

Integrirani mjeriteljski sustav u Laboratoriju za termoizolacijska svojstva odjeće

Prof. dr. sc. **Snježana Firšt Rogale**, dipl. ing.

Prof. dr. sc. **Dubravko Rogale**, dipl. ing.

Doc. dr. sc. **Željko Knezić**, dipl. ing.

Prof. dr. sc. **Siniša Fajt**, dipl. ing. el.*

Daniel Časar Veličan, mag. ing. text. tech.

Sveučilište u Zagrebu

Tekstilno-tehnološki fakultet

*Fakultet elektrotehnike i računarstva

Zagreb, Hrvatska

e-mail: sfrogale@tff.unizg.hr

Prispjelo 3.1.2020.

UDK 687:677.017.5

Pregled

U sklopu istraživačkog projekta IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC) financiranog od Hrvatske zaklade za znanost, u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta uspostavljen je Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće. U laboratoriju je instaliran integrirani mjeriteljski sustav za cjelovita ispitivanja termofizioloških svojstava odjevnih kompozita i odjeće. Većina uređaja koji čine cjeloviti mjeriteljski sustav predstavlja originalna patentirana rješenja voditelja projekta i članova tima te su prikazani na domaćim i međunarodnim izložbama inovacija, gdje su nagrađeni nizom priznanja i nagrada. Integrirani mjerni sustav za termofiziološka svojstva odjeće sastoji se od mjernog sustava za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće (vruće ploče i termalnog manekena), uređaja za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće, višenamjenskog diferencijalnog konduktometra za tekstilne kompozite i odjeću, uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare/otpora prolazu vode (Permetest) i uređaja za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima. Osim spomenutih mjernih uređaja, u radu su prikazani funkcionalni prototipovi pametne i inteligentne odjeće razvijene u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta.

Ključne riječi: razvoj sustava za mjerenje svojstava odjeće, termoizolacijska svojstva, termofiziološka svojstva, pametna i inteligentna odjeća, projekt IP-2018-01-6363

1. Uvod

Jo B. Paoletti, profesorica sa Sveučilišta u Marylandu, izjavila je 2007. godine: „U budućnosti, pametna

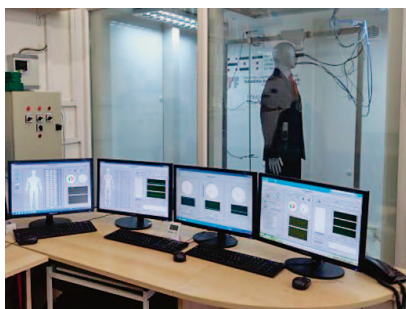
odjeća koja prati i prilagođava se tjelesnoj temperaturi može pomoći u smanjenju naše potrebe za klimatizacijom i grijanjem.” [1]. Na Tekstilno-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u

Zagrebu, ta budućnost je započela još 2003. godine, kada je razvijen, patentiran i realiziran prvi prototip inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima [2]. Dosadašnja

tehnička rješenja su patentno zaštićena u zemlji i inozemstvu [3-5]. Prvi svjetski patenti iz područja inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima je izašao sa Tekstilno-tehnološkog fakulteta, a do danas su razvijene već tri generacije. U sklopu projekta IP-2018-01-6363, financiranog od Hrvatske zaklade za znanost, usavršava se četvrta generacija. Istražit će se i rad te karakteristike tehničkih podsustava i uspješnosti reakcija inteligentne odjeće s adaptivnim toplinskim svojstvima. U tu svrhu su uspostavljene nove mjerne metode i protokoli za mjerenje toplinskih svojstava te uspostavljen istraživački laboratorij za cjelovita mjerenja toplinskih svojstava odjeće. Bit će realizirana integracija svih mjeriteljskih podsustava u klima komori podesivih parametara. Na temelju tih istraživanja izvest će se završno optimiranje reakcija inteligentne odjeće i određivanje njezinih svojstava pri promjenjivim uvjetima okoliša u laboratorijskim uvjetima i pri fizičkoj aktivnosti nositelja. Konačan cilj projekta je izrada usavršenog prototipa i istraživanje karakteristika nove vrste inteligentne odjeće te uspostava novog Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće, namijenjenog za nastavne i znanstveno-istraživačke svrhe, a otvorenog za suradnju s tvornicama odjeće, MORH-om, MUP-om, HGSS-om i ostalim institucijama.

2. Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće

Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće, koji se sastoji od mjernog sustava za određivanje toplinskih svojstava odjevnih kompozita (vruća ploča) i mjernog sustava za određivanje toplinskih svojstava odjeće (termalni maneken), izrađen je u sklopu tehnološkog projekta Odjeća s adaptivnim termoizolacij-



Sl.1 Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće

skim svojstvima, financiran od Hrvatskog instituta za tehnologije.

Oba uređaja smještena su u istu klima komoru i rade pod istim ispitnim uvjetima. U komori se mogu regulirati uvjeti okoliša (temperatura, strujanje zraka i relativna vlažnost zraka) kao i temperatura vruće ploče i termalnog manekena [6].

Uređaji su međusobno povezani i čine objedinjeni mjerni sustav, sl.1. Mjerni sustav je uspješno uveden u rad, umjeren i ispitan, za njega je dobiven patent pri Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske pod oznakom PK20130350 [7].

Mjerenja vrijednosti termoizolacijskih svojstava kompozita i odjeće se izvode, za razliku od drugih sustava, pri jednakim uvjetima okoliša prema standardu ISO 15831 [8], ali se uvjeti mogu regulirati i izvan područja koje propisuje standard te se na taj način mogu izvoditi mjerenja u realnim uvjetima.

Na mjernom sustavu su izvođena vrlo opsežna ispitivanja toplinskih svojstava odjeće s posebnim fokusom na namjensku zaštitnu odjeću za vojsku, policiju i specijalne službe te istraživanja toplinskih svojstava inteligentne odjeće. Utvrđeno je da mjerni sustav ima izuzetnu primjenjivost za određivanje toplinskih svojstava već gotovih odjevnih predmeta, ali može poslužiti i za projektiranje novih vrsta odjevnih predmeta od kojih se očekuje točno određena razina toplinske zaštite.

Vrućom pločom, sl.2, i termalnim manekenom se upravlja i izvode mje-

renja pomoću računalnih programa na način da su priključeni na računalo preko digitalnog međusklopa LabVIEW, tvrtke National Instruments. Vruća ploča je povezana s računalnim programom za upravljanje i mjerenje na vrućoj ploči, sl.3, i računalnim programom za upravljanje parametrima u klima komori. Termalni maneken je povezan s računalnim programom za upravljanje manekenom, sl.4, računalnim programom za mjerenje na termalnom manekenu, te računalnim programom za upravljanje parametrima u klima komori.



