

## Utvrđivanje volumena ljudskog tijela i mikroklimatskih pojasa odjeće 3D CAD tehnologijom skeniranja

Dr. sc. **Ivana Špelić**, dipl. ing.  
Prof. dr. sc. **Dubravko Rogale**, dipl. ing.  
Prof. dr. sc. **Alka Mihelić Bogdanić**, dipl. ing.\*  
Izv. prof. dr. sc. **Slavenka Petrak**, dipl. ing.  
Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet  
Zavod za odjevnu tehnologiju  
\*Zavod za temeljne prirodne i tehničke znanosti  
Zagreb, Hrvatska  
e-mail: [ispelic@ttf.hr](mailto:ispelic@ttf.hr)  
Prispjelo 2.5.2017.

UDK 677.017.56:687  
Izvorni znanstveni rad

*Između odjevnih predmeta i tijela oblikuju se slojevi mikroklimatskog pojasa koji sadrži zrak i udio znoja isparenog s tijela ispitanika. Zrak mikroklimatskog pojasa utječe na vrijednost toplinske izolacije odjevnih predmeta i sustava. S obzirom na to da ISO 9920:2009 definira ukupnu toplinsku izolaciju odjeće s površine tijela u okoliš, što uključuje svu odjeću, zarobljene slojeve zraka i sloj zraka formiran oko tijela, može se zaključiti kako je suhi prolaz topline s tijela kombinacija otpora koji pruža odjeća i zarobljeni sloj zraka, odnosno topline oslobođene s izložene kože i topline koja prolazi kroz odjeću. Stoga je važno kvantificirati volumen zarobljenog mikroklimatskog sloja zraka. Da bi se istražio volumen mikroklimatskog zračnog pojasa, ispitanici su prvo skenirani beskontaktnom 3D CAD metodom, a potom je provedena ekstrakcija skenova i obrada reverznim modeliranjem pomoću programskog paketa Geomagic Design X. Kada je model obrađen, eksportirao se kako bi se izračunao volumen ili površina tijela pomoću programskog paketa Geomagic Verify.*

**Ključne riječi:** *letačka i nautičarska vjetrovka, 3D CAD sustav za skeniranje, reverzno modeliranje, volumen mikroklimatskog pojasa*

### 1. Uvod

Odjeća je prema definiciji skup odjevnih predmeta ili nešto čime se prekriva tijelo [1]. Odjevni predmet je pojedinačna komponenta odjevnog sustava, čijim nošenjem je pružena zaštita dijelu tijela. Odjevni sustav se sastoji od više odjevnih predmeta, koji istovremeno pokrivaju tijelo (ci-

jelo tijelo osim glave, šaka i stopala), ili jednog odjevnog predmeta poput kombinezona, koji pokriva cijelo tijelo (2). U procesu dizajna odjevnog predmeta treba zadovoljiti više formativnih parametara budućeg odjevnog predmeta. Odjevni predmet se formira u odnosu na svoju namjenu, konstrukcijska rješenja oblikovanja,

odabir osnovnih i pomoćnih materijala, ergonomske faktore, analizu sa stajališta anatomije, fiziologije i psihologije, estetske faktore, tehnologiju proizvodnje, ekonomske i okolišne faktore. Primjerice, okoliši hladne klime nametat će zahtjeve na toplinske i funkcionalne karakteristike odjeće. U takvim okolišima odjevni

predmeti moraju korisniku pružiti adekvatnu toplinsku zaštitu, ali istovremeno i osjećaj udobnosti bez ograničavanja njegovih pokreta.

Pri definiranju planirane pristalosti odjevnih predmeta i adekvatne udobnosti nošenja, u obzir se uzima više parametara poput tjelesnih dimenzija i stava nosioca te dimenzija i drapiranja odjevnog predmeta [3]. Pristalost odjevnog predmeta se temelji na razumijevanju međuodnosa tijela i odjeće. Komocija se postiže dodatkom pri konstrukciji odjevnih predmeta potrebnim za osiguravanje udobnosti, slobode pokreta i određenog stila [4]. Konstrukcijski dodatak za postizanje komocije je definiran kao razlika u volumenu između odjeće i tijela pri promatranom segmentu. Iznos tog dodatka ovisi o vrsti odjevnog predmeta, dizajnu, tjelesnom tipu, funkciji odjevnog predmeta i osobnim sklonostima nosioca.

Odjeća predstavlja barijeru hlađenju isparavanjem i prijelazu topline jer modificira gubitke topline koji se s ljudskog tijela oslobađaju u okoliš [5, 6]. Na brzinu prijelaza topline utječe i izbor tkanina, od kojih je odjevni predmet oblikovan, i mikroklimatski slojevi, koji se formiraju između tijela i odjevnog predmeta [7-10]. Odjeća sprječava oslobađanje topline i vlage s kože tijela te na taj način štiti od djelovanja hladnih i vrućih okoliša [11].

Mnogi su znanstvenici pokušali definirati varijable, koje utječu na raspodjelu, debljinu i volumen zračnih jastuka koji formiraju mikroklimatski sloj ispod odjeće, i njihov utjecaj na toplinski otpor koji odjeća pruža prolasku topline. Veličina i oblik zračnih jastuka, oblikovanih unutar slojeva odjevnih predmeta, definirani su fizičkim karakteristikama tekstilnih materijala, brojem i raspodjelom slojeva odjeće, položajem i držanjem ljudskog tijela, aktivnostima i okolišnim uvjetima.

McCullough i Jones su utvrdili da odjeća smanjuje toplinske gubitke kondukcijom (kondukcija ili vođenje topline jest prijelaz topline između dvaju tijela u dodiru) jer unutar tka-

nine i između slojeva odjeće zarobljava zrak u stanju mirovanja.

Odjeća također sprječava toplinske gubitke konvekcijom (konvekcija ili strujanje jest usmjereno gibanje odnosno strujanje tekućina i plinova, u kojem se topliji fluid giba prema hladnijem i predaje toplinu okolišu) pri oslobađanju topline znojenjem jer predstavlja barijeru strujanjima zraka oko tijela prema okolišu [12]. Vrsta i specifičnost dizajna odjevnog predmeta i izbor tkanina će odrediti pristalost tog odjevnog predmeta u odnosu na tijelo jer će stvoriti nehomogene slojeve zraka različitih debljina ispod odjeće. Osim toga, oko tijela se stvara sloj mirnog zraka koji pruža toplinsku zaštitu tijelu, a njegova se toplinska izolacija drastično smanjuje s povećanjem strujanja.

Na oblik i raspodjelu zračnih jastuka formiranih ispod i unutar slojeva odjeće odjevenih na ljudsko tijelo utječu [13]:

- karakteristike tekstilnih materijala (vrsti i svojstvima vlakana - gustoći, strukturi, finoći, strukturi pređa - uvojitosti, dlakavosti, svojstvima tkanina - površinskoj masi, kompresibilnosti, debljini, zrako-propusnost i dr.),
- obradama tekstilnih materijala (površinske aplikacije i aperture),
- dizajn i stil odjeće (broj slojeva, pristalost, pad i drapiranje, fleksibilnost slojeva, način kopčanja i otvori na odjevnome predmetu) i
- površinska svojstva odjevnog predmeta i geometrija.

