

Pregled mjernih metoda i međunarodnih normi na području mjerenja topline okoliša, toplinskih karakteristika odjevnih sustava i predviđanja toplinske ugodnosti ispitnika

Dr.sc. **Ivana Špelić**, dipl.ing.
Prof.dr.sc. **Dubravko Rogale**, dipl.ing.
Prof.dr.sc. **Alka Mihelić Bogdanić**, 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
Prispjelo 7.1.2016.

UDK 677.017.56:389.6
Pregled

Kontinuirani razvoj novih pojmova, materijala, mjernih instrumenata i mjernih metoda zahtjeva i uvođenje unificiranih specifikacija i definiranje normi, kako bi se uspostavio jasan sustav kontrole kvalitete, što proizvodnih postupaka, što testnih metoda. U području mjerenja toplinskih karakteristika okoliša, odjevnih predmeta i odjevnih sustava te termofiziologije ljudskog tijela, najznačajnije norme izdaju međunarodne organizacije ASTM International i ISO, a priručnike ASHRAE. Tim se normama definiraju izolacijske karakteristike različitih materijala, odjevnih predmeta i sustava, otpornost prolasku vodene pare i topline, mjerni uređaji i protokol ispitivanja, uvjeti pri testiranjima, indeks toplinske ugodnosti, odnosno toplinskog stresa, okoliši i interpretacija rezultata ispitivanja. Norme s područja ergonomije toplinskih okoliša definiraju parametre i mjerne metode, koji utječu na ljudsku termoregulaciju u nekom specifičnom okolišu, a druge norme opisuju kako se na temelju tih parametara može predvidjeti stupanj toplinske zaštite, odnosno toplinska ugodnost ili neugodnost te zdravstveni rizik kojemu ljudski subjekt može biti izložen u određenom okolišu.

Ključne riječi: međunarodne organizacije za normizaciju, norme, mjerne metode, toplinske karakteristike okoliša, odjevnih predmeta i sustava, toplinska ugodnost ispitnika

1. Uvod

Razvoj normi i unifikacija testnih metoda je od ključnog značaja za globalizaciju tržišta jer omogućuje jedinstvenu primjenu diljem svijeta i umrežavanje različitih proizvođača. Informacije, zahtjevi i kontrola kvalitete objašnjena u međunarodnim normama omogućuje primjenu za specifične segmente tržišta i osigura-

vanje potreba potrošača u različitim dijelovima svijeta. Norme omogućuju uspostavu jedinstvenih opće-prihvaćenih smjernica, metoda i pravila kojima se definiraju zahtjevi na proizvodne postupke, kontrolu kvalitete i same proizvode.

Međunarodne organizacije za normizaciju su ASTM, ISO i ASHRAE. ASTM (akronim engl. *American Society for Testing and Materials*) je

međunarodno priznata organizacija Američkog društva za testiranje i materijale. Zajedno s ISO međunarodnom organizacijom (engl. *International Standard Organization*), ovo je udruženje danas jedno od najznačajnijih generatora suvremenih normi za ispitivanje, iako se niti jedno od spomenutih međunarodnih udruženja ne bavi provođenjem samih ispitivanja. ASHRAE udruženje (engl. *The*

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning) se u prvom redu bavi poboljšanjima na području energetske učinkovitosti, kvalitetom zraka u interijerima, održivosti u industriji i građevinskim sustavima. U današnje vrijeme se, zahvaljujući radu ovih udruženja, koristi oko 12 000 ASTM normi, 19 500 ISO norme i nekoliko redovitih publikacija ASHRAE udruženja [1].

Razdoblje industrijske revolucije donosi razvoj novih materijala i potreba za uvođenjem jasnih specifikacija, a time i uspostavljanje normi. Vrijeme je to pojave novih materijala i njihove primjene u tehnološkom napretku. Paralelno s uvođenjem tih novih materijala i tehnika, javlja se i potreba proizvođača da uspostave jasan sustav kontrole kvalitete, kako bi se spriječile eventualne primjene neprikladnih sirovina. U tom se razdoblju javljaju prvi detaljniji dokumenti sa specifikacijama materijala i sirovina na američkom tlu te oprema kojom bi se ta kvaliteta utvrdila, unatoč otporu koji je pružala američka javnost.

C. B. Dudley prvi je pokrenuo inicijativu testiranja sirovina namijenjenih izgradnji američkih željeznica i izdavanja standardiziranih specifikacija. Prvi veliki izvještaj je objavio 1878. godine pod naslovom *Kemijski sastav i fizička svojstva tračnica izrađenih od čelika* (engl. *The Chemical Composition and Physical Properties of Steel Rails*) u kojemu je analizirana trajnost različitih čelika. U svojem je radu nastavio provoditi ideju o suradnji proizvođača sirovina i prerađivača u stvaranju jedinstvenog sustava vrednovanja kvalitete, što je rezultiralo osnivanjem organizacije ASTM 1898. godine. Time ASTM postaje prva organizacija za normizaciju u svijetu.

2. Međunarodne organizacije za normizaciju

20. stoljeće obilježeno je ubrzanim razvojem i primjenom novih materijala, metoda njihova ispitivanja i tehnološkim napretkom. Istovremeno se

razvija ideja o potrebi uvođenja jasne kontrole kvalitete i sirovina i mjernih postupaka pa se razvijaju prvi detaljniji dokumenti sa specifikacijama materijala i sirovina. Prethodno spomenute međunarodne organizacije za normizaciju su opisane u članku. One su generatori suvremenih normi kojima se definiraju jasne smjernice u razvoju mjernih metoda i karakteristika sirovina. Norme s područja ergonomije toplinskih okoliša definiraju parametre i mjerne metode, koji utječu na ljudsku termoregulaciju, postupke predviđanja stupnja toplinske zaštite te minimalne zahtjeve kvalitete proizvoda za zaštitu od ekstremnih temperatura i uvjeta okoliša. Jasan sustav kontrole kvalitete primarni je zahtjev koji za cilj ima zaštitu potrošača, a proizvođačima daje jasne smjernice pri kreiranju novih proizvoda i provođenju njihova testiranja.

2.1. ASTM International organizacija

Glavna zadaća ove organizacije bila je stvaranje jedinstvenih normi za vrednovanje kvalitete i sirovina i gotovih proizvoda. S obzirom na negativna iskustva pri pokušaju uvođenja jedinstvenog sustava kvalitete i normizacije, C. B. Dudley je predložio uvođenje sustava tehničkih odbora. Takav bi sustav formirali predstavnici svih glavnih strana, a na forumima bi se izlagalo i diskutiralo o svim aspektima specifikiranja i metodama ispitivanja pri kontroli kvalitete određenog materijala. Cilj je bio postići većinsku odluku donesenu zajedničkim snagama, kako proizvođača sirovina tako i prerađivača, dakle i Američke željeznice. Takav je način pregovora postao osnova rada kasnije osnovanog društva IATM (engl. *International Association for Testing Materials*), odnosno *Međunarodnog društva za ispitivanje materijala* i današnje ASTM međunarodne organizacije.

Tehnički odbor američkog odjela IATM-a izradio je 1901. godine prvu standardiziranu specifikaciju za čelik

koji se je koristio u visokogradnji pod nazivom *Strukturni čelik za mostove* (engl. *Structural Steel for Bridges*). Ta je norma kasnije klasificirana kao ASTM-ova standardna specifikacija A7. Konačan naziv organizacije ASTM utvrđen je godine 1902. godine. Paralelno s radom ove organizacije federalna je vlada Amerike 1901. godine pokušala osnovati organizaciju NBS ili *Nacionalni ured za norme* (engl. *National Bureau of Standards*). Osnivanje te organizacije naišlo je na veliki otpor američkih proizvođača i inženjera koji su se protivili vladinom prijedlogu, da po uzoru na Europske zemlje, osnuje tijelo koje bi nametalo zakone, norme i ograničenja industriji. Takva se odluka pokazala krucijalnom pri osnivanju demokratskog američkog načina razvoja normi i kontrole kvalitete. Kako su tekle godine, tako se mijenjala i gospodarska klima Sjedinjenih Američkih Država. Na prijelazu stoljeća porastao je broj novih članskih tijela potaknut uvođenjem novih sirovina poput cementa, gline, itd. 1910. godine izdana je *Godišnja knjiga ASTM normi* (engl. *Annual Book of ASTM Standards*). Ta je publikacija postala temeljnom publikacijom iz područja razvoja i izdavanja normi. Svaki je odjeljak predstavljao cjelokupni rad na području normizacije za određeno područje s pregledom svih do tada objavljenih i revidiranih normi.

I. svjetski rat je donio nove promjene i mnoga su poduzeća prenamijenila svoje poslovanje u vojno-prerađivačku proizvodnju. Tih ranih 1920-ih godina, ASTM je najviše pažnje i dalje pridavao tradicionalnim materijalima poput čelika i cementa. Osnovano je preko 100 različitih tehničkih odbora zaduženih za nadgledanje i razvoj normi iz drugih područja. U narednih desetak godina započinje američki gospodarski rast koji je za posljedicu imao porast masovne proizvodnje u mnogim gospodarskim granama. Jedna od najpropulzivnijih grana bila je automobilska industrija na čelu s **H. Fordom**.

