

Složeni koncept projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće

Prof.dr.sc. **Jelka Geršak**, dipl.ing.
Prof.dr.sc. **Milan Marčič**, dipl.ing.
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Oddelek za tekstilne materiale in oblikovanje
Maribor, Slovenija
e-mail: jelka.gersak@uni-mb.si
Prispjelo 12.7.2012.

UDK 687.17:677.017
Pregled

Tijekom posljednja dva desetljeća u mnogim institucijama provedena su brojna istraživanja za razvoj učinkovite zaštitne odjeće za radnike u industriji, ali i za vojnu upotrebu. Osnovni zahtjev kod upotrebe zaštitne odjeće, i u civilne i vojne svrhe, je zaštita, odnosno potreba za zaštitom čovjeka suočenog s raznim opasnostima i klimatskim uvjetima. U ovom su radu predstavljene određene specifičnosti složenog koncepta projektiranja zaštitne odjeće, kao vrlo bitne komponente osobne zaštitne opreme. Zahtjevi za zaštitnu odjeću dani su s obzirom na njihovu namjenu, funkcije, odnosno vrstu zaštite, kao i sa stajališta sustavnog pristupa projektiranju, razvoju i implementaciji zaštitne funkcionalne odjeće. Ovo istraživanje usredotočeno je na razvoj temeljnog modela, kao progresija od početnih ciljeva projektiranja proizvoda, tj. prepoznavanje problematike, kroz razvoj ideje s obzirom na tehničko rješenje i razvoj samog proizvoda - prototipa, do vrednovanja krajnjeg rješenja i njezine implementacije u funkcionalnu zaštitnu odjeću, te certifikacija samog procesa.

Ključne riječi: funkcionalni tekstil, zaštitna odjeća, koncept dizajna, metodologija

1. Uvod

Današnja zaštitna odjeća mnogo je puta ocjenjivana uglavnom s gledišta njenih zaštitnih svojstava. Međutim, prema sve većim zahtjevima na zaštitnu odjeću krajnji korisnik očekuje veću udobnost i funkcionalnost zaštitne odjeće.

Tako su sve veći zahtjevi na zaštitu dragocjenog ljudskog života od potencijalno štetnih kemikalija, vojnih kemijskih sredstava i bioloških tvari, ili u situacijama prirodnih katastrofa, zračenja opasnog za zdravlje, i/ili terorističkih napada, doveli do promje-

ne filozofije u projektiranju i vrednovanju pojedinačnih komponenata odjevnog sustava. Zaštitna odjeća koristi se za zaštitu ljudskog života od niza raznih opasnosti i klimatskih promjena s kojima se čovjek susreće. Odjevni sustav kao dinamička komponenta mora biti projektiran s obzirom na zahtjeve i očekivanje korisnika. Pri tome su za projektiranje bitna dva ključna pitanja: Što su izazovi (npr. kemijski ili biološki izazovi, izazovi zračenja opasnih za zdravlje, ili izazovi gašenje vatre)? Koji su uvjeti rada ili primjena zaštitne odjeće? U smislu stvarnih uvjeta ko-

rištenja i radnog okruženja, treba odgovoriti na nekoliko pitanja da bi se moglo pristupiti oblikovanju odgovarajuće razvojne metodologije i tehnologije za zaštitnu odjeću i/ili odjevne sustave, prema zahtjevima Direktive 89/686/EEC [1] i u skladu sa zahtjevima europskih i međunarodnih norma [2-16].

Prema Direktivi definirane su 3 kategorije osobne zaštitne opreme [1]:

I. kategorija - osobna zaštitna oprema 'jednostavnog' dizajna, koja obuhvaća isključivo zaštitnu odjeću namijenjenu zaštitu od manjih opasnosti: od mehaničkog djelovanja čiji

su učinci površinski, manje agresivnih sredstava za čišćenje, opasnosti kod rukovanja s vrućim dijelovima, gdje temperatura ne prelazi iznad 50 °C ili opasnosti utjecaja atmosferilija, slabih udara i vibracija i sl. koji ne utječu na vitalne dijelove tijela i čiji učinci ne mogu prouzročiti nepopravljive povrede.

II. kategorija – osobna zaštitna oprema 'intermedijarnog' dizajna – osobna zaštitna oprema koja nije ni jednostavna ni kompleksna, npr. biciklističke kacige, odjeća visoke vidljivosti.

