

Detekcija toplinskih gubitaka i mostova pomoću infracrvene termografije

Dominić, Ilija

Master's thesis / Diplomski rad

2025

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:942585>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**

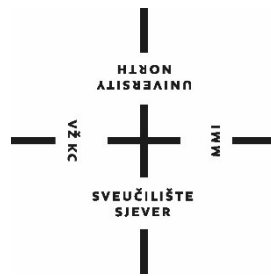


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 113/DG/2024

**DETEKCIJA TOPLINSKIH GUBITAKA I
TOPLINSKIH MOSTOVA POMOĆU
INFRACRVENE TERMOGRAFIJE**

Ilija Dominić

Varaždin, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN
Studij Graditeljstva



DIPLOMSKI RAD br. 113/DG/2024

**DETEKCIJA TOPLINSKIH GUBITAKA I
TOPLINSKIH MOSTOVA POMOĆU
INFRACRVENE TERMOGRAFIJE**

Student:
Ilija Dominić, 0313016561

Mentor:
doc. dr. sc. Tomislav Veliki

Varaždin, rujan 2024.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Ilija Dominić

JMBAG 0313016561

DATUM 14.09.2024.

KOLEGIJ Fizika zgrade i energetska učinkovitost

NASLOV RADA Detekcija toplinskih gubitaka i mostova pomoću infracrvene termografije

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Detection of thermal losses and thermal bridges by infrared thermography

MENTOR dr.sc. Tomislav Veliki

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

- Izv. prof. dr. sc. Matija Orešković
- Doc. dr. sc. Tomislav Veliki
- Doc. dr. sc. Anđelko Crnoja
- Prof. dr. sc. Božo Soldo
-

Zadatak diplomskog rada

BROJ 113/DG/2024

OPIS

U diplomskom radu je potrebno obraditi slijedeća područja:

- Opisati povjest infracrvene termografije
- Opisati spektar zračenje za crno i realno tijelo
- Objasniti princip rada termografski uređaja
- Opisati vrste toplinskih mostova
- Navesti oblike toplinskih mostova
- Navesti posljedice toplinskih mostova na građevinama

U ekperimentalnom dijelu je potrebno:

- Provesti snimanje toplinskih mostova na zgradi UNIN1 i UNIN2
- Komentirati rezultate mjerenje

ZADATAK URUČEN

04.10.2024.

POTPIS MENTORA

[Handwritten signature]





IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Ilija Dominić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom Detekcija toplinskih gubitaka i mostova infracrvenom termografijom te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

Ilija Dominić

(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

Zahvala

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Tomislavu Velikom na pomoći i stručnim savjetima tijekom izrade završnog rada.

Veliku zahvalu upućujem svim profesorima na prenesenom znanju i pomoći tijekom studiranja.

Također zahvaljujem mojim roditeljima na podršci i poticaju tijekom studija.

SAŽETAK

Ovim radom se ukazuje na važnost korištenja suvremenih tehnologija, kao što je infracrvena termografija, kod projektiranja, građenja i održavanja građevina u svrhu povećanja energetske učinkovitosti građevina.

Uz povećanje energetske učinkovitosti, vrlo važnu ulogu predstavljaju prikupljeni podaci, koji se kao takvi koriste za izračune, analize i izvješća te predstavljaju bazu za unapređenje proizvoda toplinske izolacije, građevinskih detalja, načina izrade, projektiranja te održavanja građevina.

Suvremeno graditeljstvo svojim napretkom ostvaruje bržu i efikasniju gradnju, uz što se nadovezuju i visoki zahtjevi za smanjenjem potrošnje energije. Iz tog razloga infracrvena termografija dokazala se kao pouzdana metoda ispitivanja u nadzoru nekontroliranih gubitaka energije.

***Ključne riječi:** suvremene tehnologije, infracrvena termografija, energetska učinkovitost građevina*

SUMMARY

This paper points out the importance of using modern technologies, such as infrared thermography, in the design, construction and maintenance of buildings in order to increase the energy efficiency of buildings.

In addition to increasing energy efficiency, a very important role is played by collected data, which as such are used for calculations, analyzes and reports and represent a basis for improving thermal insulation products, construction details, methods of construction, design and maintenance of buildings.

