

ISPITIVANJE TOPLOTNE ZAŠTITNE MOĆI TKANINA ZA RADNA ODELA

S. MILIĆEVIĆ, D. PETROVIĆ, M. KOSTIĆ

Odeljenje za medicinu rada Higijenskog zavoda UMA, Beograd

(Priljeno 13. U 1971)

Autori su vršili ispitivanja toplotne zaštitne moći tkanina, u mirnom i pokretnom vazduhu, koje se u nas najčešće upotrebljavaju za radnu odeću. U tom cilju konstruisana je i aparatura sa velikom tačnošću automatskog održavanja konstantne temperature. Na osnovu uvedenih parametara može se tačno utvrditi toplotna zaštitna moć tkanina (apsolutno i relativno), kao i poređenje njihovog kvaliteta sa internacionalnom Clo-jedinicom.

Najveću toplotnu propustljivost, kako u mirnom, tako i u pokretnom vazduhu, pri određenim temperaturama i brzinama strujanja vazduha, imao je beli keper, dok je sukno imalo najmanju toplotnu propustljivost. Nasuprot ovome, koeficijent relativnog zadržavanja toplote raste od belog kepera do sukna. Vrednosti ovih parametara za ostale ispitivane tkanine nalaze se između vrednosti dobijenih za beli keper i sukno.

UVOD I CILJ ISPITIVANJA

Pod određenim klimatskim uslovima čovek nije u stanju da duže vremena održi telesnu temperaturu konstantnom samo autoregulacijom. Zbog toga se čovek koristi, pored ostalog, zaštitnom toplotnom moći odeće. Izbor odeće zavisi od opsega varijacija spoljne temperature kojima je čovek u svom životu i radu izložen. Poznata je činjenica da nije irelevantno koja se tkanina i kakvih toplotnih osobina upotrebljava kao letnja ili zimska odeća, odnosno odeća za sportske aktivnosti. Dok u letnjim uslovima odeća treba da poseduje osobinu što manjeg zadržavanja toplote, dotle je u zimskim uslovima i pri povećanom strujanju vazduha neophodno da odeća ima suprotne osobine, tj. da što više zadržava toplotu. Iskustvom se došlo do zaključka da je ukupna toplotna propustljivost (Q) tkanine obrnuto proporcionalna debljini tkanine i njenoj gustini (broj niti na 1 cm^2). Međutim, veličina Q nije funkcija isključivo debljine i gustine tkanina, već zavisi i od drugih parametara koji definišu vrstu materijala od kojeg je tkanina načinjena (vuna, pamuk, lan,

sintetika itd.). Empirijske metode, koje se u najvećem broju slučajeva primenjuju pri proizvodnji tkanina, ne mogu dati apsolutno tačne podatke o toplotnim osobinama tkanina. Ove metode, koje baziraju na zakonu obrnute proporcionalnosti, u nekim slučajevima ne mogu dati ni približan odgovor na pitanje o toplotnoj propustljivosti tkanine, jer se njena debljina ne može povećavati ili smanjivati u beskonačnost.

Ispitivanje toplotne zaštitne moći tkanina za radna odijela od veoma je velikog značenja. Pored ostalog, mikroklimatski uslovi imaju velik uticaj na zdravlje radnika, učestalost povređivanja i efekat rada, a sve to ima ekonomske reperkusije na bilans preduzeća i čitave zajednice.

Iz izloženog se vidi potreba uvođenja efikasne i objektivne metode određivanja toplotnih osobina tkanina, koja bi vodila računa o svim parametrima koji karakterišu tkaninu. U tom cilju ispitivali smo toplotnu zaštitnu moć tkanina za radna odela u mirnom i pokretnom vazduhu. Konstruirali smo za ovu svrhu aparat velike tačnosti automatskog održavanja konstantne temperature (najbliže modelu čoveka), što nam je omogućilo precizno određivanje kvaliteta tkanine. Pri izradi ovog aparata pošlo se od postojećih tipova slične aparature (1). Uvedeni su parametri na osnovu kojih može da se tačno utvrdi toplotna moć zaštite tkanina (apsolutno i relativno). Na taj način lako je ovaj kvalitet tkanine porediti s internacionalnom Clo-jedinicom (2).

