

# Termografija u zgradarstvu - primjeri detekcije različitih tipova grešaka

*Srećko ŠVAIĆ, Ivanka BORAS i Mirela SUŠA*

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu ( Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb), Ivana Lučića 5, HR - 10000 Zagreb, Republic of Croatia

ivanka.boras@fsb.hr

## Ključne riječi

*Analiza termograma  
Infracrvena termografija  
Ovojnica zgrade  
Nehomogenosti  
Vrste oštećenja*

## Keywords

*Facade  
Infrared thermography  
Non-homogeneity  
Thermogram analysis  
Type of the defect*

Received (primljeno): 2009-03-15  
Accepted (prihvaćeno): 2009-08-31

Preliminary note

Infracrvena termografija je metoda beskontaktnog mjerenja temperature i njezine raspodjele na površini promatranog objekta. Primjena termografije u zgradarstvu pruža velike mogućnosti kontrole kvalitete izvedbe kod novih građevina, ali i procjene trenutnog stanja starijih objekata. Osim što daje uvid u stanje objekta u smislu toplinske izolacije objekta, infracrvena termografija se može uspješno primijeniti za ocjenu stanja ovojnice građevine: otkrivanja različitih tipova grešaka (nedostataka i oštećenja) - otkrivanje mjesta odvajanja žbuke od podloge i mogućeg prisustva zraka ili vlage u slojevima ispod vanjske žbuke, te za procjenu stanja ravnih krovova - otkrivanje mjesta odvajanja sloja krovne ljepenke od podloge. Premda postoje različiti ograničavajući čimbenici kod termografskog snimanja građevinskih objekata, termografija se afirmirala kao metoda toplinske kontrole bez razaranja koja, u odnosu na neke druge metode nerazornog ispitivanja, posjeduje čitav niz prednosti. Između ostalog, metodom je omogućena trenutna analiza objekta na mjestu mjerenja kao i kontrola relativno velikih površina u kratkom vremenu, a naknadnom analizom moguća je i relativno jednostavna procjena kvalitete toplinske izolacije/toplinskih gubitaka objekta te otkrivanje strukture objekta ispod sloja žbuke. U radu su obrađeni primjeri detekcije različitih grešaka u području zgradarstva s osvrtom na zahtjeve norme HRN EN 13187. Obrađeni su slučajevi različitih stupnjeva oštećenja ovojnice zgrade, prisustvo vlage u zidovima objekta, toplinski mostovi i nekvalitetno brtvljenje, te prisustvo vlage i zraka u strukturi ravnog krova. U radu je posebno obrađeno mjerenje provedeno na upravnoj zgradi tvrtke Jadrolinija Rijeka, čiji je cilj bio utvrđivanje trenutnog stanja fasade i sukladno tomu davanje procjene o potrebi njezine sanacije. Za taj je slučaj, u sklopu analize termograma, provedena i numerička analiza prijenosa topline za karakteristične dijelove fasade sa i bez grešaka te su rezultati uspoređeni s rezultatima mjerenja.

## Thermography in Civil Engineering for Buildings Assessment - Detection of Different Kinds of Defects

Prethodno priopćenje

Infrared thermography is a method of contact-free temperature measurement providing temperature distribution on the surface of the observed building. The use of thermography in civil engineering for building assessment purposes opens up large possibilities for control of construction quality when newly built edifices are concerned, but also when estimation of the current state of the old buildings is needed. Besides giving insight into the state of the building insulation quality, infrared thermography can be successfully applied in the evaluation of the building envelope: for detecting different defect types (flaws and damage) – for detecting locations where the plaster layer is detached from the wall base with possible presence of air or moisture in the layers beneath the outer plaster, as well as for estimation of the state of the plain roofs - detecting locations where the roof cardboard is detached from the base. Although there are different limitations when thermography inspection of buildings is concerned, infrared thermography is recognized as a thermal non-destructive testing method, which holds many advantages with respect to the other methods of non-destructive testing. Among others, the method enables instant analysis of the building at the location of the measurement, as well as the control of relatively large surfaces in a short period of time. In addition, post-analysis enables a relatively straight forward estimation of thermal insulation quality, of the building's heat losses as well as estimation of the structure beneath the plaster layer of the building. This paper gives the examples of the detection of different defect types appearing in building structures along with an overview of the requirements of Croatian norm HRN EN 13187. Cases of different degrees of damage present in the building envelope are analyzed, as well as the presence of the moisture in building walls, the existence of thermal bridges and inadequate tightening, the presence of moisture and air in the structure of plain roofs. The measurements presented in this work were performed on the headquarter building of the company Jadrolinija Rijeka. The goal of this measurement was to determine the current state of the building facade and to give estimation of the extent of the facade recovery needed. For this purpose, together with the detailed thermogram analysis, the numerical analysis of the heat transfer through the characteristic facade parts with and without defects present in the structure was performed and numerical results were compared to the ones obtained by measurement.

**Oznake/Symbols**

$\vartheta$	- temperatura, °C - temperature	$\lambda$	- toplinska provodnost, W/(m·K) - thermal conductivity
$\alpha$	- koeficijent prijelaza topline, W/(m <sup>2</sup> ·K) - the heat transfer coefficient	$c_p$	- specifični toplinski kapacitet, J/(kg·K) - specific heat capacity
$\rho$	- gustoća, kg/m <sup>3</sup> - density	$\varepsilon$	- emisijski faktor - emissivity

**1. Uvod**

Infracrvena termografija se danas široko primjenjuje u gotovo svim granama ljudske djelatnosti. Svugdje, gdje je iznos temperature ili njezina raspodjela pokazatelj određenog stanja ili možebitnih neočekivanih promjena u strukturi objekta, infracrvena termografija se zbog svojih karakteristika pokazala kao idealna metoda.

U građevinarstvu se infracrvena termografija posebno afirmirala u zgradarstvu, gdje se njenom primjenom vrlo jednostavno uočavaju propusti u izolaciji objekata, procjenjuje kvaliteta ugrađene izolacije ili ispituje trenutno stanje fasade objekta. Prednost je infracrvene termografije u tome što je to metoda čijom se primjenom ni na koji način ne remeti trenutno stanje objekta, a veličine pojedinih segmenata površine mogu se birati po volji operatera, ovisno o geometriji građevine ili očekivanim poremećajima u strukturi građevine.

