

UDC: 687.17 : 623.454.86 + 623.459.6
2.614.8.086.4/.5 : 623.454.8
614.8.086.4/.5 : 623.459.6

ISPITIVANJA FIZIOLOŠKE PODOBNOSTI FILTROSORPCIONE ZAŠTITNE ODEĆE U LABORATORIJSKIM USLOVIMA

Major dr *Radovan* Karkalić, dipl. inž., Tehnički opitni centar
dr *Radivoj* Popović, dipl. inž., Fakultet za dizajn
dr *Sonja* Radaković, Vojnomedicinska akademija

Rezime:

Jedno od najznačajnijih sredstava za hemijsku zaštitu u uslovima visokotoksične kontaminacije predstavlja zaštitno filtrirajuće odelo koje svojom konstrukcijom omogućava bolju fiziološku podobnost od izolirajućih zaštitnih sredstava. U radu su prikazane metode i rezultati ispitivanja fiziološke podobnosti nekoliko različitih modela filtrirajućih zaštitnih odela kojima je predviđeno opremanje Vojske Srbije i jedinica civilne zaštite. Ispitivanja je tolerancija na nekompenzovani toplotni stres ispitanika pri korišćenju četiri modela ovog odela, a u toku simulacije vršenja osnovnih namenskih zadataka u toploj sredini, koje je obuhvatilo ispitivanje u klimatskoj komori i terenskim uslovima pri realizaciji namenskih zadataka. Upoređeni su parametri tolerancije na toplotni stres i donet zaključak o uticaju nošenja određenog odela na intenzitet toplotnog stresa i neuropsihološke funkcije.

Gljučne reči: opasne supstance, kontaminacija, rizik, hemijska zaštita, NHB zaštitni materijali.

INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL SUITABILITY OF FILTROSORPTION PROTECTIVE CLOTHING UNDER LABORATORY CONDITIONS

Summary:

One of the most important devices for chemical protection in a highly toxic environment is chemical protective overgarment (CPO). This suit is designated for protection against highly toxic materials. The suit construction offers better physiological suitability than protective equipment based on insulation materials. This work explains methods and results of experimental validity of physiological suitability of a few different protective clothing models that should be used to equip the Army of Serbia and Civil Protection units. The investigation of tolerance to uncompensated stress of volunteers during wearing four different CPO models was carried out. The investigation simulated performance of main military tasks under high temperatures – at a climatic chamber and in all-terrain conditions (based on telemetry observing). The parameters of heat stress were compared and the conclusions about the CPO effects on heat stress intensity and neurophysiological functions were drawn.

Key words: hazardous substances, contamination, risk, chemical protection, NBC clothing

Uvod

Pri dejstvu visokotoksičnih materija (VTM) potrebno je izvršiti potpunu hemijsku zaštitu koja se odnosi na zaštitu tela i disajnih organa. Telo se štiti odgovarajućim zaštitnim sredstvima, kao što su: zaštitna odeća, kombinezoni, zaštitni ogrtači, zaštitne čizme, navlake, zaštitne čarape i zaštitne rukavice, a disajni organi različitim tipovima zaštitnih maski, polumaski i respiratora. Zaštita tela odnosi se, pre svega, na zaštitu od dejstva para/gasova, kapi i aerosola VTM, koji se apsorbuju na koži, dejstva goruće „napalm-smeše“ i termalnog impulsa nuklearne eksplozije (TINE).

Svaka generacija zaštitnih sredstava treba da zadovolji neki novi zahtev. Zaštitna odeća izrađuje se na bazi izolirajućih ili filtrisorpcionih materijala. Iako, na prvi pogled, izolirajuća zaštitna sredstva ne mogu imati neka posebna tehničko-tehnološka poboljšanja, uvođenje novih materijala i konstrukcije stvara uslove za njihovu implementaciju u zaštitna sredstva nove generacije. Sve strane države opremljene su sredstvima za zaštitu tela izolirajućeg tipa. U svetu se poklanja velika pažnja proizvodnji ovih materijala i njihove ugradnje u sredstva, sa konstantnim zahtevima za poboljšanje upotrebnih performansi.

Sredstva za zaštitu tela na bazi izolirajućih materijala karakterišu se dobrim zaštitnim svojstvima od dejstva VTM, ali zato su fiziološki vrlo nepodobna, jer su nepropusna za vazduh i znoj. Korišćenjem ovih sredstava produkuje se odgovarajuće toplotno opterećenje, što rezultira toplotnim stresom sa manjim ili većim posledicama, pri radu srednjeg i većeg intenziteta i radu u toploj okolini. To dovodi do brzog nagomilavanja toplote u telu i toplotnog opterećenja korisnika sa negativnim posledicama, tako da je vreme njihovog nošenja limitirano u zavisnosti od spoljne temperature.

