

B. Mijović, Z. Skenderi, I. Salopek Čubrić\*

## OCJENA TOPLINSKOG OPTEREĆENJA U RAZLIČITIM ODORAMA

UDK 687.174:613.646  
PRIMLJENO: 11.11.2010.  
PRIHVAĆENO: 2.12.2010.

**SAŽETAK:** U svrhu određivanja toplinskog opterećenja čovjeka provedena su fiziološka mjerenja devet ispitanika, tvrtke za osiguranje osobne sigurnosti, odjevenih u dvije radne odore, prilikom obavljanja fizičke aktivnosti prema protokolu. Na temelju izmjerenih podataka u fazi pripreme (tjelesna masa, visina, sistolički tlak, dijastolički tlak i otkucaji srca), te tijekom same fizičke aktivnosti (promjene tjelesne temperature na različitim mjestima tijela) ukazano je na razliku u toplinskom opterećenju zbog temperaturnih razlika i tjelesnoj masi ispitanika. Toplinsko opterećenje je poveznica između praćene temperature na tijelu ispitanika, njegovog ponašanja tijekom aktivnosti te odore koju nosi.

**Ključne riječi:** toplinsko opterećenje, fiziološka mjerenja, radna odora

### UVOD

Postoji nekoliko različitih metoda fizioloških mjerenja koja služe za određivanje toplinskog opterećenja čovjeka. Metode se mogu podijeliti u ove skupine: mjerenje temperature (jezgre tijela i kože), mjerenje broja otkucaja srca i gubitaka tjelesne mase. Izbor metoda za svako mjerenje treba biti vrlo pažljiv, uzimajući u obzir niz komparativnih kriterija kao što su složenost instrumentacije, potrebne tehničke uvjete, kontinuitet mjerenja, različite smetnje, opasnost za zdravlje čovjeka i ukupan trošak provedbe (Parsons, 2002.). Mjerenje tjelesne temperature pomoću beskontaktnog infracrvenog zračenja je,

zbog brojnih prednosti koje taj način nudi, poželjno kad god je to tehnički moguće. Mjerenja se provode na više mjernih točaka smještenih na različitim dijelovima tijela (Stellman, 1998.). Da bi se odredila ukupna srednja temperatura tijela na temelju izmjerenih lokalnih temperatura, predloženo je nekoliko shema koje uključuju 4, 8 ili 14 mjernih točaka (Mijović i sur., 2009., Reischl i sur., 2010.). Mjerna mjesta u različitim shemama prikazana su u Tablici 1 (ISO 9886:2004.).

Ukupna temperatura tijela nadalje se izračunava umnoškom svake lokalne temperature s koeficijentom koji predstavlja relativnu površinu područja pojedinog mjernog mjesta.

\*Prof. dr. sc. Budimir Mijović (bmijovic@ttf.hr), prof. dr. sc. Zenun Skenderi, dr. sc. Ivana Salopek Čubrić, znanstveni novak, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Prilaz baruna Filipovića 28a, 10000 Zagreb.

Tablica 1. Mjerna mjesta u različitim shemama

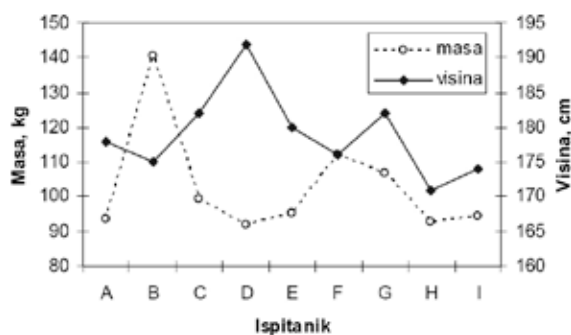
Table 1. Different schemes of measurement locations

