

Daniela Zavec Pavlinić¹ in Andreja Oder²

¹Titera, d. o. o., Obrtna ulica 40, 9000 Murska Sobota

²Prevent&Deloza, d. o. o., Kosova ulica 14, 3000 Celje

Proučevanje konceptov ohlajanja človeka

Investigation of Human Cooling Concepts

Kratki znanstveni prispevek/Short Scientific Article

Prispelo/Received 07-2014 • Sprejeto/Accepted 08-2014

Izvleček

Delo v vročem okolju po navadi pomeni prisotnost še drugih negativnih vplivov iz okolice, pred katerimi je človeka treba zaščititi, zato je treba osebno varovalno opremo skrbno načrtovati. Poleg funkcije zaščite je treba pomisliti tudi na možnost ohlajanja človeka na ravni mikrookolja osebne varovalne opreme. Poznavanje možnosti in konceptov ohlajanja človeka v vročem okolju je pomembno z vidika preprečevanja pregretja in povečanja delovne učinkovitosti skozi predpisan delovni čas. Obstajajo različni sistemi za ohlajanje, prav tako je različna njihova učinkovitost v daljšem časovnem obdobju. V prispevku je obravnavan pasivni sistem za ohlajanje, ki je bil vgrajen v majico. Pasivni sistem je bil v obliki netkane tekstilije (podobne flisu) porazdeljen po površini majice na zgornjem prsnem in hrbtnem delu. Netkana tekstilija, ki vsebuje hidrokristale, v dotiku s hladno vodo nabrekne in v takšnem stanju hladi človeka oz. ohranja temperaturo kože pri normalni vrednosti. Spodnji del majice je bil izdelan iz zračnega poliestrskega pletiva. Tako izdelano majico je testiralo 16 oseb med intenzivno vadbo na simulatorju smučanja z vidikov učinkovitosti hlajenja in funkcionalnosti samega izdelka. S tem namenom je bila merjena sprememba temperature s pomočjo termokamere, funkcionalnost pa ovrednotena s subjektivnimi ocenami. Rezultati so pokazali razlike v temperaturi kože pred vadbo in po njej, ki potrjujejo učinek hlajenja. Dobljeni rezultati subjektivnega ocenjevanja nas vodijo naprej v optimizacijo izdelka z vidika drugačne porazdelitve netkane tekstilije za ohlajanje po površini majice, saj so mehanizmi ohlajanja, potrebni za krajše časovno obdobje drugačni, kot za ohlajanje za dalj časa trajajoče delovne aktivnosti. Ključne besede: hidrokristali, koncepti ohlajanja človeka, osebna varovalna oprema, vroče okolje

Abstract

Working in hot environments usually includes the presence of several different negative influences from the environment from which it is necessary to protect the human being; therefore, it is necessary that the personal protective equipment is carefully planned. In addition to the protective functions, the possibility of cooling a person at the microenvironment level of personal protective equipment must be considered. It is important to know the options and concepts of cooling in a hot environment to prevent overheating and to increase operational efficiency in prescribed time. There are different systems for cooling down; they differ in their performance over time and in their functionality. This article deals with the passive system for cooling down which was implemented in a manufactured shirt. The passive system in a form of a non-woven fleece material, was distributed across the surface of a T-shirt on the upper chest and back parts. Non-woven fleece with hydrocrystals in contact with cold water swells and in that state cools down a person or keeps their skin temperature at normal levels. The lower part of the shirt was made of a polyester air-netted material. Thus, we tested a T-shirt with 16 test subjects during intense training on a ski-simulator. We were interested in the cooling performance and functionality of the product. To the end, the temperature was measured using a thermal camera, while the functionality was evaluated with a subjective evaluation. The results showed differences in temperature before and after the exercise, which confirms the cooling effect. The results obtained by the subjective evaluation led us further to the optimization of the product from the perspective of a different distribution of fleece material for cooling down over the surface of T-shirts. However, the cooling mechanisms required for a short period of time are substantially different than those used in cooling at longer-lasting activities. Keywords: hot environment, human cooling concepts, hydrocrystals, personal protective equipment

Korespondenčna avtorica/Corresponding author:

izr. prof. dr. Daniela Zavec Pavlinić

Telefon: 00386 31 307 728

E-pošta: info@titerad.com

Tekstil 2014, 57(3), 231–239

DOI: 10.14502/Tekstil2014.57.231–239

1 Uvod

Ne glede na okoljske razmere, v katerih se opravljajo različno intenzivne delovne aktivnosti, je priporočljiva uporaba osebne varovalne opreme, ki uporabnika varuje pred zunanjimi vplivi, hkrati pa mu mora zagotavljati čim bolj optimalno toplotno ravnovesje. To pomeni, da se mora toplota, ki jo proizvede človeško telo, skozi sloje oblačilnih sistemov izmenjavati z okoljem. Tako je optimalni oblačilni sistem, ki ga nosi uporabnik, tisti, ki zagotovi vzdrževanje temperature jedra človeškega telesa med 36 in 38 °C in temperature na površini kože med 20 in 35 °C [1]. Nadgradnja optimalnega oblačilnega sistema je zmožljiva programska oprema, s pomočjo katere se za različna delovna okolja lahko napove optimalna toplotna izolacija [2]. Takšen sistem in oprema sta za končnega uporabnika z vidika pregretja ali podhladitve izjemno pomembna.