Jedno od najsloženijih sredstava za zaštitu tela jeste filtrirajuća zaštitna odeća, koja je u odnosu na zaštitnu odeću izolirajućeg tipa fiziološki podobnija i omogućava korisniku duži boravak na kontaminiranom zemljištu, uz mogućnost obavljanja rada većeg intenziteta.

Nošenje ratne uniforme i filtrirajuće zaštitne odeće znatno usložava problem transfera toplote sa tela u okolinu. Odeća predstavlja barijeru prolazu toplote konvekcijom, kondukcijom, radijacijom i isparenom i tečnom znoju, koja je jako izražena u toplim uslovima i pri većem radnom intenzitetu.

Termofiziološke osobine odeće ne određuju se samo tekstilnim slojevima, nego i zatvorenim slojevima vazduha, čime se može postići bolji transport vlage optimizacijom „ventilacije“ i na taj način poboljšati komfor nošenja odeće u toploj klimi. Ova „ventilacija“ predstavlja direktnu razmenu vazduha između mikrokline i okoline, a prouzrokovana je pomeranjem tela nosioca odeće. Do ventilacije dolazi kroz „normalne“ otvore na odeći: kragnu, revere, završetke na rukavima i nogavicama, odnosno preko specijalnih otvora za ventilaciju koji se ostvaruju odgovarajućom konstrukcijom

kroja. S obzirom na to da su svi ispitivani modeli filtrirajućeg zaštitnog odeća izrađeni od filtrosorpcionih materijala, bilo je neophodno izvršiti ispitivanja fiziološke podobnosti. To je realizovano ispitivanjima u klimatskoj komori i realizacijom terenskih ispitivanja, uz angažovanje ispitanika.



Slika 1 – Izgled filtrirajućeg zaštitnog odeća

Fiziologija odevanja

Fiziologija odevanja sistematično istražuje odnose između ljudskog tela i odeće u graničnim područjima između fizike, hemije, medicine, filozofije, psihologije i tehnika tekstila. Od pronalaska sintetizovanih vlakana i njihove primene u izradi odeće poraslo je opšte interesovanje za ovu nauku. Uprkos već postignutim obimnim rezultatima istraživanja još uvek postoje pogrešne predstave o tim odnosima. Proizvođači odeće moraju poznavati važne odnose između ljudskog tela i odevanja, kako bi pri planskom kreiranju odeće mogli da procene efekte pojedinih merila u njihovom dejstvu. Uzajamna dejstva imaju kompleksnu prirodu, tako da samo egzaktno izmereni rezultati imaju upotrebljivu snagu iskaza. Zato se može konstatovati da se odeća nalazi u sistemu sledećih uzajamnih odnosa:¹ zahtevi tela, klimatski uslovi okoline i osobine odeće.

Za koordinirano odvijanje biohemijskih procesa jezgra tela potrebna je konstantna temperatura, tzv. unutrašnja temperatura, koja se kreće oko 37°C. Odstupanja od te vrednosti dovode do poremećaja, a spoljašnje temperature više od 42°C i niže od -30°C predstavljaju realnu opasnost po život. Temperaturno područje telesnog omotača (koža i tkiva) više varira, pri čemu donja granica podnošljivosti iznosi oko 10°C. Unutrašnja temperatura retko se penje iznad gornje granice, jer se krvotokom uspostavlja neposredna veza sa regulacionim mehanizmima. Unutrašnja temperatura održava se u uskim granicama, za šta su odgovorna dva termoregulaciona mehanizma: protok krvi kroz kožu i znojenje.

¹ Govori se, dakle o sistemu: telo-odeća-okolina (nemački 3K sistem: Koerper-Klima-Kleidung).

Ljudski organizam može da se posmatra kao mašina koja proizvodi toplotu, koja proizilazi iz metaboličkih aktivnosti i vezana je za prirodu organizma i njegovo stanje aktivnosti.² Širenjem ili skupljanjem krvnih sudova u blizini kože reguliše se sposobnost kože da provodi toplotu, no ona je relativno malo efikasna (samo ukoliko je spoljašnja temperatura jednaka ili viša od temperature kože). Bitnu ulogu pri regulisanju temperature pri hlađenju imaju pojačanje metaboličkih aktivnosti, a pri pregrevanju isparavanje znoja. Već pri malom sniženju unutrašnje temperature pojačava se stepen razmene materija, pre svega unutrašnjih organa i muskulature skeleta.

