

D. Zavec Pavlinić, A. Hursa Šajatović, I. B. Mekjavić*

SUVREMENI KONCEPT TESTIRANJA PROTUPOŽARNE ZAŠTITNE ODJEĆE

UDK 614.842.86
PRIMLJENO: 18.1.2013.
PRIHVAĆENO: 6.3.2013.

SAŽETAK: *Zahtjevi na osobnu zaštitnu opremu ovise o radnim aktivnostima i obvezama koje se izvođe na radnim mjestima. S obzirom na zahtjeve radnih mjesta, postavljene su norme (EN 369) prema kojima bi se protupožarna zaštitna oprema trebala izrađivati i koje bi takva odjeća trebala zadovoljavati. Primjenom i poštovanjem normi na tržištu, odnosno kod konačnog korisnika trebala bi se pojavljivati samo certificirana protupožarna zaštitna oprema, ali tome uvijek nije tako. Danas se na tržištu može naći protupožarna zaštitna oprema niže kvalitete ili se serijski izrađena ne podudara sa svojstvima prototipne protupožarne zaštitne opreme potvrđene za nabavu od nacionalnih institucija. Tijekom razvoja protupožarne zaštitne opreme najviše se testova izvede na samim tekstilnim materijalima koji su osnovni ugradbeni elementi odjevnih predmeta koji su prilagođeni 3D ljudskom obliku tijela. No, tkaninu kao dvodimenzionalnu plošnu tvorevinu tijekom prerade u odjevne predmete koji imaju 3D oblik potrebno je iskrojiti i ponovno spojiti šivanjem, pri čemu se mijenjaju karakteristike svih ugrađenih materijala. Odjeća i ugrađeni tekstilni materijali tijekom nošenja i u postupcima održavanja dodatno mijenjaju svoja svojstva. Kako bi se sa sigurnošću moglo utvrditi da zaštitno odijelo ima određena svojstva zaštite od topline i plamena, preporučljivo je izvoditi testiranja pomoću požarne lutke na kojoj se testiraju cjelokupni zaštitni odjevni sustavi. U radu su prikazana istraživanja provedena na različitim tipovima zaštitnih odijela, kod kojih zahtjevi zaštite ovise o tipu radnog mjesta. Testirana su četiri tipa odjevnih sustava za zaštitu od topline i plamena: jednoslojno odijelo za gašenje šumskih požara (tvrtke Odjeća d.o.o., Hrvatska), jednoslojno odijelo (kombinezon) za rad na palubama nosača zrakoplova i jednoslojno odijelo za rad u kotlovnicama (Kraljevska mornarica Velike Britanije) te višeslojno odijelo za gašenje požara u zgradama (Lenzing, Austrija). Analize testiranja usmjerene su na ispitivanje vanjskog sloja odjeće koji se razlikuje po obliku kroja i konstrukciji, te stupnju zaštite od topline i plamena. Provedene analize obuhvaćaju vrednovanje stupnja opeklina te daju mogućnost procjene da korisnik preživi izloženost djelovanju topline i plamena. U radu su napravljene usporedbe stupnjeva zaštite različitih odjevnih predmeta prema njihovoj namjeni.*

Ključne riječi: *protupožarna zaštitna oprema, odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena, požarna lutka, eksplozivna vatra, opeklina*

UVOD

Čovjek je svakodnevno izložen raznim nepovoljnim, a ponekad teškim i pogibelnim radnim

i životnim uvjetima. Radnici koji spašavaju živote drugih ljudi te prirodnu nacionalnu baštinu svake pojedine zemlje (vatrogasci, interventna policija, pripadnici gorske službe spašavanja i sl.) također mogu biti tijekom rada izloženi djelovanju različitih nepogoda i opasnosti, te ih je potrebno zaštititi odgovarajućom vrstom odjeće koja mora ispuniti zahtjeve ergonomije i toplinske ravnoteže, a da im istovremeno omogući

*Dr. sc. Daniela Zavec Pavlinić, Biomed d.o.o. & Zavod BRIS, Puhova ul. 10, SI-1000 Ljubljana, (dzpavlinic@gmail.com), dr. sc. Anica Hursa Šajatović, docent, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Prilaz baruna Filipovića 28a, 10000 Zagreb, Hrvatska (anica.hursa@ttf.hr), prof. dr. sc. Igor B. Mekjavić, Odjeljenje za avtomatiku, biokibernetiku i robotiku, Institut Jozef Stefan, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana (igor.mekjavic@ijs.si).

normalno obavljanje radnih aktivnosti. Ovisno o vrsti posla koji radnik obavlja na radnom mjestu, njegovom intenzitetu i utjecajima iz okoline (toplina, prašina, voda, elektricitet) upotrebljava se zaštitna odjeća različitih funkcija s različitim stupnjevima zaštite koja se omogućava preko različitih vrsta ugrađenih materijala te dodatnom osobnom zaštitnom opremom (*Horvat, Regent, 2009., Zavec Pavlinić et al., 2010.*). Tržište zaštitnih materijala, odjeće i opreme je vrlo veliko, pa se stoga danas na njemu mogu naći razni tipovi i vrste odjevnih sustava za zaštitu od topline i plamena. Veliki izbor i raznolikosti zaštitnih materijala utječu na nabavu zaštitne osobne opreme i odjeće unutar određenih radnih udruga/društava/jedinica. Kako je nabava najčešće uvjetovana cijenom takve opreme, zaštitna se odjeća uvelike razlikuje unutar pojedine zemlje, te unutar pojedinih vatrogasnih jedinica i ostalih radnih udruga. Vrlo je čest slučaj da se nabavlja jeftinija zaštitna odjeća koja je i manje kvalitetna te se tako smanjuje razina zaštite. Čest je slučaj da kvaliteta zaštitne odjeće ne odgovara potvrđenom prototipu u procesu naručivanja.

