		Zaštita pri radu s motornom pilom EN 381
	Zaštita od topline i plamena EN 469, EN ISO 11612, EN ISO14116, EN ISO 1486		Zaštita od posjeklina i uboda ručnim nožem EN ISO 13998
	Zaštita od radioaktivne kontaminacije EN 1703		Zaštita od mikroorganizama EN 374
	Zaštita kod zavarivanja EN ISO 11611		Upozoravajuća odjeća visoke uočljivosti EN 471, EN 1150
	Zaštitna odjeća za vatrogasce EN 469		Odjeća za zaštitu pri radu s mlazom abraziva EN ISO 14877

U namjeri da se omogući što sigurniji rad na rizičnim mjestima razvijena su vlakna i materijali koji štite radnika od mogućih opasnosti na radnome mjestu. Razvojem novih tehnologija proizvodnje umjetnih vlakana omogućuje se proizvodnja različitih materijala vrlo složene građe s već unaprijed zadanim svojstvima, dok su razvojem vatrootpornog tekstila, odnosno tekstila smanjene zapaljivosti i gorivosti, radniku omogućeni sigurniji uvjeti. U proizvodnji novih tekstilnih materijala težište se stavlja na odgovarajuće vrste vlakana i materijale koji proizvodu daju određena zaštitna svojstva i koja se mogu prerađivati u odjevne predmete zadovoljavajuće udobnosti i funkcionalnosti oblika [7, 8].

Vrlo često zaštitna odjeća treba osigurati više zaštitnih funkcija uz omogućavanje prirodnog disanja kože. Kako bi bila djelotvorna i funkcionalna, zaštitna odjeća mora sadržavati sljedeća obilježja [8]:

- S obzirom na konstrukcijsku izvedbu, mora biti univerzalna (nema podjele na mušku i žensku odjeću);

- Kako bi se omogućila upotreba u širokom rasponu izrađuje se u nekoliko odjevnih veličina;
- Mora biti ergonomski oblikovana, sukladno antropometrijskim izmjerima ljudskog tijela, osigurati udobnost kod nošenja te osigurati visok stupanj slobode pokreta;
- Posebno dizajnirana, uz sagledane sve mogućnosti koje mogu nastati prilikom upotrebe, kod nošenja alata, pribora, aparata za disanje i sl.

U skladu sa Zakonom o zaštiti na radu poslodavac je dužan [8]:

- Procijeniti opasnosti i štetnosti te rizike koji iz njih proistječu;
- Eliminirati ili umanjiti opasnosti na izvoru;
- Eliminirati ili umanjiti rizike kolektivnim i administrativnim mjerama;
- Odabrati prikladnu osobnu zaštitnu opremu nakon procjene realnih „preostalih rizika“.

2.2. Zaštitna odjeća prema zaštitnoj funkciji

Zaštitna odjeća, uz neku primarnu i specifičnu funkciju, pruža više zaštitnih funkcija istovremeno. Uz zaštitu od npr. topline ili hladnoće, takva odjeća pruža i neki stupanj mehaničke zaštite. Ipak, zaštitna je odjeća podijeljena prema dominantnoj funkciji i svojstvima koja ispunjava pri zaštiti tijela [6].

Zaštitna odjeća prema svojstvima podijeljena je u grupe:

- Kemijska zaštitna odjeća,
- Toplinska zaštitna odjeća,
- Tehnička zaštitna odjeća,
- Odjeća za zaštitu od hladnoće i nevremena i
- Vatrogasna intervencijska odjeća :
 - za strukturne požare (požari građevinskih i industrijskih objekata),
 - za požare otorenog prostora (npr. šumske požare),
 - zaštitna odjeća za specijalno vatrogastvo (reflektirajuća zaštitna odjeća).

2.2.1. Kemijska zaštitna odjeća

Kemijska zaštitna odjeća je odjeća koja radnika štiti od štetnih učinaka tekućih, krutih i plinovitih kemikalija. Koristi se pri radu s toksičnim i korozivnim opasnim tvarima koje mogu

oštetiti kožu. Obzirom na trajnost dijeli se na odijela za trajnu uporabu, za ograničenu uporabu i odijela za jednokratnu uporabu. Obzirom na namjenu kemijska zaštitna odijela mogu se podijeliti u 6 tipova, a to su: plinotijesna odjeća, plinonepropusna odjeća, nepropusna za tekuće kemikalije, nepropusna za raspršene tekućine, nepropusna za čestice te zaštita od manjeg razlijevanja tekućina i praha. Kemijska zaštitna odjeća mora biti izrađena od visokokvalitetnih materijala i time osigurati korisniku potpuno siguran rad [6, 8].

2.2.2. Toplinska zaštitna odjeća

Odjeća za zaštitu od topline treba štiti radnika od jedne ili više vrsta topline koja se pojavljuje u obliku kontaktne topline, konvekcijske topline, radijacijske topline, kao kratkotrajni ili dulji kontakt plamenom te u obliku prskanja/polijevanja rastaljenim ili užarenim materijalom. Ova vrsta odjeće izrađuje se od materijala koji pružaju dobru toplinsku izolaciju, odnosno materijala koji pružaju otpornost na toplinu, otpornost na zapaljenje i gorenje pri kontaktu s plamenom te otpornost na taljenje i kapanje. Obuhvaća zaštitu zavarivača te donekle odjeću za rad pod visokim naponom kao i vatrogasnu odjeću [6].

2.2.3. Tehnička zaštitna odjeća

Tehnička zaštitna odjeća obuhvaća odjeću za mehaničku zaštitu, antistatsku odjeću i upozoravajuću odjeću. Uporabom tehničke zaštitne odjeće minimaliziraju se rizici od zahvata ili povlačenja radnika koji radi na ili u blizini opasnih gibajućih strojeva i naprava. Tehnička zaštitna odjeća može biti u obliku jakne s hlačama, jakne s kombinezonom bez rukava ili u obliku kombinezona s rukavima. Ovakva odjeća ima sigurnosnu funkciju ako je odgovarajuće veličine, pravilno zatvorena pokriva svu drugu odjeću, relativno tijesno pristaje uz tijelo i ima glatku vanjsku površinu. Na ovoj vrsti odjeće, neovisno o dizajnu, ne smiju nigdje viriti slobodni krajevi, elementi za pričvršćivanje moraju biti skriveni, a šavovi usmjereni prema unutra. Prema normi EN 510 izrađuje se odjeća za zaštitu od gibajućih dijelova strojeva, od presijecanja motornom ručnom pilom i od mlaza abraziva.

Prema normi EN ISO 14877 izrađuje se odjeća za zaštitu od letećih čestica mlaza abraziva, označena odgovarajućim piktogramom, razvrstana u tri tipa.

Tehnička zaštitna odjeća za zaštitu od presijecanja ručnom lančanom pilom (tzv. šumarska odjeća) izrađuje se prema normi EN 381. Na odjeću koja udovoljava svim zahtjevima ove norme postavlja se piktogram zaštite od pile, te klasa zaštite.

Upozoravajuća odjeća visoke uočljivosti ima svrhu upozoriti ostale sudionike u prometu na prisutnost njenog korisnika te na vrijeme upozoriti vozače motornih vozila na mogućnost naleta i potrebu za akcijom izbjegavanja. Ovu odjeću nose radnici na prometnicama, lučki radnici, osoblje u zračnim lukama, vatrogasci itd [6, 8].

2.2.4. Odjeća za zaštitu od hladnoće i nevremena

Odjeća koja radnika štiti od kiše i hladnoće koristi se na otvorenom u uvjetima vrlo niskih temperatura, pri utjecajima vjetra, kiše i snijega, te se koristi pri radu u hladnjačama. Takva radna odjeća najbližnja je uobičajenoj svakodnevnoj odjeći koja čovjeku služi za istu svrhu u privatnoj uporabi.

Prilikom dugotrajnog izlaganja hladnoći treba izbjegavati pojavu znojenja korisnika jer će apsorbirana vlaga postepeno smanjivati izolacijsku sposobnost odjeće. Preporučuje se odabrati optimalnu, a ne maksimalnu izolaciju, te fleksibilnu i prilagodljivu odjeću radije nego fiksne i zatvorene komplete. U situacijama kada je temperatura okoliša ispod 0°C, kroz materijal prolazi vrlo malo vodene pare zbog kondenzacije, a može doći i do njenog smrzavanja unutar odjeće [6, 8].

2.2.5. Vatrogasna intervencijska odjeća

Vatrogasna intervencijska odjeća štiti vatrogasca pri gašenju požara, spašavanju ljudskih života te sprječavanju širenja štete na imovini i okolišu. Razlikuje se vatrogasna odjeća za gašenje strukturnih i vatrogasna odjeća za gašenje šumskih požara. S obzirom na to da odjeća pokriva približno 80% površine tijela, njena uloga pri zaštiti vatrogasaca u intervencijama od sve osobne zaštitne opreme je najizraženija.

U službi vatrogastva vatrogasac namjerno ulazi na mjesto incidenta u situacijama kada ostali ljudi bježe, tamo gdje su opasnosti mnogobrojne. Kako bi se velike opasnosti mogle pretvoriti u prihvatljivo niske rizike, nužno je da vatrogasci i njihova vodstva u praksi primjenjuju sigurne i već provjerene postupke kao i odgovarajuću taktiku, opremu, sredstva, te da budu dobro obučeni i uvježbani. Osobna zaštitna odjeća u vatrogastvu čini posljednju mjeru obrane zdravlja i života radnika.

Ciljevi vatrogasaca po dolasku na mjesto incidenata su spašavanje života i pružanje humanitarnih usluga te sprječavanje i minimiziranje štete na imovini i okolišu. Zadatak osobne zaštitne opreme za vatrogasce je istovremeno zaštititi ih te omogućiti postizanje

ciljeva. U incidentnim situacijama gdje se ustanovi da postizanje ciljeva nije moguće, odjeća mora zaštititi vatrogasca i omogućiti mu da se povuče na sigurno mjesto. Razina zaštite koju osobna zaštitna odjeća pruža vatrogascu morala bi biti bazirana na procjeni rizika. Naime, precizno specificirani laboratorijski testovi koji služe za utvrđivanje sukladnosti karakteristika odjeće i druge osobne zaštitne opreme s europskim normama ne mogu dovoljno vjerno replicirati sve situacije u kojim se vatrogasac može naći, ali njihovi rezultati mogu dati korisne pokazatelje i poslužiti za međusobnu usporedbu različite osobne zaštitne opreme istih vrsta.

Svu zaštitnu odjeću za vatrogasce potrebno je redovito čistiti u skladu s uputama i preporukama proizvođača, a sve popravke i prepravke bi trebalo izvoditi jedino kvalificirano osoblje također u skladu s uputama proizvođača. Kao i druge europske norme, tako i norme za zaštitnu odjeću navode samo minimalne zahtjeve, što znači da ništa u njima nema namjeru ograničiti proizvođača, kupca ili tijela vlasti da postave više zahtjeva.

Vatrogasac je osim odgovarajuće zaštitne odjeće pri intervenciji dužan nositi i ostalu osobnu zaštitnu opremu koja je specificirana drugim normama: za zaštitu glave, noge i šake, a po potrebi i opremu za dišne organe [6].

2.2.6. Vatrogasna odjeća za strukturne požare

Europska norma EN 469 za vatrogasnu odjeću navodi bitne zahtjeve pri gašenju „strukturnih“ požara i aktivnosti kao što su pomoć i spašavanje pri katastrofama. Zbog nužnosti prilagodbe stvarnim uvjetima u različitim klimatskim područjima u Europi, predviđene su dvije razine zaštite: razina 1 (niža razina) i razina 2 (viša razina). Za odabir odgovarajuće razine zaštite zadužena je organizacija u kojoj je vatrogasac zaposlen, a provodi se prema informativnim uputama danim u dodatku norme. Vatrogasna odjeća za strukturne požare pruža i ograničenu razinu zaštite od slučajnog polijevanja kemikalijama i zapaljivim tekućinama, dok zaštita pri namjernom ulasku u zone ugrožene tekućim ili plinovitim kemikalijama nije dio ove norme. Zahtjevi koji se odnose na ergonomske osobine i fiziološke opasnosti, uključujući i toplinski stres, navedeni su obliku preporuka [6].

Osnovni zahtjevi vatrogasne odjeće za „strukturne“ požare su:

- Potrebna razina zaštite ostvaruje se pomoću jednog ili više odjevnih predmeta, s jednim ili više različitih slojeva;

- Ako se odijelo sastoji iz dva dijela, između njih mora u svim radnim položajima postojati dovoljan preklop, u praksi se najčešće radi o preklopu hlača i jakne oko 30 cm;
- Ukoliko je za zaštitu potrebno više odjevnih predmeta, svaki od njih potrebno je označiti prema ovoj normi;
- Važnost zaštite vrata, odnosno zatvaranje odjeće prema glavi pomoću visokog ovratnika;
- Obavezno dvostruko zatvaranje sprijeda na prstima;
- Prisutnost reflektivnih traka za visoku uočljivost;
- Veličina odjeće određena je normom EN 340 [6].