III. kategorija - 'kompleksni' dizajn osobne zaštitne opreme - namijenjen za zaštitu od smrtonosnih opasnosti, ili opasnosti koje mogu ozbiljno ugroziti zdravlje korisnika, neposredni učinci koji se ne mogu pravodobno prepoznati. Tu spadaju isključivo:

- respiratorni uređaji za zaštitu od čvrstih i tekućih aerosola ili iritansa, opasnih, otrovnih ili radio-otrovnih plinova;
- osobna zaštitna oprema za zaštitu dišnih organa, uključujući i onu za uporabu u ronjenju;
- osobna zaštitna oprema koja pruža ograničenu zaštitu od kemijskih supstanci ili od ionizirajućeg zračenja;
- interventna oprema za upotrebu u visokotemperaturnoj okolini, čiji učinci su usporedivi s onima kod temperature zraka od 100 °C ili više;
- interventna oprema za upotrebu u okruženju s niskom temperaturom, čiji učinci su usporedivi s onima kod temperature zraka od -50 °C ili manje;
- osobna zaštitna oprema za zaštitu od pada s visine;
- osobna zaštitna oprema za zaštitu od električnog rizika i opasnih napona ili da se koristi kao izolacija u radu kod visoke napetosti.

Dijagram za pojedine kategorije osobne zaštitne opreme u skladu s Direktivom 89/686/EEC prikazan je na sl.1.

Osobna zaštitna oprema prema Direktivi 89/686/EEC		
Kategorija I	Kategorija II	Kategorija III
Osobna zaštitna oprema 'jednostavnog' dizajna Za male opasnosti	Osobna zaštitna oprema 'intermedijarnog' dizajna Za srednje opasnosti	Osobna zaštitna oprema 'kompleksnog' dizajna Smrtna ili invalidska opasnost
Za zaštitu od: <ul style="list-style-type: none"> • mehaničkih površinskih ozljeda • manje agresivna sredstva za čišćenje • Rukovanja toplim predmetima (do 50 °C) • Uobičajenih atmosferskih nepogoda • Slabijih udara i vibracija • Utjecaja sunca 	Sva osobna zaštitna odjeća koja ne spada u I ili III kategoriju	Za zaštitu: <ul style="list-style-type: none"> • dišnih organa • ronioca (ronilačka oprema za disanje) • od kemijskih supstanci • od ionizirajućeg zračenja • za zaštitu od temp. iznad 100 °C • od većih kapljica prskajućeg rastopljenog materijala • od hladnoće • od pada s visine • od električnog udara • motorista (kacige i viziri)

Sl.1 Kategorije osobne zaštitne opreme prema Direktivi 89/686/EEC

S obzirom na kompleksnost problematike, u ovom će radu biti predstavljene specifičnosti kompleksnog koncepta projektiranja zaštitne odjeće, gdje moraju biti nedvosmisleno specificirani kriteriji za funkcionalnu zaštitnu odjeću: npr. zaštita od kemikalija, koja se postiže blokiranjem njihovog prodora i prolaska kroz tkaninu odjeće [4-6, 10, 11, 17]. To je učinkovit način za davanje adekvatne zaštite: međutim, blokiranje prodora i prolaska u cijelosti, utječe na prijelaz topline i vlage generirane od nositelja zaštitne odjeće, i ima za posljedicu mogući toplinski stres. Osim toga, osobna zaštitna oprema često je neudobna i ergonomske neprilagođena, što ukazuje na kompleksnost projektiranja zaštitne odjeće i postavlja sve više zahtjeve na projektiranje zaštitne odjeće, i to s aspekta zaštite i udobnosti, kao i funkcije.

2. Projektiranje zaštitne funkcionalne odjeće

Projektiranje zaštitne odjeće kao sastavnog dijela osobne zaštite opreme (OZO) iznimno je složene prirode. Zaštitna odjeća mora biti projektirana i proizvedena tako da su predviđeni oni uvjeti upotrebe za koju je namijenjena, a da korisnik može obavljati normalno opasne svakodnevne aktivnosti i pritom se ugodno osjećati uz najveću moguću razinu adekvatne zaštite.

Zaštitna odjeća trebala bi biti projektirana i proizvedena tako da korisniku olakša ispravno pozicioniranje na mjesto u predviđenom razdoblju upotrebe, imajući u vidu utjecaje okoline, pokrete i položaje tijela, koje isto tako treba usvojiti [1, 2]. U tu je svrhu potrebno omogućiti optimizaciju osobne zaštitne opreme i njeno prilagođavanje morfologiji korisnika,

