

TERMOANALIZA PAMETNIH GRELNIH TEKSTILIJ ZA AVTOMOBILSKE SEDEŽE

NUŠA ADAM¹, MELANI POTRČ¹, MITJA SLAVINEC¹,
DANIELA ZAVEC² IN EVA KLEMENČIČ^{1,3}

Sprejeto

30. 8. 2021

Recenzirano

15. 3. 2022

Izdano

30. 4. 2022

¹ Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija.

² TITERA, tehnično inovativne tehnologije, d.o.o., Šentilj, Slovenija.

³ Fakulteta za energetiko, Univerza v Mariboru, Krško, Slovenija.

E-pošta: nusa.adam@student.um.si, melani.potrč@student.um.si,

mitja.slavinec@um.si, eva.klemencic@um.si

E-pošta: daniela@titera.tech

DOPISNI AVTOR

eva.klemencic@um.si

Original science article

Naravoslovje: Fizika

Ključne besede:

tekstilni
izdelki,
funkcija
gretja,
ogrevani
avtomobilski
sedeži,
termoanaliza,
sprememba
temperature

Povzetek V prispevku se osredotočimo na aktivne pametne tekstilne izdelke, ki zaznajo spremembo temperature in se nanjo odzovejo z vklopom (ali izklopom) gretja. Pri razvoju tekstilnih izdelkov s funkcijo gretja je pomembno poznati časovno dinamiko temperature pri segrevanju in ohlajanju z namenom nadzorovati in preprečiti pregrevanje izdelka. Kot ustrezna merilna metoda se izkaže termoanaliza. Pri termoanalizi uporabimo infrardečo kamero, ki omogoča nekontaktno preučevanje temperaturne porazdelitve po površini tekstilnega izdelka in identifikacijo vročih točk. V prispevku predstavimo rezultate termoanalize dveh vzorcev tekstilnih izdelkov s funkcijo gretja v kombinaciji z dvema vzorcema melaminske tekstilije, ki velja za dober toplotni izolator. Pri analizi in interpretaciji rezultatov se osredotočimo na možnost uporabe posamičnih vzorcev grelnih tekstilij in njihovih kombinacij z melaminom za segrevanje avtomobilskih sedežev.



THERMOANALYSIS OF SMART HEATING TEXTILES FOR CAR SEATS

NUŠA ADAM¹, MELANI POTRČ¹, MITJA SLAVINEC¹,
DANIELA ZAVEC² IN EVA KLEMENČIČ^{1,3}

¹ Faculty of Science and Mathematics, University of Maribor, Maribor, Slovenia.

² TITERA, technically innovative technologies, d.o.o., Šentilj, Slovenia.

³ Faculty of Energy, University of Maribor, Krško, Slovenia.

E-mail: nusa.adam@student.um.si, melani.potrc@student.um.si,

mitja.slavinec@um.si, eva.klemencic@um.si

E-mail: daniela@titera.tech

CORRESPONDING AUTHOR

eva.klemencic@um.si

Abstract In this paper, we focus on active smart textiles that detect a temperature change and respond to it by turning the heating on or off. In the development of such products, it is important to know the temperature-time dynamics of heating and cooling to control and prevent overheating. Thermoanalysis proves to be an appropriate method. An infrared camera enables a non-contact study of the temperature distribution on the surface of a textile product and the identification of hot spots. We present the results of thermoanalysis of two samples of heating textiles in combination with two samples of melamine textiles, which is considered a good thermal insulator. In analysis and results interpretation we focus on the possibility of using individual samples of heating textiles and their combinations with melamine for heated car seats.

Accepted

30. 8. 2021

Revised

15. 3. 2022

Published

30. 4. 2022

Original science
article

Natural Sciences:
Physics

Keywords:

textile
products,
function
heating,
heated
automotive
seats,
thermoanalysis,
change
temperature

1 Uvod

Pričetek panoge pametnega tekstilstva predstavljata patenta za razvoj rokavice s funkcijo gretja namenjenim vojaškimi pilotom (Lemercier, 1918) in za izdelavo multifilamente kovinske preje (Lees J. in Sons. Co., 1936). Dandanes razvoj pametnih tekstilnih materialov in izdelkov zahteva preplet interdisciplinarnih znanj s področja fizike, kemije, strojništva, elektrotehnike, hkrati pa tudi poznavanje tekstilnih proizvodnih procesov, tehnologij in standardov. Če so sprva bili končni uporabniki pametnih tekstilnih izdelkov delavci v ekstremnih vremenskih razmerah, se danes trg zaradi vedno večje cenovne dostopnosti širi. Posledično se večajo tudi zahteve po raznoliki funkcionalnosti pametnih tekstilnih materialov in izdelkov.