Nakon predtretmana čišćenja i pranja, čiji broj ponavljanja i vrstu predviđa proizvođač, te kondicioniranja u definiranim laboratorijskim uvjetima temperature i relativne vlažnosti zraka, obavljaju se ispitivanja na:

- Širenje plamena prema normi EN ISO 15025, postupak A, a postignuti rezultat mora udovoljiti zahtjevima norme EN ISO 14116, za Index 3. Ispituju se materijali, pomoćni materijali i šavovi;
- Prolaz topline plamenom prema normi ISO 9151, s toplinskim tokom od 80 kW/m²;
- Prolaz topline zračenjem prema normi EN ISO 6942, s toplinskim tokom od 40 kW/m²;
- Toplinska otpornost materijala: svi materijali moraju izdržati na temperaturi od 180±5°C u trajanju od 5 minuta, što znači da se ne smiju zapaliti, rastopiti niti skupiti za više od 5%;
- Otpornost na prodor tekućih kemikalija, u trajanju od 10 sekundi otpornost mora biti veća od 80%, a kemikalija ne smije prodrijeti do najdonjeg materijala-podstave;
- Otpornost na prodor vode prema normi EN 20811 uz brzinu porasta tlaka od 0,98±0,05 kPa/min, mora se postići < 20 kPa za odjeću bez vodne prepreke (Razina 1), te ≥ 20 kPa za odjeću s vodnom preprekom (Razina 2);
- Otpornost na prolaz vodene pare prema normi EN 31092, mora se postići > 30 m²Pa/W (Razina 1), te ≤ 30 m²Pa/W (Razina 2);
- Ergonomska svojstva prema uputama;

- Uočljivost prema normi EN 471, retrorefleksni/fluorescentni/kombinirani materijal treba obuhvatiti ruke, noge i torzo, a površine ne smiju biti manje od 0,13 m² za retrorefleksivni materijal ni manje od 0,2 m² za fluorescentni ili kombinirani materijal;
- Opcijski test kojim se provjerava razina zaštita od topline za cijeli odjevni sustav odjeće, a može se izvesti ispitivanjem na termo-manekenu, koristeći parametre: vrijeme ekspozicije 8 s, toplinski tok 84 kW/m², uz detaljne i opsežne informativne upute za izvođenje ispitivanja dodane u normi [6].

Na etiketi zaštitne vatrogasne odjeće za strukturne požare moraju se jasno naznačiti parametri:

- Veličina odjeće prema detaljima iz norme EN 340;
- Broj i naziv ove norme (EN 469:2004);
- Naznaka da se istodobno koriste svi odjevni predmeti ako se karakteristike postižu istodobnim nošenjem više njih;
- Razine postignutih karakteristika: Xf1 ili Xf2 za otpornost na plamen, Xr1 ili Xr2 za otpornost na radijaciju, X1 ili Y2 za otpornost na prodor vode, Z1 i Z2 za otpornost na prolaz vodene pare. Za ukupnu postignutu razinu mjerodavna je najniža od ove 4 razine;
- Ukoliko je za održavanje potrebna ponovna impregnacija vanjskog materijala, broj pranja prije reimpregnacije ili odbacivanja odjevnog predmeta [6].

2.2.7. Vatrogasna odjeća za požare otvorenog tipa (šumski požari)

Europska norma EN 15614 za vatrogasnu odjeću navodi bitne zahtjeve za zaštitnu odjeću pri gašenju požara otvorenog prostora kao što su požari šuma, usjeva, plantaža travnjaka i ruralnih površina. Požari ovog tipa uglavnom se gase ljeti, pri vrlo visokim temperaturama okoline. Pri takvim uvjetima tijelo vatrogasca često razvija visoku razinu metaboličke topline, a mogućnost odavanja topline u okolinu je relativno mala zbog čega bi ova zaštitna odjeća trebala biti laka, prozirna i fleksibilna. Na taj je način prilagođena rizicima kojima vatrogasac može biti izložen te time može doprinijeti njegovoj učinkovitosti bez dovođenja nositelja u stanje toplinskog stresa. Ova vrsta odjeće ne pruža zaštitu od kemijskih, bioloških i električnih opasnosti, kao niti zaštitu od toplinskog zračenja, odnosno u slučaju „zarobljavanja“ vatrogasca u požaru [6].

Neki od brojnih zahtjeva za vatrogasnu odjeću za požare otvorenog tipa su:

- Može biti u obliku kombinezona, dvodijelnog odijela ili većeg broja odjevnih predmeta;
- Ne smije ograničavati pokrete nositelja pri radu, dok sustav zatvaranja mora onemogućiti ulazak ugaraka na vratu, krajevima rukava i sl.;
- Nakon zatvaranja, ovratnik se mora dati zadržati u podignutom položaju;
- Dno rukava i nogavica mora imati sustav zatvaranja koji jamči ispravno sučelje s rukavicama, odnosno obućom u svim radnim položajima;
- Hlače i jakna moraju ostvariti preklop od najmanje 15 cm u svim radnim položajima;
- Džepovi s vanjskim otvorom moraju biti od vanjskoga materijala i imati poklopce koji se ne mogu ugurati u njih;
- Pribor koji prolazi kroz vanjski materijal ne smije ostati nepokriven na unutarnjoj strani.

Nakon pred tretmana pranja i čišćenja, definiranog brojem ponavljanja od strane proizvođača te kondicioniranju uvjetima laboratorijske temperature i relativne vlažnosti zraka, obavljaju se ispitivanja materijala na:

- Širenje plamena prema normi EN ISO 15025, postupak A ili B, a ispituju se svi materijali i šavovi;
- Prolaz topline zračenjem prema normi EN ISO 6942, metoda B, s toplinskim tokom od 20 kW/m²;
- Toplinsku otpornost materijala, uključujući refleksne trake, etikete, natpise, pribor, sustav zatvaranja itd., u trajanju od 5 minuta pri temperaturi od 180±5°C ne smiju se zapaliti, rastopiti ni skupiti za više od 5%, a pribor odijela i nakon testa mora funkcionirati;
- Šivaći konac se treba ispitati prema normi EN ISO 3146 i ne smije se taliti na temperaturi manjoj od 260°C;
- Vlačna čvrstoća vanjskog materijala mora biti veća ili jednaka 450 N, vlačna čvrstoća glavnih šavova veća ili jednaka 225 N, te čvrstoća na trganje minimalno 20 N;
- Prema normi EN 31092 toplinski otpor materijala mora biti manji od 0,055 m²K/W, a otpor na prolaz vodene pare manji od 10 m²K/W;
- Dimenzijske promjene materijala ne smiju biti veće od 3 % u smjeru osnove niti u smjeru potke;

- Retrorefleksni, fluorescentni, odnosno kombinirani materijali moraju udovoljavati normi EN 471.

Na etiketi odjeće, koja mora ostati čitljiva i nakon najmanje 50 postupaka pranja, jasno se moraju naznačiti sljedeći parametri:

- Svi detalji vezani za veličinu odjeće prema normi EN 340,
- Broj i naziv ove norme (EN 1564:2007) i
- Piktogram i kodne oznake A1, A2 ili obje razine postignutih karakteristika [6].

2.2.8. Reflektirajuća odjeća za posebno gašenje požara

Vatrogasne akcije pri kojima je prisutna vrlo visoka razina radijacijske, konvekcijske i kontaktne topline, kao što su npr. požari velikih količina zapaljivih plinova ili tekućina, požari su u kojima je potrebna viša razina zaštite od radijacijske topline nego što je ona koju pruža nerefleksivna vatrogasna odjeća za strukturne požare. Odabrani tip zaštitne odjeće treba biti u skladu s vatrogasnom taktikom i odgovarajućom procjenom rizika. Ovaj tip zaštitne odjeće ima zaštitu koja se oslanja na sposobnost vanjskog materijala da reflektira intenzivnu toplinu zračenja, zbog čega može biti prikladna i za neke industrijske primjene. Međutim, sposobnost zaštite od kontakta s plamenom i intenzivnom toplinom od zračenja ograničena je na kratak period vremena koji se u praksi obično smatra vremenom u trajanju od 10 sekundi, a može trajati maksimalno do pola minute, što vatrogascu omogućava ulazak u visokorizične situacije gašenja i spašavanja, koje normalno zahtijevaju i uporabu dišnih aparata. Ipak, zbog iznimno visoke razine opasnosti, namjerni ulazak u požar u ovoj odjeći nije preporučljiv. Danas se reflektivna odjeća rijetko koristi iako je u prošlosti bila neizostavni dio osobne zaštitne opreme profesionalnih vatrogasaca, posebno na aerodromima. Norma EN 1486 daje zahtjeve za zaštitu cijelog tijela, uključujući glavu, stopala i šake, a zaštitni komplet se sastoji od jednog ili više odjevnog predmeta, kapuljače koja može biti integrirana s odjećom, rukavica i čizama [6].

Među zahtjevima za reflektirajuću odjeću navodi se:

- Veličina odjeće treba biti usklađena s normom EN 340;
- Kapuljača mora biti prilagođena industrijskoj ili vatrogasnoj kacigi koja se nosi ispod nje;

- Kvaliteta, čvrstoća i otpornost na udar čestica moraju biti u skladu s normama osobne zaštitne opreme za oči;
- Rukavice moraju biti u skladu s normom EN 420 s prihvatljivom duljinom od najmanje 350 mm;
- Navlačne čizme nose se preko čizmi prema normi EN 15090 ili EN 20345;

Nakon postupka pred tretmana čišćenja obavljaju se ispitivanja materijala odjeće, kapuljače, rukavica i navlačnih čizmi na:

- Širenje plamena prema normi EN ISO 15025, prema postupku A, ispituju se svi slojevi materijala i šavovi;
- Prolaz topline zračenjem prema normi EN ISO 6942;
- Prolaz topline plamenom prema normi ISO 9151;
- Utvrđivanje otpornosti na kontaktnu toplinu prema EN ISO 12127-2;
- Toplinsku otpornost materijala, na sve materijale uključujući vizir i sustav zatvaranja u trajanju od 5 minuta pri temperaturi od $255\pm 10^{\circ}\text{C}$, koji se ne smiju rastopiti, zapaliti niti skupiti za više od 5%;
- Mehaničku otpornost, odnosno dimenzijsku stabilnost pri čišćenju, vlačnu i prekidnu čvrstoću, čvrstoću na trganje i čvrstoću šavova;
- Na etiketi odjeće jasno se moraju naznačiti detalji vezani za veličinu odjeće i opći zahtjevi prema normi EN 340 i piktogram s brojem i nazivom norme (EN 1486:2007) [6].

2. 3. Materijali za izradu toplinske zaštitne odjeće

U pravilu, svaki materijal donekle štiti ljudsku kožu od plamena i topline i najveće opekline nastaju na goljoj koži, uz iznimku umjetnih materijala koji se prilikom gorenja tale i lijepe za kožu, što može izazvati teške opekline.

U izradi zaštitne odjeće već godinama se ne koriste azbestne tkanine. Azbest je negoriv, vlaknasti mineral koji ima odličnu otpornost na toplinu i gorenje. Od vlakana azbesta, izrađivala se pređa samostalno ili miješanjem s pamukom, lanom i konopljom. Međutim, dokazana je kancerogenost azbestnih vlakana za čestice duljine veće od 5 μm i promjera

manjeg od 3 μm , čiji je omjer duljine i promjera veći od 3:1. Takva vlakna nalazila su se u azbestnim tkaninama, a upotrebljavali su je i vatrogasci pri svojim intervencijama do 2007. godine kada je RH donijela propise kojima se riješila problematika azbesta.

Različite vrste materijala izložene plamenu i toplini mogu reagirati na veći broj načina. Reakcija ovisi o svojstvima materijala, kao i o vrsti izlaganja, te se prema tome materijal može rastaliti, kapati, pougljeniti (kao rezultat nepotpunog izgaranja može se formirati ugljikov ostatak), skupljati, zapaliti, toplinski rastvoriti (prilikom izgaranja tkanina omekša, a prilikom hlađenja se znatno skuplja, te postaje krta pa puca) itd. Za izradu odjeće za zaštitu od topline koriste se specijalni materijali pomoću kojih se smanjuje ili eliminira mogućnost nastanka jedne ili više od navedenih pojava.

Važan dio zaštite korisnika predstavljaju dobro pristajanje i ispravna veličina zaštitne odjeće. Što je odjeća „komotnija“, to pruža više zaštite zbog povećanja debljine zračnog sloja između odjeće i kože, koji djeluje kao toplinska izolacija. Odjeća koja tijesno pristaje uz tijelo ima smanjenu zračnu izolaciju, što može rezultirati jačim opeklinama nego s komotnijom odjećom prilikom izlaganja toplini i plamenu.

