

Infracrvena termografija kao koristan alat za poboljšanje performansi sportaša

Izv. prof. dr. sc. **Goran Čubrić**, dipl. ing.

Izv. prof. dr. sc. **Ivana Salopek Čubrić**, dipl. ing.

Antonija Petrov, mag. ing. techn. text.

Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet

Zagreb, Hrvatska

e-mail: goran.cubric@tff.unizg.hr

Prispjelo 20. 12. 2021.

UDK 677.017.536.33
Pregled*

Sportska odjeća za aktivne sportaše ima različite funkcije koje pomažu sportašima u postizanju boljih sportskih rezultata. Kod svakog tipa sportske odjeće, fiziološki aspekt je od velike važnosti jer ima značajan utjecaj na učinkovitost i performanse sportaša. U ovom radu opisana je međusobna povezanost sportske odjeće i fizioloških reakcija sportaša. Osim toga, naglašavaju se pozitivni aspekti primjene termografije kao važnog alata za procjenu parametara sportske odjeće što omogućava daljnje unaprjeđenje parametara tekstilnih materijale kako bi se poboljšala učinkovitost sportaša. U radu se također daje pregled istraživanja provedenih korištenjem termografije za procjenu karakteristika sportske odjeće.

Ključne riječi: termografija, sportska odjeća, fiziološka udobnost

1. Uvod

Potrošnja tekstilnih vlakana i plošnih proizvoda namijenjenih proizvodnji sportske odjeće, kao i različitih sportskih proizvoda bilježi značajan porast u posljednjem desetljeću. Prognoze stručnjaka za nadolazeće razdoblje su još pozitivnije. Ovo povećanje potrošnje uglavnom je rezultat sve većeg interesa stanovništva diljem svijeta za aktivne sportove u zatvorenom i na otvorenom, povećane brige za zdravlje i brige za vla-

stytu dobrobit. U različitim sportskim aktivnostima, izvedba sportske odjeće sinonim je za karakteristike udobnosti korištene sportske odjeće. Za različite tipove sportske odjeće, fiziološki aspekt je iznimno važan zbog velikog utjecaja na učinkovitost i izvedbu sportaša. Sportska odjeća za vanjsku upotrebu trebala biti sposobna zaštititi sportaša od niza vanjskih elemenata (na primjer kiše, snijega, vjetera i sunca). Osim toga, sportska odjeća treba biti sposobna održavati toplinsku ravnotežu između topline koju proizvodi osoba koja je odjevena u takvu odjeću i sposobnosti raspršivanja topline tijela i znoja. Kako bi se osigurala ugodna mikroklima za

pojednog sportaša, dizajneri moraju definirati specifičnosti za svaki tip funkcionalne odjeće kao i dobiti povratnu informaciju od sportaša o određenim pitanjima [1].

Ovaj rad opisuje međusobnu povezanost dizajnirane sportske odjeće i fizioloških reakcija sportaša. Nadalje, fokusira se na korištenje termografije kao važnog alata za procjenu sportske odjeće. Slijedom toga, ističe potrebu za poboljšanjem materijala za povećanje performansi sportaša te raspravlja o rezultatima dosadašnjih znanstvenih istraživanja vezanih uz korištenje termografije za mapiranje tijela.

*Izlaganje na 14. znanstveno-stručnom savjetovanju „Tekstilna znanost i gospodarstvo“, 26. siječnja 2022., Zagreb, Hrvatska

2. Sportska odjeća i reakcija kože

Sportska odjeća kod aktivnih sportaša ima određene funkcije koje zadovoljavaju određene karakteristike i pomažu sportašima u postizanju vrhunskih sportskih rezultata. Kada se sportske aktivnosti odvijaju u određenim uvjetima, kao što su niske i visoke temperature, funkcionalnost i udobnost sportske odjeće su vrlo važni. Aktivni sportaši mogu proizvesti do 2,5 litre znoja u ekstremnim uvjetima. Znoj prolazi kroz tekstil kroz dva povezana procesa, vlaženje (kvašenje) i upijanje [2]. U kontaktu s tekstilom stupanj vlaženja može biti različit. Do vlaženja dolazi tijekom interakcije tekućina i zraka u porama tekstila. Ispitivanja vlaženja temelje se na mjerenju kutova dodira na međugraničnim površinama, kako bi se odredio stupanj vlaženja pri su interakciji tekućina/tekstil. Mogućnost vlaženja tekstila ovisi o svojstvima vlakana i površinskim svojstvima materijala. Tekućina se dalje prenosi kroz tekstil kapilarnim djelovanjem ili upijanjem. Upijanje ovisi o vrsti vlakna, strukturi pređe, strukturi materijala, doradi te vlažnosti i temperaturi okoline [3]. Vezano uz proučavanje fiziološke topline kod sportaša, udobnost ima vrlo važnu ulogu. Prema istraživačima, dva fiziološka parametra imaju vrlo veliku važnost. Količina znoja na ljudskoj koži određuje udobnost kože u toplim uvjetima, a prosječna temperatura kože određuje udobnost odjeće u hladnijim uvjetima [4].

