



Univerza v Mariboru

Fakulteta za naravoslovje
in matematiko

Aplikacija pametnih tekstilnih izdelkov v ogrevane avtomobilske sedeže

Diplomski seminar na študijskem programu 1. stopnje Fizika

Nuša Adam

Mentor: doc. dr. Eva Klemenčič

Somentor: dr. Daniela Zavec

Maribor, 2021

ADAM, N.: Aplikacija pametnih tekstilnih izdelkov v ogrevane avtomobilske sedeže

Diplomski seminar, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za fiziko, 2021.

POVZETEK

V diplomskem seminarju analiziramo časovno odvisnost temperature različnih tekstilnih kompozitov z namenom, da najdemo ustrezno kombinacijo za aplikacijo v ogrevane avtomobilske sedeže. Preučili smo belo in črno grelno tekstilijo v kombinaciji s tankim in debelim melaminom. Predstavimo pametne tekstilije in fazno spremenljive materiale v tekstilijah ter njihovo delovanje. Z metodo grelne plošče izmerimo toplotno prevodnost materialov ter z infrardečo kamero segrevanje in ohlajanje grelnih tekstilij za različne kombinacije z melaminom. Izmerimo, da je toplotna prevodnost materialov majhna in je primerljiva s toplotno prevodnostjo izolatorjev. Z analizo termogramov se je za najboljšo kombinacijo izkazala kombinacija črne grelne tekstilije s tankim melaminom nad tekstilijo in debelim melaminom pod njo.

Ključne besede: ogrevani avtomobilski sedeži, pametno tekstilije, fazno spremenljivi materiali, termoanaliza, metoda grelne plošče, toplotna prevodnost.

ABSTRACT

In the graduate seminar we analyze the time dependence of temperature for different textile composites with the purpose of finding a suitable combination of the composites for the application in the heated car seats. We examine white and black heating textiles combined with thin in thick melamine. We present smart textiles and phase change materials contained in the textiles and their operation. With the hot-plate method we experimentally measure thermal conductivity. With the help of an infrared camera, we measure the heating and cooling of the textiles for different combinations with melamine. We find that the thermal conductivity of the materials is low and comparable to heat isolators. After analyzing the thermograms, we find that the most suitable combination for the heated car seats is a black heating textile with a thin melamine on the top and thick melamine at the bottom.

Key words: heated car seats, smart textiles, phase change materials, thermo analysis, hot-plate method, thermal conductivity.

Kazalo vsebine

1	Uvod	1
2	Pametne tekstilije.....	2
2.1	Pametne tekstilije za ogrevanje	3
3	Meritve in analiza rezultatov	4
3.1	Merilne tehnike	5
3.1.1	Metoda grelne plošče	5
3.1.2	Infrardeča kamera	6
3.2	Meritve in analiza toplotne prevodnosti.....	7
3.3	Meritve in analiza temperature v odvisnosti od časa	10
4	Zaključek	15

1 Uvod

Okoljske zahteve so v zadnjih desetletjih sprožile številne raziskave, kako zmanjšati porabo električne energije v avtomobilih [1]. Vendar dandanes potrošniki zahtevajo in pričakujejo vedno več udobja. Slednje potrjuje tudi dejstvo, da se v vedno več avtomobilov vgrajujejo ogrevani avtomobilski sedeži. V mestih, kjer so zime daljše in hladnejše, so ogrevani avtomobilski sedeži eni izmed največjih porabnikov energije. Zaradi tega se razvijajo novi materiali, s katerimi bi lahko zmanjšali porabo energije za ogrevanje avtomobilskih sedežev [2]. Eden izmed teh materialov so pametne tekstilije. Razvoj pametnih tekstilij zahteva preplet znanj s področja fizike, kemije, elektrotehnike in tekstilstva. Trenutno smo v fazi hitrega razvoja pametnih tekstilnih izdelkov na trgu, ki so cenovno postali bolj dostopni širšemu krogu uporabnikov in zaradi tega zaostajamo s preverjanjem in zagotavljanjem kakovosti teh izdelkov. Slednje predstavlja velik problem pri tekstilijah za ogrevanje, saj lahko pride do samovžiga, če je toplotna prevodnost tekstilij prevelika. Da bi zagotovili varnost teh izdelkov, moramo poznati njihove fizikalne in kemijske lastnosti, kot so toplotna prevodnost, specifična toplota, prepustnost za vodo in zrak [3, 4]. Toplotno prevodnost preverimo s pomočjo metode grelne plošče [5], s termo analizo pa preučimo segrevanje in ohlajanje različnih kompozitov tekstilij v odvisnosti od časa [6].

Za integracijo v pametne tekstilije se uporabljajo električno prevodni materiali. S tem zagotovimo, da je pametna tekstilija električno prevodna, zato za integracijo uporabljamo kovine, prevodne polimere ali senzorično prejo. Pri senzorični preji so odkrili, da ko je ta mokra in vroča, se skrči v tesen klobčič in s tem se emisivnost preje izenači z emisivnostjo kože. S tem učinkovito pospešimo hlajenje človeškega telesa [7]. Prav tako so z analizo termogramov odkrili, da zadostno toploto telesu nudi tekstilija v kombinaciji s srebrno prejo [8].

Za še manjšo porabo energije pa lahko uporabimo fazno spremenljive materiale. Ti materiali absorbirajo, shranijo in sproščajo energijo v obliki latentne toplote. Proces sproščanja in absorbiranja energije dosežemo s faznim prehodom [9]. V diplomskem seminarju bomo obravnavali kombinacijo pametne grelne tekstilije z visokotehnološkim tekstilom melamin. Melamin je negorljiv, ohranja svojo sestavo pri visokih temperaturah, je kemično odporen ter je odličen toplotni izolator.

Cilj diplomskega seminarja je analizirati časovno dinamiko segrevanja in ohlajanja različnih kompozitov grelnih tekstilij z melaminom s ciljem, da najdemo ustrezno kombinacijo za integracijo v avtomobilske sedeže.

V diplomskem seminarju najprej predstavimo delovanje in uporabo pametnih tekstilij, pametnih tekstilij za ogrevanje in fazno spremenljivih materialov, ki jih lahko varno vgradimo v tekstilijo (poglavje 2). Nato sledi predstavitev merilnih tehnik, ki so bili uporabljene za izvedbo eksperimentov in meritve toplotne prevodnosti ter temperature v odvisnosti od časa. Računsko določimo toplotne prevodnosti črne grelne tekstilije, tankega in debelega melamina, z analizo termogramov pa določimo najučinkovitejšo kombinacijo grelne tekstilije z melaminom (poglavje 3). Z namenom, da bi zmanjšali porabo energije, nazadnje podamo predlog za izboljšavo ogrevanih avtomobilskih sedežev in podamo ideje za nadaljnje delo s fazno spremenljivimi materiali (poglavje 4).

2 Pametne tekstilije

Tekstilije, ki so sposobne zaznati dražljaje iz okolice, nanje reagirati ali jih prilagoditi, imenujemo pametne tekstilije. Dražljaji so lahko električnega, termičnega, kemičnega, magnetnega ali kateregakoli drugega izvora. Pametne tekstilije ločimo na tri skupine, in sicer na pasivne, aktivne in zelo pametne tekstilije. Pasivne pametne tekstilije lahko le zaznavajo parametre iz okolice, torej so senzorji. Aktivne pametne tekstilije zaznajo dražljaje iz okolice in prav tako reagirajo nanje, kar pomeni, da imajo zraven senzorske funkcije tudi sprožilno. Zelo pametne tekstilije pa lahko prilagodijo svoje vedenje glede na zaznane dražljaje iz okolice.