Rezultati termografskog snimanja - termogrami mogu se spremirati u memoriju kamere i naknadno analizirati širokim spektrom alata: analiza vrijednosti temperatura na odabranim točkama, analiza temperatura za različite geometrijske likove ili linije definirane na termogramu, izračun emisijskih faktora na odabranim dijelovima termograma itd. Rezultate je analize moguće dobiti kao vrijednosti temperatura - tablično, kao linijske temperature raspodjele ili kao histogramski prikaz udjela pojedinih temperaturnih intervala na definiranom dijelu termograma u postotcima.

Osim kvantitativne analize termograma moguće je provesti i kvalitativnu analizu. Ona se provodi ako korisniku nisu bitni točni brojevi iznosi temperatura na pojedinim segmentima promatranog objekta, nego interpretacija tih rezultata. Tako će toplija ili hladnija mjesta jednostavno upućivati na nehomogenosti koje su ih i izazvale. Kod ovakvih je analiza nužno ili veliko iskustvo operatera ili djelomična kvantitativna analiza koja prethodi kvalitativnoj analizi.

Razlike u toplinskim svojstvima elemenata koji sačinjavaju složenu strukturu ovojnice zgrade za

posljedicu uvijek imaju različit temperaturni uzorak na samoj ovojnici. Površinska će temperaturna raspodjela ovisiti i o međusobnoj interakciji promatrane građevine i okoliša, tj. o načinu strujanja zraka oko i kroz ovojnicu, toplinskom opterećenju od Sunca i ogrjevnih tijela u samoj zgradi. Različiti tipovi oštećenja na ovojnici i unutar njezine strukture, kao što su grješke u izolaciji objekta, prisustvo vlage ili slabo brtvljenje, bit će vidljivi preko temperaturnog uzorka na površini ovojnice.

Rezultat termografskog mjerenja je termogram - prikaz prividnih temperatura na površini promatranog objekta. On će u općem slučaju ovisiti o stvarnim temperaturama površine, emisijskim svojstvima površine, uvjetima okoliša i o samom senzoru mjernog uređaja.

Norma HRN EN 13187 opisuje primjenu termografije pri određivanju mjesta toplinskih nepravilnosti i pri određivanju mjesta propuštanja zraka, ali se ne određuje u smislu procjene kvalitete toplinske izolacije niti procjene intenziteta propuštanja zraka kroz strukturu.

Općenito se postupak termografskog ispitivanja zgrade može podijeliti u cjeline:

- određivanje površinske temperature raspodjele na pojedinim dijelovima ovojnice iz raspodjele prividnih temperatura na termogramu
- utvrđivanje je li dobiveni temperaturni uzorak očekivan (odgovarajući) s obzirom na promatrane dijelove ovojnice ili se radi o grješkama izolacije, prisustvu vlage ili propuštanju zraka
- definiranje tipa grješke ukoliko se utvrdi da su greške prisutne.

Procjena moguće grješke na ovojnici zgrade iz prikaza prividnih temperatura na termogramu najčešće se radi preko uspoređivanja snimljenog termograma s referentnim termogramom. Referentni termogram ili "zlatni" termogram je termogram na kojem se nalaze dijelovi objekta ili cijeli objekt bez grešaka izolacije, vlage ili propuštanja, snimljen na strukturi koja je predviđena projektom i pod istim uvjetima pod kojima se obavlja naknadno mjerenje.

## 2. Mjerna procedura za termografsko ispitivanje

Tijekom termografskog mjerenja potrebno je u obzir uzeti niz faktora: posebnosti i značajke korištene termografske opreme, značajke same ovojnice objekta, primjerice vrstu i razmještaj ogrjevnih tijela, strukturu ovojnice i izolacijske slojeve, emisijska svojstva površine ovojnice, klimatske uvjete, stanje atmosfere, mogućnost pristupa objektu i utjecaj okolišnjih objekata, te druge utjecajne faktore.

Za provedbu kvalitetnog termografskog mjerenja nužan je uvjet da je temperaturna razlika kroz ovojnicu dovoljno velika da bi osigurala mogućnost detekcije eventualno prisutne nepravilnosti uz pomoć korištenog termografskog sustava. Termogrami koji su snimljeni u nestacionarnom stanju su vrlo teški za analizu i zahtijevaju veliko iskustvo i znanje iz područja građevinske fizike. Kao rezultat takvog razmišljanja postavlja se uvjet da tijekom mjerenja temperaturne varijacije zraka unutar zgrade kao i okolišnjeg zraka ne bi smjele biti velike, te da treba izbjegavati termografska snimanja za vrijeme izravne izloženosti objekta sunčevom zračenju ili jakom vjetru.

Prije termografskog mjerenja potrebno je odrediti emisijska svojstva ovojnice, ili mjerenjem ili iz odgovarajućih tablica. Treba bilježiti sve podatke o stanju atmosfere: temperaturu zraka, brzinu vjetra, oblačnost, prisustvo vlage na površini ovojnice, orijentaciju građevine i slično.

Prije termografskog mjerenja uvijek se preporučuje provesti preliminarno mjerenje cijele ovojnice zgrade, a dijelove ovojnice koji su od posebnog interesa treba mjeriti i analizirati detaljno. Sve primijećene nepravilnosti treba ucrtati na shemu ili plan zgrade.

## 3. Postupak provedbe mjerenja i analiza termograma

Očekivana temperaturna raspodjela za dijelove ovojnice na kojima se provodi mjerenje može se odrediti pomoću crteža samog objekta, pomoću različitih vrsta dokumenata koji su povezani s izradom ovojnice, sustava grijanja i ventilacije i slično. Za procjenu oblika očekivanih temperaturnih uzoraka mogu poslužiti i različiti proračuni, prethodna laboratorijska ispitivanja, iskustvo ili referentni termogram ovojnice zgrade bez prisutnih grešaka.