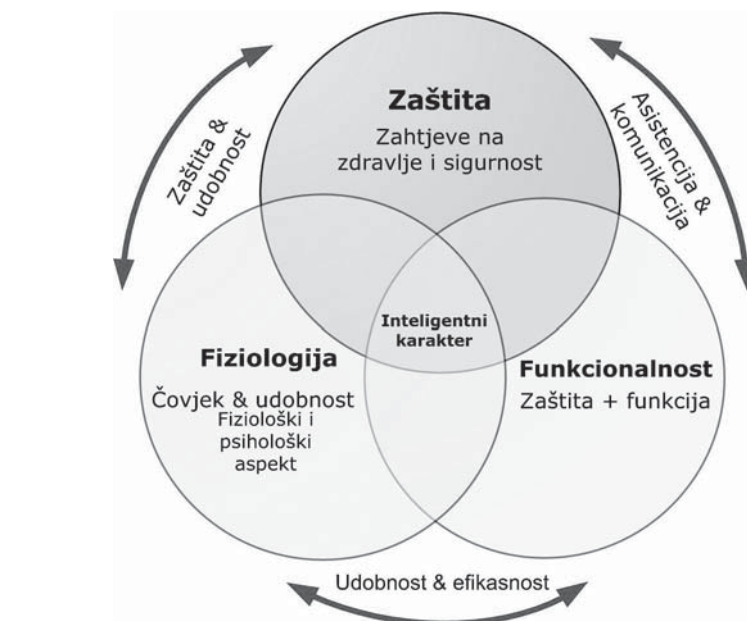
koristeći adekvatne prilagodbene sustave ili namirnice odgovarajućih raspona veličina.

Osim toga, suvremeni inženjerski pristup na području razvoja zaštitne odjeće pruža mogućnost razvoja zaštitne funkcionalne odjeće s tzv. inteligentnim karakterom. Naime, razvoj suvremene tehnologije omogućava korištenje suvremenih tehničkih mogućnosti, koje se mogu koristiti za funkcioniranje zaštitnih odjevnih sustava - inteligentnih funkcija zaštitne odjeće. Funkcionalna zaštitna odjeća pruža posebnu funkcionalnost za korisnika, kao što je pomoć pri praćenju i upozoravanje na potencijalnu opasnost s kojom se nositelj korisnik susreće, a koju konvencionalna zaštitna odjeća nema. Funkcionalna zaštitna odjeća s inteligentnim karakteristikama smatra se predmetom interdisciplinarnih istraživanja, koje obuhvaća različite discipline. Multidisciplinarnost funkcionalne zaštitne odjeće s inteligentnim karakteristikama zahtijeva integraciju istraživanja zaštite, znanosti o materijalima, odjevnog inženjerstva, udobnosti, funkcionalnosti, te uključuje glavne zahtjeve okoliša i komunikacije kao što je prikazano na sl.2.

2.1. Inženjerski zahtjevi kod projektiranja

Na temelju iznesenog vidljivo je da je uspješan razvoj proizvoda - sustava osobne zaštitne opreme za zaštitu od opasnosti, odnosno zaštitne funkcionalne odjeće moguć ako se istraživači udruže u multidisciplinarni istraživački tim. Proces razvoja zaštitne funkcionalne odjeće općenito prati proces razvoja novog proizvoda, ali samo djelomično.

Prema Direktivi 89/686/EEC [1] i pripadajućim normama, zaštitna odjeća mora osigurati, osim onih posebnih dodatnih zahtjeva koje mora zadovoljiti kako bi se osigurala potrebna zaštita od svih rizika, odgovarajuću tehničku funkcionalnost s inteligentnim svojstvima, kao i potrebnu razinu udobnosti. Udobnost uključuje fiziološke i psihološke aspekte s jedne



Sl.2 Multidisciplinarni pristup projektiranju funkcionalne zaštitne odjeće

strane, te mehaničke i ergonomске aspekte s druge strane. Više pozornosti treba biti usmjereno na razumijevanje ergonomskih potreba, implikacije toplinskog stresa i odnosa između zadatka i upotrebe odjevnog predmeta. Stupanj termofiziološke udobnosti za vrijeme nošenja, definiran je termofiziološkim svojstvima ugrađenih materijala, odnosno slojeva tkanine, kao i određenog stupnja mehaničke i ergonomске udobnosti. Posljednje dvije rezultat su mehaničkih parametara upotrijebljene tkanine, odgovarajućeg dizajna i optimalne konstrukcije odjeće [18-21]. Odgovarajuća pristalost i udobnost nužni su kako bi se osigurala pravilna i nepromjenjiva upotreba za vrijeme nošenja.

S inženjerskog stajališta to znači da odjeća mora biti ergonomski oblikovana, u skladu s dinamičkim antropometrijskim uvjetima korištenja, a pri izvođenju aktivnosti mora osiguravati udobnost kod nošenja i visok stupanj slobode pokreta. Mora biti i posebno dizajnirana, pri čemu su sagleđane sve mogućnosti uvjeta upotrebe, kao npr. nošenje alata, aparata za disanje, senzorskih i aktuatorskog sustava i slično. Tijekom razvoja tih sustava osobne zaštitne opreme, tre-

baju biti ispunjeni svi zahtjevi, koji će se koristiti protiv rizičnih situacija i koji će rezultirati optimalnom zaštitnom odjećom, dok odabrani procesi trebaju biti razumljivo definirani.