Jedna od metoda koje se sve više istražuju i koriste u sportu su metode hlađenja. Najčešće metode hlađenja nakon intenzivne aktivnosti su uranjanje u hladnu vodu, kontrastne kupke, kriogene komore, rashladni prsluci, hladne masaže i hladni napici [5]. Različite metode imaju i različite učinke, a učinak ovisi o karakteristikama

vode ili komore, duljini izlaganja, ali i drugim značajkama [6].

U uvjetima povećane vlage i visoke temperature, rashladni prsluci koriste se uglavnom prije velikih napora, natjecanja ili vježbanja. Aktivnosti vrlo velike intenzivnosti u takvim uvjetima mogu dovesti do povećanja tjelesne temperature što u konačnici može rezultirati smanjenjem sposobnosti sportaša. Prsluci su izrađeni od različitih materijala i imaju vezice kako bi prsluk što bolje odgovarao sportašu. Neka istraživanja pokazuju da takvi prsluci dizajnirani posebno za sportske aktivnosti daju značajnu prednost sportašima koji izvode ponavljajuće tjelesne aktivnosti u uvjetima visoke temperature i vlage [7].

Prema istraživanju provedenom na sportašima, prosječna temperatura kože prije vježbanja bila je značajno niža kada su nosili rashladni prsluk na temperaturi od 32 °C. U vrućem okruženju, nošenje prsluka za hlađenje može smanjiti tjelesnu temperaturu od 3 do 7 °C [8]. Umor sportaša je znatno manji nakon nošenja prsluka. Neka su istraživanja pokazala da uporaba rashladnih ovratnika također pomaže u smanjenju tjelesne temperature sportaša. Navedena istraživanja koristila su samo senzore za mjerenje temperature kože na različitim dijelovima tijela [9, 10]. Kada govorimo o hladnom okruženju, sportaš tijekom vježbanja proizvodi dovoljno topline za održavanje ukupne toplinske ravnoteže [11]. No, pri niskim temperaturama ekstremiteti mogu biti izloženi velikoj hladnoći te se koriste i razni odjevni predmeti poput kapa, šalova, rukavica i cipela. U ekstremnim uvjetima (primjerice na -25 °C) veći protok krvi u prstima rezultirao je upotrebom rukavica i grijača za torzo [12]. Prema istraživanju koje su proveli Song i Wang, gdje je prsluk s električnim grijanjem korišten u okruženju od 2 °C, grijani prsluk pokazao je 2 °C višu

temperaturu u području trbuha i leđa u usporedbi s prslukom bez grijanja. Obje metode dovele su do povećanja tjelesne temperature i osjećaja topline [13]. Prema autorima, metoda koja bi bila puno korisnija za mjerenje tjelesne temperature kod sportaša bila bi infracrvena termografija. Naime, termalna kamera bi točnije procijenila učinkovitost intervencije grijanja ili specifične aktivne odjeće tijekom vježbanja [14].

3. Termografija kao vrijedan alat za procjenu sportske odjeće

Infracrvena termografija je nedestruktivna mjerna metoda za određivanje raspodjele temperature na površini objekata. To je uobičajena i popularna mjerna metoda istraživača različitih znanstvenih područja. U području tekstilnog inženjerstva ovom se metodom može promatrati proizvodni proces, svojstva tekstilnog materijala, udobnost odjeće i razvoj proizvoda. U posljednje vrijeme se mnogo pozornosti posvećuje mapiranju tjelesnih temperatura kako bi se tekstilni materijali i odjeća prilagodili potreba tijela.