Glede na odzivnost po standardu ISO/TR 23383:2020 (2020) ločimo pasivne in aktivne pametne tekstilne izdelke. Namen pasivnih pametnih tekstilnih izdelkov je predvsem pridobivanje in monitoring podatkov. Na trgu najdemo izdelke s funkcijo merjenja srčnega utripa, frekvence dihanja, aktivnosti, položaja telesa, ki se uporabljajo v zdravstvene namene (Lee in Chung, 2009; Morrison, Silver in Otis, 2014; Baig in Gholamhosseini, 2013). Aktivni pametni tekstilni izdelki prav tako pridobivajo informacije, vendar se nanje tudi odzovejo in prilagodijo svoje delovanje. Mednje spadajo tudi tekstilni izdelki, ki na podlagi detektirane temperature okolice vklopijo ali izklopijo gretje (Mbise, Dias in Hurley, 2015). Poleg oblačilnih tekstilnih sistemov s funkcijo gretja (Constanzo, 1936; Grisley, 1936; Langenhove in Hertleer, 2004; Zielinski, 1993; Hao idr. 2012), kot so rokavice, nogavice in majica s funkcijo gretja, se grelni tekstilni materiali in izdelki vgrajujejo tudi v druge sisteme z namenom zagotavljanja toplotnega udobja končnega uporabnika, na primer v avtomobilske sedeže (Zhang, Wyon, Fang in Melikov, 2007; Hajime, Kotaro, Koji in Yutaka, 2011).

V prispevku preučimo dva vzorca tekstilij s funkcijo gretja v kombinaciji z dvema vzorcema melaminske tekstilije. Vzorca tekstilije s funkcijo gretja (slika 1) imata različno strukturo integriranih grelnih elementov. Skupna dolžina grelnih elementov (grelne žice) je večja pri vzorcu G1 kot pri vzorcu G2, kjer so grelni elementi nanešeni z večjim razmikom. Pri vzorcu G1 so grelni elementi všiti na tanki sloj poliestra, med tem ko so pri vzorcu G2 prilepljeni na tanko mrežasto plast tekstilije. Površina obeh vzorcev grelnih tekstilij je enaka. Grelne tekstilije preučujemo v kombinaciji z dvema vzorcema tekstilije iz melamina A in B. Vzorca se razlikujeta

po debelini in sicer je debelina vzorca A enaka 4,0 mm, debelina vzorca B pa 5,0 mm. Druge fizikalne lastnosti obeh vzorcev, kot sta gostota in specifična toplota, so po zagotovilih proizvajalca enake. Za razumevanje vpliva sloja melaminske tekstilije v kompozitu z grelno tekstilijo na porazdelitev temperature in prenos toplote, smo določili tudi toplotno prevodnost. Pri tem smo uporabili merilno napravo, ki deluje po hot-plate metodi opisani v (Klemenčič, Zavec in Slavinec, 2021). Z meritvijo toplotnega toka skozi vzorec in temperaturne razlike vzdolž debeline vzorca določimo toplotni prevodnosti, ki znašata: $\lambda_A = (0,11 \pm 0,03) \text{ W/(mK)}$ in $\lambda_B = (0,12 \pm 0,04) \text{ W/(mK)}$.



a)



b)

Slika 1. Vzorce tekstilij s funkcijo gretja (a) z oznako G1, (b) z oznako G2

Vir: Lasten

Osredotočimo se na časovno dinamiko segrevanja in ohlajanja različnih kombinacij grelne tekstilije z melaminsko tekstilijo, na podlagi katere določimo ustreznost za integracijo v avtomobilski sedež. Pri ogrevanju avtomobilskega sedeža si želimo, da se v čim krajšem času doseže ustrezna temperatura ter da je porazdelitev temperature po površini sedeža enakomerna. Meritve izvedemo z infrardečo kamero FLIR T400, ki omogoča nekontaktno merjenje temperature na površini vzorca. Vse meritve so bile izvedene pri temperaturi okolice $(23,0 \pm 0,5) \text{ }^\circ\text{C}$, pred meritvijo so vsi vzorci bili shranjeni v suhem prostoru pri enaki temperaturi. Vzorce tekstilij s funkcijo gretja smo priključili na izvor napetosti in merili električni tok, ki teče po grelnih elementih – žicah. Glede na upor grelnih elementov se je električna moč razlikovala in sicer je znašala $(5,0 \pm 0,3) \text{ W}$ za vzorec G1 in $(7,8 \pm 0,3) \text{ W}$ za vzorec G2. Najprej smo izvedli termoanalizo posamičnih vzorcev tekstilij s funkcijo gretja, nato smo preučili

naslednje kombinacije z melaminskima tekstilijama: G1A, G1B, G2A, G2B. Pri tem je melaminska tekstilija vrhnji sloj, ki ga zajemamo z IR kamero.