Svako isporučeno zaštitno odijelo mora pratiti dokaz da je proizvod ispitan, te da zadovoljava propise i norme (propisana neizbrisiva etiketa na proizvodu, CE oznaka s brojem ovlaštenog tijela, upute za uporabu). Ako neki proizvod odgovara zahtjevima norme, ne znači i da je udoban i da zadovoljava uvjete primjene na nekom specifičnom radnom mjestu. Nažalost, osobna zaštitna oprema često je vrlo neudobna, ergonomski neprilagođena i/ili zastarjela, pa radnici obično takvu opremu ne nose i nastavljaju rad bez nje ili ne upotrebljavaju sve elemente zaštitne opreme, pri čemu se izlažu opasnostima za zdravlje i život (*Hursa Šajatović i sur., 2012.*).

Napredak tehnologije i sve veća ulaganja u istraživanja razvila su i svakim danom otkrivaju nove materijale koji su sve kvalitetniji i otporniji. Takve vrste materijala primjenjuju se pri izradi odjeće za zaštitu od topline i plamena koja se upotrebljava kada je radnik tijekom rada izložen povišenim temperaturama koje mu mogu ugroziti zdravlje ili život (*Grupa autora, 2012.*). Svaki takav pojedini zaštitni materijal ima svoja

specifična svojstva koja se promijene u slučaju kombiniranja materijala u višeslojnim odjevnim predmetima kao i u cjelovitim odjevnim sustavima zbog zahtjeva povećanja zaštite. Poznavanje svojstava zaštitnih materijala – pojedinačno i njihovih kombinacija, te poznavanje i osiguravanje kvalitetne prerade u odjevne sustave važno je za maksimalnu zaštitu zdravlja i života osoba koje nose navedene radne i zaštitne odjevne sustave. Radni zaštitni odjevni sustavi izrađuju se u velikom broju različitih modela i specifikacija i imaju široku primjenu od vatrogastva i vojske do poljoprivrede i šumarstva, građevinske industrije, prehrambene, farmaceutske industrije, medicine i dr. Proces proizvodnje zaštitne odjeće zahtijeva primjenu posebnih normi, zakona, sigurnosnih propisa i odredbi koje precizno određuju svojstva, što utječe na izbor materijala, završnu obradu, dizajn i oblikovanje modela, izbor konca za šivanje i dr. (*Šivanje i proizvodnja radne odjeće, 2012.*).

Cilj i svrha ovog rada je analizirati odjevne sustave za zaštitu od topline i plamena koji su namijenjeni uporabi u vatrogastvu, kotlovnica i na nosačima zrakoplova, te na temelju istraživanja pomoću požarne lutke utvrditi dolazi li do opekline na ljudskoj koži pri izloženosti toplini i eksplozivnoj vatri. Također su uspoređeni stupnjevi zaštite različitih odjevnih predmeta prema njihovoj namjeni.

EKSPERIMENTALNI RAD

Danas postoji nekoliko vrsta normi pomoću kojih se određuje otpornost materijala na njihovo prijanjanje na kožu pri djelovanju vatre ili toplinskog zračenja: EN 366-1993, EN 367-1992, EN 369-1993, ISO 13506:2008, EN 702:1994, EN ISO 6942:2002, EN ISO 12127-2:2007, ISO 17493:2000. Prema spomenutim normama, zaštitni materijali testiraju se pojedinačno prema propisanim metodama: otpornost na plamen, čvrstoća i sl., a također se testiraju i kombinacije (sendviči) zaštitnih materijala iz kojih je napravljeno gornje zaštitno odijelo. Međutim, norme ne propisuju zahtjeve što bi radnik trebao nositi

ispod zaštitnog sloja, a to uvelike utječe i na stupanj zaštite cjelokupnog odjevnog sustava. Kako bi se mogle utvrditi neke osnovne razlike u stupnju zaštite, u radu su analizirani zaštitni odjevni sustavi izrađeni i namijenjeni različitim radnim aktivnostima. Istraživani zaštitni odjevni sustavi izrađeni su od različitih materijala za zaštitu od topline i plamena namijenjeni gašenju šumskih požara, radu na palubama nosača zrakoplova i u kotlovnicama, te kod gašenja požara u zgradama. Provedena analiza navedenih odjevnih sustava temelji se na vrednovanju rezultata sa stajališta nastalih opekлина i oštećenja odjevnih sustava, kao i na vrednovanju mogućnosti preživljavanja pri uporabi zaštitnih odjevnih sustava. Stupanj opekлина određen je pomoću požarne lutke sa simulatorom eksplozivne vatre.

