

## Vatrogasni odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena

Doc.dr.sc. **Anica Hursa Šajatović**, dipl.ing.  
Doc.dr.sc. **Daniela Zavec Pavlinić**, dipl.ing.\*  
Prof.dr.sc. **Zvonko Dragčević**, dipl.ing.  
Tekstilno-tehnološki fakultet  
Sveučilište u Zagrebu, Zavod za odjevnu tehnologiju  
Zagreb, Hrvatska  
\*Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo  
Inštitut za proizvodno strojništvo  
Laboratorij za inteligentne obdelovalne sisteme  
Maribor, Slovenija  
e-mail: anica.hursa@ttf.hr  
Prispjelo 14.9.2012.

UDK687:614.89:677.017.56  
Pregled

*Korisnici zaštitnih odjevnih sustava različitih zanimanja (vatrogasci, pripadnici civilne zaštite, vojnici, radnici na palubama nosača zrakoplova i naftnih platformi, radnici u kotlovnicama, itd.) su tijekom obavljanja svojih radnih aktivnosti izloženi raznim vanjskim utjecajima kao što su djelovanje topline, vatre, vode, statičkog elektriciteta, kemijskih sredstava, a također rade u uvjetima smanjene vidljivosti uz povećani fizički napor. Zbog opasnosti od pojava opekline i drugih mogućih povreda te za zaštitu njihovog zdravlja, od osnovnog značenja su odjevni sustavi s cjelokupnom opremom za zaštitu od topline i plamena koji ujedno utječu na njihovu učinkovitost pri obavljanju radnih aktivnosti. U radu je dan pregled zaštitne odjeće za vatrogasce i zahtjeva koje je potrebno zadovoljavati kako bi takva odjeća pružila odgovarajuću zaštitu i udobnost tijekom nošenja. Prikazani su zaštitni odjevni sustavi za vatrogasce, te materijali koji su osnovni gradbeni element višeslojne odjeće za zaštitu od topline i plamena. Istaknuta je i činjenica, da je osim optimalne zaštitne opreme jako bitna i određena razina vještine vatrogasaca te njihove psihofizičke sposobnosti kod obavljanja rada u akcidentnim situacijama.*

**Ključne riječi:** zaštitna odjeća, vatrogasci, odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena, interventna odjeća za vatrogasce

### 1. Uvod

Odijevanje je temeljna i trajna ljudska potreba. Glavna funkcija odjeće je da zaštiti ljudsko tijelo od osnovnih vanjskih utjecaja kao što su vjetar, kiša, sunce, prašina te mehanički utjecaji [1]. Budući da je čovjek svakodnevno izložen raznim nepovoljnim, a ponekad teškim i pogibelnim radnim i životnim uvjetima, potrebno ga je zaštititi odgovarajućom

vrstom odjeće. Odjevni predmeti mogu se svrstati u više skupina, a to su odjeća za svaki dan, radna odjeća za rad u zatvorenim prostorima, radna odjeća za rad u vanjskom, otvorenom prostoru, vojničke i policijske uniforme, sportska odjeća te odjeća za posebne namjene. Svaka skupina sadrži odgovarajuće vrste odjevnih predmeta, ovisno o namjeni odnosno funkciji. Svi odjevni predmeti moraju ispuniti osnovne zahtjeve kao što su

izgled na koji utječu kroj, oblik, boje, površina materijala, podatnost i ugodnost pri nošenju, otpornost na gužvanje, mrlje i habanje. Ovisno o namjeni odjeće, a poglavito radna, vojnička i sportska odjeća treba ispuniti zahtjeve za termoizolacijska svojstva ne narušavajući pri tome termoregulacijsku funkciju tijela, što znači da mora omogućiti propusnost vodene pare, propusnost zraka - vjetra, fiziološku udobnost, zaštitu od padalina,

itd. Tako se u jednu skupinu ili sustav radne odjeće ubrajaju razni odjevni predmeti kao što su donje rublje, koje ima mogućnost odvođenja vlage ili ima svojstvo negorivosti, hlače, hlače sa štitnikom, košulje, odijela, ogrtači, kombinezoni, rukavice, kapuljače, zaštitne cipele, neprobojne veste, kacige i drugi odjevni predmeti za specijalne namjene [2, 3]. Zaštitni odjevni predmeti mogu biti dvodijelni (jakna i hlače) ili jednodijelni (kombinezoni, kute, radni ogrtači, pregače, hlače, rukavice). Važno je napomenuti, da je sve navedene odjevne predmete već prilikom razvoja i oblikovanja potrebno ugraditi i uskladiti u cjelokupan odjevni sustav, koji će samo u određenoj kombinaciji pružiti optimalnu zaštitu radniku.

Zaštitna radna odjeća svojim određenim svojstvima štiti tijelo od mogućih mehaničkih povreda, ujedinjujući pritom aktivne i pasivne aspekte sigurnosti. Ona prekriva ili zamjenjuje osobnu odjeću, a predviđena je da zaštiti korisnika od jedne ili više opasnosti. Prema upotrebi i vremenu nošenja ona može biti stalna (koristi se pri obavljanju radnih aktivnosti) i interventna (koristi se u akcidentnim situacijama). Zaštitna odjeća se prema namjeni i opasnostima koje se javljaju pri obavljanju radnih aktivnosti dijeli na odjeću za zaštitu od pokretnih dijelova (alata i strojeva), utjecaja hladnoće, lošeg vremena, kemikalija, statičkog elektriciteta, topline, eksplozije, penetracije gefera, metaka i sl., te kontaminacije radioaktivnim česticama, mikroorganizmima i sl. [4].

Posebno je važno da radnici (vatrogasci, spasioci i vojnici), koji svojim radom spašavaju druge živote, budu optimalno zaštićeni odjevnim sustavima i ostalom specijalnom zaštitnom opremom. Danas se na tržištu može naći velik broj raznih tipova i vrsta zaštitnih odjevnih sustava. Budući da najvećim dijelom cijena određuje nabavu zaštitnih odjevnih sustava unutar određenih radnih udruga/društava/jedinica, dolazi do velikog raspona u kakvoći između zaštitnih odjevnih sustava koji su u trenutačnoj upotre-

bi, što znači da dolazi i do razlike u samoj zaštiti. Zbog toga je nužno odjevne sustave za zaštitu od topline i plamena nakon izrade opremiti prema sljedećim informacijama: koliko dugo odjevni sustav pruža dostatnu zaštitu (koliko intervencija u dodiru s plamenom ili nakon koliko pranja i/ili održavanja) i koliko dugo (u sekundama) odjevni sustav pruža zaštitu radniku dok je on izložen eksplozivnoj vatri.

Prilikom izrade kroja i konstrukcije zaštitnih odjevnih predmeta važno je imati na umu uobičajene, najčešće položaje tijela (stajanje, čučanje ili sjedenje) te uobičajene i predviđene ekstremne pokrete koji se najčešće koriste prilikom nošenja odjevnog predmeta i obavljanja radnog zadatka [5]. Pokreti ruku ili nogu mogu biti u međusobnoj sprezi te je potrebno poznavanje dinamičke antropometrije i ergonomije [6].

U području dizajna, oblikovanja i izrade zaštitne odjeće do sada su razvijene nove vrste negorivih vlakana i mikroporoznih materijala, te specijalni načini evaluacije njihovih karakteristika, testovi pomoću toplinskih manekena i ploča za određivanje karakteristika tkanina i odjeće u posebnim uvjetima. Međutim, unatoč razvoju tehnike i tehnologije izrade zaštitne odjeće, materijali i testovi za njihovo ispitivanje još su uvijek ograničeni za upotrebu od strane industrije te konačnog korisnika. Znanstvenici iz raznih područja (tekstil, fiziologija, ergonomija, funkcionalni dizajn) kontinuirano rade na istraživanjima kao što su razvoj i izrada zaštitne odjeće i materijala, istraživanje njihove izdržljivosti tijekom uporabe testiranjem na volonterima u simuliranim uvjetima okoline, istraživanja vezana uz izmjenu vlažnosti kroz odjeću i toplinski stres, te kako osmisliti i provesti odgovarajuće testne metode [7].

U ovom radu poseban je osvrt dan na zaštitne odjevne sustave namijenjene zaštiti od topline, plamena, eksplozivne vatre, vode te mehaničkih utjecaja, a koji se u prvom redu upotre-

bljavaju u vatrogastvu. U takvim ekstremnim radnim uvjetima, kojima su izloženi npr. vatrogasci, od osnovnog značenja su zaštitni odjevni sustavi koji utječu na zaštitu korisnika, njihovu učinkovitost tijekom rada i udobnost. U dosadašnjim istraživanjima proučavano je da li se i u kojoj mjeri zaštitnim odjevnim sustavima štiti korisnik od djelovanja za zdravlje štetnih utjecaja i kako takvi sustavi utječu na zdravlje zbog fiziološkog opterećenja tijela (ubrzani rad srca, pojačano znojenje, povišeni tlak, ubrzani rad unutarnjih organa i dr.).

Iako je dobru zaštitnu opremu od vatre relativno jednostavno oblikovati, ipak treba obratiti posebnu pozornost na to da je vrijeme nošenja takvih zaštitnih odjevnih sustava ponekad dugo (više od jednog radnog dana), a korisnik u njoj mora učinkovito obavljati svoje radne zadatke, te se mora osjećati sigurno i udobno. Zbog toga takva odjeća mora, osim zahtjeva zaštite i sigurnosti, ispunjavati još i druge zahtjeve poput udobnosti, što sa stajališta termoizolacije ne znači samo dodavanje različitih slojeva zaštitnoj odjeći u zimskim mjesecima, odnosno oduzimanje slojeva tijekom ljeta, jer to prije svega ograničava pokretljivost korisnika, povećava težinu odjeće i opreme kod nošenja i toplinsko opterećenje, a sve to pridonosi smanjenoj učinkovitosti radnika [8, 9].