Da lahko zagotovimo toplotno udobje s pametnimi tekstilijami, moramo vedeti, katere fizikalne lastnosti tekstilij imajo pomembno vlogo pri zagotavljanju le-tega. Da bi razumeli toplotno obnašanje tekstilije, moramo poznati njene toplotne lastnosti, kot so toplotna prevodnost in specifična toplota. Pomembna pa je tudi debelina tekstilije in njena gostota ter prepustnost za zrak in vlago. Mi se bomo omejili na toplotno prevodnost tekstilij.

Ko sta dve telesi v stiku, telo z višjo temperaturo oddaja toploto telesu z nižjo temperaturo. Toplota dQ , ki jo v časovni enoti dt odda telo z višjo temperaturo, je toplotni tok

$$P = \frac{dQ}{dt}. \quad (1)$$

Toplotni tok na enoto preseka dS , ki je pravokoten na smer toka, je gostota toplotnega toka

$$j = \frac{dP}{dS}. \quad (2)$$

Vzemimo telo, ki ima osnovno ploskev S in višino d , in je s spodnjo ploskvijo v stiku s hladnejšim telesom s konstantno temperaturo T , z zgornjo ploskvijo pa s toplejši telesom, ki ima konstantno temperaturo T' . V splošnem toplotni tok zaradi prevajanja opišemo s Fourierevim zakonom, ki je v eni dimenziji, pravokotno na osnovno ploskev, enak

$$P = -\lambda S \frac{T - T'}{d}, \quad (3)$$

kjer je λ toplotna prevodnost. Temperaturni gradient nam pove, kako se temperatura spreminja po višini oziroma debelini telesa, ki ima osnovni ploskvi v stiku s telesi različnih temperatur. Gostota toplotnega toka je

$$j = -\lambda \frac{T - T'}{d}, \quad (4)$$

kar imenujemo zakon o prevajanju toplote. Negativni znak pomeni, da toplotni tok sam od sebe teče s kraja z višjo temperaturo na kraj z nižjo temperaturo. Če poznamo temperaturni gradient in izmerimo toplotni tok, lahko izračunamo toplotno prevodnost

$$\lambda = \frac{dj}{T' - T}. \quad (5)$$

Toplotna prevodnost je ključna lastnost pametnih tekstilij za ogrevanje, ki jih bomo podrobneje obravnavali v nadaljevanju.

2.1 Pametne tekstilije za ogrevanje

Pametne tekstilije za ogrevanje uvrščamo med aktivne pametne tekstilije, saj se na podlagi temperature okolice vklopijo ali izklopijo. Delujejo torej kot senzori, naloga senzorjev pa je ta, da signale iz okolice pretvorijo v električne impulze. Zaradi tega so električno prevodni materiali izredno pomembni za pametne tekstilije za ogrevanje. Seveda moramo tudi paziti na ustreznost strukture, obdelave in koncepta materiala, ki ga uporabimo pri pametni tekstiliji. Material mora biti fleksibilen, vodoodporen in trpežen. Za integracijo v tekstilije uporabljamo materiale, kot so kovine, optična vlakna ali prevodni polimeri. S tem zagotovimo, da je pametna tekstilija za ogrevanje električno prevodna in da zaznava okolico. Z integracijo fazno spremenljivih materialov v pametno tekstilijo pa dosežemo, da bo tekstilija uravnavala temperaturo.

Fazno spremenljivi materiali absorbirajo, shranjujejo in sproščajo energijo v obliki latentne toplote znotraj določenega temperaturnega območja ali območja fazne spremembe. Najbolj vsakdanji fazno spremenljivi material, ki sicer ni uporaben za pametne tekstilije, je voda. Za fazni prehod iz ledu v vodo je potrebno dovesti toploto iz okolice. Pri tem se toplota porablja za potek fazne spremembe, temperatura pa ostaja konstanta. Obratno se pri faznem prehodu iz vode nazaj v led toplota sprosti v okolico. Toploto, ki se absorbira ali sprošča med prehodom iz ene faze v drugo, imenujemo latentna toplota.

Poznamo več kot 500 naravnih in sintetičnih fazno spremenljivih materialov za uporabo v aplikacijah. Ti se med seboj razlikujejo po območju temperature faznega prehoda, po toplotni kapaciteti in po latentni toploti. V aplikacijah se najpogosteje uporablja prehod iz trdnega stanja v tekoče ali iz tekočega v trdno stanje.

Najbolj znani fazno spremenljivi materiali so hidratne anorganske soli, polihidrogen alkoholi, polietilen glikoli (PEG), parafini in neparafinske organske snovi, kot so organske kisline, alkoholi, estri itd. Za uporabo v tekstilu so primerni predvsem PEG, ker imajo tališča okrog 33°C, in parafini, ker so netoksični, nekoroziivni, brez neprijetnega vonja ter nudijo na izbiro tališča v širokem temperaturnem območju, saj je temperatura tališča in kristalizacije odvisna od števila ogljikovih atomov (tabela 1).

fazno spremenljiv parafin	N	T_t [°C]	T_s [°C]	Q [J/g]
n-heksadekan	16	18,2	16,2	237,05
n-heptadekan	17	22,5	21,5	213,81
n-oktadekan	18	28,2	25,4	244,02
n-nonadekan	19	32,1	29,0	222,0
n-eikozan	20	36,1	30,6	246,34
n-heneikozan	21	40,5	/	199,86

Tabela 1. Lastnosti fazno spremenljivih parafinov; N je število ogljikovih atomov, T_t temperatura tališča, T_s temperatura strjevanja in Q latentna toplota. Povzeto po [2].

3 Meritve in analiza rezultatov

Od dobavitelja sem prejela belo (slika 1a) in črno grelna tekstilijo (slika 1b) in različne vzorce melamina. Za meritve sem uporabila črno in belo grelna tekstilijo ter dva vzorca melamina, tanjši in debelejši melamin.



(a)

(b)

Slika 1. (a) Bela in (b) črna grelna tekstilija, s katerima so bile izvedene meritve.

Pri meritvah temperature v odvisnosti od časa sem segrevala in ohlajala različne kombinacije grelne tekstilije z melaminom. Najprej sem segrevala samo črno in samo belo grelna tekstilijo. Nato sem segrevala kombinacijo črne grelne tekstilije s tankim melaminom (slika 2a) in kombinacijo bele grelne tekstilije s tankim melaminom (slika 2b). Naslednja kombinacija je bila črna grelna tekstilija z debelejšim melaminom (slika 3a) in bela grelna tekstilija z debelejšim melaminom (slika 3b). Zadnja kombinacija je bila bela grelna tekstilija, kjer sem imela debelejši melamin kot spodnji sloj, na vrhu pa tanjši melamin (slika 4a). Isto kombinacijo sem ponovila še za črno tekstilijo (slika 4b).



(a)

(b)

Slika 2. (a) Črna grelna tekstilija v kombinaciji s tankim melaminom in (b) bela grelna tekstilija v kombinaciji s tankim melaminom.



(a)



(b)

Slika 3. (a) Črna grelna tekstilija v kombinaciji z debelim melaminom in (b) bela grelna tekstilija v kombinaciji z debelim melaminom.



(a)



(b)

Slika 4. (a) Črna grelna tekstilija v kombinaciji s tanjšim in debelejším melaminom (tanjši nad grelnim tekstiljem in debelejši pod grelnim tekstiljem) in (b) bela grelna tekstilija v kombinaciji s tanjšim in debelejším melaminom (tanjši nad grelnim tekstiljem in debelejši pod grelnim tekstiljem).

V nadaljevanju bomo predstavili merilni tehniki, s katerima so bile opravljene meritve.