Toplinski otpor odjeće je izravno vezan uz pristalost i duljinu odjevnih predmeta i površini tijela koju ti odjevni predmeti pokrivaju. Pristalost odjevnih predmeta utječe na toplinski otpor odjeće jer određuje veličinu i raspodjelu zračnih jastuka unutar slojeva odjeće. Debljina tkanina i raspodjela slojeva tkanina odjevnih predmeta direktno utječe na kombinirane odjevne sustave (odjevni predmet je jedinstveni komad, a odjevni sustav je kombinacija odjevnih predmeta koji se istovremeno odijevaju na ljudsko tijelo) jer povećanje debljine odjevnih sustava doda-

vanjem slojeva, istovremeno povećava površinu s koje se u okoliš oslobađa toplina.

Konfiguracija površine i geometrija odjevnih predmeta su također povezani s pristalosti jer utječu na toplinski otpor koji pruža odjeća. Pristalost utječe na opseg, debljinu i distribuciju zarobljenog zraka jer zračni jastuci koji se formiraju u susjednim slojevima odjeće koja usko pristaje povećavaju toplinski otpor za 5 do 50 % [13]. Volumen zarobljenog zraka se mijenja u ovisnosti o pristalosti odjevnog sustava. Uska odjeća rezultira s 6 do 31% manjim toplinskim otporom u odnosu na odjevne predmete s velikim konstrukcijskim dodatkom komocije [14].

Prosječna debljina mikroklimatskog zračnog jastuka između kože tijela i prvog sloja odjeće je važan faktor u toplinskom prijenosu, a volumen toga zraka služi za procjenu prosječne debljine tog sloja zraka [15]. Kada volumen zraka prijeđe određenu granicu, on postaje neadekvatan izolator jer se pojavljuje prisilna konvekcija unutar zračnog jastuka potaknuta kretnjama tijela, koje stvaraju efekt mijeha (engl. bellows effect) i sprječavaju linearan porast suhog toplinskog otpora [9, 16, 17].

Vrijednost toplinske izolacije bit će u linearnom porastu ukoliko je odsutna bilo koja vrsta konvekcije [8, 9, 17-20]. Vrijednost toplinske izolacije zračnog jastuka raste s širinom tog jastuka do određene granice. U širim zračnim jastucima je izraženiji utjecaj prirodne i prisilne konvekcije [19]. Brzina konvektivnih toplinskih gubitaka uzrokovana je brzinom strujanja zraka i razlikom temperatura između unutarnje i vanjske barijere zračnog jastuka [16-18, 20].

Geometrija zračnih jastuka unutar slojeva odjeće je složena pa je izmjera volumena zraka zarobljenog unutar tih zračnih slojeva otežana. McCullough i Hong su kvantificirali debljinu zračnih slojeva oduzimanjem vrijednosti radijusa vanjskog sloja odjeće od radijusa unutarnjeg sloja odjeće [21]. Drugu metodu procjene debljine i volumena su predlo-

žili Lee i suradnici. Njihova metoda se temelji na uporabi 3D moiré topografije promjene faza [8], ali se ta metoda nije pokazala zadovoljavajućom za precizno izračunavanje niti debljine niti volumena zračnih jastuka nastalih unutar odjeće zbog nabora stvorenih pokretima tijela [22]. Daanen i suradnici su otkrili kako je metoda obrade 3D skeniranja ispitanika odjevenih u testiranu odjeću i naknadna obrada skenova, najpreciznija kako bi se utvrdio volumen zračnih jastuka ispod odjeće [22]. Njihovu su tezu potvrdili i mnogi drugi znanstvenici [8, 9, 23-25] pa je 3D tehnologija skeniranja omogućila precizno izračunavanje mikroklimatskih zračnih slojeva.

U ovome radu je prikazano utvrđivanje ukupnog volumena skeniranog ljudskog tijela i volumena zračnih jastuka nastalih ispod slojeva odjeće na ljudskome tijelu. Primjenom laserskog 3D skenera tijela izvedeno je skeniranje, računalna analiza i antropometrijsko mjerenje tijela za tri ispitanika, istih antropometrijskih karakteristika tijela. Ispitanici su za potrebe istraživanja skenirani 3D laserskim skenerom za snimanje ljudskog tijela Vitus Smart Human Solutions. Na temelju utvrđenih rezultata, izvedena je obrada rezultata skeniranja programskim paketom Geomagic Design X, koji je 3D CAD sustav za dizajn, projektiranje i pripremu za proizvodnju. Iako je 3D tehnologija razvijena u prvom redu za industrijske potrebe izrade prototipova te industriju računalnih igrice, primijenjena je u ovom slučaju za obradu skenova kako bi se osigurala baza izračuna volumena ljudskog tijela i mikroklimatskih pojaseva zraka unutar odjevnih predmeta.

## 2. Eksperimentalni dio

Na temelju prikazanih teorijskih osnova provedeno je istraživanje volumena mikroklimatskog pojasa formiranog ispod odjevnog predmeta, koji utječe na toplinska svojstva muških vjetrovki. Za predviđene eksperimen-

te odabrana su dva modela vjetrovki. Prvi je model letačke vjetrovke namijenjen zaštiti u prohladnom okolišu i konstruiran s različitim iznosom konstrukcijskog dodatka komocije, a drugi model je model nautičarske vjetrovke, konstruiran s različitim iznosom duljine kroja.

Pri skeniranjima, ispitanici su bili odjeveni u odjevne sustave u kojima je završni sloj bila jedna od ispitivanih modela muških vjetrovki, odnosno njihovih varijanti.

U radu je predstavljeno rekonstruiranje podataka dobivenih 3D skenerom u 3D model i obrada izvornih podataka dobivenih skeniranjem pomoću 3D programa. Izvedena je rekonstrukcija podataka dobivenih skeniranjem postupcima ručnog i računalnog modeliranja.

### 2.1. Materijali

Za izradu vanjske školjke letačke i nautičarske vjetrovke odabran je troslojni laminat tvrtke Čateks d.d. (lice 100 % PES (poliester), membrana PTFE (politetrafluoretilen) / PU (poliuretano), naličje 100 % PES (poliester). Laminirana membrana koja čini drugi odnosno srednji sloj laminata je mješavina PTFE i PU, ima tako male pore da ne dopušta prodiranje kapljica vode iz okoliša, ali dopušta prodiranje molekula vodene pare i znoja iz prostora mikroklimatske. PTFE membrane su osjetljive na ulja, znoj i kemikalije iz sredstava za održavanje higijene pa se na PTFE membranu nanosi tanak sloj PU. Membrane imaju bikomponentnu laminatnu strukturu i oleofobni premaz. Pri odabiru materijala od kojih su se izradile letačke i nautičarske vjetrovke, vodilo se, prije svega, računa o unaprijed definiranoj namjeni tih muških vjetrovki. Svi materijali za izradu letačke ili nautičarske vjetrovke morali su biti vjetroodbojni, paropropusni i vodonepropusni. Dvoslojni laminat (lice 100 % PES, membrana 100 % PTFE) pak s druge strane ima veću paropropusnost i dišljivost u odnosu na troslojni laminat, ali je PTFE membrana jako osjetljiva na abrazije i stoga bi