ASTM otvara prvi europski centar za distribuciju normi u Londonu 1981.

godine kako bi proširio svoje djelovanje na rastuća strana tržišta, poput tržišta Japana, zapadne Europe i Istočnoazijskih tigrova. Usporedno dolazi i do iznimno brzog napretka u komunikacijskim tehnologijama i pospešivanju međunarodne suradnje. ASTM organizacija širi svoju suradnju u međunarodnim vodama surađujući tako s njemačkim Institutom za norme (njem. *DIN-Deutsches Institut für Normung*), francuskim Udruženjem za normizaciju (franc. *AFNOR-Association Francaise de Normalisation*), japanskim udruženjem za norme (engl. *JSA-Japanese Standards Association*) i britanskom institucijom za norme (engl. *BSI-British Standards Institution*). ASTM mijenja ime u ASTM International 2001. godine kako bi potvrdio svoju međunarodnu ulogu u stvaranju normi koji se koriste diljem svijeta [2]. ASTM International danas djeluje u više od 140 zemalja i izdaje 12575 normi.

2.2. ISO organizacija

Druga velika poznata organizacija za normizaciju je ISO organizacija. Akronim ISO je izveden iz grčke riječi *isos* što znači jednak i dogovorno prihvaćen kao službena kratica naziva. Od osnivanja 1947. godine s početnih 67 tehničkih odbora do današnjih 3368 predstavničkih odbora, ova međunarodna organizacija za normizaciju uspješno djeluje sa sjedištem u Ženevi u području izdavanja i objavljivanja normi iz različitih područja (od agrikulture, gradnje, inženjerstva, medicinske opreme, itd.). Nastala je sjedinjavanjem dvije organizacije, Međunarodne federacije nacionalnih normizacijskih udruga (engl. *ISA-International Federation of the National Standardizing Associations*) i Odbora za koordinaciju normi Ujedinjenih naroda. Prvu normu izdala je 1951. godine i danas je poznata pod nazivom *ISO 1:2002 Geometrical Product Specifications (GPS) – Standard reference temperature for geometrical product specification*, sl.1.

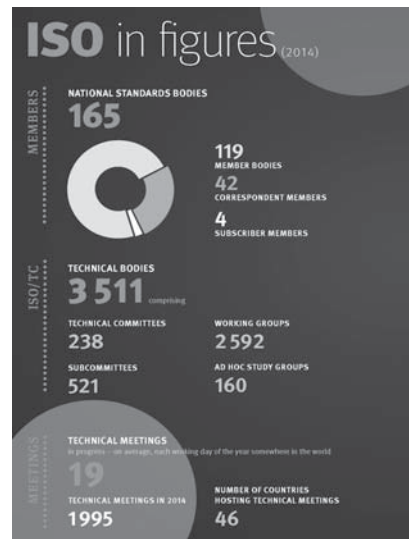


Sl.1 Naslovnica prve ISO norme izdane 1951. godine; Izvor: www.iso.org

ISO međunarodna organizacija za normizaciju djeluje kao svjetsko udruženje nacionalnih tijela (ISO članska tijela). Posao pripremanja međunarodnih normi provode ISO tehnički odbori. Nacrt međunarodne norme, koji je prihvaćen od strane tehničkog odbora, dijeli se članskim tijelima na izglasavanje. Publikacija koja će postati međunarodna norma treba dobiti odobrenje najmanje 75 % glasačkih članskih tijela.

Izdavanje službenog glasnika započelo je 1952. godine, a 1960. godine izdana je norma u skladu s međunarodnim SI sustavom jedinica zvana ISO 31: *O mjerama i jedinicama*, koja je kasnije zamijenjena normom ISO 80000. Do danas je izdala preko 19500 međunarodnih normi. 1987. godine izdana je jedna od najvažnijih svjetskih normi s područja upravljanja kvalitetom, ISO 9000. U svojem radu surađuje s nacionalnim institucijama za normizaciju iz 163 zemlje. Također je važno napomenuti, da je od 1979. godine ISO organizacija svojim radom posve usklađena sa zahtjevima određenima *Dogovorom o tehničkim barijerama trgovanja s WTO organizacijom* (engl. *World trade organisation*). Danas ISO organizacija izdaje veliki broj normi iz različitih tehničkih područja [3]. Svaku zemlju predstavlja smo jedno referentno nacionalno tijelo, sl.2. Hr-

vatska institucija članica ISO organizacije je Hrvatski zavod za norme. Norme kojima se opisuju pojmovi, mjerne metode, toplinski okoliš i drugi parametri vezani uz razmjenu i djelovanje topline pripadaju u kategoriju ISO normi s područja ergonomije topline okoliša [4].



Sl.2 Prikaz broja referentnih nacionalnih tijela i institucija članica ISO organizacije; Izvor: www.iso.org

2.3. ASHRAE organizacija

Američko udruženje inženjera za grijanje, rashlađivanje i klimatizaciju (engl. *The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) je osnovano 1959. godine udruživanjem dviju organizacija, *Američkog udruženja inženjera za grijanje i klimatizaciju* (engl. *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers*) i *Američkog udruženja inženjera za rashlađivanje* (engl. *The American Society of Refrigerating Engineers*). Danas ova organizacija ima više od 50 000 članova diljem svijeta [5].

U prvom desetljeću 20. st. ova su se dva društva bavila relativno odvojenim područjima djelovanja. 1920-ih s napretkom novih tehnologija, klimatizacija zraka je postala sferom interesa oba udruženja. Sustavi za grijanje su polako zamjenjivali grijanje parom i vrućom vodom s toplim komprimiranim zrakom, kombinira-

jući tako grijanje i ventiliranje zraka, pa je 1954. godine Američko udruženje inženjera za grijanje i ventilaciju promijenilo naziv u Američko udruženje inženjera za grijanje i klimatizaciju. 1950-ih je uočeno mnogo preklapanja u istraživačkim programima i jednog i drugog društva pa je nakon pregovora odlučeno da se pripoje u jedinstveno tijelo.

Izrazito važna je publikacija koju ovo društvo izdaje, a to je *Priručnik osnova* (engl. *Handbook of Fundamentals*). Podrijetlo ove publikacije seže u davnu 1922. godinu kada je Američko udruženje inženjera za grijanje i ventilaciju počelo izdavati svoj vodič. Vodič je izdavan do 1961. godine nakon čega su oba društva započela s izdavanjem jedinstvenog *Vodiča i knjige podataka* (engl. *Guide and Data Book*). Zasebno su se izdavali svesci *Osnove, Oprema i Primjena*, a *Vodič i knjiga podataka* je preimenovan u *Priručnik osnova* uz zasebne sveske *Sustavi, Primjene i Oprema*. 1973. godine Vodič i knjiga podataka je preimenovan u *ASHRAE priručnik*. 1985. godine izdani su posebni svesci I-P (inch – pound, odnosno američki sustav mjernih jedinica i britanski imperijalni sustav mjernih jedinica) i SI jedinica (međunarodni sustav jedinica). Ovako oblikovani svesci i priručnici zadržani su do današnjih dana i postali su važna literatura za područje grijanja, rashlađivanja i klimatizacije.

3. Pregled najznačajnijih normi u području mjerenja toplinskih karakteristika okoliša, tkanina, odjeće i toplinske ugodnosti ispitivanja

Numeriranje ASTM međunarodnih normi ponešto se razlikuje u odnosu na numeraciju i nazivlje ISO međunarodnih normi. Dok pojedine ISO norme pripadaju jednom zasebnom području, kao na primjer područje *Ergonomije topline okoliša* (engl. *Ergonomics of the thermal environment*), ASTM norme pripadaju odre-

đenoj sekciji i potom svesku. Sekcija 7 pokriva sve norme za definiranje i ispitivanje tekstilija (njih oko 330) i dijeli se u dva sveska 7.01 (tkanine, odjeća, njega tekstila, vlakna, pređe, netkani tekstil, zapaljivost, dodaci poput patentnih zatvarača itd.) i 7.02 (tjelesne mjere, ubodi i šavovi, UV zaštita tekstilnih proizvoda itd.). U sekciji 11, koja pokriva tematiku tehnologije obrade vode i okoliša, nalazi se osam podsvezaka, od kojih je stručnjacima iz područja toplinskih mjerenja odjevnih sustava, najznačajniji svezak 11.03. Ovaj svezak pokriva tematike zaštite zdravlja radnika, sigurnosti i zaštitne odjeće. Svaka ASTM norma može se naći u navedenom Godišnjaku koji ova organizacija izdaje. *ASHRAE Priručnik osnova* pak sadrži fundamentalne podatke, objašnjenja fizičkih veličina i njihove mjerne jedinice. Taj priručnik se izdaje u seriji od četiri sveska, a svake godine se revidira jedan svezak kako bi se osiguralo pravovremeno objavljivanje svih relevantnih informacija i novih znanstvenih spoznaja. Sve korekcije se također mogu provjeriti u on-line izdanju.

3.1. Pregled najznačajnijih ASTM normi u području mjerenja toplinskih karakteristika okoliša, tkanina, odjeće i toplinske ugodnosti ispitivanja

Utjecaj ukupnog koeficijenta toplinske propustljivosti ili koeficijenta prolaska topline (engl. *thermal transmittance*) utvrđuje se metodom ispitivanja u skladu s normom ASTM D1518-85 pod naslovom *Standardna metoda za ispitivanje toplinske propustljivosti tekstilnih materijala* (engl. *Standard Test Method for Thermal Transmittance of Textile Materials*), tab.1. Postupcima opisanim u spomenutoj normi utvrđuje se utjecaj ukupnog koeficijenta toplinske propustljivosti koji je posljedica kombiniranog djelovanja kondukcije, konvekcije i radijacije za suhi uzorak tekstilne tkanine, podstave ili drugih materijala. Ukupnim koeficijentom toplinske propustljivosti se mjeri brzina prijenosa topline kroz sloj suhog uzorka, koji je zagrijan na stalnu temperaturu, i horizontalno položen na ravnu podlogu, u relativno mirnoj i hladnoj atmosferi [6].