Materijali koji se koriste prilikom izrade toplinske zaštitne odjeće svrstani su u tri kategorije:

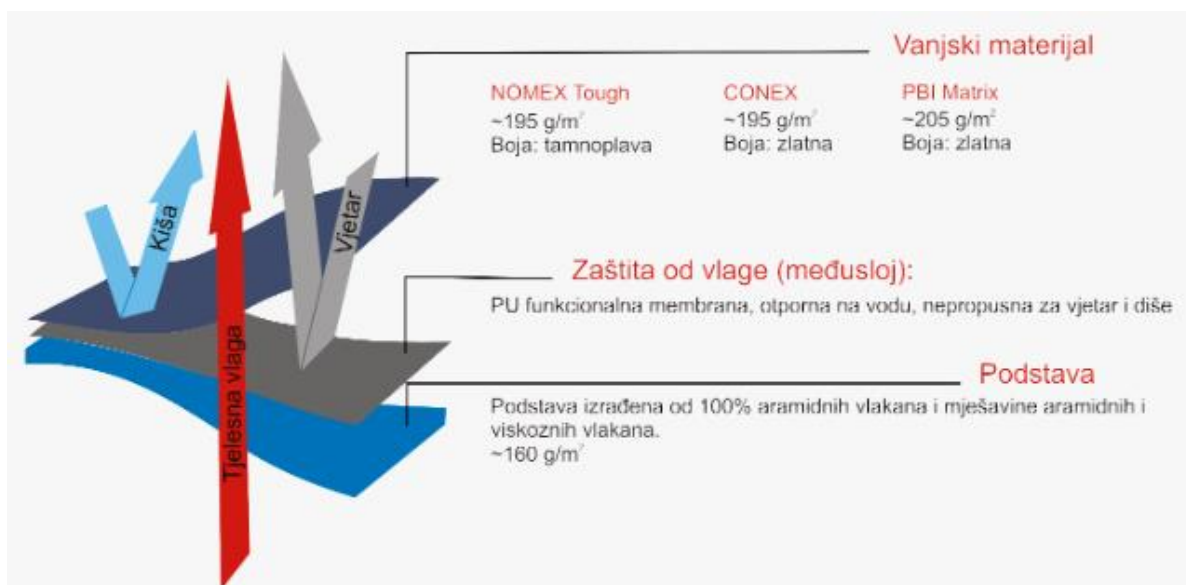
- prirodni, vatrootporno tretirani;
- umjetni, inherentno vatrootporni materijali;
- mješavine prirodnih i umjetnih materijala.

Materijali koji se podvrgavaju obradi sredstvima protiv vatrootpornosti su obično celulozno podrijetla, npr. pamuk i viskoza. Vlakna ili tkanine podvrgavaju se obradi sustavom primjene koji je svaki pojedini proizvođač razvio zasebno. Proizvođači tako obrađenih materijala tvrde da će se vatrootporne osobine materijala zadržati tijekom cijelog očekivanog vijeka trajanja odjeće ukoliko se njega i održavanje provode u skladu s njihovim uputama, što može biti i više od 50 postupaka pranja [6].

Inherentno vatrootporni materijali su sintetički materijali kod kojih su vatrootporne osobine ugrađene u kemijski sastav, stoga se ne mogu kemijski ili fizikalno izmijeniti, a svoje osobine vatrootpornosti zadržavaju tijekom čitavog vijeka trajanja i ne mogu se smanjiti s vremenom. Neki od inherentno vatrootpornih materijala su materijali izrađeni od aramidnih vlakana, poznatiji po svojim trgovačkim nazivima *NomexTM*, *Kevlar[®]*, *Kermel[®]* [6, 9].

Mješavine vatrootporno tretiranih i inherentnih vlakana razvijene su zato da bi se smanjila cijena i da bi se postigla bolja ravnoteža nekih svojstava. Drugi važan razlog je istodobno postizanje zaštitnih osobina sintetičkih vlakana i udobnost nošenja prirodnih vlakana [6].

Materijali za izradu zaštitne odjeće za vatrogasce, policiju, vojsku i sve poslove s posebnim i povećanim opasnostima razlikuju se od tekstilnih materijala za normalnu odjeću po sirovinskom sastavu tj. vrsti vlakana od kojih se izrađuju, prema otpornosti na mehaničke opasnosti, temperaturu, kemikalije, zračenje, biološke štetnosti, statički elektricitet i drugo. Da bi se ispoštovala funkcionalnost dizajna i postigla sigurnost prilikom nošenja, zaštitna odjeća se izrađuje od 2 do 5 slojeva tekstilnih materijala, vodonepropusnih i vjetronepropusnih, uz istovremenu propusnost za znoj kako bi se postigao ugodaj topline pri vlažnom i vjetrovitom vremenu. Poznate vrste takvog tipa odjeće su Gore Tex®, Pro-line®, Sympatex® i dr. Na sl. 1 prikazan je shematski prikaz slojeva materijala i najčešće upotrebljavani materijali za pojedine slojeve [10].



Sl. 1 Shematski prikaz slojeva materijala za izradu zaštitne odjeće za vatrogasce [2]

Sklop materijala zaštitne odjeće za vatrogasce uobičajeno se sastoji od sljedećih materijala:

- Vanjski materijal, koji se još naziva i „vanjskom školjkom“, vrlo je čvrst, visoke otpornosti na toplinu i plamen, na mehaničke utjecaje, većinu otapala i kiselina, ne smije gorjeti, topiti se, pucati ili raspadati čak ni nakon spaljivanja. Materijali za zaštitu od vlage moraju biti otporni na vodu, nepropusni na vjetar i moraju istovremeno omogućiti prolazak topline od tijela prema okolini. Najčešće upotrebljavani materijali prikazani su u tab. 2;

- Vodonepropusna/zrakopropusna membrana, koja štiti od prodora vode iz okoliša u unutrašnjost odjevnog predmeta, spojena je s tkaninom ili netkanom podlogom koja joj daje čvrstoću i trajnost, a može biti i spojena s unutarnjom stranom vanjske školjke;
- Toplinska međupodstava, materijal čija je namjena usporiti prolaz topline izvana prema unutrašnjosti odjevnog predmeta i
- Unutarnja podstava koja štiti materijal od toplinske prepreke te pruža udobnost korisniku i dodatni je zaštitni sloj [2].

Tab. 2 Najčešće upotrebljavani materijali za izradu interventne vatrogasne odjeće [2]

	Red. br.	Vrsta materijala	Plošna masa [g/m ²]
Vanjska školjka	1.	Nomex ® Delta TA	195
	2.	Nomex® Static Control	260
	3.	Nomex® III	265
	4.	Nomex® Comfort	220
	5.	Nomex ® Tough	195
	6.	tkanine izrađene od meta- i para-aramidnih vlakana	210
	7.	Kermel HTA	210
	8.	PBI tkanina	205
	9.	Aramid Nomex®	225
	10.	Lenzing FR ®	250
Drugi sloj	1.	PU (poliuretanske) membrane	~125
	2.	Comfortex C membrane	~125
	3.	Sympatex ® membrane	~125
	4.	Gore- Tex ® membrane	~125
Treć i sloj	1.	tkanine izrađene od aramidnih vlakana	
Četvrti sloj	1.	tkanine izrađene od Nomex ® vlakana	160-270
	2.	tkanine izrađene od aramidnih vlakana	160-270
	3.	tkanine izrađene od mješavina aramidnih i viskoznih vlakana	160-270
	4.	tkanine izrađene od pamučnih vlakana (dodatno obrađene i otporne na plamen)	330

Danas se za izradu odjeće za zaštitu od plamena, osim inherentno otpornih materijala na plamen izrađenih od aramida i vlakana na bazi melamina (Basofil®) te modakrilnih vlakana, vrlo često koriste pamučna, viskozna, vunena i poliesterska vlakna koja se u postupcima dorade obrađuju kemijskim sredstvima protiv gorenja.

Kao drugi sloj zaštitne odjeće za vatrogasce u svrhu zaštite od vlage koriste se poliuretanske membrane, Comfortex C membrane, Sympatex® membrane i Gore-Tex® membrane.

Za treći sloj zaštitne odjeće za vatrogasce kao toplinska zaštita koriste se tkanine od aramidnih vlakana, dok se kao četvrti sloj tj. podstava koriste tkanine od Nomex® aramidnih vlakana, mješavina aramidnih i viskoznih vlakana te tkanina izrađenih od pamučnih vlakana koje su dodatno obrađene i otporne na plamen.

Navedeni slojevi čine materijale za izradu jakni i hlača za vatrogasce, a osim toga može se govoriti i o protupožarnim odjevnim sustavima koji obuhvaćaju svu odjeću koju vatrogasac nosi na sebi prilikom intervencija, počevši od donjeg rublja koji čini prvi odjevni sloj, a slijedi ga međuodjevni sloj koji može sadržavati majice, veste, pulovere, košulje i sl., te gornji zaštitni sloj koji se sastoji od interventne jakne i hlača [2].

2.3.1. Funkcija zaštitnih slojeva materijala

Prilikom izloženosti višeslojnih zaštitnih odjevnih sustava direktnom plamenu, prijelaz topline kroz slojeve odjeće složena je kombinacija radijacije, apsorpcije, kondukcije i refleksije toplinske energije. Znanstvenim istraživanjima dokazano je kako se otprilike 20% radijacijske infracrvene energije smanji prilikom prolaska kroz sloj tkanine, 10% ulazne energije reflektira od površine tkanine, dok ostatak 70-75% apsorbira tkanina koja se zagrijava kondukcijom apsorbirane energije iz njezine strukture. Slojevi tkanine međusobno su odijeljeni zrakom pa se ukupna energija smanjuje prema koži određenim uzastopnim reflektivnim-apsorptivnim-radijativnim sustavom prijelaza topline. Prilikom kontakta između slojeva tkanine toplina prelazi sa sloja na sloj kondukcijom. S obzirom da je koža vrlo dobar apsorber toplinske energije koji reflektira samo oko 5%, a apsorbira 95% energije, potrebno je posebno obratiti pažnju na što učinkovitije sprječavanje prijelaza topline kako bi se opekotine i oštećenja kože korisnika mogle izbjeći [2].

2.4. Ostala zaštitna oprema za vatrogasce

Funkcija odjeće i opreme za glavu je da štiti glavu i tijelo vatrogasca od vanjskih utjecaja. Zaštitna oprema dijeli se na osobnu i skupnu te ima funkciju zaštite od jedne do više opasnih utjecaja po zdravlje i život. Pri svakoj vatrogasnoj intervenciji gašenja požara, spašavanja imovine, osoba, zaštite okoliša i drugih, vatrogasac je dužan nositi osobnu zaštitnu opremu

koja obuhvaća kacigu, rukavice, odijelo, čizme, penjački opasač s priborom, masku i potkapu. Prema potrebi koristi se skupna zaštitna odjeća koja se sastoji od uređaja za samostalno disanje, odijela za prolaz kroz vatru, aluminiziranog odijela, plinonepropusnog odijela, odijela za zaštitu od kontaminacije radioaktivnih čestica i užadi. Potkapa, kaciga i maska koriste se za zaštitu glave vatrogasca.

Vatrogasna potkapa (sl. 2) stavlja se na zaštitnu masku i ispod vatrogasne kacige kao sastavni dio zaštite glave vatrogasaca. Izrađuje se šivanjem u obliku kapuljače s otvorenim kružnim dijelom za oči s elastičnom trakom oko otvora. S lijeve i desne strane izrađena su dva uzdužna ravna šava, bez središnjeg šava na tjemenu, za maksimalnu udobnost. Dostupne su u više vrsta vatrootpornih materijala (visokootporni karbonski materijal, Kermel®, Kermel®/FR Viskoza, Nomex®, PBI) i više boja (bež, crvena, tamno plava, crna...). Postoje dvije izvedbe potkape, s produljenim ovratnikom ili s potpunom zaštitom ramena.

Za izradu potkapa najčešće se koristi Nomex III i PBI Gold. Tkanina Nomex III sadrži 95% Nomexa® i 5% Kevlara® zbog čega je otporna na toplinu do 1000°C, kemikalije, kiseline, lužine i habanje te posjeduje dobra izolacijska svojstva. Tkanina PBI Gold sadrži 60% PBI i 40% Kevlara što osigurava visoku čvrstoću i nakon izlaganja plamenu.

Vatrogasne potkape omogućuju zaštitu dijelova glave, lica, vrata i prsnog dijela tijela, a podliježu ispitivanju u skladu s normom HRN EN 13911:2005 – Zaštitna odjeća za vatrogasce – Zahtjevi i ispitne metode za vatrogasne potkape za vatrogasce.



Sl. 2 Vatrogasna potkapa [11]

Zaštitna maska (sl. 3) štiti dišne organe vatrogasaca. Prikriva usta, nos, oči i bradu tijesno prijanjajući uz lice. Postoje dvije izvedbe maski, a to su zaštitna maska sa zateznim trakama i zaštitna maska s adapterskim kopčama. Nakon svake uporabe, masku je potrebno očistiti, dezinficirati, te provesti testiranje ispravnosti i nepropusnosti u skladu s normom HRN EN 137:2002 – Zaštitne naprave za disanje, pomoću odgovarajućeg uređaja za testiranje nepropusnosti maske [8].



Sl. 3 Vatrogasna zaštitna maska [12]

Vatrogasna kaciga namijenjena je zaštiti glave kao sredstvo osobne zaštite od mehaničkih ozljeda koje mogu nastati uslijed pada ili udarca stranog tijela pri akcijama gašenja požara i drugim vatrogasnim intervencijama. Dijele se na vatrogasne kacige za gašenje požara i infrastrukture te na vatrogasne kacige za šumske požare. Najčešće se izrađuju od poliamida fiberglass, poliamida 6, polikarbonata, kompozitnih materijala ili kombinacije nikal-krom.

Vatrogasne kacige sastoje se od vanjske i unutrašnje školjke, kolijevke s kopčama i zateznim trakama, vizira za zaštitu očiju i lica i zaštitne zavjese za vrat. Kacige moraju zadovoljavati tehničke zahtjeve prema normi HRN EN 443:2008 - Kacige za gašenje požara u zgradama i drugim građevinama, a ispituju se na apsorpciju udarca, otpornost na probijanje i zapaljivost, elektroizolacijska svojstva i bočnu tvrdoću.