MATERIJAL I METODIKA RADA

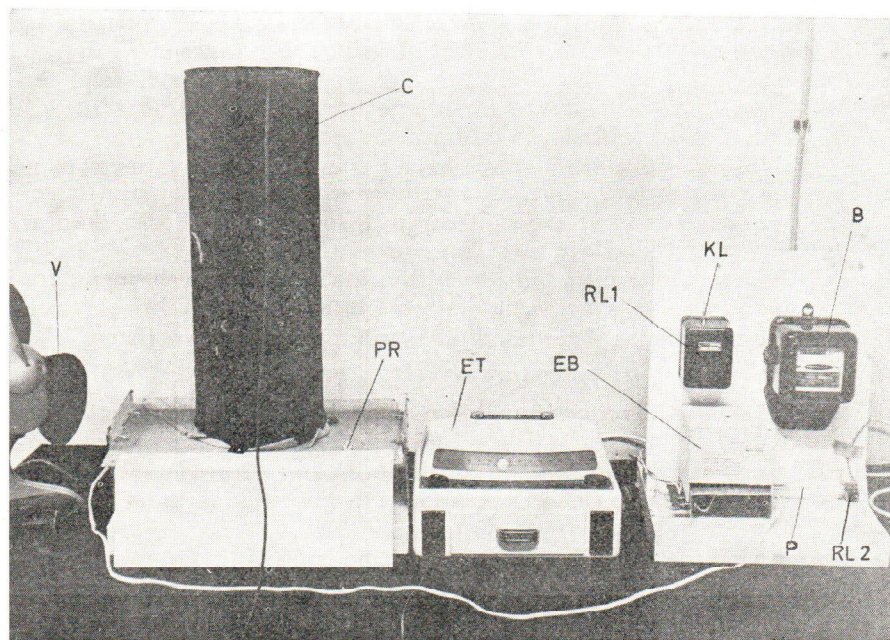
Ispitivane su tkanine koje se najčešće upotrebljavaju kao zaštitna i radna odeća, osobina prikazanih u tablici 1. Od ovih tkanina pripremljene su navlake oblika i veličine niže opisanog cilindra, na koji se one u toku ispitivanja stavljaju. Pored tkanina koje su prikazane na tablici 1, upotrebljavali smo kao dodatni materijal foliju od sintetičkog, spužvastog materijala, debljine 1,5 mm (»Iskra-pen« – S folija, proizvod firme »Iskra« – Barič). Ova folija služila je kao postava za keper i sukno pri merenjima u pokretnom vazduhu.

Temperatura okolnog vazduha, njegova relativna vlaga i brzina strujanja održavane su konstantno u toku ispitivanja, a vrednosti su birane prema unapred utvrđenom planu i programu. Toplotna propustljivost svih tkanina ispitivana je u mirnom i pokretnom vazduhu. U mirnom vazduhu ispitivanje je vršeno pri temperaturi vazduha od 20 i 10 °C, a u pokretnom vazduhu pri temperaturi od 20 °C i brzini strujanja vazduha od 5 i 10 km/h.

Merenja su vršena aparaturom (sl. 1) čiji je osnovni deo cilindar (C) pričvršćen na drvenoj podlozi. Dimenzije su cilindra: visina 56 cm, prečnik osnove 19 cm i ukupne površine 3.624 cm², što predstavlja 1/5 površine kože čoveka (1). Cilindar je od bakra, sa zacrnjenom površinom. U cilindru se nalazi sijalica od 150 W kao grejno telo. Da bi zagrevanje bilo ravnomerno po celoj površini cilindra, mešanje vazduha vrši se ventilatorom koji je takođe ugrađen u cilindru. Vazduh u cilindru potpuno

Tablica 1
 Vrste ispitivanih tkanina

Red. broj	Naziv odeće	Vrsta tkanine	Poreklo materijala	Debljina tkanine u mm	Broj niti na cm ²		primedba
					osnova	potka	
1	Košulja	diolen	sintetika	0,31	56,5	24,5	
2	Odeća pomoćnog osoblja bolnica	platno SMB	pamuk	0,43	25	23	
3	Odeća medicinskog osoblja	keper beli	pamuk	0,50	36	20	
4	Trenerka	pletivo mašinsko	pamuk	1,28	10 – po vertikali 8 – po horizontali		
5	Odeća radnika	keper plavi	pamuk	0,68	30	19	
6	Odeća radnika	sukno	vuna	1,61	14,5	13	