## 2. Koža i opekline

Koža obavlja površinu tijela i štiti organizam od mehaničkih, toplinskih i kemijskih oštećenja, sprječava isušivanje organizma i prodiranje mikroorganizama te drugih tvari u unutrašnjost tijela. Na koži se nalaze i saprofitne bakterije koje se hrane odumrlim stanicama gornjeg sloja kože, a tijelo odnosno organizam brane od patogenih mikroorganizama i njihovog prodora u organizam preko kože. Koža je barijera, ali ujedno i spona između vanjskog svijeta i unutrašnjosti organizma. Primanje podražaja, registriranje i spoznavanje promjena u okolini tijela omogućavaju živci i osjeti-

lna tjelešca u koži organizma. Koža ima zadaću osjetilnog organa, i to za osjet dodira, pritiska, boli i temperature.

Površina kože odraslog čovjeka iznosi između 1,6 i 1,9 m<sup>2</sup>. Pri prosuđivanju težine opekline i određivanju liječenja potrebno je utvrditi opseg opečenog područja i izraziti ga u postotku ukupne površine tijela. U tu svrhu najčešće se koristi tzv. pravilo devetke po kojem je površina tijela podijeljena na područja od po 9 i 18 % ukupne površine tijela (glava s vratom i ruke imaju 9 %, prednja i stražnja strana trupa i svaka noga po 18 % ukupne površine tijela, a preostalih 2 % odgovara površini spolnih organa i perineuma) [10].

### 2.1. Struktura kože

Koža je izgrađena od epidermisa, dermisa (*coriuma*) i hipodermisa (*tela subcutanea*) (sl.1a).

Površinski sloj, epidermis ili pokožica se sastoji od pet slojeva:

1. *stratum corneum* – najgornji sloj pokožice debljine između stotinke i trećine milimetra,
2. *stratum lucidum* – tanki sloj koji ima amorfan, homogen i transparentan izgled,
3. *stratum granulosum* – zrnati sloj kože koji se uz prethodna dva sloja ubraja u orožnjenu zonu,
4. *stratum spinosum* – sloj trnastih stanica u kojima cirkulira limfa i
5. *stratum basale* - najdublji sloj pokožice iz kojeg se obnavljaju površinski slojevi kože.

Dermis (*corium*) se sastoji od vezivnog tkiva s mnogo isprepletenih kolagenih, elastičnih i argirofilnih vlakana, od glatkih i poprečno prugastih mišićnih vlakana. U ovom sloju nalazi se mnoštvo krvnih i limfnih žilica, te razgranata mreža živčanih vlakana i receptora. Debljina mu je 1-3 mm i podijeljen je na dva sloja:

1. *corpus papillare* – površinski sloj dermisa u kojem se nalaze petlje krvnih žila, razgranata kapilarna mreža i taktilna tjelešca i

2. *tunica propria* i *corpus reticulare* – dublji sloj dermisa koji koži daje čvrstoću i elastičnost.

Potkožje ili *tela subcutanea* nalazi se između dermisa i zglobne čahure, periosta ili perihondrija, a sastoji se od rahlog veziva i masnog tkiva [10].

### 2.2. Vrste opekline i stupnjevi

Opekline (lat. *combustio*) je vrsta hipertermičke ozljede koja može nastati djelovanjem topline, električne struje (strujni udar), kemikalija, udarom groma, vrele tekućine i plina, zračenja ili trenja. Znakovi opekline su oštećena koža i sluznica, otekline, mjehuri, crvenilo, bol, gubitak tekućine, a u najgorim slučajevima pougljenje. Što je opečena površina veća, zbog gubitka tekućine i boli, prije će doći do šoka [11-13].

Ovisno o uzroku nastajanja, opekline se mogu svrstati u:

1. **Toplinski uzrokovane opekline** izaziva otvoreni plamen (vatra), para, dodir s vrućim predmetima, ili vrela tekućina.
2. **Opekline uzrokovane električnom strujom** nastaju direktnim kontaktom s izvorima električne energije ili udarom groma.
3. **Kemijski uzrokovane opekline** nastaju u kontaktu s kućnim ili industrijskim kemikalijama u tekućem, čvrstom ili plinovitom obliku (kislina i/ili baze, jaki oksidansi i reducensi, toksične kemikalije, npr. kožni bojni otrovi kao što su S i N iperit, luizit).
4. **Opekline izazvane zračenjem**, nastaju najčešće izlaganjem sunčevoj svjetlosti, svjetlošću u solariju, solux-lampama, X-zrakama ili tijekom terapije zračenjem pri liječenju malignih oboljenja, kao i ionizirajućem elektromagnetskom (gama i rentgensko zračenje) i korpukularnom (neutronsom, alfa i beta) zračenju kao posljedici primarnog i sekundarnog zračenja pri nuklearnim incidentima i eksplozijama nuklearnog oružja.
5. **Opekline izazvane trenjem**, nastaju struganjem (abrazijom) koja se pretvara u toplinu koja spaljuje

površinu s kojom je u kontaktu. Trenje uzrokovano kontaktom s bilo kojom čvrstom površinom kao što su ceste, betonske staze, tepisi, podovi u sportskim dvoranama, stepeništa itd, može izazvati nastanak opekline.

**6. Inhalacijske ozljede dišnih putova i pluća**, nastaju kao rezultat udisanja toksičnih tvari u plinovitom i aerosolnom stanju kao i vrućeg zraka, aerosola i vodene pare te radioaktivnih čestica. Oštećenja dišnih putova i pluća nastaju najčešće udisanjem vrućeg zraka i dima prilikom požara i često su u kombinaciji s opeklinama kože, ali se mogu javiti i neovisno o opeklini kože i drugih organa.

Jačina opekline definira se opisom obuhvaćene površine i dubine kože (sl.1).

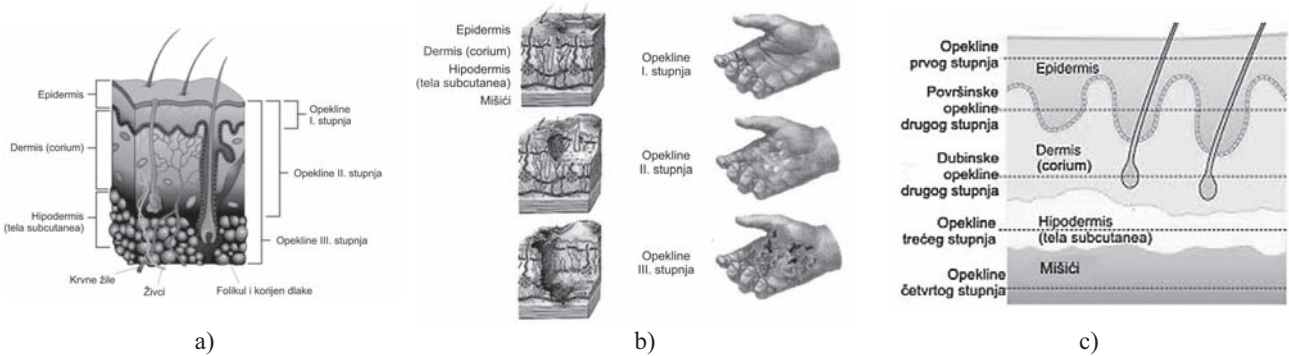
Klasifikacija opekline izvodi se na osnovi dubine i vrste oštećenja kože, i to na opekline prvog, drugog, trećeg ili četvrtog stupnja.

**Opekline prvog stupnja** (lat. *combustio erythematosa*) – vidljive su u pojavi crvenila, koža je blago otečena, bolna i topla. Postoji eritem bez plikova i drugih oštećenja. Ove povrede gotovo uvijek iščezavaju nakon nekoliko sati, a najduže za 5 do 7 dana i ne ostavljaju nikakve tragove na koži.

**Opekline drugog stupnja** (lat. *combustio bullosa*) - imaju izgled opekline prvog stupnja, ali se na nekim mjestima razvijaju mjehuri ispunjeni bistrom i žučkastom tekućinom. Nakon 3 do 4 dana poslije povrede mjehuri se smanjuju, a za 10 do 12 dana obično iščezavaju.

**Opekline trećeg stupnja** (lat. *combustio necrotica*) - podrazumijevaju nekrozu odnosno izumiranje pojedinih ili svih slojeva kože, a ponekad i potkožnog i mišićnog tkiva. Nekroza može biti suha ili vlažna. Pri suhoj nekrozi, koža je čvrsta, suha, crne ili tamnosmeđe boje, s jasno vidljivom granicom povrede. Kod vlažne nekroze koža je otečena, žučkaste boje, vlažna, a može biti i pokrivena mjehurima. Tkivo kod ovakvih opekline





Sl.1 Klasifikacija opekline: a) područja kože koje zahvaćaju opekline I., II. i III. stupnja [14]; b) prikaz opekline I., II. i III. stupnja [15]; c) područja i granice unutar kože koje zahvaćaju opekline I., II., III. i IV. stupnja

ima izgled kuhanog ili pečenog mesa i žućkaste je boje.

**Opekline četvrtog stupnja** (lat. *carbonisatio*) - označavaju destrukciju potkožnog tkiva. One se definiraju i kao subfascijalne opekline praćene izraženim oštećenjem mišića, tetiva, krvnih žila, živaca, kostiju i zglobova, bez obzira na njihovu lokalizaciju.