senzori za mjerenje temperature i vlage mikroklimatskog pojasa, mehanički oštetili na naličju laminiranu PTFE membranu. Laminati s ugrađenom PTFE membranom propusniji za prolazak molekula vodene pare i znoja, odnosno zasićenog zraka iz mikroklimatskog pojasa u okoliš. Time takvi laminati pružaju bolji osjećaj termofiziološke ugodnosti nositelju od laminata s PU membranom. S druge pak strane, moralo se voditi računa o toplinskim karakteristikama takvih laminata. Što je veća vrijednost otpora prolasku topline ispitivanog laminata, to su ti laminati veći toplinski izolatori. Međutim, kako je primarna namjena i letačke i nautičarske vjetrovke da pružaju optimalan osjećaj topline u umjerenim klimatskim uvjetima, što znači da takve muške vjetrovke ne moraju pružiti maksimalnu toplinsku zaštitu, birani su laminati s optimalnim stupnjem tzv. dišljivosti i toplinske zaštite. Troslojni laminati su deblji pa imaju bolja izolacijska svojstva od dvoslojnih laminata, ali i manju dišljivost i paropropusnost (ali su stoga neugodniji za nošenje). PU membrana daje bolja izolacijska svojstva od PES i PTFE membrana, ali je PTFE membrana najugodnija za ispitanike jer ima najpogodnija fiziološka svojstva.

Za podstavni materijal je odabrana PES tkanina, kako bi se dobilo dva sloja mikroklimatskog pojasa vjetrovki, i kako bi se povećao toplinski kapacitet (vjetrovka s ugrađenim slojem PES klasične podstave je bolji toplinski izolator od vjetrovke s ugrađenom mrežastom podstavom). S obzirom na to da je opći zahtjev na oba modela vjetrovke bilo svojstvo vodonepropusnosti i vjetroodbojnosti, u skladu s time su se nadovezali zahtjevi na vrste šavova i način spajanja krojnih dijelova. Svi šavovi vanjske školjke moraju također biti vodonepropusni, pa su svi klasični šivani šavovi zavareni PU vodonepropusnim trakama pomoću stroja za toplotno spajanje. Svi su šivani šavovi naslojeni PU trakom za toplotno/ultrazvučno spajanje, kako bi se osi-

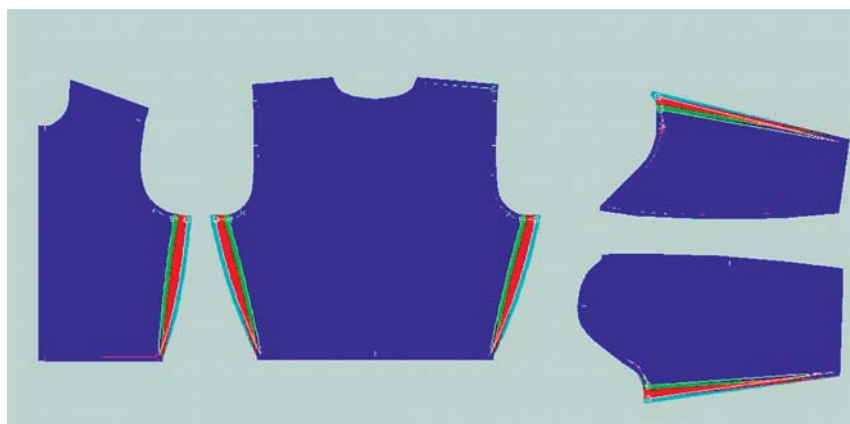
gurala vodonepropusnost šavova. Pri odabiru materijala od kojih su se izradile vjetrovke, vodilo se računa o parametrima koji ti materijali moraju zadovoljiti, kako bi se u kasnijim fazama istraživanja moglo provesti skeniranje tih odjevnih predmeta pomoću 3D skenera. Najbolje rezultate kod skeniranja postiže svjetlo siva nijansa, crvene nijanse i svijetle boje. Što se tiče utjecaja površine, najpogodniji predmeti trebaju imati grubu zrnatu površinsku strukturu, odnosno matiranu površinu kako bi se smanjio utjecaj refleksije prilikom snimanja 3D skenerom. Što je tamnije obojena površina skeniranog objekta i što je površina glađa, to je veća refleksija i manja razlučivost skeniranog oblaka točaka (svjetlucave, metalizirane i staklene površine se teško skeniraju). Provedena je analiza strukturnih parametara materijala od kojih su izrađene ispitivane vjetrovke, odnosno struktura pletiva, tkanina, laminata, debljina materijala, površinska masa, masa, sirovinski sastav te je provedena analiza zrakonepropusnosti. Strukturne i opće karakteristike odabranih materijala odjevni sustav te za izradu testnih uzoraka muških letačkih i nautičarskih vjetrovki prikazane su u tab.1.

## 2.2. Konstrukcija muških vjetrovki

Konstrukcija odjevnih predmeta izvedena je primjenom CAD sustava Lectra Systemes i programskog paketa Modaris [26-28], sl.1 i 2. Izvedena su dva modela muških vjetrovki. Prvi model je letačka vjetrovka izrađena u četiri varijante, koje se međusobno razlikuju u iznosu konstrukcijskog dodatka za komociju koji se je dodao na opseg grudi i opseg struka pri čemu je opseg bokova ostao nepromijenjen u sve četiri varijante modela, sl.1. Drugi izrađeni model je model nautičarske vjetrovke, koji je izrađen kao modularni odjevni predmet kako bi se spajanjem dodatnih modula na bazu modela mogla mijenjati duljina nautičarske vjetrovke, sl.2.

Tab.1 Strukturne i opće karakteristike odabranih materijala za odjevni sustav te testnih uzoraka muških letačkih i nautičarskih vjetrovki

Tekstilni materijal	Površinska masa [kg/m <sup>2</sup> ]	Debljina materijala [mm]	Zrakonepropusnost [l/m <sup>2</sup> s]	R <sub>et</sub> [m <sup>2</sup> K/W], RH=60%	R <sub>ct</sub> [m <sup>2</sup> K/W], RH=60%
Osnovna tkanina u keper vezu	1.89 · 10 <sup>-5</sup>	0.3800	0	9.3767	0.0706
Podstava-PES u platno vezu	0.55 · 10 <sup>-5</sup>	0.0776	121.4	10.0148	0.0677
Pletivo za izradu potkošulja	1.57 · 10 <sup>-5</sup>	0.8636	1895.2	8.6573	0.1151
Pletivo za izradu bokserica	1.34 · 10 <sup>-5</sup>	0.7347	1121.2	7.9647	0.1124
Tkanina za izradu košulja	1.21 · 10 <sup>-5</sup>	0.4557	331.8	7.3747	0.0839
Tkanina za izradu traperica	4.25 · 10 <sup>-5</sup>	1.1287	48.4	11.1716	0.0985



Sl.1 Prikaz modeliranih krojnih dijelova osnovne tkanine varijante modela letačke vjetrovke primjenom CAD sustava Lectra Systemes i programskog paketa Modaris i prikaz razlika u opsegu grudi i struka varijanti modela



Sl.2 Prikaz modeliranih krojnih dijelova osnovne tkanine vanjske školjke modela nautičarske vjetrovke primjenom CAD sustava Lectra Systemes i programskog paketa Modaris