Tab.1 Tablični prikaz ASTM normi u području mjerenja toplinskih karakteristika okoliša, tkanina, odjeće i toplinske ugodnosti ispitivanja

Oznaka	Naslov
ASTM D1518-85	Standardna metoda za ispitivanje toplinske prozračnosti tekstilnih materijala
ASTM F1868-14	Standardna metoda za ispitivanje toplinske otpornosti i otpornosti prolasku vodene pare materijala uporabom vruće ploče
ASTM F1939-15	Standardna metoda za ispitivanje otpora prolasku topline zračenjem vatrootpornih tkanina pri kontinuiranom zagrijavanju
ASTM D7024-04	Standardna metoda za ispitivanje tekstilnih materijala u stanju dinamičke ravnoteže i stanju dinamičkog toplinskog djelovanja
ASTM F1291-15	Standardna metoda za mjerenje toplinske izolacije odjeće uporabom termalnog manekena
ASTM F2370-05	Standardna metoda za ispitivanje otpornosti prolasku vodene pare odjeće uporabom termalnog manekena
ASTM F2371-05	Standardna metoda za mjerenje brzine gubitka topline osobnih sustava hlađenja uporabom termalnog manekena
ASTM F2700-08	Standardna metoda ispitivanja prijenosa topline pri nestacionarnim uvjetima vatrootpornih materijala za odjeću s kontinuiranim grijanjem

Pri utvrđivanju prikladnosti nekog odjevnog sustava zaštitne odjeće za određenu uporabu, važno je utvrditi otpor prolasku topline i otpor prolasku vodene pare, koji pružaju tekstilne tkanine, podstave ili drugi materijali za izradu takvog odjevnog sustava. Metodom ASTM F1868-14 pod naslovom *Standardna metoda za ispitivanje otpora prolasku topline i otpora prolasku vodene pare materijala uporabom vruće ploče* (engl. *Standard Test Method for Thermal and Evaporative Resistance of Clothing Materials Using a Sweating Hot Plate*) se ispituju otpor prolasku topline i otpor prolasku vodene pare za tkanine, filmove, premaze, pjene te kože, uključujući i višeslojne tvorevine, koje se koriste pri izradi odjevnih sustava. Područje primjene ove metode ispitivanja je u rasponu 0.0002 do 0.2 K m²/W pri mjerenju otpora prolasku topline i 0.01 do 1.0 kPa m²/W pri mjerenju otpora prolasku vodene pare [7].

Svojstva prolasku topline kod vatrootpornih tkanina koje su izložene stalnom i definiranom izvoru zračenja topline ocjenjuju se u skladu s metodama opisanim normom ASTM F1939-15 *Standardna metoda za ispitivanje otpora prolasku topline zračenjem vatrootpornih tkanina pri kontinuiranom zagrijavanju* (engl. *Standard Test Method for Radiant Heat Resistance of Flame Resistant Clothing Materials with Continuous Heating*). Uzorak se smješta u nepomičan, okomiti položaj i može biti ispitan prema dva normom definirana skupa uvjeta izlaganja: 21 kW/m² i 84 kW/m². Metodom se ocjenjuje otpor prolasku topline uzorka izvan dinamičke ravnoteže ili izolacijske karakteristike vatrootpornih tkanina izloženih kontinuiranom djelovanju izvora zračenja topline [8].

Utvrđivanje ukupnog koeficijenta propustljivosti topline (engl. *thermal transmittance ili overall heat transfer coefficient*) suhih uzoraka tekstilnih i ostalih materijala i utvrđivanje faktora regulacije temperature (engl. *TRF-temperature regulating factor*) pu-

tem kondukcije u stacionarnim uvjetima [9] provodi se u skladu s metodama opisanim normom ASTM D7024-04 *Standardna metoda za ispitivanje toplinskih svojstava tekstilnih materijala u statičkim i dinamičkim uvjetima* (engl. *Standard Test Method for Steady State and Dynamic Thermal Performance of Textile Materials*). Metoda je pogodna za kontrolu kvalitete i troškova tijekom proizvodnje te određivanje kriterija za utvrđivanje toplinskih parametara i parametara udobnosti tekstilija namijenjenih uporabi u tekstilnoj industriji.

Utvrđivanje vrijednosti i usporedba izolacijskih karakteristika različitih odjevnih predmeta i sustava provodi se u skladu s normom ASTM F1291-15 *Standardna metoda za mjerenje toplinske izolacije odjeće uporabom termalnog manekena* (engl. *Standard Test Method for Measuring the Thermal Insulation of Clothing Using a Heated Manikin*). Njome se može ispitati utjecaj slojeva tkanina, zatvorenost odjevnog predmeta, odnosno pokrivenost tijela, koju odjevni sustav prekriva, i utjecaj konstrukcijskog dodatka komocije određenog odjevnog predmeta na vrijednost toplinske izolacije odjeće pri suhom prolasku topline u statičkim uvjetima. Mjere izolacijskih vrijednosti mogu se koristiti pri izradi modela kojima se pretpostavljaju i opisuju različite fiziološke reakcije osoba na određene uvjete u okolišu. Metodom se utvrđuju vrijednosti izolacije odjevnog sustava, ali i opisuje suhi prijenos topline s grijanog manekena u relativno miran, hladan okoliš (temperatura okoliša $t_a = 21 \pm 1$ °C ili barem 10 °C niža od temperature tijela manekena, koja se postavlja na vrijednosti $t_s = 32 - 35 \pm 0.3$ °C, brzina strujanja zraka $v_a = 0.1 \pm 0.05$ m/s te relativna vlažnosti RH = 30 - 70 ± 5 %). Ovo ispitivanje se primjenjuje samo u statičnim uvjetima pri kojemu se mjere osnovni odjevni sustavi na manekenu u mirovanju, a posljedice koje nastaju gibanje zraka i njihov utjecaj na razmjenu topline nisu predmet istraživanja u okviru ove metode [10].

Mjerenje i uspoređivanje otpora prolasku vodene pare različitih odjevnih sustava utvrđuje se u skladu s normom ASTM F2370-05 *Standardna metoda za ispitivanje otpora prolasku vodene pare odjeće uporabom termalnog manekena s mogućnošću simulacije znojenja* (engl. *Standard Test Method for Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin*). Otpor prolasku vodene pare odjevnog sustava mjeri se u statičkim uvjetima manekenom u mirovanju sa simulacijom znojenja. Norma se može koristiti pri izradi modela kojima se pretpostavljaju i opisuju različite fiziološke reakcije osoba na određene uvjete u okolišu. Metodom se također opisuje otpor prolasku vodene pare uz izmjenu vlage s grijanog manekena u relativno miran okoliš. Specificira se također konfiguracija termalnog manekena sa simulacijom znojenja, protokol ispitivanja i uvjeti pri ispitivanjima [11]. Vrednovanje i usporedba hlađenja osobnih sustava (engl. *PCS's-Personal Cooling Systems*), koji se odijevaju u kombinaciji s klasičnom odjećom ili nekim drugim namjenskim odjevnim sustavima, provodi se u skladu s normom ASTM F2371-05 *Standardna metoda za mjerenje brzine gubitka topline osobnih sustava hlađenja uporabom termalnog manekena s mogućnošću simulacije znojenja* (engl. *Standard Test Method for Measuring the Heat Removal Rate of Personal Cooling Systems Using a Sweating Heated Manikin*). Metoda je namijenjena objektivnom mjerenju osobina različitih izvedbi osobnih sustava hlađenja jer u obzir uzima otpor prijenosu topline kondukcijom, konvekcijom i prijenos topline isparavanjem. Ova metoda zahtjeva uporabu termalnog manekena sa simulacijom znojenja. Upravo je ta simulacija znojenja važna stavka pri mjerenjima jer se u obzir uzima relativno velika stavka gubitka topline pri hlađenju tijela znojenjem. Njome se opisuje gubitak topline uz izmjenu vlage (znojenje) te trajanje efekta hlađenja, koje pruža osobni sustav

hlađenja, kako bi se mogla utvrditi njegova efektivnost. Otpor prolasku vodene pare odjavnog sustava mjeri se u statičkim uvjetima manekenom u mirovanju uz simulaciju znojenja čija je površina homogeno zagrijava na određenu temperaturnu vrijednost [12].

ASTM F2700-08 norma opisuje postupke mjerenja prijenosa topline u nestacionarnim uvjetima (bez uspostave dinamičke ravnoteže) kroz vatrootporne materijale za izradu odjeće podvrgnute kontinuiranom kombiniranom djelovanju topline konvekcijom i radijacijom. Naslov norme glasi *Standardna metoda ispitivanja prijenosa topline pri nestacionarnim uvjetima vatrootpornih materijala za odjeću s kontinuiranim grijanjem* (engl. *Standard Test Method for Unsteady-State Heat Transfer Evaluation of Flame Resistant Materials for Clothing with Continuous Heating*). Njome se opisuje odgovor materijala, proizvoda ili odjevnih sustava koji se izlažu djelovanju topline u kontroliranim uvjetima, ali koji nužno ne utjelovljuju u sebi sve karakteristike protupožarnih materijala ili sve faktore za procjenu rizika zaštite od požara pri stvarnim uvjetima zapaljenja [13].

