

# Ovrednotenje metode za statistično analizo termografskih slik obraza

Sara Mihalič<sup>1</sup>, Valentina Stanić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: valentina.stanic@fe.uni-lj.si

## Evaluation of a method for the statistical analysis of facial thermograms

*Advances in thermal imaging cameras have led to their widespread use in pathological and psychophysiological research to observe the face. However, there is no established set of rules for analysing facial thermograms. To this end, we designed a study focusing on the selection of regions of interest (ROI) on the facial thermograms of five adults, the calculation of statistical measures within the ROIs, and the evaluation of the statistical measures in terms of robustness to thermal inhomogeneity of the ROIs due to facial hair, breathing, open mouth, or skin irregularities. ROIs were manually marked on the forehead, inner corners of the eyes, tip of the nose, cheeks and face. The results support the idea that considering only the 10 % of the warmest pixels within the ROI provides more reliable temperature values, as it expresses a similar trend of temperature dynamics as the maximum temperature within the ROI in a more homogeneous region than the mean temperature of all pixels within the ROI. Therefore, if the ROI size is more than 100 pixels, it is advisable to calculate the mean temperature of 10 % of the warmest pixels within the ROI, as this is also less sensitive to ROI placement.*

## 1 Uvod

Razvoj sevalne termometrije v obliki termografije je privedel do prenosnih, a zmogljivih termovizijskih kamer, ki se dandanes uporabljajo v širokem naboru aplikacij. Med njimi je tudi merjenje površinske temperature človeške kože na obrazu, saj kamere zaradi svoje brezkontaktno merilne metode omogočajo neintruzivno opazovanje patologij in psihofizioloških aktivnosti.

Rezultat termovizijske meritve je termografska slika ali termogram, katerega piksli vsebujejo podatke o temperaturi. Način obdelave termogramov je eden pomembnejših faktorjev, ki vplivajo na točnost meritve termovizijske kamere. Osnova obdelave termogramov je izbira območja zanimanja (angl. *region of interest* – ROI), to so izbrane slikovne točke na termogramu, ki pokrivajo željeno območje zanimanja. Trenutno ni določenih pravil za velikost, obliko in položaj ROI na obrazu, vendar je priporočljivo, da ROI zajema čim večji del vidnega polja kamere, oz. da vsebuje kar se da veliko slikovnih točk [1].

Glede na zadnje raziskave [2] mora zaradi vpliva velikosti tarče (angl. *size-of-source effect* – SSE) za pravilen izračun povprečne temperature ROI biti njegova velikost vsaj 3 x 3 slikovnih točk, prav tako mora biti ROI obkrožen s pasom širine najmanj 7 slikovnih točk.

Položaj ROI na obrazu je navadno tesno povezan z namenom meritve, denimo območje čela za proučevanje migren ali celoten obraz za proučevanje temperaturne porazdelitve. Psihofiziološke raziskave pa tipično opazujejo območja na obrazu, kjer pričakujejo največje temperaturne spremembe zaradi psihološke aktivnosti, to je območje čela, konice nosu, notranjih kotičkov oces in lic.

Po določitvi ROI sledi izbira mer za statistično analizo. Tipično se raziskovalci odločijo za povprečno vrednost ROI skupaj s standardnim odklonom; pogosto sta navedeni tudi maksimalna in minimalna temperatura ROI, ki razkrijeta temperaturni razpon. Na obrazu lahko nekatere slikovne točke znotraj ROI pokrivajo območja večje poraščenosti, nosnic, odprtih ust ali kožnih anomalij, kar vpliva na povprečno temperaturo celotnega ROI. V študiji [3] so ugotovili, da je povprečna vrednost 10 % najtoplejših slikovnih točk ROI robustnejša in manj občutljiva na vrednosti vseh slikovnih točk, ki pokrivajo izstopajoča območja. Slednja trenutno ni široko uporabljena, zato smo preverili njeno robustnost v primerjavi s povprečno vrednostjo na termogramih obrazov odraslih oseb.

## 2 Metode

V analizi smo uporabili pet termogramov obrazov polnoletnih oseb, dve ženski in trije moški s povprečno starostjo 37,8 let. Vsi sodelujoči so bili zdravi, brez ličil in izrazitih kožnih anomalij na obrazu, vendar sta dva moška imela brado. Prav tako so bili dolgi lasje speti v čop, očala pa odstranjena.