Tab. 2 Mjere varijanti modela letačke i nautičarske vjetrovke u odjevnoj veličini 50

Oznaka modela vjetrovke	Varijanta modela vjetrovke	$O_{p.g.}$	$O_{p.s.}$	$O_{p.d.}$	Duljina kroja	Odjevni sustav
Tijelo odjeveno u bazične odjevne predmete bez vjetrovke						OS 1
MJ 1	letačka	122	188	104	60	OS 2
MJ 2		126	122			OS 3
MJ 3		134	130			OS 4
MJ 4		138	134			OS 5
MJ 5	nautičarska	124	124	124	48	OS 6
MJ 6					68	OS 7
MJ 7					88	OS 8
MJ 8					108	OS 9
MJ 9					128	OS 10

Napomena:  $O_{p.g.}$  – opseg odjavnog predmeta na liniji opsega grudi,  $O_{p.s.}$  – opseg odjavnog predmeta na liniji opsega struka,  $O_{p.d.}$  – opseg odjavnog predmeta na duljini

Prvi model je kratka muška zimska vodonepropusna, vjetroodbojna i paropropusna letačke vjetrovke sa stojećim ovratnikom od pletiva i sportskog kroja (engl. bomber jacket), sl.1. Izrađena je od troslojnog laminata s membranom u crnoj boji. Na prednjicama nema džepova. Rukav je sašiven iz dva dijela. Na duljini rukava je orukvica s pletivom širine 7,5 cm. Kopčanje je s prednje strane s metalnim patentnim zatvaračem i letvicom koja se kopča s druckerima. Na porubu na duljini letačke vjetrovke je također pletivo širine 7,5 cm, a uz patentni zatvarač ima završetke od osnovne tkanine. Unutrašnjost pilotske letačke vjetrovke je podstavljena podstavom od poliesterske tkanine. Model letačke vjetrovke konstruiran je u odjevnoj veličini 50, u skladu s tjelesnim mjerama termalnog manekena, sa četiri različita konstrukcijska dodatka komocije (varijanta 1-MJ 1 ima konstrukcijski dodatak komocije od 22 cm, varijanta 2-MJ 2 ima konstrukcijski dodatak komocije od 26 cm, varijanta 3-MJ 3 ima konstrukcijski dodatak komocije od 34 cm, varijanta 4-MJ 4 ima konstrukcijski dodatak za komociju od 38 cm).

Drugi model je muška nautičarska vjetrovka, koja je vodonepropusna, vjetroodbojna i paropropusna. Model nautičarske vjetrovke je također izrađen je od troslojnog laminata s mem-

branom u crnoj boji, sl.2. Nautičarska vjetrovka se kopča na prednjoj strani patent zatvaračem i čičak trakom. Rukavi su iz dva dijela s našivenom orukvicom i trakom za regulaciju širine koja se kopča utisnutim gumbima (pritiskivačima). Traka na orukvici od osnovnog materijala i služi kao produžetak za regulaciju širine orukvice. U klasično izvedenom stojećem ovratniku sa stražnje strane je prorez koji se zatvara čičak trakom u koji je moguće spremati kapuljaču. Kapuljača se pričvršćuje zatvaračem Nautičarska vjetrovka je izrađena bez džepova s vanjske i unutarnje strane odjavnog predmeta. Na duljini Nautičarske vjetrovke nalaze se čičak trake pomoću kojih se na osnovni modul nautičarske vjetrovke pričvršćuju aplikativni moduli (4 aplikativna modula), kako bi se mijenjala duljina ovog odjavnog predmeta. Izrađena je od jednakih materijala kao i prethodni model.

Računalno je također utvrđena površina svakog pojedinačnog krojnog dijela. Termalni maneken u Zavodu za odjevu tehnologiju je realistični aluminijski odljev muškarca visokog 1,85 m s opsegom grudi 100 cm pa je prema standardima [29-32] temeljna konstrukcija muške letačke i nautičarske vjetrovke, koje su namijenjene ispitivanju toplinskih svojstava izvedena u odjevnoj veličini 50. Prema

tjelesnoj visini i opsegu grudi u skladu s ISO/TR 10652:1991, utvrđeno je kako se treba izvesti konstrukcija za atletski tip građe muškarca, tab.2.

### 2.3. Skeniranje ispitanika i izračun volumena ljudskog tijela

Za izračunavanje volumena zračnog jastuka, odnosno mikroklimatskih slojeva oblikovanih ispod površine odjavnih predmeta na ljudskome tijelu, tri muška ispitanika su skenirana 3D laserskim skenerom za snimanje ljudskog tijela. Skeniranje ljudskog tijela izvedeno je pomoću 3D skenera Vitus smart tvrtke Human Solutions GmbH. To je jedan od prvih laserskih sustava na tržištu za brzo i automatsko 3D mjerenje ljudskog tijela s kratkim vremenom skeniranja od 10 sekundi kojim se utvrđuju antropometrijske mjere i podaci. Takvo optičko skeniranje je posve sigurno za ljudsko zdravlje.

3D skeniranje se koristi u ergonomiji pri projektiranju radnih mjesta i studiju rada, u medicini za analizu tjelesnog stava, utvrđivanju tjelesnih deformiteta i pri antropometrijskim mjerenjima, u sportskim i biomehaničkim ispitivanjima pri utvrđivanju programa treninga i sportskih performansi, pri izradi odjeće po mjeri, 3D printanju, digitalnoj animaciji ljudskog tijela i triangulaciji (engl. light-section method) [33].

Dakle, 3D skeniranje je automatsko i računalno određivanje mjera objekata na virtualnom modelu tijela. U odjevnoj industriji njime se određuju tjelesne mjere ljudskog tijela. Kada su utvrđene tjelesne mjere, može se pristupi definiranju modela odjavnog predmeta (opcije kroja modela u skladu s utvrđenim tjelesnim mjerama i modelu tijela, materijali za njegovu izradu i detalji odjavnog predmeta). 3D skeneri su sustavi koji omogućavaju informacije o površini i obliku snimanog objekta primjenom lasera i CCD senzora [33].

