

# Problematika merjenja s termografskimi kamerami pri ugotavljanju energetske učinkovitosti zgradb

Igor Pušnik

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost  
Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: igor.pusnik@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** Članek opisuje problematiko uporabe termografskih kamer pri ugotavljanju energetske učinkovitosti zgradb. Opisana sta princip delovanja in problematika uporabe termografskih kamer. Poleg osnovnega problema uporabe za doseganje točnosti merjenja, to je nastavitve emisivnosti, so predstavljeni še najpogostejši motilni vplivi pri uporabi termografskih kamer, in sicer razmere delovanja, učinek toplotne kapacitivnosti in učinek nočnega neba, vpliv atmosfere in oddaljenosti, kot merjenja, odboj sevanja iz okolice in vpliv vetra. Nekateri izmed motilnih vplivov so prikazani na dveh praktičnih primerih meritev z dvema termografskima kamerama različnih cenovnih razredov in s tem tudi različnima kakovostma. V sklepu so podana nekatera osnovna izhodišča, ki so lahko v pomoč pri izbiri in uporabi termografskih kamer.

**Ključne besede:** termografska kamera, energetska učinkovitost zgradb

## Problems of measurement with thermal imagers in determination of energy efficiency of buildings

**Extended abstract.** The paper describes problems in the use of thermal imagers for determination of energy efficiency of buildings. Thermal imagers are commonly used in technical diagnostics and measurement of energy efficiency of buildings. A thermal imager captures an infrared (IR) image with an array of detectors (microbolometers). Analysis of an IR image is made with an associated software, in which parameters such as emissivity, distance, temperature and humidity are defined. According to recent analyses, only some 10 % of thermal imagers are accurate within the set manufacturers specifications. Therefore, it is important to use calibrated thermal imagers, when absolute temperature values are important. There are less problems when measuring temperature differences, but not all thermal imagers are capable of measuring them accurately. In their practical use, the following effects have to be taken into account: operating conditions (temperature, relative humidity), thermal capacitance, night sky, influence of atmosphere and distance, angle of measurement, reflected radiation from the surrounding, wind, etc.

In our practical examples we show measurement of house and snow with two different thermal imagers (low cost and expensive) under the same measurement conditions. Figures 1A, 1B and 3 (A, B, C, D) were made with a low-cost thermal imager (resolution of the IR detector 160x120), while Figures 2A, 2B and 4 (A, B, C) were made with an expensive thermal imager (resolution of the IR detector 320x240). Both thermal imagers were calibrated in our laboratory under laboratory conditions and showed good agreement with the manufacturer specifications regarding accuracy ( $\pm 2$  °C or 2 % of reading for the low-cost thermal imager and  $\pm 1$  °C or 1 % of reading for the expensive thermal imager). Our analysis of the measured results shows good performance of the expensive thermal imager not only in measurement of temperature differences (Table 1B) but also in measurement of the absolute temperature (Table 1A). Results obtained with the low-cost

thermal imager are completely different. Here all the measurement values are questionable and the majority of them are physically quite impossible. It is obvious that the low-cost thermal imager is sensitive to changing operating conditions, which was especially evident when measuring snow.

Before choosing a thermal imager its purpose and required accuracy should be defined. Measurement of the absolute temperature with accuracy better than  $\pm 1$  °C is hard to achieve with a thermal imager, even if the manufacturer specifications claim so. Accuracy of a thermal imager is determined by calibration in an accredited laboratory issuing a calibration certificate. As a rule, thermal imager manufacturers do not provide them, at least not for free. Moreover, a calibrated and accurate thermal imager does not necessarily provide accurate measurements. To assure accurate measurements with an accurate thermal imager, a competent and experienced operator is required, too.

**Keywords:** thermal imager, energy efficiency of buildings

## 1 Termografske kamere in njihova uporaba

V literaturi o gradnji nizkoenergetskih in pasivnih hiš se pogosto omenja termografija (merjenje s termografskimi kamerami) kot učinkovito sredstvo za merjenje energetske učinkovitosti zgradb s pomočjo sprotnega preverjanja kritičnih izvedbenih detajlov, predvsem na mestih, kjer nastajajo toplotni mostovi. Podrobnejši opis razlogov in načina za ugotavljanje energetske učinkovitosti je bil predstavljen v [1]. Uporaba termografske kamere se na prvi pogled zdi preprosta, vendar si kot strokovnjak s tega področja

upam trditi, da le peščica uporabnikov pozna pasti in s tem omejitve pri njihovi uporabi. V nadaljevanju bodo najprej predstavljeni problemi uporabe termografskih kamer, nato pa bosta prikazana in analizirana konkretna primera iz prakse.