With its progress, modern construction achieves faster and more efficient construction, which is followed by high requirements for reducing energy consumption. For this reason, infrared thermography has proven to be a reliable test method in the monitoring of uncontrolled energy losses.

Keywords: *modern technologies, infrared thermography, energy efficiency of buildings*

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Općenito o infracrvenoj termografiji.....	1
2.1. Povjesni razvoj infracrvene termografije	2
2.2. Podjela infracrvene termografije	4
2.3. Elektromagnetski spektar toplinskog zračenja	6
2.4. Max Planck zakon i spektar zračenja crnog tijela	7
2.5. Realna tijela.....	9
2.6. Apsorpcija i refleksija	10
2.7. Načini prijenosa topline	10
3. Princip rada termografskog uređaja	11
3.1. Sustav i parametri korišteni za infracrveno mjerenje temperature.....	11
4. Toplinski mostovi.....	12
4.1. Vrste toplinskih mostova.....	12
4.1.1. Konvekcijski toplinski mostovi.....	13
4.1.2. Geometrijski toplinski mostovi	13
4.1.3. Konstrukcijski toplinski mostovi.....	15
4.1.4. Vrste toplinskih mostova uvjetovani materijalom.....	17
4.2. Oblici toplinskih mostova	18
4.3. Posljedice toplinskih mostova.....	19
5. Postupak mjerenja i analiza podataka	21
5.1. Korišteni uređaji u mjerenju temperature.....	21
6. Primjena infracrvene termografije u praksi.....	23
6.1. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever UNIN 1 - izvana	24
6.2. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever UNIN 1 – unutra	29
6.3. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilište Sjever UNIN 2 – izvana.....	37
6.4. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilište Sjever UNIN 2 – iznutra	42
7. Zaključak.....	49
8. Literatura	50
9. Popis slika	51
10. Popis formula	54

1. Uvod

Zbog rastuće svijesti potrošača o utjecajima na okoliš, radi se na smanjenju pojave toplinskih mostova, što vodi do znatno veće isplativosti zgrade, njezinoj dugovječnosti te ujedno i povećanju ugone boravka u samom objektu.

Sama definicija toplinskog mosta jest lokalizirano područje na ovojnici objekta, gdje se pojavljuje nepravilan toplinski tok [1]. Njegova prisutnost ima različite neželjene posljedice pa se njihovim uklanjanjem ili minimaliziranjem znatno podiže kvaliteta objekta. Nepravilnosti i promjene u temperaturi mogu se mjeriti već duže poznatim tehnologijama. Termografija je beskontaktna metoda određivanja temperature i njezine raspodjele na površinama objekata. Temelji se na registriranju infracrvenog (IC) zračenja koje emitira svako tijelo koje se nalazi na temperaturi iznad apsolutne nule.

Termografija podrazumijeva da nakon mjerenja ostane trajan zapis o izmjerenim veličinama u realnom vremenu. Takav se zapis zove termogram. Dinamičke promjene temperature prate se nizom termograma koji se kasnije analiziraju, što će detaljnije biti prikazano u ovom diplomskom radu. [2]

2. Općenito o infracrvenoj termografiji

Termografija se definira kao beskontaktna metoda mjerenja i bilježenja temperature i njezine raspodjele na površini objekta pomoću elektromagnetskog zračenja koje zrači svako tijelo. Infracrveno elektromagnetsko zračenje ima spektar zračenja u rasponu od 750 nm do 1 mm, odnosno raspon frekvencije od 405 THz do 300 GHz. Područja u elektromagnetskom spektru mogu se podijeliti na pet skupina: blisko IC područje (od 0,75 do 1 μm), kratkovalno IC područje (od 1 do 2,7 μm), srednjevalno IC područje (od 3 do 8 μm), dugovalno IC područje (od 8 do 14 μm), daleko IC područje (od 14 do 30 μm). [2]

Danas je infracrvena termografija našla primjenu u različitim područjima, kao što su održavanje postrojenja i uređaja, nerazorna ispitivanja objekta, nadzor proizvodnih procesa i kontrola kvalitete te kod medicinske i veterinarske dijagnostike. Jednako tako može se spomenuti istraživanje i razvoj novih proizvoda, kao i dobivanje spoznaja o svojstvima materijala i procesa. [3]