Ukoliko se očekivani temperaturni uzorak razlikuje od stvarnog, odstupanja je potrebno zabilježiti i istražiti. Ako neočekivane uzorke na termogramu nije moguće objasniti građom same ovojnice, utjecajima ogrjevnih tijela, promjenjivom emisivnošću površine ili različitim intenzitetom prijenosa topline na pojedinim dijelovima

ovojnice, tada se takvi dijelovi moraju tretirati kao moguće greške.

Nepravilnosti u toplinskoj izolaciji zgrade, nekvalitetno brtvljenje te sama struktura građevine mogu rezultirati različitim temperaturnim uzorcima. U procjeni termograma treba u razmatranje uzeti sljedeće:

- jednolika temperaturna raspodjela prividne temperature po područjima ovojnice koja imaju sličnu strukturu upućuje da na tom dijelu nema toplinskih mostova,
- pravilnost i učestalost pojave toplijih i hladnijih područja u kutovima i istacima,
- mjesto i obrise, te karakterističan oblik hladnijih i toplijih područja na termogramu,
- mjerenu temperaturnu razliku između "normalne" površinske temperature ovojnice i temperatura hladnijih odnosno toplijih područja koja su uočena na termogramu.

Premda se efekti koji nastaju kao produkt grješaka u strukturi ovojnice mogu bitno razlikovati, ipak se mogu uočiti neke karakteristične značajke:

- Loše brtvljenje se manifestira nepravilnim temperaturnim uzorcima s nejednolikim rubovima i velikim varijacijama u vrijednostima temperatura.
- Mjesta na kojima nedostaje izolacija pokazuju se kao pravilna i jasno definirana područja na termogramu koja nisu povezana s karakteristikama strukture zgrade. Područje grješke se pokazuje kao relativno jednoliko temperaturno područje.
- Prisustvo vlage u strukturi ovojnice uobičajeno se pokazuje kao šareno i rašireno područje bez većih temperaturnih razlika unutar područja.

Tip greške treba odrediti za svaki promatrani slučaj posebno. To se može napraviti proračunom, na osnovi sličnih prethodnih mjerenja, iskustveno ili usporedbom s referentnim termogramom. Prilikom usporedbe, referentni termogram treba biti priređen za strukturu s poznatim grješkama izolacije i poznatim greškama lošeg brtvljenja različitih vrsta.

Termografska mjerenja na ovojnicama zgrada u načelu se mogu provesti kvantitativno i kvalitativno. Kvantitativna termografija zahtijeva analizu kompletnog područja termografskog prikaza te određivanje stvarnih temperatura. Pri tomu se moraju poštivati stroga ograničenja koja se postavljaju na uvjete mjerenja: doba dana i atmosferski uvjeti. Moguće ih je provesti tek nekoliko dana nakon oborina i u uvjetima mirnog vremena (bez vjetra). Zahtijeva se relativno stacionarno stanje toplinskog toka (mjerenja treba obaviti rano jutro ili kasno navečer). Potrebno je obaviti i dodatna termografska mjerenja s unutrašnje strane. Općenito je za provedbu ovakvih mjerenja potrebno veliko iskustvo, a sama mjerenja potrebno je uvijek kvalitetno pripremiti.

Kvalitativna su mjerenja uglavnom usmjerena na otkrivanje toplinskih mostova ili drugih tipičnih grješaka u konstrukciji zgrade, te otkrivanje vlage ili slojeva zraka u ovojnici. Zahtjevi koji se postavljaju na uvjete u kojima se obavlja mjerenje su znatno blaži.

Mjerenja su uglavnom ograničena na hladniji dio godine, preporučuje se zimski period. Uvjeti koje bi trebalo ostvariti za kvalitetnu provedbu termografskog mjerenja su:

- razlika temperatura zraka unutar i izvan objekta treba iznositi minimalno 10 °C tijekom najmanje 12 sati,
- promjena temperatura tijekom navedenog perioda ne bi smjela prijeći 30 %
- ako se radi vanjska termografija, mjerenje treba obaviti prije izlaska sunca,
- ako se radi unutrašnja termografija, treba osigurati jednoliku temperaturu unutar objekta,
- brzina vjetrova ne smije biti veća od 1 m/s kod vanjske kvantitativne termografije,
- mjerenja obavljati bez prisustva ikakvih padalina (kod kvantitativne termografije često se traži period od barem jednog dana bez padalina do trenutka provedbe mjerenja),
- na površinama na kojima se obavlja termografsko mjerenje ne smije biti prisutna voda (kiša ili rosa).

Preporučuje se da termografski uređaj koji se koristi u termografskim mjerenjima u zgradarstvu za kvalitetnu termografsku analizu ima sljedeće karakteristike:

- mjerno područje – 20 °C do + 80 °C
- područje rada – 10 °C do + 40 °C
- prostorna razlučivost < 1,5 mrad
- temperaturna razlučivost < 0,1 K
- rezolucija kamere > 320 x 240
- spektralno područje 8 μm – 14 μm
- vremenski odziv < 1 s
- apsolutna točnost < ± 2 °C

### 3.1. Opis termografskog mjerenje fasade upravne zgrade Jadrolinije u Rijeci

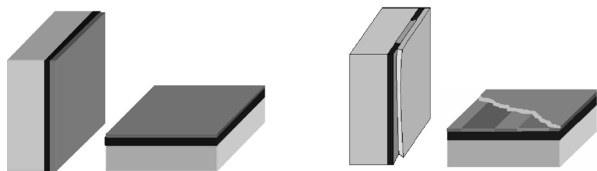
Upravna zgrada tvrtke Jadrolinija Rijeka nalazi se na lokaciji Riva 16, Rijeka. Predstavlja samostojeći objekt, tlocrtnih gabarita 58,3 x 39,9 m i visine 28,65 m.



**Slika 1.** Fotografije fasade i tijekom snimanja zgrade Jadrolinije u Rijeci

**Figure 1.** Photos of Jadrolinija Co. building facade in Rijeka, Croatia

Objekt je građen iz opeke i kamena, koji su obloženi temeljnom i vanjskom žbukom u svrhu dobivanja reljefa na fasadi, te od elemenata iz kamena kao što su stupovi, okviri prozora, vijenci i ukrasi.