Analizirani odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena

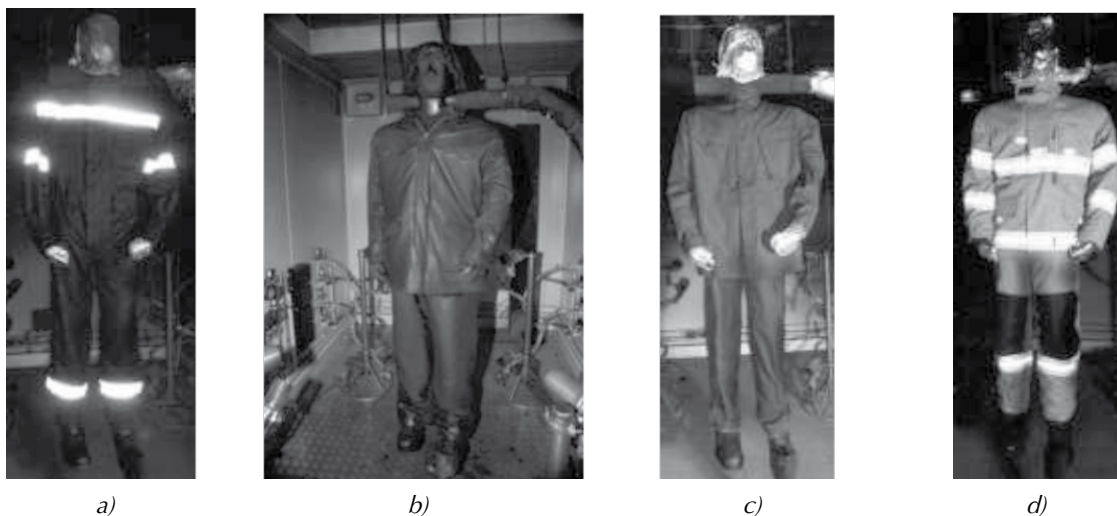
U svrhu ovog rada na požarnoj lutki ispitani su sljedeći odjevni sustavi (slika 1):

- A. jednoslojno odijelo za gašenje šumskih požara i požara niskog raslinja s nezapaljivim donjim rubljem (dugi rukav,

duge gaće) proizvođača tvrtke Odjeća d.o.o., Zagreb, Hrvatska

- B. nezapaljivo odijelo Perfectos FWC (engl. Foul Weather Clothing) za rad na palubama nosača zrakoplova s donjim rubljem (dugi rukav, kratke gaće); (Kraljevska mornarica Velike Britanije)
- C. jednoslojno odijelo za rad u kotlovnicama nosača zrakoplova s donjim rubljem (dugi rukav, kratke gaće); (Kraljevska mornarica Velike Britanije)
- D. višeslojno odijelo za gašenje požara u zgradama s nezapaljivim donjim rubljem (dugi rukav, duge gaće) proizvođača Lenzing, Austrija.

Svi prikazani odjevni sustavi izrađeni su i namijenjeni za zaštitu od topline i plamena, a razlikuju se po svojoj krajnjoj upotrebi. Prema zahtjevima u obavljanju radnih aktivnosti te na osnovi propisa prema normama izrađeni su u različitim modelima i od različitih vrsta materijala i broja tekstilnih slojeva. Od svakog se modela odjevnog sustava za zaštitu od topline i plamena tijekom upotrebe očekuje propisan stupanj zaštite, udobnost kod nošenja i toplinska ravnoteža.



- a) jednoslojni kombinezon za gašenje šumskih požara i požara niskog raslinja s nezapaljivim donjim rubljem;
 b) odjevni sustav s nezapaljivim odijelom Perfectos FWC sa slojem donjeg rublja koji je testiran zbog težine i neudobnosti prilikom nošenja; c) jednoslojno odijelo za rad u kotlovnicama nosača zrakoplova sa slojem donjeg rublja;
 d) višeslojno zaštitno odijelo za gašenje požara u zgradama s nezapaljivim donjim rubljem

Slika 1. Odjevni sustavi ispitivani na požarnoj lutki

Figure 1. Clothing types tested on a dummy

Testiranje prikazanih odjevnih sustava izvedeno je uz pomoć požarne lutke. Svaki odjevni sustav bio je izložen djelovanju eksplozivne vatre određeno vrijeme, što je prikazano u Tablici 1. Testiranja odjevnih sustava izvedena su s donjim rubljem i cipelama.