S obzirom na to da je filtrirajuće zaštitno odelo izrađeno od filtrorsorpcionog materijala i sastoji se od dva sloja, od primarnog značaja bilo je ustanovljavanje njegove fiziološke podobnosti. Ukoliko je proizvodnja toplote veća od odavanja toplote znojne žlezde u koži počinju da luče dodatne količine znoja za isparavanje. To je veoma efikasan način odavanja toplote.³ Ukoliko temperatura okoline ili nepropusna odeća ne stoje tome na putu, čovek sav višak proizvedene toplote može odati preko isparavanja znoja. Telesna udobnost koja se javlja pri toplotnoj ravnoteži, a koja odgovara stanju ugodnosti odevenog čoveka, omogućava postizanje optimalnog stepena telesne i duhovne sposobnosti za rad pod određenim uslovima spoljne temperature i vlage. Ova zona udobnosti (zona komfora) obuhvata, u proseku, relativnu vlažnost vazduha od 30% do 70%, efektivnu spoljnu temperaturu vazduha od 17,5°C do 22°C i ogleda se u prosečnoj temperaturi kože koja iznosi od 31,4°C do 33°C.

Da bi se održali dobri uslovi za život i rad potrebno je odećom pomoći termoregulacionom mehanizmu čoveka. To znači da odeća u hladnim uslovima treba da obezbedi dodatnu toplotnu zaštitu tela od dejstva sniženih temperatura, pri povećanoj vlažnosti da obezbedi zaštitu od vlage, pri pojačanom isparavanju da dozvoljava zadovoljavajući transport pare, pa se prema tim prilikama konstruišu različiti kompleti odeće. Organizam odaje toplotu zračenjem, konvekcijom, kondukcijom, disanjem i isparavanjem znoja preko kože. U odavanju toplote u termoneutralnim uslovima i pri mirovanju zračenje učestvuje sa 42%, konvekcija i kondukcija sa 26%, disanje sa 14%, a evaporacija sa 18%.

Odeća u funkciji održanja toplotne ravnoteže

Osećaj udobnosti zavisi od klime između kože i odeće. Ta „mikroklima“ određena je klimatskim uslovima okoline, proizvodnjom toplote i vlage u telu i osobinama odeće. U sistemu telo-odeća-okolina telo i okolina su stalne ve-

² Proizvodnja toplote pri apsolutnom mirovanju iznosi za 24 h oko 7560 KJ, a pri najtežem radu može dostići 21000 KJ.

³ Za isparavanje 1l znoja telu se oduzima oko 2400 KJ. Ljudska koža je u stanju da u izuzetno teškim uslovima preko svojih znojnih žlezda za nekoliko sati izluči čak 2 l znoja.

ličine, a odeća je promenljiva. Ona bi trebalo da stvori uslove koji su najbliži području udobnosti. Za održanje toplotne ravnoteže, kao i ravnoteže vlage u „mikroklimi“, potrebna je razmena vazduha, koja u suštini zavisi od tri faktora: tekstilne površine (vrsta vlakna, pređe i prepletaja), kroja i ventilacije.

Prirodna vlakna (pamuk, lan, vuna, svila i sl.) odlikuje dobra higroskopnost, pa im se daje prednost pri umerenim telesnim opterećenjima i malom znojenju. Njihova sposobnost upijanja je dovoljna da primi vlagu koja ispari iz tela pri manjem naprezanju. Sintetizovana vlakna, nasuprot prirodnim i regenerisanim, skoro da ne upijaju vodu, ali im se površina lako nakvasi, pa imaju visoku kapilarnu aktivnost. Subjekti obično nose više pojedinačnih odevnih sredstava, pa je veoma bitan broj slojeva i debljina međuvazdušnih prostora. Ova debljina zavisi od karakteristika odeće (tkanine) i njene pripijenosti uz telo. Materijali odeće i vazduh između slojeva odgovorni su za toplotnu izolaciju. Za razmenu toplote bitan je i uticaj vetra koji narušava spoljni miran vazdušni film (vazdušni sloj uz odeću) i prodire kroz pore tekstilnog materijala na mestima naleganja [1, 2].

Odnos između ravnotežne temperature jezgra (unutrašnja temperatura tela) i stresa okoline ispitao je Lind [3] pri konstantnom radu. Blockly [4] je na osnovu svojih radova i radova drugih istraživača pronašao odnos između rektalne i efektivne temperature za procenu stanja toplotne ravnoteže i njene destabilizacije.

Transfer toplote i vlage u sistemu

Toplota koja se proizvede u stanju mirovanja ili tokom fizičke aktivnosti mora biti kompenzovana odavanjem toplote i često je povezana sa malim povećanjem akumulacije toplote. Metabolizmom proizvedena toplota može se definisati kao toplota koja nastaje usled promena koje nastaju u organizmu. Pri obavljanju spoljnog rada deo energije proizveden u organizmu transformiše se u spoljni rad, a razlika $M-W$ (M -metabolizam, W -spoljni rad) jeste konačna energija (W/m^2) koja se pretvara u toplotu koju telo kroz odeću razmenjuje sa okolinom [5]. Ravnoteža između odavanja i akumulacije toplote može se izraziti na sledeći način:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R_a + E + S \quad (1)$$

gde su C_{res} i E_{res} razmena toplote u respiratornom traktu konvekcijom i isparavanjem, K , C , R_a i E prenosi toplote kondukcijom, konvekcijom, radijacijom i isparavanjem, a S akumulirana toplota.