**Slika 2.** Vizualizacija strukture ovojnice i ravnog krova s različitim tipovima oštećenja

**Figure 2.** The composition of the outside wall and the flat roof with different kinds of defects

Djelovanje atmosferilija uzrokuje nekoliko osnovnih tipova oštećenja fasade građevine. Najveći se broj oštećenja očituje u obliku potpuno otpalog prvog i drugog sloja žbuke, odnosno samo prvog sloja. Druga, okom nevidljiva oštećenja sastoje se u odvajanju prvog sloja žbuke od temeljnog sloja stvarajući tako sloj zraka među njima (slika 3) ili pak odvajanja oba sloja žbuke od osnove (cigla ili kamen).

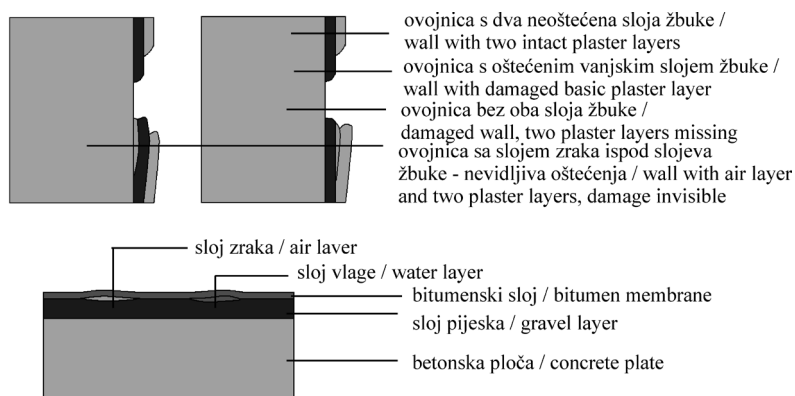
Također se javljaju i mjesta povećane poroznosti žbuke uslijed djelovanja vlage ili pak penetracija vlage u pojedine dijelove fasade.

Cilj provedenog termografskog mjerenja bio je ustanoviti stupanj oštećenja ovojnice radi procjene njezinog stanja, te u skladu s tim i potrebe za određenim stupnjem sanacije.

Mjerenja su provedena termografskim sustavom ThermoCAM SC2000. Osnovni tehnički podaci za ovaj sustav su: točnost  $\pm 2\%$ , osjetljivost  $< 0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$  kod  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vidno polje kamere  $24\text{ }^{\circ} \times 18\text{ }^{\circ} / 0,5\text{ m}$ , detektor FPA  $320 \times 240$  piksela (nehlađeni bolometar), mjerno područje u kojem je obavljeno mjerenje -  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Softver ugrađen u kameru nudi niz mogućnosti rada i trenutnu analizu termograma. Naknadno su svi termogrami razvrstani i obrađeni u softveru ThermoCAM Researcher 2002 na osobnom računaru.

U postupak analize termograma uključena je i numerička simulacija prijenosa topline kroz strukturu ovojnice i ravnog krova bez oštećenja i s različitim tipovima oštećenja. Numerička je simulacija provedena pomoću metode kontrolnih volumena za jednodimenzijnski nestacionarni prijenos topline. Broj kontrolnih volumena za stijenku zida je ovisio o tipu oštećenja fasade i kretao se do 112.



**Slika 3.** Opis različitih tipova oštećenja ovojnice i ravnog krova

**Figure 3.** The description of various types of defects of the outside wall and the roof

Diskretizacijom diferencijalne jednadžbe nestacionarnog prijenosa topline u pravokutnim koordinatama dobiva se sustav algebarskih jednadžbi čijim se iterativnim rješavanjem dolazi do vremenskog razvoja temperaturne raspodjele u promatranom segmentu zida. Toplinska su svojstva materijala, korištena u postupku numeričke simulacije, prikazana u tablici 1.

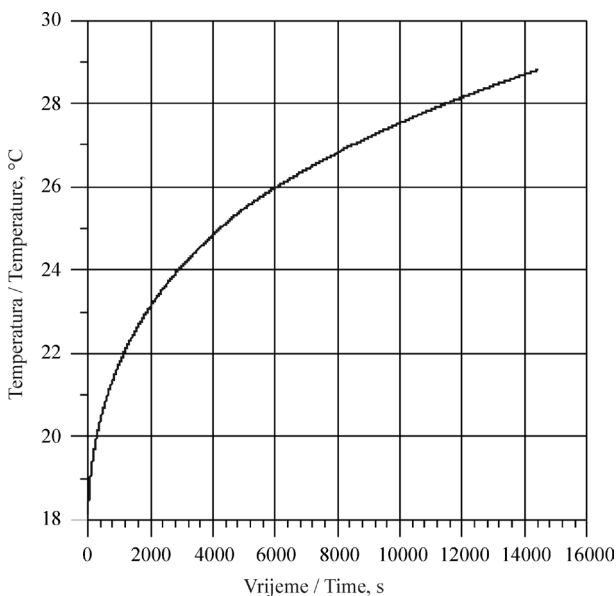
**Tablica 1.** Toplinska svojstva pojedinih slojeva u strukturi zida građevine

**Table 1.** Thermal properties of the wall structure

Naziv materijala / Material	Gustoća / Density $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Toplinska provodnost / Heat conduction coefficient $\lambda$ W/(m·K)	Specifični toplinski kapacitet / Specific heat capacity $c_p$ J/(kg·K)	Emisijski faktor / Emissivity $\epsilon$
Zide od opeke / Brick	1800	0,872	1047	0,911
Kamen / Stone	2300	2,908	879	0,88
Osnovna žbuka / Basic plaster	1800	0,861	837	0,92
Vanjska žbuka / Outer plaster	1800	0,814	837	0,95
Zrak / Air	1,164	0,0251	1012	-
Voda / Water	995,7	0,616	4176	-

Početni je uvjet jednoliko protemperirana stijenka ( $\vartheta_{\text{poc}} \text{ } ^\circ\text{C}$ ), vremenski je korak 4 sekunde, a ukupno je vrijeme trajanja procesa ovisno o promatranom slučaju.