Slika 1. Snimanje infracrvenom kamerom [1]

2.1. Povjesni razvoj infracrvene termografije

Prvi koraci u razvoju infracrvene termografije započinju 1800. godine sa Sir William Herschelovim otkrićem postojanja infracrvenog zračenja izvan spektra vidljive svjetlosti. On je ponavljajući Newtonov eksperiment s prizmom mjerio temperaturu u području pojedinačnih boja spektra vidljive svjetlosti. Opazio je da temperatura boja raste od ljubičaste do crvene, ali da nastavlja rasti u području gdje nema vidljive svjetlosti. Donosi zaključak da postoji zračenje i izvan vidljivog spektra, a koje svojim svojstvima i prirodi je jednako svjetlosti. [3]

Sljedeći doprinos razvitku područja ostvaruju Jožef Stefan i Ludwig Boltzmann postavljajući korelacije temperature tijela i energije koju ono zrači. Jožef Stefan iskustveno, dok Ludwig Boltzmann teorijski pokazuju da je energija zračenja površine tijela razmjerna četvrtoj potenciji njegove apsolutne temperature. Zakonitost se nazivala Stefan-Boltzmannov zakon, koja vrijedi za cijeli elektromagnetski spektar.

Znatan doprinos u razvoju teorije i interpretaciji zračenja čini Max Planck, povezujući ovisnost intenziteta zračenja o valnoj duljini i temperaturi. Stavljajući u odnos planckovu spektralnu raspodjelu energije i zakonitost koju utvrđuje Wilhelm Wien o ovisnosti intenziteta zračenja i temperaturi, proizlazi da se maksimumi intenziteta nalaze na manjim valnim duljinama s porastom temperature tijela.

Razvoj tehnike na području infracrvene termografije započinje Sir John Herchel, koji pomoću monokristala kuhinjske soli i tankog uljnog filma nanesenog na čvrstu podlogu dobiva prvi termograf. Postupak je bio spor, neprecizan i nije bilo praktične promjene tehnologije. Bio je potreban predak tehnologije koji je postigao 1878. Samuel Pierpont Langley patentirajući bolometer.

Termografija tada dobiva praktičnu primjenu i britanska vojska 1929. dizajnira prvu infracrvenu kameru i sav napredak tehnologije se svodi na detekciju neprijateljskih postrojba u mraku tako. Prvi komercijalni uređaji se na tržištu pojavljuju nakon 1960. U 21. stoljeću dolazi do dovoljnog razvitka tehnologije i pristupačnosti cijena uređaja tako da je promjena moguća u svim područjima ljudskog života.



Slika 2. Prvi infracrveni uređaj [2]

2.2. Podjela infracrvene termografije

Dobiveni rezultat termografskog snimanja može se koristiti na kvalitativan ili kvantitativan način. Kvalitativna termografija prikazuje u kratkom roku ograničeni broj informacija dok kvantitativnom termografijom dobivamo pomoću proračuna točne podatke o temperaturi svake točne na površini. Kvalitativnom termografijom dobivaju se okvirne informacije o raspodjeli temperature na promatranom objektu.

Ukoliko postoje područja s neuobičajenom temperaturom tj. anomalije, lako se uočavaju i na temelju njih se uz dovoljno pripadajućeg znanja mogu donositi zaključci o intervencijama. Svrha primjene kvantitativne termografije je dobivanje točnih podataka, tj. Temperatura na termogramu. Za to je potrebno poznavati emisijska svojstva objekta, stanje atmosfere između uređaja i promatranog objekta, i izvršiti proračun u ispravne vrijednosti. Postupak zahtjeva određeno vrijeme no s napretkom tehnologije ovaj postupak se značajno ubrzao i olakšao. [2]

Za provedbu istraživanja infracrvenom termografijom koristimo se aktivnim ili pasivnim pristupom. Promatramo li objekt u stacionarnom (ustaljenom) temperaturnom stanju kakvo je postignuto duljim boravljenjem toga objekta u okolini čija se temperatura ne mijenja, kažemo da je riječ o pasivnoj termografiji. Svako odstupanje u zračenju objekta u odnosu na okolinu će biti vidljivo, prikazano toplinskim kontrastom.