Renomirani proizvođač kaciga tt. Gallet proizvodi kacige pod nazivom GALLET F1 STANDARD (sl. 4) izrađene od kvalitetnih polikarbonatnih i kompozitnih materijala. Sastoji se od dva vezira koji služe za mehaničku zaštitu lica i kao zaštita od toplinskog isijavanja. Unutrašnja kolijevka izrađuje se od prirodne kože dobrih antialergijskih svojstava i povećane otpornosti na habanje uz mogućnost namještanja unutrašnje veličine od 52 cm do 64 cm [4, 8].



Sl. 4 Vatrogasna kaciga GALLET F1 STANDARD [13]

Aparati za zaštitu dišnih organa koriste se u svrhu zaštite od udisanja štetnih plinova iz atmosfere. Osiguravaju dovoljnu količinu čistog zraka tj. kisika za rad i život na određenom mjestu u određenom vremenu, a mogu se podijeliti na:

- Aparate za filtriranje - koriste filtre za pročišćavanje zraka,
- Izolacijske aparate sa spremištem zraka,
- Cijevne aparate s dovodom čistog zraka te
- Regeneracijske aparate s komprimiranim ili tekućim kisikom [4].

Neizostavni dio opreme svakog vatrogasca su i zaštitne rukavice (sl. 5). Osim što pružaju zaštitu od ozljeda, topline i hladnoće, dobre rukavice moraju imati sljedeće karakteristike:

- Ergonomski dizajn,
- Vodonepropusnost i dobar osjet opipa za korisnika,
- Dobro prianjanje na mokrim i suhim podlogama,
- Otpornost na abraziju, rezanje, gnječenje, trenje i sl.

Vanjski sloj rukavice napravljen je od materijala Nomex® s Kevlarom® koji nije ušiven nego postavljen s gornje strane, te omogućuje otpornost na rezanje i toplinu. Materijal dlanovnog dijela rukavice napravljen je od silikonom postavljenog Nomexa® i Kevlara®. Između ostalog, rukavice imaju mogućnost fleksibilnog namještanja zgloba, podesivi Velcro zatvarač, PU štitnike na gornjem dijelu rukavice, označene rukave s 3M žutom/srebrnom/žutom trakom, a vanjski materijal rukava i zaštitnike s reflektirajućim 3M Scotchlite® materijalom, kukicu i oko za spajanje.

Rukavice za vatrogasce moraju zadovoljavati normu HRN EN 659:2008 - Zaštitne rukavice za vatrogasce i u skladu s njom zadovoljavati općenite zahtjeve u pogledu dimenzija i materijala, zaštite od mehaničkih i toplinskih opasnosti, te zaštite od vode i prodora tekućih kemikalija.



Sl. 5 Zaštitne rukavice za vatrogasce [14]

Za zaštitu nogu vatrogasca upotrebljavaju se zaštitne čizme (sl. 6) koje moraju pružati zaštitu od topline, hladnoće, plamena, iskrenja i oštih predmeta.

Vatrogasne čizme vodootporne su zahvaljujući membrani i koži otpornoj na vodu, dok im višeslojna konstrukcija potplata sa zračnim jastucima pruža zaštitu od topline i plamena. Prilikom izrade đona koristi se antistatička nitrilna guma dvostruke gustoće koja je otporna na ulja i toplinu, dok je središnji sloj đona otporan na perforaciju. Umeci od čelika u potplatu i u području prstiju štite nogu od ozljeda. Zbog pojačane konstrukcije u području pete, čizme pružaju stabilnost, a reflektirajuće trake daju dobru uočljivost u mraku. Prema standardu HRN EN 15090:2007 – Obuća za vatrogasce, svi materijali gornjišta do pune visine, uključujući gornji obrub, udovoljavaju svim zahtjevima glede čvrstoće na trganje, prodor i apsorpciju vode te otpornost na radijacijsku toplinu i plamen [4].



Sl. 6 Vatrogasne čizme [15]

2.5. Održavanje i testiranje odjevnih sustava za zaštitu od topline i plamena

Prilikom čišćenja i pranja, zaštitnu odjeću je potrebno, ovisno ugrađenim materijalima i dodacima, njegovati pridržavajući se uputa danih od strane proizvođača. Najbolji način za čišćenje odjeće obično diktira onaj dio koji je najosjetljiviji na oštećenja prilikom pranja ili kemijskog čišćenja. U pravilu bi se odjeća za zaštitu od topline i plamena trebala sušiti

obješena na toplome zraku. Odjeću izloženu djelovanju radioaktivnog, biološkog ili kemijskog zračenja potrebno je dekontaminirati.

Na vijek trajanja zaštitne odjeće utječu plošna masa tkanine, vrsta veza, učestalost nošenja odjevnog predmeta, vrste i broj popravaka na odjeći, procedura, tip i način čišćenja, oblik i broj pojačanja u području očekivanih naprezanja, izloženost ekstremnoj toplini, kemikalijama i ultravioletnom zračenju.

Prati li se životni ciklus trajanja zaštitne odjeće, nakon svake uporabe odjevnih sustava potrebno je ispuniti obrazac sa sljedećim podacima [2]:

- Kada, gdje i kako je korišten odjevni sustav;
- Koliki je stupanj zaprljanja, oštećenja ili kontaminacije odjevnog sustava;
- Utvrđivanje pozicija mogućih oštećenja, zaprljanja vanjskog sloja (vidljive promjene) ili oštećenja unutarnjih slojeva – membrana (nevidljive promjene), pojave rupa;
- Praćenje promjena retroreflektivnih traka, djelomično odšivena traka, kontaminacija jednog od slojeva uljem ili otrovnim kemijskim sredstvima koji smanjuju reflektiranje trake;
- Na koji način je odjevni sustav bio opran, pri kojoj temperaturi, kojim deterdžentom;
- Je li odjevni sustav bio podvrgnut kemijskom čišćenju;
- Isticanje uvjeta pranja i sušenja na popratnim deklaracijama;
- Na koji način su izvedene izmjene i popravci odjevnih sustava.

Da bi se svojstva zaštitne odjeće za vatrogasce izrađene od aramidnih vlakana sačuvala, treba se prati u specijalnim strojevima za pranje (BWE – engl. batch washer extractors). Važno je znati kako se odjeća izrađena od aramidnih vlakana ne smije izlagati direktnom UV zračenju, te se ne smije sušiti na povišenoj temperaturi (na radiatoru, uz vatru i sl.).

Pri održavanju ovakvog tipa odjeće javlja se problem, taj što je većina odjeće višeslojna, pri čemu je vanjska školjka izrađena od aramidnih vlakana koja su obrađena u postupku dorade specijalnim polimerima kako bi bila vodoodbojna i odbojna na kemikalije. Također, u ovu odjeću su ugrađene membrane koje moraju imati svojstva propusnosti na zrak i vodenu paru, a nepropusnosti za vodu. Za zaštitnu odjeću obrađenu sredstvima za vodoodbojnost, uljeodbojnost ili zaštitu od gorenja preporučuje se održavanje mokrim postupkom kemijskog čišćenja. Proizvođači kemijskih sredstava za čišćenje razvili su specijalna sredstva za što uspješnije i efikasnije čišćenje spomenutih odjevnih sustava. Program postupka kemijskog

čišćenja za ovakav tip odjeće jednak je onom koji se koristi za kemijsko čišćenje osjetljivog tekstila [2].

Propisno označavanje odjeće za zaštitu od topline i plamena uključuje oznake sa informativnim dijelom na službenom jeziku zemlje u kojoj se koristi, a trebaju se nalaziti na samom proizvodu ili etiketi pričvršćenoj na proizvod na način da su vidljive i čitke. Važno je da oznake budu otporne na pranje i kemijsko čišćenje. Oznake i piktogrami moraju biti dovoljno veliki tako da omoguće dobru čitljivost, uz istaknuti piktogram opasnosti koji jasno ukazuje na namjenu sredstva s brojevima koji označavaju razinu zaštite. Za toplinsku opasnost propisane su tri razine zaštite. Razina 1 je razina izlaganja niskom očekivanom riziku, razina 2 – izlaganje srednje očekivanom riziku, te razina 3 – izlaganje visoko očekivanom riziku. Oznake moraju sadržavati informacije o: trgovačkoj marki, tvorničkoj oznaci tipa odjeće (tvorničko ime), oznaci veličine, broju specifične norme EN, o piktogramu koji prikazuje specifičnu opasnost, dizajnu odjeće, razini zaštitnog djelovanja i informacije o uputama o načinu održavanja odjeće. Navedeno je potrebno označiti na uputama unutar odjeće [2].

Za optimizaciju zaštitnih odjevnih sustava potrebno je poznavati svojstva svakog sloja materijala jer svaki novi dodani sloj materijala u odjevnom sustavu mijenja svojstva zaštite, što znači da se sa svakim dodanim slojem odjeće mora provesti ponovni test. Ispitivanje zapaljivih svojstava materijala može se provesti testiranjem svakog pojedinačnog sloja u laboratoriju, no takvim testovima se ne dobivaju odgovarajuće informacije. Stoga je preporučljivo testiranje uporabom požarne lutke gdje je moguće simulirati eksploziju vatre. „Lutka“ je izraz za anatomske oblikovani model čovjeka uz pomoć kojeg se mogu simulirati i izmjeriti izvjesne čovjekove funkcije. Pomoću lutki testiraju se efekti nošenja različitih vrsta odjeće na ljudskom tijelu. U svijetu ima samo nekoliko požarnih lutaka, najpoznatije su Thermo-man iz Du-Ponta, Pyro-Man iz North Carolina State University, požarna lutka University of Alberta i požarna lutka Žiga iz Inštituta Jožef Štefan u Sloveniji (sl. 7). Požarne lutke opremljene su temperaturnim sensorima pomoću kojih se mjeri temperatura po cijeloj površini lutke. Uporabom toplinskog modela kože, iz izmjerene temperature mogu se ocijeniti stupanj i lokacija opekline, a prema tim se informacijama mogu dovesti u vezu s faktorima kao što su konstrukcija odjeće, masa tkanine, vrsta materijala, kroj i pristajanje odjeće te utjecaj vanjske i unutarnje odjeće. Informacije koje su prikupljene ovim načinom testiranja mogu se iskoristiti za analizu svojstava odjevnih predmeta pri izlaganju plamenu, u odnosu na

dizajn i pristajalost odjeće, ponašanje pri skupljanju, kvalitetu šavova, požarno ponašanje komponenata kao što su sustav zatvaranja, reflektivne trake itd [2].

Testiranje odjevnih sustava za zaštitu od plamena izvodi se izlaganjem odjevnog sustava na požarnoj lutki kontroliranim plamenom iz 8 do 12 plinskih plamenika postizanjem temperature do 1000°C i toplinskog toka od $s^{-1} 2 \text{ cal cm}^{-2} s^{-1}$ (84 kW m⁻²), u vremenu izlaganja od 4 do 25 s. Požarna lutka opremljena je sa 128 toplinskih senzora povezanih s računalom, a oponašaju reakciju čovjekove kože prilikom promjene temperature. U računalnom programu mogu se predvidjeti stupanj, veličina i mjesto opekline koja će nastati na korisniku prilikom izlaganja stvarnim uvjetima, a određuje i brzinu reakcije na toplinu te mogućnost preživljavanja [2].



Sl. 7 Požarna lutka Žiga [2]

2.6. Inteligentna vatrogasna odjeća

Iako razvitak inteligentne odjeće traje nešto više od tridesetak godina, o terminu inteligentna odjeća govori se zadnjih desetak godina, a službeno je definiran kao termin 2006. godine na sastanku eksperata tog područja. Dosadašnji razvoj pametne i inteligentne odjeće potaknut je minijaturizacijom elektroničkih komponenti i računala koji su postali njezin sastavni dio.

Kako bi odjevni predmet poprimio svojstva inteligentne odjeće mora imati ugrađene tri skupine uređaja:

- senzorsku skupinu za mjerenje i ulaz informacija,
- obradbenu jedinicu za interpretaciju ulaznih informacija i donošenje odluka (mikroprocesori, mikroručunala ili mikrokontroleri s pripadajućim programima) i

- izlazno-izvršnu (aktuatorsku) jedinicu koja će izvoditi prilagodbu odjevnog predmeta i davati izlazne informacije.

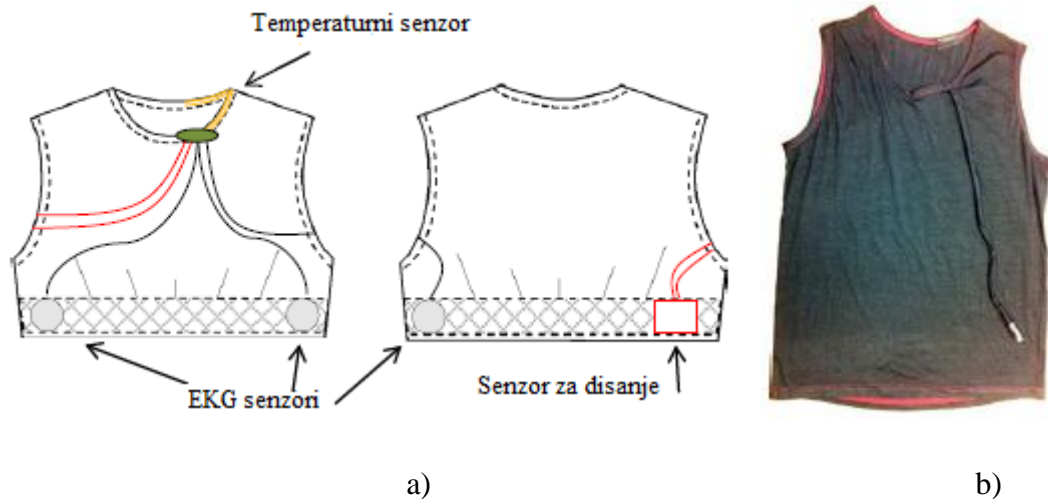
Inteligentna odjeća je najsloženija vrsta i predstavlja najviši dosadašnji stadij razvoja odjeće. Odlikuje je ugradnja i skladan rad te međusobna povezanost mnogih elektroničkih elemenata, uređaja i sklopova. U posljednje vrijeme privlači izuzetnu pozornost u svijetu jer kao takva može imati veoma važan učinak na ljudski život [16].