Rubni su uvjeti: unutrašnja ploha zida - pretpostavljena je konstantna temperatura  $\vartheta_{\text{unutr}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ . S vanjske strane se izmjena topline odvija: slobodnom konvekcijom s okolišnjim zrakom temperature  $19 \text{ } ^\circ\text{C}$ , pri čemu je koeficijent konvektivnog prijelaza topline uzet kao konstanta i iznosi  $\alpha = 4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , i zračenjem - toplinsko opterećenje od Sunca, preuzeto iz literature za pripadajuće doba godine, zemljopisni položaj i orijentaciju plohe prema Suncu:  $q_s = 137,43 \text{ W}/\text{m}^2$ .

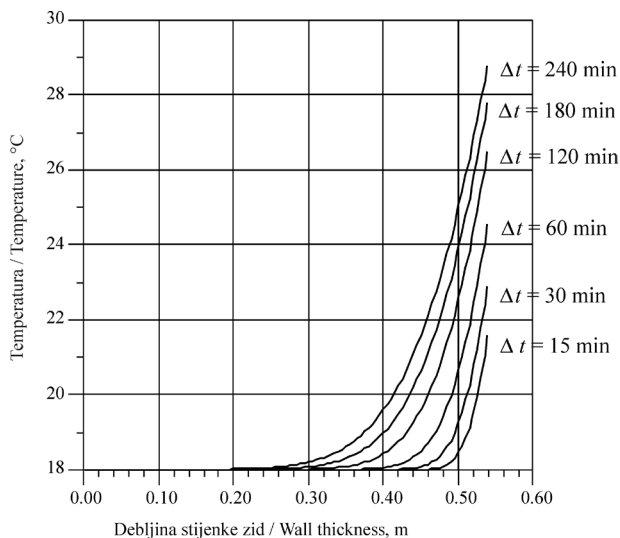


**Slika 4.** Promjena temperature vanjske površine ovojnice u vremenu

**Figure 4.** The outside wall surface temperature versus time

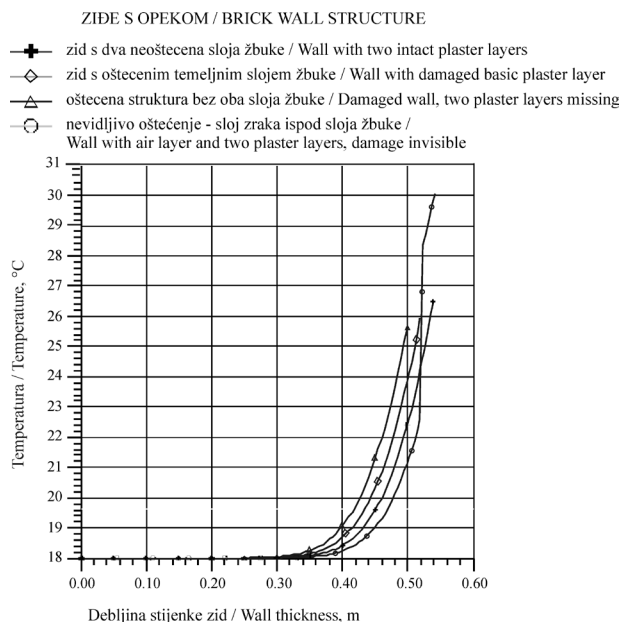
Na slici 4 je prikazana vremenska promjena temperature vanjske površine ovojnice s neoštećenom strukturom u fazi zagrijavanja, za vremenski period od 4 sata uz konstantan iznos dozračene energije. Vidljivo je da je maksimalni temperaturni gradijent prisutan u početnoj fazi zagrijavanja. Promjenu temperature u vremenu i po presjeku zida objekta prikazuje slika 5. Toplinski je kapacitet strukture zida od opeke i cigle relativno velik što rezultira sporom promjenom temperature tog dijela zida. Iz tog je razloga u postupku numeričke simulacije uzeto da je temperatura unutrašnje stijenke zida  $18 \text{ } ^\circ\text{C}$  i da se ne mijenja tijekom zagrijavanja ovojnice.

Rezultat numeričke simulacije prijenosa topline kroz strukturu zida s grješcima su temperaturne raspodjele u različitim vremenskim trenucima. Temperature rubnih slojeva ovojnice dobivene postupkom numeričke simulacije su osnova za procjenu stanja pojedinih dijelova ovojnice u kasnijoj analizi termograma.



**Slika 5.** Temperaturna raspodjela kroz strukturu zida u različitim vremenskim trenucima

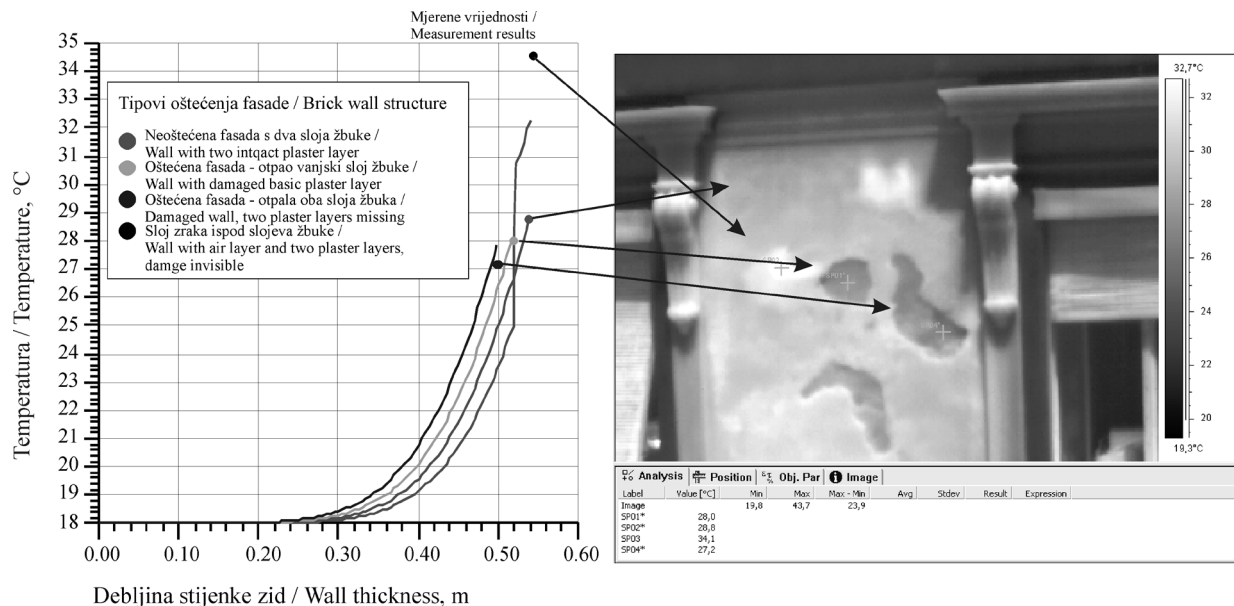
**Figure 5.** The temperature distributions through the wall for different time