VITUS smart 3D body scanner omogućuje dobivanje 3D oblika ljudskog

tijela u skladu s normom DIN EN ISO 20685. 8 senzorskih glava omogućava skeniranje tijela u 360 stupnjeva. Volumen kubičnog skeniranja ovog iznosi 2100 mm za visinu, 1000 mm u dubinu i 1200 mm za širinu. Ispitanik se snimi za manje od 12 sekundi. Mjerno načelo je već spomenuta optička triangulacija pomoću laserskog svjetla i razlučivošću od 27 pts/cm<sup>2</sup>. Kod laserskih skenera se parametar kojim se opisuje razlučivost, odnosno gustoća točaka skenirane površine ili gustoća točaka oblaka pri triangulaciji (engl. surface density parameter) izražava jedinicom broj točaka po kvadratnom centimetru, tj. pts/cm<sup>2</sup>. Ovaj tip skenera može eksportirati snimke u .ASCII, .obj, .stl, .dxf i Openinventor formatu [34]. Tijelo je predstavljeno oblakom točaka u X, Y, Z koordinatnom sustavu. Optičkom triangulacijskom metodom se računaju koordinate točaka. Triangulacijska metoda se koristi kako bi se izmjerila visina duž linije projiciranog laserskog svijetla. S tim u skladu se projicira linija iz izvora svjetlosti na mjereni objekt. Kamere se usmjeravaju na projiciranu liniju iz različitih kutova i rezultati projekcije linije na objekt se pohranjuju kao profil visine. Pomicanjem linije na objekt stvara trodimenzionalnu sliku. Laser, kamera i laserska projekcija u obliku točke na objektu zajedno čine trokut. Laserski snop se projicira na objekt, a kamera bilježi njegovu projekciju. Kamera bilježi projekciju laserske točke na objekt i mjeri vrijeme koje je trebalo laserskoj zruci da dostigne objekt i projicira se na senzor kamere. Izvor svjetlosti je laserski, a snima se pomoću 8 kamera koje detektiraju teksturu površine [35]. 3D skeniranje je beskontaktna metoda mjerenja tjelesnih dimenzija. Tekstura se obrađuje posebnim programskim paketom Anthroscan i konvertira u 3D izmjerene vrijednosti tijela. Objekt se osvjetljava laserskim izvorom svjetlosti i skenira mehaničkim pokretanjem izvora svjetlosti. Potom CCD kamere detektiraju reflektiranu svjetlost s objekta. Nakon toga se bi-

lježe odmaci od strukturiranih svjetlosnih uzoraka i na temelju njih se izračunava udaljenost od snimanog objekta do CCD kamera. Potom programski paket pretvara učitane udaljenosti u trodimenzionalnu aproksimaciju snimanog objekta [36]. CCD (engl. Charge - Coupled Device) je senzor u digitalnim kamerama otkriven 1970-ih godina. CCD je poluprovodnički memorijski element u kojem se električno opterećenje kreće po površini objekta i predstavlja senzor kod kojeg se svjetlo usmjerava na fotoosjetljivi, poluvodički element, fotodetektor.

Izrada 3D modela provedena je 3D CAD programskim paketom Geomagic Design X. Provedeno je za ručno i globalno spajanje segmenta skeniranih objekata, prenesenih u .obj formatu, na bazi ključnih točaka modela. 3D modeliranje označava proces koji razvija matematičku reprezentaciju trodimenzionalnog prostora pomoću programske podrške, odnosno omogućuje stvaranje imaginarnih 3D objekata.

Najpoznatiji načini računalnog oblikovanja 3D modela su [37]:

- modeliranje poligonima,
- modeliranje krivuljama,
- digitalno kiparstvo i
- skeniranje stvarnih objekata.

Fizički objekt se reverznim modeliranjem kroz proces 3D digitalizacije prevodi u CAD model. Postupkom 3D skeniranja dobiva se digitalni zapis prostornih točaka, tzv. oblak točaka skeniranoga objekta. Oblak točaka mora se filtrirati za potrebe daljnje obrade modela pri čemu se prvo generira .obj datoteka. Takva izrada CAD modela obuhvaća cijeli niz tehnika pomoću kojih se oblikuju trodimenzionalni modeli složenih oblika korištenjem CAD programskih paketa, u ovom slučaju Geomagic Design X. Takav model se iz programa konvertira u .obj datoteku, koja je jedan od standardnih formata koji se koristi za brzu izradu prototipa, a sastoji se od trodimenzionalne površine, odnosno skupa planarnih poligona.

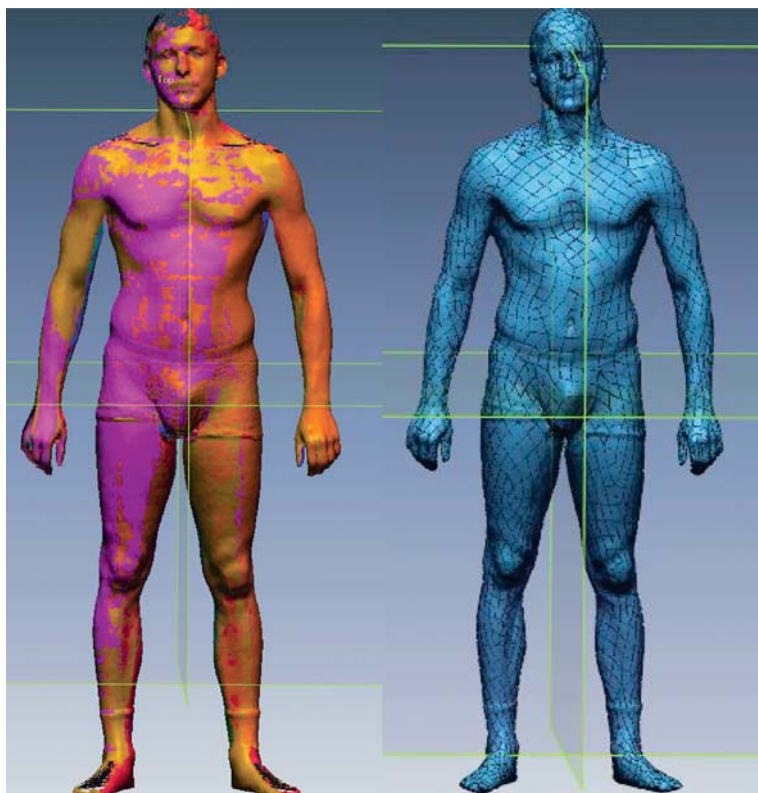
Proces modeliranja započinje obradom grešaka u obliku otvorenih pro-

stora mreže poligona nastalih tijekom procesa skeniranja i eventualnim smanjivanjem broja točaka u oblaku. Površinski model skeniranog objekta nastaje pretvaranjem 3D oblaka točaka u mrežu poligona, pa obradom do površinskog modela. Skenirani objekti se moraju registrirati, odnosno smjestiti u pravilan položaj u koordinatnom sustavu.

Potom slijedi prvi važni korak obrade skena kako bi se stvorio realističan model, a to je reverzno modeliranje. S obzirom na to da skenirani objekti, u ovome slučaju skenirano odjeveno ljudsko tijelo, imaju složenu geometriju, obrada površinskih detalja, modeliranje mreže i rekonstrukcija modela su izvedeni manualnom obradama kroz faze. Importirani .obj formati skeniranih tijela su obrađeni manualno u četiri faze. Prvo je provedena faza zatvaranja rupa i grešaka. Druga faza je obnavljanje područja koji nedostaju. Treća faza je ponovna izgradnja mreže poligona i obnavljanje oplošja modela, a u četvrtoj se fazi doraduje površina modela. Po završetku procesa interaktivnog manualnog modeliranja, skenovi se automatski završavaju biranjem opcije automatske konstrukcije mreže, tzv. *the mesh build-up wizard*, koja je omogućena programskim paketom Geomagic Design X.

Na sl.3 je prikazan neobrađeni sken s lijeve strane i rekonstruirani model odjevenog ljudskog tijela s desne strane.