Tablica 1. Vrijeme izloženosti odjevnih sustava djelovanju eksplozivne vatre na požarnoj lutki tijekom ispitivanja

Table 1. Exposure time to explosive fire for different types of clothing tested on a dummy

Odjevni sustav	Vrijeme [s]			
	4	6	8	12
A	X			
B	X	X	X	
C		X	X	
D			X	X

Mjerni sustav za testiranje uz pomoć požarne lutke

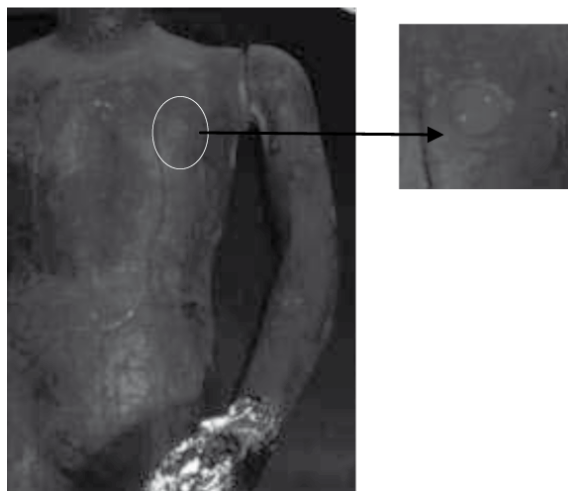
Glavni dio sustava za vrednovanje protupožarne zaštite odjevnih sustava je požarna lutka koja je smještena u protupožarnoj prostoriji (slika 2). Požarna lutka (slika 2) opremljena je sa 12 senzora temperature razmještenih po njezinoj površini. Sustav za simulaciju eksplozivne vatre sastavljen je od 12 plinskih plamenika koji se nalaze uokolo požarne lutke. Prije svakog testa potrebno je provesti umjeravanje gdje je gola lutka izložena djelovanju eksplozivne vatre 4 s i za svaki senzor temperature izračunava se toplinski tok. Plamenici moraju biti postavljeni na odgovarajući način da uvijek daju vrijednosti toplinskog toka oko 80 kW/m². Podaci koje daju senzori prikupljaju se i prikazuju pomoću programskog rješenja Labview, a cijeli sustav kontrolira jedinica Mitsubishi Programmable Logic Controller (PLC). Prije svakog testa ventilira se prostor oko lutke kako bi se napunio svježim zrakom. Nakon toga uključuje se sigurnosni plamenik kako bi se provjerilo paljenje i plinski sustav. Eksplozivna vatra (engl. flash fire) postiže se gorenjem glavnih plamenika od 2 do 10 s, ovisno o trajanju testa i odjevnom sustavu koji se testira. Isključivanjem plamenika vatra se ugasi i do završetka testa pričekava se ostatak vremena do 120 s kada se uključuje ventilator za

brže prozračivanje prostora za testiranje (Zavec Pavlinić et al., 2010., Juričić et al., 2008., Gašperin et al., 2008.).



Slika 2. Požarna lutka Žiga (Biomed, Slovenija)

Figure 2. Dummy Žiga (Biomed, Slovenia)



Slika 3. Prikaz senzora na tijelu požarne lutke

Figure 3. Sensors on the dummy

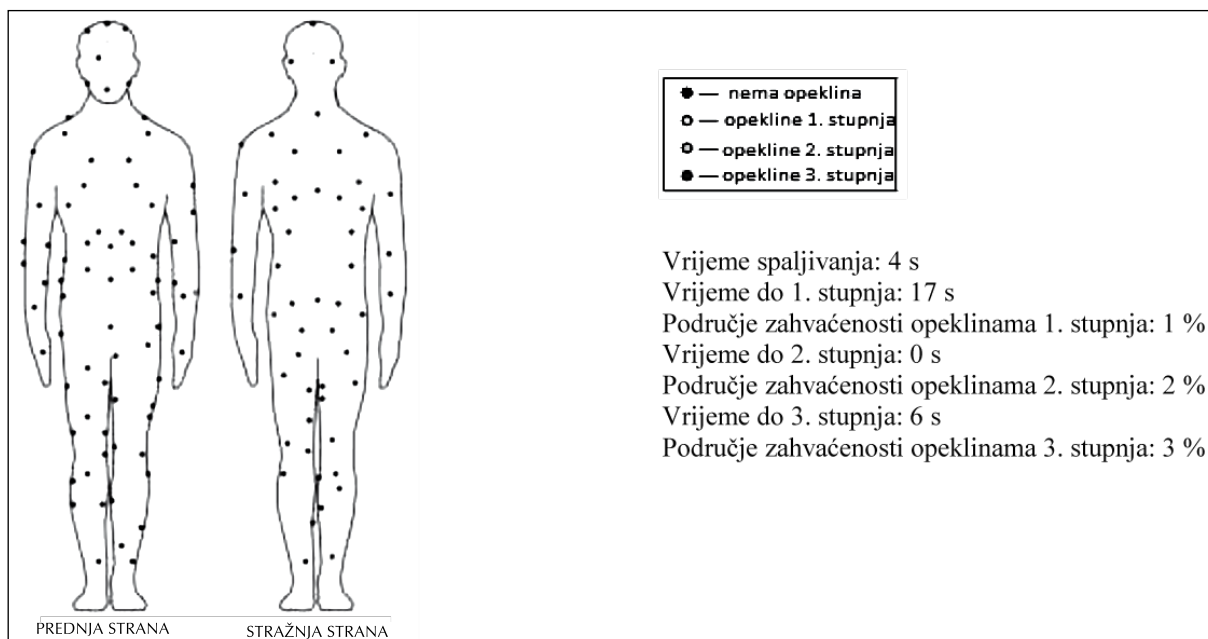
Uvjeti ispitivanja

Odjevni sustavi ispitivani su na požarnoj lutki i simulatoru eksplozivnog požara u skladu s međunarodnom normom koja opisuje metodu ispitivanja (ISO/DIS13506, 2002.). Tijekom ispitiva-