Termografske kamere omogočajo barvni prikaz temperaturnega polja. Pri modernih termografskih kamerah so izmerjene temperature predstavljene z barvno lestvico, včasih pa je bila lestvica črno-bela ali zeleno-bela. Temna barva (črna) pomeni najnižjo temperaturo merjene površine, medtem ko najsvetlejša barva (bela) pomeni najvišjo temperaturo merjene površine. Prikaz temperaturnega polja omogoča detektor termografske kamere, ki je sestavljen iz polja majhnih termičnih detektorjev. Prve termografske kamere so potrebovale hlajenje detektorja, ponavadi s pomočjo tekočega dušika, da je sploh bilo mogoče meriti temperature okrog vrednosti sobne temperature. Sodobne kamere imajo detektorje, ki jih ni treba hladiti (mikrobolometre) in omogočajo ločljivost slike do 320x240 točk in več. V osnovi jih delimo na kratkovalovne, pri katerih detektor deluje v območju valovnih dolžin med 2  $\mu\text{m}$  in 6  $\mu\text{m}$ , in na dolgovalovne, pri katerih detektor deluje med 8  $\mu\text{m}$  in 14  $\mu\text{m}$ . Glede na rezultate dosedanjih sicer redkih raziskav [2], je izjemno malo termografskih kamer (okrog 10 odstotkov), ki vsaj približno ustrezajo tehničnim specifikacijam izdelovalcev, predvsem glede točnosti. Točnost je pojem, ki pove, kako dobro se izmerjena vrednost ujema s pravo vrednostjo merjene veličine. Pri termografskih kamerah je pomembno, da omogočajo digitalni zapis slike (celotne matrike detektorja), njeno hranjenje in poznejšo analizo. Dobra analiza je mogoča le, če izdelovalec skupaj s kamero dobavi tudi ustrezno programsko opremo. Le-ta omogoča poznejšo nastavitve parametrov (emisivnost, oddaljenost, relativna vlaga, temperatura), s čimer je mogoče analizo po potrebi tudi preveriti in popraviti. S tem analiza temperaturnih merjenj ni odvisna zgolj in samo od osebe, ki izvaja merjenje, temveč je omogočena poznejša analiza meritev tudi drugim osebam. Čeprav so termografske kamere v osnovi namenjene za ugotavljanje temperaturnih razlik, je z umerjenimi (kalibriranimi) kamerami mogoče meriti tudi absolutne vrednosti temperatur, če je kamera umerjena in če poznamo emisivnost merjene površine. Pri umerjeni kameri namreč poznamo odstopanja od pravih vrednosti v temperaturnem območju umerjanja. Treba je poudariti, da umerjanje ali kalibracija ne pomeni nastavitve kazanja in s tem odprave odstopanj. S termografsko kamero izmerimo pravo temperaturo površine le tedaj, ko je vrednost instrumentacijske emisivnosti, ki jo nastavimo na kameri, enaka emisivnosti merjene površine. V vseh drugih primerih merimo t. i. navidezno ali sevalno temperaturo merjene površine, ki jo je mogoče ob poznavanju vseh veličin, ki nastopajo v Planckovem zakonu sevanja, in znani

emisivnosti preračunati v pravo temperaturo. Pogosto je to neizvedljivo, zato v teh primerih namesto o merjenju lahko govorimo zgolj o ocenjevanju temperature. Črno telo je fizikalni pojem za idealno sevalno telo, katerega sevanje je pri dani temperaturi najmočnejše. V praksi imamo v glavnem opravka z realnimi telesi, katerih površine sevajajo manj kot površina črnega telesa. Pojem emisivnosti je razmerje med sevanjem realne površine in sevanjem površine črnega telesa pri isti temperaturi in istih spektralnih (valovna dolžina) in smernih pogojih (kot opazovanja). Vendar tudi točna določitev temperaturnih razlik ni preprosta, če imamo opravka s površinami, ki imajo različne emisivnosti. Tedaj je razlike mogoče določiti le na podlagi analize shranjene slike, in sicer tako, da se absolutne vrednosti temperatur posameznih merjenih površin določijo posebej. Za vsako posamezno površino je namreč treba posebej določiti emisivnost in šele nato izračunati pravo vrednost temperature. Na svetovnem spletu je mogoče dobiti tabele z emisivnostmi za različne materiale, vendar se podatki razlikujejo. Predvsem je problem tedaj, ko bi radi poznali emisivnosti pri določeni temperaturi, valovni dolžini in smernih pogojih, kajti emisivnost je na splošno funkcija naštetih parametrov. Takšni podatki pa so zelo redki in jih za večino materialov ni na voljo.