**Slika 6.** Rezultati numeričke simulacije za strukturu zida od opeke s dva sloja žbuke i različitim tipovima oštećenja.

**Figure 6.** The results of numerical simulation for the wall with two plaster layers and different kind of defects

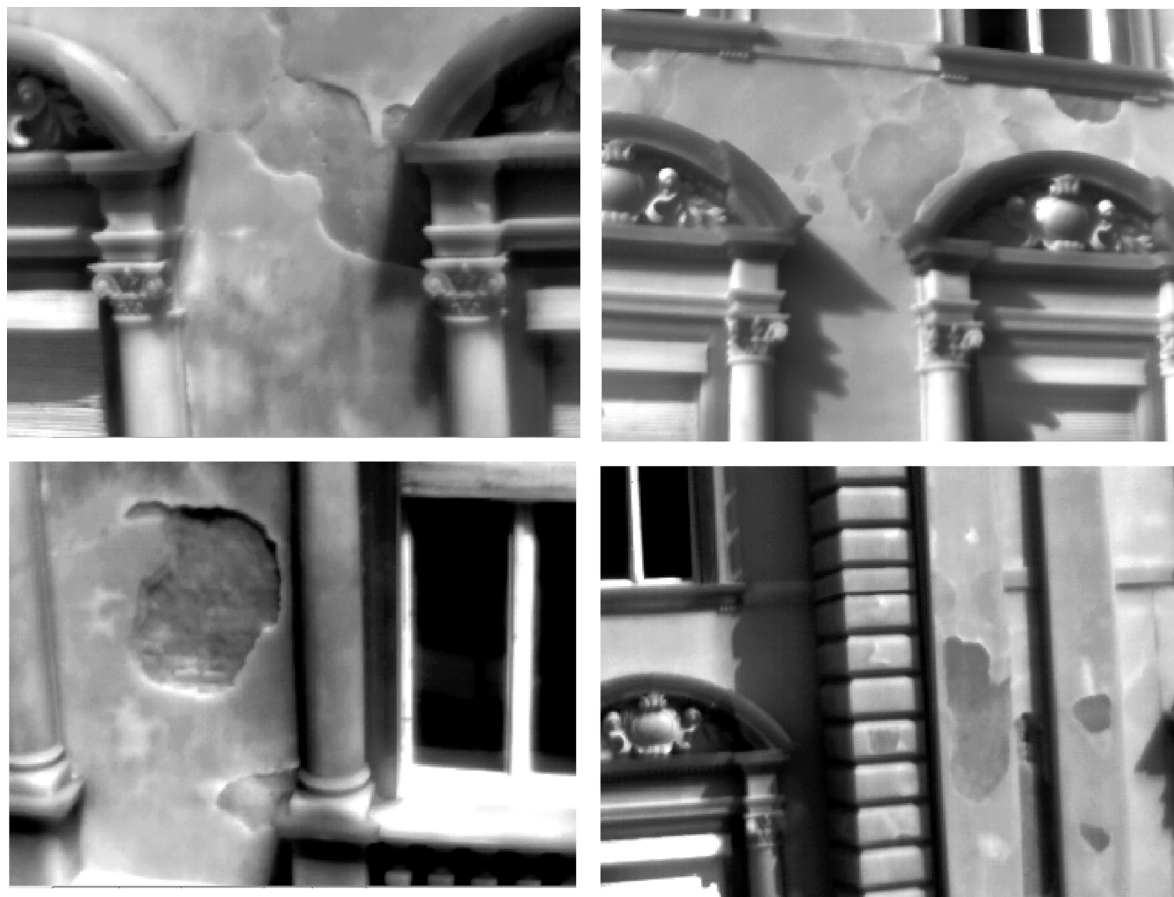
Slika 7 prikazuje usporedbu numeričkih rezultata i rezultata mjerenja za stijenku južne fasade za prethodno opisane početne i rubne uvjete.



Slika 7. Usporedba rezultata numeričke analize i termografskog mjerenja, južna fasada, u svibnju 2004.