Iako su prijašnje studije drugih autora predlagale skeniranje nepomičnog termalnog manekena kako bi se osiguralo precizno skeniranje bez grešaka nastalih uslijed pomicanja objekta skeniranja [23, 38-41], u ovome radu su skenirani ljudski ispitanici. Eventualne pogreške uslijed pomicanja ispitanika su smanjene na način da su ispitanici uvijek skenirani u istom položaju. Na podnožju za skeniranje označena je pozicija stopala, a ispitanici su zadržali isti uspravan položaj tijekom provođenja skeniranja s rukama položenim uz tijelo. Tijekom skeniranja ispitanici su zadržali dah



Sl.3 Prikaz neobrađenog skena (lijevo) i rekonstruiranog modela (desno) odjevenog ljudskog tijela obradom u programskom paketu Geomagic Design X

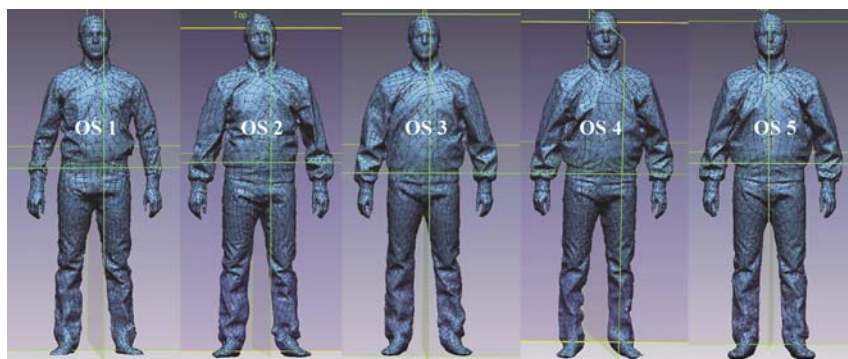
složene geometrije. Nakon manualne rekonstrukcije skenova manualno kroz prethodno opisane faze, pristupilo se izračunu volumena i površine skeniranih objekata programskim paketom Geomagic Verify.

Tri pojedinačna skena svakog od tri skenirana ispitanika odjevena u odabrane odjevne sustave, importirana su u programski paket Geomagic Design X. Za nastavak njihove obrade, tri pojedinačna skena su prvotno poravnana u isti položaj primjenom odgovarajućih karakterističnih točaka. Nakon poravnavanja, skenovi su kombinirani u jedinstvenu mrežu, pri čemu valja zapamtiti kako se svaki sken sastoji od osam pojedinačnih mreža pa se novi sken nastao kombiniranjem tri prethodna skena sastoji od ukupno 24 mreže poligona. Potom se je pristupilo obradi i rekonstruiranju skena kako ni se izradio 3D model odjevenog ljudskog tijela. Odjevni sustav OS 1 predstavlja ljudsko tijelo skenirano u uskom donjem

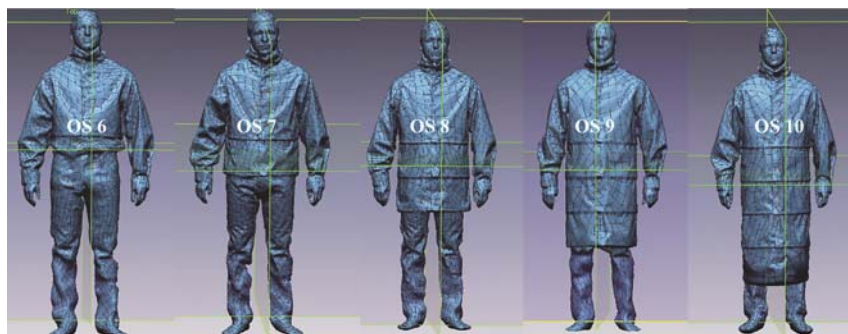
kako bi se izbjegle pogreške uslijed promjena obujma prsnog koša tijekom disanja. Ispitanici su prvo skenirani u uskom donjem rublju, a potom odjeveni u predviđene odjevne sustave, upotpunjene izrađenim letačke vjetrovke. Ekstrakcija i obrada skenova provedena je pomoću programskog paketa Geomagic Design X. Kada je model obrađen, eksportirao se kako bi se izračunali volumen ili površina tijela pomoću programskog paketa Geomagic Verify.

### 3. Rezultati i rasprava

Svaki se obrađeni sken sastoji od osam skeniranih mreža koje se poravnaju u koordinatnom sustavu i spajaju u jedinstvenu mrežu poligona. Iako programski paket Geomagic Design X ima mogućnost automatskog čišćenja oblaka točaka, analize mreže poligona i popravka skena, gotovo je nemoguće automatski izvršiti ponovnu izgradnju mreže skeniranih ljudskih tijela odjevenih u odabrane odjevne sustave zbog njihove



Sl.4 Rekonstruirani modeli ljudskog tijela odjeveni u odjevne sustave OS 1 do OS 5 pri čemu su sustavi OS 2 do OS 5 dobiveni kombiniranjem varijante modela letačke vjetrovke



Sl.5 Rekonstruirani modeli ljudskog tijela odjeveni u odjevne sustave OS 1 do OS 5 pri čemu su sustavi OS 6 do OS 10 dobiveni kombiniranjem varijante modela nautičarske vjetrovke

Tab.3 Izračun ukupnog volumena i površine rekonstruiranih modela odjevenog ljudskog tijela

Skenirani model	Statistika	Volumen $\bar{V}_{OS}$ [dm <sup>3</sup> ]	Površina $\bar{A}_{OS}$ [m <sup>2</sup> ]
Tijelo	Srednja vrijednost	78,58	1,95
	Standardna devijacija	0,0205	0,0094
Tijelo odjeveno u OS 1	Srednja vrijednost	97,83	2,26
	Standardna devijacija	0,0544	0,0125
Tijelo odjeveno u OS 2	Srednja vrijednost	109,34	2,32
	Standardna devijacija	0,0321	0,0102
Tijelo odjeveno u OS 3	Srednja vrijednost	111,39	2,36
	Standardna devijacija	0,0267	0,0055
Tijelo odjeveno u OS 4	Srednja vrijednost	112,15	2,40
	Standardna devijacija	0,0163	0,0125
Tijelo odjeveno u OS 5	Srednja vrijednost	112,69	2,43
	Standardna devijacija	0,0090	0,0060
Tijelo odjeveno u OS 6	Srednja vrijednost	113,28	2,46
	Standardna devijacija	0,0044	0,0125
Tijelo odjeveno u OS 7	Srednja vrijednost	124,05	2,50
	Standardna devijacija	0,0083	0,0047
Tijelo odjeveno u OS 8	Srednja vrijednost	131,63	2,57
	Standardna devijacija	0,0047	0,0125
Tijelo odjeveno u OS 9	Srednja vrijednost	151,59	2,58
	Standardna devijacija	0,0086	0,0047
Tijelo odjeveno u OS 10	Srednja vrijednost	175,67	2,76
	Standardna devijacija	0,0213	0,0097

Tab.4 Izračun mikroklimatskog volumena zraka odabranih odjevni sustava ( $V_{MS}$ ) i vjetrovki ( $V_{MJ}$ )

Oznaka modela vjetrovke	$V_{MJ}$ [dm <sup>3</sup> ]	Odjevni sustav	$V_{MS}$ [dm <sup>3</sup> ]
-	-	OS 1	19,25
MJ 1	11,51	OS 2	30,76
MJ 2	13,56	OS 3	32,81
MJ 3	14,32	OS 4	33,57
MJ 4	14,86	OS 5	34,11
MJ 5	15,45	OS 6	34,70
MJ 6	26,22	OS 7	45,47
MJ 7	33,80	OS 8	53,05
MJ 8	53,76	OS 9	73,01
MJ 9	77,84	OS 10	97,09

rublju, odjevni sustavi OS 2 do OS 5 su odjevni sustavi u kojima su se bazni odjevni predmeti (donje rublje, traperice, muška košulja) kombinirali odijevanjem jedne od varijanti modela letačke vjetrovke, dok odjevni sustavi OS 6 do OS 10 predstavljaju

odjevne sustave upotpunjene jednom od varijanti modela nautičarske vjetrovke, sl.4 i 5.