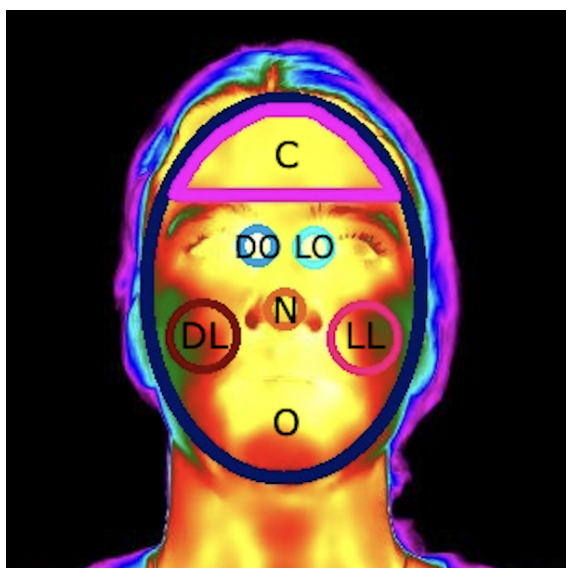
Termogrami so bili posneti s termovizijsko kamero FLIR T1020 (akreditirana kalibracija pred enim letom) z ločljivostjo 1024 x 768 slikovnih točk in občutljivostjo <20 mK pri 30 °C. Koeficient emisivnosti je bil nastavljen na 0,98. Kamera je bila nameščena na stojalo pravokotno na obraz, 1 m od osebe.

Meritve so bile izvedene v prostoru z nadzorovano temperaturo zraka, (24,4±0,1) °C, in relativno vlažnostjo zraka, (59,8 ± 0,8) %. V okolici merjene osebe ni bilo virov sevanja, prav tako v prostoru ni bilo neposredne sončne svetlobe in prepiha.

## 2.1 Določitev ROI

Za lažjo obdelavo termogramov smo poleg obogatene slike v formatu JPEG (RGB slika s temperaturnimi vrednostmi) iz programskega okolja FLIR ResearchIR Max 4 izvozili matriko temperaturnih vrednosti posameznih slikovnih točk v formatu CSV.

Na posameznem termogramu smo ročno določili sedem ROI, kot je prikazano na sliki 1: čelo, notranji kotichek levega in desnega očesa, konica nosu, levo in desno lice ter celoten obraz. Pri določanju položaja, oblike in velikosti ROI smo se naslanjali na anatomske značilnice posameznika. S tem smo dosegli ponovljivost postavitve ROI, vendar se posledično velikosti ROI med termogrami razlikujejo.



Slika 1: Primer termograma z označenimi ROI: C – čelo, DO – notranji kotichek desnega očesa, LO – notranji kotichek levega očesa, N – konica nosu, DL – desno lice, LL – levo lice, O – celoten obraz.

Za določitev ROI na termogramih obraza smo uporabili programski jezik Python ter knjižnice *NumPy*, *Matplotlib*, *OpenCV*, *Pillow* in *Pandas*. Vsak ROI posebej smo izrezali iz barvne slike, ki smo jo najprej pretvorili v sivinsko sliko. Slednjo smo s pomočjo upravljanja spremenili v binarno masko, pri čemer je bil prag nastavljen na 0,1. V dobljeni binarni maski so tako z enicami označene slikovne točke znotraj ROI. Nato smo v spremenljivko *masked\_temperatures* shranili temperaturne vrednosti tistih slikovnih točk, ki so imele v binarni maski vrednosti 1.

## 2.2 Izračun statističnih parametrov

Statistično analizo smo prav tako izvedli v programskem okolju Python. Za vsak ROI smo izračunali povprečno temperaturo in standardni odklon. Prav tako smo znotraj vsakega ROI poiskali 10 % najtoplejših slikovnih točk ter izračunali njihovo povprečno temperaturo in standardni odklon. Za boljšo predstavo o temperaturni razporeditvi znotraj ROI smo izračunali tudi minimalno in maksimalno temperaturo ter njuni lokaciji znotraj ROI.

## 3 Rezultati

Pričujoče poglavje je razdeljeno glede na velikost in statistično analizo ROI, kjer je povprečna vrednost vseh slikovnih točk znotraj ROI označena kot  $M$  in pripadajoči standardni odklon  $s$ , povprečna vrednost 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj ROI je označena kot  $M_{10}$  in pripadajoči standardni odklon  $s_{10}$ , maksimalna temperatura znotraj ROI kot  $M_k$ , minimalna temperatura znotraj ROI pa kot  $M_n$ . Termogrami merjenih oseb so označeni kot *TM1* in *TM2* sta moška z brado, *TŽ3* in *TŽ4* ženski, *TM5* pa moški brez brade.