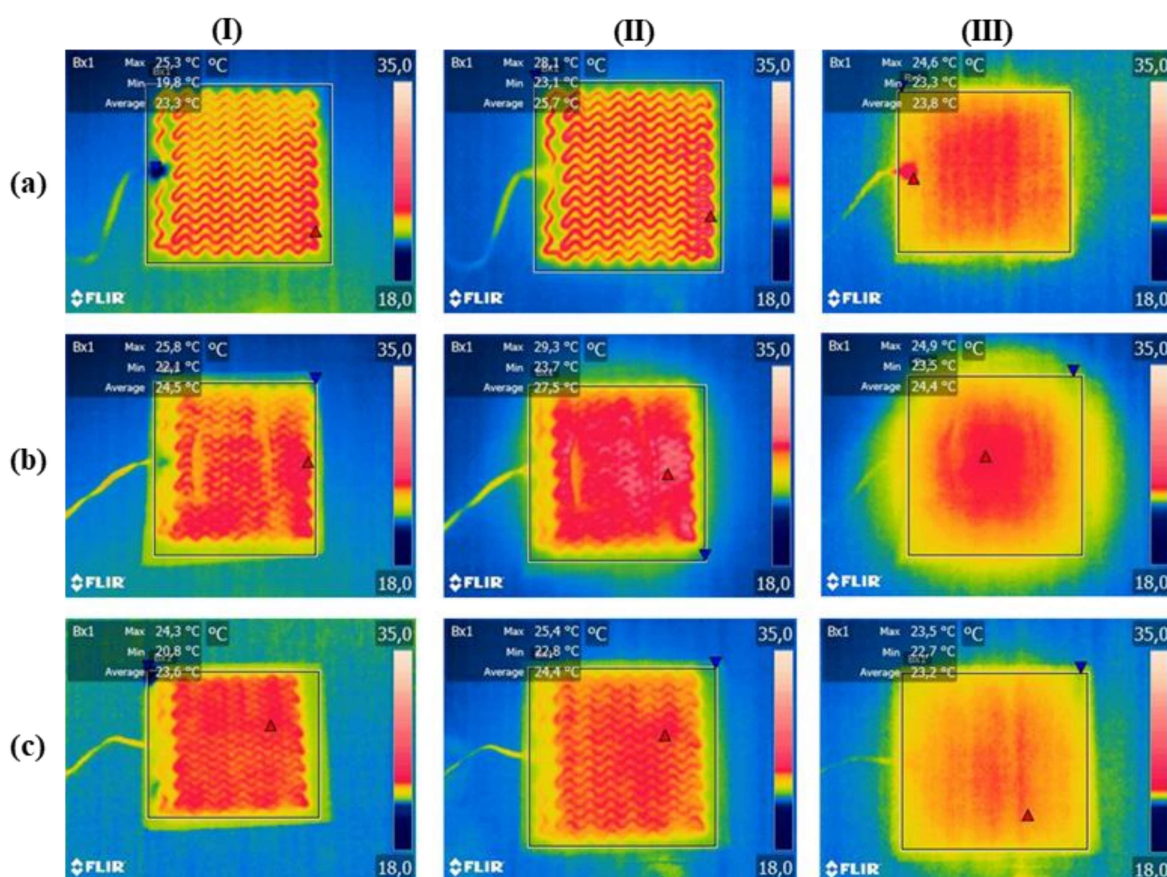
2 Rezultati in diskusija

Rezultate termoanalize analiziramo kvalitativno in kvantitativno. Pri kvalitativni obravnavi primerjamo termograme obeh grelnih tekstilij in vseh kombinacij pri treh različnih situacijah, in sicer med segrevanjem (1), v trenutku, ko se temperatura na površini vzorca v povprečju ustali (2) in ob izklopu ogrevanja (3). Pri tem se osredotočimo na enakomernost porazdelitve temperature po površini vzorca, pojavljanje vročih točk in pregrevanja ob priključku.