Poleg emisivnosti pa je pri merjenju temperature zgradb s termografskimi kamerami potrebno upoštevati tudi druge motilne vplive, ki so opisani v nadaljevanju.

## 2 Motilni vplivi pri merjenju

### 2.1 Razmere delovanja

Pri absolutnih merjenjih s termografskimi kamerami so pogoji delovanja (temperatura, relativna vlaga) lahko odločilnega pomena. Čeprav je kamera umerjena, to še ne pomeni, da v praksi meri enako točno, kot je bilo ugotovljeno v laboratoriju. Praktične meritve se namreč skoraj nikoli ne izvajajo v podobnih razmerah. Še posebno to velja za merjenje energetske učinkovitosti zgradb, kjer meritve praviloma izvajamo v hladnih dneh oziroma nočeh. Številne termografske kamere namreč nimajo ustrezne izvedbe ohišja detektorja oziroma merjenja njegove temperature, kar pri spremembah temperature okolice v celoti onemogoča izvedbo točnih meritev. Če v ohišju kamere pri nizkih temperaturah nastane še kondenzacija, so izmerjene vrednosti ponavadi fizikalno popolnoma nerealne. Zato je treba biti že pri izbiri termografske kamere glede na njeno predvideno uporabo zelo previden in od prodajalca zahtevati garancijo glede točnosti delovanja pri razmerah delovanja, ki jih navajajo specifikacije izdelovalca.

## 2.2 Učinek toplotne kapacitivnosti in učinek nočnega neba

Problem sta osnovni gradbeni material zgradbe in njena izolacija, ki absorbirata sončno sevanje. V odvisnosti od njune debeline in toplotne kapacitivnosti lahko površina oddaja absorbirano toploto različno dolgo. Tako lahko površina opeke ali kamna, ki je bila čez dan izpostavljena soncu, oddaja povečano sevanje več ur, medtem ko lesena površina v enakih pogojih oddaja povečano sevanje zgolj dve ali tri ure. Zato je merjenje temperature s termografsko kamero priporočljivo izvajati pozno ponoči ali proti jutru. Pri tem lahko nastane problem, to je t. i. učinek nočnega neba. Površina strehe na primer v jasni noči močneje seva kot v oblačni, kajti nebo (višje atmosferske plasti) je v jasni noči navidezna površina s temperaturo do  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V mirnem ozračju na dobro izoliranih površinah lahko izguba toplote zaradi sevanja povzroči znižanje temperature površine pod temperaturo okoliškega zraka. To je pomembno predvsem, če je visoka relativna vlažnost in se temperatura takšne površine spusti pod temperaturo rosišča zraka. V takšnem primeru pride do kondenzacije na površini, ki še poveča odvajanje toplote z njene površine. Tedaj je zelo težko analizirati rezultate merjenja s termografsko kamero. Prednost v takšnih primerih pa je, da so zelo lepo vidne špranje in razpoke na površini.

## 2.3 Vpliv ozračja in oddaljenosti

Posebna pozornost je potrebna pri uporabi termografskih kamer pri merjenjih v ozračju, ki vsebuje povečane koncentracije ogljikovega dioksida ali vlage, ker le-ta izkazujeta močne absorpcijske pasove v spektru delovanja termografskih kamer. Termografske kamere sicer omogočajo merjenje na večjih razdaljah, vendar je treba upoštevati, da se z večjo razdaljo transmissijski koeficient ozračja manjša, kar zmanjšuje vrednost sevanja, ki doseže detektor kamere in s tem kamera kaže nerealno nižje vrednosti.