3.2. Pregled ISO normi s područja toplinskih mjerenja, definiranje topline okoliša, toplinske ugodnosti i toplinskih zahtjeva za tekstil i odjeću

Djelovanje norme ISO 7726:2001 *Ergonomija topline okoliša - Instrumenti za mjerenje fizičkih veličina* (engl. *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*) pokriva područje definiranja minimalnih zahtjeva mjernih instrumenata i mjerne metode kojima se mjere fizičke veličine za opisivanje različitih okoliša, tab.2. Tom normom se ne definira indeks toplinske ugodnosti, odnosno toplinskog stresa, ali se njome definiraju postupci ispitivanja i prikupljanja informacija, kako bi se u konačnici ti indeksi mogli utvrditi

naknadno. Fizičke veličine koje se utvrđuju u skladu s ovom normom, kao i načini njihova mjerenja, su: temperatura zraka, temperatura zračenja, apsolutna vlažnost zraka, brzina strujanja zraka i temperatura površine [14]. Mjerne metode definirane ovom normom se dijele u dvije kategorije ovisno o vrsti toplinskog okoliša za koji su predviđene. Grupacija C definira toplinske uvjete i metode potrebne za mjerenje u uvjetima toplinske ugone, a grupacija S definira toplinske uvjete i mjerne metode koje se provode u uvjetima povećanog ili velikog toplinskog stresa. Toplinski okoliš se sa bio-klimatskog kuta gledanja smatra homogenim ukoliko se, u danom trenutku, sve veličine kao što su temperatura zraka, zračenje odnosno radijacija, brzina strujanja zraka i vlažnost zraka, mogu smatrati jednoličnima. Kada se utvrdi kako je toplinski okoliš nejednoličan, tada se fizičke veličine kojima se on

definira, moraju mjeriti na više različitih lokacija oko promatranog subjekta i moraju se utvrditi njihove prosječne veličine. Izvedene fizičke veličine se odnose na skupinu faktora okoliša i njihova je kvantiteta ovisna o korištenim mjernim sensorima. Izvedene fizičke veličine se često koriste, kako bi se definirao empirijski indeks toplinske ugodnosti ili pak toplinski stres, bez korištenja racionalne metode procjene različitih oblika razmjene topline između ljudskog tijela i toplinskog okoliša, te resultantne toplinske ravnoteže i fiziološkog naprezanja.

Metode predviđanja općeg toplinskog osjeta i stupnja neugode, odnosno toplinskog nezadovoljstva ljudi koji su izloženi djelovanju umjerenih toplina okoliša, opisane su normom ISO 7730:2005 *Ergonomija topline okoliša - Analitičko određivanje i interpretacija toplinske ugodnosti koristeći kalkulaciju PMV i PPD indeksa*

Tab. 2 Tablični prikaz ISO normi u području toplinskih mjerenja, definiranje topline okoliša, toplinske ugodnosti i toplinskih zahtjeva za tekstil i odjeću

Oznaka	Naslov
ISO 7726:2001	Ergonomija topline okoliša – Instrumenti za mjerenje fizičkih veličina
ISO 7730:2005	Ergonomija topline okoliša - Analitičko određivanje i interpretacija toplinske ugodnosti koristeći kalkulaciju PMV i PPD indeksa i i kriterija lokalne toplinske ugone
ISO 7933:2004	Ergonomija toplinskog okoliša - Analitičko određivanje i interpretacija toplinskog stresa kalkulacijom predviđenog toplinskog naprezanja
ISO 8996:2004	Ergonomija topline okoliša - Određivanje vrijednost specifičnog metaboličkog toka
ISO 9886:2004	Ergonomija topline okoliša - Određivanje toplinskog stresa na temelju fizioloških mjerenja
ISO 9920:2009	Ergonomija topline okoliša - Procjena toplinskog zagrijavanja i otpora prolasku vodene pare odjavnog sustava
ISO 10551:2001	Ergonomija topline okoliša - Utvrđivanje utjecaja toplinskog okoliša koristeći subjektivne skale procjenjivanja
ISO 11079:2007	Ergonomija topline okoliša - Određivanje i interpretacija stresa uzrokovanog hladnoćom pri korištenju potrebne odjevne izolacije (IREQ) i lokalnih efekata hlađenja
ISO 11092:1993 (BS EN 31092:1993)	Tekstil - Fiziološki efekti-mjerenje toplinske otpornosti i otpornosti prolasku vodene pare u stacionarnim uvjetima (ispitivanje vrućom pločom sa simulacijom znojenja)
ISO 14058:2004	Zaštitna odjeća - Odjevni predmeti za zaštitu u hladnim okolišima
ISO 342:2004	Zaštitna odjeća – Odjevni sustavi i odjevni predmeti za zaštitu u hladnoće
ISO 15831:2004	Odjeća - Fiziološki efekti - Mjerenje toplinske izolacije odjeće pomoću termalnog manekena

i kriterija lokalne toplinske ugone (engl. *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*). Tom normom je definirano analitičko utvrđivanje i interpretacija toplinske ugodnosti izračunavanjem *PMV* (engl. *predicted mean voice*) i *PPD* (engl. *predicted percentage of dissatisfied*) indeksa kao i kriterija toplinske ugodnosti [15]. Pri tome se razumijeva kako su uvjeti okoliša prihvatljivi i za opisivanje opće toplinske ugodnosti i za opisivanje lokalne neugodnosti, koji može izazvati toplina okoliša. Ovom se normom mjere odgovori zdravih ispitanika oba spola, koji ocjenjuju uvjete toplinske (ne)ugode u interijerima, ovisno o tome žele li se utvrditi zahtjevi za poboljšavanje postojećih uvjeta pri postizanju toplinske ugone ili se žele kreirati novi uvjeti. Ta se norma kombinira s ISO 14415:2005 [16] pri predviđanju uvjeta za postizanje toplinske ugodnosti za osobe sa specijalnim zahtjevima i tjelesnim invaliditetom. Nezadovoljstvo uvjetima u toplinskom okolišu se može izraziti *PMV* i *PPD* indeksima, izračunavanjem nezadovoljstva propuhom, vertikalnim temperaturnim razlikama, hladnim ili vrućim zidovima i asimetrijom zračenja. Ovom se normom također opisuju prihvatljivi toplinski okoliši koji izazivaju osjećaj toplinske ugodnosti i nestacionarni toplinski uvjeti. Norme s područja ergonomije toplinskih okoliša su ISO 7726 [14] (mjerenje parametara toplinskih okoliša) i ISO 8996 [17] (određivanje razine metabolizma). Tim normama se opisuju i kvantificiraju parametri koji utječu na ljudsku termoregulaciju u nekom specifičnom okolišu, a norme poput ISO 9886 [18] (procjena toplinskog naprezanja) i ISO 9920 [19] (procjena toplinske izolacijske vrijednosti i isparavajućeg otpora odjeće) opisuju kako se na temelju tih parametara može predvidjeti stupanj toplinske zaštite, odnosno toplinska

ugodnost ili neugodnost te zdravstveni rizik kojem ljudski subjekt može biti izložen u određenom okolišu. Metode procjene zdravstvenih rizika pri izlaganjima okolišima visokih temperatura na temelju odstupanja od jednadžbe energetske ravnoteže između tijela i okoliša [20] opisane su normom ISO 7933:2004 *Ergonomija toplinskog okoliša - Analitičko određivanje i interpretacija toplinskog stresa kalkulacijom predviđenog toplinskog naprezanja* (engl. *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of predicted heat strain*). Metode procjene primjenjive su samo u slučajevima odijevanja klasične odjeće (zaštitna i funkcionalna odjeća nije obuhvaćena ovom normom) i opisuje metodu predviđanja brzine izlučivanja znoja i vrijednosti temperature jezgre tijela, koje će biti posljedica izlaganja ljudskog organizma uvjetima okoliša visokih temperatura. Na taj se način može opisati toplinski stres koji osjeća ispitanik, fiziološko naprezanje i može se odrediti maksimalno vrijeme izlaganja ispitanika djelovanju okoliša visokih temperatura. Normom ISO 8996:2004 *Ergonomija topline okoliša - Određivanje vrijednosti specifičnog metaboličkog toka* (engl. *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*) [17] se utvrđuje vrijednost specifičnog metaboličkog toka pri pretvaranju kemijske u mehaničku i toplinsku energiju. Norma opisuje mjerenje energije mišićne aktivnosti i utvrđivanje brojeanih indeksa aktivnosti. Vrijednost specifičnog metaboličkog toka je odlučujući faktor pri utvrđivanju toplinskog naprezanja uslijed izloženosti djelovanju toplina okoliša. U toplim se okolišima povećava toplinski stres uslijed visoke metaboličke proizvodnje topline potaknute fizičkim radom. Velike se količine proizvedene topline moraju osloboditi iz tijela u okoliš, najčešće znojenjem. Podaci izraženi ovom normom su predviđeni za pro-

sječnog muškarca visokog 1.75 m, mase 70 kg s površinom tijela od 1.8 m² te za prosječnu žensku osobu visine 1.70 m, mase 60 kg i površine tijela od 1.6 m². Normom se pretpostavlja kako je vrijednost specifičnog metaboličkog toka jednaka proizvodnji topline. Pretpostavlja se kako je mehanička efikasnost mišićnog rada, tzv. koristan rad *W*, zanemarivo nizak. Dana su 4 načina utvrđivanja metaboličke stope. Odabir se utvrđuje dvjema metodama: *Metoda 1 A* je klasifikacija u skladu sa zanimanjem i *Metoda 1 B* je klasifikacija u skladu s vrstom aktivnosti.