Inteligentna odjeća ima sposobnost da detektira vanjski utjecaj i da na njega odgovori. Omogućuje korištenje senzora u svrhu mjerenja vitalnih znakova kao što su: puls, EKG, disanje, znojenje, temperatura tijela itd.

Na Niederrhein sveučilištu primijenjenih znanosti u Njemačkoj razvijene su tekstilne EKG elektrode za vatrogasce. One se mogu prati i pouzdane su tijekom ekstremnih pokreta. Izmjereni vitalni znakovi mogu se prenjeti putem radija u realnom vremenu do kontrolne stanice gdje se pohranjuju i ocjenjuju. Taj dio sustava razvila je tvrtka ISIS IC GmbH, Wesel. Cijeli senzorski sustav integriran je u osobnu zaštitnu odjeću za vatrogasce na način da se ne smanji postojeća udobnost, što je rezultat istraživanja tvrtke Alwit GmbH, Emmerich-Elten.

Prilikom intervencija vatrogasci ne riskiraju život samo zbog doticaja s otvorenim plamenom. Veliki broj smrtonosnih ishoda nastaje zbog pretjeranog umora ili pregrijavanja te nemogućnosti da se spase na vrijeme, osobito u slučaju jakog dima kada im se značajno smanjuje vidno polje. Razvitkom senzora i senzorskih sustava integriranih u tekstilne materijale i osobnu zaštitnu opremu vatrogascima je omogućen sigurniji rad.

Iz tog razloga u senzorsku majicu koji koriste vatrogasci postavljeni su različiti senzori, primjerice senzori za mjerenje temperature kože, disanja i EKG-a. Senzori su integrirani na naličju majice na mjestima koji su prema prethodno utvrđenim ispitivanjima najpouzdaniji, dok je vanjski dio majice prikladne duljine i ne uključuje vidljive senzorske dijelove (sl. 8).



Sl. 8 a) Položaj EKG senzora (sivo), senzora disanja (crveno), senzora temperature (žuto) i spojne točke za prijenos podataka na jaknu (zeleno) smješteni u unutarnji dio senzorske košulje; b) Majica sa ugrađenim sensorima – vanjski izgled [17]

Mjerni podaci sa senzora prenose se sa majice na vatrogasnu zaštitnu jaknu na koju je smješteno elektroničko kućište. Vrlo važno obilježje zaštitne odjeće ovog tipa je neometan rad na dužnosti i mogućnost uklanjanja elektroničkih komponenti prilikom procesa njege [17].

U Sjedinjenim Američkim Državama, u tvrtci Well Globe Manufacturing dizajnirana je WASP (engl. Wearable Advanced Sensor Platform) majica (sl. 9) u koju je ugrađen biosenzor, čija je svrha praćenje fiziološkog stanja vatrogasaca i njihove lokacije tijekom dužnosti. WASP majica prati otkucaje srca, disanje, razinu aktivnosti, razinu stresa i držanje vatrogasca. Senzori se postavljaju na podesivu remenicu unutar majice koja je otporna na gorenje i vlagu, a izrađuje se od mješavine modakrilnih, viskoznih, para – aramidnih i elastanskih vlakana [18].



Sl.9 WASP majica [18]

Jedna od inovacija na tržištu vezano za pametni tekstil je vatrogasna zaštitna jakna s integriranom tehnologijom termalnog senzora (engl. Thermal Sensor Technology) izravno u tkaninu, razvijena u tvrtci Viking.

Ugradnjom tehnologije termalnog senzora izravno u tkaninu omogućeno je vizualno označavanje kritične razine topline na tijelu vatrogasca, prije nego li bude prekasno. Kako bi pratili unutarnju i vanjsku temperaturu tijela, senzori su ugrađeni u unutarnji i vanjski sloj zaštitne jakne, a povezani su sa dva LED zaslona, od kojih je jedan pozicioniran na rukav, a drugi na stražnjoj strani jakne (sl. 10). Zaslone na stražnjoj strani jakne vidljiv je drugim vatrogascima i ukazuje im na moguću kritičnu situaciju, dok zaslon na rukavu prikazuje opću razinu topline unutar i izvan jakne. Maleni otvor u unutrašnjosti podstave jakne sadrži bateriju i kontrolni čip koji mjeri temperaturu i aktivira LED zaslone.



Sl.10 Vatrogasna zaštitna jakna s integriranom tehnologijom termalnih senzora [18]

Prilikom procesa njege zaštitne jakne, odnosno pranja, potrebno je samo izvaditi mikročip i bateriju iz džepa, dok dodatno održavanje nije potrebno, osim povremene zamjene baterija [18].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

U okviru eksperimentalnog dijela napravljena je analiza tri različita materijala koja se koriste za izradu interventnog zaštitnog odijela. Opisani su uređaji i postupci ispitivanja za materijale trgovačkih naziva *NomexTM*, *Lainer membrana Sympatex[®]* i *silikonizirani Kevlar[®]*.

U daljnjem tekstu materijal *NomexTM* označen je slovom A, *Lainer membrana Sympatex[®]* slovom B i *silikonizirani Kevlar[®]* slovom C.

3.1. Postupci i uređaji

U nastavku su opisani postupci i uređaji korišteni za ispitivanje materijala u skladu s pripadajućim normama za svaki postupak ispitivanja.

3.1.1. Utvrđivanje dimenzijskih i konstrukcijskih karakteristika plošnih proizvoda

Pomoću prijenosnog USB mikroskopa Dino-Lite spojenog sa računalom promatrani su uzorci A, B i C. Uređaj nudi prikaz uvećanja slike materijala do 200 puta (sl. 11).



Sl. 11 Prenosni USB mikroskop, tt. Dino-Lite [19]

- Određivanje dimenzije – širina

Širina se definira kao razmak između dvije krajnje niti rubova ukoliko nije posebno propisano da se rubovi ne uračunavaju u širinu. Prema normi HRN ISO 22198:2011 plošni proizvod najprije je potrebno kondicionirati. Prilikom određivanja širine, materijal se postavi na stol čija širina treba biti veća od materijala, a materijal ne smije imati nabore, niti se smije zatezati. Mjerenje se provodi čeličnim metrom uz preciznost mjerenja 1,0 cm za širine veće od 100 cm.

- Debljina plošnog proizvoda

Prema normi HRN EN ISO 5084:2003 debljina plošnog proizvoda se definira kao razmak između dvije, tkaninom razdvojene, metalne ravne paralelne ploče. Mjerenje je provedeno pomoću debljinomjera (sl. 12) koji osigurava preciznost rezultata na 0,01 mm. Debljinomjer se sastoji od podloge na koju se stavlja ispitivani materijal i pritiskivača – kružno uglačana ploča kojom se materijal pritišće određenom silom.



Sl.12 Debljinomjer

Provedeno je 5 mjerenja na različitim dijelovima tkanine. Kao rezultat mjerenja daje se prosječna vrijednost svih mjerenja.

- Gustoća plošnog proizvoda

Prema normi HRN EN 1049-2:2003 gustoća tkanine definira se kao broj niti osnove i potke na duljini od 1 cm, a kod pletiva kao broj nizova i redova na duljini od jednog cm. Gustoća se utvrđuje izbrojavanjem niti osnove i potke na epruveti definiranih dimenzija. Mjerenje se provodi na kondicioniranim uzorcima uz pomoć tekstilne lupe (sl. 13).



Sl. 13 Tekstilna lupa [20]

Metoda A:

Pomoću tekstilne lupe veličine 1×1 cm utvrđena je gustoća tkanine (A) izbrojavanjem niti osnove i potke na duljini od 1 cm.

Metoda B:

Na temelju dobivenog rezultata u metodi A, određena je veličina uzorka na kojoj se utvrđuje broj niti osnove i potke. Veličina epruvete ovisi o utvrđenoj vrijednosti tzv. orijentacijskoj gustoći, te je kod ispitivanog materijala (A) dobiven broj niti osnove u rasponu od 25 do 40 niti/cm te broj niti potke u rasponu od 10 do 25 niti/cm, čime je definirana veličina uzorka za izbrojavanje 3×5 cm.

Za određivanje gustoće plošnog proizvoda načinjeno je 5 paralelnih mjerenja kod kojih je izbrojavanjem utvrđen broj niti osnove i potke. Rezultati se prikazuju kao prosječna vrijednost zaokružena na $1/2$ niti, iskazana kao broj niti po cm.

- Plošna masa

Prema normi HRN ISO 3801:2003, plošna masa je masa kvadratnog metra plošnog proizvoda izražena u gramima, a iskazuje se u g/m^2 . Kao instrument korištena je digitalna vaga (sl. 14) s točnošću mjerenja 0,0001 g.



Sl. 14 Digitalna vaga

Na kondicioniranom uzorku veličine 150×150 mm posebnim uređajem za izrezivanje epruveta načinjena je epruveta kružnog oblika površine 100 cm^2 . Uzorak je vagan uz preciznost 0,001 g, a masa plošnog proizvoda izračunata prema izrazu:

$$m_A = m_K \times 100, \quad (1)$$

gdje je:

m_K – masa kondicionirane epruvete, m_A – plošna masa ispitivanog materijala.

3.1.2. Određivanje savojne čvrstoće

Prema normi DIN 53362 epruveta dimenzija 250 x 25 mm postavlja se na glatku podlogu. Na epruvetu je potrebno postaviti pomičnu pločicu koja na gornjoj strani ima mjernu skalu s duljinskom raspodjelom, dok je s donje strane obložena gumom koja pospješuje pomicanje epruvete.

Na početku mjerenja (0-ti položaj) ispitivana epruveta i pomična pločica postavljaju se na rubnu liniju podloge. Tijekom ispitivanja pločica se pomiče i sa sobom povlači epruvetu s podloge. Epruveta se izvlači tako dugo dok se ne postigne duljina kod koje će se uslijed vlastite težine epruveta saviti za kut od $41,5^\circ$. U tom trenutku na gornjoj strani pomične pločice potrebno je očitati duljinu izvučenog dijela epruvete. Savojna duljina L_s predstavlja $\frac{1}{2}$ duljine izvučenog dijela epruvete, a predstavlja onu duljinu epruvete ispitivane širine pri kojoj bi se uslijed vlastite težine savila za kut od $7,1^\circ$.

3.1.3. Ispitivanje prekidne sile i prekidnog istezanja

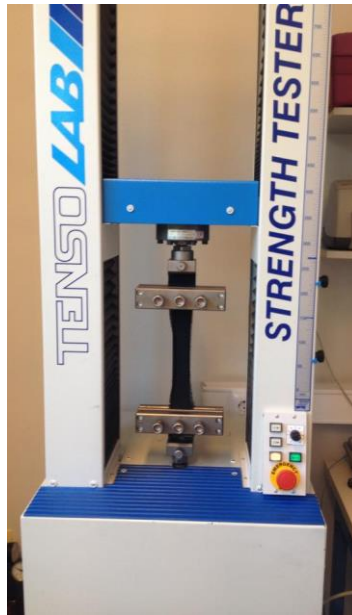
Određivanje prekidne sile i prekidnog istezanje tkanine u smjeru osnove i potke provodi se postupkom u obliku trake prema normi HRN EN ISO 13934-1:2013. Ispitivanja su provedena paralelno na sva tri materijala.

Za određivanje vrijednosti prekidne sile i prekidnog istezanja korišten je instrument Tensolab 3000, tt. Mesdan, Italija (sl. 14) koji je računalno vođen i opremljen programskim paketom za ispitivanja u skladu sa standardiziranim metodama ispitivanja (ISO, EN, ASTM, UNI ...) mehaničkih svojstava. Za ispitivanje priređeno je po 10 epruveta (5 po osnovi, 5 po potki), za sva tri uzorka. Epruvete za ispitivanje priređene su tako što se iz tkanine izrežu epruvete dimenzija 350×60 mm, a zatim se sa svake strane izvuku niti po širini od cca 5 mm, tako da gotova širina epruvete bude 50 mm. Dinamometar radi uz konstantnu brzinu istezanja.

Epruvete su postavljene u stezaljke instrumenta na način da su ispitivane niti paralelne sa smjerom djelovanja sila, a poprečne niti paralelne s rubom stezaljke. Razmak između stezaljki

prema normi iznosi 200 mm. Prije zatezanja donje stezaljke epruvete je potrebno predopteretiti ovisno o plošnoj masi. Za tkanine plošne mase do 200 g/m² predopterećenje iznosi 200 cN, za tkanine plošne mase veće od 200 do 500 g/m² iznosi 500 cN, a za tkanine plošne mase veće od 500 g/m² iznosi 1000 cN.