Mjesto	Broj točaka		
	4	8	14
Čelo		X	X
Vrat	X		X
Desna lopatica	X	X	X
Lijevi gornji dio grudnog koša		X	X
Desna ruka u gornjem položaju		X	X
Lijeva ruka u donjem položaju		X	X
Lijeva ruka	X	X	X
Desni dio abdomena			X
Lijevi paravertebralni dio			X
Stražnji dio desnog bedra		X	X
Stražnji dio lijevog bedra			X
Desno koljeno	X		X
Lijeva potkoljenica		X	X
Gornji dio desnog stopala			X

## METODE

### Sudionici

Izabrano je devet muških dobrovoljaca iz tvrtke koja se bavi osiguranjem osobne sigurnosti osoba. Isključni kriterij odnosio se na ove zdravstvene probleme: bolesti srca, visoki krvni tlak, plućni problemi, bolesti kože/alergije i problemi s motorikom. Starost ispitanika je 35-46 godina, tjelesna masa 92-140 kg i visina 171-192 cm (slika 1).

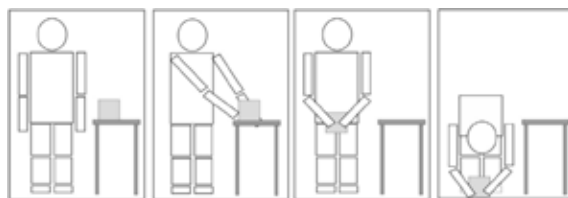


Slika 1. Tjelesne mase i visine ispitanika

Figure 1. Volunteers' body weights and heights

### Cilj eksperimenta

Cilj eksperimenta je ispitati fiziološke reakcije ispitanika koji su odjeveni u dvije različite radne odore. Obje odore pažljivo su dizajnirane kako bi bile funkcionalne i osigurale optimalnu udobnost nošenja u umjerenom klimatskom okruženju. Kod prve je težište stavljeno na funkcionalnost. Sastoji se od dugih hlača i majice kratkih rukava. Druga odora ima veću estetsku vrijednost, te osim imenovanih dijelova sadrži i dodatnu majicu kratkih rukava. Zadatak ispitanika u ovome eksperimentu bio je obavljanje intenzivne fizičke aktivnosti u određenom vremenu. Aktivnost se sastoji od ova tri koraka: podići teret određene mase s tla do visine od 1 m, ostaviti ga na klupi te spustiti teret natrag na tlo. Položaji tijela tijekom eksperimenta prikazani su na slici 2.



Slika 2. Položaji tijela

Figure 2. Body positions

## Protokol eksperimenta

Prije početka eksperimenta, ispitanici su upoznati s tijekom eksperimenta, medicinski su pregledani te su ispunili medicinske upitnike. Eksperiment je proveden u prostoriji gdje je temperatura održavana na  $23,5 \pm 0,5$  °C, a relativna vlažnost zraka na  $33 \pm 2\%$ . Protokol eksperimenta prikazan je na slici 3.



Slika 3. Protokol eksperimenta

Figure 3. Experiment protocol

## Prikupljanje podataka

### Fiziološka mjerenja

U fazi pripreme mjerene su tjelesna masa i visina svakog ispitanika. Sistolički i dijastolički krvni tlak mjereni su digitalnim tlakomjerom, dok je broj otkucaja srca određen mjerenjem otkucaja srca u određenom vremenu. Mjerenja je provodilo medicinsko osoblje prije početka fizičkog rada i nakon njegova završetka.