Davne 1975. godine njemački autori Keyl i Lenhart objavili su prva istraživanja u području sporta primjenom infracrvene termografije. Istraživanje je provedeno pod nazivom "Thermography in sports injuries and lesions of the locomotor system due to sports" [15]. Termografija je omogućila treniranja i sportašima promatranje promjene tjelesne temperature određenih dijelova tijela kako bi spriječili ozljede mišića i bili upućeni u zdravlje sportaša [16]. Nadalje, tijekom godina su provedene mnoge studije povezane s infracrvenom termografijom u sportu. P. Menezes i sur. proveli su istraživanje na dvadeset i jednom nogometašu. Koristeći infracrvenu termografiju, snimili su mišiće

prije aktivnosti i nakon 30 minuta trčanja. Rezultati su pokazali da se temperatura kože povećala kao izravna posljedica mišićne aktivnosti [17].

Istraživanja su također provedena i kod skupine planinara. Planinare nije vrlo zahtjevna i popularna rekreativna aktivnost. S obzirom na vremenske uvjete, planinari trebaju imati dobru i udobnu sportsku odjeću koja ih štiti od nepovoljnih vanjskih uvjeta [18, 19]. Provedeno je istraživanje koje procjenjuje temperaturu kože ispod planinarske odjeće duž cijelog tijela u različitim fazama. U istraživanju su sudjelovali žene i muškarci. Sudionici su nosili hlače, majice, jaknu i sportski grudnjak za žene. Simulacija jutarnje šetnje (hodanje uzbrdo i nizbrdo, uz stanke za odmor) pokazala je da je prosječna temperatura kod žena značajno niža nego kod muškaraca u stanju uspona i mirovanja. Također, dokazano je da slojevi odjeće značajno utječu na temperaturu kože. Gornji dio tijela, potkoljenice i aktivni mišići imali su višu temperaturu od ruku (majica), a kod žena i unutarnje strane bedara [20]. To pokazuje da je termografija iznimno važna pri odabiru materijala sportske odjeće i prilagodbi dizajna [21]. Nekoliko različitih studija također je provedeno uz sudjelovanje trkača [22]. Dvanaest aktivnih sportaša trčalo je 40 minuta, a procjene infracrvene termografije dobivene su u 4 različite faze: prije trčanja, nakon 10 minuta trčanja, nakon 40 minuta trčanja i nakon 10 minuta odmora. Tijekom svih 40 minuta trčanja, pokazalo se da je tjelesna temperatura u području oko trbuha, prsne kosti, bedara, vrata i obraza ispod odjeće bila niža od temperature ostatka tijela. Područje oko kralježnice, unutarnje strane bedara i listova su bili znatno topliji [20]. J. I. Priego-Quesada i sur. istraživali su trkače koji su nosili kompresijske čarape. Istra-

živanje je provedeno na četrdeset i četiri trkača koji su trčali 2x30 minuta, sa i bez kompresijskih čarapa. Koristili su infracrvenu termografiju i mjerili temperaturu kože trkača prije i poslije trčanja. Zaključili su da dolazi do većeg porasta temperature tijekom nošenja kompresijskih čarapa [23]. Mapiranje sličnosti i razlika u distribuciji temperature kože dobiveno iz toplinskih uzoraka tijela ispod odjeće prilikom trčanja moglo bi se primijeniti za druge sportove i oblike vježbanja.

Cilj proučavanja utjecaja sportskih grudnjaka B. Ayres i sur. bilo je smanjenje pokretljivosti grudi i boli tijekom vježbanja [24, 25]. B. Ayres i sur. istraživali su kako sastav i slojevitost sportskih grudnjaka utječu na temperaturu kože. U istraživanju je sudjelovalo osam žena koje su nosile kompozitni sportski grudnjak (65% poliamid, 22% poliester 13% elasthan) ili sportski grudnjak od 100% poliester. Infracrvenom termokamerom izmjerena je temperatura kože te je zaključeno da je temperatura u području prsa bila niža od temperature u abdomenu. Kod sportskog grudnjaka izrađenog iz jedne vrste polimernog materijala primijećeno je smanjenje ukupne temperature kože u odnosu na grudnjak izrađen iz različitih sirovina. Također se pokazalo da sportski grudnjak izrađen od poliester ima veću toplinsku udobnost. Rezultati su dodatno istaknuli važnost optimizacije dizajna sportskih grudnjaka kako bi se olakšala sposobnost hlađenja kože [26].