Sl.2 Mjerni sustav za određivanje toplinskih svojstava kompozita

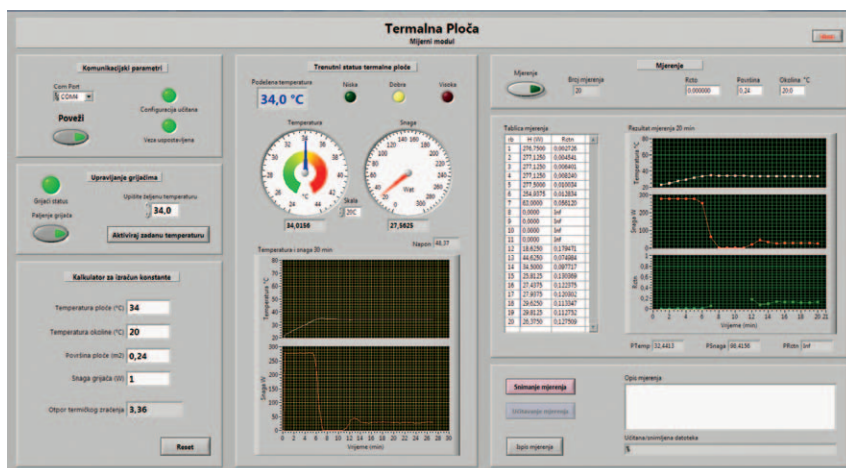
Tijekom održavanja konstantnih temperatura mjerne površine vruće ploče, odnosno manekena, mjeri se električna snaga potrebna za zagrijavanje mjerne površine uređaja. Tijekom mjerenja se prati na zaslonima monitora te se mjerni rezultati, koji se pohranjuju u bazu podataka, naknadno mogu analizirati i statistički obraditi [9].

Temperatura uključenih (grijanih) segmenata i snaga grijača očitavaju se svakih 5 s te se svaku minutu iscrstavaju (ispisuju) prosječne vrijednosti. Mjerenje traje 20 min, što znači da se dobiju prosječne vrijednosti od 240 mjerenja. Ispod dijagrama se na kraju mjerenja automatski upisuje

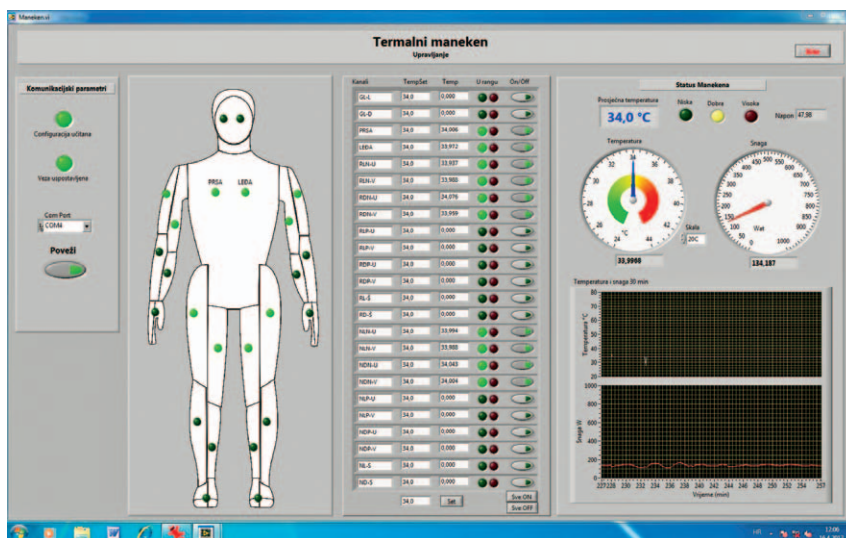
prosječna temperatura mjerenih segmenata, prosječna utrošena snaga te ukupni toplinski otpor.

Mjerni sustav za određivanje toplinskih svojstava kompozita, tzv. vruća ploča, sl.2, sastoji od sustava za mjerenje i sustava za regulaciju temperature mjerne površine vruće ploče, temeljene na reguliranju električne snage tzv. Pulse With Modulation tehnikom. Jedinica za mjerenje je pravokutna aluminijska ploča debljine 10 mm spojena na metalni blok s grijaćim elementima. Površina na kojoj se izvode mjerenja (40x60 cm), okružena je zaštitnom izolacijom, što sprječava lateralno otjecanje topline s rubova uzorka. Grijači mjerne opreme, smješteni ispod površine za testiranje, dovode toplinu mjernoj površini i ujedno sprječavaju gubitak topline na donjoj strani površine za testiranje. Ovakav poredak provodi toplinu prema gore samo uzduž smjera debljine uzorka [9].

Mjerni sustav za određivanje toplinskih svojstava odjeće, tzv. termalni maneken je segmentirani odljevak u obliku ljudskog tijela, a sastoji se od 24 segmenta, a to su prednji i stražnji dio glave, prednji i stražnji dio torza, lijevi i desni unutarnji dio nadlaktice, lijevi i desni vanjski dio nadlaktice, lijevi i desni unutarnji dio podlaktice, lijevi i desni vanjski dio podlaktice, lijeva i desna šaka, lijevi i desni vanjski dio natkoljenice, lijevi i desni unutarnji dio natkoljenice, lijevi i desni vanjski dio potkoljenice, lijevi i desni unutarnji dio potkoljenice, lijevo i desno stopalo. Unutar termalnog manekena su instalirani električni grijači, senzori temperature, 14 mikrokontrolerskih sklopova i pneumatski sustav za pokretanje ruku i nogu. Na termalnom manekenu se mogu mjeriti toplinska svojstva u statičkom modu, odnosno kada čovjek miruje, te u dinamičkom modu koji simulira hodanje pri čemu protufazno pokreću obje ruke i noge. Brzina gibanja ekstremiteta se može mijenjati u širokom rasponu i točno namjestiti zračnim prigušnicama tako da se npr. može ostvariti brzina pokreta-



Sl.3 Zaslom računalnog programa za upravljanje i mjerenje parametara na vrućoj ploči



Sl.4 Zaslom računalnog programa za upravljanje parametrima na termalnom manekenu

nja od 45 ± 2 dvostruka koraka/min i 45 ± 2 dvostruka pokreta rukama/min kod hoda, što odgovara normi ISO 15831 [8].

3. Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće

Toplinska udobnost pri nošenju odjeće može se odrediti subjektivnim izričajem nositelja ili egzaktnim mjerenjima fizioloških parametara: temperature kože (izmjerene metodom 4, 8 ili 12 mjesta pri čemu se izračunava srednja ponderirana temperatura), relativne vlažnosti kože (znojenja) i

frekvencije otkucaja srca. Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktnom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće, sl.5. Uređaj se sastoji od četiri modula:

1. modula za mjerenje temperature kože nositelja odjevnog sustava koji može mjeriti temperaturu kože na 4, 8 ili 12 mjesta te izračunavati srednju ponderiranu temperaturu kože,
2. modula za mjerenje relativne vlažnosti kože (znojenja) nositelja odjevnog sustava i za prikaz mjernih rezultata,
3. modula za mjerenje frekvencije otkucaja srca nositelja odjevnog sustava i za prikaz mjernih rezultata te



Sl.5 Uređaj za mjerenje fizioloških parametara ljudskog tijela pri egzaktom vrednovanju toplinske udobnosti odjeće

4. modula za mjerenje temperatura između pojedinih slojeva odjeće za određivanje udjela toplinskog izolacijskog efekta svakog pojedinog sloja u odjevnom sustavu.