Transfer toplote respiratornim putem vezan je za razmenu temperature i vlage udahnutog i izdahnutog vazduha. Razmena totalne respiratorne toplote može se izraziti kao razlika entalpija udahnutog i izdahnutog vazduha, i u tom pravcu proizišle su neke od empirijskih jednačina. Kvantitativna procena mnogih faktora vezanih za prenos toplote konvekcijom, radijacijom i is-

paravanjem znoja bila je predmet istraživanja mnogih autora poslednjih decenija. Toplotni tok kondukcijom, kada je u pitanju sistem telo-odeća-okolina, ne uzima se direktno u proračun. Prisutan je prostor mikroklimе ograničen odećom, što ima za posledicu da se prenos toplote kondukcijom može kvantitativno asimilirati u prenos toplote konvekcijom i radijacijom. Vrednosti za ukupnu metaboličku proizvodnju toplote variraju u prosečnoj populaciji od oko 1 W/kg u mirovanju do oko 10 W/kg tokom intenzivnog fizičkog napora, a tokom sportskih aktivnosti mogu biti znatno veće. Akumulacija toplote, koja odražava i perifernu i unutrašnju telesnu temperaturu, javlja se tokom velikog fizičkog napora ili izloženosti toploj i vlažnoj sredini. Dugotrajna akumulacija toplote, u količini od oko 0,5 W/kg u periodu od 1 h do 2 h, dovodi do povećanja telesne temperature koje neke osobe nisu u stanju da tolerišu.

Toplotni stres se može javiti u kompenzovanom i nekompenzovanom obliku. Sposobnost kompenzacije toplotnog stresa prevashodno je određena biofizičkim činiocima (uslovi spoljašnje sredine, odeća, intenzitet fizičkog napora), a umereno je i pod uticajem biološkog stanja (aklimatizacija na toplotu i hidracija).

Kompenzovani toplotni stres (KTS) javlja se kada je gubitak toplote u ravnoteži sa njenim stvaranjem, tako da se može dostići ravnotežno stanje (*steady-state*) unutrašnje temperature pri datoj fizičkoj aktivnosti. Obično je prisutan pri većini aktivnosti vezanih za realizaciju namenskih vojničkih zadataka.

Nekompenzovani toplotni stres (NKTS) javlja se kada zahtevi za odavanjem toplote ispravanjem znoja prevazilaze evaporativni kapacitet okoline. Tokom NKTS organizam ne može da postigne ravnotežno stanje unutrašnje temperature, tako da ona raste sve dok se ne dostigne fiziološka granica i ne dođe do iscrpljenja (uslovi bitni za vojnu sredinu su miran, vlagom zasićen vazduh i nepropusna odeća).

Fiziološki odgovori na toplotni stres

Homeostatski autonomni mehanizmi toplokrvnih bića, uključujući i ljude, održavaju telesnu temperaturu unutar uskog opsega. U literaturi se razlikuju *pasivna hipertermija*, kada je osnovni uzrok akumulacije toplote u organizmu visoka spoljašnja temperatura i *aktivna hipertermija*, koja najčešće pogađa mlađu radnu populaciju koja je izložena dugotrajnom fizičkom naporu u toploj sredini. Tipične žrtve ovog poremećaja su muškarci, i to sportisti i vojnici. Za razvoj ovog oblika toplotne bolesti visoka spoljašnja temperatura nije najvažniji uslov, već kombinacija naporne fizičke aktivnosti, tople (i često vlažne) sredine i dehidracije. Fizički napor u toploj sredini predstavlja veliki izazov za termoregulaciju. Tokom dugotrajne fizičke aktivnosti, 75% proizvedene energije je u obliku toplote koja se ne deponuje. Ostalih 25% može se iskoristiti za pokretanje tela. Kako raste intenzitet fizičke aktivnosti, raste i stepen stvaranja toplote.

Mehanizmi održanja unutrašnje temperature

Telesna temperatura je normalno regulisana unutar uskog opsega preko dva paralelna procesa: regulacije temperature ponašanjem (bihevioralno) i fiziološkom regulacijom. Bihevioralna termoregulacija uključuje voljno sklanjanje u hlad, usporavanje ili prekidanje fizičke aktivnosti i uklanjanje odeće ili opreme sa tela.