nja odjevni sustavi bili su izloženi eksplozivnoj vatri određeno vrijeme što je prikazano u Tablici 1. Pomoću 128 termoelemenata (slika 3), raspoređenih po cijeloj površini požarne lutke ('koži'), mjeri se porast temperature na 'koži' u trenutku djelovanja plamena. Mjerenja se bilježe svakih 0,5 s i to na svakom predjelu gdje je smješten termoelement. Na temelju podataka o temperaturi izračunava se toplinski tok, što se uspoređuje s modelom ljudske kože kako bi se utvrdilo jesu li se pojavile opekline. Budući da se oštećenja opeklinama zbog prijenosa topline s vrućeg ili gorućeg odjavnog predmeta pojave nakon završnog prvog dovoda plamena, prikupljanje podataka nastavlja se u točno određenom razdoblju nakon prvog dodira s plamenom. Podaci se prikupljaju u vremenu od 120 s uključujući prvi dodir s plamenom (Zavec Pavlinić et al., 2010., Juričić et al., 2008., Gašperin et al., 2008.).

REZULTATI

Opisanim načinom testiranja pomoću požarne lutke i simulatora eksplozivne vatre dobiveni su podaci o stupnju opeklinama pojedinog odjavnog sustava (Tablica 2).



Slika 4. Računalni prikaz rezultata dobivenih testom na požarnoj lutki za odjevni sustav A

Figure 4. Computer results of tests on a dummy for clothing type A

Tablica 2. Podaci o postotku zahvaćenosti tijela opeklinama 2. i 3. stupnja za ispitivane odjevne sustave

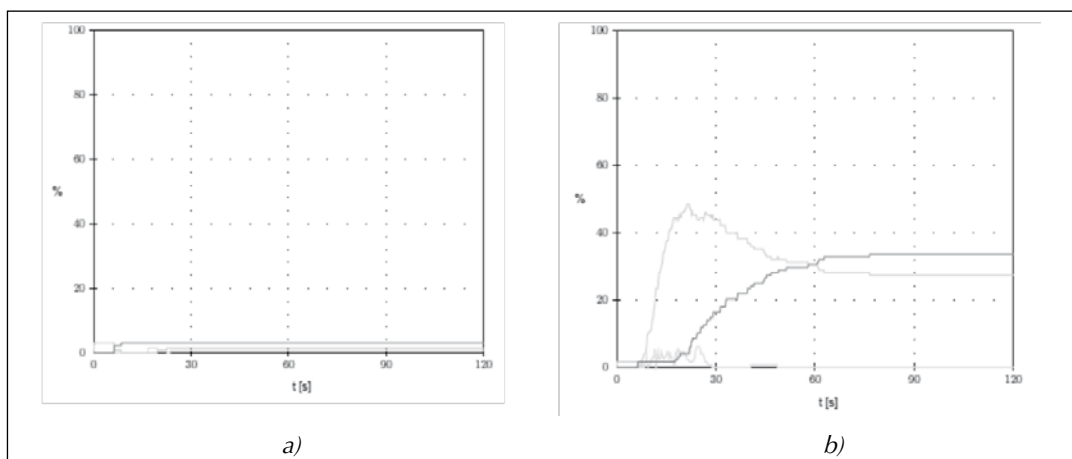
Table 2. Percentages of 2nd and 3rd degree burns for tested clothing

Odjevni sustav	Područje zahvaćenosti tijela opeklinama 2. i 3. stupnja (%)			
	Vrijeme djelovanja eksplozivne vatre [s]			
	4	6	8	12
A	5			
B	5	13	26	
C		46	58	
D			13	22

Na slici 4 vidljiv je računalni prikaz rezultata dobivenih testiranjem na požarnoj lutki za odjevni sustav A s označenim sensorima razmještenim po tijelu lutke, kao i vrijednosti područja zahvaćenosti tijela opeklinama 1., 2. i 3. stupnja.