Ovim uređajem smanjuje se subjektivnost ocjene, a povećava se značajnost egzaktnog mjerenja.

4. Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću

Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće može izmjeriti ukupna toplinska svojstva odjeće pojedinog odjavnog predmeta ili kompozita, no nije u mogućnosti utvrditi zaseban utjecaj svakog pojedinog sloja odjavnog predmeta. Na sličan način može utvrditi ukupna toplinska svojstva kompozita, ali ne može utvrditi utjecaj svakog pojedinog sloja u kompozitu na ukupna toplinska svojstva.

Stoga je, u sklopu tehnološkog projekta *PoC6_I_189 Diferencijalni toplinski konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću*, financiranog od Svjetske banke kroz HAMAG BICRO, osmišljen, konstruiran, patentiran i realiziran višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću, sl.6, koji može izmjeriti utjecaj svakog pojedinih

nog sloja odjeće ili kompozita na njihova ukupna toplinska svojstva, što je vrlo bitno za utvrđivanje kvalitete ispitivanih gotovih odjavnih predmeta kao i pri projektiranju budućih odjavnih predmeta sa zadanim toplinskim svojstvima [10, 11].



Sl.6 Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću

Višenamjenski diferencijalni toplinski konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću mjeri kontaktnu toplinsku vodljivost između dvije ploče različitih temperatura. Jedna ploča predstavlja površinu kože ljudskog tijela, a druga okoliš kompozita ili odjeće. Osim za mjerenja toplinske vodljivosti uređaj je opremljen i ni-

zom senzora temperature koji se umeću u svaki sloj kompozita ili slojeva odjeće. Pri tome se mjeri diferencijalni pad temperature po slojevima, odnosno učinkovitost toplinske izolacije svakog pojedinog sloja. Time se omogućio analitički pristup i egzaktno vrednovanje svih utjecajnih parametara kompozita i slojeva odjeće na njihovu toplinsku izolaciju. Ključne tehničke karakteristike uređaja su mehanički dio aparature, električni dio grijanih površina, senzorski dio mjerenja temperatura, regulacijski dio za održavanje konstantno zadanih temperatura, sustav za mjerenje električne snage grijača površina, upravljačko mjerno mikro-računalo, međusklop za komunikaciju s osobnim računalom i softveri za mikro-računalo i osobno računalo za prijem podataka, pohranjivanje podataka, prikaz podataka mjerenja i potrebnih izračuna u grafičkom i tabličnom prikazu na zaslonu monitora te za ispis na tiskalu. Mjerni sustav regulira snagu pri održavanju parametara kod uspostave termodinamičke ravnoteže na temelju koje je moguće izmjeriti ukupnu toplinsku vodljivost tekstilnih kompozita i dijelova odjeće te utvrditi utjecaj svakog pojedinog sloja na ukupnu toplinsku vodljivost.

5. Uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare/otpore prolazu vode

Permetest, sl.7, je uređaj za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare te otpora prolazu vode i jedini je uređaj koji nije realiziran u Zavodu za odjevnu tehnologiju, nego je nabavljen sredstvima Kratkoročnih financijskih potpora istraživanju za 2017. Sveučilišta u Zagrebu: *Ispitivanje otpora prolazu topline i vodene pare zaštitne i inteligentne odjeće* (voditelj: prof. dr. sc. D. Rogale), *Termofiziološka svojstva tekstila, kože i kompozita* (voditelj: prof. dr. sc. Z. Skenderi) i *Termoizolacijska svojstva*



Sl.7 Uređaja za nedestruktivno mjerenje otpora prolazu topline i propusnosti vodene pare i otpora prolazu vode, Permetest



Sl.8 Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima

kompozitnog materijala dobivenog kombinacijom elektroispredanja iz otopine i taline (voditelj: prof. dr. sc. B. Mijović) te sredstva Sveučilišta u Zagrebu Tekstilno-tehnološkog fakulteta. Uređaj je konstruirao, patentirao i realizirao prof. dr. sc. Lubos Hes s Tehničkog sveučilišta u Liberecu, Odjela za ispitivanje tekstila (Technical University of Liberec, Department of Textile Evaluation).

6. Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima

Uređaj za mjerenja temperaturnih gradijenata u odjevnim kompozitima, sl.8, mjeri pad temperature između slojeva odjevnih kompozita. Konstruiran je da određuje temperaturne gradijente za konvencionalnu i inteligentnu odjeću koji imaju kompozitnu strukturu do 5 slojeva. Uređaj ima 4-kanalno pojačalo za termoparove K-tipa s kompenzacijom temperature hladnog kraja termopara i analognim pokazivačima temperatura te izlazi-ma za priključak na AD pretvornike. Termoparovi se postavljaju između

slojeva kompozita na tzv. uređaj s vrućom pločom ili na diferencijalni konduktometar, pri čemu se, na temelju mjerenja temperaturnih gradijenata, određuju pojedinačna toplinskoizolacijska svojstva svakog sloja kompozita i ukupne strukture još u fazi inženjerskog projektiranja toplinskih svojstava odjeće. Također se može koristiti i pri ispitivanju toplinskih svojstava gotove odjeće, pri čemu se termoparovi ugrađuju u strukturu odjevnog predmeta kako bi se mjerila učinkovitost toplinske izolacije svakog sloja odjeće te donosila ocjena o svrsishodnosti ugradnje i cijene ugradbenih materijala u odjevnim kompozitima. Mjerenja se mogu izvoditi u laboratorijskim uvjetima na termalnim manekenima i na ljudskom tijelu tijekom nošenja odjeće. Uređaj je izrađen u sklopu projekta *IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstava inteligentne odjeće Therm-IC* financiranog od Hrvatske zaklade za znanost i Kratkoročne financijske potpore istraživanju za 2020. Sveučilišta u Zagrebu *Razvoj mjerne opreme za utvrđivanje gradijenata temperatura u višeslojnoj toplinskoj izola-*

ciji odjeće. Za novi, ispravljeni, funkcionalni prototip ovog uređaja je predana patenta prijava (P20211208) Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske, pod nazivom Mjerni uređaj i metoda za simultana mjerenja otpora prolazu topline i temperaturnih gradijenata slojeva kompozita odjeće. Izumitelji uređaja su Dubravko Rogale, Snježana Firšt Rogale i Željko Knezić, a podnositelj prijave Tekstilno-tehnološki fakultet.