Metoda 2 A je metoda utvrđivanja vrijednost specifičnog metaboličkog toka pomoću pribrajanja vrijednost specifičnog metaboličkog toka vezane uz određeni stav tijela ili kretanje tijela temeljeno na brzini rada uz bazičnu vrijednost specifičnog metaboličkog toka. *Metoda 2 B* je utvrđivanje vrijednost specifičnog metaboličkog toka pomoću tabličnih vrijednosti vezanih uz različite tjelesne aktivnosti. Vrijednost specifičnog metaboličkog toka se može utvrditi na temelju snimljenih podataka srčanog ritma u određenom periodu vremena (3. stupanj analize). To je metoda indirektnog utvrđivanja vrijednosti specifičnog metaboličkog toka temeljem unosa kisika i srčanog ritma pri definiranim uvjetima. Ekspertiza je pristup utvrđivanja vrijednost specifičnog metaboličkog toka na temelju tri različite mjerne metode koju mogu izvršavati samo školovani stručnjaci. *4 A* je metoda temeljena na utrošku kisika u vremenskom rasponu 10-20 min. *4 B* je metoda dvoznačno obilježene vode kojom se utvrđuje prosječna metabolička stopa u dužem vremenskom rasponu 1-2 tjedna, a *4 C* je metoda direktne kalorimetrije. Druga norma ISO 9886:2004 *Ergonomija topline okoliša - Određivanje toplinskog stresa na temelju fizioloških mjerenja* (engl. *Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements*) opisuju metode mjerenja fizioloških parametara ljudskog tijela temeljem čijih se vrijedno-

sti može procijeniti je li ljudski organizam izložen stresu prilikom boravka u nekom okolišu ili izvođenja određenih aktivnosti [21].

Normom su utvrđene metode mjerenja i interpretacije fizioloških parametara poput temperature tjelesne jezgre, temperature kože, srčanog ritma i gubitka tjelesne mase. Temperatura jezgre tijela se može aproksimirati na temelju ezofagealne temperature, odnosno temperature jednake, rektalne temperature, temperature gastrointestinalnog trakta, odnosno intraabdominalne temperature, oralne temperature, timpanične temperature, odnosno temperature bubnjića uha, temperature auditornog kanala te temperature urina. U ovisnosti o odabranoj mjernoj tehnici može se predstaviti prosječna temperatura tjelesne mase ili temperatura krvi koji oplakuje mozak i tako utječe na termoregulatorne centre hipotalamusa.

Mjerenja prosječne temperature kože provode se na različitim dijelovima tijela, jer temperatura kože nije jednolična na svim dijelovima tijela, pomoću temperaturnih provodnika preciznosti $\pm 0.1^\circ\text{C}$ koji mjere temperaturni raspon $25\text{--}40^\circ\text{C}$. Takva nehomogenost je prvenstveno posljedica ambijentalnih, odnosno okolišnih uvjeta. Mjeri se lokalizirana tjelesna temperatura (t_{sk}) na određenoj poziciji ljudskog tijela i prosječna temperatura kože cjelokupne površine tijela. Promjene temperature kože su posljedica toplinske izmjene kondukcijom (vođenjem), konvekcijom (strujanjem), radijacijom (zračenjem) i evaporacijom (isparavanjem) na površini kože i promjenama u kožnom i arterijskom krvotoku, koji prokrvljuje određeni dio ljudskog tijela. Pretpostavljanje toplinskog stresa na temelju srčanog ritma se temelji na mjerenju udaraca po minuti u određenom intervalu vremena izraženom u minutama. Povećanje pulsa je najčešće povezano s povećanjem temperature tjelesne jezgre i osjećanjem toplinskog stresa u nekom okolišu. Povećanje srčanog ritma pri uvećanju temperature tjelesne jezgre za

1°C se zove toplinska srčana reaktivnost i izražava se jedinicom [udarac/min $\cdot^\circ\text{C}$, odnosno bmp/min $\cdot^\circ\text{C}$].

Pretpostavljanje toplinskog stresa na temelju gubitka tjelesne mase znojenjem se utvrđuje mjerenjem gubitka tjelesne mase tijekom određenog vremenskog razdoblja. Pri tome se utvrđuje gubitak znoja i čista ravnoteža tjelesne vode. U toplim i vrućim uvjetima gubitak znoja je pokazatelj toplinskog stresa, pri tome se ne razmatra samo znoj koji se sa površine kože oslobađa evaporacijom (isparavanjem) nego i znoj koji kaplje s kože i upija se u odjeću. Čista ravnoteža tjelesne vode je važna pri razmatranju rizika dehidracije. Doziranim unošenjem malih količina vode se može nadoknaditi oko 75 % gubitka vode iz organizma.

Primjer uređaja za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela u skladu s normom ISO 9886:2004 je mjerni sustav MSR 12, sl.3 [22].



Sl.3 Modularni mjerni sustav MSR 12 za ispitivanje fizioloških parametara ljudskog tijela [22]

Metode procjene toplinskih karakteristika odjeće, otpor suhom gubitku topline i otpor gubitku topline isparavanjem, u stacionarnim uvjetima uzimajući u obzir utjecaj kretanja tijela i prolaska zraka na izolacijske vrijed-

nosti odjeće i otpor prolasku vodene pare [19] utvrđuju se u skladu s normom ISO 9920:2009 *Ergonomija topline okoliša - Procjena toplinskog zagrijavanja i otpora prolasku vodene pare odjevnog sustava* (engl. *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*). Normom je opisan utjecaj odjeće i apsorpcija vode, privremena pohrana i taktalna ugodnost. Također se uzimaju u obzir utjecaji djelovanja atmosferilija poput kiše i snijega, uloga funkcionalne zaštitne odjeće i lokalne razlike u izolacijskim vrijednostima na različitim dijelovima tijela te osjećaj toplinske neugode kao posljedica asimetrije odjevnih sustava.

Normom ISO 10551:2001 *Ergonomija topline okoliša - Utvrđivanje utjecaja toplinskog okoliša koristeći subjektivne skale procjenjivanja* (engl. *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*) [23] se predlaže niz specifikacija pomoću kojih iskusi ocjenjivači stvaraju procjenu zadovoljstva/nezadovoljstva ispitanika i predviđanje toplinske ugodnosti na temelju odgovora ispitanika. Ispitanici se podvrgavaju različitim razinama toplinskog stresa boravkom u okolišima pri različitim klimatskim uvjetima. Ovom se procjenom nadopunjavaju podaci izmjereni fizičkim i fiziološkim metodama procjene toplinskih opterećenja. Mišljenja ispitanika se bilježe i na temelju njih se ocjenjuju uvjeti koji vladaju u njihovim radnim okolišima. Drugim normama iz ove serije (npr. ISO 7726, 7730), stručnjaci mogu objektivno vrednovati toplinske okoliše. Tim normama se izračunavaju indikatori za predviđanje prosječnih klimatskih uvjeta, koji su potrebni za postizanje toplinske ugodnosti ili prosječan stupanj toplinskog stresa, kojem su izložene osobe na svojim radnim mjestima. Većina radnih prostora pokazuje prostorne heterogenosti i mjestimične razlike klimatskih uvjeta. Nadalje, osobne preferencije

svakog pojedinog ispitanika se razlikuju. Stoga je pri oblikovanju radnih mjesta i predlaganju najoptimalnijih radnih uvjeta, potrebno u obzir uzeti i subjektivne preferencije ispitanika. Ovom se normom predviđa takav analitički pristup. Na početku svakog postupka procjene trebaju se prvo sastaviti adekvatni upitnici. Važna je napomena da u svakom okolišu u kojemu bi se mogli primjenjivati upitnici, koji su sastavljeni u skladu s ovom normom, uvjeti okoliša značajno odstupaju od toplinske neutralnosti. Pri svim ispitivanjima se u obzir mora uzeti prihvatljivo odstupanje od umjerene radne klime, kako se ne bi ugrožavalo ljudsko zdravlje. Podaci prikupljeni metodama koje su predviđene ovom normom se kombiniraju s ostalim normama iz ove serije (ISO 7243, 7726, 7730, 7933, 8996, 9886, 9920, 11079). Postoji veliki broj subjektivnih skala procjenjivanja, koje se razlikuju u ovisnosti o vremenskim okvirima (ispituje li se prošlost, sadašnjost, budućnost), trajanju ispitivanja, ispituje li se subjektivna percepcija prostora ili posljedice koje osjeća osoba radeći u nekom prostoru, radi li se o perceptivnoj ili afektivnoj (preferencijskoj) skali, ispituje li se cijeli organizam ili njegov zasebni dio, ispituje li se trenutno stanje ili se ispitivanja provode u određenom vremenskom trajanju itd. Ovom normom opisano je pet različitih skala subjektivnog procjenjivanja. U određenom vremenskom periodu ispitanici opetovano odgovaraju na ista postavljena pitanja, kako bi se mogao utvrditi razvoj toplinskog napora, odnosno toplinske ugodnosti s vremenom pri stalnim uvjetima. Za ispitanike, koji izvršavaju neku aktivnost u sjedećem položaju pri stacionarnim klimatskim uvjetima, ispitivanja se provode nakon perioda od 30 minuta aklimatizacije. Ispitanici podvrgnuti testiranju se moraju unaprijed informirati o tijeku ispitivanja. Po završetku prikupljanja odgovora na postavljena pitanja postavljena u upitnicima vrši se statistička analiza rezultata.