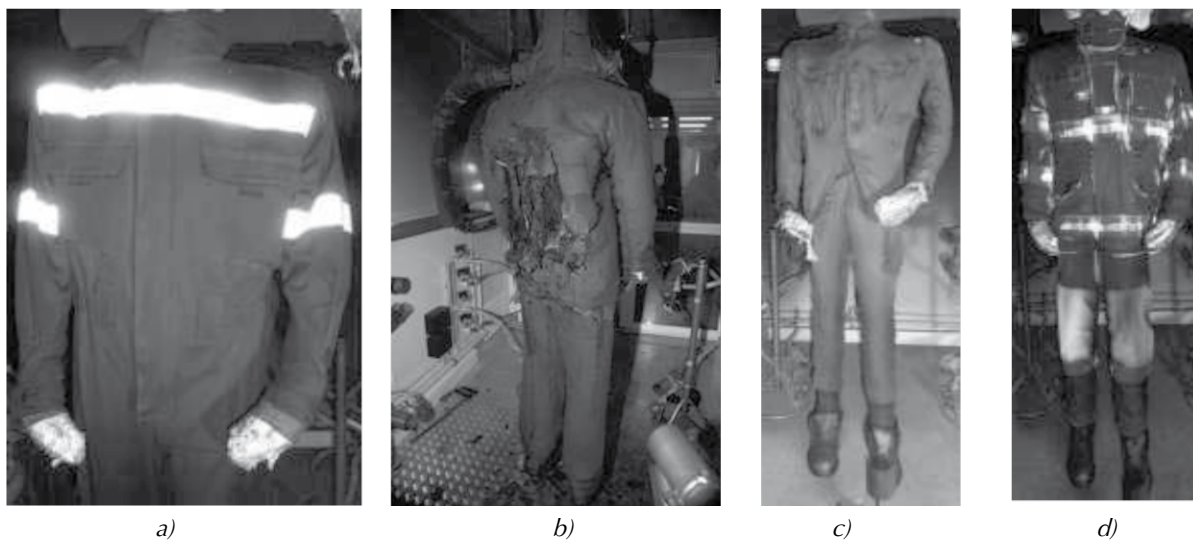
Mjerni sustav kao rezultat testiranja prikazuje i dijagram ovisnosti područja zahvaćenosti opeklinama određenog stupnja o vremenu pojave opeklina tijekom testiranja (slika 5). Nakon svakog provedenog testiranja naprave se slike pojedinog odjevnog sustava na požarnoj lutki (slika 6), te nakon skidanja.

Prikupljeni slikovni materijal služi za daljnje analize zaštitnih odjevnih sustava pomoću kojih se utvrđuju poboljšanja u funkcionalnom dizajnu i konstrukciji odjevnih sustava, provodi se optimizacija odjevnih sustava, te se podaci primjenjuju za razvoj novih odjevnih predmeta.



Slika 5. Dijagram ovisnosti područja zahvaćenosti opeklinama određenog stupnja o vremenu za:
a) odjevni sustav A (vrijeme djelovanja eksplozivne vatre 4 s) i
b) C (vrijeme djelovanja eksplozivne vatre 8 s)

Figure 5. Diagram showing interdependence of burned area (with different degrees of burns) and exposure time for:
a) A type clothing (4 sec exposure to explosive fire)
b) C type clothing (8 sec exposure to explosive fire)



a) odjevni sustav A, izloženost eksplozivnoj vatri 4 s; b) odjevni sustav B, izloženost eksplozivnoj vatri 8 s; c) odjevni sustav C, izloženost eksplozivnoj vatri 8 s; d) odjevni sustav D, izloženost eksplozivnoj vatri 8 s

Slika 6. Prikaz dijelova analiziranih odjevnih sustava nakon testiranja na požarnoj lutki

Figure 6. Parts of analysed clothing after testing on a dummy

RASPRAVA

Prikazani odjevni sustavi izrađeni su od različitih materijala i u različitim modelima, ovisno o tipu radnih aktivnosti za koje su namijenjeni. Samo testiranje odjevnih sustava izvedeno je s najmanje jednim slojem ispod nezapaljivog gornjeg odijela. Budući da su prikazana istraživanja provedena u sklopu nekoliko različitih studija, u ovoj analizi donje se rublje promatra samo kao dodatni sloj zaštitnog odijela, pa se sirovinski sastav analiziranih odjevnih predmeta neće posebno razmatrati.

Iz prikazanih rezultata očito je da svaki od analiziranih odjevnih sustava pruža konačnome korisniku određen stupanj zaštite. S obzirom na namjenu odjevnih sustava, oni štite korisnika za vrijeme koje je potrebno da korisnik izađe iz područja gdje je ugroženo njegovo zdravlje i život.

Odjevni sustav A upotrebljava se kod gašenja šumskih požara i požara niskog raslinja, pri čemu se od takvog odjevnog sustava dodatno očekuje toplinska ravnoteža jer se najviše takvih požara pojavljuje tijekom ljetnih mjeseci kad visoke temperature okoline predstavljaju dodatno opterećenje za korisnika. Prema provedenim testiranjima postavlja se pitanje, hoće li konačni korisnik u takvim radnim uvjetima (uz visoke vrućine) nositi dodatnu zaštitu uporabom negorivog donjeg rublja ili će pak riskirati mogućnost dobivanja opekline zbog nepodnošljive vrućine i olakšanog obavljanja radnih aktivnosti. Rezultati istraživanja pokazuju da se zaštita uz upotrebu donjih slojeva (donjeg rublja) povećava, ali na račun manje toplinske ravnoteže tijekom ljetnih mjeseci. Iz vizualne procjene odjevnog sustava - koja se provodi oko 116 s nakon što plamen zgasne u komori u kojoj se provodi test na požarnoj lutki - utvrđeno je da je na kombinezonu došlo do manjih oštećenja na vrhovima džepova, te na rukavima i dijelu hlača ispod koljena (slika 6a). Rezultati ispitivanja na požarnoj lutki pokazuju pojavu opekline 2. i 3. stupnja u iznosu 5 % zahvaćenosti ukupne površine ljudske kože.