Promatrajući objekt koji je na istoj temperaturi kao i njegova okolina ili za određivanje nekih svojstva ispod njegove površine koristimo se aktivnom termografijom. Takve metode se temelje na toplinskoj pobudi objekta tj. na dovođenju ili odvođenju topline s objekta. U procesu promjene temperature termogramom u određenim vremenskim razmacima ćemo dobiti podatke iz kojih je moguće odrađivati svojstva materijala promatranog objekta. [4]

U većini slučajeva pasivna termografija je kvalitativna dok se aktivna primjenjuje kvantitativno, najčešće u kontroliranim laboratorijskim uvjetima u razvoju i istraživanju.



Slika 3. Aktivna termografija [3]



Slika 4. Pasivna termografija [obrađeno autorom (16.1.2024.)]

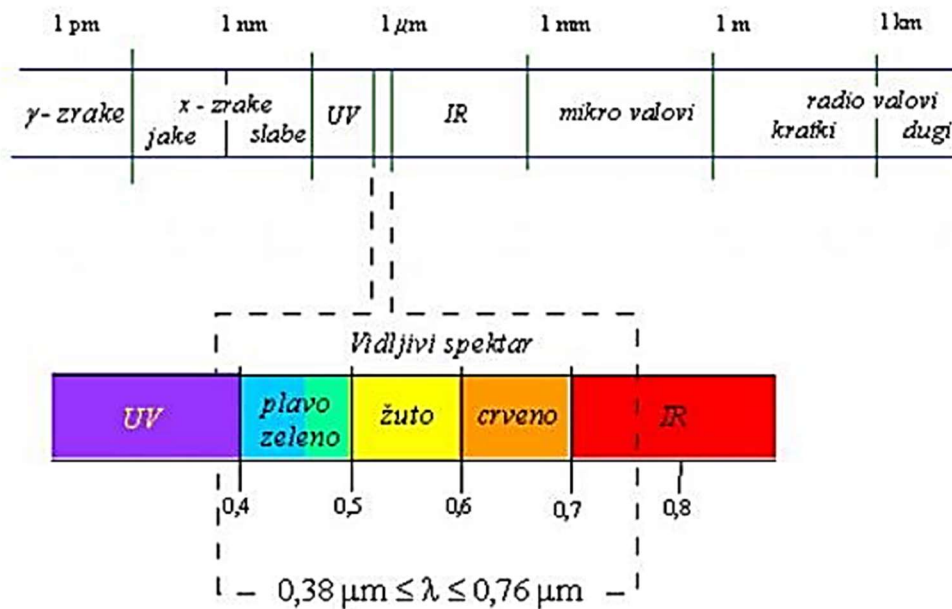
2.3. Elektromagnetski spektar toplinskog zračenja

Svako tijelo čija je temperatura iznad apsolutne nule odašilje elektromagnetske valove kao posljedicu titranja elektrona oko jezgre atoma, te elektromagnetske valove promatramo kao kontinuirani spektar, bez potrebe za materijalnim medijem u svrhu širenja i dualne prirode, valne i čestične. Svaki val opisan je amplitudom, valnom duljinom, frekvencijom, brzinom.

Vrsta medija kojom se val širi utječe na brzinu vala, pa je samim time to promjenjiva veličina, dok je frekvencija vala neovisna o tom kriteriju. Sukladno tome brzina širenja vala u vakuumu iznosi $2,998 \cdot 10^8$ m/s i konstanta je čineći time i valnu duljinu isto konstantnom.

Prenošenje energije se odvija putem zračenja na svim valnim duljinama. Vidljivi dio elektromagnetskog spektra obuhvaća područje od 0,4 do 0,7 mikrometara, područje nakon vidljivog spektra je infracrveno. Dodatna podjela obuhvaća područje kratkih i

područje duljih valova, ova dva područja koriste se u praksi zbog relativno dobre propusnosti atmosfere i najmanjeg utjecaja okoliša na mjerenje. [4]



Slika 5. Elektromagnetski spektar toplinskog zračenja [4]

2.4. Max Planck zakon i spektar zračenja crnog tijela

Glavni dio elektromagnetske teze je Max Planckova teorija crnog tijela. Toplinska emisija čvrstih tijela obično se tretira u smislu koncepta crnog tijela. Ono je definirano kao idealizirano tijelo koje apsorbira cjelokupno upadno zračenje, neovisno o valnim duljinama i smjeru. Pri određenoj temperaturi emitira maksimalno zračenje u difuznom smjeru, drugim riječima ne ovisi o smjeru.