Pri opravljanju dela v vročem okolju se omenjena območja temperature jedra kot tudi temperature na površini kože zelo hitro spremenijo. Manjši odkloni od normale so za krajša obdobja sicer sprejemljivi, medtem ko dolgoročna izpostavljenost vročini negativno vpliva na človeka. Pride lahko do nevarnih situacij, poškodb in morebiti tudi smrtnih primerov. Vzroki za nastanek takšnih situacij, ki so bili pogosto proučevani [3], se lahko odpravljajo le z dobrim poznavanjem delovnih in okoljskih razmer, za katere se določena osebna varovalna oprema razvija, oz. z dobrim načrtovanjem delovno intenzivnih časovnih period. Za preprečevanje tovrstnih situacij bi bilo treba poznati tudi vse tekstilne (in druge) materiale, iz katerih je osebna varovalna oprema izdelana. Vendar ni tako. Posledično prihaja do nezadostne toplotne izmenjave v sistemu »človek-oblačilo-okolica«, saj imajo različni tekstilni materiali v oblačilnem sistemu različne toplotne lastnosti.

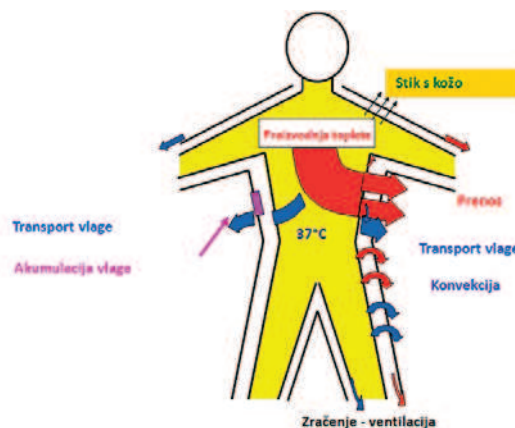
Za preprečevanje pregretja se v zadnjem desetletju razvijajo različni aktivni sistemi za ohlajanje in tudi pasivni, ki v stiku z vodo spremenijo svoje lastnosti. So sposobni ohlajanja, vendar imajo še vedno vrsto drugih omejitev, kot so ponovno aktiviranje hladilnega učinka, neprijazno rokovanje, težavno vzdrževanje in uporaba z drugimi sloji v oblačilnem sistemu. Omejitev aktivnih sistemov za ohlajanje je predvsem v oviranju gibanja uporabnika zaradi potrebnih virov energije in/ali vode za daljšo časovno uporabo [4].

2 Toplotno ravnovesje v vročih okoljskih razmerah

2.1 Osnove toplotnega ravnovesja

Normalna telesna temperatura človeka se giblje v območju med 36 in 38 °C, medtem ko se temperatura kože giblje v območju 20–35 °C. Ne glede na to, v kakšnem delovnem okolju človek opravlja svoje delo, bi z delovnimi in/ali zaščitnimi oblačili morali človeku zagotoviti ali se vsaj približati tem temperaturnim območjem in mu tako omogočiti največjo delovno učinkovitost. Vendar ni tako, ko človek opravlja svoje delo v skrajno vročem delovnem okolju. Takrat temperatura jedra zelo hitro naraste nad 38 °C, prav tako se tudi temperatura na površini kože lahko precej zviša [5].

Zaradi naraščanja temperature se človek začne potiti. Sloji tekstilnih materialov, ki so v stiku s kožo, postanejo vlažni do mokri, kar še dodatno otežuje opravljanje delovnih aktivnosti [4]. V takšnih primerih je zelo pomembno, da oblačila oz. oblačilni sistemi omogočajo odvajanje vlage s površine kože skozi oblačila v okolico. Prav tako pa je treba s telesa na različne načine odvajati tudi toploto ($M = 80\text{--}1000\text{ W}$), ali s konvekcijo ali z ventilacijo (slika 1). Kakorkoli, količina toplote in vlage v mikrookolju oblačilnega sistema vpliva na termofiziološko udobje, na senzorično zaznavanje in na ergonomsko udobje med nošenjem [1].



Slika 1: Toplotno ravnovesje

2.2 Pasivni sistemi ohlajanja

Danes najpogostejši sistemi za ohlajanje na trgu so pasivni sistemi, ki delujejo na principu hladilnih teles (led, sol, kristali) [6–10]. Najpogosteje v oblačila

vgradijo t. i. žepke oz. prostorčke različnih oblik, v katere so hladilna telesa vsita ali vstavljena v zamrznjeni (ohlajeni) obliki. To posledično pomeni, da se zaradi taljenja takšnih teles preostala oblačila, ki jih nosi uporabnik, lahko namočijo. Funkcionalnost tovrstnih izdelkov je odvisna od zmogljivosti samega ohlajanja, trajanja hladilnega efekta, načina doseganja največjega učinka hlajenja, ponovnega doseganja hladilnega učinka, teže izdelka, vzdrževanja, shranjevanja, življenjske dobe in težavnosti rokovanja. Veliko je torej vplivnih dejavnikov, na katere bi morali biti pozorni pred izbiro. Takšni izdelki lahko povečajo učinkovitost gasilcev pri opravljanju njihovega dela tudi za 10 odstotkov [11].