Odjevni sustav B namijenjen je upotrebi za obavljanje radnih aktivnosti na palubama nosača

zrakoplova. Uz nezapaljiv gornji sloj – Perfectos FWC, odjevni sustav sastoji se od 2 donja sloja koji služe za povećavanje zaštite od plamena i topline. Ovaj odjevni sustav je zbog više slojeva poprilično neudoban za nošenje i zbog toga je provedeno dodatno testiranje radi usporedbe s odjevnim sustavom s manje slojeva (*House et al., 2007.*). Dobiveni rezultati pokazuju da je zaštita korisnika dovoljna, ali se u slučaju većeg plamena ili izvora topline korisnici moraju brzo maknuti iz takvog radnog okruženja.

Odjevni sustav C je prema dobivenim rezultatima najmanje otporan. Uzrok takvim rezultatima je jednoslojnost odjevnog sustava, posebno na nogama. Zbog toga su nastale opekline 2. i 3. stupnja do 46 % ukupne površine tijela za vrijeme testiranja od 6 s, te do 58 % ukupne površine tijela za vrijeme testiranja do 8 s. Kako se taj odjevni sustav upotrebljava za obavljanje radnih aktivnosti u kotlovnicaama nosača zrakoplova, od njega se niti ne očekuje tako visok stupanj zaštite kao kod ostalih odjevnih sustava. U skladu s provedenim istraživanjima zaštita se može povećati upotrebom donjeg rublja od nezapaljivog materijala (duga majica i duge gaće). Viši stupanj opekline kod ovog odjevnog sustava posljedica je kroja odijela. Budući da se radi o dvodijelnom odijelu koje se sastoji od košulje i hlača, potrebno je spomenuti da prostor kod kopčanja košulje nema dodatni preklop kao zaštitu od djelovanja vatre, već se taj dio pri djelovanju eksplozivne vatre otvara zbog skupljanja materijala i vatra dolazi u dodir s površinom požarne lutke, odnosno kože korisnika.

Za usporedbu jednoslojnih zaštitnih odijela analiziran je i višeslojni odjevni sustav tvrtke Lenzing iz Austrije koji je namijenjen upotrebi kod gašenja požara u zgradama i kod drugih većih nesreća gdje su prisutni i drugi utjecaji štetni za ljudske živote. Ovaj odjevni sustav daje korisniku najveću moguću zaštitu ne samo zbog svoje debljine, već i dodatno zbog nezapaljivog donjeg rublja. To pokazuju i rezultati testiranja gdje su opekline 2. i 3. stupnja uz vrijeme izloženosti eksplozivnoj vatri od 8 s samo 13 % od ukupne površine tijela, te kod vremena 12 s samo 22 %.

Oštećenja na odjevnim sustavima pokazuju da korisnici koji bi se našli pod udarom vatre i topline ne bi imali oštećenja opasna za zdravlje i život, a time se i pokazuje da su analizirani odjevni sustavi zadovoljili očekivanja upotrebe. Stoga se može iz dobivenih rezultata istraživanja zaključiti da ispitivani odjevni sustavi omogućavaju visoki stupanj zaštite, čemu je pridonijela kombinacija negorivog donjeg rublja uz negorivi vanjski sloj odjeće. Međutim, potrebno je istaknuti da takvi zaštitni odjevni sustavi nakon jednokratne izloženosti eksplozivnoj vatri više nemaju funkciju zaštite ljudskog tijela.

ZAKLJUČAK

Istraživanjem pomoću požarne lutke i simulatora eksplozivne vatre, odnosno simulacija opasnosti kojima se izlažu vatrogasci pomažu nam u predviđanju stupnja opekline korisnika odjevnih sustava, te mogućnosti preživljavanja. Takva istraživanja uvelike su značajna već u samoj fazi projektiranja odjevnih sustava i odjeće za zaštitu od topline i plamena. U projektiranju i realizaciji zaštitnih odjevnih sustava nužna je zajednička suradnja stručnjaka s područja materijala i vlakana, dizajnera, konstruktora i tehnologa, te uska suradnja i povezivanje s konačnim korisnikom, tj. vatrogascem i drugim radnicima koji su izloženi djelovanju topline i plamena. Stručnjaci iz područja materijala i vlakana daju preporuke kako bi se odabrali adekvatni materijali koji pružaju zadovoljavajući stupanj zaštite ovisno o primjeni zaštitnog odjevnog sustava. Međusobna suradnja dizajnera i konstruktora koji daju preporuke funkcionalnog dizajna i oblikovanja zaštitnih odjevnih sustava treba rezultirati povećanjem sigurnosti korisnika tijekom izlaganja povišenim temperaturama i/ili otvorenom plamenu. Tehnolozi koji realiziraju zamisli dizajnera i konstruktora moraju brinuti da svi ugrađeni dijelovi moraju biti vatrootporni, te se trebaju upotrebljavati konci i tehnike spajanja dijelova odjeće koji zadovoljavaju kriterije vatrootpornosti i vodonepropusnosti. Na temelju iznesenog vidljivo je da je ovo područje izrazito interdisciplinarno i da su potrebna znanja iz

različitih područja kako bi odjevni sustavi za zaštitu od topline i plamena što više pridonijeli zaštiti života osoba čiji je posao rad u neposrednoj blizini djelovanja visoke temperature i plamena, a posebno onima čiji je posao spašavanje drugih od takvih opasnosti.