Pred izvedbo meritev smo posneli nekaj fotografij za referenco, nato pa smo v razkoraku po 5 minut posneli po dva do tri fotografije za natančnejše rezultate. Iz termogramov (slika 2 in 3) je mogoče razbrati toplejše in hladnejše predele tekstilije. Toplejši deli so na termogramih označeni z rdečo in belo barvo, hladnejši pa s svetlo in temno modro. Najtoplejši deli so bili tisti z grelnimi elementi (grelno žico), najhladnejši pa robovi tekstilije. Termograme smo nato analizirali v programu FLIR Tools z orodjem za prostoročno izbiro površine, ki nam omogoča, da podrobneje proučimo temperaturo posameznih predelov tekstilije. Program za izbrano področje določi podatke o minimalni, maksimalni in povprečni temperaturi na izbrani površini. Za natančnejšo analizo termogramov v programu FLIR Tools je bilo potrebno upoštevati tudi vrednosti naslednjih parametrov: emisivnosti, temperature okolice, relativne vlažnosti in oddaljenosti od kamere. Upoštevali smo, da je bila kamera med fotografiranjem od vzorcev oddaljena približno 1,2 m, temperatura okolice je znašala 23,0 °C pri relativni vlažnosti zraka v prostoru 15 %. Predpostavimo, da je emisivnost obeh melaminskih tekstilij enaka. V tej študiji se sicer osredotočamo na primerjavo učinkovitosti različnih kombinacij, v kolikor pa bi nas pri analizi zanimala absolutne vrednosti izmerjene temperature, bi morali za vse vrhnje sloje določiti emisivnost (Peruš, 2016; Zhang, Hu in Zhang, 2009).

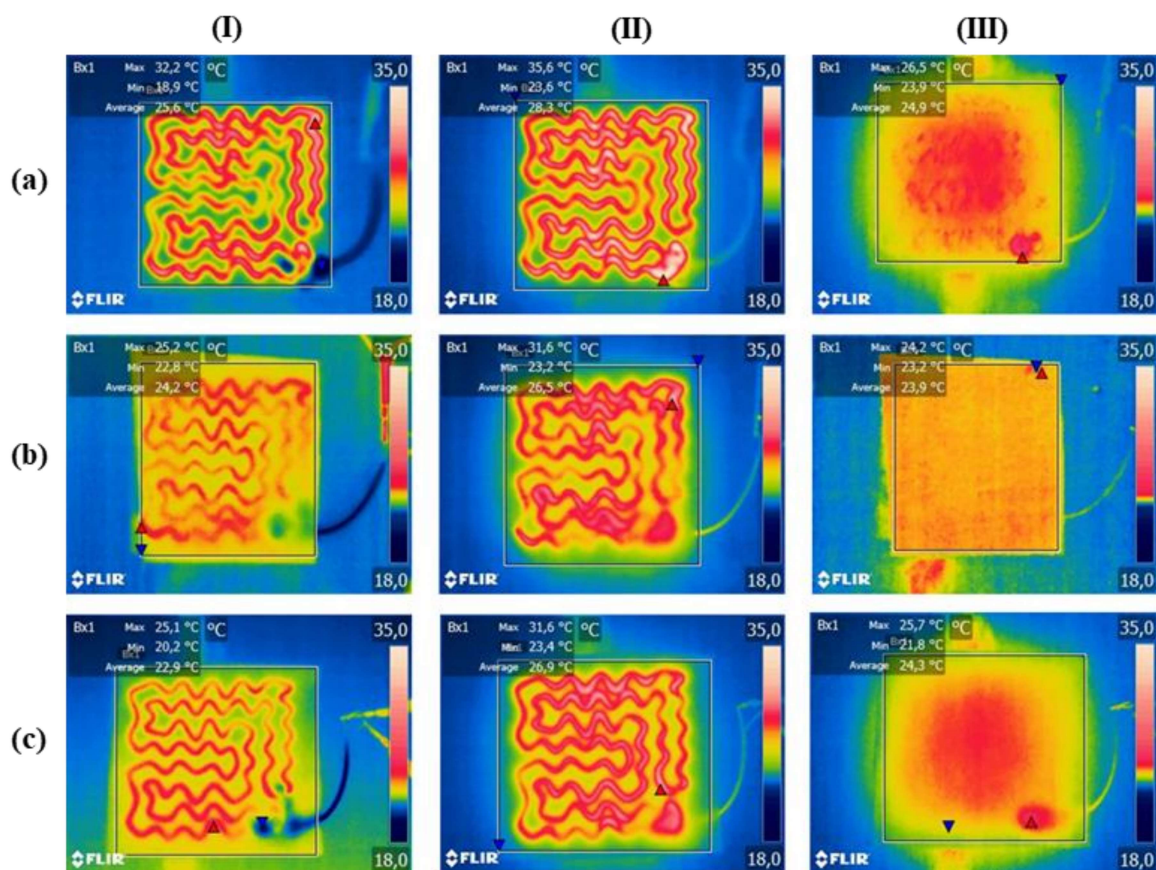
Na spodnjih termogramih smo določili povprečno vrednost temperature ob izbranem času. Izkaže se, da se je najbolj segrela kombinacija G1A (slika 2b, II), in sicer do temperature 27,5 °C, najmanj pa kombinacija G2B (slika 2c, II), do temperature 24,4 °C. Slednje je pričakovano, saj je debelina melaminske tekstilije B večja od debeline melaminske tekstilije A. Ostale povprečne vrednosti temperatur