Fiziološka regulacija temperature odvija se pokretanjem odgovora odavanja toplote (znojenjem i povećanjem protoka krvi kroz kožu), a intenzitet tog odgovora srazmeran je povećanju unutrašnje temperature i izmeni temperature kože (topla koža povećava odgovor odavanja toplote). Odavanje telesne toplote *provođenjem, strujanjem i zračenjem* posredovano je promenom u protoku krvi kroz kožu. Odavanje toplote *isparavanjem znoja* prevashodno podrazumeva lučenje znoja. Ako telo počne da nagomilava toplotu, povećaće se kožna i/ili unutrašnja temperatura. Temperatura kože je viša u toploj sredini, dok je unutrašnja temperatura relativno stabilna unutar širokog opsega spoljašnje temperature. Zato, u uslovima veće spoljašnje temperature, toplotni gradijent između unutrašnjosti organizma i kože postaje manji, a protok krvi kroz kožu se povećava da bi se postiglo odavanje toplote koje traje sve dok se ponovo ne uspostavi toplotna ravnoteža, tako da unutrašnja temperatura prestane da raste. Ako spoljašnji uslovi i odeća ograniče odavanje toplote na vrednost koja je manja od stepena stvaranja toplote, povećanje znojenja i protoka krvi kroz kožu neće uspostaviti toplotnu ravnotežu, već će samo povećati fiziološko opterećenje organizma. [6, 7]

Promene u kardiovaskularnom sistemu tokom toplotnog stresa

Kardiovaskularni odgovor na dejstvo toplote i fizičkog napora od ključnog je značaja za regulaciju temperature. Izuzev u patološkim stanjima i u slučaju prevladavanja toplotnog stresa, unutrašnja temperatura se održava konstantnom, i to pri širokom opsegu spoljašnjih uslova.

Protok krvi kroz kožu radi odavanja viška toplote može se povećati sa vrednosti od 0,2 l/min do 0,5 l/min u termoneutralnim uslovima, do preko 8 l/min tokom maksimalno podnošljivog toplotnog stresa, gde unutrašnja temperatura iznosi oko 39°C. Gusta mreža kapilara puni supkapilarni venski splet, venska zapremina raste, tako da se obezbeđuje veća razmena toplote sa okolinom.

Ispitanici

Ispitivanjem je bilo obuhvaćeno 10 muškaraca, starosti od 20 do 22 godine, od kojih je svaki nosio četiri modela filtrirajućeg zaštitnog odela. Svaki ispitanik je pre početka ispitivanja detaljno upoznat sa planom ispitivanja i svojim učešćem, nakon čega je potpisao *informisanu saglasnost*. Svakom ispitaniku data su uputstva kojih treba da se pridržavaju do završetka ispitivanja, a koja se odnose na neunošenje lekova, vitaminskih preparata, kafe i sl.

Metode ispitivanja Antropometrijska ispitivanja

Ispitivanje antropometrijskih karakteristika obuhvatilo je sledeća merenja i izračunavanja:

- merenje telesne visine, cm,
- merenje telesne mase, kg,
- merenje debljine kožnih nabora na četiri tačke, mm,
- izračunavanje površine tela, m²,
- izračunavanje stepena uhranjenosti, i
- izračunavanje sastava telesne mase.

Merenja su vršena u stojećem položaju, bez odeće (u donjem vešu) i bez obuće. Telesna visina određivana je u stojećem stavu, pomoću pomičnog antropometra, a telesna masa pomoću elektronske vage *Chyo MW 100K*, sa preciznošću od 10 g. Debljina kožnih nabora merena je pomoću kalipera po *John Bullu*, sa pritiskom instrumenta na potkožno tkivo od 10 g/mm². Merenje je vršeno prema metodi Durninga i Vomerslija i obuhvatilo je četiri tačke:

- biceps (na sredini prednje strane nadlaktice),
- triceps (na sredini zadnje strane nadlaktice),
- lopatica (ispod donjeg ugla *scapulae*), i
- bok (nabor na *crista iliaka* između karlične kosti i rebarnog luka).

Merenje je obavljala ista osoba, a konačna vrednost predstavlja srednju vrednost dobijenu iz tri uzastopna merenja u istoj tački. Na osnovu izmerenih vrednosti izračunati su sledeći pokazatelji:

- površina tela (m²) određivana je iz vrednosti telesne visine i mase, a prema *Nomogramu za određivanje površine tela kod dece i odraslih*, [8]
- indeks telesne mase (*Body mass index – BMI*) izražen je kao količnik izmerene telesne mase i kvadrata telesne visine (kg/m²),
- sadržaj masti u telu izračunat je iz zbira debljine kožnih nabora na četiri tačke i izražen kao procenat telesne mase, prema *Tablici sadržaja masti u telu*. Iz procentne vrednosti zatim je izračunat apsolutni sadržaj masti u telu (kg), kao i sadržaj bezmasne „mršave“ telesne mase (*Lean Body Mass – LBM*).

Ergometrijska ispitivanja

Ergometrijske karakteristike, odnosno maksimalna potrošnja kiseonika (VO_{2max}) određivana je indirektno, preko pulsa, metodom progresivnog opterećenja po Brusu, uz korišćenje pokretne trake [9].

Ispitivanja termoregulacije

Ispitanici su podvrgnuti fizičkom naporu, a ispitivanja su sprovedena u klimatskoj komori u toploj sredini (30°C) i u terenskim uslovima sa svim ispitivanim modelima filtrirajućeg zaštitnog odela.