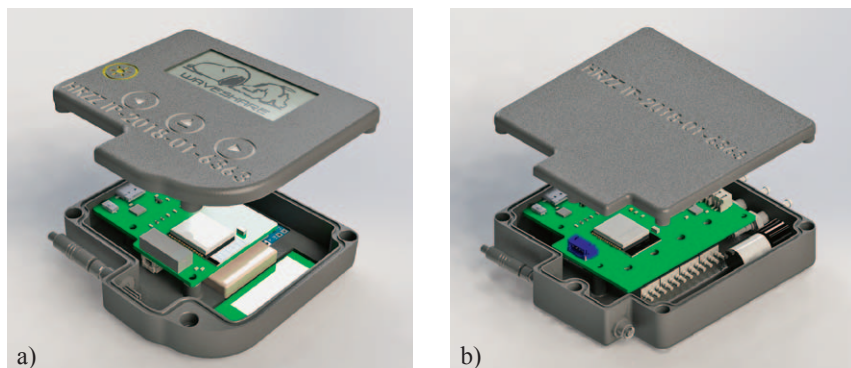
Svi navedeni uređaji rade u jednakim uvjetima te tako koncipirani u jednu cjelinu imaju poseban značaj pri cjelovitom tehničkom projektiranju kompozita i odjeće namijenjenih zaštiti od srednjih i ekstremno niskih ili visokih temperatura. Stoga je jedan od ciljeva projekta IP-2018-01-6363 osnivanje Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće.

7. Razvoj inteligentne odjeće

U Zavodu za odjevnju tehnologiju TTF-a se počelo s razvojem inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima 2003. godine. Nakon toga razvijen je niz drugih funkcionalnih prototipova.

Potencijal razvoja inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima, koja će aktivno štiti nositelja takvog odjevnog predmeta od hladnoće prepoznao je Hrvatski institut za tehnologije (današnji HAMAG BICRO) koji je financirao tehnološki projekt razvoja inteligentne odjeće.

Nakon brojnih tehničkih usavršavanja postavljeni su temelji najnovije generacije inteligentne odjeće, koja ima integrirani tehnički podsustav za automatsko podešavanje razine toplinske izolacije na temelju algoritma inteligentnog ponašanja ili manualno prema subjektivnom osjećaju nositelja takve odjeće. Bazna arhitektura inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima temelji se na sustavu senzori-računalo-aktuatori. Senzori prate stanje vanjskog okoliša inteligentne odjeće, stanje unutar



Sl.9 Izgled master a) i slave b) pločice inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima

mikroklima inteligentne odjeće, kao i trenutačno stanje tehničkih podstava ugrađenih u inteligentnu odjeću. Podatke prikupljene sensorima interpretira ugrađeni program računala, na temelju tih podataka donosi zaključke o stanju okoline, promjenama u okolini i donosi odluke o potrebnim promjenama kako bi odjevni predmet reagirao i prilagodio svoja toplinska svojstva promjenama u okolišu. Na temelju odluke o potrebnoj reakciji odlučuje se još o brzini i intenzitetu reakcije, a potom se ona izvodi primjenom aktuatora, u ovom slučaju punjenjem ili pražnjenjem zraka iz toplinskog umetka, čime on mijenja svoju debljinu, odnosno toplinska svojstva. Nakon izvedene prve reakcije i toplinske prilagodbe, računalo preko senzora ocjenjuje uspješnost prilagodbe i po potrebi izvodi sljedeću reakciju kako bi se IOPATS, u nekoliko iteracija, potpuno prilagodio uvjetima okoliša i fizičkoj aktivnosti nositelja.

IOPATS ima mogućnost automatskog prilagođavanja potrebne toplinske izolacije s obzirom na utvrđeno stanje okoliša i fizičke aktivnosti nositelja odjeće te time iskazuje inteligentna svojstva prilagodbe promjenjivim u okolišnim uvjetima.

Četvrta generacija inteligentne odjeće s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima, realizirana u sklopu projekta Hrvatske zaklade za znanost IP-2018-01-6363 ima integrirani tehnički podsustav za automatsko podešavanje razine toplinske izolacije, tako da se može koristiti od umjere-

nih do vrlo hladnih uvjeta okoline na način da se razina toplinske zaštite izabire automatski na temelju algoritma inteligentnog ponašanja ili manualno prema subjektivnom osjećaju nositelja takve odjeće.

Toplinski umetak četvrte generacije se može ugraditi u bilo koju konvencionalnu jaknu, između podstave i vanjske školjke, a integracija svih tehničkih podsustava koji reguliraju toplinsku zaštitu ugrađen je u posebnu kutiju koja stane u zasebni džep jakne. U kutijici se nalaze *master* i *slave* pločice, sl.9. *Master* i *slave* pločice imaju ugrađeni mikrokontroler ESP32 koji vrši obradu podataka, prikupljanje informacija s vanjskih senzora te upravljanje s izvršnim komponentama. ESP32 je 32-bitni mikrokontroler razvijen za rad na bateriji jer troši vrlo malo energije.

U *master* modulu su korištene dvije Li – Ion baterije ICP582930PR-01 nazivnog napona 3.7V kapaciteta 450 mAh spojene u paralelu što čini ukupan kapacitet od 900 mAh. *Master* pločica služi za interakciju s korisnikom, komunikaciju sa GPS modulom i nadzor kompletnog PMS sustava. Korisnik unosi parametre ili se kreće kroz stranice ePaper-displeja pomoću ugrađenih kapacitivnih tipki TTP223. Protokoli koji su korišteni unutar *master* pločice su UART, SPI, I2C. UART protokol služi za komunikaciju između mikrokontrolera ESP32 i GPS prijemnika/predajnika A2200A, ali se može koristiti i za komunikaciju sa računalom u svrhu dijagnostike sustava (pločice). SPI protokol ko-

municira sa ePaper-displejom za prikaz stranica, grafikona i svih bitnih podataka sustava koje korisnik može ili treba vidjeti. I2C protokol povezuje *master* i *slave* pločice te na taj način komunicira s jednim i drugim modulom. Osim komunikacije sa *slave* modulom na I2C portu su vezani PMS čipovi te se tako dobivaju informacije o trenutnoj ukupnoj potrošnji baterijskog sustava te trenutno stanje obje baterije.

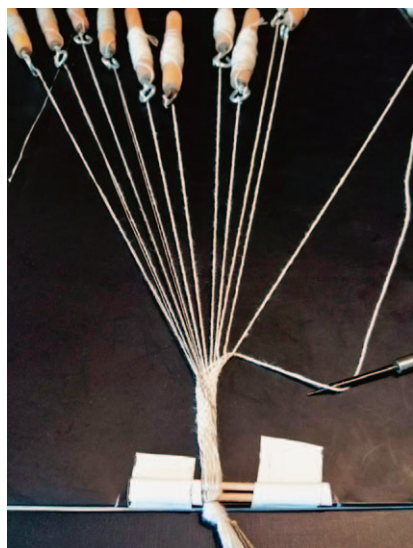
Mikrokontroler u sebi ima ugrađene funkcije bežičnog prijenosa podataka preko WiFi-a ili Bluetooth-a.