so zapisane na termogramih. Iz primerjave termogramov na sliki 2 in sliki 3 opazimo, da je temperatura na površini vzorcev bolj enakomerna za kombinacije z grelno tekstilijo G1. Sklepamo, da je glavni vzrok za enakomernejšo porazdelitve temperature gostejša razporeditev grelnih elementov pri vzorcu G1. Pri analizi termogramov smo pogledali tudi najvišje temperature na izbrani površini, s ciljem detekcije vročih točk, ki bi lahko vodile do pregrevanja in posledično do samovžiga. Opazimo, da se pri izbrani priključni moči kompozit ne pregreje do temperature, ki bi lahko vodila do samovžiga. Najvišja temperatura je ob spoju priključka na grelni tekstiliji. Kljub temu bi bilo z vidika zagotavljanja varnosti smiselno pri razvoju grelne tekstilije vključiti senzorične preje. Senzorična preja se lahko všije v tekstilijo na način, ki ne ovira njene funkcionalnosti, hkrati pa zazna spremembo temperature, ki vpliva na njen upor (Potrč, Benkovič, Zavec, Slavinec in Klemenčič, 2020). Na podlagi spremembe upora senzorične preje se ogrevanje vključi ali izključi.



Slika 2: Termogrami za vzorec (a) G1 in kombinacije (b) G1A in (c) G1B med segrevanjem (stolpec I), v trenutku, ko se temperatura na površini vzorca v povprečju ustali (stolpec II) in ob izklopu ogrevanja (stolpec III). Barvna skala prikazuje temperaturo na površini in je bela pri temperaturi nad 35 °C in temno modra pri temperaturi pod 18 °C

Vir: Lasten

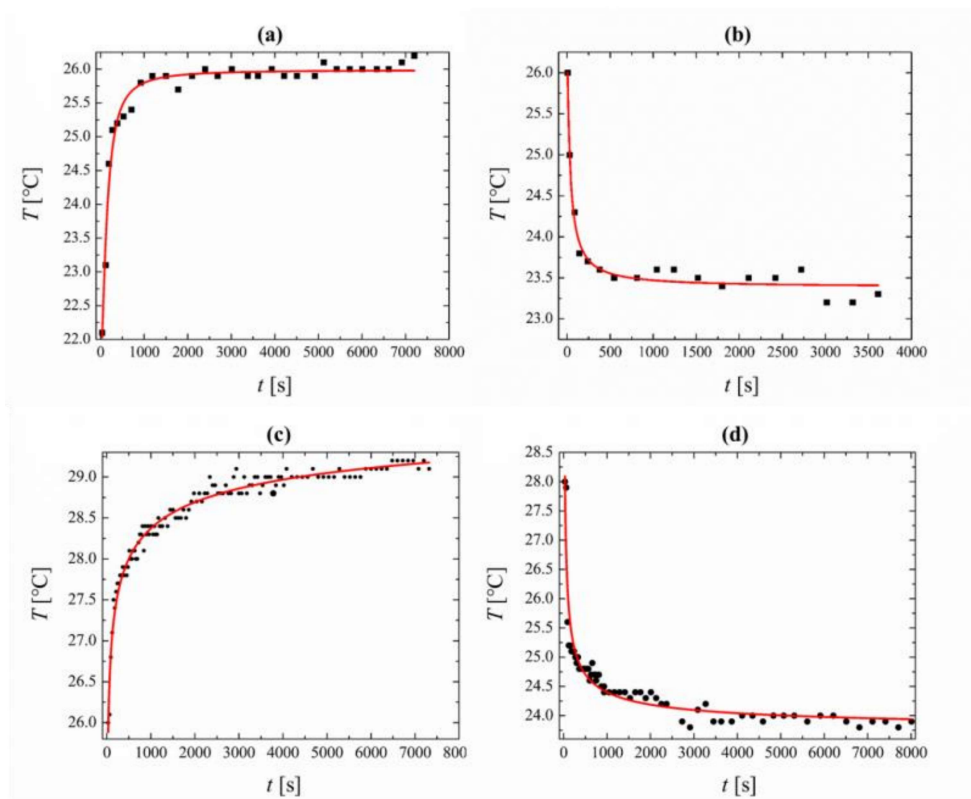


Slika 3: Termogrami za vzorec (a) G2 in kombinacije (b) G2A ter (c) G2B med segrevanjem (stolpec I), v trenutku, ko se temperatura na površini vzorca v povprečju ustali (stolpec II) in ob izklopu ogrevanja (stolpec III). Barvna skala je enaka kot na sliki 2

Vir: Lasten

Pri kvantitativni obravnavi termogramov podrobneje analiziramo v programu FLIR Tools in izrišemo grafe časovne odvisnosti temperature pri segrevanju in ohlajanju posamezne kombinacije. Iz časovne dinamike segrevanja in ohlajanja preverimo, katera kombinacija je najbolj učinkovita za uporabo v ogrevanih avtomobilskih sedežih.