Kritičnom ozljedom smatra se opekline koja obuhvaća više od 40 % površine tijela. Teška ozljeda je opekline koja je zahvatila 10 do 40 % površine tijela, a lakša ozljeda je opekline koja je zahvatila do 10 % površine tijela. Preživljavanje uslijed opekline ovisi o starosti osobe i njenom zdravlju, intenzitetu i trajanju izloženosti visokoj temperaturi, kao i površini koja je bila izložena plamenu. Prema istraživanjima Američkog udruženja za opekline (engl. American Burn Association), ako čovjek starosti 20-30 godina ima manje od 25 % cjelokupne površine kože zahvaćene opeklinama ima 90 % šanse da preživi, dok kod opekline koje prekrivaju do 75 % površine kože šansa za preživljavanjem je manja od 60 %. Što je osoba starija to su šanse za preživljavanje kod opekline II. i III. stupnja manje. Preživljavanje osoba uslijed opekline ovisi i o udruženim ozljedama kože i dišnih putova [16].

Koža je jedan od najvažnijih sudionika regulacije tjelesne temperature, regulacije krvotoka, izmjene minerala i vode, jer ima sposobnost lučenja znoja i sadrži prostrani bazen krvnih žila. Termoregulacijski centar u moz-

gu reagira na promjene temperature krvi i podražaje koji stižu iz okoliša, što rezultira pojačanim stvaranjem ili odavanjem topline čime se održava normalna tjelesna temperatura. Toplina nastaje zbog različitih biokemijskih reakcija, unosom hrane (probava), kontrakcijom mišića izazvanom sportskim i fizičkim aktivnostima te tijekom endokrinih mehanizama (djelovanje adrenalina i hormona štitnjače). Djelovanje topline iz okoline također utječe na organizam i njegovu termoregulaciju, a upravo je koža organ koji regulira odavanje ili apsorpciju topline kako bi se održala stalna tjelesna temperatura.

### 3. Odjeća za zaštitu od topline i plamena

Odjeća koja štiti tijelo od utjecaja topline i plamena koristi se na mnogim radnim mjestima (u rafinerijama, plinskoj industriji, u ljevaonicama, u industriji stakla, u vatrogastvu, na nosačima zrakoplova, naftnim platformama, pripadnici civilne zaštite i sl.) i mora biti izrađena od materijala koji je otporan na visoke temperature i gorenje te istodobno mora biti nepropustan za vodu. Prijenos topline kroz odjeću, a time i njezin stupanj zaštitnog djelovanja, ovisit će o sastavu i konstrukciji materijala od kojeg je odjeća izrađena, te o količini topline i vremenu izloženosti. Zahtjevi zaštite koji se postavljaju za odjevni predmet su otpornost na ograničeno širenje plamena, smanjenje toplinskog toka, a time i smanjenje toplinske doze zračenja na površinu kože.

Prema standardu ISO 13688 simbol za zaštitu od topline i plamena prikazan je na sl.2 [4].

Postoji nekoliko načina kojim toplina može ugroziti zdravlje ili život radnika, a to su [17]:

- kontaktno (kondukcijski),
- konvekcijski,
- radijacijski (IC i MV zračenje),
- iznenadni kratkotrajni ili dulji kontakt s plamenom,
- prskanje/polijevanje rastaljenim ili užarenim materijalom i
- kombinacija navedenih utjecaja.



Sl.2 Simbol za zaštitu od topline i plamena prema standardu ISO 13688

Odjeća za zaštitu od topline i plamena uvijek se nosi kao vanjski sloj odjeće pa bi trebala biti dizajnirana tako da dobro pristaje i da je udobna, što znači, da se kod dizajna uzimaju u obzir svi slojevi odjeće koji se nose ispod vanjskog sloja. Europska norma EN 340:2003 "Zaštitna odjeća - Opći zahtjevi" bavi se dimenzijama zaštitne odjeće [18]. Ona predlaže tri glavne tjelesne mjere koje su potrebne za utvrđivanje veličine zaštitne odjeće, a to su opseg grudi, opseg struka i tjelesna visina.

Odgovarajuća veličina zaštitne odjeće osobito je važna sa stajališta pristalo-

sti kako bi se postigla funkcionalnost i prilagodljivost odjevnog sustava kretanjama ljudskog tijela, te zaštita zdravlja i života korisnika. Tako npr. rukavi i nogavice hlača moraju biti točno određene duljine i opsega kako bi omogućile odgovarajuću zaštitu ručnih zglobova i gležnjeva s dodatkom drugih dijelova odjevnog sustava kao što su rukavice i čizme [7]. Materijali koji se koriste za izradu odjeće za zaštitu od topline i plamena trebaju imati otpornost na toplinu odnosno povišenu temperaturu, otpornost na zapaljenje i gorenje pri kontaktu s plamenom, otpornost na taljenje i kapanje, reflektivnost za IC zrake te trebaju pružati što višu toplinsku izolaciju [17].

Vojne i policijske odore također trebaju biti otporne na zapaljenje odnosno gorenje i trebaju imati određeni stupanj toplinske zaštite. Zato se danas vanjski sloj jakne (odore) izrađuje najčešće od tkanina sirovinskog sastava Nomex (meta-aramidno vlakno tvrtke Du Pont) u mješavini s drugim aramidnim vlaknima u omjerima 75 % Nomex, 25 % aramidna vlakna, odnosno 95 % Nomex i 5 % aramidna vlakna.

### 3.1. Zaštitna odjeća za vatrogasce

Zaštitna odjeća za vatrogasce koristi se prilikom gašenja požara ili sličnih aktivnosti gdje postoji opasnost od visokog stupnja toplinskog opterećenja i izravnog plamena. Zbog specifičnih radnih uvjeta u kojima vatrogasci obavljaju svoj posao, te zbog vanjskih utjecaja koji nastaju u akcidentnim situacijama nastanka i širenja požara, radna odjeća vatrogasaca mora zadovoljavati i zaštitu od ostalih ekstremnih uvjeta kao što su zaštita od kiše i vode za gašenje, hladnoće, mehaničkih djelovanja, agresivnih i reaktivnih kemikalija, kemikalija opasnih za zdravlje, uključujući i kemijske suspenzije i otopine za RKB dekontaminaciju [4]. Simbol za zaštitnu odjeću za vatrogasce prema standardu ISO 13688 prikazan je na sl.3.



Sl.3 Simbol za zaštitnu odjeću za vatrogasce prema standardu ISO 13688

Zaštitna odjeća vatrogasaca mora udovoljiti općim zahtjevima, a to su [19]:

- zahtjev za toplinskom zaštitom,
- zahtjev za udobnosti pri intervencijama,
- zahtjev za udobnosti pri nošenju u normalnim klimatskim uvjetima i
- zahtjev za pogodno izvedenim sustavom ventilacije zbog oslobađanja topline proizvedene prirodnim metabolizmom vatrogasca.

Jedan od važnih zahtjeva koje mora zadovoljavati zaštitna odjeća za vatrogasce je udobnost. Udobnost zaštitne odjeće za korisnika može se klasificirati kao:

- termofiziološka udobnost - zadržavanje udobnog stanja topline i vlage. Obuhvaća transport topline i vlage kroz materijal od kojeg je odjeća izrađena (toplinska otpornost, djelomična zrakopropusnost, transport vlage kroz materijal, količina vlage u materijalu, mogućnost odbijanja vode...).
- osjetilna udobnost - definirana je raznim osjetilnim podražajima doticaja prigodom dodira tkanine s tijelom (grubost ili mekoća tkanine, osjećaj topline ili hladnoće, kod dodira tijela s tkaninom, stvaranje statičkog elektriciteta, osjećaj bockanja, svrbeža...).
- udobnost pri nošenju/korištenju odjeće - mogućnost odjeće da dozvoli slobodno kretanje tijela, smanji opterećenja odjeće na tijelo korisnika ili prati oblik tijela/dijela tijela (rastezljivost, masa osobnih zaštitnih sredstava...) [20].

Zaštitna odjeća za vatrogasce može se podijeliti na:

- vatrogasnu radnu odjeću: odijela, kombinezoni, hlače, kape,
- vatrogasnu svečanu odjeću: odijela, vjetrovke, kišne kabanice, veste,

košulje, majice, kravate, rukavice, kape,

- vatrogasnu interventnu odjeću: kombinezoni, interventne jakne i hlače i
- ostalu opremu.

Radna vatrogasna odora sastoji se od plave bluže, hlača i kape, te crnih cipela (za mladež tenisice) i nosi se u vatrogasnom domu, na dežurstvima, natjecanjima i sl. Svečanu vatrogasnu odoru nose odrasli članovi vatrogasne postrojbe i dobrovoljnog vatrogasnog društva u svečanim prigodama, npr. na vatrogasnim skupštinama, javnim nastupima itd. Na vatrogasnim intervencijama preko radne vatrogasne odore nosi se interventna vatrogasna odora (sl.4), koja pokriva cijelo tijelo i pruža znatno bolju zaštitu (npr. bolja otpornost prema gorenju, veća čvrstoća itd.). Interventna vatrogasna odora ili tzv. osobna zaštitna oprema sastoji se od bluže, hlača, jakne i rukavica za zaštitu od toplinskog isijavanja, kožnih zaštitnih čizama s ojačanim potplatom, zaštitne vatrogasne kacige, zaštitnog opasača tipa "A" s priborom te zaštitne maske. Ako se vatrogasna intervencija ne može obaviti s postojećom osobnom vatrogasnom opremom, koristi se dodatna skupna zaštitna oprema kao što su odijela za zaštitu od topline, odijela za zaštitu od agresivnih tvari, odijela za RKB-zaštitu, penjačko užje, izolacijski aparati za zaštitu dišnih organa, dozimetri i detektori te pribor za dekontaminaciju.

### 3.2. Interventna zaštitna odjeća za vatrogasce

Vatrogasci u okviru svog radnog djelovanja ulaze na mjesta opasnih incidentnih situacija radi spašavanja života i pružanja humanitarnih usluga, sprječavanja ili minimiziranja šteta na imovini i okolišu. Stoga je potrebno da im njihova osobna zaštitna oprema pruži maksimalno siguran rad [17].