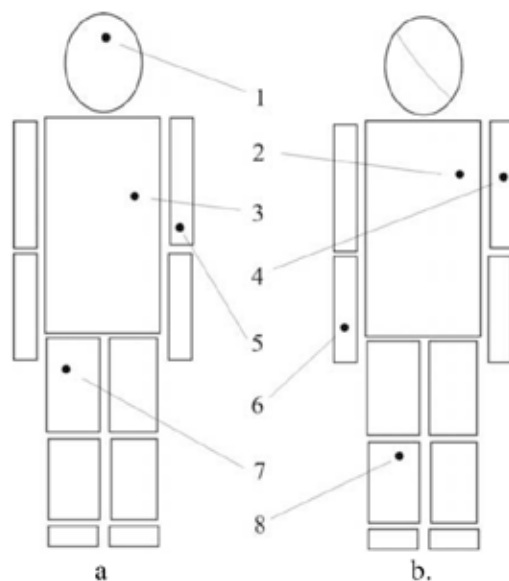
### Infracrvena kamera

Infracrvena kamera tip FLIR P65 služila je za mjerenje razlike temperatura na različitim mjestima na tijelu. To je beskontaktni uređaj koji detektira infracrvenu energiju (toplino) i pretvara ju u elektronički signal koji se obrađuje te stvara toplinsku sliku na monitoru (Mijović i sur., 2009.).

Temperaturna osjetljivost je 0.08 °C na 30 °C, rezolucija prostora 1,3 mrad, detektor Focal Plane Array (FPA), mikrobolometar 320x240 piksela i raspon rezolucije 7,5 do 13 μm (Salopek i sur., 2009.).

## Obrada podataka

Snimljene IR slike obrađene su u ThermaCAM QuickReport 1.1 programu. Za promatranje promjene temperature tijela odabrana je shema sa 8 točaka (slika 4).



Slika 4. Točke na tijelu: a) prednji dio tijela, b) stražnji dio tijela

Figure 4. Body measurement points: a) at the front of the body, b) at the back of the body

Ukupna temperatura kože  $t_{sk}$  svakog ispitanika određena je pomoću formule (Parsons, 2009.):

$$t_{sk} = \sum k_i \cdot t_{xi} = 0,07 \cdot t_1 + 0,175 \cdot t_2 + 0,175 \cdot t_3 + 0,07 \cdot t_4 + 0,07 \cdot t_5 + 0,05 \cdot t_6 + 0,19 \cdot t_7 + 0,2 \cdot t_8$$

gdje je:

$t_{sk}$  – ukupna temperatura kože

$k_i$  – koeficijent za pojedinu točku

$t_{ski}$  – lokalna temperatura kože u točki i

$t_x$  – temperatura u pojedinoj točki, gdje je  $x = 1-8$ .

## REZULTATI

Za usporedbu rezultata u ovome radu izdvojeni su rezultati dobiveni za ispitanika s najmanjom tjelesnom masom – ispitanik, te za ispitanika s najvećom tjelesnom masom - ispitanik B (slika 1). IR-slike ispitanika s golim torzom (prije početka tjelesne aktivnosti), s majicom kratkih rukava – prva odora (snimljeno nakon završetka aktivnosti) i s košuljom kratkih rukava – druga odora (snimljeno nakon završetka aktivnosti) obrađene su pomoću Thermalcam programa. Temperature tijela kod odabranih točaka prikazane su u Tablici 2.

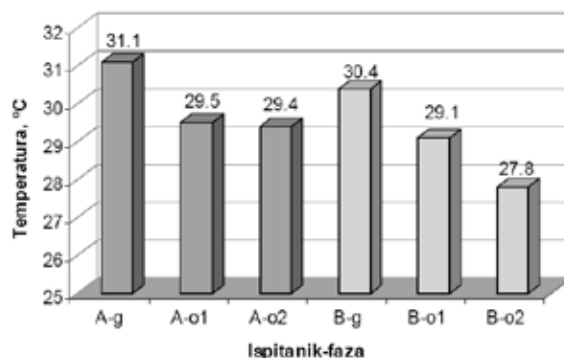
**Tablica 2. Temperature u promatranim točkama tijela**