Če primerjamo ogrevanje in ohlajanje vzorcev tekstilij s funkcijo gretja G1 (slika 4a) in G2 (slika 4c), opazimo, da tekstilija G2 doseže višjo temperaturo kot tekstilija G1. Ogrevana tekstilija G1 se hitreje shladi na temperaturo okolice po koncu napajanja (slika 4b) kot ogrevana tekstilija G2 (slika 4d). Lahko predpostavimo, da bo primernejša za integracijo ogrevana tekstilija G1.

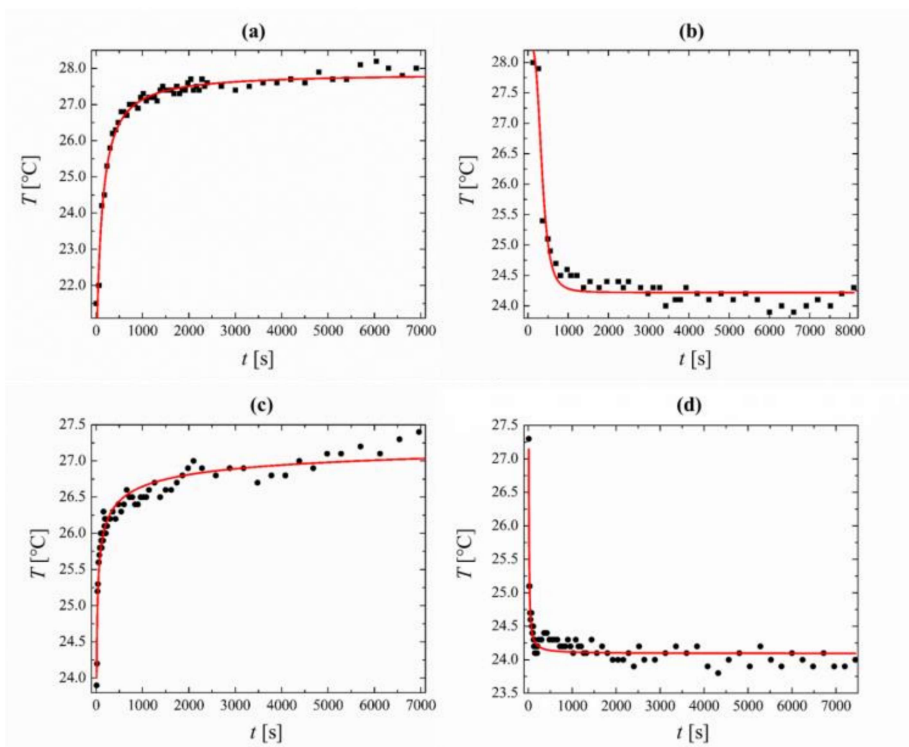


Slika 4: Spreminjanje povprečne temperature na površini vzorcev s časom za (a) grelna tekstilija G1 pri ogrevanju in (b) ohlajanju ter za grelna tekstilija G2 pri ogrevanju (c) in ohlajanju (d)

Vir: Lasten

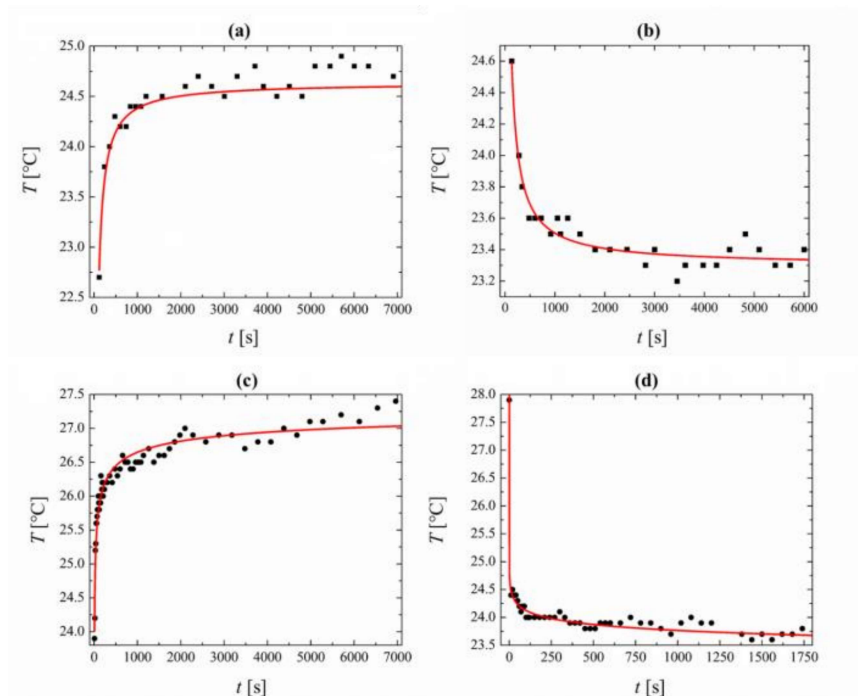
Kombinacija melaminske tekstilije A z ogrevano tekstilijo G1 doseže višjo temperaturo (slika 5a) kot kombinacije G1A (slika 5c). Kombinacija G1A prav tako v krajšem času doseže konstantno temperaturo ter se v krajšem času vrne na temperaturo okolice (slika 5b) v primerjavi s kombinacijo G2A (slika 5d). Podobno analiziramo kombinacije ogrevanih tekstilij G1 in G2 z melaminsko tekstilijo B (slika 6). Ugotovimo, da kombinacija melaminske tekstilije B z ogrevano tekstilijo G1 doseže najnižjo povprečno temperaturo na površini vzorca (slika 6a), v primerjavi s prejšnjimi kombinacijami, zato G1B ni primerna za aplikacijo. Kombinacija melaminske tekstilije B z ogrevano tekstilijo G2 doseže najvišjo temperaturo komaj po 12 minutah, iz česar sledi, da je tudi ta kombinacija G2B neustrezna za aplikacijo.