Ispitivanje mikroklimatskih uslova u klimatskoj komori

Metodologija ispitivanja u klimatskoj komori podrazumevala je kontinuirano merenje mikroklimatskih uslova. Na aparatu je očitavana temperatura suvog, vlažnog i globus termometra ($^{\circ}\text{C}$), relativna vlažnost vazduha (%) i indeks toplotnog opterećenja po sledećoj formuli:

$$\text{WBGT} = 0,7 t_v + 0,2 t_g + 0,1 t_s \quad (2)$$

gde su:

t_v – temperatura vlažnog termometra,

t_g – temperatura globusa, a

t_s – temperatura suvog termometra. Ispitivanje mikroklimatskih uslova vršeno je pre početka svakog testa toplotnog opterećenja.

Termoregulacija je ispitana izračunavanjem srednje temperature iz zbira kože temperatura dobijenog merenjem sa četiri tačke na koži termoelementima; ovo merenje je bilo kontinuirano. Merenje unutrašnje temperature (T_s), merene sa bubne opne, bilo je diskontinuirano, a sprovedeno je uvođenjem sonde u ušni kanal na svakih 5 minuta. Količina znoja izračunata je iz razlike telesne mase (TM) pre i posle fizičkog napora. Svakom ispitaniku kontinuirano je praćena srčana frekvenca. Simulacija različitog intenziteta rada ispitanika, koji odgovara vršenju namenskih zadataka, postignuta je hodanjem na pokretnoj traci u klimatskoj komori (slika 2). Brzina hoda na traci iznosila je 5 km/h.



Sl. 2 – Rad ispitanika u klimatskoj komori

Pre početka rada ispitanicima su saopštene određene mere bezbednosti i uslovi rada u klimatskoj komori.⁴

⁴ U eksperimentima je bilo predviđeno da se ispitivanje prekine ukoliko dođe do dekompenzacije termoregulacije, odnosno kada T_s pređe $39,5^{\circ}\text{C}$, ili kad frekvencija srčanog rada pređe 190/min.

Merenje temperature kože

Srednja temperatura kože izračunata je iz zbira temperatura dobijenog merenjem sa četiri tačke na koži, prema ISO standardu [10]. Ovi termoelementi imaju nizak toplotni kapacitet i veoma brz odgovor. Merenje je vršeno na sledeće četiri tačke:

- vrat – sredina korena vrata pozadi – koeficijent 0,28;
- desna lopatica – sredina lopatice – koeficijent 0,2;
- leva ruka – sredina nadlanice – koeficijent 0,16;
- desna cevanica – sredina potkolenice napred – koeficijent 0,28.

Merenje je bilo kontinuirano, a rezultati su očitavani na svakih 5 min. Svaka izmerena vrednost je pomnožena odgovarajućim koeficijentom, nakon čega su te četiri dobijene vrednosti sabrane, što predstavlja vrednost srednje temperature kože tela u tom momentu.

Merenje timpanične temperature

Unutrašnja temperatura tela (*core temperature* – T_s) merena je sa bubne opne, diskontinuirano, istim aparatom, ali pomoću posebnog termoelementa (sa bržim odgovorom). Ispitanicima je prethodno urađen otoskopski pregled radi utvrđivanja stanja bubne opne i zidova ušnog kanala, kao i eventualnog uklanjanja ušne masti. Termoelemenat je uveden u ušni kanal i plasiran što je moguće bliže bubnoj opni. Momenat kontakta termoelementa i bubne opne lako je prepoznavan po umereno bolnoj senzaciji ispitanika.

Merenje srčane frekvence

Rad srca praćen je kontinuirano, instrumentom *Biotel 33*. Elektrode su plasirane na grudni koš ispitanika i tako slale elektrokardiografski signal telemetrijskim putem.

Izračunavanje intenziteta znojenja

Intenzitet znojenja (*Sweat rate* – SwR) izračunat je iz razlike u telesnoj masi pre i posle izlaganja toplotnom stresu, korigovanoj za unos vode i izlučivanje urina u tom periodu. Izražen je kao izgubljena masa po jedinici površine tela za sat vremena ($g/m^2/h$).

Subjektivna ocena toplotnog stanja

Za subjektivnu ocenu toplotnog stanja (komfora) korišćena je Mekginisova toplotna skala. Anketiranje ispitanika sprovedeno je tako što je ispitanik, na tabeli koju je prezentovao ispitivač, svakih 5 minuta pokazivao redni broj koji odgovara njegovom subjektivnom osećaju toplotnog komfora. Nakon realizacije svakog eksperimenta (90 minuta) ispitanici su

ocenjivali komfor svakog modela zaštitnog filtrirajućeg odela, radi ustanovljavanja razlika u masi, udobnosti, pokretljivosti, elastičnosti i količini apsorbovanog znoja i nastalih promena.