N. Ludwig i sur. proučavali su tjelesnu temperaturu biciklista pomoću termografije. Proveden je test maksimalnog ciklusa kako bi se procijenila reakcija njihove kože. Rezultati su pokazali pad temperature kože tijekom vježbanja, nakon čega je došlo do porasta temperature u fazi iscrpljenosti [27]. J. I. Priego-Quesada i sur. proveli su različita istraživanja, od

kojih je jedno vezano uz primjenu termografije za mjerenje rekreativnih triatlonaca. Mjerenje kako opterećenje tijekom treninga može utjecati na temperaturu kože nakon fizičkog napora. Dobiveni rezultati pokazali su porast srednje i maksimalne temperature kože nakon drugog dana treninga, uz objašnjenje da je navedeno izravno povezano s mišićnom masom [28].

M. Chudecka i sur. proveli su komparativnu studiju u kojoj je korištena termografija za mjerenje temperature kože muškaraca pri vježbanju na veslačkom ergometru s dva vesla. Temperatura njihove kože uspoređena je s temperaturom mišića rukometaša. Kod veslača, rezultat je pokazao nižu srednju temperaturu nakon vježbanja nego prije vježbanja. Kod rukometaša temperatura kože u simetričnim područjima iznad asimetrično radnih mišića pokazuje statistički značajne razlike između strana tijela, što je povezano s asimetrijom funkcionalnog treninga. Istraživanja su pokazala da bi termografija bila vrlo korisna trenerima u procjeni tehničke pripremljenosti u sportu [29]. Godine 2020., P. Gómez-Carmona i sur. proveli su istraživanje primjenom termografije kako bi se otkrio umor mišića i preopterećenje kod 24 nogometaša. Istraživanje je provedeno tijekom prve predsezona. Pokazalo se da primjenom rezultata analize infracrvene termografije može smanjiti prisutnost ozljeda i identificirati potencijalno ranjive nogometaše [30]. Najnovija istraživanja u području termografije proveli su P. L. Valenzuela i sur. Istraživali su promjene temperature kože kod šesnaest muških dizača utega. Analizirana je temperatura bicepsa i prsnih mišića prije, tijekom i nakon napora. Rezultati su pokazali značajno smanjenje temperature prije zagrijavanja i neposredno nakon vježbanja [31].