Na *slave* pločicu su spojeni senzori za mjerenje tlaka zraka unutar termoizolacijskih komora, izlazni moduli za aktivaciju ventila i mikro-kompresora. *Slave* pločica koristi samo I2C protokol za komunikaciju s komponentama. I2C port 1 povezuje *master* i *slave* pločice te na taj način izvodi komunikacija s jednim i drugim modulom. I2C port 2 povezuje vanjske senzore i komponente na samoj pločici kao što su I/O ekspanzija TCA9539 za upravljanje sa H-most driverom DRV8833 koji upravlja s ventilima i mikrokompresorom. Za potrebe eksperimentiranja ugrađeno je čak pet senzora tlaka i načina upravljanja termoizolacijskim komorama kako bi se tijekom izvođenja projekta IP-2018-01-6363 u konačnici odredio optimalan oblik i broj termoizolacijskih komora.

Minijaturizirani prototip aktuatorskog sustava ugrađenog u inteligentni odjevni predmet s adaptivnim termoizolacijskim svojstvima (IOPATS) je također u cijelosti izveden i realiziran, a kućište je vodo-tijesno i izrađeno primjenom 3D aditivne tehnologije (3D printanjem).

Mjerna osjetila su sastavni dio pametne i inteligentne odjeće. Stoga je, također u sklopu aktivnosti na HRZZ projektu IP-2018-01-6363, posebnom tehnikom hrvatskog ručnog tradicijskog kosog tkanja otkana vrpca promjenjivog električnog otpora od dominantnog sustava pamučne niti, sl.10.

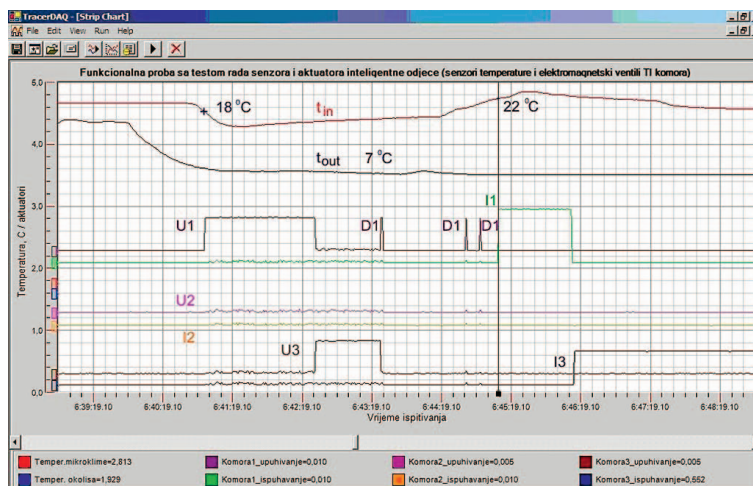
U skladu s elementima i tehnikom tradicijskog tkanja u sustav pamučnih



Sl.10 Vrpca promjenjivog električnog otpora

niti vrpce utkane su i elektrovodljive niti. Konstruiran je sustav sastavljen od tkanice s elektrovodljivim nitima, izvora električne energije, mjernog mosta, računala i prikaznog sustava. Tradicijski tkana vrpca promjenjivog električnog otpora ima sposobnost mijenjanja električnog otpora promjenom napetosti. Zbog toga može poslužiti kao senzor sile i pomaka promjenom duljine, koji se može ugraditi u primjerke pametne i inteligentne odjeće ili drugih tehničkih tvorevina gdje je potreban spomenuti senzor. Vrpca je izrađena tradicijskom tehnikom ručnog kosog tkanja kojim se izrađuju elastične, čvrste vrpce za povezivanje i učvršćivanje dijelova nošnje Hrvatske Posavine. Senzor je u potpunosti izrađen od tekstilnog materijala tako da je vrlo prihvatljiv za ugradnju u pametnu i inteligentnu odjeću. S obzirom da pri nošenju ne uzrokuje probleme i iritacije, kao kod konvencionalnih elektroničkih senzora, posebno je pogodan za integraciju u tehničke podskupine spomenute vrste odjeće, gdje je potrebno kontrolirati promjene stanja, sile i pokreta dijelova tijela ljudi i životinja.

Za novi, ispravljeni, funkcionalni prototip senzora predana je patenta prijava (P20211027) Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo Republike Hrvatske, pod nazivom Tek-



Sl.11 Dijagram reakcija IOPATS za temperaturno područje od 10 °C od 15 °C

stilni koso tkani senzor sile i istežanja. Izumitelji uređaja su Željko Knezić i Dubravko Rogale, a podnositelj prijave Tekstilno-tehnološki fakultet. Za potrebe neovisnog istraživanja funkcionalnog rada i IOPATS razvijen je potpuno nov i neovisan mjeriteljski sustav, sl.11. Sustav je zamišljen, konstruiran i realiziran tako da može obavljati neovisna mjerenja koja su potpuno odvojena od rada podsustava za mjerenja parametara IOPATS i odvojen od sustava aktuatora. Osim toga, sustav je i potpuno fizički odvojen od IOPATS, ima svoje zasebno električno napajanje te mjeriteljski sustav s računalom koji je također potpuno autonoman i u cijelosti odvojen od bilo kojeg sustava u IOPATS. Razvojem i realizacijom neovisnog sustava za istraživanja funkcionalnog rada i karakteristika IOPATS ispunjena je težnja za nepristranim i neovisnom sustavom objek-

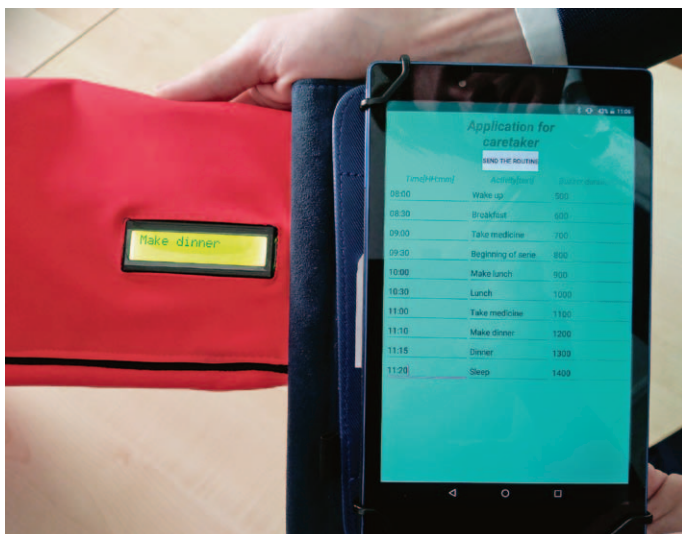
ktivnog vrednovanja svih tehničkih sustava [12].

Jedan od najčešćih izvora za napajanje inteligentne, pametne i e-odjeće je pretvorba mehaničke energije hodanja u električnu energiju, pri čemu se koristi piezoelektrički efekt, nanotriboelektričke, termoelektričke, elektromagnetske i elektrostatičke pojave [13].

Triboelektrični generator, sl.12, je uređaj koji ima mogućnost stvaranja i pohranjivanja statičkog naboja koji se može javiti na različite načine a jedan od njih je i trljanje dvaju polimernih materijala. Uređaj se sastoji od dva dijela, od kojih mehanički dio simulira trljanje slojeva materijala pri nošenju odjeće. Mehanički dio uređaja je sastavljen od donjeg, statičnog nosača uzorka, koji ujedno ima i bakrenu kontaktnu površinu za odvodnju nastalog električnog naboja [14].