Postoje dvije teorije u praksi. Prva tumači o šupljem, okruglom, zatvorenom tijelu koji ima jedan mali otvor kroz kojeg prolazi svjetlost. Sustav je napravljen da apsorbira svjetlost unutar svoje šupljine. Sljedeća teorija predstavlja savršenu površinu koja u potpunosti apsorbira zračenje. Kirchhoffov zakon definira da, takav objekt vraća zračenje svih valnih duljina. Takvo tijelo prenosi energiju u okolinu sve dok se ne postigne

termodinamička ravnoteža. Planckov zakon definira monokromatsko zračenje savrešnog crnog tijela E_c , kao energiju zračenja emitiranu po jedinici površine te po valnoj duljini ($W/m^2\mu m$).

Formula 1. Planckov zakon

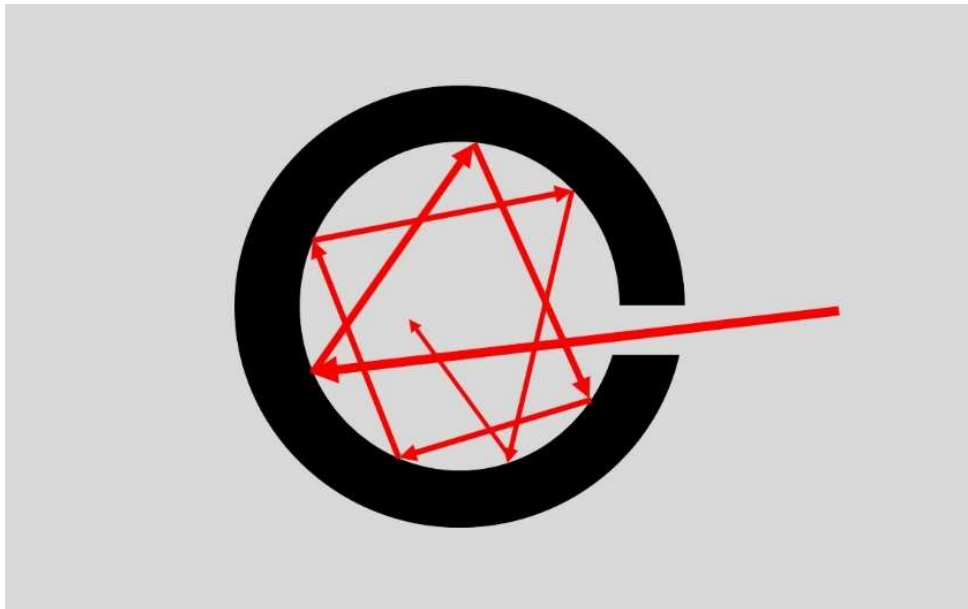
$$E_c = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5} e^{-C_2/\lambda T}}{\lambda \cdot T - 1}$$

Valna duljina λ izražena je u μm , T je apsolutna temperatura u K, a konstante u jednadžbi iznose $C_1 = 3,742 \cdot 10^8 W \cdot \mu m^4 / m^2$ i $C_2 = 1,4389 \cdot 10^4 \mu mK$.