Na trgu je že več razvitih pasivnih sistemov za ohlajanje, ki omogočajo intenzivno ohlajanje od samo 30 minut pa vse do štirih ur, kar je seveda odvisno od velikosti hladilnih teles, ki so vgrajena v jopič [6–10] (slika 2). Hladilna telesa (led, sol, kristali) so po navadi ločeno zapakirana v plastičnih vrečkah, da bi se preprečilo omočenje preostalih oblačil med uporabo. Te se morajo ohladiti v zamrzovalniku (to lahko traja tudi dve uri in več) in so potem enakomerno porazdeljena po površini jopiča v vnaprej vsite žepke.



Slika 2: Sistemi za ohlajanje: a) Dräger; b) Arctic Heat; c) CoolComfort; d) Flexi Ice Vest [6, 8–10]

Omejitve, do katerih prihaja pri teh izdelkih, so povečanje teže celotnega izdelka tudi do enega kilograma, kar na končnega uporabnika deluje dodatno obremenilno, ker že predhodni zaščitni oblačilni sistem za gasilce tehta okrog tri kilograme. To pomeni, da tak izdelek ne more biti del oblačilnega sistema za zaščito pred toploto in plamenom. Obstajajo tudi

sistemi z manjšo težo, vendar ne dosegajo zadostnega učinka ohlajanja. Poleg teže je zelo pomemben način ponovnega ohlajanja hladilnih teles. Ta temelji na principu ohlajanja hladilnih teles v zamrzovalniku za najmanj dve uri, da je izdelek ponovno uporaben. Uporaba takšnih izdelkov je zaradi potrebe po ohlajanju pred uporabo vezana na lokacijo ohlajanja. Za učinkovito delovanje je potrebno še spretno rokovanje za nameščanje hladilnih teles na natančno določeno mesto v izdelku, kar je lahko precej zamudno. Uporabnost omenjenih izdelkov je še precej omejena na skrajno vroče okoljske razmere, kjer sta potrebna ohlajanje za daljše časovno obdobje in hitro ponovno aktiviranje ohlajanja. Prav tako je problem vzdrževanje takšnih izdelkov.

Z vidika funkcionalnosti se v skrajno vročih okoljskih razmerah iščejo najpreprostejši in učinkoviti izdelki tako z vidika rokovanja, vzdrževanja, mobilnosti in ponovnega aktiviranja ohlajanja. Eden takšnih so tudi materiali E.cooline, vgrajeni v majice za ohlajanje, v podkape za čelade, v hlačnice in komolčnike. To je material, ki ima v netkani strukturi vgrajene hidrokristale, ki v dotiku z vodo nabreknejo. Njihov volumen se pri tem dvakrat poveča, vendar masa posameznih vgradnih delov ne preseže 0,5 kg na izdelek. Ker sta preprosto rokovanje in hitro ponovno aktiviranje prijazni končnemu uporabniku, smo tak izdelek obravnavali z vidika možnosti ohlajanja človeka in vgrajevanja v večslojne funkcionalne oblačilne sisteme.

3 Metodologija

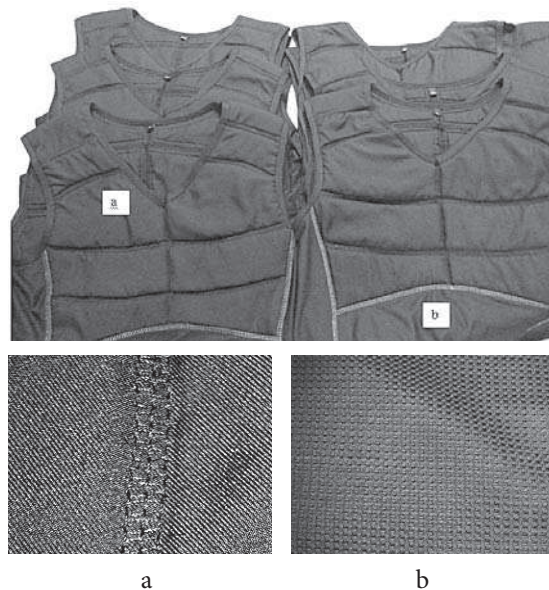
V prispevku je prikazano testiranje pasivnega sistema za ohlajanje, ki je izdelan v obliki majice. Testiranje je bilo izvedeno s pomočjo oseb med izvajanjem treninga intenzivne vadbe na simulatorju smučanja. Pred vadbo in po njej so bila izvedena merjenja temperatur na površini kože in na površini hladilnih predelov majice. Vzpostavljeno s testiranjem je bilo izvedeno tudi subjektivno ocenjevanje. Testiranje je bilo namenjeno proučevanju delovanja hladilnega učinka med kratko intenzivno vadbo. Dobljeni rezultati temperatur na površini kože in na površini majice, kot tudi subjektivne ocene, dobljene od testnih oseb, bodo uporabljeni pri nadaljnjem razvoju večslojnih funkcionalnih oblačilnih sistemov z vgrajenimi sistemi za ohlajanje v skrajno vročem okolju.