Interventna zaštitna odjeća (jakne i hlače) za vatrogasce najčešće je višeslojna i svaki sloj je izrađen od drugog materijala, a može imati dodatke



Sl.4 Interventna zaštitna odjeća za vatrogasce različitih proizvođača: Bristol [21]; Rosenbauer [22]; Taiwan K.K. Corp. [23]; Hemco [24]

kao što su patentni zatvarači, vezice, refleksne trake, specijalne oznake i sl. Odjeća koja mora biti vidljiva u mraku ili specijalnim uvjetima opremljena je trakama koje imaju retroreflektivna i fluorescentna svojstva i pozicionirane su na posebno uočljivim mjestima kao što su ramena, rubovi jakne ili hlača, te rubovi rukava [4, 20, 25, 26]. Kao zaštita od topline i plamena koristi se kombinacija različitih specijalnih materijala kod kojih se općenito može reći da što su slojevi deblji pružaju veću zaštitu, ali je takve specijalne materijale u zaštitnim odjevnim sustavima potrebno optimalno kombinirati zbog pitanja toplinskog (pre)opterećenja korisnika. Stoga vrsta i razina zaštite koju neka kombinacija slojeva pruža ovisi o vrsti materijala u toj kombinaciji i o tome što je zadaća svakog od tih materijala [27]. Kao prvi zaštitni sloj (“vanjska školjka”) vrlo se često koristi tkanina koja je po sirovinskom sastavu kombinacija Nomexa i nekog drugog aramidnog vlakna u omjeru 95 % prema 5 % kod običnih vojnih i policijskih odora, a 75 % prema 25 % kod vatrogasne odjeće. Ako se promatraju karakteristike gorenja vlakna,

može se zaključiti da su celulozna vlakna najzapaljivija i najbrže gore, dok aramidna vlakna pougljene ali ne gore. Tekstilije koje se sastoje od dviju ili više vrsta vlakana ne gore na isti način kao pojedinačna vrsta vlakana. Način na koji su izrađene tekstilije (netkane tekstilije, pletivo, tkanine, vez, itd.) također utječu na način gorenja [28].

Zaštitna odjeća za vatrogasce (jakne i hlače) je najčešće višeslojna i u pravilu se izrađuje od četiri osnovna sloja materijala sastavljena u jednu kombinaciju/sustav [25]:

- vanjski materijal, koji se naziva i “vanjskom školjkom”, vrlo je čvrst, ima visoku otpornost na toplinu i plamen, otpornost na mehaničke utjecaje, većinu otapala i kiselina, ne smije gorjeti, topiti se, pucati ili raspadati se čak i nakon spaljivanja. Nakon djelovanja otvorenog plamena i topline ovi materijali se ne smiju skupljati i raspadati. Materijali za zaštitu od vlage moraju biti otporni na vodu, nepropusni na vjetar i moraju ‘disati’ odnosno moraju omogućiti prolazak topline od tijela prema okolini. Najčešće upotrebljavani materijali za “vanjsku školjku”,

koji su dostupni na tržištu, prikazani su u tab.1;

- vodonepropusna/zrakopropusna membrana, čija je svrha smanjiti količinu vode koja bi iz okoliša mogla prodrijeti u unutrašnjost odjavnog predmeta, spojena je s tkanom ili netkanom podlogom koja joj daje čvrstoću i trajnost, ali može biti spojena i s unutarnjom stranom vanjske školjke;
- toplinska međupodstava, materijal namijenjen da uspori prolaz topline izvana prema unutrašnjosti odjavnog predmeta i
- unutarnja podstava, koja štiti materijal toplinske prepreke, te pruža korisniku udobnost i dodatni zaštitni sloj.

Proizvođači odjeće za zaštitu od topline i plamena upotrebljavaju različite vrste materijala za svaki od navedenih slojeva, sl.5 [29-33]. Neki od njih za pojedine modele odjeće za zaštitu od topline i plamena koriste tri sloja materijala, i to vanjski materijal (“vanjska školjka”), materijal za zaštitu od vlage i podstavu koja je u tom slučaju dvoslojna.

Važno je spomenuti da se danas pri izradi odjeće za zaštitu od topline i



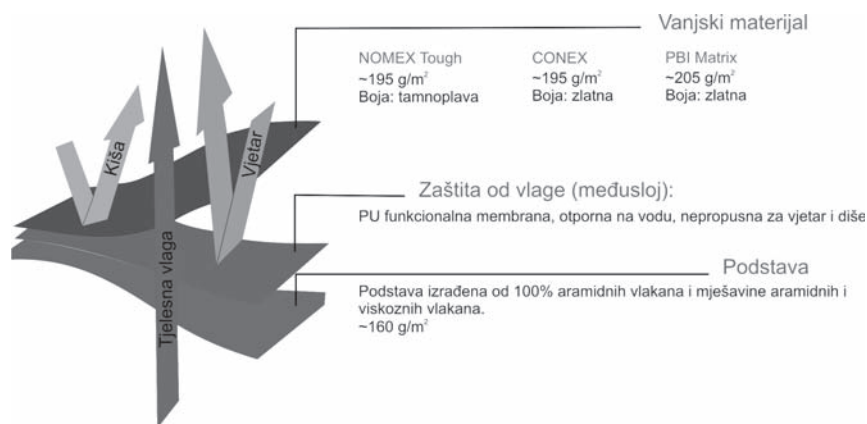
Tab.1 Najčešće upotrebljavani materijali za izradu interventne vatrogasne odjeće

	Red. br.	Vrsta materijala	Površinska masa [g/m <sup>2</sup> ]
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
Treći 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 viskozničkih vlakana	160-270
	4.	tkanine izrađene od pamučnih vlakana (dodatno obrađene i otporne na plamen)	330

plamena, osim inherentno otpornih materijala na plamen kao što su aramidna vlakna (Nomex, Kevlar, Tvaron, Rustik), vlakna na bazi melamina (Basofil®) i modakrilna vlakna otporna na plamen, vrlo često koriste pamučna, viskozna, vunena i polieterska vlakna koja se u postupcima dorade obrađuju kemijskim sredstvima protiv gorenja [34, 35]. Razvijaju se i nove fotokemijske metode za trajnu obradu tekstilnih materijala protiv gorenja [36].

Za drugi sloj zaštitne odjeće za vatrogasce kao prepreka i zaštita od vlage koriste se PU (poliuretanske) membrane, Comfortex C membrane, Sympatex® membrane i Gore-Tex® membrane.

Za treći sloj zaštitne odjeće za vatrogasce kao toplinska zaštita, tzv. toplinska međupodstava, koriste se tkanine izrađene od aramidnih vlakana. Kao podstava odnosno četvrti sloj zaštitne odjeće za vatrogasce koriste se tkanine izrađene od Nomex® aramidnih vlakana, mješavina aramidnih i viskozničkih vlakana, te tkanine izrađene od pamučnih vlakana koje su



Sl.5 Shematski prikaz slojeva zaštitne odjeće za vatrogasce i najčešće upotrebljavani materijali za pojedine slojeve [29]

dodatno obrađene i otporne na plamen.

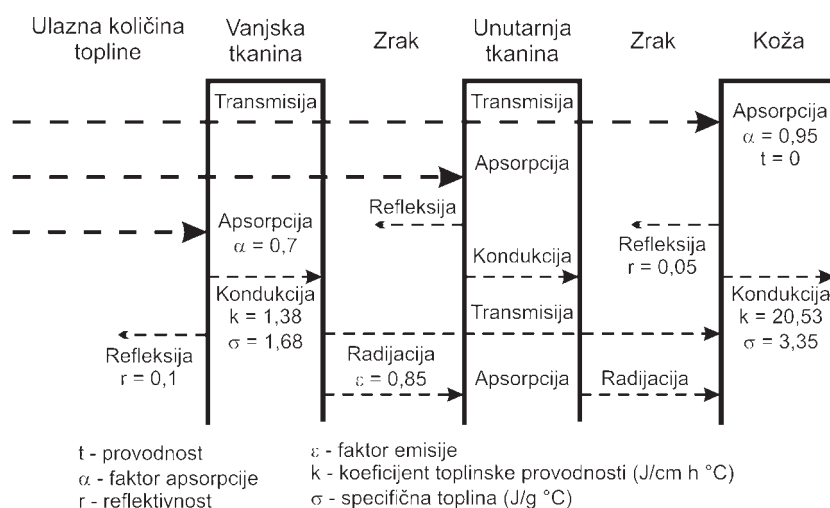
Osim navedenih slojeva od kojih je izrađena zaštitna odjeća za vatrogasce (jakna i hlače), može se govoriti o protupožarnim odjevnim sustavima pod kojima se razumijeva sva odjeća koju vatrogasac nosi na sebi prilikom intervencija, počevši od donjeg rublja koji je prvi odjevni sloj, slijedi međusloj koji može sadržavati majice, veste, pulovere, košulje i sl., te gornji zaštitni sloj odjevnog sustava

va koji se sastoji od višeslojne interventne jakne i hlače.

Zaštita koju odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena moraju pružiti je u prvom redu nezapaljivost odjeće. U slučaju izloženosti višeslojnih zaštitnih odjevnih sustava direktnom plamenu, prijelaz topline kroz slojeve odjeće je složena kombinacija radijacije, apsorpcije, kondukcije i refleksije toplinske energije (sl.6) [37]. Istraživanjima je dokazano da se otprilike 20 % radijacijske infracrvene

energije smanji pri prolasku kroz sloj tkanine. 10 % ulazne energije je reflektirano od površine tkanine, a ostatak 70-75 % apsorbira tkanina koja se zagrijava kondukcijom apsorbirane energije iz njezine strukture. Svaki sloj tkanine u odjevnom sustavu odijeljen je od sljedećeg susjednog sloja sa zrakom, pri čemu se ukupna energija smanjuje prema koži određenim uzastopnim reflektivnim-apsorptivnim-radijativnim sustavom prijelaza topline. Ako navedeni slojevi tkanine dolaze u međusobni kontakt, toplina prelazi sa sloja na sloj kondukcijom. Koža je vrlo dobar apsorber toplinske energije koji reflektira samo oko 5 %, a apsorbira 95 % energije [37]. Stoga je potrebno posebno obratiti pažnju na što učinkovitije sprječavanje prijelaza topline do kože kako bi se izbjegle opekotine i oštećenja kože odnosno tijela korisnika.