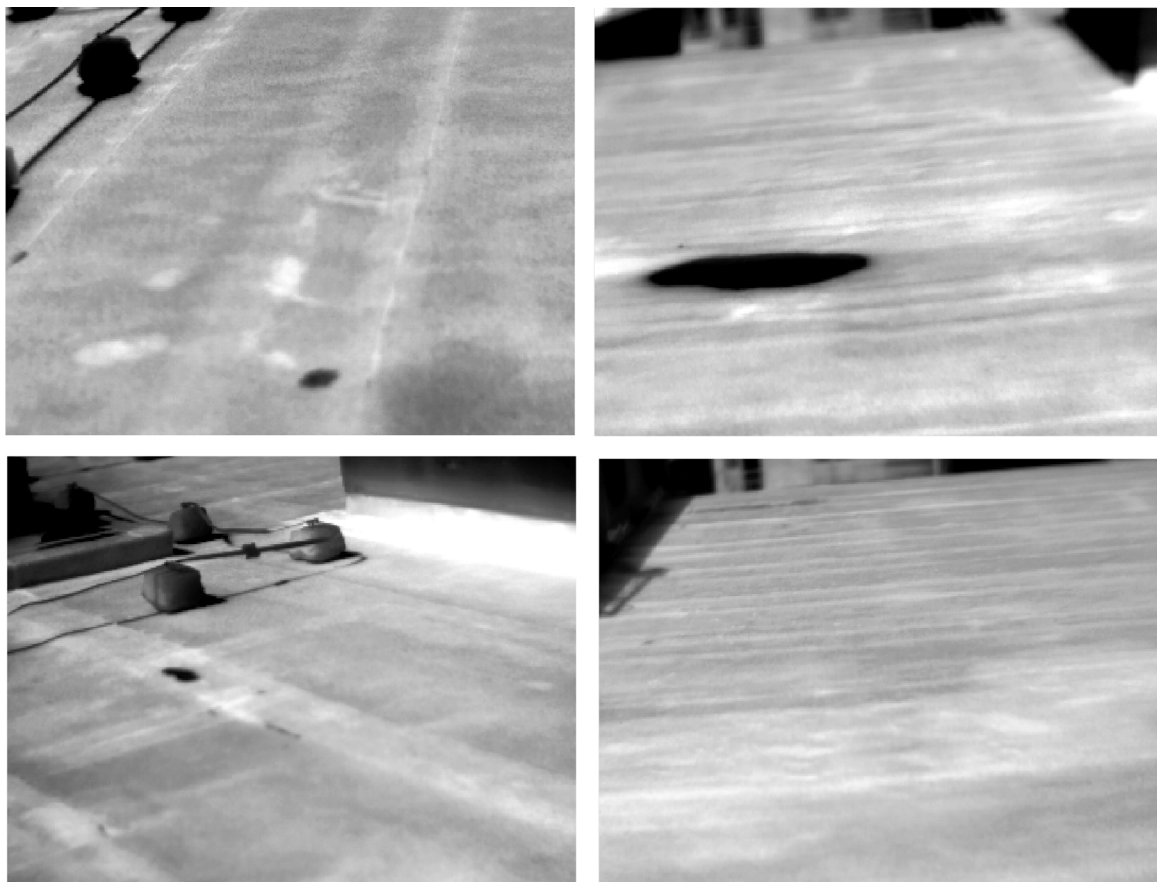
Figure 7. The comparison between numerical simulation and thermographic measurement, south facade, may 2004.

3.2. Rezultati termografskog mjerenja upravne zgrade Jadrolinije, ovojnica i krov



Slika 8. Primjeri termograma ovojnice zgrade, južna fasada

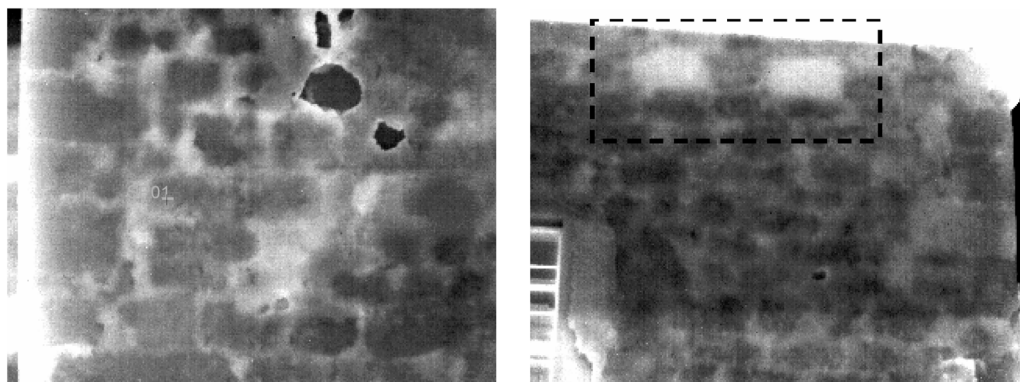
Figure 8. The thermograms of the facade, south facade



Slika 9. Primjeri termograma ravnog krova

Figure 9. The thermograms of the flat roof

### 3.3. Otkrivanje strukture objekta ispod sloja žbuke



Slika 10. Termograska mjerenja na zidu crkve sv. Jurja, Mateško Selo

Figure 10. Thermography measurements of the church of Saint George, Mateško Selo

Razlike u toplinskim svojstvima pojedinih elemenata strukture zida građevine manifestiraju se preko različitih temperaturnih raspodjela na površini objekta, te tako

omogućuju termografski pogled “unutra”, ispod sloja vanjske žbuke.

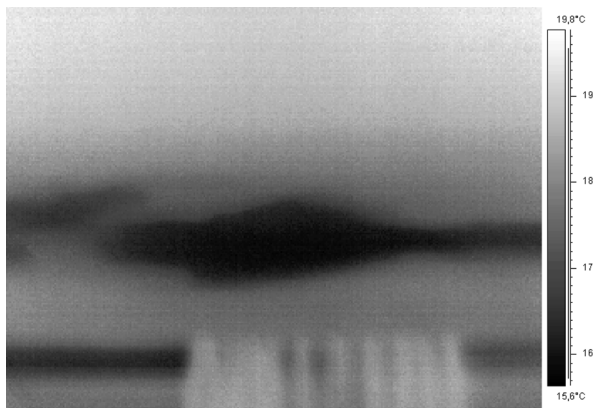


**3.4. Otkrivanje vlage na unutrašnjim stijenama objekta**



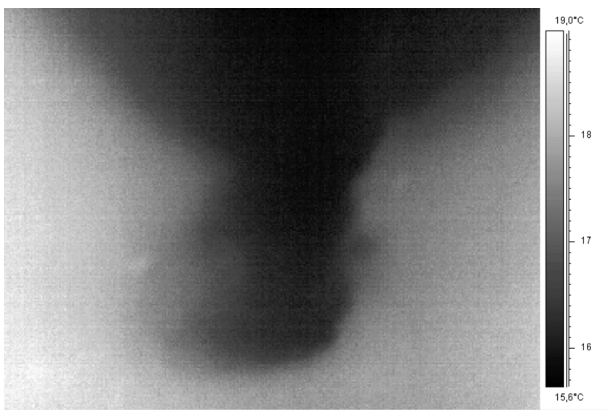
**Slika 11.** Pojava vlage iznad prozora