### 3.1 Velikost ROI

Najprej smo preverili velikost posameznega ROI. Zaradi vpliva SSE [2] mora biti minimalna velikost ROI 3 x 3 slikovnih točk. Ker pa smo preverili tudi povprečje 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj ROI, mora biti njegova velikost vsaj 100 slikovnih točk. Iz tabele 1 je razvidno, da vsi ROI izpolnjujejo pogoj za minimalno velikost. Velikosti ROI se med osebami razlikujejo, ker smo ROI prilagodili anatomiji posameznega obraza.

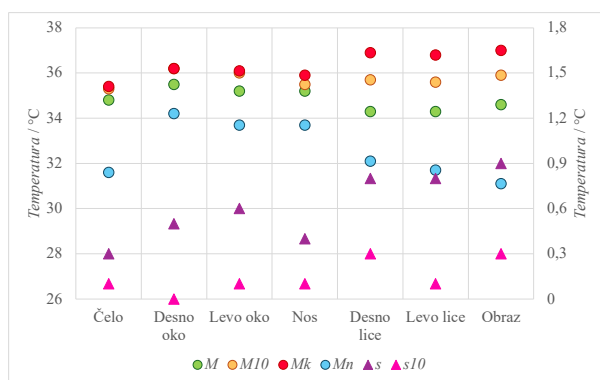
Tabela 1: Velikosti posameznih ROI, izražene s številom slikovnih točk.

ROI	TM1	TM2	TŽ3	TŽ4	TM5
Čelo	6807	5354	4877	6440	6633
Desno oko	660	476	754	611	565
Levo oko	574	634	726	633	571
Nos	880	821	778	801	871
Desno lice	2292	2636	1289	2643	2623
Levo lice	2590	2171	1498	2456	2677
Obraz	23478	24726	23565	23905	24064

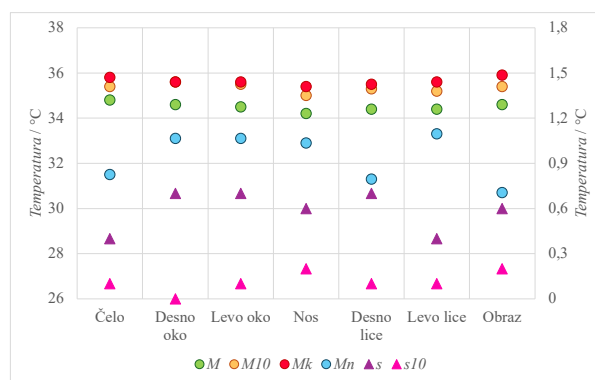
### 3.2 Statistična analiza ROI

Glede na rezultate statistične analize termograma osebe *TM1* (slika 2) je največja temperaturna variabilnost opazna na obrazu ( $M = 34,6$  °C,  $s = 0,9$  °C,  $M_k = 37,0$  °C,  $M_n = 31,1$  °C), desnem licu ( $M = 34,3$  °C,  $s = 0,8$  °C,  $M_k = 36,9$  °C,  $M_n = 32,1$  °C) in levem licu ( $M = 34,3$  °C,  $s = 0,8$  °C,  $M_k = 36,8$  °C,  $M_n = 31,7$  °C), najmanjša pa na čelu ( $M = 34,8$  °C,  $s = 0,3$  °C,  $M_k = 35,4$  °C,  $M_n = 31,6$  °C). Pri vseh ROI se vrednost  $M_{10}$  približa  $M_k$ ; v ROI notranjega koticčka desnega očesa sta celo enaki ( $M_{10} = M_k = 36,2$  °C,  $s_{10} = 0,0$  °C).

Iz slike 3 je razvidno, da je na termogramu osebe *TM2* največja temperaturna variabilnost znotraj ROI notranjega koticčka desnega očesa ( $M = 35,2$  °C,  $s = 0,8$  °C,  $M_k = 36,2$  °C,  $M_n = 32,7$  °C), ROI čela ( $M = 34,4$  °C,  $s = 0,7$  °C,  $M_k = 35,6$  °C,  $M_n = 26,1$  °C) in ROI obraza ( $M = 34,6$  °C,  $s = 0,7$  °C,  $M_k = 36,5$  °C,  $M_n = 26,9$  °C), najmanjša pa znotraj ROI notranjega koticčka levega očesa ( $M = 35,3$  °C,  $s = 0,4$  °C,  $M_k = 36,2$  °C,  $M_n = 33,8$  °C) in ROI levega lica ( $M = 34,5$  °C,  $s = 0,4$  °C,  $M_k = 35,9$  °C,  $M_n = 31,7$  °C). Vrednost  $M_{10}$  se najbolj približa  $M_k$  v ROI notranjih koticčkov obeh oči ( $M_{10} = 36,1$  °C,  $M_k = 36,2$  °C). Največja vrednost  $s_{10}$  je v ROI levega lica ( $s_{10} = 0,3$  °C).