Za vrijeme intervencije vatrogasaca pri požaru, temperature kojima je izložena površina zaštitne odjeće iznosi od 50 do 600 °C, dok se kod požara zapaljivih tekućina mogu razviti temperature i do 1200 °C. Uslijed tako visokih temperatura moguće su povrede kože zbog toplinskog djelovanja koje može biti direktno ili zračenjem od 2 J cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> do 16 J cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, a stupanj povrede ovisi o tome koliko se temperatura površine kože povisila iznad 44 °C. Normalna temperatura ljudskog tijela je 36,6 °C, kod temperature od 45 °C čovjek osjeća bolove, a opekline nastaju na temperaturama iznad 55 °C. S porastom temperature pojavljuju se tjelesne ozljede koje se ne osjećaju odmah. Oštećenja kože i vrsta opekline ovise o vrijednostima apsorbirane količine toplinskog toka, količini topline i vremenu izloženosti izvoru topline. Opekline na ljudskoj koži mogu se klasificirati od osjetljivosti na bol do opekline I., II., III. i IV. stupnja. Bol se osjeća ako je temperatura kože 44 °C. Opekline I. stupnja nastaju ako je temperatura kože od 44 do 55 °C. Opekline II. stupnja nastaju ako je temperatura kože 55 °C, a



Sl.6 Shematski prikaz prijelaza topline kroz slojeve odjeće [37]

ukupna apsorbirana količina toplinskog toka iznosi 1,09-2,0 cal cm<sup>-2</sup> (4,56-8,37 J cm<sup>-2</sup>). U tab.2 navedene su vrijednosti apsorbirane količine toplinskog toka i vrijeme koje je potrebno do pojave opekline II. stupnja. Opekline III. stupnja nastaju ako je temperatura kože iznad 55 °C [38-40].

Iz dijagrama osjetljivosti površine ljudske kože na apsorbiranu količinu toplinskog zračenja u odnosu na vrijeme ekspozicije (specifični toplinski tok) (sl.7) vidljivo je da ljudsko tijelo podnosi toplinu od 2,5 J cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Kod viših apsorbiranih količina toplinskog zračenja nastaju zone ozljeda, mjehuri ili dolazi do razaranja tkiva. Zato je svrha odjeće za zaštitu od topline i plamena smanjiti toplinski tok i apsorbirati količinu

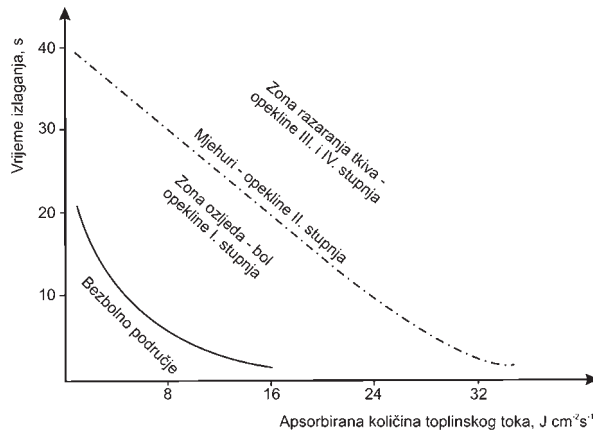
toplinskog zračenja tako da na površini kože ona bude u bezbolnom području ili da je znatno smanjena količina toplinskog toka [41].

Odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena pružaju maksimalnu zaštitu i udobnost vatrogascima i moraju biti certificirani sukladno standardima EN 469:2005 (europska norma) odnosno HR EN469:2006 (hrvatska norma). Prema navedenoj normi, odjeća za vatrogasce podliježe ispitivanju na smanjenje toplinskog toka i prijenose topline, trganje, vodonepropusnost, prodor kemikalija, pri čemu se ispituju svi ugradbeni materijali i gotovi odjevni predmet. Norma NFPA 1971 navodi metode ispitivanja čvrstoće šavova, uočljivost retroreflektivnih i fluorescentnih traka,

Tab.2 Vrijednosti apsorbirane količine toplinskog toka i vrijeme koje je potrebno do pojave opekline II. stupnja [39, 40]

Apsorbirana količina toplinskog toka [J cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	Vrijeme koje je potrebno do pojave opekline II. stupnja [s]
4,722	1,1
3,935	1,4
3,148	2,0
2,361	3,0
1,574	5,6
1,180	7,8
0,787	13,4
0,590	20,8
0,393	33,8





Sl.7 Osjetljivost ljudske kože na apsorbiranu količinu toplinskog toka  $J\ cm^{-2}\ s^{-1}$  u odnosu na vrijeme izlaganja [41]

te otpornost pozamanterije na koroziiju i toplinu.

Osim kvalitetnih materijala koji su ugrađeni u odjevne sustave, potrebno je, koristeći elemente funkcionalnog dizajna (dizajn isturenih elemenata kao što su džepovi, ne smiju biti šiljati i stršati od odjeće, a šavovi moraju biti čvrsti), modele odjevnih predmeta prilagoditi uporabi, zaštitu zdravlja i života. Zaštitne jakne su izrađene s dodatnim ojačanjima na laktovima i ramenima (tkanina od PU ili meta- i para-aramidnih vlakana), širina rukava regulira se pomoću čičak trake (koja isto tako mora biti negoriva), rukavi imaju pleteni završetak od Nomex® vlakana, dva džepa na prsnom dijelu (za radio uređaj), dva bočna džepa, vezicu za podešavanje opsega struka, epotele na ramenima, ovratnik za zaštitu od plamena koji se na prednjoj strani zatvara sa čičak trakom, zatvarač otporan na visoke temperature, reflektirajuće 3M trake oko tijela i rukava, uporaba negorive čičak trake. Zaštitne hlače imaju elastične podešive naramenice, elastičnu traku za podešavanje opsega struka, patentni zatvarač s pokrovom na čičak traku, bočne džepove s poklopcima, dodatna pojačanja na koljenima, bočnim stranama i rubovima nogavica od tkanina s PU i para-aramidnim vlaknima, zamjenjive uloške ispod zaštite za koljena i reflektirajuće 3M trake oko nogavica hlača. Šavovi na jaknama i hlačama posebno su zaštićeni od

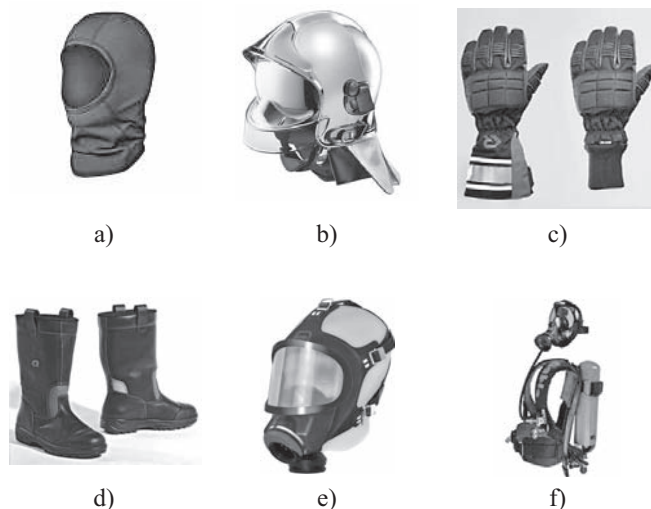
prodora vode i izrađeni su od nezapaljive PU membrane prevučene aramidom [29-31].

Ostala oprema vatrogasaca obuhvaća potkapu, kacigu, rukavice, čizme, zaštitnu masku i aparate za zaštitu dišnih organa, sl.8.

**Potkapa** (sl.8a) se nosi ispod kacige i izrađena je od visokokvalitetnog pletiva površinske mase  $180\ g/m^2$  od Nomex® vlakana, otpornog na plamen. Potkapa može prekrivati usta i ima dodatnu zaštitu za cijeli vrat. Testira se sukladno HRN EN 13911:2004 standardu (Zaštitna odjeća za vatrogasce - Zahtjevi i ispitne metode za vatrogasne potkape za vatrogasce).

**Vatrogasna kaciga** (sl.8b) namijenjena je zaštiti glave pri intervencijama kao sredstvo osobne zaštite od mehaničkih ozljeđa koje nastaju zbog pada ili udarca nekog predmeta. Ona štiti glavu od toplotnog zračenja i plamena, niskih temperatura i električne energije. Kaciga mora zadovoljavati tehničke zahtjeve prema normi HRN EN 443:2008 (Kacige za gašenje požara u zgradama i drugim građevinama). Kaciga se ispituje na apsorpciju udarca, otpornost na probijanje i zapaljivost, elektroizolacijska svojstva i bočnu tvrdoću. Vatrogasna kaciga treba imati sljedeće karakteristike:

- ergonomski dizajn,
- štitnik za lice-vizir,
- vijak za podešavanje,
- mogućnost postavljanja i mijenjanja štitnika za vrat i remena za bradu,
- zadovoljena sigurnost prema normama HRN EN 397:2001 (Industrijske zaštitne kacige), HRN EN 443:2008 (Kacige za gašenje požara u zgradama i drugim građevinama), HRN EN 166:2002 (Osobna zaštita očiju – Specifikacije),
- unutrašnjost od Nomex® materijala koji omogućava brzo sušenje i
- mogućnost ugradnje dodatne opreme-svjetiljki, IC kamera, radiostanice, maske za izolacijski aparat.