3.1 Materiali

Za proučevanje so bile izbrane majice SX3 za ohlajanje blagovne znamke E.cooline®, nemškega proizvajalca Pervormance International GmbH, izdelane iz poliestrske netkane tekstilije. Specifična struktura netkane tekstilije z vgrajenimi drobnimi hidrokristali veže molekule vode in zato material v dotiku z vodo nabrekne. To omogoča hitro temperaturno izmenjavo. Netkana tekstilija v takšnem stanju ohranja temperaturo hladne vode, v katero je pred uporabo namočena. Z ohranjanjem temperature, ki je do 10 °C ali tudi več nižja od temperature na površini kože, tak material hladi človeka. Netkana tekstilija s hidrokristali je bila všita med dva sloja 100-odstotne poliestrske hitro sušeče se tkanine. Všita je bila tako, da noben šiv ni potekal čez netkane tekstilije. Potrebna je bila velika natančnost izdelave in pozicioniranja netkane tekstilije po zgornjem sprednjem in zadnjem delu majice (slika 3). Spodnji del majice je bil izdelan iz mrežastega pletiva iz mešanice 82 % PES in 18 % EL, ki je bilo protibakterijsko in hidrofobno obdelano. Takšno pletivo omogoča v spodnjem delu trupa hitro odvajanje vlage s površine kože ravno zaradi mrežaste strukture pletiva. Majica je bila med uporabo oprijeta na telo, zaželeno je bilo, da je zgornji del, ki zagotavlja ohlajanje, v neposrednem stiku s kožo. Tesen stik s kožo v zgornjem delu je pomemben zato, da navzema nastali znoj s površine kože. V sodelovanju s podjetjem Pervormance International GmbH majice razvija in izdeluje podjetje Prevent & Deloza, d. o. o., in so namenjene za športne aktivnosti, vse bolj pa prihajajo v uporabo na področju zaščite in reševanja, kjer postajajo del osebne zaščitne opreme za delo v vročem okolju.

Vsaka majica je bila pol ure pred začetkom vadbe namočena v hladno vodo, tako da je bila temperatura na površini majice pred testiranjem 18 ± 2 °C. Za najoptimalnejši hladilni učinek je dovolj že pol litra hladne tekoče vode iz pipe, v katero se majica namoči, lahko pa se voda na majico tudi počasi poliva. Dovolj je, da je majica v vodi toliko časa, da je popolnoma mokra. Zadostuje že 15 sekund, ni pa ta čas strogo predpisan, tako da je majica lahko v vodi tudi dalj časa. V raziskavi smo izbrali pogoje, ki so uporabni tudi v realnem okolju, na terenu, kjer končni uporabnik nima na voljo velike količine vode, niti časa, da bi majico namakal dalj časa v vodi. Namočeno majico smo oželi v frotirasti brisači, da smo ji odvzeli odvečno vodo. Tako je bila majica pripravljena za uporabo.

V raziskavi smo uporabili hladno tekočo vodo iz pipe, ki je bila temperature 18 ± 2 °C. V protokolu testiranja je bila merjena temperatura na površini majice v trenutku, ko je oseba majico oblekla. Ta podatek je predstavljal izhodišče za spremljanje temperaturnih sprememb pred testiranjem in po njem. Majica ima zelo širok spekter končne uporabe, zato smo izbrali protokol testiranja, ki je najbližje načinu uporabe v realnih okoljskih razmerah pri delu človeka na terenu. To pomeni, da se je človek med vadbo segreval, tako se je dvigala tudi njegova temperatura na površini kože.



Slika 3: Majica E.cooline: a) zgornji del z vgrajeno netkano tekstilijo in b) spodnji del iz mrežastega pletiva

3.2 Merilna oprema in testni protokol

Za kratko intenzivno vadbo smo uporabili vadbo na simulatorju smučanja, ki jih uporabljajo za vadbo v fitnes centru Pro SKI v Hočah (slika 4) [12]. Ko testna oseba stoji na simulatorju smučanja, je med njenim delovanjem nenehno v fazi padanja, zato se aktivira velikanska skupina mišic. Vadba je potekala tako, da je oseba z obema nogama stala na drsnih površinah in izvajala bočne gibe, podobno kot bi to izvajala med smučanjem. Izvajanje drsnih gibov je potekalo pod obremenitvijo, ki je bilo določeno glede na težo testne osebe. Hitrost drsenja je testna oseba določila sama glede na svoje fizične sposobnosti, vsekakor pa je bil interval drsenja najmanj 1/s.

Pri testiranju je sodelovalo 16 testnih oseb, ki se s tovrstno vadbo ukvarjajo že več mesecev in vadbeno opremo že znajo uporabljati. Osebe so sodelovale prostovoljno in skupaj izvedle 24 testov: 10 oseb je izvedlo samo po eno ponovitve, štiri osebe so izvedle dve ponovitvi in dve osebi po tri ponovitve. Vadba je bila vodena, torej pod nadzorom usposobljenega trenerja, in je potekala različno intenzivno, odvisno od fizične sposobnosti posameznika. Trener je vodil vadbo tako, da se je vsak posameznik začel potiti že po 15 ± 2 -minutni vadbi. Celotna vadba je bila sestavljena iz treh daljših period, kjer je bila vadba bolj intenzivna. Vsaka daljša perioda je trajala od 10 do 15 minut, odvisno od zmogljivosti posameznika. Vmesne krajše periode (3 ± 2 minuti) so bile namenjene oddihu, krajšemu počitku, med katerim je posameznik popil malo vode. Količina vnesene vode ni bila nadzorovana. Temperatura v prostoru je bila 27°C .