Zahvala

Autori zahvaljuju tvrtki Odjeća, d.o.o. iz Zagreba koja je ustupila odjevni sustav za provedbu testiranja na požarnoj lutki, tvrtki Lenzing iz Austrije koja je nakon višegodišnje suradnje dopustila objavu rezultata testiranja odjevnog sustava D i prof. Jimu Houseu sa Department of Sports Science, University of Portsmouth, UK na ustupljenim odjevnim sustavima za testiranje.

LITERATURA

EN 366:1993 - Protective clothing. Protection against heat and fire. Method of test: evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat.

EN 367:1992 Protective clothing. Protection against heat and fire. Method for determining heat transmission on exposure to flame.

EN 369:1993 - Protective clothing. Protection against liquid chemicals. Test method. Resistance of materials to permeation by liquids.

EN 702:1994 Protective clothing. Protection against heat and flame. Test method: Determination of the contact heat transmission through protective clothing or its materials.

EN ISO 6942:2002 Protective clothing - Protection against heat and fire - Method of test: Evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat.

EN ISO 12127-2:2007 Clothing for protection against heat and flame - Determination of contact heat transmission through protective clothing or constituent materials - Part 2: Test method using contact heat produced by dropping small cylinders.

Gašperin, M., Juričić, Đ., Musizza, B., Mekjavić, I. B.: A model-based approach to the evaluation of flame-protective garments, *ISA transaction*, 47, 2008., 2, pp. 198-210.

Grupa autora: *Smjernice dobre prakse - Rad na otvorenom u uvjetima visokih temperatura*, Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, dostupno na: http://www.hzzzsr.hr/doc/news_prilozi/doc_1341233124_1.pdf, pristupljeno: 25.2.2012.

Horvat, J., Regent, A.: *Osobna zaštitna oprema*, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.

House, J.R. & Mekjavić, I.B.: Using flame manikin to ensure safety and enhance operational capability in military, industrial and rescue services, *Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Ergonomics, ICEE 2007*, Piran, Slovenia, August, 2007., 19-24.

Hursa Šajatović, A. i sur.: Osobna zaštitna odjeća između zahtjeva normi i uporabe, *Zbornik radova 5. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo*, Tekstilno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.

ISO 17493:2000 Clothing and equipment for protection against heat - Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven.

ISO 13506:2008 Protective clothing against heat and flame -- Test method for complete garments -- Prediction of burn injury using an instrumented manikin.

Juričić, D. et al.: System for evaluation of fire protective garments, *Book of Proceedings of the 4th International Textile, Clothing & Design Conference*, Dubrovnik, Croatia, October 2008.

Šivanje i proizvodnja radne odjeće, dostupno na: <http://www.dom-tex.hr/Sivanje-i-proizvodnja-radne-odjece.html>, pristupljeno: 25.2.2012.

Zavec Pavlinić, D., House, J. R. & Mekjavić, I. B.: Protupožarni odjevni sustavi i njihovo vrednovanje, *Sigurnost*, 52, 2010., 3, pp. 251 – 262.

Zavec Pavlinić, D., Hursa Šajatović, A. & Mekjavić, B.I.: Vrednovanje interventne odjeće za vatrogasce pomoću požarne lutke, *Zbornik radova 4. međunarodnog stručno-znanstvenog skupa Zaštita na radu i zaštita zdravlja*, Zadar, Hrvatska, rujna 2012.

THE CONTEMPORARY CONCEPT IN TESTING FLAME RETARDANT CLOTHING

SUMMARY: Level and type of personal protection is in direct correlation to job-specific activities and duties performed at different workplaces. Consequently, norms (EN 369) have been set to govern the manufacture of flame retardant clothing. End users should comply with the norms for certified protective flame retardant clothing but this is not always the case. Available on today's markets is lower quality of flame retardant clothing, serially manufactured, but of quality not suitable to meet the standards of prototypes approved for procurement by national institutions. In the course of development of flame retardant clothing, most tests are carried out on the textiles used for manufacturing of the clothing, cut and adapted to fit 3D human shape. However, as textiles are two-dimensional, once they are made to fit the 3D body shape by cutting and sewing the parts together, the characteristics of all used materials change. The properties of the clothing and the textiles from which it is made additionally change by wear and maintenance. To determine with a degree of certainty that protective clothing in effect has the required characteristics, i.e. that it protects from heat and flame, it is recommended that testing be carried out using a test dummy. The paper presents testing of different types of protective clothing suitable for use in different workplaces. Four types of heat and flame retardant clothing have been tested: a single-layer suit worn by men fighting forest fires (manufactured by Odjeća d.o.o. Croatia), a single-layer suit (overall type) suitable for work on aircraft carriers, a single-layer suit for work in boiler rooms (British Royal Navy) and multi-layer suit worn for protection while fighting fires in buildings (Lenzing, Austria).

The testing procedures focused on the external layers of the clothing of varying cuts and structures, and on the degree of protection from heat and flame. The analyses include evaluation of the seriousness of burns sustained and the estimated probability of survival for users exposed to heat and flame. The paper compares the degrees of protection provided by different clothing items in accordance with their purpose.

Key words: *flame retardant clothing, clothing for protection from heat and fire, dummy, explosive fire, burns*

Original scientific paper

Received: 2013-01-18

Accepted: 2013-03-06