3.1 Merilne tehnike

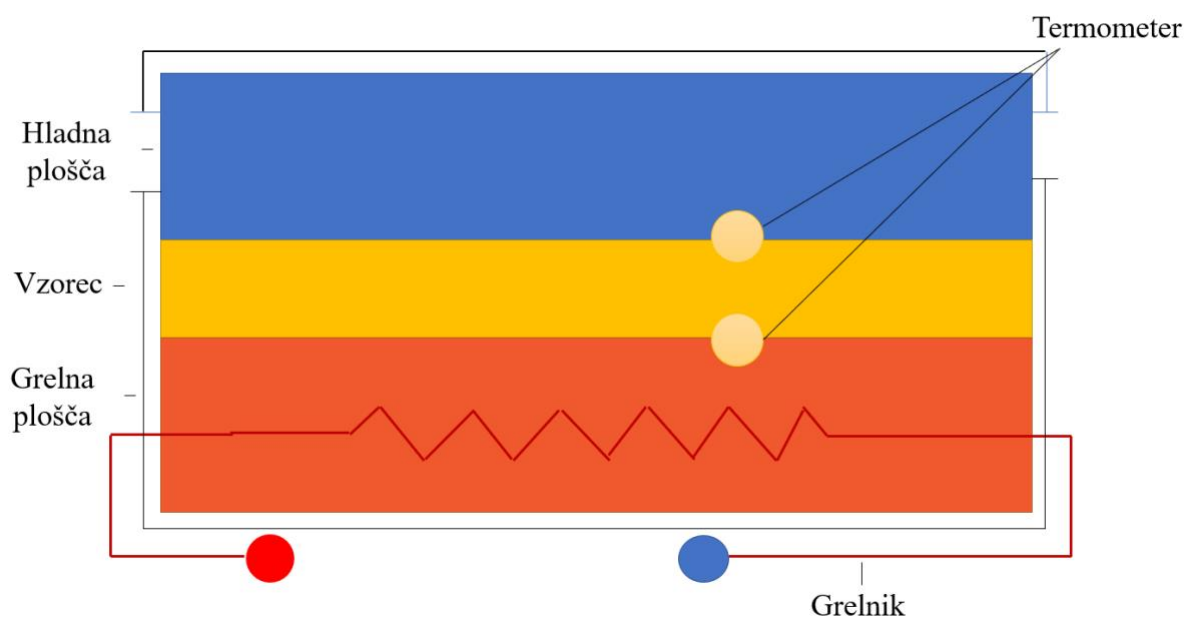
Za opisane kombinacije grelnih tekstilij in melamina sem z metodo grelne plošče merila toplotno prevodnost, z infrardečo kamero pa temperaturo v odvisnosti od časa. V nadaljevanju bom predstavila obe merilni tehniki.

3.1.1 Metoda grelne plošče

Metoda grelne plošče je najpogostejša in najbolj učinkovita metoda za merjenje toplotne prevodnosti izolacijskih materialov. Poznamo dve osnovni varianti metode grelne plošče, in sicer dvostransko in enostransko metodo grelne plošče. Pri dvostranski metodi lahko hkrati merimo dva identična vzorca, medtem ko pri enostranski lahko merimo samo en vzorec. Uporabili smo enostransko metodo grelne plošče.

Princip enostranske metode grelne plošče je zasnovan na pogoju, da skozi vzorec materiala, za katerega merimo toplotno prevodnost, prehaja stacionarni toplotni tok zaradi segrevanja spodnje podlage, medtem ko zgornja plošča ohranja konstantno temperaturo. Ta proces lahko opišemo s poenostavljenim Fourierjevim zakonom za eno dimenzionalen prostor (glej enačbo (3)).

Merilna naprava, ki deluje po enostranski metodi grelne plošče, vsebuje grelno in hladno ploščo (slika 5). Grelna plošča ustvari enakomeren toplotni tok, hladna plošča ohranja konstantno temperaturo. Električna grelna plošča je priključena na vir napetosti. Privzamemo, da je toplotni tok enak električni moči grelne plošče. Če predpostavimo, da toplota prehaja samo prečno skozi vzorec, lahko toplotno prevodnost izračunamo z enačbo (5).



Slika 5. Princip delovanja enostranske metode grelne plošče

3.1.2 Infrardeča kamera

IR kamera je naprava, ki zazna infrardečo energijo oz. toploto in jo pretvori v električni signal, ki je nato procesiran tako, da proizvede termosliko na video monitorju.

IR kamere zaznajo ljudi, objekte, zaznajo v popolni temi ali v drugih zahtevnih okoliščinah kot na primer v dimnem ali prašnem okolju, vendar so omejene na območje tako imenovanih atmosferskih oken, torej na tisti del spektra infrardečega sevanja, ki ga ozračje prepušča v zadovoljivi meri. Najpomembnejše je okno v območju valovnih dolžin med 8 μm in 14 μm (tabela 2). Pri sobnih temperaturah telesa največ sevajo v območju teh valovnih dolžin. To lahko razložimo s Planckovim in Wienovim zakonom.

Max Planck je leta 1900 predpostavil, da lahko energija stoječih elektromagnetnih valov v votlini zavzame samo diskretne vrednosti $h\nu$, kjer je h Planckova konstanta in ν frekvenca. S kvantizacijo elektromagnetnega valovanja v votlini je izpeljal spektralno gostoto izsevanega energijskega toka ($dj^*/d\lambda_0$):

$$\frac{dj^*}{d\lambda_0} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda_0^5} \frac{1}{e^{hc/(k_B T \lambda)} - 1}, \quad (6)$$

kjer je j^* gostota svetlobnega toka, λ_0 valovna dolžina, c hitrost svetlobe v vakuumu, k_B Boltzmannova konstanta in T temperatura sten votline.

telo/stanje	T [°C]	$\lambda_0^{(max)}$ [μm]
najnižja temperatura izmerjena na Zemlji	-89	15,7
led	0	10,6
povprečna temperatura na Zemlji	15	10,1
sobna temperatura	25	9,7
povprečna temperatura človeškega telesa	36,8	9,4
najvišja izmerjena temperatura na Zemlji	58	8,8

Tabela 2. Vrednosti valovnih dolžin ($\lambda_0^{(max)}$), pri kateri imamo vrh spektralne gostote izsevanega energijskega toka za nekatera telesa oziroma stanja pri določenih temperaturah (T).

Iz enačbe (6) vidimo, da je spekter črnega telesa odvisen od temperature telesa. Če višamo temperaturo, se vrh spektralne gostote izsevanega energijskega toka premakne k nižjim valovnim dolžinam. Če spektralno gostoto izsevanega energijskega toka odvajamo po valovni dolžini, dobimo pogoj za valovno dolžino, pri kateri bo spektralna gostota izsevanega energijskega toka maksimalna. Iz tega sledi Wienov zakon, ki pove, da je produkt med valovno dolžino svetlobe ($\lambda_0^{(max)}$), kjer je vrh spektralne gostote izsevanega energijskega toka, in temperaturo črnega telesa (T) enak Wienovi konstanti (k_w):

$$\lambda_0^{(max)} T = k_w, \quad (7)$$

ki znaša $2,90 \cdot 10^{-3}$ Km.