Sl.12 Triboelektrični generator



Sl.13 Pametna odjeća za osobe s dijagnosticiranom demencijom

Uređaj se sastoji od gornjeg pomičnog nosača uzorka, koji također ima bakrenu kontaktnu površinu, ležišta za postavljanje opterećenja na uzorke i polugu preko koje se ostvaruje linearno gibanje nosača. Oba nosača imaju kontakte za priključivanje na triboelektrični generator.

Drugi dio uređaja triboelektričkog generatora prikazuje količinu generiranog naboja te ima mogućnost promjene mjernog kapaciteta generatora na 2, 20 ili 200 nC te njegovo pražnjenje. Uređajem je potvrđena mogućnost i isplativost ugradnje triboelektričnih generatora u odjevne predmete kao obnovljivi izvor električne energije.

U sklopu bilateralnog hrvatsko-slovenskog projekta *Razvoj pametne odjeće za dementne osobe* koje je financiralo Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske i Ministarstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije realiziran je prototip pametne odjeće za oboljele od demencije.

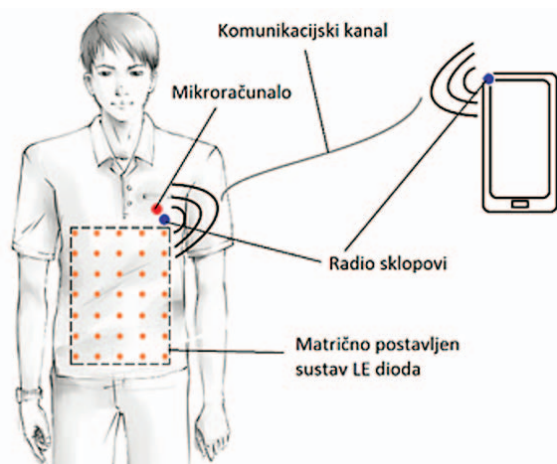
Pametna odjeća za osobe s dijagnosticiranom demencijom, sl.13, služi kao svakodnevni odjevni predmet s podsjetnikom o dnevnoj rutini korisnika. Podsjetnik u određenom vremenu tijekom dana podsjeća oboljelog na potrebu izvođenja specifične aktivnosti koju u tom trenutku mogu ili moraju obaviti poput osobne higi-

jene, odijevanja, doručkovanja, uzimanja lijekova i sl. Ponajviše služi kao prijatelj osobi koja je oboljela od demencije ili bolestima sličnim Alzheimeru kojima je karakteristično svojstvo početnog stadija bolesti obilježeno kratkoročnim pamćenjem, na način da podsjeća oboljelog na izvođenje svakodnevnih rutinskih obveza te na taj način pomaže kvaliteti življenja. Navedena vrsta odjeće koristi najsvremenije komunikacijske sustave i audio-vizualne komponente za zvučno obraćanje pozornosti i tekstualni prikaz aktivnosti koju bi osoba trebala obaviti. Podsjetnik se izrađuje unaprijed, u skladnoj suradnji s liječnikom i skrbnikom oboljele osobe.

U razvoj pametne i inteligentne odjeće uključeni su i studenti kroz izradu svojih diplomskih radova. U sklopu diplomskih radova realizirani su prototipovi e-majice (Ljubica Radišić) [15], pametne kape za praćenje otkucaja srca (Marije Veldić) [16], e-biciklističke jakne (Marija Peck-Tijeglić) [17], pametnog ruksaka protiv krađe (Marina Mesić) [18]. Također, u sklopu diplomskih radova razvijene su vrlo zanimljive ideje inteligentne odjeće, kao što je pametni odjevni predmet za nadzor rada šumskih radnika (Damir Begić) [19] i pametna pidžama za oboljele od apneje (Daniel Časar Veličan). Početna ideja pametne pidžame za oboljele od

apneje je naknadno usavršena timskim radom te je dodatkom aktuatorskog i komunikacijskog sustava razvijen i realiziran prototip inteligentne odjeće za oboljele od apneje koji ima senzornu kontrolu nad snom i poremećajima sna te se nosi na tijelu osobe tijekom spavanja. Tijekom spavanja detektiraju se poremećaji disanja s pomoću senzora respiracije. Podaci o poremećajima pohranjuju se u ugrađeni mikrokontrolerski sustav gdje se donose i potrebne odluke o reakciji zvučnog ili vibracijskog buđenja usnule osobe. Na temelju pohranjenih podataka moguća je i naknadna zdravstvena analiza podataka s ciljem poboljšanja kvalitete spavanja i sprječavanja generiranja neželjenih bolesnih stanja. Prednost inteligentne odjeće za oboljele od apneje je da u realnom vremenu, tijekom spavanja, pri uočenim poremećajima spavanja, trenutačno upozorava korisnika na način da ga zvučnim signalom ili vibracijom budi iz sna. Osim toga, inovacija omogućava naknadnu zdravstvenu analizu kvalitete spavanja i eventualno potrebnu intervenciju liječnika u smislu provođenja svrshodne terapije.

Na poziv organizatora Kviza znanja iz fizike i općeg znanja o Nikoli Tesli kojeg je pokrenula Dragica Mihajlović, predsjednica Udruge Nikola Tesla – Genij za budućnost 2019., prezentirana je inovacija Daljinski upravljani svjetlosni efekti na odjeći, sl.14. Inovacija Daljinski upravljani svjetlosni efekti na odjeći višestruko simboliziraju Teslu: Tesla je simbol stvaratelja osvjetljenja primjenom prijenosa izmjenične električne energije. Nadalje, i sama odjeća je simbol Tesle, s obzirom da je Tesla uvijek bio pažljivo odjeven i plijenio je pozornost tijekom prezentacije svojih pokusa po prepoznatljivoj vitkoj figuri odjevenoj u decentnu odjeću. Predmetna inovacija je daljinski upravljana, a poznato je da je Tesla prvi prikazao načela daljinskog upravljanja upravljajući pokusnom maketom malog broda, što je treća povezanost Tesle i predmetne inovacije. Kao če-



Sl.14 Daljinski upravljani svjetlosni efekti na odjeći

tvrta povezanost Tesle i prikazanog inovativnog proizvoda u vidu uporabnog odjevnog predmeta je daljinsko radio upravljanje s rezonantnim spojevima zavojnica i kondenzatora za koje je poznato da ih je Tesla patentirao te da mu je Vrhovni sud SAD priznao njegova patentna prava s obzirom na Marconijevu krađu intelektualnog vlasništva i dugogodišnju zlorabu Teslinog izuma.

Za ostvarenje inovacije Daljinski upravljani svjetlosni efekti na odjeći potrebno je da se u odjevni predmet ugradi mikrokontroler na kojeg je priključen minijaturni radio prijemnik za prihvatanje upravljačkih signala te izlazne naprave u vidu matrice LED elemenata koje služe za uspostavu svjetlosnih efekata, kao prijemni dio. Ovaj kreativni i inovativni proizvod namijenjen je za scenske nastupe čija se pojavnost dodatno pojačava svjetlosnim efektima.