## 2.4 Kot merjenja

Zrcalnim površinam se emisivnost zelo zmanjša pri kotih opazovanja  $60^{\circ}$  in več glede na normalo, posledično pa se zelo poveča njihova odbojnost. Učinek nočnega neba na odbojni površini seveda ne pripomore k njenemu sevanju, pač pa se lahko zgodi, da je sevanje, ki pride do detektorja termografske kamere, premajhno, da bi kamera sploh lahko prikazala kakršnokoli vrednost. To je še posebno problematično pri dolgovalovnih termografskih kamerah, to je pri večini komercialnih kamer. Okna, kovinske in podobne površine z visoko odbojnostjo se v takšnem primeru zdijo hladnejše, kot dejansko so. Za boljše merjenje v takšnih primerih je treba površine opazovati pod čim bolj pravim kotom in ugotoviti vpliv različnih kotov opazovanja. Obstaja tudi možnost opazovanja z višjega

položaja kot je merjena površina, pri tem pa se je treba zavedati, da na odbojnih površinah prihaja do odbojev sevanja s površin na nižjih položajih.

## 2.5 Odboj sevanja iz okolice

Poleg sončnega sevanja lahko k zvišanju izmerjene temperature s termografsko kamero pripomorejo tudi viri sevanja v okolici. Navidezna temperatura površine z visoko odbojnostjo (npr. kovine) lahko doseže nerealno visoke vrednosti, če imamo v bližini na primer peč, dimnik, stroj v pogonu itd. V zaprtih prostorih je problem lažje obvladljiv, ker pri merjenju lahko uporabimo zaslone. Takšen način merjenja je precej težje izvesti na prostem, še zlasti če merimo velike površine. Po postavitvi zaslona in pred začetkom merjenja moramo počakati dovolj dolgo, da merjena površina odda toplotno energijo, ki jo je akumulirala zaradi toplotnega vira v bližini.

## 2.6 Veter

Celotne toplotne izgube na površini zgradbe so vsota izgub zaradi sevanja in konvekcije. Pri povečani konvekciji, na primer zaradi vetra, ki piha s hitrostjo več kot  $7\text{ m/s}$ , so izgube zaradi sevanja navidezno manjše. Termografska kamera v takšnih primerih zaznava nižjo temperaturo zunanje površine, kar bi posledično pomenilo boljše energetske učinkovitost zgradbe.

## 3 Analiza praktičnih meritev

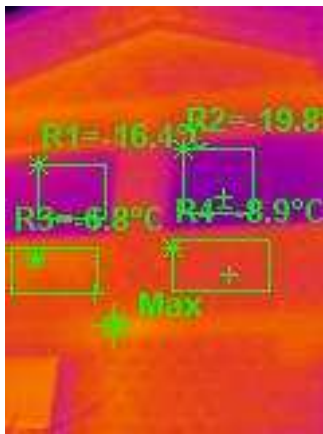
Dodaten problem v praksi je, da so prej naštetih vplivi pogosto med seboj povezani. Zato je treba že pred merjenjem dobro razmisliti, kako se čim večjemu številu vplivov izogniti ali pa jih vsaj čim bolj zmanjšati.

V nadaljevanju sta predstavljena praktična primera merjenja s termovizijsko kamero in problemi, ki so nastali pri merjenju. Slike 1A, 1B in 3 (A, B, C, D) so bile narejene s termovizijsko kamero nižjega cenovnega razreda (ločljivost IR detektorja  $160\times 120$ ), medtem ko so bile slike 2A, 2B in 4 (A, B, C) narejene s kamero visokega cenovnega razreda (ločljivost IR detektorja  $320\times 240$ ). Obe kameri sta bili umerjeni v laboratoriju (temperatura  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ , relativna vlaga 40 odstotkov). Točnost obeh kamer v območju med  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ter  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  je ustrezala specifikacijama izdelovalcev, ki so za cenejšo kamero  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ali 2 % od odčitane vrednosti oziroma za dražjo kamero  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ali 1 % od odčitane vrednosti, kar je pač slabše.