**Table 2. Temperatures in the monitored body points**

Točka	Faza*	Ispitanik	
		A	B
1	g	34,2	32,8
	o1	33,5	31,8
	o2	31,9	31,7
2	g	33,0	31,4
	o1	29,6	29,3
	o2	29,1	26,3
3	g	33,0	31,9
	o1	30,4	30,5
	o2	28,0	29,1
4	g	31,8	30,8
	o1	27,0	30,9
	o2	27,7	27,9
5	g	31,9	32,9
	o1	27,5	30,3
	o2	31,0	26,9
6	g	31,5	31,4
	o1	29,7	29,5
	o2	30,7	29,4
7	g	27,9	27,9
	o1	28,7	28,1
	o2	28,8	28,1
8	g	29,0	28,4
	o1	29,3	26,6
	o2	30,3	26,4
Ukupna sred. temp., °C		30,2	29,6

\* g – gol torzo, o1 – odora 1, o2 – odora 2

Ukupne temperature kože ispitanika A i B u različitim fazama ispitivanja prikazane su na slici 5.



*Slika 5. Ukupne temperature kože u različitim fazama*

*Figure 5. Total skin temperatures in different phases*

## DISKUSIJA

U radu je uspoređena temperatura ispitanika s obzirom na tjelesnu masu. Prosječne temperature tijela (točnije kože) ispitanika s najmanjom tjelesnom masom (ispitanik A) za svih 8 ispitanih područja iznosi 30,2 °C dok je u ispitanika s razmjerno najvećom masom (ispitanik B) nešto niža i iznosi 29,6 °C (Tablica 2). Uspoređujući temperature prema strukturi - fazama ispitivanja (gol torzo - g, odora 1 - o1 i odora 2 – o2), uočava se prosječno veća temperatura svih faza ispitanika s manjom tjelesnom masom (Tablica 2, slika 5). Tako je nakon izvršenog rada druge faze kada su ispitanici nosili majicu i košulju kratkih rukava ispitanik najmanje tjelesne mase imao veću prosječnu temperaturu (29,4 °C) u odnosu na temperaturu ispitanika veće tjelesne mase (27,8 °C). Manje razlike temperature među ispitanicima dobivene su nakon prve faze rada kada su ispitanici nosili samo kratke majice (29,5 °C odnosno 29,1 °C). Također je uspoređena temperatura prema mjestu mjerenja. Perspiracijom se tijelo hladi, pa je nakon izvršenog rada kada su ispitanici nosili samo majice temperatura u točki 1 (čelo) pala za 0,7 °C, tj. sa 34,2 na 33,5 °C, odnosno za 1 °C tj. sa 32,8 na 31,8 °C. Kao što je vidljivo, temperatura je više pala kod ispitanika veće tjelesne mase bez obzira što je njegova temperatura prije rada bila niža. Drugim riječima perspiracija je u njega bila veća.

U točkama 2 (desni gornji dio leđa) i 3 (lijeva strana grudnog koša) temperatura golog torza je nešto niža u odnosu na temperaturu čela kod oba ispitanika. Nakon izvršenog rada prve faze (faza o1) mjerene temperature, praktički na majici, kod oba ispitanika padaju za 2,6 odnosno 1,4 °C, a razlog je perspiracija i upijanje znoja tekstilnog plošnog proizvoda. Ponovnim radom nakon oblačenja košulje kratkih rukava (faza o2) temperatura torza (točke 2 i 3) za oba ispitanika i dalje pada. Tako je npr. za točku 2 pala na 29,1 °C a za točku 3 na 28,0 °C ispitanika manje mase. U mjernim točkama 4 i 5 (prednja strana donjeg dijela lijeve nadlaktice, odnosno stražnja strana gornjeg dijela desne nadlaktice) temperature kože su znatno niže za oba ispitanika za sve faze ispitivanja. Mjerna točka 6 - donji stražnji dio lijeve podlaktice pokazuje slične temperature za obje radne faze kada ispitanici nose kratke majice i dodatno košulje kratkih rukava. Naime, temperatura znatnije pada nakon izvršenog rada prve faze kada ispitanici nose majice i to za 1,8 °C kod ispitanika manje tjelesne mase, odnosno 1,9 °C u ispitanika veće tjelesne mase. Prosječno niže temperature su u točkama 7 i 8 (prednji dio desnog bedra, odnosno gornji dio lijeve potkoljenice) u odnosu na spomenute mjerne točke su rezultat i drugih utjecaja, kao što su odjeća koja se nosi (duge hlače), s tim povezana konvekcija zraka u prostoriji, te drugi čimbenici.