3. Razvoj temeljnog modela

Model istraživanja definira razvoj od početnih ciljeva oblikovanja proizvoda, odnosno prepoznavanja problema kroz razvoj ideje u pogledu tehničkog rješenja do razvijenog proizvoda – prototipa i testiranja nošenjem proizvoda, te na poslijetku, vrednovanje konačnog rješenja i implementacija zaštitne funkcionalne odjeće, te postupak certificiranja. Uspješan dizajn trebao bi uključivati sljedeće korake kako bi se utvrdili osnovni zahtjevi, odnosno, potrebe korisnika i razvio proizvod koji zadovoljava utvrđene potrebe:

- a) prepoznavanje problema,
- b) definiranje problema,
- c) postavljanje cilja:
 - definiranje razine zaštite i
 - definiranje dodatnih funkcija – inteligentnog karaktera zaštitne odjeće,
- d) razvoj ideje/tehničko rješenje ideja:

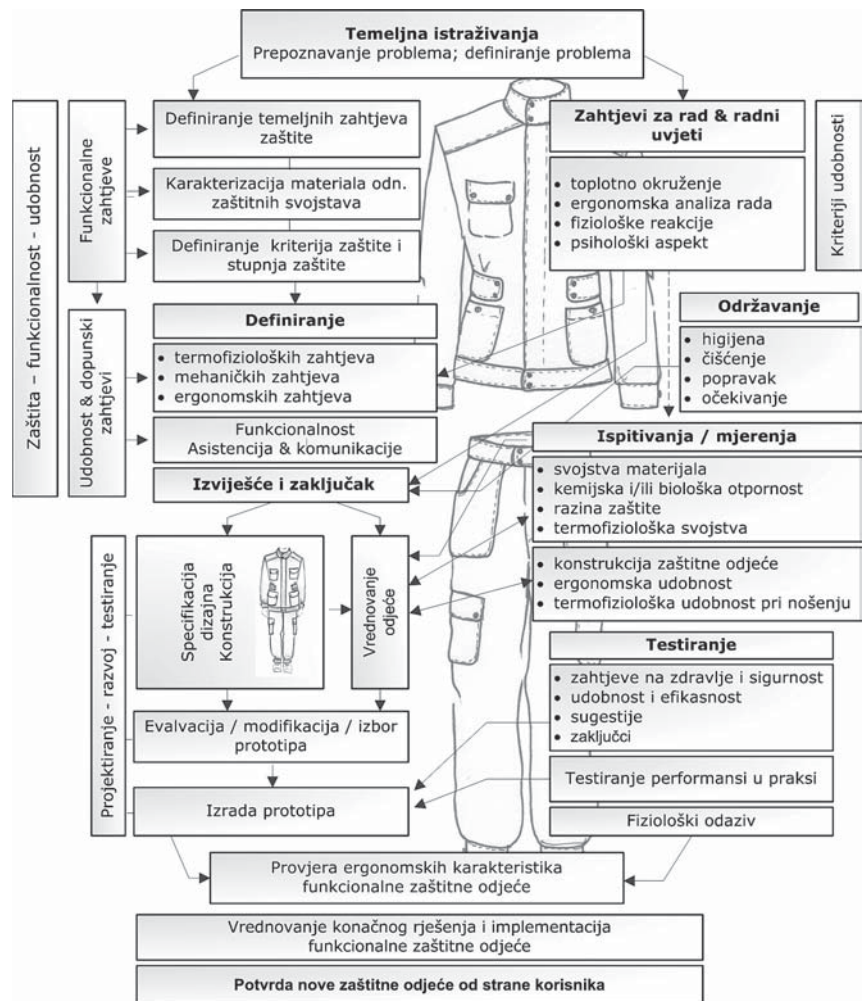
- odabir materijala i prihvatljivost materijala kod razvoja zaštitne odjeće,
- definiranje metoda za vrednovanje zaštitnih svojstava (primjer: kemijska i/ili biološka otpornost, otpornost na gorenje, toplinska otpornost, otpornost na isparivanja vodene pare, itd.),
- definiranje fizikalnih i mehaničkih svojstava, te posebnih zahtjeva za zaštitne materijale,
- definiranje termo-fizioloških zahtjeva za zaštitne materijale, i
- definiranje odgovarajućih komponenti, kao što su senzori i aktuatori, procesne jedinice (obrada podataka), pohrana podataka, prijenosne i komunikacijske funkcije koje će biti integrirane u zaštitnu odjeću,
- e) smjernice za odabir odjeće, uključuju:
 - specifikacije dizajna,
 - konstrukcija prototipa,
 - usklađivanje dizajna i
 - razvoj prototipa,
- f) vrednovanje / modifikacija / odabir prototipa,
- g) provjera ergonomskih karakteristika funkcionalne zaštitne odjeće,
 - testiranje nošenjem proizvoda / industrijska procjena,
- h) vrednovanje konačnog rješenja i implementacija funkcionalne zaštitne odjeće, i
- i) proces certificiranja prema Direktivi 89/686/EEC.