Na podlagi termo analize menimo, da je za implementacijo v avtomobilske sedeže za učinkovito ogrevanje najbolj ustrezna kombinacija G1A.



Slika 5: Spreminjanje povprečne temperature na površini za kombinacije z melaminsko tekstilijo A in (a) grelno tekstilijo G1 pri ogrevanju in (b) ohlajanju ter z grelno tekstilijo G2 pri ogrevanju (c) in ohlajanju (d)

Vir: Lasten



Slika 6: Spreminjanje povprečne temperature na površini kombinacij z melaminsko tekstilijo B in (a) grelno tekstilijo G1 pri ogrevanju in (b) ohlajanju ter z grelno tekstilijo G2 pri ogrevanju (c) in ohlajanju (d).

Vir: Lasten

3 Zaključki

V prispevku smo preučili časovno dinamiko ogrevanja in ohlajanja dveh grelnih tekstilij z različno strukturo grelnih elementov v kombinaciji z dvema tekstilijama iz melamina. Naš cilj je bil določiti, katera kombinacija je najbolj ustrezna za implementacijo v ogrevane avtomobilske sedeže. Osredotočili smo se na naslednje lastnosti: (i) enakomernost porazdelitve temperature na površini vzorca, (ii) pojavljanje vročih točk, (iii) največja dosežena povprečna temperatura na površini vzorca, (iv) čas, v katerem vzorec doseže največjo doseženo povprečno temperaturo, in (v) čas, v katerem se temperatura vzorca po izklopu gretja ustali. Meritve smo izvedli s pomočjo IR kamere, ki omogoča nekontaktno merjenje temperature na površini vzorca. Termograme smo podrobneje analizirali v programu Flir Tools, kjer smo nastavili ustrezne parametre glede na fizikalne lastnosti vzorca in okolice ter določili povprečno, največjo in najmanjšo temperaturo na površini pri ogrevanju in ohlajanju za različne čase.

Za implementacijo v avtomobilske sedeže je pomembno, da je temperatura na površini čim bolj enakomerna in da vroče točke ne presežejo kritične temperature, kar bi lahko vodilo do samovžiga. Iz kvalitativne analize termogramov lahko potrdimo, da je grelna tekstilija z oznako G1 po kriteriju (i) in (ii) primernejša od grelne tekstilije z oznako G2. Grelna tekstilija G2 sicer doseže večjo povprečno temperaturo, kar pa je delno posledica pregrevanja spoja ob priključku napajanja. V kombinaciji grelnih tekstilij z melaminom lahko iz termogramov razberemo, da največjo povprečno temperaturo (kriterij (iii)) dosežemo s kombinacijo G1A in znaša $\sim 27,5$ °C. Z vidika uporabnosti je pri ogrevanih avtomobilskih sedežih pomembno, da se le-ti čimprej segrejejo na določeno temperaturo. V ta namen smo preučili spreminjanje povprečne temperature na površini vzorca s časom pri segrevanju (vklopu) in ohlajanju (izklopu).

Ugotovili smo, da kombinacija G1A doseže največjo povprečno temperaturo v najkrajšem času (iv), med tem ko je pri grelni tekstiliji G2 potreben daljši čas. Na časovno dinamiko ohlajanja pri izklopu (v) sta sami grelni tekstiliji imeli manjši vpliv, saj se grelni elementi zelo hitro ohladijo na temperaturo okolice. Na ohlajanje imata večji vpliv melaminski tekstiliji, oziroma njuna debelina in s tem povezana toplotna kapaciteta. Na podlagi termoanalize menimo, da je za implementacijo v

avtomobilске sedeže po zastavljenih kriterijih za učinkovito ogrevanje najbolj ustrezna kombinacija G1A.