Ispitivanja su provedena uz konstantnu brzinu istezanja od 100 mm/min. U slučaju prekida ispitivane epruvete uz stezaljku, rezultat ispitivanja se odbacuje.



Sl. 14 Strength tester Tensolab 3000, tt. Mesdan, Italija

3.1.4. Ispitivanje otpornosti materijala na plošno habanje primjenom habalice po Martindale-u

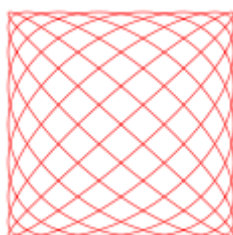
Otpornost materijala A, B i C na plošno habanje ispitana je u skladu s normom HRN EN ISO 12947 – 3:2008 utvrđivanjem gubitka mase primjenom habalice po Martindale-u (sl. 15).



Sl. 15 Habalica po Martindale-u tt. Mesdan

Ispitivanje se provodi habanjem tkanine tj. pletiva o tkaninu pri čemu je habajuće sredstvo standardna vunena tkanina. Pomoću kružnog rezača definiranih dimenzija, promjera 38 mm prirede se 4 istovrsna uzorka. Prethodno se kao podložak na radno mjesto aparata postavi filc promjera 140 mm, a na habajuću glavu odn. gornji nosač uzorka spužva promjera 38 mm. Nakon što se uzorci pričvrste, gornji nosači uzorka opterete se pripadajućim utegom: tkanine za radnu odjeću i tehničku namjenu utegom od 795 ± 7 g (pritisak od 12 kPa), a tkanine za odjeću i kućanski tekstil utegom od 595 ± 7 g (pritisak od 9 kPa).

Aparat se podesi u radni položaj te se habanje provodi u određen broj ciklusa. Iscrtna Lissajous-ova krivulja (sl. 16) potvrđuje ispravno gibanje habajućih glava po podlozi.



Sl. 21 Shematski prikaz Lissajous-ove krivulje [21]

Potreban broj ciklusa nahabavanja određuje se nakon preliminarno provedenog ispitivanja postupkom prohabavanja HRN EN ISO 12947 – 2:2014 (tab. 3).

Tab. 3 Broj habajućih ciklusa do prekida i interval provjere

SERIJA	BROJ CIKLUSA DO PREKIDA	INTERVAL PROVJERE
a	$\leq 5\ 000$	svakih 1 000
b	$> 5\ 000 \leq 20\ 000$	svakih 2 000
c	$> 20\ 000 \leq 40\ 000$	svakih 5 000
d	$> 40\ 000$	svakih 10 000

Temeljem navedenog broja ciklusa pri kojem je došlo do prekida niti odn. pojave rupice u ispitnom uzorku određuje se broj habajućih ciklusa koje je potrebno provesti tijekom provedbe postupka nahabavanja uz određivanje gubitka mase (HRN EN ISO 12947 – 3) (tab. 4).

Tab. 4 Ovisnost utvrđenog broja habajućih ciklusa pri kojem dolazi do prohabavanja i kontrolnog broja habajućih ciklusa kod postupka nahabavanja za utvrđivanje gubitka mase

Broj ciklusa kod kojeg je došlo do prohabavanja uzorka	Utvrđivanje gubitka mase nakon određenog broja habajućih ciklusa
≤ 1 000	100, 250, 500, 750, 1 000, (1 250)
> 1 000 ≤ 5 000	500, 750, 1 000, 2 500, 5 000, (7 500)
> 5 000 ≤ 10 000	1 000, 2 500, 5 000, 7 500, 10 000, (15 000)
> 10 000 ≤ 25 000	5 000, 7 500, 10 000, 15 000, 25 000, (40 000)
> 25 000 ≤ 50 000	10 000, 15 000, 25 000, 40 000, 50 000, (75 000)
> 50 000 ≤ 10 000	10 000, 25 000, 50 000, 75 000, 100 000, (125 000)
> 100 000	25 000, 50 000, 75 000, 100 000, (125 000)

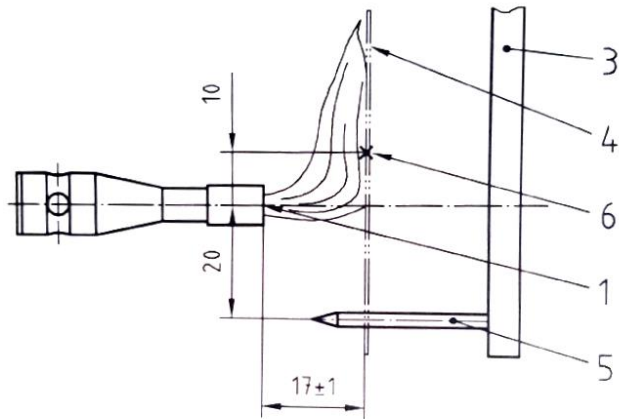
Nakon provedbe habajućih ciklusa potrebno je izvagati uzorke i izračunati promjenu mase:

$$\Delta m_{\text{ broj ciklusa}} = m_{\text{ broj ciklusa}} - m_{\text{ prije}} / m_{\text{ prije}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

3.1.5. Ispitivanje otpornosti na gorenje primjenom vertikalnog testa

Primjenom vertikalnog testa ispitana je otpornost materijala na gorenje prema normi Zaštitna odjeća – zaštita od topline i plamena – metoda ispitivanja ograničenog širenja plamena HRN EN ISO 15025:2016.

Na okvir dimenzija $150 \pm 1 \times 190 \pm 1$ mm potrebno je postaviti kondicionirani uzorak dimenzija $160 \pm 2 \times 200 \pm 2$ mm. Okvir se postavlja s uzorkom na nosač u vertikalni položaj. Duljinu plamena plamenika u horizontalnom položaju potrebno je podesiti na 25 ± 2 mm (plin: propan ili butan). Plamenik usmjeriti okomito na površinu ispitivanog uzorka (na sredinu uzorka uz udaljenost od 20 mm od donjeg ruba). Djelovati plamenom u vremenu od 10 s uz udaljenost plamenika od 17 ± 1 mm od površine uzorka (sl. 17).



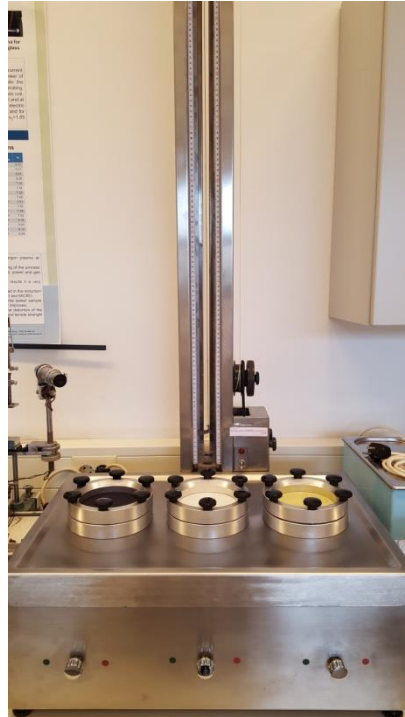
Sl. 17 Provedba ispitivanja (1 – plamenik, 2 – plamen, 3 – okvir, 4 – uzorak, 5 – držač, 6 – referentna točka plamena) EN ISO 15025:2002

Nakon djelovanja plamena potrebno je zabilježiti: vrijeme naknadnog gorenja i visinu širenja plamena, vrijeme naknadnog tinjanja, odvajanje slojeva, kapanja (rastaljenih dijelova) i pojavu rupe (kontinuirane ili diskontinuirane).

3.1.6. Ispitivanje vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka

Vodonepropusnost je pojam kojim se izražava otpornost tekstila na djelovanje veće količine vode, a koja se na materijalu zadržava dulje vrijeme te svojim pritiskom nastoji prodrijeti kroz njega (cerade, šatori, vatrogasna crijeva).

Vodonepropusnost se određuje prema normi HRN EN 20811:2003 pomoću aparata za ispitivanje vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka (sl. 18).



Sl. 18 Aparat za ispitivanje vodonepropusnosti

Pomoću kružnog predloška potrebno je izrezati tri epruvete te ih prstenom pričvrstiti na aparat za ispitivanje tako da su licem okrenuti prema dolje. Razina vodenog stupca je pritom podešena na 0-ti položaj, a zatim se brzinom od 10 cm/min povećava visina te s tim u vezi i hidrostatski tlak – do razine ovisne o vrsti ispitivanja i predviđenoj namjeni plošnog proizvoda. Moguća su tri načina ocjene:

- Utvrđivanje hidrostatskog tlaka (visine vodenog stupca) pri kojem se pojave prve 3 kapi na naličju materijala,
- Utvrđivanje vremena koje ispitivana epruveta izdrži do pojave prve od tri kapi na naličju materijala pri djelovanju određenog hidrostatskog tlaka,
- Mjerenje propuštene količine vode pri djelovanju određenog hidrostatskog tlaka.



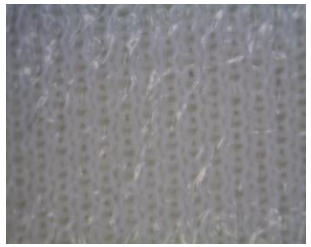
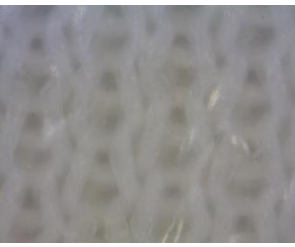

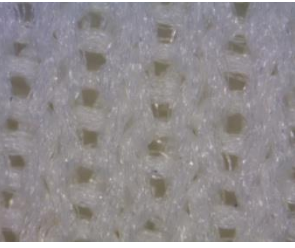


Proizvod može nositi oznaku kvalitete „*Vodonepropusan*“ ako pri djelovanju hidrostatskog tlaka od 980 Pa (visina vodenog stupca 10 cm), u vremenu od 23h ne propusti niti jednu kap vode na naličju.



4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Rezultati utvrđivanja dimenzijskih i konstrukcijskih karakteristika plošnih proizvoda

Pomoću prijenosnog USB mikroskopa Dino-Lite spojenog sa računalom promatrani su uzorci A, B i C s uvećanjem 50 x i 200 x.

Tab.4 Prikaz uzoraka uvećanih 50x i 200x pomoću prenosnog USB mikroskopa, tt Dino

UZORAK	UVEĆANJE 50x	UVEĆANJE 200x	OPIS
1.	2.	3.	4.
A			<i>NomexTM</i> tamno plava boja, platneni vez
B			<i>Membrana Sympatex®</i> , naslojena na lančano pletivo, bijele boje, izgled lica
B			<i>Membrana Sympatex®</i> naslojena na lančano pletivo, bijele boje, izgled naličja
C			<i>Silikonizirani Kevlar®</i> gledano sa strane lica, tamno plave boje

1.	2.	3.	4.
C			<i>Silkonizirani Kevlar®</i> gledano sa strane naličja, lančano pletivo žute boje i lančano bijelo pletivo između njega i naslojenog dijela

- Rezultati određivanja širine

Čeličnim metrom izmjerena je širina uzoraka. Materijal C mjereno je dva puta. Mjeren je rub i materijal bez ruba. Rezultati su prikazani u tab. 5.

Tab. 5 Rezultati određivanja širine uzoraka

BROJ MJERENJA	ŠIRINA UZORAKA [cm]			
	A	B	C (samo naslojeni dio, bez ruba)	C (sa rubom)
1.	161,6	152,7	164,5	173,8
2.	161,6	152,9	164,5	174,0
3.	161,8	152,5	164,3	173,9
4.	161,7	152,3	164,4	173,6
5.	161,7	152,5	164,3	173,7
6.	161,5	152,8	164,3	173,9
7.	161,7	152,7	164,2	173,9
8.	161,8	152,8	164,4	174,0
9.	161,7	152,6	164,5	174,0
10.	161,7	152,5	164,4	174,2
\bar{x}	162	153	164	174

Prosječna širina materijala A je 162 cm, materijala B 153 cm, materijala C bez ruba 164 cm, dok je širina materijala C sa rubom 174 cm.

- Rezultati ispitivanja debljine plošnih proizvoda

Na debljinomjeru je izmjerena debljina uzoraka izražena u mm, a rezultati su prikazani u tab.6.

Tab. 6 Rezultati ispitivanja debljine plošnih proizvoda

BROJ MJERENJA	DEBLJINA UZORAKA [mm]		
	A	B	C
1	0,38	0,34	1,20
2	0,38	0,34	1,20
3	0,38	0,34	1,21
4	0,38	0,35	1,19
5	0,38	0,35	1,20
\bar{x}	0,38	0,34	1,20

Prosječna debljina uzorka A iznosi 0,38 mm, uzorka B 0,34 mm te uzorka C 1,20 mm.

- Rezultati ispitivanja gustoće materijala

Gustoća ispitivanog materijala A prikazana je u tab. 7, iskazana kao broj niti osnove i potke na ispitivanoj veličini epruvete (3 x 5 cm) i na duljini od 1 cm.