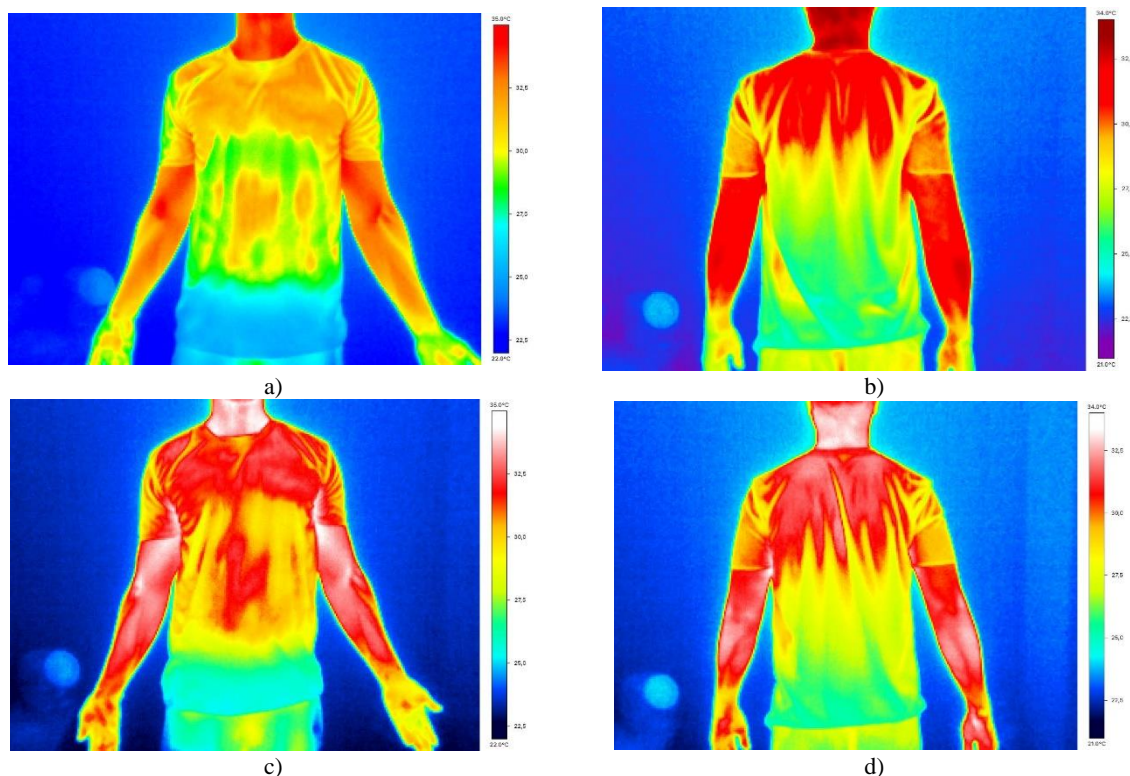
4. Mapiranje tjelesne temperature

Termografija je koristan alat i za mapiranje temperature velikih područja ljudskog tijela. U području sporta, termografija se koristi za promatranje promjena temperature kože igrača. Tijekom sportske aktivnosti, vježbanja ili igranja, srednja temperatura tijela raste. Pomoću termalne kamere lako se može uočiti te promjene. Primjeri termografskih slika snimljenih termalnom kamerom prikazani su na sl.1. Na njima se jasno vide temperaturne razlike prije i nakon sportske aktivnosti.

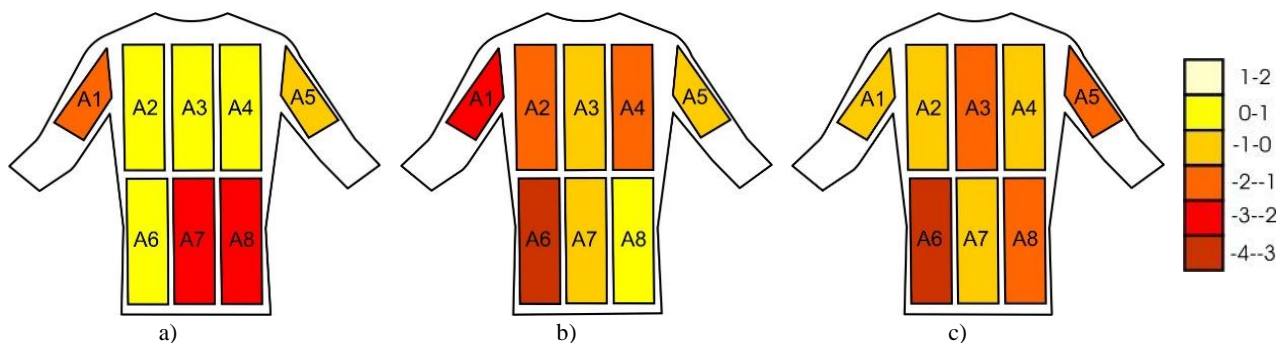
U prethodno objavljenom istraživanju [32] fokus je bio na istraživanju promjena tjelesne temperature tijekom dva tipična nogometna treninga: kondicijskog i taktičkog treninga. Obje vrste treninga trajale su 60 minuta. Prosječne temperature promatrane su za 9

prednjih i 9 stražnjih zona gornjeg dijela tijela. Rezultati su pokazali da se nakon kondicijskog treninga tjelesna temperatura smanjuje za do 2 °C u prednjoj zoni nadlaktice i prsnog koša, dok nakon taktičkog treninga raste do 1 °C u prednjoj zoni prsnog koša. Nakon obje vrste treninga tjelesna temperatura se smanjuje za 1,2 do 3,7 °C u svim stražnjim zonama tijela [32]. Sljedeća studija [33] bila je usmjerena na mjerenje temperature površine tijela igrača futsala koji su sudjelovali u mjerenjima nakon tri vrste treninga (elementi futsal igre, snaga i izdržljivost te kombinirani trening istezanja i elementa futsal igre). Svaki trening je trajao 60 minuta. Mjerenja tijela igrača su provedena u razdoblju od dva mjeseca, a raspodjele temperature tijela prikazane su na sl.2. Kao što se može vidjeti izmjerene temperature se blago povećavaju u većini prednjih zona nakon trenin-

ga usmjerenih isključivo na elemente igre. Značajno smanjenje temperature opaženo je za zonu 7, tj. zonu medijalnog abdomena. Nakon treninga snage i izdržljivosti temperatura se smanjuje u svim promatranim prednjim zonama. Ova vrsta treninga je vrlo složena i zahtjevna, što je izazvalo intenzivno znojenje tijela. Budući da je odjeća sportaša izrađena od poliesterske pređe, ista nema veliku sposobnost upijanja znoja. Zbog toga se znoj nakuplja na površini kože što utječe na smanjenje izmjerene temperature. U posljednjoj vrsti treninga, nakon kombiniranog treninga istezanja i elementa futsal igre, dolazi do povećanja temperature u zonama A1-A5, odnosno gornjim zonama prsa i nadlaktica. Rezultati pokazuju da se tijelo zagrijalo uslijed aktivnosti treninga, ali mehanizam znojenja tijela još nije aktiviran [33].