Volumen i površina obrađenih modela izračunati su programskim paketom Geomagic Verify, što je prikazano u tab.3.

U tab.4 je također prikazan iznos volumena mikroklimatskog pojasa ispunjenog zrakom koji je dobiven oduzimanjem volumena vanjskog oplošja modela ljudskog tijela odjevenog u jedan od modela vjetrovke, kao gornji odjevni predmet, od volumena oplošja modela ljudskog tijela odjevenog u donji sloj odjeće (bazni odjevni predmeti).

Povećanje iznosa konstrukcijskog dodatka komocije između varijanti modela letačke vjetrovke uzrokovalo je istovremeno povećanje volumena zraka zarobljenog u mikroklimatskom pojasu. Povećanje volumena zarobljenog zraka također je uzrokovano povećanjem duljine odjevnog predmeta, što je vidljivo obradom

rezultata varijanti drugog modela nautičarske vjetrovke.

#### 4. Zaključak

U radu je prikazan postupak obrade skenova, reverznog modeliranja skeniranih subjekata i izračun volumena mikroklimatskog pojasa. Zrak mikroklimatskog pojasa, koji se oblikuje između slojeva odjevnih predmeta formirajući odjevne sustave, utječe na vrijednost toplinske izolacije odjevnih predmeta i sustava. No izračun volumena zraka zarobljenog u mikroklimatskom pojasu, predstavlja težak zadatak zbog složene geometrije ljudskoga tijela i odjeće koja na tijelu formira mnogo nepravilnih nabora. Kako bi se izračunao ukupni volumen odjevenoga tijela i zraka zarobljenog unutar mikroklimatsko pojasa, primijenjena je beskontaktna metoda 3D skeniranja ispitnika uz obradu skenova i proračun volumena 3D CAD sustavima za obradu. Tri su ispitnika prvo skenirana 3D laserskim skenerom za snimanje ljudskog tijela Vitus Smart Human Solutions, a potom je provedena ekstrakcija skenova i obrada reverznim modeliranjem pomoću programskog paketa Geomagic Design X. Kada je model obrađen, eksportirao se kako bi se izračunao volumen ili površina tijela pomoću programskog paketa Geomagic Verify.

#### Literatura:

- [1] Collins English dictionary. 12th edition, HarperCollins Publishers Ltd., United Kingdom, 2014, ISBN 9780007522743
- [2] ISO 14058:2004 Protective clothing - Garment for protection against cool environments. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [3] Ashdown S., Dunne L.: A study of automated custom fit: readiness of the technology for the apparel industry, *Clothing and Textiles Research Journal*, 24 (2006) 2, 121-136, ISSN 0887-302X
- [4] Sohn M.: Analysis of Upper Body Measurement Change Using Motion Capture. Doktorska disert-



- acija, Minnesota, United States of America: University of Minnesota, 2012
- [5] Havenith G.: Heat balance when wearing protective clothing, *Annals of occupational hygiene* **43** (1999) 5, 289-296
- [6] Improving comfort in clothing, Song G. (Eds.), Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, United Kingdom, 2011, ISBN 9781845695392
- [7] Advances in the dyeing and finishing of technical textiles, Woodhead Publishing Series in Textiles: No. 138. Gulrajani, M. L. (Eds.), Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, 2013, ISBN 978085709339
- [8] Lee Y., Hong K. & Hong, S. - A.: 3D quantification of microclimate volume in layered clothing for the prediction of clothing insulation, *Applied Ergonomics* **38** (2007) 349-355
- [9] Zhang Z., Li J.: Volume of Air Gaps under Clothing and Its Related Thermal Effects. *Journal of Fiber Bioengineering & Informatics* **4** (2011) 2, 137-144
- [10] Zhang Z. - H., Wang Y., Li J.: Model for Predicting the Effect of an Air Gap on the Heat Transfer of a Clothed Human Body, *Fibres & Textiles in Eastern Europe* **19** (2011) 4-87, 105-110
- [11] Havenith G.: Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress, In: *Extreme Weather Events and Public Health Responses*. Kirch, W., Mennne, B. and Bertollini, R. (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005, 69-80, ISBN: 9783540244172
- [12] McCullough E.A., Jones B.W.: Moisture permeability of clothing system, *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Ergonomics*, Helsinki, Finland, 8-12 August 1988, R. Ilmarinen R., Pasche, A. (Eds.), 65
- [13] Wilson C.A., Laing R.M., Carr D.J.: Air and Air Spaces - the Invisible Addition to Thermal Resistance, *Journal of the Human-Environmental System* **5** (2002) 2, 69-77
- [14] Havenith G., Heus R., Lotens W.A.: Resultant clothing insulation: A function of body movement, posture, wind, clothing fit and ensemble thickness. *Ergonomics*, **33** (1990) 1, 67-84
- [15] Taya Y., Ohno S., Mihira K.: Measurements of the Clothing Microclimate Volumes (Part I) - A Method of Measurement of Clothing Microclimate Volumes and Its Evaluation, *Journal of Home Economics of Japan* **33** (1982) 7, 374-379, DOI: <http://doi.org/10.11428/jhej1951.33.37>
- [16] Clark R.P., de Calcina-Goff M.L.: Some aspects of the airborne transmission of infection, *Journal of the Royal Society Interface*, **6** (2009) 6, 767-782
- [17] Mert E., Psikuta A., Bueno M. - A., Rossi R. M.: Effect of heterogeneous and homogenous air gaps on dry heat loss through the garment, *International Journal of Biometeorology*, **59** (2015), 1701-1710, DOI: 10.1007/s00484-015-0978-x
- [18] Mert E., Böhnisch S., Psikuta A., Bueno M. - A.: Determination of the Air Gap Thickness underneath the Garment for Lower Body Using 3D Body Scanning. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, Homotrica Consulting, Lugano, Switzerland, D'Apuzzo, N. (Eds.), 2015, 114-119
- [19] Spencer - Smith J. L.: The physical basis of clothing comfort, part 2: Heat transfer through dry clothing assemblies. *Clothing Research Journal*, **5** (1977) 1, 3-17
- [20] Li J., Zhang Z., Wang Y.: The relationship between air gap sizes and clothing heat transfer performance, *The Journal of the Textile Institute* **104** (2013) 12, 1327-1336, DOI: 10.1080/00405000.2013.802080
- [21] McCullough E.A., Hong, S.: A data base for determining the decrease in clothing insulation due to body motion, *ASHRAE Transactions* **100** (1994), 765-775
- [22] Daanen H., Hatcher K., Havenith G.: Determination of clothing microclimate volume, *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Ergonomics*, Environmental Ergonomics X, Fukuoka, Japan (2002) 665-668
- [23] Psikuta A., Frackiewicz-Kaczmarek J., Frydrych I., Rossi R.: Quantitative evaluation of air gap thickness and contact area between body and garment, *Textile Research Journal* **82** (2012) 14, 1405-1413
- [24] Daanen H.A.M., Psikuta A.: 3D body scanning, poglavlje 10, *Automation in Garment Manufacturing*, A volume in The Textile Institute Book Series. 1<sup>st</sup> edition, Nayak R., Padhye, R. (Eds.), Elsevier Ltd., 2018, ISBN: 978-0-08-101211-6
- [25] Carfagna M., Furferia R., Governia L., Servia M., Ucheddua F., Volpea Y., Mcgreevy K.: Fast and low cost acquisition and reconstruction system for human hand-wrist-arm anatomy, *Procedia Manufacturing*, **11** (2017), 1600-1608
- [26] Scott M.: Pattern cutting for clothing using CAD, *How to use Lectra Modaris pattern cutting software*. Sawston, Cambridge, United Kingdom: The Textile Institute and Woodhead Publishing. 2012. ISBN 9780857092311
- [27] Petrak S., Rogale D.: Systematic representation and application of a 3D computer aided garment construction method, Part I, *International Journal of Clothing Science and Technology* **18** (2006) 3, 179-187, ISSN 0955-6222
- [28] Petrak S., Rogale D.: Računalna 3D konstrukcija odjeće, *Zbornik radova 1. znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo 2008*. Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska, 2008. 195-198, ISBN 9789537105235
- [29] ISO 13402-1:2008 Size designation of clothes-Part 1: Terms, definitions and body measurement procedure. ISO-International Organization for Standardization. 2008
- [30] ISO 13402-2:2002 Size designation of clothes-Part 2: Primary and secondary dimensions. ISO-International Organization for Standardization. 2002
- [31] ISO 13402-3:2004 Size designation of Clothes, Part 3: Measurements and intervals. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [32] ISO/TR 10652:1991 Technical report: Standard sizing system for clothes, 1st ed. ISO-International Organization for Standardization. 1991