Tab. 7 Rezultati ispitivanja gustoće tkanine A

UZORAK	br. niti/1 cm	br. niti/3 cm	br. niti/5 cm
A (osnova)	35	101	
B (potka)	19		91

Gustoća niti tkanine A na duljini od 1 cm iznosi 35 niti u smjeru osnove, 19 niti u smjeru potke, prema čemu je određena epruveta duljine 3 cm u smjeru osnove (prebrojen broj niti iznosi 101 nit/3 cm) i 5 cm u smjeru potke (prebrojen broj niti iznosi 91 nit/5 cm). Možemo zaključiti kako je osnova znatno gušća od potke.

- Rezultati ispitivanja plošne mase

Plošna masa uzoraka izračunata je prema izrazu (1). Rezultati su prikazani u tab. 8.

Tab. 8 Rezultati ispitivanja plošne mase uzoraka

UZORAK	Masa kondicioniranog uzorka (m_K) [g]	Masa kvadratnog metra plošnog proizvoda (m_A) [g/m ²]
A	1,9253	192,53
B	1,3429	134,29
C	5,5420	554,20

Najveću plošnu masu ima uzorak C, čija je masa kvadratnom metra 554,20 g/m².

4.2. Rezultati određivanja savojne čvrstoće

Sila koja djeluje na epruvetu računa se prema izrazu:

$$F_0 = \overline{m}_0 \cdot g \quad (3)$$

gdje je:

F_0 – sila koja djeluje na epruvetu [cN]

m_0 – masa odsječka [g]

$^1g = 0,981$ cN

Sila savijanja računa se prema izrazu:

$$\overline{F}_l = \frac{F_0}{l_i} \quad (4)$$

gdje je:

F_l – sila savijanja [cN/cm]

F_0 – sila koja djeluje na epruvetu [cN]

l_i – duljina odsječka [cm]

Savojna duljina (duljina epruvete pri kojoj bi se uslijed vlastite težine savila za kut od 7,1°) računa se prema izrazu:

$$l_s = \frac{l_i}{2} \quad (5)$$

gdje je:

¹ gf (engl. gramme force) odgovara sili 1 grama (mase) u zemaljskom gravitacijskom polju. Uzimajući u obzir $g = 9,807 \text{ ms}^{-2}$ i $F = m \cdot a$, veza između N (Newton) i kgf može se dati kao: $1 \text{ N} = 1/9,807 = 0,102 \text{ kgf}$ odnosno $1 \text{ kgf} = 9,807 \text{ N}$ i veza između cN i gf kao: $1 \text{ cN} = 1/0,9807 = 1,02 \text{ gf}$ odnosno $1 \text{ gf} = 0,9807 \text{ cN} \approx 1 \text{ cN}$.

l_s - savojna duljina [cm],

l_i – duljina odsječka [cm]

Savojna čvrstoća računa se prema izrazu:

$$S = F_l \cdot l_s^3 \quad (6)$$

gdje je:

S – savojna čvrstoća [cN cm²]

F_l – sila savijanja [cN/cm]

l_s – savojna duljina uzorka [cm]

Tab. 9 Rezultati ispitivanja savojne čvrstoće

UZORAK	A		B		C naličje		C lice	
	OSNOVA	POTKA	NIZ	RED	NIZ	RED	NIZ	RED
m_o [g]	0,2645	0,2387	0,0773	0,0481	1,4663	1,0277	1,0097	0,7564
l_i [cm]	5,1	4,6	2,3	1,4	9,7	6,8	6,7	5,1
m_o [g]	0,2560	0,2289	0,0818	0,0509	1,4671	1,0573	0,7587	0,8134
l_i [cm]	5,3	4,5	2,3	1,5	9,9	7,0	6,1	5,2
m_o [g]	0,2549	0,2443	0,0858	0,0455	1,4464	1,0614	0,7803	0,8435
l_i [cm]	5,1	4,7	2,5	1,4	9,7	7,2	6,2	5,3
m_o [g]	0,2610	0,2431	0,0866	0,0451	1,4327	1,0178	1,0485	0,8777
l_i [cm]	5,3	4,6	2,5	1,3	9,5	6,8	6,5	5,8
m_o [g]	0,2693	0,2332	0,0875	0,0484	1,4103	1,0123	0,7546	0,8880
l_i [cm]	5,2	4,5	2,5	1,4	9,7	6,6	6,1	5,7
$\bar{x} m_o$ [g]	0,2611	0,2376	0,0838	0,0476	1,4446	1,0353	1,0704	0,8358
$\bar{x} l_i$ [cm]	5,2	4,6	2,4	1,4	9,7	6,9	6,3	5,4
l_s [cm]	2,6	2,3	1,2	0,7	4,9	3,5	3,2	2,7
F_o [cN]	0,2561	0,2331	0,0822	0,0467	1,4172	1,0156	1,0501	0,8788
F_l [cN/cm]	0,0493	0,0518	0,0329	0,0334	0,1461	0,1539	0,1721	0,1542
S [cN cm ²]	0,8665	0,6303	0,0672	0,0115	17,1885	6,5985	5,6394	3,0351

Savitljivost uzoraka ispitana je definiranjem savojne čvrstoće koja se razlikuje kod sva tri uzorka u smjeru osnove i potke, odnosno u uzdužnom i poprečnom smjeru. Uzorak A ima veću savojnu čvrstoću u smjeru osnove, a uzorak B u smjeru nizova. Uzorak C ispitani su sa

strane lica i strane naličja. Najveću savojnu krutost ima uzorak C sa strane naličja u smjeru nizova, a najslabiju u smjeru redova sa strane lica.

4.3. Rezultati ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja

Na sljedećim slikama prikazani su rezultati mjerenja prekidne sile i prekidnog istezanja za sve tri ispitivane vrste uzoraka.

Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester
 according to the standard ISO 13934/1-EN ISO 13934/1 Fabric traction Strip Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-1:199

Customer Code: UZ_A_STRIP Test Code: VJ_UZ_A_STRIP Date: 9.1.2005 Time: 21:28:59

Sample Description		Sample Number	10
Parcel	Lot		
Material			
Examiner			
Sample Length	200 [mm]	Load cell ID/FS [kg]	7 / 3000 X 1
Clamp Speed	100 [mm/min]	Pretension	2 [N]
Test Machine			

Observations Method: Dry sample /

Statistical Results of the Test

	Weft		Warp	
	Force [N]	Elongation [%]	Force [N]	Elongation [%]
Average Time of Breakage	32,6 [s]		48,9 [s]	
Maximum	785 (1)	28,330 (1)	1.285 (9)	41,145 (9)
Minimum	735 (3)	25,386 (3)	1.255 (10)	39,247 (10)
Average	763	27,020	1.269	40,316
Range	6,427 [%]	10,897 [%]	2,318 [%]	4,707 [%]
CV	2,472 [%]	4,218 [%]	0,881 [%]	1,870 [%]
Deviation	19	1,140	11	0,754
IC95%	17	0,999	10	0,661
IC99%	22	1,313	13	0,869

Results of Single Samples

Sample #	Max Force [N]	Max Elongation [%]	Time [s]
1 Weft	785	28,33	34,2
2 Weft	765	27,33	32,9
3 Weft	735	25,39	30,6
4 Weft	775	27,63	33,3
5 Weft	755	26,43	31,9
6 Warp	1265	40,73	49,3
7 Warp	1275	39,87	48,4
8 Warp	1265	40,58	49,1
9 Warp	1285	41,14	50,0
10 Warp	1255	39,25	47,5

Sl. 19 Ispis rezultata prekidne sile i prekidnog istezanja uzorka A

Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester
 according to the standard ISO 13934/1-EN ISO 13934/1 Fabric traction Strip Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-1:199

Customer Code: UZ_B_STRIP Test Code VJ_UZ_B_STRIP Date 9.1.2005 Time 22:41:59

Sample Description	Lot	Sample Number	10
Parcel			
Material			
Examiner			
Sample Length	200 [mm]	Load cell ID/FS [kg]	4 / 100 X 1
Clamp Speed	100 [mm/min]	Pretension	2 [N]
Test Machine			

Observations Method: Dry sample /

Statistical Results of the Test

	Weft		Warp	
	Force [N]	Elongation [%]	Force [N]	Elongation [%]
Average Time of Breakage 280,9 [s]				
Maximum	259,8 (3)	242,808 (1)	750,4 (7)	89,032 (7)
Minimum	200,5 (5)	215,150 (5)	617,6 (10)	75,372 (10)
Average	229,7	230,567	696,4	84,986
Range	25,790 [%]	11,996 [%]	19,068 [%]	16,074 [%]
CV	10,624 [%]	5,329 [%]	6,956 [%]	6,546 [%]
Deviation	24,4	12,286	48,4	5,563
IC95%	21,4	10,769	42,5	4,876
IC99%	28,1	14,153	55,8	6,408

Results of Single Samples

Sample #	Max Force [N]	Max Elongation [%]	Time [s]
1 Weft	243,4	242,81	295,7
2 Weft	235,2	232,76	283,5
3 Weft	259,8	241,33	293,9
4 Weft	209,5	220,79	268,9
5 Weft	200,5	215,15	262,4
6 Warp	698,9	86,18	104,0
7 Warp	750,4	89,03	107,6
8 Warp	710,0	88,59	107,1
9 Warp	704,9	85,76	103,7
10 Warp	617,6	75,37	91,3

Test of Fabric Traction with MesdanLab Strength Tester
 according to the standard ISO 13934/1-EN ISO 13934/1 Fabric traction Strip Meth. - First Edition 1999-02-15/ Ref.Num. ISO 13934-1:199

Customer Code: VJ_UZ_3_STRIP Test Code: VJ_UZ_3_STRIP Date: 9.1.2005 Time: 20:51:41

Sample Description	Lot	Sample Number	10
Parcel			
Material			
Examiner			
Sample Length	200 [mm]	Load cell ID/FS [kg]	7 / 3000 X 1
Clamp Speed	100 [mm/min]	Pretension	10 [N]
Test Machine			

Observations Method: Dry sample /

Statistical Results of the Test

	Weft		Warp	
	Force [N]	Elongation [%]	Force [N]	Elongation [%]
Average Time of Breakage	83,7 [s]		62,8 [s]	
Maximum	559 (3)	63,653 (1)	559 (6)	52,649 (6)
Minimum	510 (4)	58,238 (4)	510 (10)	47,842 (10)
Average	539	61,816	533	49,685
Range	9,091 [%]	8,759 [%]	9,191 [%]	9,675 [%]
CV	3,857 [%]	3,382 [%]	3,812 [%]	3,737 [%]
Deviation	21	2,091	20	1,857
IC95%	18	1,832	18	1,628
IC99%	24	2,408	23	2,139

Results of Single Samples

Sample #	Max Force [N]	Max Elongation [%]	Time [s]
1 Weft	539	63,65	85,3
2 Weft	530	62,81	84,4
3 Weft	559	62,33	84,8
4 Weft	510	58,24	79,7
5 Weft	559	62,05	84,1
6 Warp	559	52,65	65,0
7 Warp	530	49,52	62,5
8 Warp	520	48,46	61,2
9 Warp	549	49,95	64,1
10 Warp	510	47,84	61,2

Sl. 21 Ispis rezultata prekidne sile i prekidnog istezanja za uzorak C

U tab. 10 prikazani su prosječni rezultati 5 mjerenja (u smjeru osnove i potke) prekidne sile i prekidnog istežanja na ispitivanim uzorcima.

Tab. 10 Vrijednosti prekidnih sila i prekidnog istežanja ispitivanih uzoraka

UZORAK	PREKIDNA SILA [N]		PREKIDNO ISTEZANJE [%]	
	OSNOVA/NIZ	POTKA/RED	OSNOVA/NIZ	POTKA/RED
A	1269	763	40,31	27,02
B	696	229	84,99	230,57
C	533	539	49,69	61,81

Prema rezultatima može se zaključiti da najveća prekidna sila od svih mjerenja iznosi 1269 N kod uzorka A, u smjeru osnove. Uzorak B je najelastičniji - u smjeru redova prosječno prekidno istežanje iznosi čak 230, 57 % što samim time znači da mu treba duže vremena da pukne (u prosjeku 280,9 s). Uzorak C ima veću prekidnu silu u smjeru redova kao i prekidno istežanje, a prosječno vrijeme iznosi 83,7 s.

4.4. Rezultati ispitivanja otpornosti materijala na plošno habanje primjenom habalice po Martindale-u

Otpornost materijala A, B i C na plošno habanje ispitana je u skladu s normom HRN EN ISO 12947 – 3:2008 utvrđivanjem gubitka mase primjenom habalice po Martindale-u, tt, Mesdan.

Pomoću kružnog rezača definiranih dimenzija, promjera 38 mm priređena su po dva uzorka od svakog materijala. Nakon što su uzorci pričvršćeni, gornji nosači uzorka opterećeni su pripadajućim utegom: uzorci A i B utegom od 595 ± 7 g (pritisak od 9 kPa), a uzorak C utegom od 795 ± 7 g (pritisak od 12 kPa).

Rezultati mjerenja mase nakon svakog ciklusa prikazani su u tab. 11.