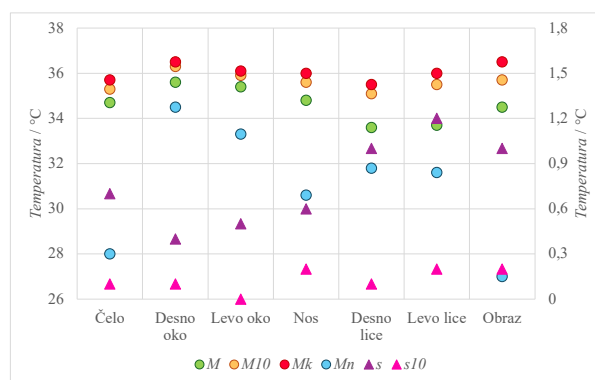
Slika 2: Rezultati statistične analize termograma osebe *TM1*. Skala na levi strani pripada vrednostim  $M$ ,  $M_{10}$ ,  $M_k$  in  $M_n$ , skala na desni pa vrednostim  $s$  in  $s_{10}$ .



Slika 4: Rezultati statistične analize termograma osebe *TŽ3*. Skala na levi strani pripada vrednostim  $M$ ,  $M_{10}$ ,  $M_k$  in  $M_n$ , skala na desni pa vrednostim  $s$  in  $s_{10}$ .



Slika 3: Rezultati statistične analize termograma osebe *TM2*. Skala na levi strani pripada vrednostim  $M$ ,  $M_{10}$ ,  $M_k$  in  $M_n$ , skala na desni pa vrednostim  $s$  in  $s_{10}$ .



Slika 5: Rezultati statistične analize termograma osebe *TŽ4*. Skala na levi strani pripada vrednostim  $M$ ,  $M_{10}$ ,  $M_k$  in  $M_n$ , skala na desni pa vrednostim  $s$  in  $s_{10}$ .

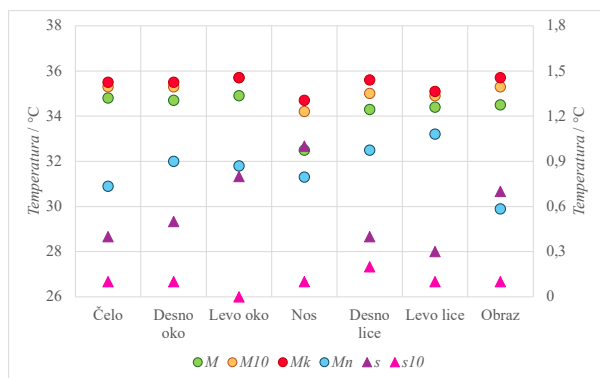
Rezultati statistične analize termograma *TŽ3* so prikazani na sliki 4. Iz slednje je razvidna najmanjša temperaturna homogenost v ROI notranjega kotička desnega ( $M = 34,6$  °C,  $s = 0,7$  °C,  $M_k = 35,6$  °C,  $M_n = 33,1$  °C) in levega očesa ( $M = 34,5$  °C,  $s = 0,7$  °C,  $M_k = 35,6$  °C,  $M_n = 33,1$  °C) ter ROI desnega lica ( $M = 34,4$  °C,  $s = 0,7$  °C,  $M_k = 35,5$  °C,  $M_n = 31,3$  °C), največja pa v ROI čela ( $M = 34,8$  °C,  $s = 0,4$  °C,  $M_k = 35,8$  °C,  $M_n = 31,5$  °C) in ROI levega lica ( $M = 34,4$  °C,  $s = 0,4$  °C,  $M_k = 35,6$  °C,  $M_n = 33,3$  °C). V ROI notranjega kotička desnega očesa sta vrednosti  $M_{10}$  in  $M_k$  enaki ( $M_{10} = M_k = 35,6$  °C,  $s_{10} = 0,0$  °C). Največja vrednost  $s_{10}$  je v ROI konice nosu in obraza ( $s_{10} = 0,2$  °C).