Sastavni dio inovacije predstavlja i odašiljač, kao predajni dio, putem kojega se daljinski upravlja mikrokontrolerom, a unaprijed smišljenim svjetlosnim efektima upravlja se s pomoću programa pohranjenog u mikrokontroler. Svjetlosni efekti mogu se postizati tako da se upravlja bojom, intenzitetom i različitim prostornim uključenjem pojedinih svjetlećih elemenata (LE dioda) različitog vremenskog trajanja.

Ukoliko se svjetleći elementi formiraju u obliku matrica, na njima je moguć i prikaz slova, odnosno teksta

ili vizualnih simbola. Na promotivnom filmu, prikazano je daljinsko upravljanje na matrici LE dioda pri čemu se ispisuje riječ TESLA. Na identičan način, može se istodobno daljinski upravljati i s više odjevnih predmeta s ugrađenim svjetlosnim efektima ukoliko je na scenskom nastupu angažirano više osoba, čime se može dopuniti kreativna komponenta i dramatičnost, odnosno upečatljivost scenskog nastupa. Osim programskog daljinskog upravljanja, moguće je daljinski upravljati svjetlosnim efektima koji se mogu postizati na način da simboliziraju promjene emocionalnog statusa, intenziteta i ritma glazbe ili prema nekim drugim zamislima kreatora scenskih nastupa kojima se želi pojačati određeni dojam. Komercijalizacija je moguća za podizanje snage promišljenih, scenskih efekata glamuroznih priredbi poput modnih revija, plesnih nastupa, dodjele nagrada, promocija i slično.

2016. godine su se u Zagrebu i Rijeci održavale Europske sveučilišne igre, a maskota igara je bio hrčak Hrki, sl. 15. Osim odlične subjektivne ocjene, koju su dali nositelji odijela maskote, izvedena su i objektivna mjerenja smanjenja toplinske izolacije te povećanja udobnosti nošenja na termalnom manekenu. Mjerenja su pokazala da je s novim sustavom hlađenja temperatura unutar kostima smanjena za 30% što je od ogromne važnosti [20].



Sl.15 Maskota Europskih sveučilišnih igara 2016 - HRKI [21]

8. Zaključak

Uspostavljeni Laboratorij za termoizolacijska svojstva odjeće jedini je laboratorij u ovom dijelu Europe u kojem se mogu izvoditi cjelokupna ispitivanja toplinskih svojstava odjeće ili ispitivanja na već izrađenoj odjeći. Za implementaciju koncepcije integriranog mjeriteljskog sustava za cjelovita ispitivanja termofizioloških svojstava odjevnih kompozita i odjeće u Laboratorija za termoizolacijska svojstva odjeće važno je da svi navedeni uređaji mogu raditi kao jedna smisljena povezana mjeriteljska cjelina koja sačinjava složen i sveobuhvatan sustav za određivanja toplinskih svojstava odjeće i kompozita, ali na način da je moguće koristiti



Sl.16 Jezgra inovativnog tima za razvoj prototipova pametne i inteligentne odjeće (S. Fajt, D. Rogale, S. Firšt Rogale, Ž. Knezić)

svaki od spomenutih uređaja zasebno, kao potpuno izdvojen i autonomni mjerni sustav.

Većina mjernih uređaja realizirana je instalirana i umjerena u Zavodu za odjevnu tehnologiju Tekstilno-tehnološkog fakulteta, što ukazuje na izniman inovativni potencijal tima pod vodstvom prof. dr. sc. Dubravka Rogalea, sl.16. Osim razvoja mjeriteljskih sustava, pod njegovim vodstvom razvijen je i realiziran čitav niz prototipova pametne i inteligentne odjeće.

Mjerni uređaji, kao i pametna i inteligentna odjeća nagrađeni su na domaćim i stranim sajmovima inovacija sa više od 80 nagrada, a među najvažnijim su svakako WIIPA Special Award; WIIPA Grand Award; Grand Prix for the best industrial design, Archimedes Moscow; Humanitarian Award, INPEX Pittsburgh; Silver medal, J Expo JDIE Tokyo; Special Award, KIDE Taiwan, Special golden award ITE London; Nagrada za najbolju inovaciju u znanosti, INOVA Zagreb, Godišnja nagrada Nikola Tesla-Grand prix, INOVA itd.

Ovo je izvrstan primjer kako se na temelju vlastitih znanstvenih istraživanja može doći do inovacija koje su priznate diljem svijeta i iz kojih su nastali patenti. Na taj način, na vlastitim istraživanjima, se stvara novi originalni fundus znanja koji može poslužiti kao temelj za nova istraživanja, nastavni proces i uspostavu novog laboratorija.

Rad je izrađen u sklopu aktivnosti na istraživačkom projektu *IP-2018-01-6363 Razvoj i toplinska svojstva inteligentne odjeće (ThermIC)* financiranog od Hrvatske zaklade za znanost, a objava je plaćena sa sredstava Potpore istraživanju *2020 Razvoj mjerne opreme za utvrđivanje gradijenata temperatura u višeslojnoj toplinskoj izolaciji odjeće* financirane od Sveučilišta u Zagrebu.

Literatura:

- [1] Judy Siegel-Itzkovich: What our fish and our b-ball players have in common, December 22, 2007, <https://www.jpost.com/health-and-sci-tech/science-and-environment/what-our-fish-and-our-b-ball-players-have-in-common>
- [2] Rogale D., S. Firšt. Rogale, Dragčević Z., Nikolić G.: Inteligentni odjevni predmet s aktivnom termoregulacijskom zaštitom, odobren konsenzualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 6. lipnja 2007. pod oznakom P20030727
- [3] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z., Bartoš M.: Odjevni predmet s adaptivnim mikroklimatskim stanjima, odobren konsenzualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 31. listopada 2010. pod oznakom PK20080116
- [4] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z.: Univerzalna rebrasta termoizolacijska komora kontinuirano podesive debljine, odobren konsenzualni patent od

Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 30. lipnja 2010. pod oznakom PK20080118