Neuropsihološka ispitivanja

Ova ispitivanja imala su za cilj merenje brzine reakcije pre i posle izvođenja određenih aktivnosti ispitanika. Ispitivano je vreme izborne reakcije na auditivne i vizuelne draži pre i nakon rada u klimatskoj komori, a pri nošenju četiri vrste odela. U te svrhe korišćen je reakciometar – kronoskop koji je bio postavljen u klimatskoj komori. Neposredno po završetku eksperimenta, tj. po silasku ispitanika sa trake (nakon 90 minuta hoda), ova ispitivanja su ponavljana, kako bi se ustanovile eventualne razlike u reagovanju ispitanika pre i posle eksperimenta.

Rezultati ispitivanja

Antropometrijske karakteristike

Tabela 1

Izračunate vrednosti antropometrijskih pokazatelja ispitanika

Antropometrijski pokazatelji		Izračunate vrednosti
Površina tela (m ²)	\bar{X}	1,79
	SD	0,12
	min.	1,65
	maks.	2,07
Indeks telesne mase, BMI (kg/m ²)	\bar{X}	22,36
	SD	2,06
	min.	18,8
	maks.	26,2
Telesna mast, F (%)	\bar{X}	15,6
	SD	4,29
	min	9
	max	22,5
Sadržaj bezmasne telesne mase, LBM (kg)	\bar{X}	55,25
	SD	4,46
	min.	51,7
	maks.	65,4

Ergometrijske karakteristike

Pokazatelj ergometrijskih karakteristika ispitanika predstavlja maksimalna potrošnja kiseonika (VO_{2max}), izražena u mililitrima kiseonika po kilogramu telesne mase u toku jednog minuta. Da bi se izbegao uticaj sadržaja telesne

masti, maksimalna potrošnja kiseonika je, takođe, izražena u mililitrima po kilogramu bezmasne „mršave“ mase u toku jednog minuta (VO_{2max}/LBM). Vrednosti ergometrijskih pokazatelja ispitanika prikazane su u tabeli 2.

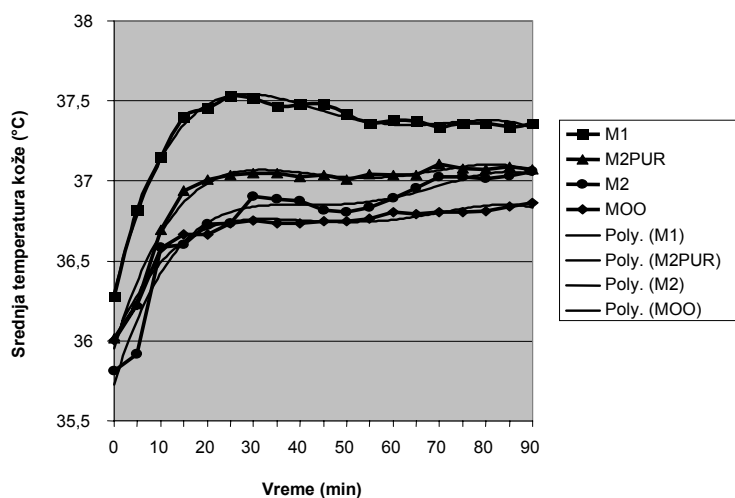
Tabela 2

Vrednosti ergometrijskih pokazatelja ispitanika

Ergometrijski pokazatelji		Izračunate vrednosti
VO_{2max} (ml/kg/min)	X	49,67
	SD	6,45
	min.	44,2
	maks.	57,6
VO_{2max}/LBM (ml/kg/min)	X	62,98
	SD	10,81
	min.	50,96
	maks.	82,65

Ispitivanje termoregulacije

Razlike u srednjoj temperaturi kože tokom eksperimenta prikazane su na slici 3.



Slika 3 – Srednja temperatura kože tokom eksperimenta

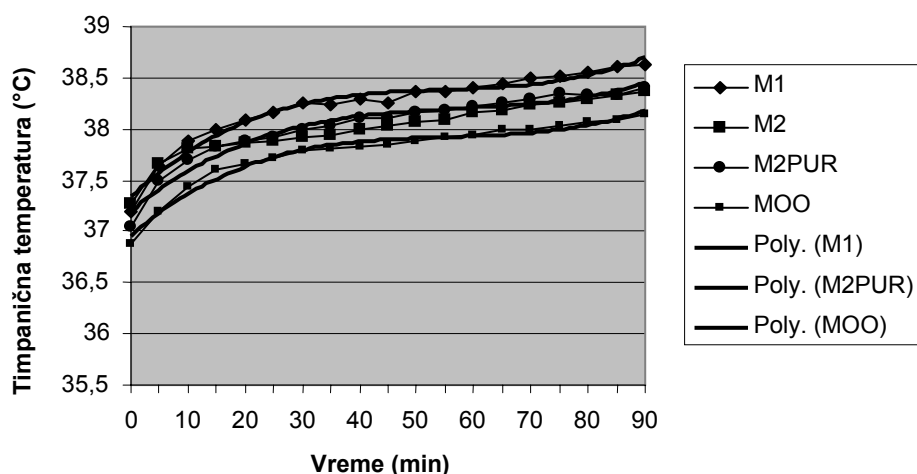
Za ocenjivanje fiziološke podobnosti vršeno je međusobno poređenje modela filtrirajućeg zaštitnog odela i zaključeno je sledeće:

– najveće statistički značajne razlike ($r < 0,05$) ustanovljene su pri korišćenju odela M00, a poređenjem sa M1;

– pri korišćenju M2 uočljive su statistički značajne razlike do 55. minuta eksperimentalnog rada, nakon čega je nastupio period njihovog smanjenja i normalizacije;

– pri korišćenju M2PUP statistički značajne razlike javljale su se jedino tokom prvih 10 minuta eksperimentalnog rada, nakon čega je konstatovan opšti trend njihovog smanjenja, tako da su ova dva modela dosta sličnih termoregulacijskih karakteristika, tj. poseduju loše termoregulacijske osobine.

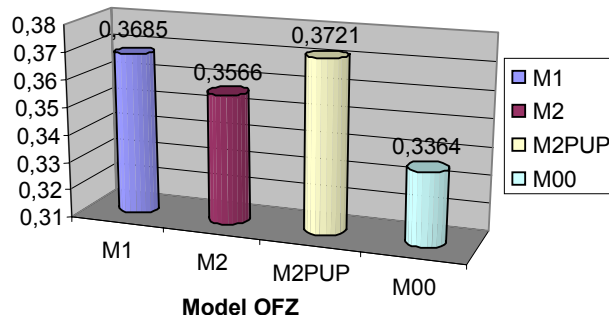
Realizovan je i statistički test ANOVA. Konstatovane su značajne razlike pri nivou verovatnoće $r < 0,05$ za modele M1 i M00. Zaključak ANOVA testa jeste da na nivou verovatnoće $r < 0,05$ postoje značajne razlike jedino između modela M1 i M00 po pitanju temperature kože. Razlike u timpaničnoj temperaturi tokom eksperimenta prikazane su na slici 4.



Slika 4 – Timpanična (unutrašnja) temperatura tokom eksperimenta

Poređenjem razlika u timpaničnoj temperaturi ispitanika pri korišćenju različitih modela filtrirajućih zaštitnih odela ustanovljene su razlike identične onima koje su se javile pri ispitivanju temperature kože (između modela M1 i M00).

Izračunavanjem intenziteta znojenja ispitanika pri radu u klimatskoj komori na temperaturi od 30°C (slika 5) zaključeno je da je znojenje naj-intenzivnije u uslovima kada su ispitanici nosili model M2PUP. To je potpuno opravdano sa stanovišta njegovog tehničko-tehnološkog rešenja, imajući u vidu da se u unutrašnjem sloju nalazi poliuretanska pena (PUP) koja, ipak, predstavlja odgovarajuću barijeru prenosu telesne toplote.



Slika 5 – Intenzitet znojenja tokom eksperimenta

Model M2PUP omogućio je intenzitet znojenja od 0,37 L/m²/h, što je neznatno više i od modela M1. Razlika je izraženija ukoliko se izvrši poređenje sa modelom M2, a najveća je u poređenju sa modelom M00 (≈11%). Ukupni rang filtrirajućih zaštitnih odela po pitanju intenziteta znojenja je sledeći (od najmanjeg znojenja ka najvećem): M00, M2, M1, M2PUP.

Zaključak

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja fiziološke podobnosti četiri modela OFZ. Na osnovu prezentovanih rezultata moguće je zaključiti da je model M00 pokazao najbolje karakteristike kvaliteta po pitanju svih ispitivanih karakteristika.

Literatura

- [1] Machperson R. K.: *The assesment of the thermal enviroment*, Brit. J. Industr. Med., 1962.
- [2] Breckenridge J. R., Woodcock A. H.: *Effects of wind on insulation of arctic clothing*, Report No. 164, Environ. Prot. Sec. Quartermaster, Clim. Res. Lab., Lawrence, Massachusetts, 1950.
- [3] Lind A. R., *Physiological effects of continous intermittent work in the heat*, J. Appl. Physiol., 57–60, 1963.
- [4] Blockley W. V., Mitchell M. B., Stredwick P. H: *Physiological And psychological effects of over loading fall out shelters*, Final report, Contract No. OCD-OS-62-137, Office and civil defense, 1963.
- [5] Larose P.: *Thermal resistance of clothing with special reference to the protection given by coverall fabrica of various permeabilities*. Can. J. Res, Sect. A, 169–190, 1947.