Na termogramu *TŽ4* (slika 5) je opazna največja temperaturna variabilnost na območju levega ( $M = 33,7$  °C,  $s = 1,2$  °C,  $M_k = 36,0$  °C,  $M_n = 31,6$  °C) in desnega lica ( $M = 33,6$  °C,  $s = 1,0$  °C,  $M_k = 35,5$  °C,  $M_n = 31,8$  °C) ter obraza ( $M = 34,5$  °C,  $s = 1,0$  °C,  $M_k = 36,5$  °C,  $M_n = 27,0$  °C), najmanjša pa na območju notranjega kotička desnega očesa ( $M = 35,6$  °C,  $s = 0,4$  °C,  $M_k = 36,5$  °C,  $M_n = 34,5$  °C). Vrednost  $M_{10}$  je najbolj podobna  $M_k$  na območju notranjega kotička desnega ( $M_{10} = 36,3$  °C,  $s_{10} = 0,1$  °C,  $M_k = 36,5$  °C) in levega očesa ( $M_{10} = 35,9$  °C,  $s_{10} = 0,0$  °C,  $M_k = 36,1$  °C).

Iz slike 6 je razvidno, da je na termogramu osebe *TM5* najmanjša temperaturna homogenost v ROI konice nosu ( $M = 32,5$  °C,  $s = 1,0$  °C,  $M_k = 34,7$  °C,  $M_n = 31,3$  °C) in ROI notranjega kotička levega očesa ( $M = 34,9$  °C,  $s = 0,8$  °C,  $M_k = 35,7$  °C,  $M_n = 31,8$  °C), največja pa v ROI levega lica ( $M = 34,4$  °C,  $s = 0,3$  °C,  $M_k = 35,1$  °C,  $M_n = 33,2$  °C). V ROI notranjega kotička levega očesa sta vrednosti  $M_{10}$  in  $M_k$  enaki, prav tako je vrednost  $s_{10}$  najnižja ( $M_{10} = M_k = 35,7$  °C,  $s_{10} = 0,0$  °C). Vrednost  $s_{10}$  je najvišja v ROI desnega lica ( $s_{10} = 0,2$  °C).

## 4 Razprava

S pomočjo raziskave smo želeli določiti najbolj optimalno metodo za statistično analizo termogramov obraza. Najpogosteje je uporabljena povprečna vrednost slikovnih točk znotraj ROI skupaj s standardnim odklonom, vendar je zaradi temperaturne dinamike in izrazite nehomogenosti obraza zaželeno bolj robustna metoda. V ta namen smo preverili ustreznost novejših metod [3], ki temelji na izboru 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj izbranega ROI. Naša orientacija za kriterij robustnosti metode je maksimalna temperatura znotraj ROI, ki pa kot samostojna mera ni dovolj zanesljiva, saj gre za meritev v eni sami slikovni točki.



Slika 6: Rezultati statistične analize termograma osebe *TM5*. Skala na levi strani pripada vrednostim  $M$ ,  $M_{10}$ ,  $M_k$  in  $M_n$ , skala na desni pa vrednostim  $s$  in  $s_{10}$ .

Rezultati statistike celotnega ROI razkrivajo glavne probleme obdelave termogramov obraza. Na vseh termogramih je bila opazna velika temperaturna variabilnost znotraj ROI celotnega obraza, saj zajema tudi pričakovano hladnejše slikovne točke, kot so območja večje poraščenosti (obrvi, brada), nosnic in odprtih ust. Zaradi nosnic je verjetno opazna temperaturna nehomogenost ROI konice nosu na vseh termogramih. Poršččenost je vzrok za temperaturni raztros znotraj ROI obeh lic na termogramih moških z brado (*TM1* in *TM2*).

Velika temperaturna variabilnost znotraj ROI obeh lic pri ženski *TZ4* pa osvetljuje drug problem analize termogramov obraza: določanje meja ROI. To vpliva na obliko, položaj in velikost ROI. V omenjenem primeru lahko k temperaturnemu raztrosu prispeva nenatančna postavitev ROI, denimo da ROI lica zajame tudi lase na robu obraza. Zaradi tega je opazna temperaturna variabilnost tudi v ROI čela, saj lahko hitro spregledamo dlake na samem robu lasišča in obrvi. Če pogledamo ROI posameznih delov obraza, je na štirih od petih termogramov opazna najmanjša minimalna temperatura ravno znotraj ROI čela.