Slika 4: Simulatorji smučanja [12]



Slika 5: Termokamera Flir i5

Pred vadbo, med njo in po njej so bile posnete fotografije majice posamezne osebe s pomočjo termokamere – Flir i5, proizvajalca Flir (slika 5). Tako

smo dobili podatke o temperaturi na površini kože in na površini majice. Vsako posamezno zajeto sliko smo pozneje tudi ločeno analizirali s pomočjo ustrezne programske opreme.

Pred vadbo so bile testne osebe seznanjene s funkcijo majice SX3. Opozorjene so bile na zaznavo hladnega učinka ob prvem stiku z majico. Majico so osebe nosile v direktnem stiku s kožo. Vsaka oseba je pred testiranjem pomerila več različnih velikosti majic, da je izbrala optimalno velikost. To pomeni, da se je majica optimalno prilegala obliki človeškega telesa, saj je takrat učinek ohlajanja tudi največji. Vsaka oseba je izpolnila tudi vprašalnik, pripravljen glede na strokovne izkušnje raziskovalcev v preteklosti pri delu s testnimi osebami [4, 5, 13, 14]. Vprašanja (in odgovori) so se nanašala na:

- zaznavanje udobja pred vadbo in po njej: udobno, rahlo neudobno, neudobno in zelo neudobno;
- zaznavo hladilnega učinka majice med vadbo: močna, srednja in rahla zaznava, ni zaznave;
- težavnost izvedbe vadbe z majico E.cooline v primerjavi z bombažno majico: veliko laže, laže, enako, teže in na
- zaznavo vlage na površini kože pri nošenju majice E.cooline v primerjavi z bombažno majico: vlago zaznam, mogoče zaznam vlago, ne zaznam vlage, ne znam oceniti.

Testna oseba je po vsakem testu vprašalnik oddala, tako da ni videla odgovorov prejšnjega testa. Med eno in drugo ponovitvijo so minili najmanj štirje dnevi, kar je pomembno zaradi zagotavljanja enakih razmer testiranja, tako zaradi enakega premora med posameznimi vadbami, kot tudi zaradi nevtralnosti pri izpolnjevanju vprašalnikov. Vse osebe so testiranje izvajale ob istem času dneva. Počitki med vadbo so priporočljivi, saj je zaželeno, da osebe prihajajo na testiranje spočite. Seveda je še vrsta drugih dejavnikov (prehrana, počutje, predhodna utrujenost), ki lahko vplivajo na fizično sposobnost posameznika in posledično tudi na količino znojenja, vendar ti dejavniki niso bili del te raziskave.

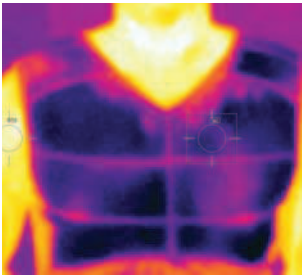
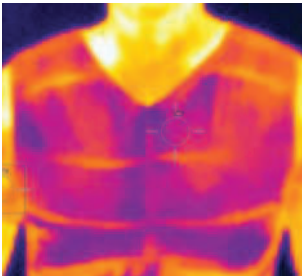
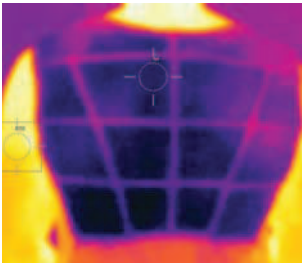
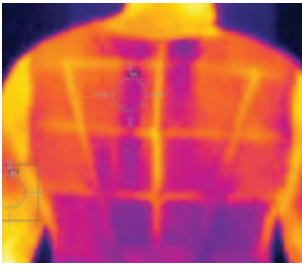
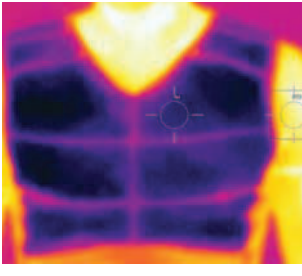
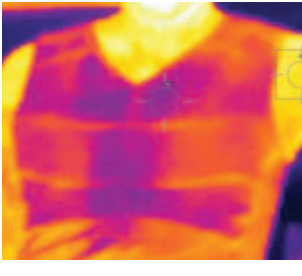
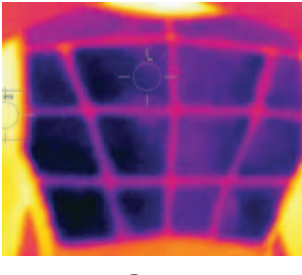
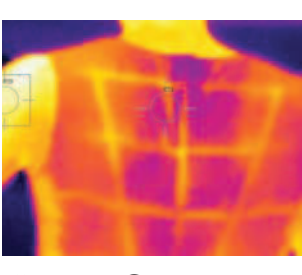
4 Rezultati z razpravo

Namen testiranja majic za ohlajanje s testnimi osebami in po opisanem protokolu je bil podrobneje proučiti možnosti in učinek ohlajanja z opisanimi majicami E.cooline. Z vidika hitre in kakovostne izvedbe testiranja in pridobivanja uporabnih rezultatov smo

temperaturo merili s termokamero. Na dobljenih rezultatih merjenj, tj. termo posnetkih, je vidna toplotna sprememba na površini kože in majice posamezne testne osebe. Temnejša barva pomeni hladnejša območja in nasprotno, svetlejša pomeni toplejša mesta. Za primerjavo temperatur so izbrani položaji, kot je vidno na slikah v preglednicah 1 in 2.