S gledišta stvarnih uvjeta virtualne upotrebe ili radnog okruženja, postavljaju se razna pitanja vezana za prirodu izazova (kemijskih / bioloških / zračenja opasnih za zdravlje / protupožarna zaštita itd.) i radno okruženje na koje treba dati odgovor kako bi se odabrale odgovarajuće vrste materijala, kao i odgovarajuće vrste i stilovi odjeće. Imajući ispravne odgovore na ova pitanja, zaštitnu odjeću odnosno odjevni sustav može se kombinirati s prikladnim materijalima - odabir tkanine i tipa šava temeljne su zaštitne karakteristike od opasnosti. Zaštitni materijali trebali bi imati primarna zaštitna svojstva kao što je otpornost na proboj, otpornost na gorenje,

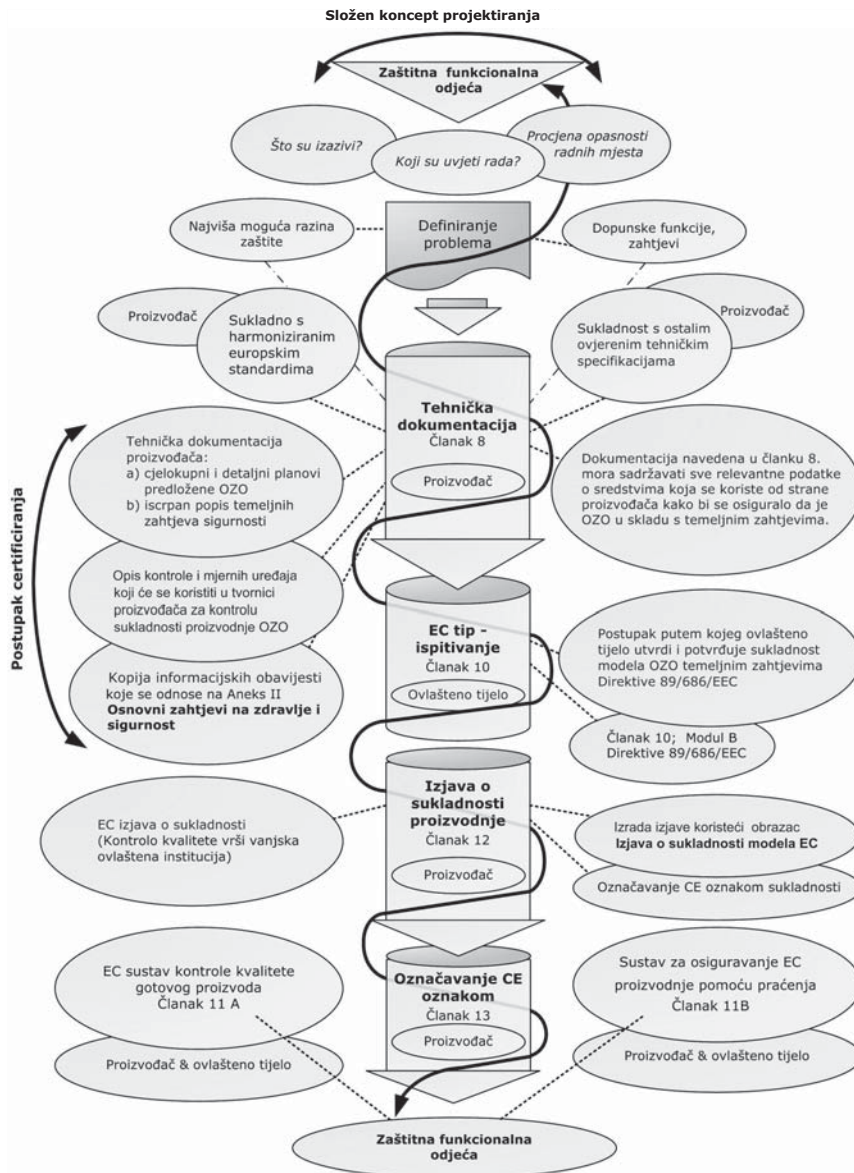
otpornost na kemikalije, otpornost na biološke i/ili nuklearne supstancije i sve potrebne kombinacije ovih svojstava [4, 6, 9-12, 14-17, 21-24]. Uz razvoj novih materijala, naglasak je na onim čimbenicima koji utječu na krajnjeg korisnika. Nove generacije materijala s blagim kemijskim i biološkim zaštitama temelje se na tehnologiji membrane selektivne propusnosti, što znači da ćelije membrane kontroliraju prijelaz, tako da samo određene molekule mogu proći i napustiti ćeliju. Ovi materijali pružaju zaštitu od visoko toksičnih spojeva, uključujući i opasne kemijske i biološke agense [25-27]. Važno je napomenuti da niti jedan materijal ne štiti od svih kemikalija, ni da je savim nepropustan. Odabir materijala za odjeću koji pruža najbolju zaštitu

od određene kemikalije mora se temeljiti na djelovanju kemijske otpornosti pri kontaktu s kemikalijom [17, 26]. Osim navedenih zahtjeva, također je bitno napomenuti da rublje treba imati važnu ulogu u sustavu slojevite zaštite i ako se upotrebljava u zaštitnom sustavu, ono mora biti u skladu sa svrhom za koju je namijenjen.