Sl. 1. Aparatura za ispitivanje toplotne propustljivosti tkanina

je izolovan od spoljašnjeg vazduha zahvaljujući dobroj hermetizaciji. Na cilindru je montiran termistor, tj. temperaturno osetljiv otpornik. Njime se reguliše konstantnost temperature cilindra preko odgovarajućeg elektronskog bloka (EB), u čijem se ulaznom kolu on nalazi. U ulaznom kolu EB nalazi se i potenciometar (P), kojim se željena, konstantna temperatura cilindra može birati, odnosno određivati. Mi smo pri našim ispitivanjima izabrali temperaturu od 36 °C kao srednju temperaturu kože čovečijeg tela u visini pojasa (1). Uključivanje i isključivanje sijalice u mrežni napon vrši se preko mrežnog releja (RL₁). Uključivanjem sijalice u mrežni napon vrši se zagrevanje cilindra (C) do 36 °C. Kada se cilindar zagreje iznad 36,1 °C, otpornost termistora padne, što dovodi do porasta struje u izlaznom kolu elektronskog bloka (EB) i relej (RL₂) se aktivira. Njegovo aktiviranje vrši aktiviranje i mrežnog releja (RL₁). Na taj način isključuje se sijalica iz mrežnog napona i prekida grejanje cilindra. Hlađenjem temperatura cilindra pada i kada dođe na 35,9 °C, otpornost termistora poraste, što deaktivira relej RL₂. Ovo dovodi do deaktiviranja i mrežnog releja (RL₁), čime se uključuje napon na sijalicu i cilindar se ponovo zagreva. Na ovaj način održava se temperatura cilindra stalno na konstantnom nivou (36 °C), sa greškom od 1%. Vreme grejanja kontroliše se vizualno preko kontrolne lampice (KL) a registruje štopericom. Utrošak energije meri se električnim brojilom (B).

Za rad i merenje korišćeni su, pored ove aparature, i sledeći instrumenti: dve štoperice za registrovanje vremena, običan termometar za merenje temperature okolnog vazduha, higrometar za merenje relativne vlage, anemometar za merenje brzine strujanja vazduha, električni termometar (sa termospojevima) za merenje temperature cilindra na više tačaka i ventilator za hlađenje cilindra.

Za grejanje cilindra troši se vrlo mala energija, te se vatmetrom ne može tačno registrovati. Zbog toga treba meriti vreme grejanja (t_g) cilindra, kao i celokupno vreme ispitivanja (t_i) određenog uzorka tkanine, na osnovu čega se određuje utrošena energija. Kod nas je vreme ispitivanja za sve uzorke tkanina bilo po 15 minuta. Na osnovu vremena grejanja, kao i na osnovu vremena jednog obrtaja brojila (32 sek.) precizno je određivana utrošena energija u kalorijama (cal) po formuli:

$$E [\text{cal}] = 0,24 \cdot 3600 \cdot 4/5 \cdot t_g/32 = 36 t_g \quad (1)$$

Faktor 0,24 dobija se na osnovu činjenice da 1 Wsec. ima 0,24 cal. Broj 3600 predstavlja broj sekundi u 1 h, a množitelj 4/5 pokazuje vezu između Wh na brojilu i broja obrtaja brojila. Faktor 32 predstavlja vreme jednog obrtaja u sek., a što zavisi od snage grejnog tela (sijalice). Vreme t_g meri se u sekundama.

Utrošak toplotne energije sijalice za vreme ispitivanja (15 min.) predstavlja energiju koju tkanina za to vreme propusti. Ova energija izražava se u jedinicama $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$, a predstavlja gubitak energije s 1 m² površine cilindra za 1 h. Izračunava se po obrascu:

$$Q = \frac{E}{St} = 0,4 t_g \quad (2)$$

gde su: E – utrošena energija za vreme ispitivanja u kalorijama, S – površina cilindra u m² i t – vreme merenja u časovima. Kao i u predhodnoj formuli, i ovde se t_g meri u sekundama. Nadalje ćemo veličinu Q nazivati »ukupna toplotna provodljivost«.