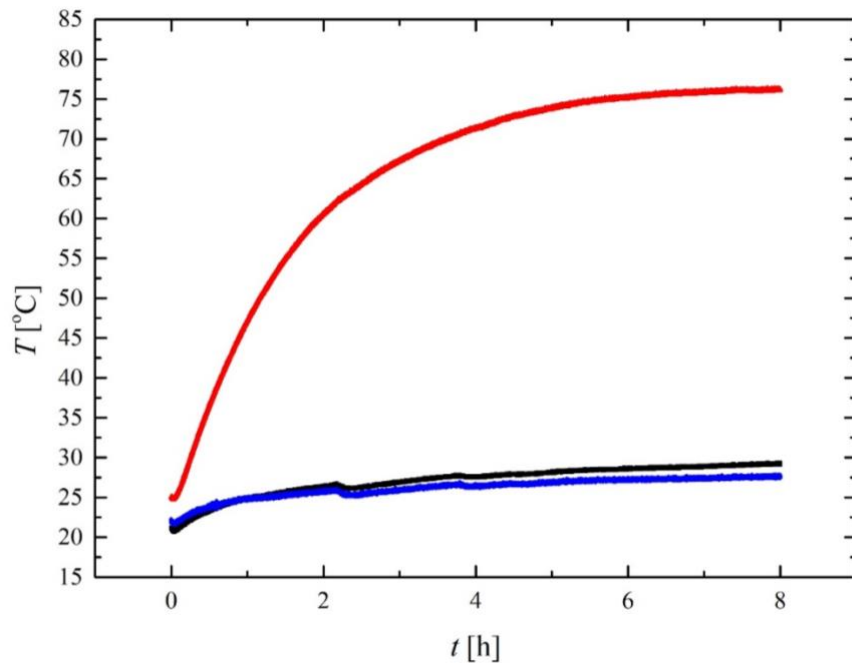
Vsako telo torej oddaja infrardečo svetlobo. Sposobnosti izsevanja energije pravimo emisivnost, vendar vsa telesa niso sposobna sevati v enaki meri. V kakšni meri je površina na določeni temperaturi sposobna sevati energijo, podamo s faktorjem emisivnosti. Faktor emisivnosti je razmerje med izsevanim toplotnim tokom realnega telesa in izsevanim toplotnim tokom idealnega telesa pri isti temperaturi (idealno telo je črno in ima emisivnost enako 1).

Izsevani toplotni tok je odvisen od temperature telesa in okolice. Večja kot je temperaturna razlika med telesom in okolico, več termične energije izmenja. Čeprav slednje ni vidno očem, lahko to občutimo. Občutljivost IR kamere torej lahko definiramo kot zmožnost razlikovanja med temperaturnimi razlikami in večja, kot je temperaturna razlika, jasnejša bo termoslika.

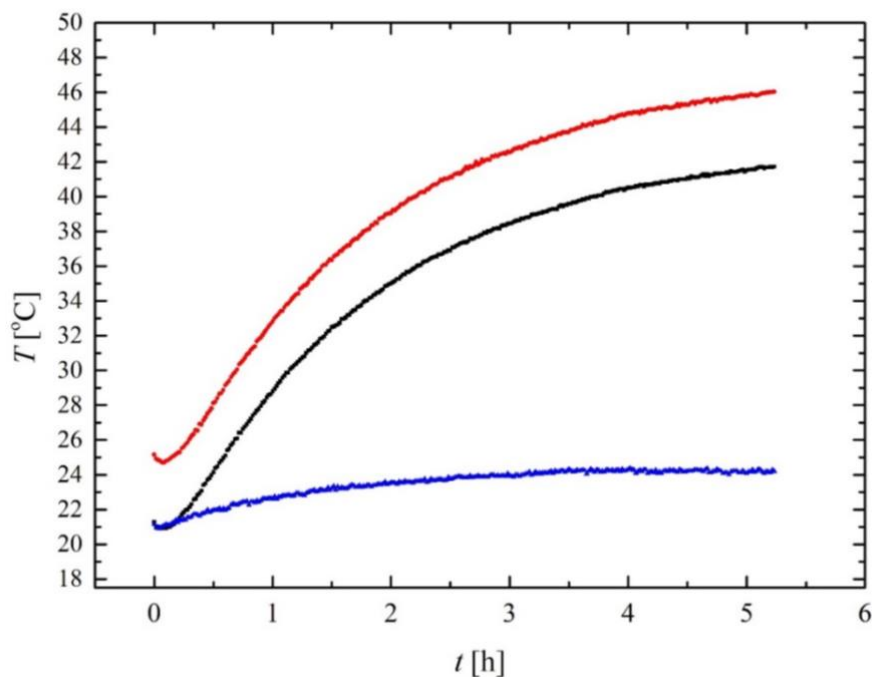
3.2 Meritve in analiza toplotne prevodnosti

Meritve toplotne prevodnosti so bile opravljene z merilno napravo, ki deluje na principu metode grelne plošče. Izmerila sem toplotno prevodnost za črno grelno tekstilijo, tanek in debel melamin. Za belo grelno tekstilijo to ni bilo mogoče, saj je zaradi grelnih žičk nisem mogla prepogniti, da bi jo lahko vstavila v merilnik. Merjeni material sem postavila med grelno in hladno ploščo in merila temperaturo obeh plošč v odvisnosti od časa. Izmerjene odvisnosti so prikazane na slikah 6 do 8. Zaradi večje natančnosti meritev so bili uporabljeni trije

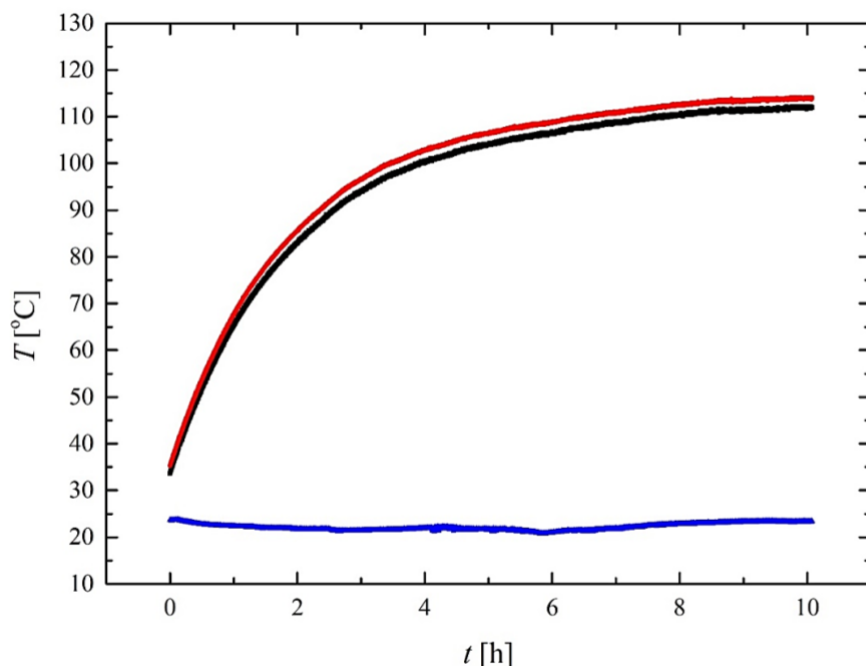
temperaturni senzorji, in sicer dva senzorja na istem mestu pri grelni plošči in en senzor pri hladni plošči za tanek in debel melamin, pri črni grelni tekstiliji pa en senzor za grelno ploščo in dva senzorja na istem mestu za hladno ploščo. Pri merjenju toplotne prevodnosti črne grelne tekstilije je ta bila preložena, njena debelina pa je bila takrat $(9,0 \pm 0,2)$ mm. Melamina sta bila vrezana tako, da sta imela površino $(0,010 \pm 0,001)$ m², ker je toliko bil velik prostor za vzorce pri merilniku. Črna grelna tekstilija je bila preložena na enako površino.



Slika 6. Temperatura (T) vroče plošče (rdeča krivulja) in hladne plošče (modra in črna krivulja) v odvisnosti od časa (t) za črno grelno tekstilijo. Temperaturo hladne plošče smo merili z dvema termometroma.



Slika 7. Temperatura (T) vroče plošče (rdeča in črna krivulja) in hladne plošče (modra krivulja) v odvisnosti od časa (t) za debel melamin. Temperaturo vroče plošče smo merili z dvema termometroma.