Tehnološke odnosno elektronske komponente, kojima se međutim stalno smanjuju dimenzije i masa, općenito su relativno tvrde i čvrste. L.E. Dunne [28] predlaže brižljivu distribuciju ovih čvrstih elemenata po površini tijela, jer se tako može smanjiti njihova osjetljivost i neudobnost. F. Gemperle i sur. [29] rješavali su taj problem određivanjem optimalnih



Sl.3 Sustavni pristup k projektiranju, razvoju i implementaciji funkcionalnog zaštitnog odjavnog sustava



Sl.4 Dijagram toka sustavnog koncepta projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće prema Direktivi 89/686/EEC

oblika i lokalizacije na tijelu za nosive tehnologije.

Također, posebnu pažnju potrebno je usredotočiti na ergonomske zahtjeve i čovjeka kao subjekt. Subjektivno ispitivanje udobnosti na čovjeku, fiziološka opterećenja, zaštita od hladnoće ili topline, ergonomsko oblikovanje, pristajanje odjeće, gubitak performansi, zaštita od kiše/vlaga te uočljivost/vidljivost odjeće moraju također biti definirani i opisani. Havenith G. i R. Heus [30] su predložili opis za cjelovitu evaluaciju zaštitne odjeće, koji obuhvaća: subjektivno ispitivanje udobnosti čovjeka, ergo-

nomsko oblikovanje, gubitak performansi i zaštitu od kiše/vlaga.

Stoga se za projektiranje zaštitne odjeće postavljaju vrlo složeni uvjeti s obzirom na karakterizaciju materijala, dizajn, kvalitetu i norme, čime će biti osigurana djelotvornost zaštitne odjeće pri upotrebi. Zaštitna odjeća kao dio osobne zaštitne opreme trebala bi biti projektirana tako, da npr.: čizme, kacige, rukavice, zaštitne maske za disanje, imaju potencijalnu kompatibilnost s odjećom, osiguravajući pritom da se dizajnom orukvice, ovratnika, gumbiju na hlačama omogućiti

realno povezivanje tih drugih jedinica s vanjske strane.

Norme su oslonac projektantu odjeće za zadovoljenje zahtjeva krajnjeg korisnika. Norme upućuju na:

- zahtjeve koji se odnose na potrebna svojstva materijala i gotovog odjevnog predmeta s obzirom na predviđenu namjenu i moguće uvjete uporabe u incidentnim situacijama,
- metode ispitivanja i vrednovanja zaštitnih svojstava odjeće,
- način označavanja za pojedina područja primjene zaštitne odjeće, način označavanja sustava odjevnih veličina korisnika, CE oznaka usklađenosti i sl.

Kriteriji projektiranja zaštitne odjeće moraju biti određeni tako da se mogu jasno prikazati kao “odgovarajući” ili “neprikladni” i koristiti kao smjernice proizvođačima. U slučaju da se ti kriteriji ne mogu označiti kao smjernice za proizvođače, oni su izvan certifikacijskih odgovornosti, na primjer sustav zakopčavanja odjeće treba biti konstruiran tako da se ispune zahtijevane performanse proizvoda.

Model istraživanja kao cjelokupni sustav pristupu projektiranja, dizajnu, razvoju proizvoda i implementaciji funkcionalne zaštitne odjeće, prikazan je na sl.3. Bitno očekivanje koje rezultira iz ovog rada očituje se u tretmanu dokazane zaštitne odjeće kao vezi različitih dimenzija kompleksnog projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće, odn. kao koncept koji ima ključno mjesto u modelu.

Takav koncept projektiranja usmjeren je na razvoj proizvoda uzimajući u obzir objektivne karakteristike materijala, s obzirom na verificirane tehničke specifikacije, razvoj novih metoda i tehnika za izradu multifunkcionalne zaštitne odjeće, a uključuje i integraciju zahtjeva za zdravlje i sigurnost, fiziologiju odnosno udobnost čovjeka, kao i funkcionalnost proizvoda. Inteligentni karakter funkcionalne zaštitne odjeće temelji se na ispreplitanju zahtjeva za zdravlje i sigurnost, udobnost čovjeka i funkcionalnost (zaštita i funkcija), te je fokusiran na monitoring i evaluaciju po-

tencijalnih opasnosti s kojima se korisnik može sresti.