Jedna od mera toplotnog kvaliteta tkanine predstavlja koeficijent toplotne provodljivosti tkanine (K), definisan kao količnik ukupne toplotne provodljivosti i razlike temperature cilindra (T_c) i temperature okoline (T_o):

$$K = \frac{Q}{T_c - T_o} \quad (3)$$

jedinica mere je $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$

Za međusobno poređenje tkanina uvodi se pojam apsolutnog zadržavanja toplote (X), koji predstavlja razliku ukupne toplotne provodljivosti cilindra sa navučenom navlakom (Q_n) i ukupne toplotne provodljivosti »golog cilindra« (Q_g):

$$X = Q_n - Q_g \quad (4)$$

Relativno zadržavanje toplote (δ) predstavlja količnik apsolutnog zadržavanja toplote i ukupne toplotne provodljivosti »golog« cilindra, a izražava se u procentima:

$$\delta = \frac{X}{Q_g} \cdot 100 = \frac{Q_n - Q_g}{Q_g} \cdot 100\% \quad (5)$$

S obzirom na to da je ispitivanje bazirano na automatizovanom uređaju objektivnost ove metode je u potpunosti zastupljena, a slučajnosti eliminisane. Uloga čovjeka u toku ispitivanja sastoji se isključivo u merenju ukupnog trajanja grejanja, dok sve ostale funkcije uređaj obavlja automatski.

REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Rezultati merenja u mirnom vazduhu pri temperaturi 20 i 10 °C prikazani su na tablicama 2 i 3. Rezultati merenja u pokretnom vazduhu pri temperaturi od 20°C i brzini strujanja vazduha od 5 i 10 km/h prikazani su na tablicama 4 i 5. U svim tablicama prikazani su parametri: ukupno vreme grejanja (t_g), ukupna toplotna propustljivost (Q), koeficijent toplotne propustljivosti (K) i koeficijent relativnog zadržavanja toplote (δ).

Ako se uporede vrednosti iz tablice 2 i 3, vidi se da svi parametri rastu sa smanjenjem okolne temperature vazduha. Ovo je razumljivo jer parametri Q, K i δ zavise od vremena grejanja cilindra, a ovo je direktno

proporcionalno opadanju temperature okolnog vazduha. Iz tablice 2 vidi se da je ukupna toplotna propustljivost najveća (119 kcal/m²h) kad je cilindar obložen navlakom od belog kepera, a najmanja (92,8 kcal/m²h) kad se upotrebljava navlaka od sukna. Sve ostale tkanine nalaze se između ovih dveju. Razumljivo je da se materijal od belog kepera može smatrati najpogodnijom ispitivanom tkaninom za letnje uslove rada, dok sukno predstavlja najpogodnije rešenje za zimsku radnu odeću, odnosno rad u hladnim pogonima. Vrednost ukupne toplotne provodljivosti platna SMB (117,4 kcal/m²h) vrlo je bliska belom keperu, iz čega proizilazi da između njih ne postoji bitna razlika.

Tablica 2
Rezultati ispitivanja u mirnom vazduhu na temperaturi od 20 °C

Redni broj	Vrsta materijala (tkanine)	Vreme grejanja (sek) t _g	Q [kcal / m ² h]	K [kcal / m ² h°C]	δ [%]
1	Goli cilindar	360	144	9,0	—
2	Keper beli	297	119	7,4	— 17,0
3	Platno - SMB	293	117,4	7,3	— 18,5
4	Diolen	287	115,2	7,2	— 20,0
5	Keper plavi	272	108,8	6,8	— 24,5
6	Pletivo - mašinsko	240	96	6,0	— 33,0
7	Sukno	232	92,8	5,8	— 36,0

Koeficijent toplotne propustljivosti (K) najveći je za materijal od belog kepera (7,4 kcal/m²h °C), a zatim stalno pada i za sukno iznosi 5,8 kcal/m²h °C. Radi relativnog poređenja između tkanina uveden je koeficijent relativnog zadržavanja toplote (δ), za čije su izračunavanje potrebne vrednosti nepokrivenog (»golog«) cilindra. U ovom slučaju u jednačini 5 korišćena je vrednost za ukupnu toplotnu provodljivost »golog« cilindra Q_g = 144 kcal/m²h. Vrednost koeficijenta δ raste po apsolutnoj vrednosti, počev od belog kepera (17%) da bi za sukno iznosila 36%. Znak »—« (minus) kao posledica jednačine 5 ukazuje na smanjenje ukupne propustljivosti cilindra sa navučenom navlakom u odnosu na »goli« cilindar. Drugim rečima, cilindar pokriven tkaninom od belog kepera u mirnom vazduhu na temperaturi od 20°C odaje za 17% manje toplote nego kad je bio nepokriven suknom, odavanje toplote bilo je za 36% manje. Slična situacija bila bi i u slučaju živog organizma.