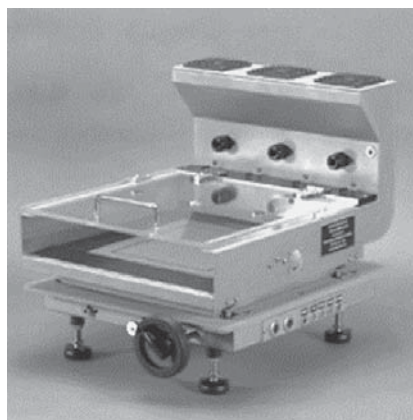
Niske temperature okoliša su primarni parametar, koji utječe na ljudsko tijelo, ugrožavajući zdravlje čovjeka. Međutim, norma ISO 11079:2007 *Ergonomija topline okoliša - Određivanje i interpretacija stresa uzrokovane hladnoćom pri korištenju potrebne odjevne izolacije (IREQ) i lokalnih efekata hlađenja* (engl. *Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*) [24] opisuje i utjecaj hladnoće vjetra, koja se najčešće podrazumijeva u uvjetima hladne klime (engl. *wind chill index-WCI*). Čovjek ima mogućnost nesvjesne i svjesne prilagodbe uvjetima okoliša. Mehanizmi temperaturne kontrole mogu biti nesvjesni i svjesni. Nesvjesni mehanizmi su opisani kroz djelovanje mehanizama povratne sprege, hipotalamusa i hormona, a svjesni mehanizmi temperaturne tjelesne kontrole uključuju promjene u ponašanju poput pomicanja prema izvoru topline, kada je hladno i oblačenja više slojeva deblje odjeće te uklanjanja odjeće kada je prevruće. Odjeća je glavni svjesni faktor u održavanju toplinske neutralnosti i postizanja stanja toplinske ravnoteže pri dinamičkim promjenama uvjeta okoliša i reakcija unutar ljudskog tijela. Stoga je izrazito važno poznavati izolacijske vrijednosti odjevnih predmeta i odjevnih sustava i zahtjeve, koji se pri tome nameću. Toplinska razmjena ljudskog organizma prije svega ima svoje ishodište u jednadžbi toplinske ravnoteže. Pri tome je jako važno uključiti toplinsku razmjenu pri površini kože i utjecaj odjeće kao glavne barijere na putu oslobađanja topline s tijela čovjeka u okoliš. Norma je kompatibilna sa drugim normama (ISO 7726, 8996, 9237, 9920, 13731, 13732-3, 15831 i 511), kojima se postavljaju zahtjevi za mjerenje ljudskih reakcija u toplinskim okolišima, određivanje parametara i opisivanje toplinskih okoliša te vrste tkanina i odjevnih sustava za zaštitu od hladnoće.

Fizička svojstva tekstilnih materijala koja doprinose fiziološkoj ugodnosti uključuju složenu kombinaciju prijenosa topline i mase [25]. Svaki od njih se može pojaviti zasebno i simultano. Oni su ovisni o vremenu i mogu se proučavati u stacionarnim ili promjenjivim uvjetima. Mjerne metode opisane su normom ISO 11092:1993 (BS EN 31092:1993) *Tekstil - Fiziološki efekti-mjerenje toplinske otpornosti i otpornosti prolasku vodene pare u stacionarnim uvjetima (vruća ploča sa simulacijom znojenja)* (engl. *Physiological effects-Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (Sweating guarded-hotplate test)*). Otpor prolasku topline je složeni rezultat kombinacije prijenosa topline radijacijom, kondukcijom i konvekcijom, a njegova vrijednost ovisi o utjecaju svakog od ovih faktora na ukupan prijenos topline. Iako je to unutarnje svojstvo samog materijala, njegova se vrijednost može mijenjati kroz uvjete tijekom ispitivanja, koji ovise o interakciji parametara kao što su prijenos topline zračenjem s okolišem.

Postoji nekoliko metoda koje se mogu upotrijebiti za mjerenje svojstava materijala u ovisnosti o toplini ili vlazi, a svaka od njih je usko vezana uz određeno svojstvo i podliježe određenim pretpostavkama i interpretaciji.

Vruća ploča sa simulacijom znojenja, koja se često naziva i modelom kože, opisana je ovom normom i namijenjena simuliranju procesa, koji se sastoje od toplinskih i masenih prijenosa topline, koji se odvijaju u ljudskoj koži, sl.4.

Mjerenja, koja se odnose na jedan ili oba procesa, mogu se provoditi odvojeno ili istovremeno, koristeći se pri tome raznovrsnim vanjskim uvjetima. Ti uvjeti uključuju kombinacije temperature, relativne vlažnosti, brzine zraka u tekućem i plinovitom stanju. Odatle transportna svojstva mjerenja ovom aparaturom mogu biti korištena kako bi se simulirali različiti uvjeti tijekom nošenja kroz sta-



Sl.4 Primjer vruće ploče sa simulacijom znojenja tvrtke Thermometrics usklađene s međunarodnim normama ASTM F1868 i ISO 11092 [26]

cionarna i promjenjiva stanja. Ovom normom su opisani samo stacionarni uvjeti, a područje primjene se definira kroz specificiranje otpora prolasku topline i otpora prolasku vodene pare pod stacionarnim uvjetima npr. tkanina, filmova, premaza, pjena i kože, uključujući i višeslojne tvorevine koje se koriste za odjeću, prekrivača, vreća za spavanje, presvlaka za namještaj i sličnih tekstilije ili tekstilu sličnih proizvoda.

Primjena ove mjerne tehnike je ograničena na maksimalnu vrijednost otpora prolasku topline i otpora prolasku vodene pare koja ovisi o dimenzijama i konstrukciji upotrebljavane aparature (npr. 2 m² K/W i 700 m² Pa/W za minimalnu specifikaciju opreme). Uvjeti tijekom ispitivanja nisu namijenjeni predviđanju ugodnosti, a nisu navedena ni specifična djelovanja u relaciji s psihološkom ugodnošću.

Odjevni sustavi za zaštitu ljudskog tijela od hladnoće opisani su normom ISO 342:2004 [27]. Pojedinačni odjevni predmeti za zaštitu od utjecaja hladnih okoliša opisuju se drugom normom ISO 14058:2004 [28]. Normom ISO 14058:2004 *Zaštitna odjeća - Odjevni predmeti za zaštitu u hladnim okolišima* (engl. *Protective clothing-Garment for protection against cool environments*) navedeni su zahtjevi, koje pojedinačni odjevni

predmeti moraju ispuniti, kako bi spriječili mjestimično hlađenje tijela. Toplinski stres uzrokovan hladnoćom se promatra i s aspekta općeg hlađenja cijelog ljudskog tijela i mjestimičnog hlađenja pojedinih dijelova tijela. U normi je naglasak na opisivanju posljedica mjestimičnog hlađenja tijela na postizanje osjećaja toplinske ugodnosti. Pri mjestimičnom hlađenju tijela, najizloženiji dijelovi su ekstremiteti i područje lica. Opisani su pojedinačni odjevni predmeti, koji djelomično odijevaju ljudsko tijelo, kao što su potkošulja dugih rukava, donje rublje dugih nogavica, dokoljenke, jednoslojna jakna, jednoslojne hlače, prsluk i kaput. Takvi odjevni predmeti pružaju samo određeni stupanj toplinske zaštite. Zahtjevi, koje ovi odjevni predmeti moraju ispuniti, i metode ispitivanja njihove uporabne vrijednosti, opisuju se ovom normom. Pri tome nisu opisani specifični zahtjevi za toplinsku zaštitu ekstremiteta (šaka i stopala) te glave. Specifični zahtjevi za rukavice su opisani normom ISO 511:2006 *Rukavice za zaštitu od hladnoće* [29], a specifični zahtjevi za obuću su opisani u normom ISO 20344:2004 *Osobna zaštitna oprema - metode ispitivanja za obuću* [30], a specifični zahtjevi za zaštitu glave su opisani u prethodno spomenutoj normi ISO 342:2004 *Zaštitna odjeća - Odjevni sustavi i odjevni predmeti za zaštitu u hladnoće* [31]. Međutim, tu je opisana samo jedna vrsta odjavnog predmeta za zaštitu glave pri izlaganju hladnoći a to je specifična kapuljača koja djelomično štiti i lice (engl. *balacava*). Stupanj toplinske zaštite, koje ovi pojedinačni odjevni predmeti moraju zadovoljiti, ovisi prvenstveno o njihovoj namjeni. Ukoliko će biti korišteni za zaštitu na radu pri niskoj temperaturi i pri dugom izlaganju, stupanj toplinske zaštite pojedinačnih odjavnih predmeta mora biti precizno određen. Odjevni predmeti se mogu koristiti za aktivnosti u zatvorenom i otvorenom prostoru. Pri tome se norma referira na nešto niže temperature, koje ne odstupaju pretjerano od opti-

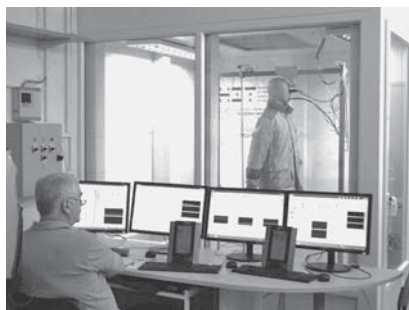
malnih radnih temperatura, ali koje bi pri dugotrajnoj izloženosti mogle značajno utjecati na radnu sposobnost (primjerice u zatvorenim prostorima, gdje se zahtijevaju nešto niže temperature, kao što su to hladnjače prehrambene industrije).