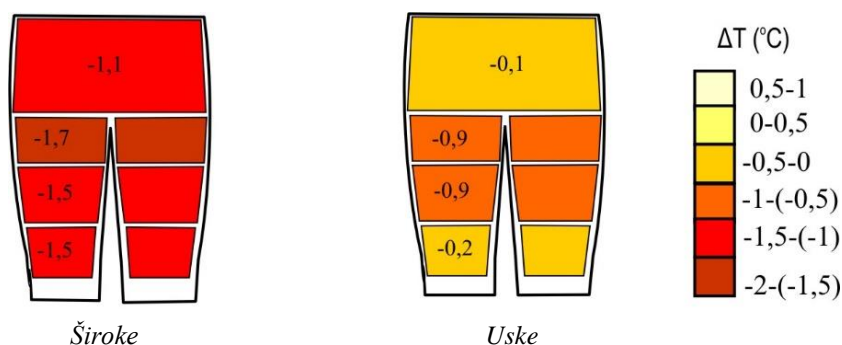


Sl.1 Primjeri termograma; a). prednja zona tijela, prije treninga, b) stražnja zona tijela, prije treninga, c) prednja zona tijela, nakon treninga, d) stražnja zona tijela, nakon treninga.

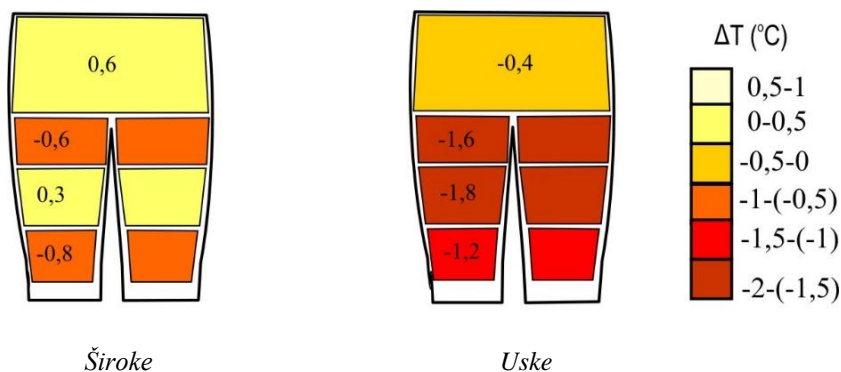


S1.2 Mapiranje tijela koje pokazuje razlike u tjelesnim temperaturama nakon treninga (u °C) za različite vrste futsal treninga: a) uvježbavanje samo elemenata futsal igre, b) trening snage i izdržljivosti i c) kombinirani trening istezanja i elemenata futsal igre [33]

Istraživanje predstavljeno u sljedećem radu [34] usredotočuje se na utjecaj kroja odjeće, razine aktivnosti i spola na promjene temperature na površini odjeće u umjerenim i hladnim toplinskim okruženjima. Ova studija implicira da pristalost odjeće igra važnu ulogu u zadržavanju topline između tekstilnog materijala i kože. To se posebno odnosi na zonu gornjeg i donjeg dijela potkoljenice. U zatvorenom prostoru, pristaliji model kod ženskih ispitanika ima značajan utjecaj na prosječnu temperaturu u zoni gornjeg dijela potkoljenice. Ovo zapažanje je još izraženije kod mjerenja u vanjskom okruženju. Kod muškog ispitanika, veće razlike između temperatura vidljive su samo kod mjerenja u vanjskom okruženju. Na sl.3 i 4 grafički su prikazane prosječne izmjerene temperature za promatrane zone tijela pod različitim kombinacijama utjecajnih čimbenika [34].