Vrednosti parametara t_g, Q, K i δ u tablici 3 ponašaju se slično kao i rezultati u tablici 2. Najveća vrednost za ukupnu toplotnu provodljivost (Q = 212,5 kcal/m²h) i ovdje je dobijena kad je cilindar bio pokriven belim keperom. Sa porastom rednog broja veličina Q pada do vrednosti 128 kcal/m²h, koja se ima za sukno. Iz kolone 5 vidi se da koeficijent toplotne propustljivosti ima najveću vrednost za tkaninu beli keper (8,2), a zatim stalno pada do vrednosti 4,9 kcal/m²h°C (sukno). Ostali materijali imaju parametre Q i K između navedenih krajnjih vrednosti. Iz

Tablica 3
Rezultati ispitivanja u mirnom vazduhu na temperaturi od 10 °C

Redni broj	Vrsta materijala (tkanine)	Vreme grejanja (sek) tg	Q [kcal m ² h]	K [kcal m ² h°C]	δ [‰]
1	Goli cilindar	532	212,5	8,2	—
2	Keper beli	417	166,4	6,4	— 21,6
3	Platno - SMB	400	160,0	6,2	— 24,6
4	Diolen	376	149,8	5,8	— 29,4
5	Keper plavi	360	143,4	5,5	— 32,4
6	Plectivo - mašinsko	340	135,7	5,2	— 36,0
7	Sukno	320	128,0	4,9	— 39,6

tablice 3 vidi se da su vrednosti za parametar δ rastućeg karaktera po modulu, u odnosu na redni broj tablice. Najmanja vrednost nađena je za tkaninu beli keper (21,6‰) da bi se kod sukna popela na 39,6‰. Poređenjem tablice 2 i 3 vidi se da parametar δ za datu tkaninu ima veću vrednost po modulu na temperaturi spoljnjeg vazduha od 10⁰ C, iz čega se zaključuje da se zaština moć bilo koje odeće u mirnom vazduhu povećava sa smanjenjem temperature okoline. Takođe se može zaključiti da razlika

$$\Delta\delta = \delta_{10} - \delta_{20} \quad (6)$$

ne zavisi mnogo do tkanine. Veličine δ₁₀ i δ₂₀ predstavljaju koeficijente relativnog zadržavanja toplote za temperaturu okoline od 10, odnosno 20⁰ C. Za naš slučaj ova razlika kreće se u granicama od 3‰ (mašinsko plectivo) do 9,4‰ (platno SMB).

Kao što je napred rečeno, u tablicama 4 i 5 prikazani su rezultati ispitivanja tkanina u pokretnom vazduhu, brzinama strujanja od 5, odnosno 10 km/h, a pri temperaturi od 20⁰ C. Za izračunavanje parametra δ usvojena je vrednost toplotne propustljivosti »golog« cilindra u mirnom vazduhu pri istoj temperaturi (Q_g = 144 kcal/m²h). Ovo je učinjeno da bi se omogućilo poređenje toplotne propustljivosti tkanina u pokretnom

Tablica 4
Rezultati ispitivanja pri strujanju vazduha od 5 km/h na temperaturi od 20 °C

Redni broj	Vrsta materijala (tkanine)	Vreme grejanja (sek) tg	Q [kcal m ² h]	K [kcal m ² h°C]	δ [‰]
1	Keper beli	550	220	13,7	+ 52,7
2	Platno - SMB	560	224	14,0	+ 55,5
3	Diolen	500	200	12,5	+ 38,9
4	Keper plavi	485	194	12,1	+ 34,8
5	Plectivo - mašinsko	420	168	10,5	+ 16,6
6	Sukno	430	172	10,8	+ 19,5
7	Keper plavi + folia	300	120	7,5	— 16,6
8	Sukno + folia	265	106	6,6	— 26,5