Skozi subjektivno ocenjevanje pristajanja je bila določena optimalna velikost majice za posamezno testno osebo. Tako sta dve testni osebi med testiranjem nosili najprej večjo velikost (L) in nato še manjšo (M). Rezultati temperatur na površini kože, kot tudi na površini majice, za različni velikosti majic so podani za osebi 03 in 04 v preglednicah 1 in 2.

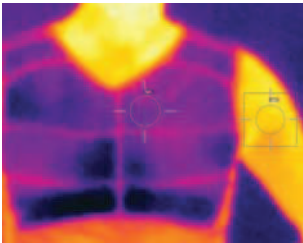
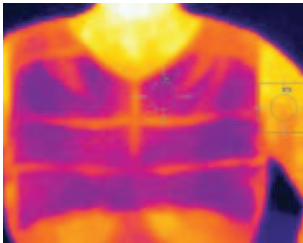
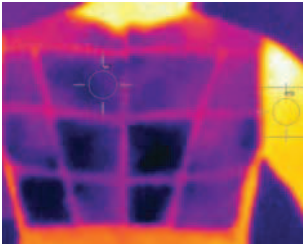
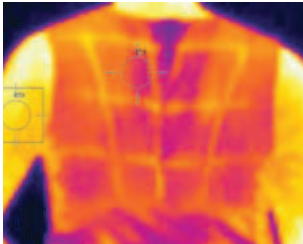
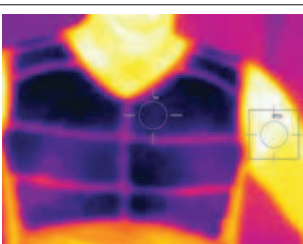
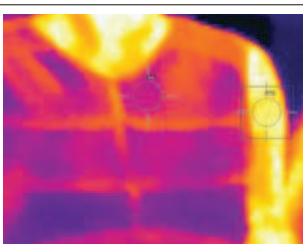
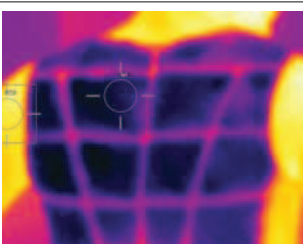
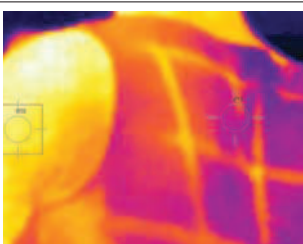
Preglednica 1: Rezultati temperature za osebo 03 za velikosti majice L in M

Oseba		Temperatura na površini pred vadbo	Temperatura na površini po vadbi
Oseba 03 – velikostna številka L	Spredaj	 majica: 22,9 °C; ramena: 35,0 °C	 majica: 27,4 °C; ramena: 29,8 °C
	Zadaj	 majica: 22,1 °C; ramena: 34,8 °C	 majica: 27,2 °C; ramena: 29,3 °C
Oseba 03 – velikostna številka M	Spredaj	 majica: 19,3 °C; ramena: 33,7 °C	 majica: 27,3 °C; ramena: 33,2 °C
	Zadaj	 majica: 19,4 °C; ramena: 33,2 °C	 majica: 28,8 °C; ramena: 34,2 °C

Poznavanje vsakega tekstilnega sloja v oblačilnem sistemu z vidika izmenjave toplote v sistemu »človek-oblačilo-okolica« in optimizacije kombinacije tekstilnih materialov v eno oblačilo je zelo pomembno za pravilno izmenjavo toplote. Zmanjšana izmenjava toplote z okolico povzroči, da se v mikrookolju oblačilnega sistema ustvarjajo razmere, ki so nelagodne za človeka. Posledično višji temperatura in vlažnost

negativno vplivata na termofiziološko in ergonomsko udobje človeka in na delovno učinkovitost. Kakšna kombinacija tekstilnih materialov je optimalna v nekem oblačilnem sistemu in ali je optimalna za vse končne uporabnike, je vprašanje, na katerega želijo raziskovalci odgovoriti z vrsto študij in raziskav. Kljub številnim raziskavam danes ni na voljo določenega modela, ki bi bil uporaben za načrtovanje

Preglednica 2: Rezultati za osebo 04 za velikosti majice L in M

Oseba		Temperatura na površini pred vadbo	Temperatura na površini po vadbi
Oseba 04 – velikostna številka L	Spredaj	 majica: 24,2 °C; ramena: 33,2 °C	 majice 28,1 °C; ramena: 31,8 °C
	Zadaj	 majica: 23,8 °C; ramena: 32,7 °C	 majica: 30,0 °C; ramena: 33,5 °C
Oseba 04 – velikostna številka M	Spredaj	 majica: 19,2 °C; ramena: 34,0 °C	 majica: 26,1 °C; ramena: 32,6 °C
	Zadaj	 majica: 18,7 °C; ramena: 33,0 °C	 majica: 28,7 °C; ramena: 33,7 °C

kombiniranja tekstilnih slojev v eno oblačilo in naprej v oblačilni sistem.