Tab. 11 Rezultati mjerenja mase nakon provedenih ciklusa postupka nahabavanja

U Z O R A K	masa poč. Uzorka	masa nakon 500 ciklusa [g]	masa nakon 750 ciklusa [g]	masa nakon 1 000 ciklusa [g]	masa nakon 2 500 ciklusa [g]	masa nakon 5 000 ciklusa [g]	masa nakon 7 500 ciklusa [g]	masa nakon 10 000 ciklusa [g]	masa nakon 15 000 ciklusa [g]	masa nakon 25 000 ciklusa [g]	masa nakon 40 000 ciklusa [g]
A	0,2316	0,2315	0,2319	0,2313	0,2310	0,2305	0,2300	0,2298	0,2293	0,2269	0,2233
A	0,2296	0,2305	0,2301	0,2310	0,2305	0,2299	0,2296	0,2285	0,2277	0,2257	0,2218
B	0,1625	0,1628	0,1620	0,1627	0,1622	0,1635	0,1631	0,1635	0,1621	0,1631	0,1640
B	0,1546	0,1544	0,1544	0,1547	0,1545	0,1537	0,1543	0,1543	0,1547	0,1543	0,1556
C	0,7588	0,7533	0,7538	0,7532	0,7503	0,7474	0,7458	0,7437	0,7373	0,7283	0,7190
C	0,7827	0,7785	0,7776	0,7768	0,7721	0,7709	0,7690	0,7664	0,7611	0,7521	0,7433

Nakon provedbe habajućih ciklusa uzorci su izvagani i izračunata je promjena mase prema izrazu:

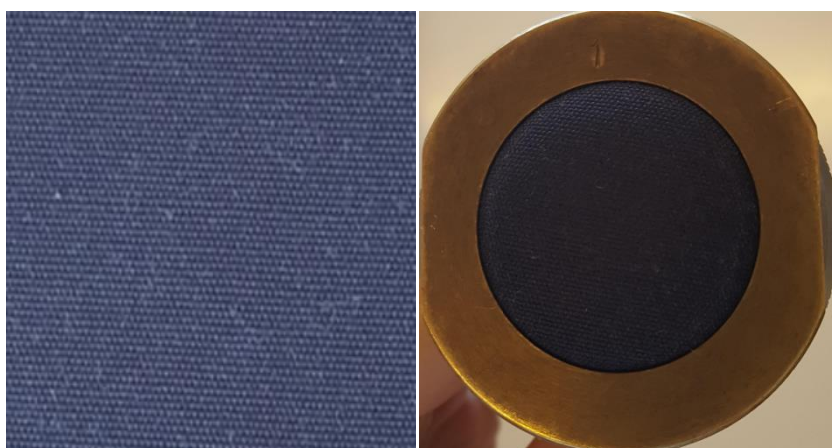
$$\Delta m_{\text{ broj ciklusa}} = \frac{m_{\text{ broj ciklusa}} - m_{\text{ prije}}}{m_{\text{ prije}}} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Rezultati su prikazani u tab. 12.

Tab. 12 Rezultati promjene mase nakon provedbe ciklusa habanja

U Z O R A K	Δm_{500} [%]	Δm_{750} [%]	$\Delta m_{1\,000}$ [%]	$\Delta m_{2\,500}$ [%]	$\Delta m_{5\,000}$ [%]	$\Delta m_{7\,500}$ [%]	$\Delta m_{10\,000}$ [%]	$\Delta m_{15\,000}$ [%]	$\Delta m_{25\,000}$ [%]	$\Delta m_{40\,000}$ [%]
A	-0,04	0,17	-0,26	-0,13	-0,22	-0,22	-0,09	-0,22	-1,05	-1,59
A	0,44	-0,17	0,39	-0,22	-0,26	-0,13	-0,48	-0,35	-0,88	-1,73
B	0,18	-0,49	0,43	-0,31	0,80	-0,24	0,25	-0,86	0,62	0,55
B	-0,13	0	0,19	-0,13	-0,52	0,39	0	0,26	-0,26	0,84
C	-0,46	-0,20	-0,08	-0,39	-0,39	-0,21	-0,28	-0,86	-1,22	-1,28
C	-0,54	-0,12	-0,10	-0,61	-0,16	-0,25	-0,34	-0,69	-1,18	-1,17

Na sljedećim slikama prikazan je izgled uzoraka prije i nakon postupka habanja.



a)

b)

Sl. 22 a) Uzorak A prije procesa habanja; b) Uzorak A nakon procesa habanja



a)

b)

Sl. 23 a) Uzorak B prije procesa habanja; b) Uzorak B nakon procesa habanja



a)

b)

Sl. 24 a) Uzorak C prije procesa habanja; b) Uzorak C nakon procesa habanja

Prema rezultatima možemo zaključiti kako uzorci imaju dobru otpornost na habanje. Tek je nakon provedbe 40 000 ciklusa došlo do vidljivih promjena na uzorcima A i C. Kod uzorka A se pojavila rupa oko rubova uzoraka premda se masa nije značajno promijenila uspoređuje li se početni uzorak i uzorak nakon završetka habanja. Kod uzorka B nisu zabilježene promjene u izgledu, a masa se povećala nakon habanja, čemu je uzrok najvjerojatnije prijanjanje vunene podloge na uzorak. Uzorak C ima najveće promjene u masi, a došlo je i do blage promjene boje.

4.5. Rezultati ispitivanja otpornosti na gorenje primjenom vertikalnog testa

Primjenom vertikalnog testa ispitana je otpornost materijala na gorenje prema normi Zaštitna odjeća – zaštita od topline i plamena – metoda ispitivanja ograničenog širenja plamena HRN EN ISO 15025:2016.

Na okvir dimenzija postavljeni su kondicionirani uzorci dimenzija $160 \pm 2 \times 200 \pm 2$ mm, od svake vrste po dva uzorka. Nakon djelovanja plamena u vremenu od 10 s uz udaljenost plamenika 17 ± 1 mm od površine uzorka zabilježeno je: vrijeme naknadnog gorenja i visina širenja plamena, vrijeme naknadnog tinjanja, odvajanje slojeva, kapanje (rastaljenih dijelova) i pojava rupe (kontinuirane ili diskontinuirane), (tab. 13).

Tab. 13 Prikaz posljedice djelovanja plamena na uzorke A, B, C

UZORAK	A	A	B	B	C	C
Vrijeme naknadnog gorenja [s]	0	0	0	0	0	0
Visina plamena [mm]	63	70	70	70	65	66
Vrijeme naknadnog tinjanja [s]	0	0	0	0	0	0
Odvajanje slojeva	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Kapanje	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Rupa	NE	NE	kontinuirana, visine 70 mm	kontinuirana, visine 70 mm	NE	NE



Sl. 25 Prikaz uzoraka nakon provedbe testa gorenja u trajanju od 10 s

Provedbom ispitivanja utvrđeno je da sva tri uzorka, A, B i C ne podržavaju naknadno gorenje, tinjanje, ne dolazi do razdvajanja slojeva, a rupa se pojavila samo na uzorku B. Maksimalna izmjena visina plamena je 70 mm, zabilježena također kod uzorka B, a nastala rupa bila je kontinuirana.

4.6. Rezultati ispitivanja vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka

Vodonepropusnost uzoraka A i B utvrđena je pomoću aparata za ispitivanje vodonepropusnosti djelovanjem hidrostatskog tlaka od 980 Pa, u vremenu od 24 h. Spomenuti uzorci u tom vremenu nisu propustili niti jednu kap vode na naličje. Također, ispitivanjem je utvrđeno da uzorak C nije vodonepropusan – voda je propustila na naličje uzorka u kratkom vremenskom periodu.

5. ZAKLJUČAK

Vatrogasci su prilikom svojih radnih aktivnosti izloženi raznim štetnim mehaničkim, kemijskim, biološkim i drugim učincima okoliša (prljavštini, vlazi, kemikalijama, niskim ili visokim temperaturama) zbog čega postoji opasnost od pojava teških povreda. U svrhu zaštite nužno je koristiti odjevne sustave s cjelokupnom opremom za zaštitu od topline i plamena. Iz istih razloga potrebno je poznavati i materijale od kojih se izrađuje zaštitna odjeća za vatrogasce. Osim poznavanja svojstava i strukture materijala od kojih se izrađuje, vrlo važan faktor zaštite je pravilan način održavanja cjelokupnog odjevnog sustava.

Tijekom projektiranja, oblikovanja i izrade zaštitnih odjevnih sustava važno je voditi računa o funkcionalnom dizajnu, upotrebi suvremenih negorivih materijala te o suvremenim procesima izrade kako bi proizvedeni odjevni sustavi bili kvalitetni, udobni i funkcionalni, a korisniku pružili maksimalnu zaštitu prilikom obavljanja radnih aktivnosti. Razvitkom inteligentne odjeće, odnosno senzora i senzorskih sustava integriranih u tekstilne materijale i osobnu zaštitnu opremu vatrogascima je omogućen još sigurniji rad.

U okviru eksperimentalnog dijela diplomskog rada provedena su laboratorijska ispitivanja materijala koji se koriste u svrhu izrade vatrogasnog interventnog odijela. Ispitana su svojstva materijala trgovačkih naziva *NomexTM*, *Lainer membrana Sympatex[®]* i *silikonizirani Kevlar[®]*.

Na temelju provedenih ispitivanja, može se zaključiti kako je materijal *NomexTM*, koji se koristi kao vanjski materijal zaštitnog odijela, otporan na habanje, vatrootporan i vodootporan.

Lainer membrana Sympatex[®], čija je svrha zaštita od prodora vode iz okoliša u unutrašnjost odjevnog predmeta, koja je spojena sa pletivom, a može biti spojena s unutarnjom stranom vanjske školjke, također se pokazala vodootpornom, vatrootpornom i otpornom na habanje.

Silikonizirani Kevlar[®], koji se koristi kao ojačanje, ima dobru otpornost na habanje, vatrootporan je, ali nije vodonepropusan. U odnosu na *NomexTM* i *Sympatex[®]* membranu ima značajno veću savojnu čvrstoću, što kazuje da je riječ o krućem materijalu.

Prema dobivenim rezultatima ispitivanja prekidne sile i prekidnog istezanja ispitivanih materijala može se potvrditi da se radi o vrlo čvrstim materijalima koji kao takvi zadovoljavaju zahtjevima za izradu zaštitne odjeće za vatrogasce.

LITERATURA

- [1] https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1997_05_48_705.html; pristupljeno: 03.08.2018.
- [2] Hursa Šajatović A. i sur.: Vatrogasni odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena, *Tekstil* **62** (3-4) 160-173 (2013.)
- [3] Zavec Pavlinić D., Hursa Šajatović A., B. Mekjavić I.: Utjecaj osobne zaštitne opreme na zdravlje radnika, Zbornik radova 4. Međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja, 701-706, Zadar, Hrvatska, rujan 2012, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2012.)
- [4] Kac Čubranić A., Šadek D.: Učestalost i oblici toplinskog stresa kod vatrogasaca, Zbornik radova 5. Međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja, 641-646, Zadar, Hrvatska, rujan 2014, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2014.)
- [5] <http://www.vatrogasci-osijek.hr/dokumenti/strucni-dokumenti/>; pristupljeno: 03.08.2018.
- [6] Horvat J., Regent A.: *Osobna zaštitna oprema*, Veleučilište u Rijeci, ISBN 978-953-6911-43-1, Rijeka (2009)
- [7] <http://hzzzs.hr/wp-content/uploads/2016/11/Za%C5%A1titna-odje%C4%87a.pdf>; pristupljeno: 03.08.2018.
- [8] Pejnović N., Bubaš M., Krišto D., Mihalina Bolanča M., Škrebilin J.: Zaštitna odjeća, Zbornik radova 5. Međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja, 587-592, Zadar, Hrvatska, rujan 2014, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2014.)
- [9] R.Čunko, M.Andrassy: *Vlakna, sveučilišni udžbenik*, ZRINSKI d.d., Čakovec, 2005.
- [10] Rašuo J., Giordani A., Vučinić Z.: Materijali za izradu zaštitne odjeće, Zbornik radova 4. Međunarodni stručno-znanstveni skup Zaštita na radu i zaštita zdravlja, 679-684, Zadar, Hrvatska, rujan 2012, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2012.)
- [11] Vatrogasna potkapa: http://www.vatrogasci.hr/index.php?route=product/product&product_id=713, pristupljeno: 05.08.2018.
- [12] Zaštitna maska: http://www.vatrogasci.hr/index.php?route=product/product&product_id=616; pristupljeno: 05.08.2018.
- [13] Zaštitna kaciga: Izvor: <http://nl.msasafety.com/Head-Protection/Fire/Helmets/>, pristupljeno: 05.08.2018.
- [14] Zaštitne rukavice: <http://kuna-visoko.com/zastitne-rukavice/vatrogasne/>; pristupljeno: 05.08.2018.

- [15] Zaštitne čizme: <https://www.militaryshop.rs/shop/obuca/zastitna-obuca/vatrogasne-yds-cizme-talos/>; pristupljeno: 05.08.2018.
- [16] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z., Inteligentna odjeća, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, 2014.
- [17] Siegfried Assmann i sur.: Intelligent protective clothing for firefighters on duty, 2014., objavljeno na:
https://www.researchgate.net/publication/268923752_Intelligent_protective_clothing_for_firefighters_on_duty
- [18] Wearable sensors for firefighters:
<https://advancedtextilesource.com/2014/01/11/wearable-sensors-for-firefighters/>;
pristupljeno: 20.08.2018.
- [19] Dino – Lite: <http://www.dino-lite.hr/am413t-2/>; pristupljeno: 22.08.2018.
- [20] Tekstilna lupa: www.gddizajn.hr ; pristupljeno: 22.08.2018.
- [21] Lissajousova krivulja: http://www.wikiwand.com/sl/Lissajousova_krivulja, pristupljeno: 23.08.2018.