Slike 1A in 2A sta bili narejeni skoraj sočasno, ob 20. uri, v popolnoma jasnem vremenu in brezvetrju, pri temperaturi zraka  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  in relativni vlagi 45 %, pod kotom  $50^{\circ}$  glede na normalo, na vzhodni strani hiše. Pred meritvami sta bili kameri nekaj ur v prostoru s temperaturo  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na slikah so označena polja, za katera je prikazana njihova povprečna temperatura glede

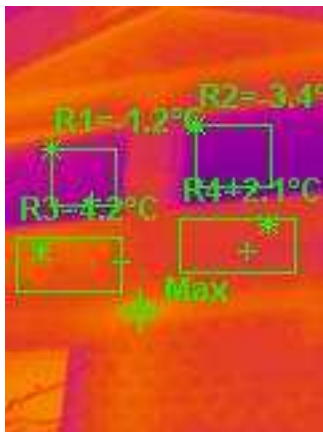
na nastavljenost emisivnost (omet 0,94, okno 0,92). Nastavitve parametrov in analiza slik so bile izvedene v originalni programski opremi izdelovalca kamer. Levo okno je bilo prekrito z roletami, medtem ko je v desnem zaradi dokaj velikega kota opazovanja bolj izrazito viden vpliv nočnega neba, saj njegova temperatura ne more biti nižja od temperature zraka. Pod levim oknom je stena toplejša zaradi toplejšega radiatorja v notranjosti (približno 45 °C), pod desnim oknom pa je imel radiator le približno 30 °C.

Skoraj sočasno sta bili narejeni tudi sliki 1B in 2B, vendar po 23. uri, v popolnoma jasnem vremenu in brezvetrju, pri temperaturi zraka -3 °C in relativni vlagi 50 %, pod kotom 50° glede na normalo, na vzhodni strani hiše. V vmesnem času od prve meritve sta bili kameri izpostavljeni zunanemu zraku in vlagi.



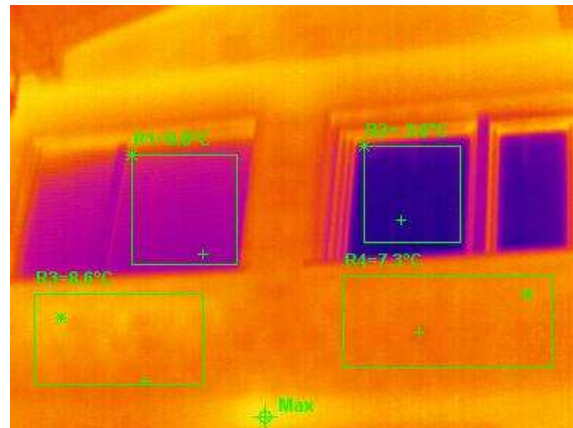
Slika 1A: Prva meritev hiše s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 1A. First measurement of the house with a low-cost thermal imager.



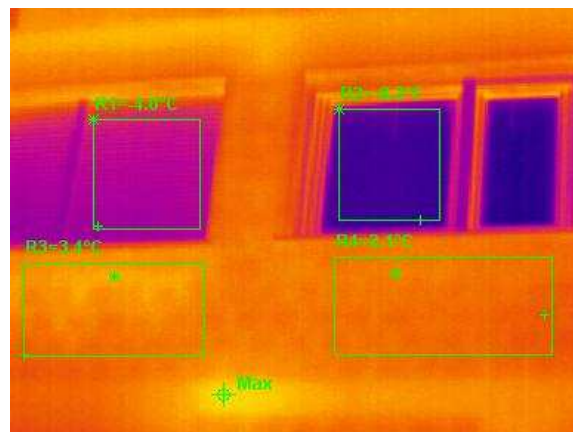
Slika 1B: Druga meritev hiše s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 1B. Second measurement of the house with a low-cost thermal imager.



Slika 2A: Prva meritev hiše s kamero visokega cenovnega razreda.

Figure 2A. First measurement of the house with an expensive thermal imager.



Slika 2B: Druga meritev hiše s kamero visokega cenovnega razreda.

Figure 2B. Second measurement of the house with an expensive thermal imager.

Očitno je, da je dražja kamera precej boljše, kajti omogoča ponovljivo merjenje temperaturnih razlik v različnih razmerah, predvsem s stališča temperature okolice, tabela 1B. Le-ta je v praksi lahko zelo različna in najmanj, kar pričakujemo od dobrega merilnega instrumenta, je, da omogoča točno merjenje tudi v spremenljivih okoliških razmerah. Absolutne vrednosti temperatur imajo pri dražji kameri negotovost vsaj v razredu specifikacije izdelovalca, to je  $\pm 1$  °C, verjetno pa je negotovost še nekoliko slabša. Pri cenejši kameri ni mogoče izmeriti niti temperaturnih razlik med posameznimi segmenti slik (R1, R2, R3 in R4), ker so v obeh primerih zelo različne. Zanimivo je, da so temperaturne razlike na sliki 1A še najbolj podobne tistim na slikah 2A in 2B, čeprav so izmerjene vrednosti temperatur na sliki 1A fizikalno popolnoma nemogoče.