## ZAKLJUČAK

Mjerenje temperature infracrvenom kamerom je jednostavna metoda određivanja opterećenja čovjeka tijekom nekoga rada. Dobiveni rezultati ukazuju na to da postoji određena razlika u opterećenjima iskazanim razlikom u temperaturama u pojedinim mjernim točkama ispitanika s različitim tjelesnim masama.

Različite odore koje se nose imaju funkciju zaštite čovjeka u smislu omogućavanja izvršenja toplinske ravnoteže s okolinom, kako bi se čovjek u svim okruženjima (temperature i vlažnosti), a pod određenim predviđenim aktivnostima osjećao ugodno. Prvi odjevni predmet koji

se nosi do kože su pletene potkošulje ili majice koje su male površinske mase kako bi se dobro prilagodile tijelu i istovremeno izvršile funkciju upijanja i prijenosa vlage s površine ljudske kože dalje u okolinu ili na druge odjevne predmete. Njihov sirovinski sastav i struktura upravo to moraju omogućiti. U ovom radu majice su imale spomenutu funkciju, dok je košulja dugih rukava imala i estetsku funkciju. Dinamičkim praćenjem temperature tijela i uspoređujući je s mjerenjima fizioloških parametara moguće je još preciznije povezivati i pratiti cjelokupno ponašanje ispitanika i odora koje oni nose.

## LITERATURA

*ISO 9886:2004: Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements*

Mijović, B., Skenderi, Z., Salopek, I.: Comparison of Subjective and Objective Measurement of Sweat Transfer Rate, *Collegium Antropologicum*, 33, 2009., 2, 315-320.

Mijović, B., Skenderi, Z., Camara, J., Reischl, U., Colby, C., Mermerian, A.: Inflatable Mannequin for Testing Thermal Properties of Clothing. *Proceedings of the 17<sup>th</sup> World Congress on Ergonomics*, Beijing, China, August 9-14, 2009.

Parsons, K.: *Human thermal environments*, Taylor and Francis, New York, 2002.

Reischl, U., Mijović, B., Skenderi, Z., Salopek Čubrić, I.: Heat Transfer Dynamics in Clothing Exposed to Infrared Radiation, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Miami, Florida, USA, pp. 589-598, July 17-20, 2010.

Salopek Čubrić, I., Skenderi, Z., Mijović, B.: Primjena termografije i subjektivnog ispitivanja pri evaluaciji udobnosti, *Sigurnost*, 51, 2009., 3, 193-197.

Stellman, J. M.: *Encyclopaedia of occupational health and safety*, International Labour Organisation, Geneva, 1998.

## **THERMAL LOAD ASSESSMENT FOR DIFFERENT CLOTHING SYSTEMS**

*SUMMARY: For the purpose of thermal load assessment, physiological measurements were conducted on nine volunteers – employees of a workplace safety company – who were asked to wear two different working clothing systems during certain physical activities. Based on the data obtained during the preparatory phase (body weight, height, systolic pressure, diastolic pressure and heart pulse) and during physical activity (changes in temperature in different parts of the body), a difference in thermal loads, as a result of temperature differences and individual variations in weight, was determined. Thermal load is a combination of the volunteers' measured body temperature, their performance during the chosen activities and the clothing system they wear.*

**Key words:** *thermal load, physiological measurements, working clothing system*

*Original scientific paper*

*Received: 2010-11-11*

*Accepted: 2010-12-02*