Slika 8. Temperatura (T) vroče plošče (rdeča in črna krivulja) in hladne plošče (modra krivulja) v odvisnosti od časa (t) za tanek melamin. Temperaturo vroče plošče smo merili z dvema termometroma.

Opazimo, da je največja temperaturna razlika med hladno in grelno ploščo pri tankem melaminu, torej lahko predpostavimo, da bo tanek melamin imel najmanjšo toplotno prevodnost. Pri debelem melaminu je bila razlika med temperaturama, ki sta jo izmerila termometra na grelni plošči, največja, torej bo napaka večja.

Po enačbi (5) izračunamo toplotno prevodnost. Za toplotni tok predpostavimo, da je enak moči grelca $P = (20,2 \pm 0,2)$ W, ploščina vsakega vzorca je bila $S = (0,010 \pm 0,001)$ m², temperaturno razliko $\Delta T = T - T'$ pa razberemo z grafov na slikah 5, 6 in 7, ko je vzpostavljeno termodinamično ravnovesje. Kjer smo imeli dva senzorja, smo uporabili povprečno vrednost izmerjenih temperatur. Temperaturna razlika ΔT , debelina vzorcev d in izračunana toplotna prevodnost λ so zbrane v spodnji tabeli (tabela 3).

vzorci	d [mm]	ΔT [K]	λ $\left[\frac{W}{mK}\right]$
črna grelna tekstilija	$9,0 \pm 0,2$	48 ± 4	$0,35 \pm 0,03$
debel melamin	$9,8 \pm 0,2$	21 ± 6	$0,9 \pm 0,3$
tanek melamin	$2,9 \pm 0,2$	90 ± 4	$0,065 \pm 0,005$

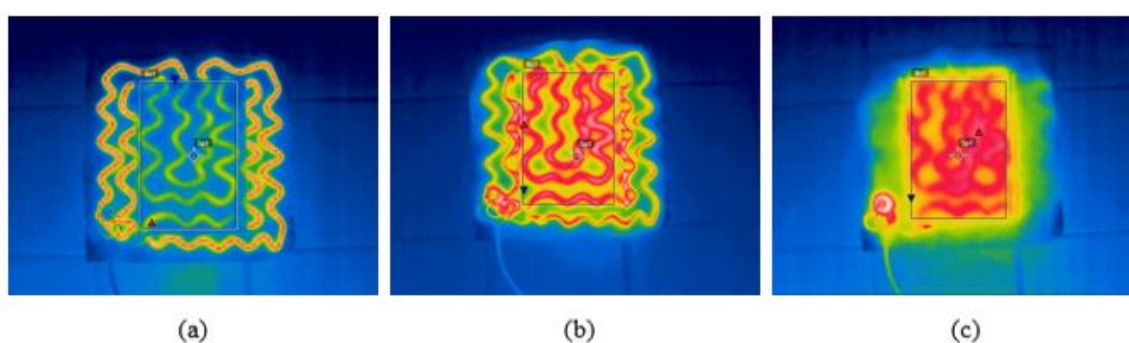
Tabela 3. Vrednosti razlike temperatur (ΔT), ko je vzpostavljeno termično ravnovesje, debelina vzorcev (d) in toplotne prevodnosti (λ) za vzorce, ki so bili uporabljeni v eksperimentu.

Opazimo, da je toplotna prevodnost vzorcev majhna, vrednosti so primerljive s toplotnimi prevodnostmi izolacijskih materialov. Ker so ti vzorci dobri toplotni izolatorji, zmanjšamo možnost pregrevanja, kar pomeni, da zmanjšamo možnosti samovžiga.

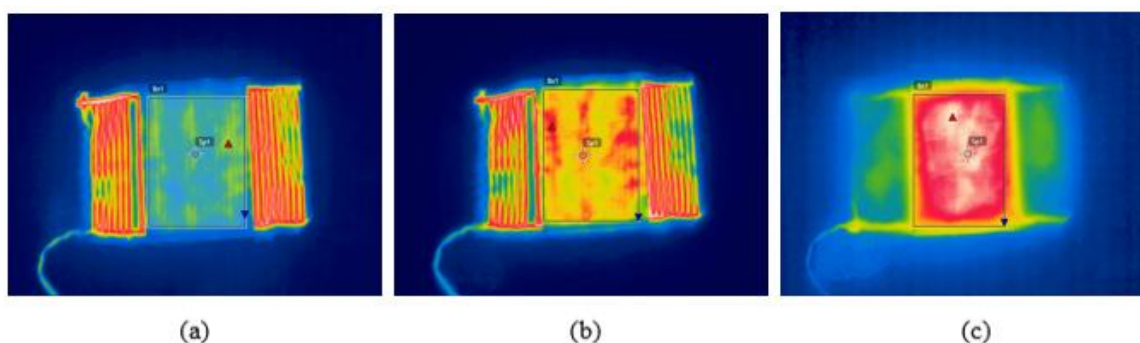
3.3 Meritve in analiza temperature v odvisnosti od časa

Meritve temperature v odvisnosti od časa so bile izvedene z IR kamero za različne kombinacije grelne tekstilije in melamina. Grelna tekstilija je bila priključena na konstantni napetostni vir, pri čemer je bila napetost $(12,0 \pm 0,2)$ V. Vse kombinacije grelne tekstilije in melamina so bile priključene na napajalnik 3 minute oz. 180 sekund. Z IR kamero je bil vsakih 10 sekund posnet termogram. Po 180 sekundah sem grelno tekstilijo izklopila iz napajanja in z IR kamero sprva posnela termograme na vsakih 10 sekund, kasneje pa na vedno daljši časovni interval, ker se je vzorec začel počasneje ohlajati. Meritev je bila končana, ko se je temperatura vzorca ustalila.

Že pri izvedbi meritev opazimo, da pri segrevanju prihaja do področja vročih točk. S časoma temperaturno polje postaja bolj homogeno po celotni površini vzorca. Nehomogenost segrevanja je bila prisotna tako pri beli (slika 9) kot pri črni grelni tekstiliji (slika 10).

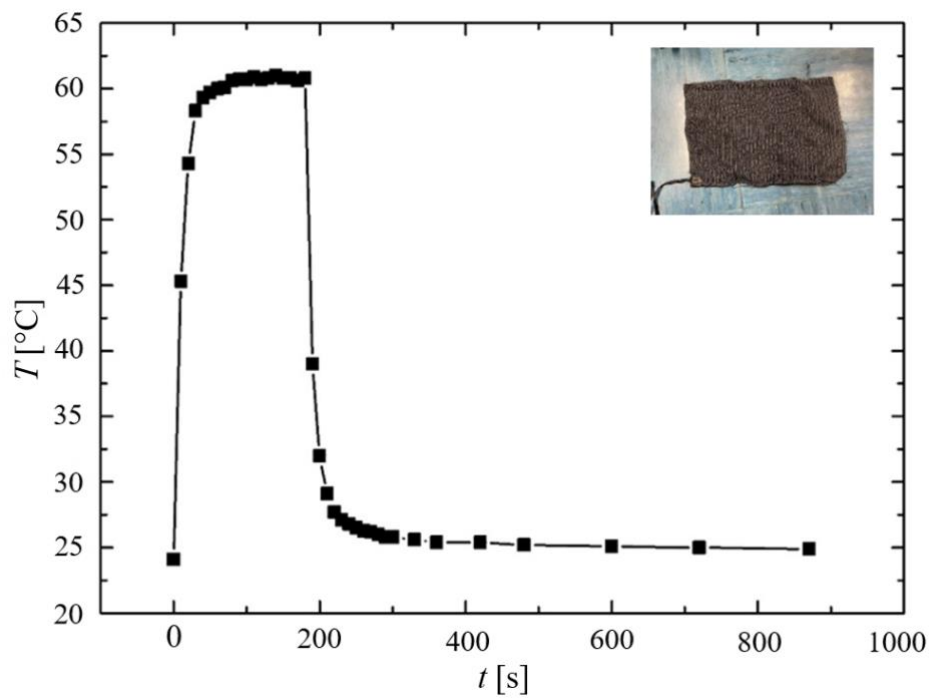


Slika 9. Termogrami segrevanja bele grelne tekstilije v kombinaciji z debelim in tankim melaminom; (a) pet sekund po vklopu električnega toka, (b) tri minute po vklopu električnega toka in (c) dve minuti po prekinitvi napajanja.