Pri našem delu nas je zanimala učinkovitost delovanja majice za ohlajanje, ki ima v svojo netkano flisno strukturo vgrajene hidrokristale. Ker ti ob dotiku z vodo nabreknejo, morajo biti nameščeni oz. všiti v tekstilni material tako, da ne prodirajo skozenj. Velikosti netkane tekstilije s hidrokristali so različne, vendar enakomerno porazdeljene po zgornjem delu majice. Šivi so izdelani v vmesnih prostorih, kar pomeni, da so fiksni in nimajo prostora, da bi se med nabrekanjem hladilne netkane tekstilije premaknili iz svoje vnaprej definirane lege.

Za testiranje z osebami smo se odločili z več razlogi:

- Najprej nas je zanimalo, ali lahko že nepristajanje majice človeškemu telesu vpliva na hladilni učinek, kot tudi na udobje med nošenjem. Na podlagi izvedenega subjektivnega zaznavanja je bilo ugotovljeno, da se je vsem osebam zdela najpomembnejša velikost majice, ki so jo osebe nosile med testiranjem. Pred poznavanjem funkcionalnosti majice so osebe po pomerjanju izbrale optimalno velikost s tesnim prilaganjem majice k telesu. Po izvedenih preliminarnih testiranjih je bilo potrjeno, da je nujno potrebno, da se med kratko intenzivno vadbo majica čim bolj oprijema telesa. Ko sta oseba 03 in oseba 04, preglednici 1 in 2, izbrali preveliki majici, so se le-te med vadbo premikale po telesu, kar je bilo moteče za izvajanje vadbe. Zaradi premikanja je bil tudi hladilni učinek manjši.
- Prav tako nas je zanimala učinkovitost ohlajanja človeka med nošenjem majice za krajši čas med intenzivno aktivnostjo. Zato smo se odločili za krajšo intenzivno vadbo, ki se z vadbo na simulatorju smučanja zelo hitro doseže. Odgovor na to vprašanje smo dobili s subjektivnim ocenjevanjem, kjer je vseh 16 oseb zaznalo hladilni učinek že ob prvem stiku s kožo. Tak učinek so štiri osebe zaznavale še eno uro po končanem testiranju in so zaznavo opisale kot udobno. V 12 testih od skupaj 24 so osebe hladilni učinek zaznale le rahlo, sedem oseb je hladilni učinek zaznalo srednje in pet jih je hlajenje zelo močno zaznalo. Na samo zaznavo hladilnega učinka vpliva tudi temperatura vode, v katero so majice namočene pred testiranjem, ki je v našem primeru znašala 18 ± 2 °C. Poleg subjektivnega ocenjevanja je pomemben kazalec hladilnega učinka tudi temperatura na površini kože in na površini majice, ki pa je povezana tako s pristajanjem majice človeškemu telesu kot tudi s

temperaturo vode, v katero majice omočimo pred uporabo. Razlika v temperaturi na površini majice pred vadbo in po njej je dober pokazatelj učinkovitosti ohlajevalne majice. Če se osredinimo na dva obravnavana primera, katerih podatki so predstavljeni v preglednicah 1 in 2, opazimo večje razlike v temperaturi na površini majice pred vadbo in po njej, ko se je majica tesno prilegala na telo. Ko pa je oseba nosila preveliko majico, je prostor mikrookolja med kožo in majico večji, razlika v temperaturi na površini majice pa manjša. Razumeti bi bilo, da se v tem primeru absorbira manj toplote s telesa v majico. Dolgoročno ohlajanje oz. za daljši hladilni učinek z majico je bil dosežen ravno z vmesnim prostorom mikrookolja med kožo in oblačilom, ko se majica s telesa ni ogrevala prehitro in je zadržala hladilni učinek dalj časa.

5 Sklepi

Glede na dobljene rezultate s 24 izvedenih testov smo usmerjeni v nadaljnje izvajanje testiranja za določitev statistične pomembnosti dosedanjih opažanj in rezultatov. Prav tako predvidevamo, da se bo do zdaj spoznan koncept ohlajanja s predstavljeno majico popolnoma spremenil, če na majico oblečemo še kakšen kos oblačila (sloj drugega tekstilnega materiala). Oziroma še večji izziv bo proučevanje majice za ohlajanje kot dela oblačilnega sistema za zaščito pred toploto in plamenom.

Na podlagi testiranja majic za ohlajanje z osebami sklepamo, da so tovrstna proučevanja nujno potrebna za razvoj optimalnega oblačilnega sistema za zaščito pred toploto in plamenom. Brez poznavanja konceptov ohlajanja človeka je nemogoče govoriti o optimalni kombinaciji tekstilnih slojev enega oblačila, saj na prenos toplote vplivajo osnovni konstrukcijski parametri posameznih tekstilnih materialov (gostota, finost niti, debelina, vezava, apretura itd.). Na toplotno izmenjavo vplivajo tudi okoljske razmere in intenziteta dela, ki ga človek opravlja.