Drugom prethodno spomenutom normom ISO 342:2004 *Zaštitna odjeća - Odjevni sustavi i odjevni predmeti za zaštitu u hladnoće* (engl. *Protective clothing-Ensembles and garment for protection against cold*) [31] se definiraju zahtjevi i metode ispitivanja zaštitne odjeće, prvenstveno odjavnih sustava i potom pojedinačnih odjavnih predmeta za zaštitu od hladnoće. Toplinska izolacija je jedno od najvažnijih svojstava koje se ispituje termalnim manekenom.

Toplinski gubici konvekcijom povećavaju se uslijed djelovanja vjetra. Stoga su propusnost vodene pare zraka, odnosno vanjskog sloja odjavnog sustava, i izolacijska vrijednost odjeće važne pri razmatranju toplinske zaštite od djelovanja hladnoće. Osim vrijednosti toplinske izolacije i propusnosti vodene pare, zaštitna odjeća mora imati definiranu sposobnost apsorpcije vlage. Znojenje je neizbježan fiziološki proces, ali je pri izlaganjima hladnoći i jako opasno. Upijanje vlage u odjevne predmete drastično smanjuje izolacijsku sposobnost odjavnog predmeta i stupanj toplinske zaštite. Stoga je za zaštitnu odjeću, čija je namjena u prvom redu toplinska zaštita u hladnim uvjetima, potrebno birati fleksibilne predmete, koji se prilagođavaju tijelu i kretanju, te optimalan, a ne maksimalan stupanj toplinske zaštite. Također, pri dizajniranju ovih predmeta, valja voditi računa o ventilacijskim otvorima, kako bi se osigurao odvod suviše topline i vlage te spontano hlađenje tijela. Pasivna difuzija viška vlage nije tako učinkovita kao aktivno ventiliranje iz odjavnog predmeta kroz za to predviđene otvore. Pri temperaturama nižim od 0 °C, oslabljeno je oslobađanje vodene pare u okoliš uslijed kondenzacije i smrzavanja u strukturi samog materijala.

Procedura ispitivanja toplinske izolacije odjevnih sustava pomoću termalnog manekena opisana je normom ISO 15831:2004 *Odjeća-Fiziološki efekti - Mjerenje toplinske izolacije odjeće pomoću termalnog manekena* (engl. *Clothing-Physiological effects-Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*) [32]. Ispitivanja se provode s ciljem utvrđivanja efikasnosti toplinske izolacije odjeće koju će ljudski subjekti kasnije nositi u relativno mirnim toplinskim okolišima. Toplinska izolacija odjeće se koristi kako bi se utvrdili fiziološki efekti djelovanja odjeće na nosioca u karakterističnim klimatskim uvjetima i pri specificiranim aktivnostima. Postoje različite izvedbe termalnih manekena. Mjerenja termalnim manekenom se mogu izvoditi u mirovanju ili pri pokretima ekstremiteta manekena kojima se simulira ljudski hod. U Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta su razvijene sve hardverske komponente i softveri termalnog manekena [33, 34]. Segmentirani odljevak u obliku ljudskog tijela, tzv. termalni maneken sastoji se od 24 segmenta ljudskog tijela unutar kojeg su instalirani električni grijači, senzori temperature, 14 mikrokontrolerskih sklopova i pneumatski sustav za pokretanje ruku i nogu, sl.5. Ovom normom su specificirani sljedeći pojmovi:

- *Odjevni sustav* (engl. *clothing ensemble*) je skupina predmeta koji se istovremeno nose na ljudskom tijelu i međusobno se kombiniraju



Sl.5 Termalni maneken razvijen u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno – tehnološkog fakulteta [34]

- *Toplinska izolacija odjeće* (engl. *thermal insulation of clothing*) toplinska razlika između temperature površine ljudske kože i ambijentalne temperature podijeljena s rezultantnom vrijednošću specifičnog toplinskog toka u smjeru temperaturnog gradijenta pri čemu se toplinski tok sastoji od triju komponenti: kondukcije, konvekcije i radijacije. Ovisno o vrsti odjevnih predmeta u odjevnom sustavu i njihovim ostalim karakteristikama, upotrebljavaju se različite izolacijske vrijednosti odjeće.
- *Ukupna toplinska izolacija odjeće*, I_t (engl. *total thermal insulation of clothing*) je ukupna toplinska izolacija od kože u atmosferu okoliša, koja uključuje i odjeću i granični

sloj zraka oko tijela, u definiranim uvjetima mjereno termalnim manekenom u mirovanju.

- *Rezultantna ukupna toplinska izolacija odjeće*, I_{tr} (engl. *resultant total thermal insulation of clothing*) je ukupna toplinska izolacija od kože u atmosferu okoliša, koja uključuje i odjeću i granični sloj zraka oko tijela, u definiranim uvjetima mjereno termalnim manekenom u gibanju ruku i nogu.

3.3. ASHRAE Priručnik osnova

ASHRAE udruženje izdalo je 2005. godine *Priručnik osnova* u čijem je osmom poglavlju definirana toplinska ugodnost. Na sl.6 prikazana je naslovnica spomenutog izdanja iz 2013. godine.

Tab.3 Tablični prikaz ostalih značajnih ISO normi u području toplinskih mjerenja, definiranje topline okoliša, toplinske ugodnosti, toplinskih zahtjeva za tekstil i odjeću

Oznaka	Naslov
ISO 7243:1989	Vrući okoliš-Procjena toplinskog stresa čovjeka pri radu temeljena na WBGT indeksu
ISO 11399:1995	Ergonomija topline okoliša-Principi i aplikacija relevantnih međunarodnih normi
ISO 12894:2001	Ergonomija topline okoliša-medicinsko nadgledanje subjekta izloženog ekstremno vrućem ili hladnom okolišu
ISO 13731:2001	Ergonomija topline okoliša-rječnik i simboli
ISO 13732-1:2006	Ergonomija topline okoliša-Metode procjene ljudske reakcije pri kontaktu s površinama-dio 1: vruće površine
ISO/TS 13732-2:2001	Ergonomija topline okoliša-Metode procjene ljudske reakcije pri kontaktu s površinama-dio 2.: kontakt čovjeka s površinama umjerene klime
ISO 13732-3:2005	Ergonomija topline okoliša-Metode procjene ljudske reakcije pri kontaktu s površinama-dio 3.: hladne površine
ISO/TS 14505-1:2007	Ergonomija topline okoliša-Ocjenjivanje toplinskog okoliša u vozilima - dio 1.: Principi i metode za procjenu toplinskog stresa
ISO 14505-2:2006	Ergonomija topline okoliša-Ocjenjivanje toplinskog okoliša u vozilima - dio 2.: Određivanje istovrijedne temperature
ISO 14505-3:2006	Ergonomija topline okoliša-Ocjenjivanje toplinskog okoliša u vozilima-dio 3.: Ocjenjivanje toplinske ugone koristeći ljudske subjekte
ISO/TS 14415:2005	Ergonomija topline okoliša-Primjena međunarodnih standarda za ljude s posebnim potrebama
ISO 15265:2004	Ergonomija topline okoliša-Strategija procjene rizika za prevenciju stresa i neugode u uvjetima rada u toplim okolinama
ISO 15743:2008	Ergonomija topline-Hladna radna mjesta-Procjena rizika i menadžment



Sl.6 Prikaz naslovnice izdanja ASHRAE Priručnika osnova

Toplinska ugodnost je definirana kao *Stanje svijesti kojim se izražava zadovoljstvo toplinom okoliša* [35], normom *ASHRAE Standard 55-2010* [36]. Mehanizmi temperaturne kontrole mogu biti svjesni i nesvjesni, a čovjek svjesno donosi zaključke o toplinskoj ugodnosti ili neugodi na temelju direktnih podražaja iz kože i iz jezgre tijela. Općenito, tijelo osjeća ugodu u svome okolišu za jedan uski segment tjelesne temperature pri relativno niskoj količini kožnog znoja i kada situacija ne zahtjeva velike fiziološke napore organizma na prilagodbu tom okolišu. Kao posljedica prilagodbe trenutnim uvjetima u okolišu, tijelo je sposobno učiniti veliki dio radnji iniciranih svjesno, kako bi se smanjio osjećaj neugode. Na primjer promjenom načina odijevanja, promjenom vrste i intenziteta tjelesne aktivnosti, promjenom položaja tijela, lokacije u prostoru, otvaranjem ili zatvaranjem prozora itd. Iako se regionalni klimatski uvjeti, uvjeti života i kulture razlikuju diljem svijeta, iznenađujuće je da su temperature koje ljudi doživljavaju ugodnima uz različite parametre poput odijevanja, aktivnosti, vlažnosti i protoka zraka, uvijek slične [35].

U poglavlju 8 su prikazane osnove ljudske termoregulacije i ugodnosti korisne inženjerima pri kreiranju operativnih sustava, dizajnu i primjenama korisnim za ugodnosti i zdravlje stanara.