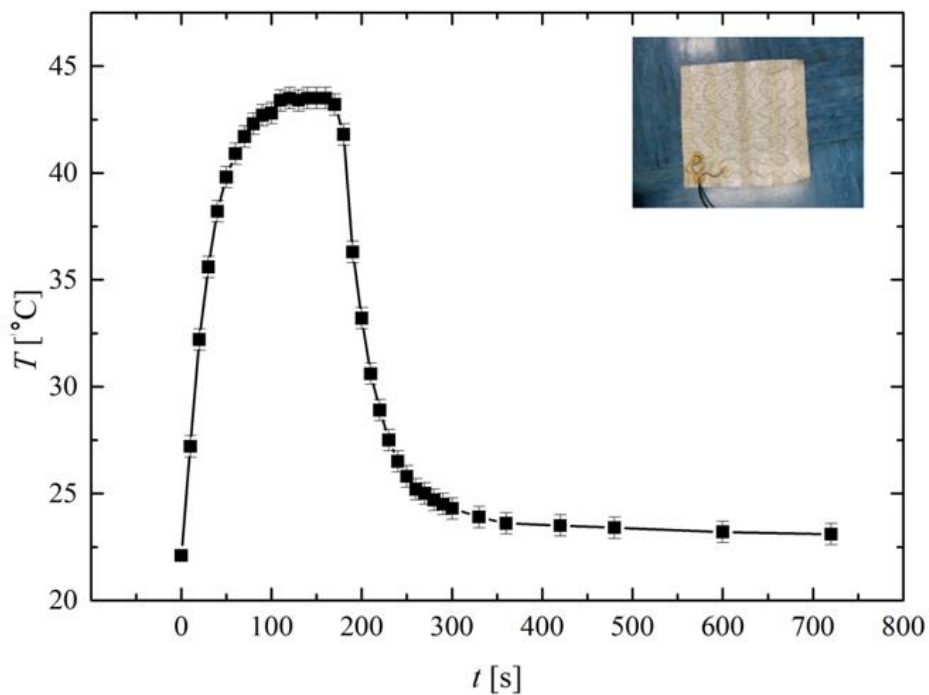


Slika 10. Termogrami segrevanja črne grelne tekstilije v kombinaciji z debelim in tankim melaminom; (a) pet sekund po vklopu električnega toka, (b) tri minute po vklopu električnega toka in (c) dve minuti po prekinitvi napajanja.

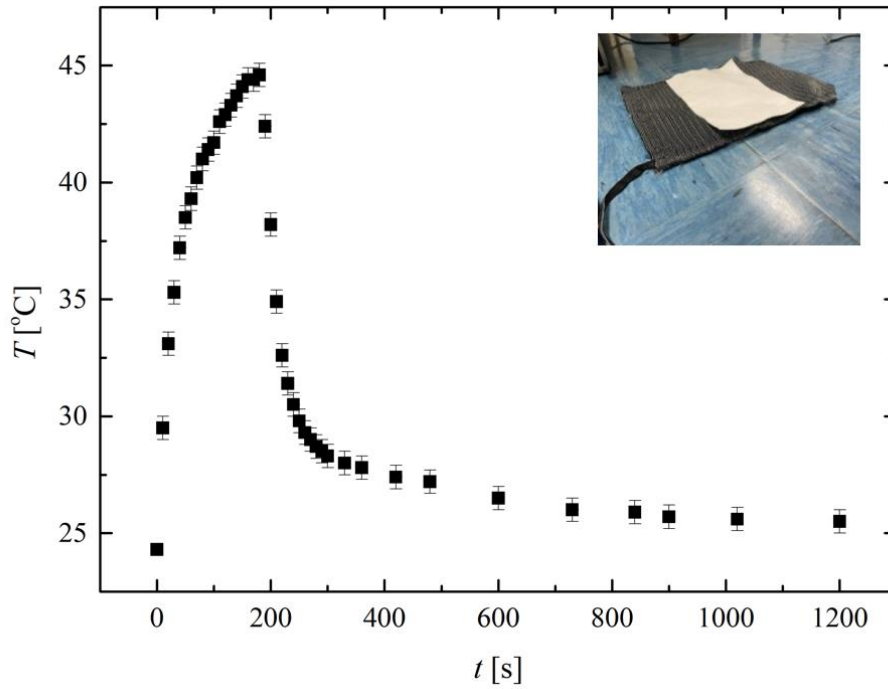
S pomočjo Flir Tools+ sem analizirala termograme in iz njih razbrala povprečno temperaturo grelne tekstilije ali melamina, ki ga je segrela grelna tekstilija. Meritve temperature v odvisnosti od časa so prikazane na slikah 11 do 18.



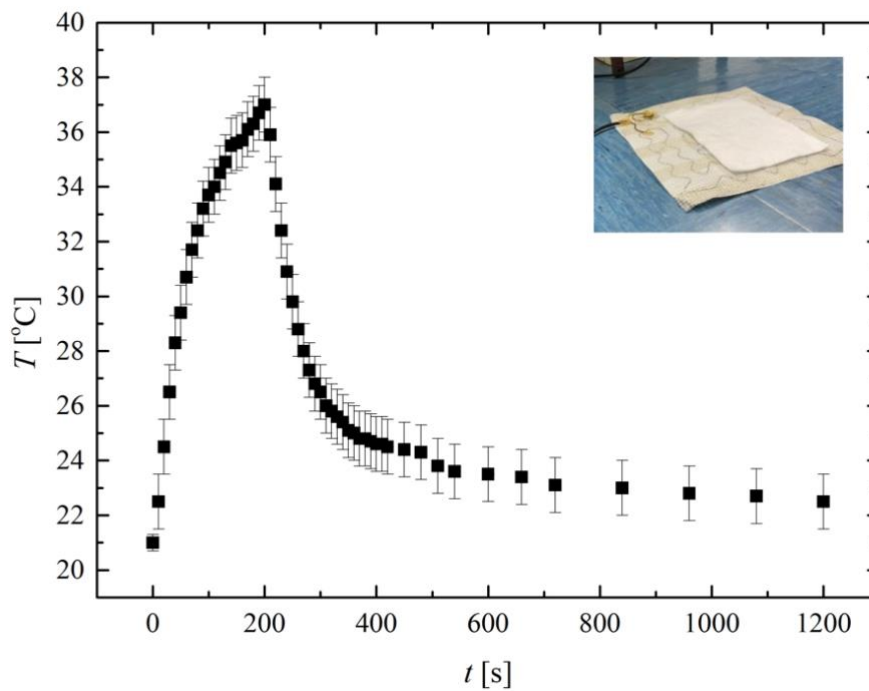
Slika 11. Temperatura (T) črne grelnе tekstilije v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