S1.3 Mapiranje tijela koje pokazuje razlike u tjelesnim temperaturama nakon treninga u zatvorenom prostoru za žene



S1.4 Mapiranje tijela koje pokazuje razlike u tjelesnim temperaturama nakon treninga u zatvorenom prostoru za muškarce

5. Zaključak

Infracrvena termografija važan je i često korišten alat za procjenu niza parametara u različitim znanstvenim i stručnim područjima. U području tekstila, termografija može podržati razvoj prilagođene sportske odjeće. U tom kontekstu, individualni temperaturni uzorci sportaša mogu biti korisni za

ciljani gubitak ili očuvanje topline. Ipak, čini se da se infracrvena termografija u ograničenoj mjeri koristi u području ergonomije sportske odjeće, posebice kada je u pitanju sportska odjeća za specifične sportove i profesionalne sportaše. S obzirom na specifičnost svakog sporta i potrebu za poboljšanjem performansi sportaša, brojni su

primjeri gdje bi se termografija mogla koristiti kao važan alat za procjenu. Budući da pojedinačne kvalitativne i kvantitativne informacije dobivene infracrvenom termografijom mogu biti iznimno vrijedne u procjeni učinkovitosti sportske odjeće, očekuje se da će važnost termografije biti istaknuta u sljedećim istraživanjima.

Zahvala



Ovaj je rad financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom IP-2020-02-5041 „Tekstilni materijali za povećanu udobnost u sportu - TEMPO.

Literatura:

- [1] Salopek Čubrić I.: Approach Towards Design of Functional Sportswear for Improved Human Performance, Proceedings of the 8th International Ergonomics Conference, Springer, Cham, Zagreb 2021., 3-11
- [2] Musaddaq A. *et al.*: Mechanism of liquid water transport in fabrics: a review, *Fibres and Textiles* **24** (2017.) 4, 55-65
- [3] Gorji M., R. Bagherzadeh: Moisture management behaviors of high wicking fabrics composed of profiled Fibres, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* **41** (2016.) 3, 318-324
- [4] Shirreffs S. M. *et al.*: The Sweating Response of Elite Professional Soccer Players to Training in the Heat, *International journal of sports medicine* **26** (2016.) 2, 90-95
- [5] Ross M. *et al.*: Precooling methods and their effects on athletic performance: a systematic review and practical applications, *Sports Medicine* **43** (2013.) 3, 207-225
- [6] Fournet D., G. Havenith: Assessment of Sport Garments Using Infrared Thermography, *Application of Infrared Thermography in Sports Science*, 2017., 159-183
- [7] Webster J. *et al.*: A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat, *Ergonomics* **48** (2015.) 7, 821-837
- [8] Gao C. *et al.*: Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment, *European Journal of Applied Physiology* **111** (2011.) 6, 1207-1216
- [9] Tyler C. J., C. Sunderland: Neck cooling and running performance in the heat: single versus repeated application, *Medicine & Science in Sports & Exercise* **43** (2011.) 12, 2388-2395
- [10] Minniti A. *et al.*: Effects of a cooling collar on affect, ratings of perceived exertion, and running performance in the heat, *European Journal of Sport Science* **11** (2011.) 6, 419-429
- [11] Wang F. *et al.*: A review of technology of personal heating garments, *International Journal of Occupational Safety Ergonomics* **16** (2012.) 3, 387-404
- [12] Brajkovic D., M.B. Ducharme: Finger dexterity, skin temperature, and blood flow during auxiliary heating in the cold, *Journal of Applied Physiology* **95** (2003.) 2, 758-770
- [13] Song W., F. Wang: The hybrid personal cooling system (PSC) could effectively reduce the heat while exercising in a hot and moderate humid environment, *Ergonomics* **59** (2015.) 8, 1009 – 1018
- [14] Priego-Quesada, J. I. *et al.*: Physics Principles of the Infrared Thermography and Human Thermoregulation, *Application of Infrared Thermography in Sports Science*, 2017., 25-48
- [15] Keyl W., P. Lenhart: Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport. *Fortschritte der Medizin* **93** (1975.) 3, 124-126
- [16] Priego-Quesada J. I. *et al.*: Introduction: Historical Perspective of Infrared Thermography and Its Application in Sport Science, *Application of Infrared Thermography in Sports Science, Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering*. Springer, Cham. 2017., 1-23
- [17] Menezes, P. *et al.*: Effects of Strength Training Program and Infrared Thermography in Soccer Athletes Injuries, *Sports* **6** (2018.) 4, 148, 1-10
- [18] Young A. J., J. W. Castellani: Exertional fatigue and cold exposure: mechanisms of hiker's hypothermia, *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* **32** (2007.) 4, 793-798
- [19] Simpson K.M. *et al.*: Effect of load mass on posture, heart rate and subjective responses of recreational female hikers to prolonged load carriage, *Applied Ergonomics* **42** (2011.) 3, 403-410
- [20] Fournet D. *et al.*: Sex differences in thermal strain induced by a typical hiking scenario in a cool environment, Proceedings of 15th international conference environment ergonomic, International Society for Environmental Ergonomics, Queenstown, New Zealand, 2013., 200-201
- [21] Fournet D.: Skin temperature variations in the cold, Phd Thesis, Loughborough University (2013)
- [22] Roberts B. C. *et al.*: Thermo-regulatory response to base layer garments during treadmill exercise, *International Journal of Sports*