Sl.8 Ostala oprema vatrogasaca: a) potkapa, b) kaciga, c) rukavice, d) čizme, e) zaštitna maska, f) aparat za zaštitu dišnih organa

**Rukavice** (sl.8c) su neizostavni dio zaštitne opreme svakog vatrogasca jer sprečavaju ozljede ruku. Osim zaštite od topline i hladnoće, dobre zaštitne rukavice moraju imati sljedeće karakteristike:

- ergonomski dizajn,
- otpornost na abraziju, rezanje i sl.,
- dobro prijanjanje na mokrim i suhim podlogama,
- vodonepropusnost i
- dobar osjet opipa za korisnika.

Vanjski dio rukavice napravljen je od materijala Nomex® s Kevlarom® koji nije ušiven već je postavljen s gornje strane, a materijal ima otpornost na rezanje i toplinu. Dlanovni dio rukavice napravljen je od silikonom podstavljenog Nomexa® /Kevlara®. Rukavice moraju imati svojstvo vodonepropusnosti i zrakopropusnosti. Također imaju mogućnost fleksibilnog namještanja zgloba, imaju podesivi Velcro zatvarač, PU štitnike na gornjem dijelu rukavice, rukavi su označeni sa 3M žutom/srebrnom/žutom trakom, a vanjski materijal rukava i zaštitnici s reflektirajućim 3M Scotchlite® materijalom, kukicu i oko za spajanje, te moraju zadovoljavati normu HRN EN 659:2008 (Zaštitne rukavice za vatrogasce). U skladu s navedenom normom rukavice moraju zadovoljavati općenite zahtjeve u pogledu dimenzija i materijala, zaštite od mehaničkih i toplinskih opasnosti, spretnost, te zaštite od vode i prodora tekućih kemikalija.

**Vatrogasne čizme** (sl.8d) moraju pružati zaštitu od topline, hladnoće, plamena, iskrenja i oštih predmeta. Sympatex membrana i koža otporna na vodu čine čizmu voodootpornom. Zaštitu od topline i hladnoće pruža višeslojna konstrukcija potplata sa zračnim jastucima. Za izradu đona koristi se antistatička nitrilna guma dvostruke gustoće, koja je otporna na ulja/hidrokarbonate i toplinu. Budući da je đon višeslojan, njegov središnji laminatni dio izrađen je od tekstila i otporan je na perforaciju. Čelični umeci u potplatu, kao i čelična kapica u području prstiju štite nogu od ozljeda. Pojačana konstrukcija u području

pete pruža stabilnost, tzv. comfort zona u području vezanja omogućuje dugotrajno korištenje čizme bez zamora, a reflektirajuće trake na rubovima omogućuju dobru uočljivost u mraku. Čizme moraju zadovoljavati standard HRN EN 15090:2007 (Obuća za vatrogasce). Prema navedenoj normi svi materijali gornjišta do pune visine, uključujući gornji obrub, udovoljavaju svim zahtjevima glede čvrstoće na trganje, otpornosti na radijacijsku toplinu i plamen, prodor i apsorpciju vode.

**Zaštitna maska** (sl.8e) sastavni je dio zaštitne opreme vatrogasaca i koristi se u kombinaciji s respiratornim zaštitnim filtrima, s aparatima za disanje sa svježim zrakom, zračnim sustavima i respiratorima za pročišćavanje zraka s napajanjem. Zaštitna maska je izrađena od prirodne gume koja prijanja na kožu i otporna je na trošenje. Sastavni dio zaštitne maske je vizir od akrila koji treba biti otporan na ogrebotine i gotovo neslomljiv, ne smije se zamagljivati i rositi, a istovremeno treba pružiti široko vidno polje.

**Aparati za zaštitu dišnih organa** (sl.8f) koriste se za zaštitu od udisanja štetnih plinova iz atmosfere i osiguravaju dovoljnu količinu čistog zraka (kisika) za rad i život na određenom mjestu i u ograničenom vremenu. Aparati za zaštitu dišnih organa mogu se podijeliti na [41]:

- aparati za filtriranje - koriste filtre za pročišćavanje zraka,
- cijevni aparati s dovodom čistog zraka,
- izolacijski aparati sa spremištem zraka i
- regeneracijski aparati s komprimiranim ili tekućim kisikom.

### 3.3. Održavanje i testiranje odjevnih sustava namijenjenih zaštiti od topline i plamena

Zaštitnu odjeću potrebno je, ovisno o ugrađenim materijalima i dodacima, pažljivo održavati i prati odnosno čistiti, pri čemu se treba pridržavati uputstava proizvođača. Odluku o najbo-

ljem načinu za čišćenje odjeće obično diktira onaj dio koji je najosjetljiviji na oštećenja tijekom pranja ili kemijskog čišćenja. Odjeću koja pruža zaštitu od topline i plamena trebalo bi sušiti obješenu na toplome zraku. Odjeću koja je izložena djelovanju radioaktivnog, biološkog ili kemijskog zračenja potrebno je dekontaminirati.

Čimbenici koji utječu na vijek trajanja zaštitne odjeće su površinska masa tkanine, vrsta veza, koliko se često nosi odjevni predmet, broj i vrste popravaka koji su izvedeni na odjeći, procedura čišćenja, način i tip rada koji obavlja korisnik, broj i oblik pojačanja u području očekivanih naprezanja, izloženost ekstremnoj toplini, opasnim kemikalijama i ultravioletnom zračenju [7].

Ako se prati životni ciklus odjeće za zaštitu od topline i plamena, nakon svake uporabe odjevnih sustava potrebno je ispuniti obrazac sa sljedećim podacima:

- Gdje je, kada i kako odjevni sustav korišten;
- Koliki je stupanj zaprljanja, kontaminacije ili oštećenja odjevnog sustava;
- Utvrđivanje pozicije mogućih oštećenja, pojave rupa, zapaljenja vanjskog sloja (vidljive promjene) ili oštećenja unutarnjih slojeva – membrana (nevidljive promjene)
- Praćenje promjena retroreflektivnih traka, djelomično odšivena traka, kontaminacija jednog od slojeva uljem ili otrovnim kemijskim sredstvima koji smanjuju reflektiranje trake;
- Kako je i kada odjevni sustav bio opran, pri kojoj temperaturi, kojim deterdžentom;
- Je li odjevni sustav bio na kemijskom čišćenju;
- Istanje uvjeta pranja i sušenja na popratnim deklaracijama (temperatura, vrijeme pranja, mehanika pranja);
- Istanje uvjeta kemijskog čišćenja;
- Jesu li izmjene i popravci odjevnih sustava izvedeni u kućnoj radinosti

za koje poslodavac nije ovlašten [42, 43].

Zaštitna odjeća za vatrogasce izrađena od aramidnih vlakana trebala bi se prati u specijalnim strojevima za pranje (BWE – batch washer extractors) kako bi se sačuvala svojstva zaštitne odjeće. Nužno je naglasiti da se odjeća izrađena od aramidnih vlakana ne smije izlagati direktnom UV zračenju i ne smije se sušiti na povišenoj temperaturi (uz vatru, na radijatoru i sl.). Problem koji se javlja pri održavanju ovakvog tipa odjeće je 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. S druge strane, u ovakvu su odjeću ugrađene membrane koje moraju imati svojstva tzv. dišljivosti, propusnosti za zrak i vodenu paru, a nepropusnosti za vodu. Za zaštitnu odjeću koja je obrađena sredstvima za vodoodbojnost, uljeodbojnost ili zaštitu od gorenja preporučuje se održavanje mokrim postupkom kemijskog čišćenja. Proizvođači sredstava za kemijsko čišćenje razvili su specijalna sredstva za što efikasnije čišćenje spomenutih odjevnih sustava. Program kemijskog čišćenja za ovakav tip odjeće jednak je onom koji se koristi za osjetljiv tekstil [42].

Odjeća za zaštitu od topline i plamena treba biti propisno označena. Oz-

nake trebaju sadržavati informativni dio na službenom jeziku zemlje u kojoj se koristi, te se trebaju nalaziti na samom proizvodu ili na etiketi pričvršćenoj na proizvod na način da su vidljive i čitke. Oznake na proizvodu trebaju biti otporne na pranje odnosno kemijsko čišćenje. Piktogrami i oznake trebaju biti dovoljno veliki tako da omogućavaju dobru čitljivost (sl.9a) [44]. Na odjeći valja biti istaknut piktogram opasnosti koji jasno ukazuje na namjenu sredstva s brojevima koji označavaju razinu zaštite [19]. Za toplinske opasnosti propisane su tri razine zaštite: razina 1 – izlaganje niskom očekivanom riziku, razina 2 - izlaganje srednje očekivanom riziku i razina 3 - izlaganje visokom očekivanom riziku [17]. Oznake trebaju sadržavati sljedeće informacije: trgovačka marka, tvornička oznaka tipa odjeće (tvorničko ime), oznaka veličine, broj specifične norme EN, piktogram koji prikazuje specifičnu opasnost, dizajn odjeće, razinu zaštitnog djelovanja i upute o načinu održavanju odjeće. Sve navedeno potrebno je označiti na uputama unutar odjeće (sl.9b) [19].