Stupanj tehnološke integracija unutar sustava funkcionalne zaštitne odjeće ovisi o vrsti inteligentnog karaktera - njegove funkcije. Sva suvremena zaštitna odjeće treba dodatnu opremu za mjerenje i obradu podataka.

Složeni koncept projektiranja multidisciplinarnog razvoja funkcionalne zaštitne odjeće prema Direktivi 89/686/EEC [1], odnosi se na integraciju zahtjeva za zdravlje i sigurnost za vrijeme istraživanja, fiziologiju, ergonomiju, kao i na odgovarajući razvoj metodologije i tehnologije zaštitne odjeće, zajedno s odgovarajućim normama i drugim verificiranim tehničkim specifikacijama, kao što je prikazano uz dijagram toka na sl.4. Ovo je istraživanje potkrijepljeno opsežnim procesom izgradnje temeljnog modela za razvoj elemenata metodologije kompleksnog koncepta projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće.

4. Zaključak

Rad predstavlja osobitosti složenog koncepta projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće kao značajan sastavni dio osobne zaštitne opreme, zajedno sa sustavnim pristupom, koji ponajprije uključuje projektiranje, dizajn, razvoj i implementaciju funkcionalnog sustava zaštitne odjeće, ali i dijagram toka složenog koncepta projektiranja prema zahtjevima Direktive 89/686/EEC. Najveća pažnja istraživanja usredotočena je na razvoj temeljnog modela kao progresije od početnih ciljeva dizajniranja proizvoda, tj. prepoznavanje problema preko razvoja ideje u pogledu tehničkih rješenja, do razvoja proizvoda – prototipa i ispitivanja kod nošenja, kao i na vrednovanje konačnog rješenja, implementaciju funkcionalne zaštitne odjeće i proces certificiranja.

Ideja se može ostvariti kroz proces razvoja proizvoda funkcionalne zaštitne odjeće. Prethodno predložen model prolazi kroz nekoliko koraka, od prepoznavanja problema, defini-

ranja problema, generiranja ideja, dizajna, razvoja prototipa, evaluacije konačnog rješenja i implementacije funkcionalne zaštitne odjeće do postupka certifikacije u skladu s Direktivom 89/686/EEC.

Svrha je pronaći rješenje kako bi se izbjegle prekomjerne aktivnosti u razvoju zaštitnih odjevnih sustava, koje će prilagoditi razinu zaštite prema trenutnoj razini dotične opasnosti. Na ovaj način moguće je smanjiti fiziološko opterećenje korisnika u radnoj okolini. Naime, sigurnost na radu važan je dio kulture sigurnosti, i to je dio učinkovitog sustava kvalitete u radnoj okolini.

Buduća istraživanja će se usredotočiti na razvoj multifunkcionalne zaštitne odjeće s obzirom na objektivnu karakterizaciju materijala, uzimajući u obzir verificirane tehničke specifikacije, razvoj novih metoda i tehnika za izradu multifunkcionalne zaštitne odjeće, a uključujući i odgovarajuće tehničke funkcije i njihov inteligentni karakter, kao i potrebnu razinu udobnosti kod nošenja.

Literatura:

- [1] Directive 89/686/EEC – Personal protective equipment
- [2] EN 340:2003 Protective clothing: General requirements, December 2003
- [3] EN 14126:2003 Requirements for protection against biological hazards in the highest performance class
- [4] ISO 6529:2001 Protective clothing – Protection against chemicals – Determination of resistance of protective clothing materials to permeation by liquids and gases
- [5] ISO 13994:2005 Clothing for protection against liquid chemicals – Determination of the resistance of protective clothing materials to penetration by liquids under pressure
- [6] ISO 6530:2005 Protective clothing – Protection against liquid chemicals – Test method for resistance of materials to penetration by liquids
- [7] The Personal Protective Equipment (EC Directive) Regulations

1992 Proposal to Amend the Regulations a Consultation Document, 11 December 2000

- [8] EN IEC 61482-1-2: 2007 Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 1-2: Test methods – Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc
- [9] EN ISO 13997:1999 Protective clothing. Mechanical properties. Determination of resistance to cutting by sharp objects
- [10] EN 14325:2004 Protective clothing against chemicals. Test methods and performance classification of chemical protective clothing materials, seams, joins and assemblages
- [11] ISO 22608:2004 Protective clothing against liquid chemicals. Measurement of repellency, retention, and penetration of liquid pesticide formulations through protective clothing materials
- [12] EN 1073-1:1998 - Protective clothing against particulate radioactive contamination - Ventilated suits
- [13] Hyams K.C., F.M. Murphy, S. Wessely: Responding to Chemical, Biological, or Nuclear Terrorism: The Indirect and Long-Term Health Effects May Present the Greatest Challenge, *Journal of Health Politics Policy and Law* 27 (2002) 2, 273-292
- [14] EN 469:1995: Protective clothing for firefighters, European standard, Brussels, 1995
- [15] EN 343:2003 Protective clothing – Protection against rain
- [16] EN 530:1994 Abrasion resistance of protective clothing material – Test methods
- [17] Gopalakrishnam D., M. Nithiyakumar, A. Nayak: Development of chemical protective clothing, presented by www.fibre2fashion.com (15.3.2011)
- [18] Geršak J.: Designing a garment system from the point of view of thermophysiological comfort. Proceedings of the 12th International DAAAM Symposium Intelligent Manufacturing & Automation, Jena University of Applied