S testiranjem, ki smo ga izvedli in predstavili v tem članku, je doseženo podrobnejše razumevanje delovanja in funkcionalnosti materiala za ohlajanje. Subjektivno ocenjevanje takšnih izdelkov je izjemno pomembno, saj je termofiziološko in ergonomsko udobje med uporabo nujno potrebno zagotoviti. In prav to so informacije, ki jih s samo predelavo tekstilnih materialov v oblačila in s testiranjem po

predpisanih testnih metodah ne moremo pridobiti brez testiranja s testnimi osebami.

S preliminarno raziskavo smo dobili smernice za pripravo nadaljnjih protokolov testiranja in za načrtovanje večslojnih oblačilnih sistemov, ki se uporabljajo v skrajnih okoljskih razmerah. Rezultati testiranja kažejo na uporabnost slojevite vgradnje materiala za ohlajanje v večslojne oblačilne sisteme, tudi za zaščito pred toploto in plamenom. Tako bomo nadaljnje delo usmerili v vzporedne aktivnosti razvoja optimalnih kombinacij tekstilnih zaščitnih materialov z materialom za ohlajanje ter nadaljnje testiranje s testnimi osebami.

V nadaljevanju bomo testiranje izvedli tudi z osebami v realnem okolju v sodelovanju s končnimi uporabniki, najverjetneje med reševanjem in gašenjem požara. Pomemben cilj raziskave je proučevano netkano tekstilijo vgraditi v večslojne zaščitne oblačilne sisteme. Pri tem je seveda zelo pomembno dejstvo, da je netkana tekstilija vgrajena v ognjevarno tekstilijo in bo skupaj z zaščitnimi sloji v vrhnjem oblačilnem sistemu omogočala toplotno ravnovesje in hkrati tudi ohlajanje v mikrookolju oblačilnega sistema.

Viri

1. UMBACH, K. H. Physiological tests and evaluation models for the optimisation of the performance of protective clothing. V *Environmental Ergonomics*, MEKJAVIĆ, Igor B., BANISTER E. W., MORISSON J. B., Taylor and Francis, New York, 1987, 139–161.
2. MORABITO, Marco, ZAVEC PAVLINIČ, Daniela, CRISCI, Alfonso, CAPECCHI, Valerio, ORLANDINI, Simone, MEKJAVIĆ, Igor B. Determining optimal clothing ensembles based on weather forecasts, with particular reference to outdoor winter military activities. *International journal of biometeorology*, 2011, **55**(4), 481–490, doi: 10.1007/s00484-010-0357-6.
3. LEITHEAD, Charles Stuart, LIND, Alexander Ramsey. Heat stress and heat disorders. Philadelphia : F. A. Davis, 1964, 304.
4. ZAVEC PAVLINIČ, Daniela, CIUHA, Urška, GRÖNKVIST, Mikael, MEKJAVIĆ, Igor B., EIKEN, Ola. Vpliv spodnjega perila na mikrookolje oblačilnega sistema med vadbo v simuliranem puščavskem okolju = Effect of underwear on clothing system microclimate during exercise in simulated desert environment. V 42. simpozij o novostih v tekstilstvu : zbornik izvlečkov. SIMONČIČ, Barbara (ur.), GREGOR- SVETEC, Diana (ur.), FORTE-TAVČER, Petra (ur.). Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelka za tekstilstvo, 2011, 23.
5. CIUHA, Urška, GRÖNKVIST, Mikael, MEKJAVIĆ, Igor B., KÖLEGÅRD, Roger, ZAVEC PAVLINIČ, Daniela, EIKEN, Ola. Thermal strain in soldiers performing patrol missions in a desert climate: effect of the two different cooling strategies. V: XIV International Conference on Environmental Ergonomics : Final programme and book of abstracts. Paschalidis Medical Publisher. Nafplio, Greece, 2011, 71.
6. Dräger. Dräger comfort vest CVP 5220 [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.draeger.com/sites/enus_us/Pages/Fire-Services/Draeger-Comfort-Vest.aspx>.
7. Personal Climate Systems - The Challenge [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.security-technologynews.com/article/personal-climate-systems-challenge.html>>.
8. Arctic heat body cooling products [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.arcticheat.com.au/>>.
9. Cooling vests arctic heat USA [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.arcticheatusa.com/>>.
10. Polar products. Cool comfort hidden vest [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.polarproducts.com/polarshop/pc/Cool-Comfort-Hidden-Vest-p295.htm>>.
11. SMOLANDER, Juhani, KUKLANE, Kalev, GAVHED, Desiree, NILSSON, Hakan., HOLMELER, Ingvar.. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)*, 2004, **10**(2), 111–117.
12. Pro ski-simulator [dostopno na daljavo]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.ski-simulator.com/>>.
13. »Comfort Study Field Test in Nassfeld« (2012), video posnetek testiranja v arhivu podjetja Biomed, d. o. o., Ljubljana
14. LaSportiva (2011) »Controlled physiological field test«, videoposnetek testiranja v arhivu podjetja Biomed, d. o. o., Ljubljana.