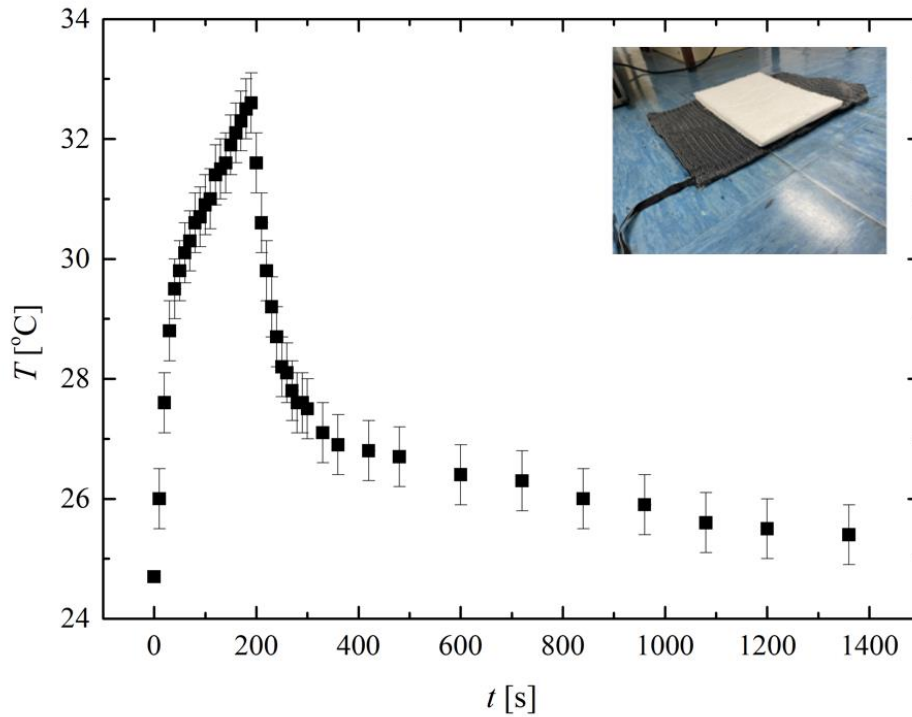
Slika 12. Temperatura (T) bele grelnе tekstilije v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



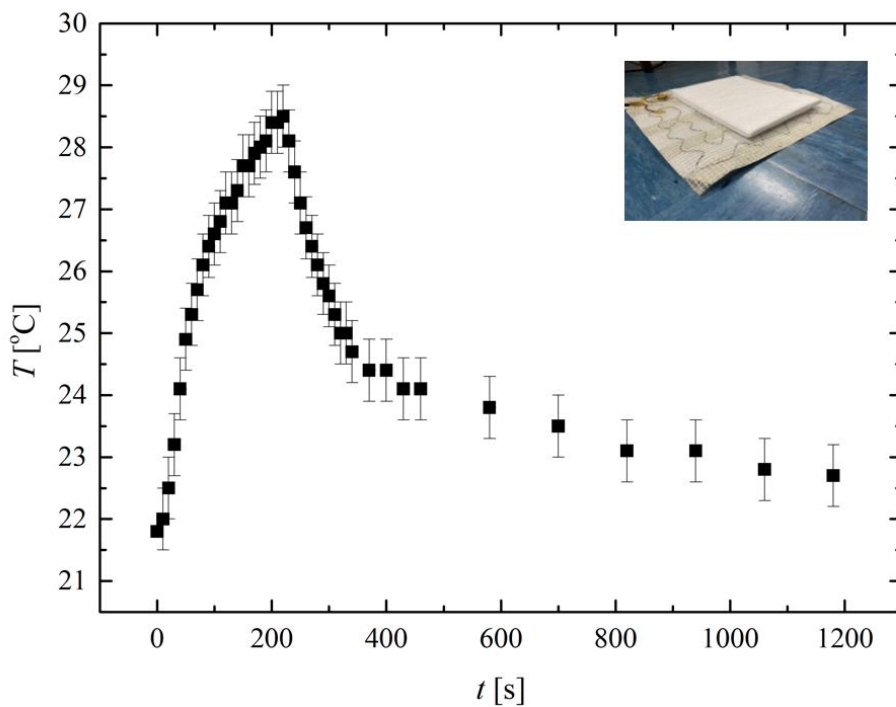
Slika 13. Temperatura (T) črne grelne tekstilije v kombinaciji s tanjšim melaminom, v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



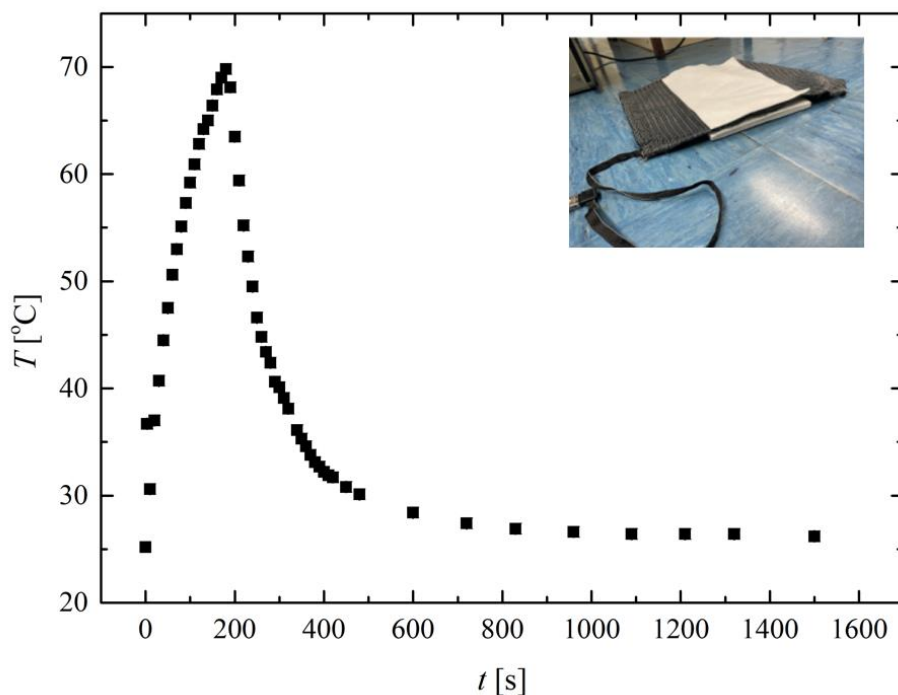
Slika 14. Temperatura (T) bele grelne tekstilije v kombinaciji s tanjšim melaminom v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



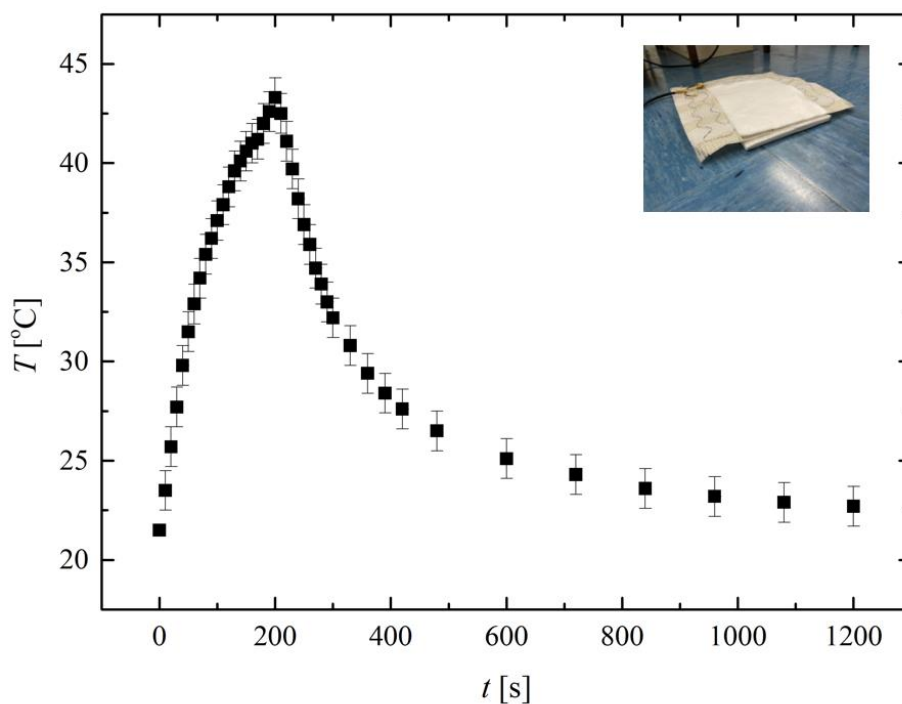
Slika 15. Temperatura (T) črne grelne tekstilije v kombinaciji z debelejšim melaminom v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



Slika 16. Temperatura (T) bele grelne tekstilije v kombinaciji z debelejšim melaminom v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



Slika 17 . Temperatura (T) črne grelne tekstilije v kombinaciji z debelejšim melaminom odspodaj in tanjšim melaminom odzgoraj v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.