Za optimizaciju zaštitnih odjevnih sustava potrebno je poznavanje svojstava tekstilnih materijala koji su ugrađeni u odjeću jer svaki novi dodani sloj tekstilnog materijala odjevnom sustavu mijenja svojstva zaštite. To znači da se sa svakim dodanim slojem odjeće mora provesti ponovni

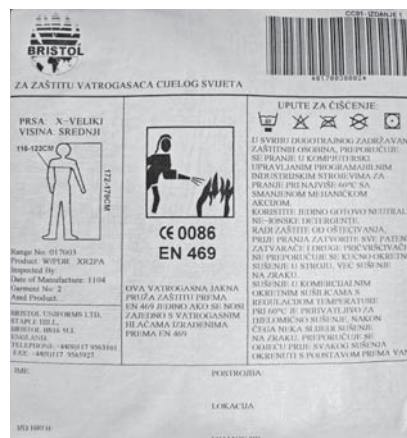


Sl.10 Požarna lutka Žiga razvijena na Inštitutu Jožef Štefan, Slovenija

test. Ispitivanje zapaljivih svojstava tekstilnih materijala može se provesti testiranjem svakog pojedinačnog sloja u laboratoriju, ali takvim testovima se ne dobivaju odgovarajuće informacije. Preporučljivo je testiranje uporabom požarne lutke gdje je moguće simulirati eksploziju vatre [8, 46]. "Lutka" je tehnički izraz za anatomski oblikovani model čovjeka pomoću kojeg se mogu simulirati i/ili izmjeriti izvjesne čovjekove funkcije. Uz pomoć lutke testiraju se efekti nošenja različitih vrsta odjeće i drugih predmeta zaštitne odjeće na ljudskome tijelu. Ovakvih požarnih lutaka ima u svijetu samo nekoliko, najpoznatiji su Thermo-man iz DuPonta, Pyro-Man iz North Carolina State University, požarna lutka iz University of Alberta, požarna lutka Žiga iz Inštituta Jožef Štefan, Slovenija (sl.10) [47]. Spomenute požarne lutke opremljene su temperaturnim senzorima pomoću kojih se mjeri temperatura po cijeloj površini lutke. Uporabom toplinskog modela kože vrlo lako se iz izmjerene temperature mogu ocijeniti stupanj i lokacija opekline, te se prema tim 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 prikupljene ovim načinom testiranja mogu



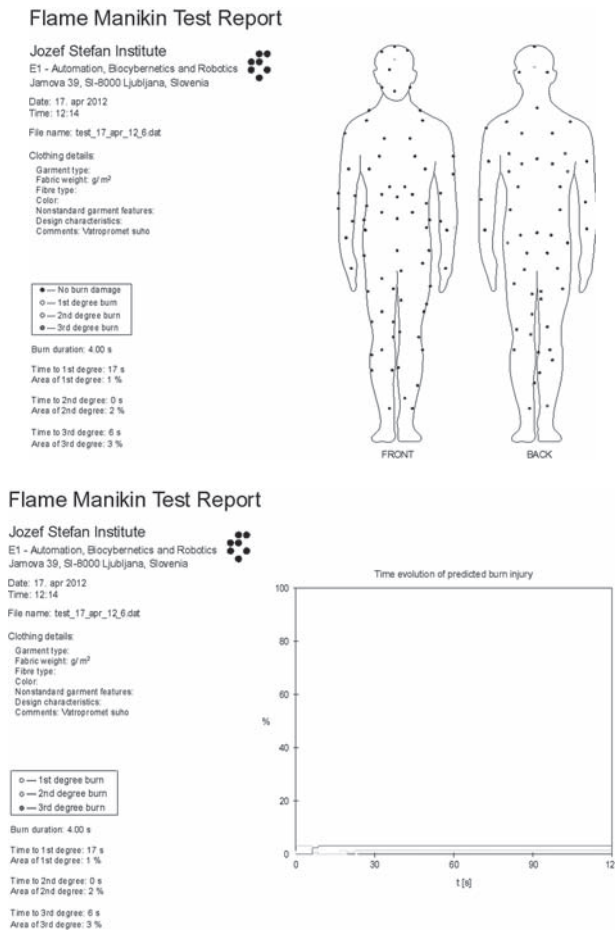
a)



b)

Sl.9 Oznake na zaštitnoj odjeći: a) primjer oznake za zaštitnu odjeću; b) cjelovit prikaz uputa unutar odjeće [45]





Sl.11 Izvorni računalni prikaz rezultata dobivenih ispitivanjem na požarnoj lutki Žiga

se iskoristiti za analizu svojstava odjevnih predmeta pri izlaganju plamenu, u odnosu na dizajn i pristajanje odjeće, ponašanje pri skupljanju, kvalitetu šavova, požarno ponašanje komponenata kao što su sustav zatvaranja, retroreflektivne trake, itd.

Testiranje odjevnih sustava za zaštitu od topline i plamena pomoću požarnih lutki temelji se na izlaganju odjevnog sustava na požarnoj lutki kontroliranom plamenu iz 8 do 12 plinskih plamenika pomoću kojih se postiže temperatura do 1000 °C i toplinski tok od 2 cal cm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (84 kW m<sup>-2</sup>), s vremenom izlaganja od 4 do 25 s. Požarna lutka opremljena je sa 128 toplinskih senzora po čitavom tijelu, koji su povezani s računalom, a oponašaju reakciju čovjekove kože na promjenu temperature. Računalni program može predvidjeti stupanj, veličinu i mjesto opekline koja će nastati na ko-

risniku kada je izložen stvarnim uvjetima, te određuje mogućnost preživljavanja kao i brzinu reakcije na toplinu (sl.11) [48].

#### 4. Zaključak

U radu su opisani odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena te pregled općih zahtjeva koje ti sustavi moraju zadovoljavati. Detaljno je opisana interventna odjeća za vatrogasce, kao i materijali od kojih se ova odjeća izrađuje te način održavanja i testiranja cjelokupnih odjevnih sustava. Na temelju iznesenog može se zaključiti da se poznavanjem protupožarnih svojstava zaštitnih odjevnih sustava utječe na sigurnost njihovih korisnika. Vrlo je važno prilikom projektiranja, oblikovanja i izrade zaštitnih odjevnih sustava voditi računa o funkcionalnom dizajnu, upo-

trebi suvremenih negorivih materijala i o suvremenim procesima izrade kako bi se proizveli kvalitetni, udobni i funkcionalni zaštitni odjevni sustavi koji će korisniku pružiti maksimalnu zaštitu prilikom obavljanja radnih aktivnosti. Također, prilikom njihovog dizajna, projektiranja, oblikovanja i konstrukcije potrebno je voditi računa i o zaštiti i održivosti termoregulacijskog mehanizma korisnika zaštitnih odjevnih sustava jer o tome ovisi funkcionalnost, efikasnost, brzina djelovanja, koncentracija i dužina intervencije korisnika. U procesu projektiranja prototipova zaštitnih odjevnih sustava trebaju se koristiti postojeće informacije o stupnju zaštite sličnih odjevnih sustava ako se sastavljaju novi odnosno optimiraju postojeći zaštitni odjevni sustavi. Također treba naglasiti da svaka promjena samo jednog dijela sustava odjeće unutar odjevnog sustava zahtijeva ponovno testiranje i optimizaciju uz poznavanje psihofizičkih sposobnosti vatrogasaca.

Profesionalni vatrogasci trebaju u okolini gdje obavljaju svoj svakodnevni posao, održavati minimalni standard psihofizičke pripremljenosti. Ako se već unaprijed planira određena aktivnost koja će biti izvedena u nekim drugim ekstremnim uvjetima, potrebno je znati evaluirati pripremljenost vatrogasaca na predviđene uvjete, odnosno uključiti nove protokole adaptacije u program osposobljavanja. Kako bi se unutar vatrogasnih postrojbi i društava usvojila znanja o radu i zadacima vatrogasaca, već u okviru njihovog obrazovanja potrebno je poznavati fiziološke potrebe vatrogasaca. Tim se poslom bave znanstvenici fiziolozi koji u zajedničkoj suradnji sa stručnjacima s područja tekstila i odjeće, te u uskoj suradnji s vatrogascima u okviru terenskih i/ili laboratorijskih studija u simuliranim uvjetima okoline donose zaključke o optimalnim odjevnim sustavima u pojedinim akcidentnim situacijama. Rezultati takvih istraživanja od velikog su značenja, iako se još uvijek premalo upotrebljavaju

u praksi. Tijekom osposobljavanja vatrogasaca, u okviru njihovog obrazovnog programa svakako bi bilo potrebno uključiti znanja o odjevnim sustavima i opremi koju koriste, o njihovom održavanju i njezi nakon upotrebe, te o mogućim povredama koje može vatrogasac dobiti tijekom obavljanja dužnosti.

*Autori zahvaljuju Javnoj vatrogasnoj postrojbi grada Zagreba na susretljivosti prilikom posjeta studenata i nastavnika Tekstilno-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te na ustupljenim materijalima koji su korišteni u ovome radu.*