- [33] Petrak S.: Metoda 3D konstrukcije odjeće i modeli transformacija krojnih dijelova, doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, svibanj 2007, UDK: 687.016
- [34] VITUS smart XXL 3D-body scanner technical data sheet, VITRONIC GmbH
- [35] Petrak S.: Metoda 3D konstrukcije odjeće i modeli transformacija krojnih dijelova, doktorska disertacija, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 2007
- [36] Hwang S.: Three dimensional body scanning systems with potential for use in the apparel industry, NCSU, Raleigh, 2001
- [37] Petrak S., Mhanić-Naglić M.: 3D flattening - mogućnosti primjene u odjevnoj, obućarskoj, automobilskoj i industriji namještaja, Dan znanstveno - istraživačkog centra za tekstil Tehnički muzej, Zagreb, 20. rujna 2016.
- [38] Frackiewicz-Kaczmarek J., Psikuta A., Bueno M.A., Rossi, R.M.: Effect of garment properties on air gap thickness and the contact area distribution, *Textile Research Journal* 85 (2014) 18, 1907-1918
- [39] Frackiewicz-Kaczmarek J., Psikuta A., Bueno M. A., Rossi, R.M.: Air gap thickness and contact area in undershirts with various moisture contents: influence of garment fit, fabric structure and fiber composition, *Textile Research Journal* 85 (2014) 20, 2196-2207
- [40] Mert E., Böhnisch S., Psikuta A., Bueno M. A., Rossi, R.: Contribution of garment fit and style to thermal comfort at lower body, *International Journal of Biometeorology* 60 (2016) 12, 1995-2004, DOI:10.1007/s00484-016-1258-0
- [41] Mert E., Psikuta A., Bueno M.A., Rossi, R.: The effect of body postures on the distribution of air gap thickness and contact area *International Journal of Biometeorology*, 61 (2017) 2, 363-375, DOI: 10.1007/s00484-016-1217-9

## SUMMARY

### Determining the volume of the human body and microclimatic air layers by 3D CAD scanning technology

*I. Špelić, D. Rogale, A. Mihelić Bogdanić\*, S Petrak*

Between the clothing garments and the human body, the microclimatic layers are formed, which hold air and portion of sweat evaporated from the examinee's body. The air inside the microclimatic layer affect the thermal insulation value of the clothing garments and ensembles. Since ISO 9920:2009 defines the total clothing insulation as a thermal insulation from the body surface to an environment, including all the clothing, the enclosed air layers and the boundary air layer, formed around the body, it can be concluded that the dry heat loss from the body is a combination of both the resistance provided by the clothing and from the entrapped microclimatic air, apropos the heat transferred by the exposed skin and the heat passing through the clothing. It is thus important to quantify the volume of the enclosed microclimatic air layer. In order to investigate the volume of the microclimatic air layer, the examinees were initially scanned by the use of non-contact 3D CAD method, and afterwards scans extraction and the scanned data processing was performed by reverse modelling with a Geomagic Design X software. Once the model was processed, a volume or an area measurements of the scans were determined by a Geomagic Verify software

**Key words:** male jacket, 3D CAD scanning system, reverse modelling, the volume of the microclimatic air layer

*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology*

*Department of clothing technology*

*\*Department of basic, natural and technical sciences*

*Zagreb, Croatia*

*e-mail:ispelic@ttf.hr*

*Received May 2, 2017*

### Bestimmung des Volumens des menschlichen Körpers und mikroklimatischer Luftschichten durch 3D-CAD-Scanning-Technologie

Zwischen den Kleidungsstücken und dem menschlichen Körper bilden sich mikroklimatische Schichten, die Luft und aus dem Körper der Testperson verdunsteten Schweiß enthalten. Die Luft innerhalb der mikroklimatischen Schicht beeinflusst den Wärmedämmwert der Kleidungsstücke und Ensembles. Da ISO 9920 2009 die gesamte Bekleidungsisolierung als Wärmeisolierung von der Körperoberfläche in eine Umgebung einschließlich aller Kleidungsstücke, der eingeschlossenen Luftschichten und der um den Körper herum gebildeten Grenzluftschicht definiert, kann man daraus schließen, dass der trockene Wärmedurchgang aus dem Körper eine Kombination aus dem Widerstand der Kleidung und der eingeschlossenen Luft ist, bzw. die Wärme übertragen von der freiliegenden Haut und der durch die Kleidung fließenden Wärme. Es ist daher wichtig, das Volumen der eingeschlossenen mikroklimatischen Luftschicht zu quantifizieren. Um das Volumen der mikroklimatischen Luftschicht zu untersuchen, wurden die Testpersonen anfänglich unter Verwendung einer kontaktlosen 3D-CAD-Methode gescannt und anschließend wurden die Extraktion von Scans und die gescannte Datenverarbeitung durch Reverse-Modellierung mit einer Geomagic Design X-Software durchgeführt. Nachdem das Modell verarbeitet wurde, wurden Volumen- oder Flächenmessungen der Scans durch eine Geomagic Verify-Software ermittelt.