4. Zaključak

Najznačajnije međunarodne organizacije za normizaciju su ASTM (akronim engl. *American Society for Testing and Materials*), ISO (engl. *International standard organization*) i ASHRAE (engl. *The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning*). Sve tri organizacije provode sustavno izdavanje međunarodno priznatih normi čijom se primjenom omogućuje unifikacija testnih metoda i kontrola kvalitete sirovina i proizvoda. Razvojem međunarodnih normi na području mjerenja topline okoliša, toplinskih karakteristika odjevnih sustava i predviđanja toplinske ugodnosti ispitnika, omogućena je sustavna kontrola od mjernih metoda, usluga do konačnih proizvoda koji se plasiraju na globalno tržište. Osim toga rezultati mjerenja akreditiranih laboratorija sa standardiziranom i specificiranom mjernom opremom su usporedivi i provjerljivi.

Informacije, zahtjevi i kontrola kvalitete opisane u spomenutim međunarodnim normama osiguravaju da se zadovolji potreba potrošača na globalnom tržištu. Razvoj novih proizvoda i proizvodnih postupaka, nameće i kontinuirani razvoj normi pa se tako one sustavno unaprjeđuju. Na području mjerenja topline okoliša, toplinskih karakteristika odjevnih sustava i predviđanja toplinske ugodnosti ispitnika, ove standardizirane međunarodne norme opisuju, ovisno o području svojega djelovanja, mjernu metodu ispitivanja toplinskih karakteristika tekstilnih materijala, gotovih odjevnih predmeta i kombiniranih odjevnih sustava. Osim ispitivanja proizvoda dio normi definira mjerne uvjete i zahtjeve na mjernu opremu. Samo 8. poglavlje ASHRAE-ovog Priručnika osnova opisuje sve relevantne pojmove bez direktnog opisanja mjernih metoda kojima se definiraju i okoliš i ljudsko tijelo te odjeća kao granični zaštitni sloj pri interakciji i razmjeni topline.

Literatura:

- [1] http://www.astm.org/ABOUT/full_overview.html; pristupljeno 03.02.2013.
- [2] http://www.astm.org/ABOUT/history_book.html, pristupljeno 04.03.2013.
- [3] <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>, pristupljeno 04.12.2013.
- [4] Friendship among equals, Recollection from ISO's first fifty years, ISO, ISBN 92-67-10260-5, 1997., pp. 1-80
- [5] <https://www.ashrae.org/about-ashrae>; pristupljeno 02.10.2012.
- [6] ASTM D1518-85 (2003): *Standard Test Method for Thermal Transmittance of Textile Materials*. ASTM International. 2003
- [7] ASTM F1868-14 *Standard Test Method for Thermal and Evaporative Resistance of Clothing Materials Using a Sweating Hot Plate*. ASTM International. 2014
- [8] ASTM F1939-15 *Standard Test Method for Radiant Heat Resistance of Flame Resistant Clothing Materials with Continuous Heating*. ASTM International. 2015
- [9] ASTM D7024-04 *Standard Test Method for Steady State and Dynamic Thermal Performance of Textile Materials*. ASTM International. 2004
- [10] ASTM F1291-15 *Standard Test Method for Measuring the Thermal Insulation of Clothing Using a Heated Manikin*. ASTM International. 2015
- [11] ASTM F2370-15 *Standard Test Method for Measuring the Evaporative Resistance of Clothing Using a Sweating Manikin*. ASTM International. 2015
- [12] ASTM F2371-05 *Standard Test Method for Measuring the Heat Removal Rate of Personal Cooling Systems Using a Sweating Heated Manikin*. ASTM International. 2005
- [13] ASTM F2700-08 (2013) *Standard Test Method for Unsteady-State Heat Transfer Evaluation of Flame Resistant Materials for Clothing with Continuous Heating*. ASTM International. 2013
- [14] ISO 7726:2001 *Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities*. ISO-International Organization for Standardization. 2001

- [15] ISO 7730:2005 *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. ISO-International Organization for Standardization. 2005
- [16] ISO 14415:2005 *Ergonomics of the thermal environment - Application of International Standards to people with special requirements*. ISO-International Organization for Standardization. 2005
- [17] ISO 8996:2004 *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [18] ISO 9886:2004 *Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [19] ISO 9920:2009 *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. ISO-International Organization for Standardization. 2009
- [20] ISO 7933:2004 *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of predicted heat strain*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [21] ISO 10551:2001 *Ergonomics of the thermal environment-Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales*. ISO-International Organization for Standardization. 2001
- [22] MSR 12, *modular signal recorder*. Manual. MSR Electronics GmbH. 2007
- [23] ISO 9886:2004 *Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [24] ISO 11079:2007 *Ergonomics of the thermal environment-Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects*. ISO-International Organization for Standardization. 2007
- [25] ISO 11092:1993 *Physiological effects-Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (Sweating guarded-hotplate test)*. ISO-International Organization for Standardization. 1993
- [26] <http://www.thermetrics.com/products/guarded-hotplates/sweating>
- [27] ISO 342:2004 *Protective clothing - Ensembles and garment for protection against cold*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [28] ISO 14058:2004 *Protective clothing - Garment for protection against cool environments*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [29] ISO 511:2006 *Protective clothing - Protective gloves against cold*. ISO-International Organization for Standardization. 2006
- [30] ISO 20344:2004 *Personal protective equipment-test methods for footwear*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [31] ISO 342:2004 *Protective clothing - Ensembles and garment for protection against cold*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [32] ISO 15831:2004 *Clothing - Physiological effects - Measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin*. ISO-International Organization for Standardization. 2004
- [33] Rogale D., Nikolić G.: The measurement system for the determination of static and dynamic thermal properties of composites and clothing, State Intellectual Property Office of the Republic of Croatia, PK20130350, 2013
- [34] Rogale D., Firšt Rogale S., I. Špelić: Development of the measuring system for analysing the thermal properties of clothing, Proceedings of the 7th International textile, clothing & design conference, Zvonko Dragčević (Eds.), October 2014, Dubrovnik, Croatia, ISBN 978-953-7105-54-9, 322-327, (2014)
- [35] *ASHRAE Handbook Fundamentals (SI ed.)*. Atlanta, United States of America: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers Inc. 2005. ISBN 1931862702
- [36] ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, USA. 2010. ISSN 1041-2336

SUMMARY

An overview of measuring methods and international standards in the field of thermal environment, thermal characteristics of the clothing ensembles and the human subjects assessment of the thermal comfort

*I. Špelić, D. Rogale, A. Mihelić Bogdanić**

A continuous development of the terminology, materials, measuring instruments and methods, requires the implementation of the unified specifications and definition of the standards, so that clear quality management system could be established, for both the production systems and testing methods. In the field of the measurements of thermal characteristics of the environment and the clothing garments or ensembles, as well as in the field of thermophysiology of the human body, the most significant international standards are published by the international organizations for standardization such as ASTM International, ISO and ASHRAE. Those international standards define the insulation characteristics of different materials, the clothing garments and the ensembles, the thermal and the water-vapour resistance, the measuring systems and the measuring protocol, the testing requirements, the PMV and PPD indexes, the environments and the interpretation of the measured results. The standards in the field of the ergonomics of the thermal environments define both the parameters and the measuring methods, which affect the human thermoregulation in some specific environment, while other standards describe the prediction of the thermal protection based on those parameters, or respectively how to predict either thermal comfort or discomfort and the health risks which could affect human subjects in particular thermal environments.

Key words: international organizations for standardization, standards, measuring methods, thermal characteristics of the environment and the clothing garments or ensembles, subjects thermal comfort

University of Zagreb, Faculty of Textile Technology

Department of Clothing Technology

**Department of Fundamental Natural and Engineering Sciences*

Zagreb, Croatia

e-mail: ispelic@ttf.hr

Received January 7, 2016

Überblick über Messmethoden und internationale Normen für thermische Umgebung, thermische Eigenschaften von Kleidungsensembles und Einschätzungen der thermischen Behaglichkeit von Versuchspersonen

Die andauernde Weiterentwicklung der Terminologie, der Materialien, der Messgeräte und -methoden erfordert die Einführung von vereinheitlichten Spezifikationen sowie die Normdefinition, um ein klares Qualitätssicherungssystem sowohl für die Produktionssysteme als auch für die Prüfverfahren herstellen zu können. Auf dem Gebiet der Messungen von thermischen Umgebungseigenschaften, Kleidungsstücken und Kleidungsensembles sowie im Bereich der *Thermophysiology* des menschlichen Körpers werden die wichtigsten internationalen Normen von den internationalen Organisationen für Normung wie ASTM International, ISO und ASHRAE veröffentlicht. Diese internationalen Normen definieren die Isolierungseigenschaften von verschiedenen Materialien, Kleidungsstücken und Ensembles, Wärme- und Wasserdampfdurchlässigkeit, Messsysteme und Prüfungsprotokolle, Testbedingungen, PMV- und PPD-Indexe, Umgebung und Interpretation der Prüfungsergebnisse. Die Normen für das Gebiet der Ergonomie thermischer Umgebungen definieren sowohl die Parameter als auch die Messverfahren, die die menschliche Wärmeregulierung in irgendeiner spezifischer Umgebung beeinflussen, während die anderen Normen die Vorhersage des auf dieser Parameter beruhenden Wärmeschutzes beschreiben oder wie man entweder thermische Behaglichkeit oder Unbehaglichkeit und Gesundheitsrisiken voraussagt, die die Versuchspersonen in einer bestimmten thermischen Umgebung beeinflussen könnten.