- [5] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z., Bartoš M.: Controllable Ribbed Thermoinsulative Chamber of Continually Adjustable Thickness and its Application, Europski patentni ured (EPO) donio Rješenje o priznanju Europskog patent, odobren europski patent, 28. prosinca 2011. pod oznakom EP2254430 u 13 europskih zemalja
- [6] Firšt Rogale S., Rogale D., Nikolić G., Dragčević Z.: Inteligentna odjeća, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, 2014, 398, ISBN 978-953-7105-52-5
- [7] Rogale D., Nikolić G.: Mjerni sustav za određivanje statičkih i dinamičkih toplinskih svojstava kompozita i odjeće, odobren konsenzualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 28. kolovoza 2015. pod oznakom PK20130350
- [8] ISO 15831:2004 Clothing-Physiological Effects-Measurement of Thermal Insulation by Means of a Thermal Manikin; ISO, Geneva, Switzerland, 2004
- [9] Rogale D., Špelić I., Firšt Rogale S., Majstorović G.: Utvrđivanje toplinskog otpora PA i PES tekstilnih tvorevina u ovisnosti o broju i kombinaciji slojeva, Zbornik radova 5.znanstveno-stručnog savjetovanja Tekstilna znanost i gospodarstvo, Ujević, D.; Penava, Ž.(ur.)Zagreb, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 26. siječnja 2012., 215-220
- [10] Rogale D., Rogale K., Firšt Rogale S., Knezić Ž., Vujsinović E., Čubrić G., Špelić I.: Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću, Državni zavod za intelektualno vlasništvo, odobren konsenzualni patent od Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo 8. ožujka 2020. pod oznakom PK20171643
- [11] Rogale D., Firšt Rogale S., Knezić Ž., Vujsinović E., Čubrić G., Špelić I.: Višenamjenski diferencijalni konduktometar za tekstilne kompozite i odjeću, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske 2018, Rogale D., Žiljak

- V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 184-189, ISSN 1332-3482
- [12] Rogale D., Firšt Rogale S.: Integrirani mjerni sustav za neovisna mjerenja temperature i stanja aktuatora u inteligentnoj odjeći, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* 2018, Rogale D., Žiljak V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 315-318, ISSN 1332-3482
- [13] Rogale D., Firšt Rogale S.: Visokotehnološki izvori električne energije ugrađeni u obuću i odjeću, *Koža i obuća* 66 (2017.) 4, 8-14
- [14] Rogale D.: Triboelektrički generator za pohranjivanje statičkog naboja, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* 2018, Rogale D., Žiljak V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 352-355, ISSN 1332-3482
- [15] Radišić Lj., Firšt Rogale S., Rogale D.: Projektiranje elemenata e-odjeće na platformi Arduino, *Tekstil* 66 (2017.) 3-4, 83-91
- [16] Rogale D., Firšt Rogale S., Veldić M.: Pametna odjeća za bolesnike i rekonvalescente, *Polytechnic and design*, 6 (2018.), 2, 93-108 DOI:10.19279/TVZ.PD.2018-6-2-04, ISSN 2459-6302
- [17] Peck-Tijeglić M., Firšt Rogale S., Rogale D., Bobovčan Marcellić M.: Projektiranje pametne biciklističke jakne, *Tekstil*, 67 (2018), 9-10, 247-257, ISSN 0492-5882
- [18] Firšt Rogale S.: Pametna torba s ugrađenom zaštitom od krađe sadržaja, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* 2018, Rogale D., Žiljak V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 272-274, ISSN 1332-3482
- [19] Rogale D.: Inteligentna jakna za nadzor rada šumskih radnika, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske* 2018, Rogale D., Žiljak V. (ur.), Zagreb, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2019., 324-326, ISSN 1332-3482
- [20] ...: Za Hrvatsku napravljen prvi sustav hlađenja kostima proizveden u Hrvatskoj, <http://eug2016.com/hr/za-hrvatsku-napravljen-prvi-sustav-hladenja-kostima-proizveden-u-hrvatskoj/>, pristupljeno 12. prosinca 2016.
- [21] ...: Traži se ime Zagijeva nasljednika, <https://studentski.hr/studenti/sport/trazi-se-ime-zagijeva-nasljednika>, pristupljeno 12. prosinca 2016.

SUMMARY

Integrated metrology system in the Laboratory for thermal insulation properties of clothing

S. Firšt Rogale, D. Rogale, Ž. Knezić, S. Fajt, D. Časar Veličan*

As part of the research project IP-2018-01-6363 Development and thermal properties of intelligent clothing (ThermIC) funded by the Croatian Science Foundation, the Laboratory for Thermal Insulation Properties of Clothing was established at the Department of Clothing Technology of the Faculty of Textile Technology. An integrated metrology system was installed in the laboratory for complete tests of the thermophysiological properties of composite clothing and clothing. Most of the devices that make up the complete metrology system are original patented solutions of the project managers and team members and were presented at domestic and international innovation exhibitions, where they were awarded a number of recognitions and awards. The integrated measuring system for thermophysiological properties of clothing consists of a measuring system for determining static and dynamic thermal properties of composites and clothing (hot plate and thermal mannequin), a device for measuring physiological parameters of the human body in the exact evaluation of thermal comfort of clothing, a multi-purpose differential conductometer for textile composites and clothing, a device for non-destructive measurement of thermal resistance and water vapour permeability / water resistance (Permetest) and a device for measuring temperature gradients in composite clothing. In addition to the mentioned measuring devices, the paper presents functional prototypes of smart and intelligent clothing developed at the Department of Clothing Technology of the Faculty of Textile Technology.

Keyword: development of clothing measuring system, thermal insulation properties, thermo physiological properties, smart and intelligent clothing, research project IP-2018-01-6363

University of Zagreb

Faculty of Textile Technology

**Faculty of Electrical Engineering and Computing*

Zagreb, Croatia

e-mail: sfrogale@ttf.unizg.hr

Received January 3, 2020

Integriertes Messsystem im Labor für Wärmeisolationseigenschaften von Kleidung

Im Rahmen des Forschungsprojekts IP-2018-01-6363 Entwicklung und thermische Eigenschaften intelligenter Kleidung (ThermIC), das von der kroatischen Wissenschaftsstiftung finanziert wird, wurde das Labor für thermische Isolationseigenschaften von Kleidung in der Abteilung Bekleidungstechnologie der Fakultät für Textiltechnologie eingerichtet. Im Labor wurde ein integriertes Messsystem installiert, mit dem die thermophysologischen Eigenschaften von Verbundwerkstoff-Bekleidung und Bekleidung vollständig geprüft werden können. Die meisten Geräte, aus denen das komplette Messsystem besteht, sind patentierte Originallösungen der Projektleiter und Teammitglieder und wurden auf nationalen und internationalen Innovationsmessen vorgestellt, wo sie eine Reihe von Anerkennungen und Preisen erhielten. Das integrierte Messsystem für thermophysologische Eigenschaften von Bekleidung besteht aus einem Messsystem zur Bestimmung der statischen und dynamischen thermischen Eigenschaften von Verbundstoffen und Bekleidung (Heizplatte und thermische Schaufensterpuppe), einem Gerät zur Messung physiologischer Parameter des menschlichen Körpers zur exakten Beurteilung des thermischen Komforts von Bekleidung, einem Mehrzweck-Differenzialkonduktometer für Textilverbundstoffe und Bekleidung, einem Gerät zur zerstörungsfreien Messung des Wärmewiderstands und der Wasserdampfdurchlässigkeit/Wasserbeständigkeit (Permetest) und einem Gerät zur Messung von Temperaturgradienten in Verbundstoffbekleidung. Zusätzlich zu den erwähnten Messgeräten werden funktionelle Prototypen von intelligenter Kleidung vorgestellt, die in der Abteilung Bekleidungstechnik der Fakultät für Textiltechnik entwickelt wurden.