- Sciences, Jena, DAAAM International, 2001, 157-158
- [19] Geršak J., M. Marčič: Assessment of thermophysiological wear comfort of clothing systems, *Tekstil* 57 (2008.) 10, 497-515
- [20] EN 13921:2007 Personal protective equipment. Ergonomic principles
- [21] ISO 8559 ISO 8559:1989 Garment construction and anthropometric surveys - Body dimensions
- [22] EN 31092 Textiles - Determination of physiological properties - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test) (ISO 11092:1993), December 1993
- [23] ISO 11092:1993 Textiles - Physiological effects - Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test), First edition 1993
- [24] Vujasinović E., Z. Dragčević, D. Rogale, S. Firšt Rogale: Evaluating seam performance in protective clothes, CBMTS Industry VII »The World Congress on the CBRN Threat and Terrorism« Cavtat, 10 to 15 April, 2011
- [25] Ashok Kumar L., R. Senthil Kumar: Protective Textiles, *Asian Textile Journal* 13 (2004) 11, 93-106
- [26] Boeniger M.: Chemical Protective Clothing and the Skin: Practical Consideration, National Institute for Occupational Safety and Health/CDC, Cincinnati, Ohio, 1st printing 2002, ISBN 1-931504-30-X
- [27] GoreChempak.com/XRT, 2011
- [28] Dunne L., S. Ashdown, B. Smyth: Expanding Garment Functionality through Embedded Electronic technology, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management* 4 (2005) 3, 1-11
- [29] Gemperle F. et al.: Design for wearability. Proceeding of the 2nd International Symposium on Wearable Computers, Pittsburgh, 1998
- [30] Havenith G., R. Heus: An ergonomic test battery of protective clothing, *Applied Ergonomics* 35 (2004) 1, 3-20

SUMMARY

The complex design concept for functional protective clothing

J. Geršak, M. Marčič

Over the last two decades extensive work has been carried out by a number of institutes with the aim of developing efficient protective clothing for industrial workers, as well as for the armed forces. The primary requirement for both civil and defence applications is protection, respectively need for protection - for saving valuable humans faced with various hazards and climatic conditions. This contribution presents certain peculiarities of a complex design concept for protective clothing, as an important component of personal protective equipment. The requirements for protective clothing are given according to their purposes, functions, respectively type of protection, as well as the system's approach to the design, development and implementation of protective functional clothing. The research core focus in the grounded model development as the progression from initial product design goals, i.e. problem recognition, through the idea development in view of technical solution to the developed product - prototype, and finally, to evaluation of the final solution and implementation of the functional protective clothing, and certification procedures.

Key words: functional textiles, protective clothing, design concepts, methodology

University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering

Maribor, Slovenia

e-mail: jelka.gersak@uni-mb.si

Received July 12, 2012

Das komplexe Designkonzept für die funktionelle Schutzkleidung

Im Laufe der letzten zwei Jahrzehnte sind zahlreiche Studien von mehreren Instituten mit dem Ziel ausgeführt worden, um effiziente Schutzkleidung für Industriearbeiter, sowie für die Streitkräfte zu entwickeln. Die primäre Voraussetzung sowohl für Zivilanwendungen als auch für Verteidigungsanwendungen ist Schutz, beziehungsweise Bedürfnis nach dem Schutz - für das Retten von wertvollen Menschen, die mit verschiedenen Gefahren und klimatischen Bedingungen konfrontiert sind. Dieser Artikel zeigt bestimmte Eigentümlichkeiten eines komplexen Entwicklungskonzepts für Schutzkleidung als eine wesentliche Komponente persönlicher Schutzausrüstung. Die Erfordernisse für Schutzkleidung werden entsprechend ihren Zwecken, Funktionen, beziehungsweise Art des Schutzes sowie nach dem Ansatz des Systems zu Design, Entwicklung und Durchführung der funktionellen Schutzkleidung gegeben. Die Forschung konzentriert sich auf die Entwicklung des grundlegenden Modells als die Progression von den Anfangszielen der Produktgestaltung, d.h. der Problemerkennung, durch die Ideenentwicklung im Hinblick auf die technische Lösung und die Entwicklung des Produktes - Prototyps, bis zur Auswertung der endgültigen Lösung und der Umsetzung in die funktionelle Schutzkleidung und die Prozesszertifizierung selbst.