- Science and Engineering **1** (2007.) 1, 29-38
- [23] Priego-Quesada J. I. *et al*: Effects of graduated compression stockings on skin temperature after running, *Journal of Thermal Biology* **52** (2015.) 130-136
- [24] Mason B. R. *et al*: An analysis of movement and discomfort of the female breast during exercise and the effects of breast support in three cases, *Journal of Science and Medicine in Sport* **2** (1999.) 2, 134-144
- [25] White J. L. *et al*: The effect of breast support on kinetics during overground running performance, *Ergonomics* **52** (2019.) 4, 492-498
- [26] Ayres B. *et al*: Female upper body and breast skin temperature and thermal comfort following exercise, *Ergonomics* **56** (2013.) 7, 1194-1202
- [27] Ludwig, N. *et al*: Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists, *Applied Optics* **55** (2016.) 34, D126-D130
- [28] Priego-Quesada, J. I. *et al*: A preliminary investigation about the observation of regional skin temperatures following cumulative training loads in triathletes during training camp, *Journal of Thermal Biology* **84** (2019.) 431-438
- [29] Chudecka M. *et al*: The Use of Thermal Imaging in the Evaluation of the Symmetry of Muscle Activity in Various Types of Exercises (Symmetrical and Asymmetrical), *Journal of Human Kinetics* **49** (2015.) 141-147
- [30] Gómez-Carmona P. *et al*: Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer Injuries, *Journal of Sport Rehabilitation* **29** (2020.) 8, 1222-1227
- [31] Valenzuela P. L. *et al*: Ischemic Preconditioning and Muscle Force Capabilities, *Journal of Strength Conditioning Research* **35** (2021.) 8, 2187-2192
- [32] Salopek Čubrić I. *et al*: The comfort of knitted fabric: interaction of sportswear and athlete's body, *Joint International Conference Clothing-Body Interaction*, Dresden, Njemačka, 2021.
- [33] Salopek Čubrić I. *et al*: Development of Ergonomic Sportswear Based on Thermal Body Mapping, *Proceedings of the 8th International Ergonomics Conference*, Springer, Cham, Zagreb 2021., 49-56
- [34] Salopek Čubrić I., G. Čubrić: Body-mapping based on thermographic measurements under different influencing factors, *Sigurnost* **63** (2021.) 2, 143-154.

SUMMARY

Infrared thermography as a useful tool for improving the performance of athletes

G. Čubrić, I. Salopek Čubrić, A. Petrov

Sportswear for active athletes has various functions that perform certain features and help athletes achieve better athletic results. In any sportswear, the physiological aspect is of great importance as it has a great impact on the efficiency and performance of the athletes. In this paper, the interaction between the designed sportswear and the physiological responses of an athlete is described. In addition, it highlights the use of thermography as an important tool for evaluating sportswear and thus improving materials to enhance an athlete's athletic performance. The paper also reviews the research conducted in relation to the use of thermography for the evaluation of sportswear.

Keywords: thermography; sportswear; physiological comfort

University of Zagreb Faculty of Textile Technology

Zagreb, Croatia

e-mail: goran.cubric@tf.unizg.hr

Received December 20, 2021

Infrarot-Thermografie als nützliches Hilfsmittel zur Leistungssteigerung von Sportlern

Sportbekleidung für aktive Sportler bietet eine Vielzahl von Funktionen, die bestimmte Aufgaben erfüllen und den Sportlern helfen, bessere sportliche Leistungen zu erzielen. Die physiologische Komponente jeder Sportbekleidung ist äußerst wichtig, da sie einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz und Leistung der Sportler hat. Die Beziehung zwischen der vorgesehenen Sportbekleidung und den physiologischen Reaktionen des Sportlers wird in dieser Untersuchung erläutert. Darüber hinaus wird die Bedeutung der Thermografie als Methode zur Analyse von Sportbekleidung und damit zur Verbesserung von Materialien zur Steigerung der sportlichen Leistung eines Sportlers hervorgehoben. In dem Artikel wird auch die Forschung über den Einsatz der Thermografie bei der Bewertung von Sportbekleidung untersucht.