Tabela 1A: Vrednosti temperatur (v °C) na slikah 1A, 1B, 2A, 2B

Table 1A: Values of temperature (in °C) in Figures 1A, 1B, 2A, 2B

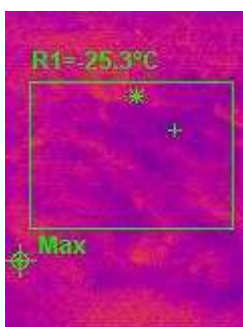
	R1	R2	R3	R4
slika 1A	-16,4	-19,8	-6,8	-8,9
slika 1B	-1,2	-3,4	-4,2	-2,1
slika 2A	-0,8	-3,6	8,6	7,3
slika 2B	-4,0	-8,2	3,4	2,1

Tabela 1B: Vrednosti temperaturnih razlik (v °C) na slikah 1A, 1B, 2A, 2B

Table 1B: Values of temperature differences (in °C) in Figures 1A, 1B, 2A, 2B

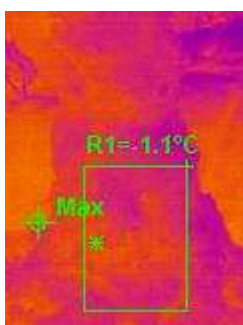
	R1- R2	R1- R3	R1- R4	R2- R3	R2- R4	R3- R4
slika 1A	3,4	-9,6	-7,5	-13,0	-10,9	2,1
slika 1B	2,2	3,0	0,9	0,8	-1,3	-2,1
slika 2A	2,8	-9,4	-8,1	-12,2	-10,9	1,3
slika 2B	4,2	-7,4	-6,1	-11,6	-10,3	1,3

Da ima cenejša kamera velike težave s prilagoditvijo na spremenljive okoliške razmere (temperatura), je razvidno tudi iz meritev temperature snega (emisivnost 0,96 v vseh primerih): slika 3A (po prihodu iz prostora s temperaturo 22 °C), slika 3B (po treh urah stabilizacije na zunanji temperaturi okrog -2 °C, edina realna meritev takoj po vklopu kamere), slika 3C (10 minut po vklopu kamere, potem, ko je bila tri ure na temperaturi -2 °C) in slika 3D (20 minut po vklopu kamere, potem, ko je bila tri ure na temperaturi -2 °C). Zaradi kondenzacije po vklopu kamere je vrednost prikazane temperature nenehno padala, kar je fizikalno nemogoče.



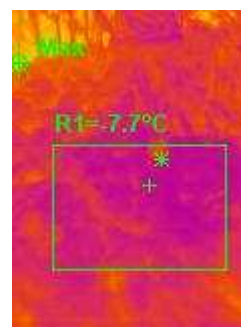
Slika 3A: Prva meritev snega s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 3A. First measurement of snow with a low-cost thermal imager.



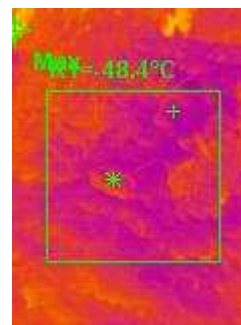
Slika 3B: Druga meritev snega s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 3B. Second measurement of snow with a low-cost thermal imager.



Slika 3C: Tretja meritev snega s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 3C. Third measurement of snow with a low-cost thermal imager.



Slika 3D: Četrta meritev snega s kamero nižjega cenovnega razreda.

Figure 3D. Fourth measurement of snow with a low-cost thermal imager.