Zanimiva je tudi temperaturna nehomogenost najmanjših ROI, notranjih koticov oces. Tudi tukaj se lahko razlog skriva v določitvi ROI, da je mogoče zajemal preveliko območje, ali pa je imela oseba gosto poraščene trepalnice. V splošnem notranji kotic oces veljajo za najtoplejše območje na obrazu [4, 5], kar podpirajo povprečne vrednosti štirih od petih termogramov. V primeru maksimalne temperature pa to velja samo za dve osebi, kar je lahko posledica postavitve in velikosti ROI.

Pri statistični analizi 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj ROI je na vsakem termogramu pri vseh ROI opazno pričakovano povečanje temperaturne homogenosti območja. Pri vseh osebah je najmanjši temperaturni raztros na območju notranjih koticov oces, kjer je prav tako najvišja povprečna temperatura 10 % najtoplejših slikovnih točk, ki je v treh primerih celo enaka maksimalni temperaturi območja. Na štirih termogramih je poleg notranjih koticov oces najbolj temperaturno homogeno območje čelo, kjer se povprečna temperatura 10 % najtoplejših slikovnih točk prav tako približa maksimalni tem-

peraturi območja. Podobno je na štirih termogramih opazen najmanj temperaturno homogen nabor 10 % najtoplejših slikovnih točk na območju lic.

Rezultati razkrivajo, da hladne slikovne točke, ki so posledica poršččenosti, aktivnega dihanja ali kožnih anomalij, manj vplivajo na rezultate statistične analize 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj izbranega ROI v primerjavi s povprečno vrednostjo. Prav tako je tovrstna metoda manj občutljiva na postavitev in obliko ROI, kar je zelo dobrodošlo tako pri ročnem kot avtomatskem določanju ROI, saj s tem izboljša primerljivost med posameznimi ROI na obrazu, kot tudi primerljivost ROI med osebami. Vendar mora biti velikost ROI zaradi vpliva SSE vsaj 100 slikovnih točk, kar običajno zahteva uporabo dražjih termovizijskih kamer z visoko ločljivostjo.

## 5 Zaključek

Termovizija obraza je aktualna tehnologija brezkontaktnega merjenja površinske temperature kože. Topografija obraza predstavlja svojevrsten izziv, saj vpliva na točnost izmerjenih temperatur, ki so prikazane na termogramu. Poleg meritve na točnost rezultata vpliva tudi statistična analiza termogramov.

Na obrazu ROI pogosto pokrivajo območje čela, notranjih koticov oces, konice nosu, lic in celotnega obraza. Vir temperaturne nehomogenosti teh ROI so poršččenost, dihanje (nosnice, odprta usta) ter razne kožne nepravilnosti. Prav tako je lahko vir napak velikost, postavitev in oblika ROI.

V primeru termograma visoke ločljivosti, ki omogoča postavitev ROI z velikostjo več kot 100 slikovnih točk, je glede na naše rezultate priporočljiva uporaba robustnejše statistične analize, ki upošteva 10 % najtoplejših slikovnih točk znotraj ROI, saj njihova povprečna temperatura izraža podoben trend kot maksimalna temperatura ROI ter hkrati izboljša temperaturno homogenost znotraj ROI (manjši standardni odklon).

## Literatura

- [1] I. Pušnik, P. Saunders, F. Girard, L. Knazovicka, R. Simpson, G. Machin, D. Cardenas Garcia, W. Quanzeng, K. Kuelhas, M. Sadli, O. Pehlivan Yildirim, F. E. Liebmann, J. Gust, K. Howell, "Best practice guide: Use of thermal imagers to perform traceable non-contact screening of human body temperature", BIPM, 2021.
- [2] I. Pušnik, G. Geršak, "Evaluation of the size-of-source effect in thermal imaging cameras", Sensors, let. 21, št. 2, 2021.
- [3] D. T. Robinson, J. Clay-Warner, C. D. Moore, T. Everett, A. Watts, T. N. Tucker, C. Thai, "Toward an Unobtrusive Measure of Emotion During Interaction: Thermal Imaging Techniques", v Biosociology and Neurosociology, W. Kalkhoff, S. R. Thye, in E. J. Lawler, Ur., v Advances in Group Processes, let. 29, 2012.
- [4] J. B. Mercer, E. F. J. Ring, Fever screening and infrared thermal imaging: concerns and guidelines, Thermology International, let. 19, št. 3, 2009.
- [5] A. Seixas, K. Ammer, Utility of infrared thermography when monitoring autonomic activity, European Journal of Applied Physiology, let. 119, št. 6, 2019.