V prihodnje želimo študijo nadgraditi z dodatnimi meritvami, kjer bi preučili kombinacijo grelne tekstilije med dvema melaminskima tekstilijama. Pri tem bi spodnji sloj melaminske tekstilije bil debelejši in preprečeval toplotne izgube iz grelne tekstilije v globino avtomobilskega sedeža. Na ta način bi učinkovitost kompozita še izboljšali. Pričakujemo, da se v krajšem času doseže večja povprečna temperatura na površini vzorca. Hkrati bi bilo dobro študijo nadgraditi z numeričnim modelom, kar bi pospešilo preizkušanje različnih kombinacij tekstilnih materialov z različnimi lastnostmi. Z vidika funkcionalnosti bi bilo smiselno razmisliti tudi o kombinaciji, ki bi vključeval dodatni vrhnji sloj vododbojnega tekstilnega materiala.

Zahvala

Del meritev je bil izveden v projektu »Preučevanje in razvoj pametnega tekstilnega izdelka« v okviru operacije Po kreativni poti do znanja 2017–2020. Naložbo sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Pri meritvah so sodelovali študentje (po abecednem vrstnem redu): Jakob Razdevšek, Karin Rajh, Margerita Felicija, Melani Potrč in Nuša Adam.

Literatura in viri

- Baig, M.M. in Gholamhosseini, H. (2013). Smart Health Monitoring Systems: An Overview of Design and Modeling. *J. Med. Syst.*, 37:9898.
- Constanzo, R.J. (1936). UK Patent No. 1,128,224, Velika Britanija.
- Grisley, F. (1936). UK Patent No. 445195, Velika Britanija.
- Hajime, O., Kotaro, Y., Koji, T. in Yutaka, T. (2011). *Effects of Heated Seat and Foot Heater on Thermal Comfort and Heater Energy Consumption in Vehicle*. *Ergonomics*, 54(8), 690-699.
- Hao, L., Yi, Z., Li, C., Li, X., Yuxiu, W. in Yan, G. (2012). *Development and Characterization of Flexible Heating Fabric Based on Conductive Filaments*. *Measurement*, 45, 1855-1865.
- ISO/TR The International Organization for Standardization (2020). Textiles and textile products — Smart (Intelligent) textiles— Definitions, categorisation, applications and standardization needs (ISO/TR 23383:2020).
- Klemencic, E., Zavec, D. in Slavinec, M. (2021). *Modelling the Impact of Moisture on the Thermal Conductivity of Cotton Jersey*. *Fibres Text. East. Eur.* 2(146), 61-65.
- Langenhove, L.V. in Hertleer, C. (2004). Smart Clothing: a New Life, *Int. J. Cloth. Sci. Technol*, 16(1), 63-72.
- Lees J. in Sons. Co. (1936). US Patent No. 373694, Združene države Amerike.
- Lee, Y.D. in Chung, W.Y. (2009). *Wireless Sensor Network Based Wearable Smart Shirt for Ubiquitous Health and Activity Monitoring*. *Sens. Actuators B Chem.*, 140(2), 390–395.

- Lemercier, A.A. (1918). US Patent No. 1,284,378, Združene države Amerike.
- Mbise, E., Dias, T. in Hurley, W. (2015). *Design and Manufacture of Heated Textiles*. *Electronic Textiles*, 117-132.
- Morrison, T., Silver, J. in Otis, B. (2014). *A Single-Chip Encrypted Wireless 12-lead ECG Smart Shirt for Continuous Health Monitoring*. *Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers*, 1-2.
- Perus, M. (2016). *Merjenje toplotne prevodnosti tankih plasti tkanin z infrardečo kamero (Diplomsko delo)*. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor.
- Potrč, M., Benkovič, L., Zavec, D., Slavinec, M. in Klemenčič, E. (2020). *Odziv senzorične preje na temperaturo, vlago in obremenitev*. *Dianoia*, 4(2), 93-103.
- Zhang, H., Hu, T.L. in Zhang, J.Ch. (2009). *Surface Emissivity of Fabric in the 8-14 μm Waveband*. *J. Text. Inst.*, 100, 90-94.
- Zhang, Y.F., Wyon, D.P., Fang, L. in Melikov, A.K. (2007). *The Influence of Heated or Cooled Seats on the Acceptable Ambient Temperature Range*. *Ergonomics*, 50(4), 586-600.
- Zielinski, J. (1993). *Clothing Heated with Textile Heating Elements*. *Int. J. Cloth. Sci. Technol.*, 5, 9-23.