**Figure 11.** The moisture in the outside wall close to the window



**Slika 12.** Vlaga na stropu

**Figure 12.** The moisture on the ceiling

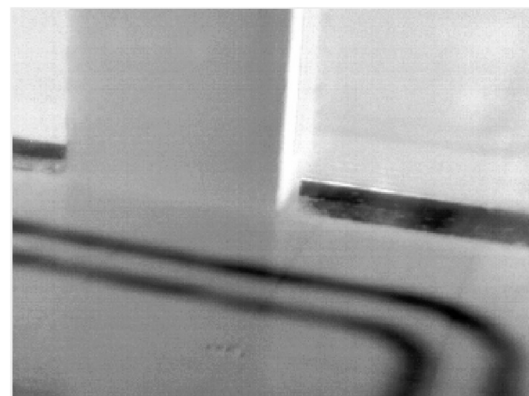


**Slika 13.** Veliko područje vlage na stropu

**Figure 13.** The wide region of the moisture on the ceiling

Prisustvo vlage u strukturi zida građevine se za slučaj unutrašnje termografije pokazuje kao hladnije, široko, sjenovito područje bez velikih temperaturnih razlika.

**3.5. Otkrivanje oštećenja u sustavu podnog grijanja**

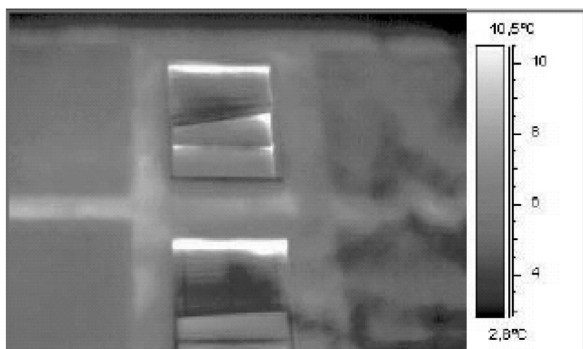


**Slika 14.** Oštećenje u sustavu podnog grijanja

**Figure 14.** The damage of the under floor heating system

Upuhivanjem plinovitog hladnog medija u sustav podnog grijanja u ljetnom periodu se vrlo lako otkrivaju oštećenja u razvodu.

### 3.6. Otkrivanje toplinskih mostova



**Slika 15.** Prisustvo toplinskih mostova i loše brtvljenje prozora zgrade

**Figure 15.** The thermal bridge and the poor sealing

Prisustvo toplinskih mostova kod vanjske termografije se otkriva preko mjesta povišenih temperatura na fasadi objekta.

## 4. Zaključak

U radu su obrađene osnovne smjernice i preporuke pri provedbi termografskog mjerenja u zgradarstvu prema normi HRN EN 13187 s praktičnim primjerima termograma na kojima se ilustriraju najčešći tipovi grješaka (nedostataka i oštećenja) koja se javljaju na ovojnici građevine i u strukturi ravnog krova.

U radu su prikazani termogrami - rezultati termografskog snimanja upravne zgrade tvrtke Jadrolinija Rijeka, na kojima se jasno uočavaju nehomogenosti: vidljiva oštećenja na fasadi - otpali slojevi žbuke, ali i oštećenja nevidljiva golim okom - prisustvo sloja zraka ispod sloja/slojeva žbuke i prisustvo vlage. Usporedo s rezultatima mjerenja navedeni su i rezultati numeričke simulacije prijenosa topline kroz strukturu zida građevine s ciljem dobivanja osnovnih informacija o iznosima temperatura i temperaturnih razlika koja se mogu očekivati kod različitih tipova oštećenja.

U nastavku su prikazani i primjeri primjene termografije u postupku otkrivanja vlage u strukturi zida građevine, otkrivanje oštećenja sustava podnog grijanja te otkrivanje same strukture zida građevine koja se nalazi ispod sloja žbuke te je time i nevidljiva u vizualnom spektru.

Iz prikazanih je rezultata razvidno da se termografija kao jedna od metoda toplinske kontrole bez razaranja nametnula kao standardna metoda u zgradarstvu. Osim procjene stanja fasada termografija se izuzetno cijeni i kao pouzdan alat za ocjenu kvalitete izvedbe toplinske izolacije zgrade.

## LITERATURA

- [1] Hrvatska norma HRN EN 13187
- [2] ANDRASSY, M.; BORAS, I. i ŠVAIĆ, S.: *Osnove termografije s primjenom*, Kigen, Zagreb, 2008.
- [3] MALDAGUE, X. P. V.: *Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing*, John Wiley & Sons Inc., New York, 2001.
- [4] BORAS, I. and ŠVAIĆ, S.: *Determination of the Defect Parameters in Specimen by Means of Thermography and Numerical Methods*, Proceeding of The International Society for Optical Engineering, San Antonio, Texas, USA, Vol. 3396, pp. 271-281, 1998.
- [5] BORAS, I.; ŠVAIĆ, S. and GALOVIĆ A.: *Mathematical model for simulation of defects under material surface applied to thermographic measurements*, Quantitative Infrared Thermography, QIRT 98, Lodz, Poland, pp. 53-58, 1998.
- [6] BORAS, I.; ŠVAIĆ, S. and GALOVIĆ A.: *Thermal non-destructive testing (TNDT) quantification of subsurface defects*, 11<sup>th</sup> International conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry, Budapest, Hungary, pp. 220-225, 1999.
- [7] CARSLAW, H. S. and JAEGER, J.C.: *Conduction of heat in solids*, Oxford University Press (1959).
- [8] ŠVAIĆ, S.; BORAS, I.; SUŠA, M.: *The estimation of the state of building using infrared thermography and numerical method*, Ensayos no destructivos y estructurales, Neuquen, Patagonia, Argentina, Artegraf, Neuquen, 183-185, 2005.