vazduhu u odnosu na »goli« cilindar u mirnom vazduhu. Pored tkanina koje su ispitivane u uslovima mirnog vazduha, ovdje je dodata – kao što je pomenuto – i S folija (redni broj 7 i 8). Vrednosti koeficijenta relativnog zadržavanja toplote imaju dva znaka (»+« i »-«), za razliku od rezultata u mirnom vazduhu. Ovo proizilazi iz činjenice što smo za ukupnu toplotnu propustljivost »golog« cilindra uzeli vrednost dobijenu merenjem u mirnom vazduhu. Vrednost od +52,7% (redni broj 1, tablica 4) znači da beli keper propušta za dati procenat više toplotne energije kad se upotrebljava kao navlaka pri brzini od 5 km/h nego »goli« cilindar u mirnom vazduhu pri istoj temperaturi. S druge strane, znak »-«, kao i ranije, ukazuje na činjenicu da tkanina koja ima negativno δ manje propušta toplotnu energiju nego »goli« cilindar. Iz ovoga sledi da se u svrhe efikasne zaštite od odavanja toplote u pokretnom vazduhu od ispitivanih tkanina upotrebljavaju samo one tkanine koje imaju negativno δ . U ovom slučaju, kao što se iz tablice 4 i 5 vidi, ovaj kriterijum zadovoljavaju jedino plavi keper i sukno sa postavom od S folije (pri brzini od 5 km/h), odnosno sukno sa folijom (pri brzini od 10 km/h). Iz

Tablica 5

Rezultati ispitivanja pri strujanju vazduha od 10 km/h na temperaturi od 20 °C

Redni broj	Vrsta materijala (tkanine)	Vreme grejanja (sek) tg	Q [kcal m ² h]	K [kcal m ² h°C]	δ [%]
1	Keper beli	730	292	18,2	+ 102,8
2	Platno – SMB	740	296	18,5	+ 105,5
3	Diolen	680	272	17,0	+ 88,8
4	Keper plavi	660	264	18,5	+ 83,3
5	Pletivo – mašinsko	565	226	14,1	+ 57,0
6	Sukno	520	208	13,0	+ 47,2
7	Keper plavi + folia	385	154	9,6	+ 6,9
8	Sukno + folia	325	130	8,1	– 9,8

tablice 4 vidi se da S folija smanjuje toplotnu propustljivost obe vrste tkanina (plavi keper i sukno) za oko 50%. Vrednosti za parametar δ u tablici 5 pokazuju da se efikasnost zaštite povećava sa povećanjem brzine strujanja vazduha jer u ovom slučaju smanjenje toplotne propustljivosti iznosi oko 70%. Ovo nam pokazuje da je zaštitna moć S folije vrlo efikasna. Za njenu upotrebu govori i činjenica da je to materijal vrlo male težine i elastičnih osobina, što omogućava nesmetanu cirkulaciju krvi i nesmetano obavljanje poslova, bez zamora. Naročito je pogodna za radna mesta koja su na visinama, izložena vetru, kao i u pogonima sa povećanim strujanjima vazduha. Treba napomenuti da svojstva S folije omogućavaju da se, po potrebi, kao postava stave i dva sloja.

Literatura

1. *Kalmikov, P. E.*: Metodi gigieničeskogo issledovanija odeždi, Leningrad, 1960, str. 61.
2. *Uouk, U.*: Toplinska merenja, JAZU, Zagreb, 1952, str. 21.

*Summary*TESTING THE PROTECTION AGAINST HEAT IN FABRICS FOR
WORK OVERALLS

The authors have carried out tests in motionless and in propelled air to establish the extent of protection against heat in fabrics which are most often used for work overalls in Yugoslavia. With this aim in view an apparatus which is highly accurate in automatic maintenance of constant temperature was constructed. On the basis of the introduced parameters it is possible to determine precisely the extent of protection against heat of fabrics (absolute and relative) and to make a comparison of their quality according to the international Clo-unit.

The greatest heat permeability in motionless and in propelled air was shown by white twill at certain temperatures and at certain speeds of air circulation, while heavy cloth showed the least heat permeability. Reversely, the coefficient of relative maintenance of heat rises from white twill to heavy cloth. The values of these parameters for the other fabrics tested were between the values obtained for white twill and for heavy cloth.

*Department of Occupational Health,
Institute for Hygiene, Army Medical
Academy, Beograd*

*Received for publication
May 13, 1971*