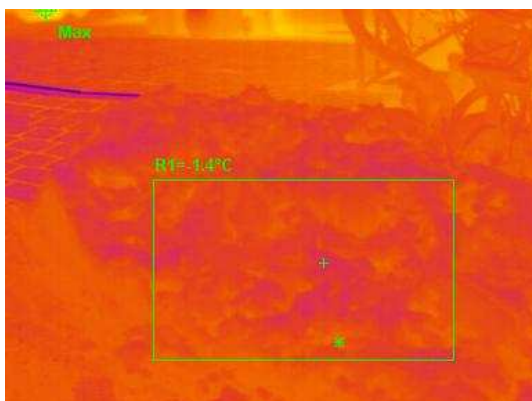
V enakih razmerah so bile narejene tudi slike snega z dražjo kamero, ki je kazala ponovljive in točne vrednosti v vseh primerih: slika 4A (po prihodu iz prostora s temperaturo 22 °C), slika 4B (nekaj minut po prihodu iz prostora s temperaturo 22 °C in avtokalibraciji detektorja kamere), slika 4C (po treh urah stabilizacije na zunanji temperaturi okrog -2 °C).





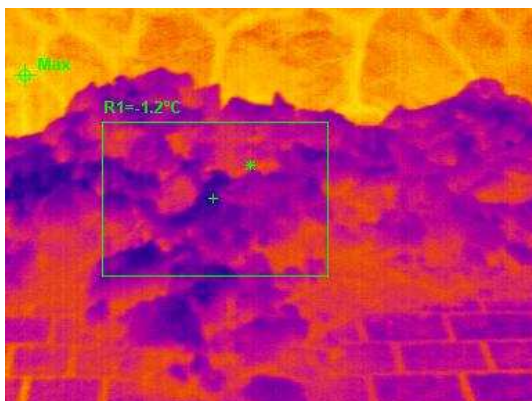
Slika 4A: Prva meritev snega s kamero visokega cenovnega razreda.

Figure 4A. First measurement of snow with an expensive thermal imager.



Slika 4B: Druga meritev snega s kamero visokega cenovnega razreda.

Figure 4B. Second measurement of snow with an expensive thermal imager.



Slika 4C: Tretja meritev snega s kamero visokega cenovnega razreda.

Figure 4C. Third measurement of snow with an expensive thermal imager.

## 4 Sklep

Za konec naj podam nekaj temeljnih izhodišč, ki so lahko v pomoč pri izbiri in uporabi termografskih kamer. Najprej se mora vsak uporabnik vprašati, zakaj termografsko kamero sploh potrebuje oziroma kaj bi z njo rad meril. Takoj nato sledi vprašanje, kako dobro (točno) bi rad meril. Če obstaja potreba po zelo točnem merjenju (nekaj desetih stopinje), se je treba vprašati, kakšna točnost je sploh dosegljiva. Dejstvo je, da tudi z najboljšimi (najdražjimi) termografskimi kamerami zelo težko dosežemo točnosti boljše od  $\pm 1$  °C. V vsakem primeru je treba pred izbiro termografske kamere pregledati, katere kamere so na voljo in ali njihove tehnične specifikacije vsaj približno ustrezajo našim zahtevam. To pa še ne pomeni, da bo izbrana termografska kamera točna. Njeno točnost je mogoče določiti zgolj z umerjanjem ali kalibracijo v akreditiranem laboratoriju, ki je usposobljen za takšno umerjanje. Izdelovalci termografskih kamer kalibracijskih certifikatov ne prilagajajo novim kameram, vsaj brezplačno ne. Ponavadi je priložen zgolj tovarniški certifikat, na katerem je navedeno, da je termografska kamera skladna s specifikacijami. Ko je termografska kamera umerjena in poznamo njeno točnost, jo je treba znati pravilno uporabljati. Za to pa je potreben šolan in vsaj deloma tudi izkušen operater.

## 5 Literatura

- [1] PUŠNIK, Igor. Energetska učinkovitost zgradb. Elektroteh. vestn., 2007, letn. 74, št. 5, str. 248-254
- [2] L. Wang, S.W. Chua, V. Tan, Method of evaluating thermal imagers for fever screening, Proceedings of Tempmeko 2004 Conference, Vol 2. pp. 1197-1203, Cavtat, Croatia, 2004

**Igor Pušnik** je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko v letih 1995, 1997 in 2004. Kot asistent je zaposlen v Laboratoriju za metrologijo in kakovost. Poudarek njegovega raziskovalnega dela je na brezkontaktnih temperaturnih merjenjih, medicinski instrumentaciji in energetski učinkovitosti zgradb.