#### Literatura:

- [1] Rogale D. i sur.: Procesi proizvodnje odjeće, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011., ISBN 978-953-7105-32-7
- [2] Knez B.: Konstrukcijska priprema u odjevnoj industriji, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1994., ISBN 953-96183-2-0
- [3] Hrastinski M.: Konstrukcija odjeće 1, Tekstilna škola Zabok, Zabok 1998., ISBN 953-96996-2-2
- [4] Kirin S. i sur.: Stanje i normizacija zaštitne odjeće, *Tekstil* 51 (2002.) 5, 230-237, ISSN 0492-5882
- [5] Hursa Šajatović A., S. Bogović: Oblikovanje i konstrukcija funkcionalne zaštitne (interventne) odjeće za vatrogasce / Design and construction of functional protective clothing for firefighters, in u *Mladi znanstvenici u istraživanju zaštitnih tekstilija* / in Young scientists in the protective textile research, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology & FP7-REGPOT-2008-1-229801: T-Pot, (Eds. S. Bischof Vukušić & D. Katović), ISBN 978-953-7105-41-9, Zagreb, 309-331, (2011)
- [6] Polajnar A. et al.: Ergonomija, Univerza v Mariboru, Slovenija, 2003, ISBN 86-435-0550-1
- [7] Trovi D.A., G.V. Hadjisophocleous: Research in Protective Clothing for Firefighters: State of the Art and Future Directions, *Fire Technology* 35 (1999) 2, 111-130, ISSN 0015-2684
- [8] Zavec Pavlinić D. i sur.: Protupožarni odjevni sustavi i njihovo vrednovanje, *Sigurnost* 52 (2010) 3, 251-262, ISSN 1330-0229
- [9] Savanović A.M. Šegović: Obveze poslodavaca u provedbi mjera sigurnosti i zaštite zdravlja radnika, *Tekstil* 57 (2008.) 5, 251-253, ISSN 0492-5882
- [10] Krmptić-Nemanić J.: Anatomija čovjeka, Medicinska naklada - Zagreb, 1993., ISBN 953-176 011-X
- [11] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Opekliina>, Pristupljeno: 2011-08-22
- [12] <http://sh.wikipedia.org/wiki/Opekotina>, Pristupljeno: 2011-08-22
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Burn>, Pristupljeno: 2011-08-22
- [14] <http://www.home-remedies-for-you.com/remedy/Burns.html>, Pristupljeno: 2011-08-22
- [15] <http://www.burn-recovery.org/injuries.htm>, Pristupljeno: 2011-08-22
- [16] Pašalić I.: Thermo-man test u Hrvatskoj, *Vatrogasni vjesnik* (2007) travanj/svibanj, 22-28, ISSN 1331-7652
- [17] Horvat J., A. Regent: Osobna zaštitna oprema, Veleučilište u Rijeci, 2009., ISBN 978-953-6911-43-1
- [18] EN 340:2003 Protective clothing: General requirements
- [19] <http://www.upvh.hr>, Pristupljeno: 2011-02-22
- [20] Braicovich-Ševerdija P.: Odjeća za gašenje požara otvorenog prostora HRN EN 531 ILI HRN EN 15614?, *Vatrogasni vjesnik* (2009.) 5, 14-19, ISSN 1331-7652
- [21] <http://www.bristol.com>, Pristupljeno: 2011-02-14
- [22] <http://www.safety.com.hr>, Pristupljeno: 2011-01-25
- [23] <http://fire-retardant-fabric.ready-online.com>, Pristupljeno: 2011-01-25
- [24] [www.hemco.hr](http://www.hemco.hr), Pristupljeno: 2011-05-25
- [25] JOIFF-ov standardni priručnik o osobnoj zaštitnoj opremi (OZO), Hrvatska vatrogasna zajednica, Zagreb, 2007., ISBN 978-953-6385-19-5
- [26] <http://www.hvz.hr>, Pristupljeno: 2011-01-22
- [27] Fanglong Z. et al.: Investigation of Material Combinations for Firefighter's Protective Clothing on Radiant Protective and Heat-Moisture Transfer Performance, *FI-BRES & TEXTILES in Eastern Europe* 15 (2007) 1 (60), ISSN 1230-3666
- [28] <http://missourifamilies.org/features/materialarticles/feature7.htm>, Pristupljeno: 2011-08-28
- [29] [www.mistar.hr](http://www.mistar.hr), Pristupljeno: 2011-05-25
- [30] [www.ziegler.de](http://www.ziegler.de), Pristupljeno: 2011-05-25
- [31] [www.tempex.at](http://www.tempex.at), Pristupljeno: 2011-05-25
- [32] [www.bristouniforms.com](http://www.bristouniforms.com), Pristupljeno: 2011-05-25
- [33] <http://www.lenzing.com/en/fibers/lenzing-fr/lenzing-fr.html>, Pristupljeno: 2011-07-25
- [34] Yang Q.C., D.E. Weil: Flame Retardant Textiles, in *Functional Protective Textiles*, Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, (Ed. S. Bischof Vukušić), ISBN 978-953-7105-45-7, Zagreb (2012.) 213-230
- [35] Ksilak D. i sur.: Umreživač Briquest kao sredstvo za obradu protiv gorenja netkanog tekstila od viskoznih vlakana, *Tekstil* 53 (2004.) 2, 52-57, ISSN 0492-5882
- [36] Opwis K. et al.: Permanent flame retardant finishing of textile materials by a photochemical immobilization of vinyl phosphonic acid, *Polymer Degradation and Stability* 96 (2011) 393-395, ISSN 0141-3910
- [37] Abbott N.J., S. Schulman: Protection from Fire: Nonflammable Clothing - A Review, *Fire Technology* 35 (1999) 2, 205-218, ISSN 0015-2684
- [38] Raj P.K.: A review of the criteria for people exposure to radiant heat flux from fires, *Journal of Hazardous Materials* 159 (2008) 61-71, ISSN 0304-3894
- [39] Gagnon B.D.: Evaluation of New Test Methods for Fire Fighting Clothing, Master thesis, Worcester Polytechnic Institute, (2000)
- [40] Hall K. et al.: Research Techniques for Scald Burns, A Major Qualifying Project Report, Worcester Polytechnic Institute (2007)
- [41] Smejkal Z.: Uređaji, oprema i sredstva za gašenje i zaštitu od požara, *SKTM/Kemija u industriji*, 1991., ISBN 86-80907-11-1
- [42] Pušić T. et al.: Care of Workwear, in *Functional Protective Textiles*,

- Faculty of Textile Technology, University of Zagreb, (Ed. S. Bischof Vukušić), ISBN 978-953-7105-45-7, Zagreb (2012.) 401-437
- [43] Regent A.: Uporaba, njega i održavanje osobne zaštitne opreme (OZO), Zbornik radova 3. međunarodnog stručno-znanstvenog skupa Zaštita na radu i zaštita zdravlja, Vučinić, J. (Ed.), 687-695, ISBN 978-953-7343-40-8, Zadar, Hrvatska, rujan 2010., Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2010.)
- [44] [http://www.hzzzs.hr/news\\_prilozi\\_download.php?ID=806](http://www.hzzzs.hr/news_prilozi_download.php?ID=806), Pristupljeno: 2011-11-20
- [45] Hursa Šajatović A. i sur.: Osobna zaštitna odjeća između zahtjeva normi i uporabe, Zbornik radova 5. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo, (Ed. D. Ujević, Ž. Penava), 165-170, ISSN 1847-2877, Zagreb, siječanj 2012., Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, (2012.)
- [46] Juričić D. et al.: System for evaluation of fire protective garments, Book of Proceedings of the 4th International Textile, Clothing & Design Conference – Magic World of Textiles, Dragčević, Z. (Ed.), 787-792, ISBN 978-953-7105-26-6, Dubrovnik, Croatia, October 2008., Faculty of Textile Technology University of Zagreb, Zagreb (2008.)
- [47] Crown E.M., J.D. Dale: Evaluation of flashfire protective clothing using an instrumented mannequin, Report, University of Alberta, (1992)
- [48] Zavec Pavlinić D. i sur.: Vrednovanje interventne odjeće za vatrogasce pomoću požarne lutke, Zbornik radova 4. međunarodnog stručno-znanstvenog skupa Zaštita na radu i zaštita zdravlja, (Ed. J. Vučinić, S. Kirin), 707-712, ISBN 978-953-7343-59-0, Zadar, Hrvatska, rujan 2012., Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2012.)

## SUMMARY

### Firefighters clothing systems for protection against heat and flame

*A. Hursa Šajatović, D. Zavec Pavlinić\*, Z. Dragčević*

Users of protective clothing systems in different occupations (firefighters, members of the civil protection, soldiers, workers on board aircraft carriers and oil platforms, workers in the boiler rooms, etc.) during their work activities are exposed to a variety of external environmental influences such as the effect of heat, fire, water, static electricity, chemicals, and also are working in environment of reduced visibility with increased physical activity. Because of danger of the appearance of burns and other possible injuries and to protect their health, the clothing systems with complete equipment for protection against heat and flame are of prime importance. These protective clothing systems have a huge influence on their efficiency in performing work activities. In the paper an overview of protective clothing for firefighters and requirements that need to be satisfied in order for these clothing to provide adequate protection and comfort during wear is done. Protective clothing systems for firefighters, and materials that are the basic building element of multi-layered clothing to protect against heat and flame are shown. The fact that in addition to the optimal protective equipment very important is certain level of skills of firefighters and their mental and physical ability in performing work in accident situations is emphasized.

**Key words:** protective clothing, firefighters, clothing systems for protection against heat and flame, intervention clothing for firefighters

*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology*

*Department of Clothing Technology, Zagreb, Croatia*

*\*University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering*

*Maribor, Slovenia*

*e-mail: anica.hursa@tff.hr*

*Received September 14, 2012*

### Feuerwehr Kleidungssysteme zum Schutz gegen Hitze und Flammen

Benutzer von Schutzkleidung in verschiedenen Berufen (Feuerwehrleute, Mitglieder des Zivilschutzes, Soldaten, Arbeiter an Bord von Flugzeugträgern und Ölplattformen, Arbeiter in Kesselhäusern usw.) werden im Verlauf ihrer Tätigkeiten zu einer Vielzahl von externen Faktoren wie der Einwirkung von Wärme, Feuer, Wasser, statischer Elektrizität und Chemikalien ausgesetzt; sie arbeiten auch in schlechten Sichtverhältnissen mit erhöhter körperlicher Anstrengung. Wegen der Gefahr von Verbrennungen und anderen möglichen Verletzungen und zum Schutz ihrer Gesundheit sind Kleidungssysteme mit kompletter Ausrüstung zum Schutz gegen Hitze und Flammen, die auch ihre Leistungsfähigkeit bei der Durchführung von Tätigkeiten beeinflussen, von primärer Bedeutung. Der Artikel gibt einen Überblick über die Feuerweherschutzkleidung und die Anforderungen, die erfüllt sein müssen, damit Kleidung angemessenen Schutz und Komfort beim Tragen sicherstellt. Feuerweherschutzkleidung sowie Materialien, die der Grundbaustein der mehrschichtigen Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen bilden, sind dargestellt. Die Tatsache, dass neben der optimalen Schutzausrüstung auch ein gewisses Maß an Fähigkeiten der Feuerwehrleute und ihre geistigen und körperlichen Fähigkeiten bei der Durchführung von Arbeiten in Unfallsituationen erforderlich ist, wird betont.