Slika 18. Temperatura (T) bele grelne tekstilije v kombinaciji z debelejšim melaminom odspodaj in tanjšim melaminom odzgoraj v odvisnosti od časa (t). Ob času $t = 0$ smo vklopili grelec in ga izklopili ob času $t = 180$ s.

Pri analizi meritev z infrardečo kamero nas zanima, s katero kombinacijo grelne tekstilije in melamina najhitreje dosežemo, oz. če sploh dosežemo, 45°C in kako dolgo melamin oddaja toploto po prekinitvi napajanja grelne tekstilije. Že pri izvedbi meritev opazimo, da pri

segrevanju prihaja do področja vročih točk (slika 9 in 10). S časoma temperaturno polje postaja bolj homogeno po celotni površini vzorca.

Na podlagi meritev opazimo, da pri isti napetosti, črna tekstilija (slika 11) v krajšem času doseže višjo temperaturo, kot bela (slika 12), in se hkrati v krajšem času, po prekinitvi napajanja, vrne na temperaturo okolice. Prav tako se črna grelna tekstilija v kombinaciji s tanjšim melaminom (slika 13) segreje do višje temperature, v časovnem intervalu treh minut, kot pa bela grelna tekstilija v kombinaciji s tanjšim melaminom (slika 14).

Grelni tekstiliji v kombinaciji z debelim melaminom (slika 15 in 16), potrebujeta veliko več časa, da segrejeta debel melamin do iste temperature kot sta segreli tanek melamin, zaradi tega sem naredila še zadnjo kombinacijo kjer imamo črno grelno tekstilijo z debelim melaminom pod njo in tankim melaminom nad njo (slika 17) ter kombinacijo bele grelne tekstilije, kjer je debel melamin pod njo in tanek nad njo (slika 18).

Bela grelna tekstilija komaj v tej kombinaciji doseže željeno temperaturo, torej 45° , medtem ko črna grelna tekstilija preseže kar 70°C . Najhitreje, do 45°C , segreje kombinacija črna grelna tekstilija s tankim melaminom odzgoraj in debelim melaminom odspodaj, kar pomeni, da je ta kombinacija najprimernejša za zmanjšanje porabe energije v avtomobilu za gretje avtomobilskih sedežev.

4 Zaključek

V diplomskem seminarju smo obravnavali pametni tekstiliji in njuno aplikacijo na ogrevane avtomobilske sedeže. Meritve so bile opravljene z infrardečo kamero in metodo grelne plošče. Merili smo segrevanje in ohlajanje grelnih tekstilij v kombinaciji z melaminom v odvisnosti od časa ter toplotno prevodnost. Termoanaliza je pokazala, da je najprimernejša kombinacija za integracijo v avtomobilske sedeže črna grelna tekstilija v kombinaciji s tankim melaminom, ki je na vrhu grelne tekstilije, ter debelim melaminom, ki ga vstavimo pod grelno tekstilijo (slika 17). Toplotna prevodnost teh vzorcev je majhna in je primerljiva s toplotnimi prevodnostmi izolacijskih materialov, torej bo možnost pregrevanja vzorcev majhna (tabela 3).

Za nadaljnje delo predlagam integracijo fazno spremenljivih materialov v pametno tekstilijo, s čimer bi dosegli še manjšo porabo energije. Fazno spremenljive materiale ločimo glede na temperaturna območja faznega prehoda in glede na toplotno kapaciteto. Ker človeško telo ne bo čutilo vročine ali hlada samo med 30°C in 36°C , so primerni fazno spremenljivi materiali tisti, pri katerih je temperatura faznega prehoda iz trdnine v hlapljivo v tem temperaturnem območju. Glede na to so uporabni ali PEG, ki so eni najpomembnejših fazno spremenljivih materialov, ali pa parafini, in sicer najbolj n-eikozan (tabela 1), saj ima temperaturo strjevanja $30,6^{\circ}\text{C}$, temperaturo tališča pa $36,1^{\circ}\text{C}$.

LITERATURA IN VIRI

- [1] K. Hu, J. Wu in T. Schwanen, *Differences in Energy Consumption in Electric Vehicles: An Exploratory Real-World Study in Beijing*, J. Adv. Transp. **2017**, 1 (2017).
- [2] I. Cristian, S. Nauman, C. Cochrane in V. Koncar, *Electro-Conductive Sensors and Heating Elements Based on Conductive Polymer Composites in Woven Structures*, Int. J. Cloth. Sci. Technol. **21**, 82 (2009).
- [3] X. Tao, *Smart fibres, fabrics and clothing* (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2001).
- [4] L. V. Langenhove in C. Hertleer, *Smart clothing: a new life*, Int. J. Cloth. Sci. Technol. **16**, 63 (2004).
- [5] M. Terzić, N. Stepanić, N. Milošević in S. Petrićević, *Development of a single-sided guarded hot plate apparatus for thermal conductivity measurements*, Int. J. Therm. Sci. **20**, 321 (2016).
- [6] F. Nilsson, *Intelligent Network Video: Understanding Modern Surveillance Systems* (CRC Press, Florida, 2008).
- [7] A. Gurarslan, B. Ozdemir, I. H. Bayat, M. B. Yelten in G. K. Kurt, *Silver nanowire coated knitted wool fabrics for wearable electronic applications*, J. Eng. Fibers Fabr. **14**, 1 (2019).
- [8] S. T. A. Hamdani, P. Potluri in A. Fernando, *Thermo-Mechanical Behavior of Textile Heating Fabric Based on Silver Coated Polymeric Yarn*, Materials **6**, 1072 (2013).
- [9] D. Celcar, *Inteligentne tekstilje s fazno spremenljivimi materiali in njihov vpliv na toplotno udobje oblačil*, Tekstilec **55**, 45 (2012).
- [10] J. Strnad, *Fizika, 1. del* (DMFA-založništvo, Ljubljana, 2016).
- [11] J. Strnad, *Fizika, 2.del, Električna, Optika* (DMFA-založništvo, Ljubljana, 1992).
- [12] Physics and Chemistry for IG and A level, *Black Body Radiation*. Pridobljeno 29.10.2013, iz <https://esfsciencenew.wordpress.com/2013/10/29/black-body-radiation/>.
- [13] N. Yuksel, *The Review of Some Commonly Used Methods and Techniques to Measure the Thermal Conductivity of Insulation Materials* (IntechOpen, Bursa, 2016).
- [14] M. Syduzzaman, S.U. Patwary, K. Farhana in S. Ahmed, *Smart Textiles and Nano-Technology: A General Overview*, J Textile Sci Eng **5**, 181 (2015).