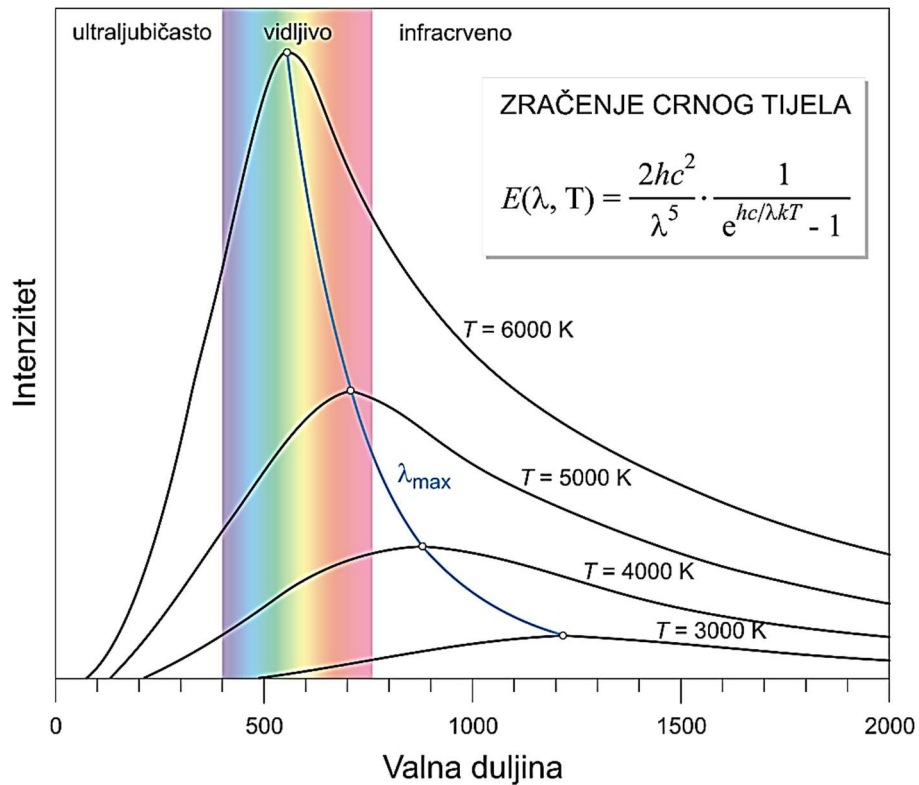
Spektralno zračenje pomiče se prema kraćim valnim duljinama kako temperature raste, što nam ukazuje Wienov zakon koji daje vezu između temperature i valne duljine na kojoj se nalazi maksimum spektralne gustoće. [5]

Formula 2. Wienov zakon :

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898 \mu mK$$



Slika 6. Idealno crno tijelo [5]



Slika 7. Krivulje Planckovog zakona zračenja crnog tijela [6]

2.5. Realna tijela

U prirodi se pojavljuju realna tijela za koja ne vrijede iste zakonitosti kao i za crno tijelo. U usporedbi s crnim tijelom pri istoj temperaturi apsorbiraju i zrače manju energiju, koju dobivamo Stefan-Boltzmannovim zakonom.

Formula 3. Stefan-Boltzmannov zakon

$$E_c = \sigma \cdot T^4 \frac{W}{m^2}$$

Emisijski faktor površine ϵ realnog tijela ima vrijednosti između 0 i 1 to je omjer emitirane energije realnog tijela i vlastite emisije crnog tijela pri istoj temperaturi.

Formula 4. Emisijski faktor površine

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_c(T)}$$

Emisijski faktor površine realnih tijela ovisi o vrsti i stanju površine, temperaturi i vrsti materijala. Vlastite emisija realnih tijela je funkcija temperature tijela i emisijskog faktora. Što tijelo ima višu temperaturu i višu vrijednost emisijskog faktora više i emitira. [5]

2.6. Apsorpcija i refleksija

Upadno zračenje je zračenje koje dolazi na površinu promatranog objekta, a izvor mu je okoliš objekta. Savršeno crno tijelo apsorbira cjelokupno upadno zračenje, dok realna tijela djelomično apsorbiraju, djelomično propuštaju, a djelomično reflektiraju zračenje. Omjer u kojem promatrani objekt apsorbira, reflektira i propušta ovisi o njegovim svojstvima, ali ukupni zbroj je uvijek 1, tj. 100%

Omjer između apsorbiranog i upadnog zračenja zove se faktor apsorpcije. Omjer između propuštenog i upadnog zračenja definira se kao faktor dijametrije, dok se omjer između reflektiranog i upadnog zračenja naziva faktor refleksije. [7]

2.7. Načini prijenosa topline

Postoje tri osnovna načina prijenosa topline: provođenje, konvekcija ili zračenje. Provođenje je način izmijene topline direktnim dodirom čestica najčešće u krutim materijalima. Konvekcija je način izmijene topline između fluida i krutog materijala. Fluid je uvijek u gibanju tako se i prijenos topline u njemu vrši provođenjem. Gibanje može biti prirodno ili prisilno. U slučaju prirodne konvekcije gibanje je uzrokovano različitim temperaturnom raspodjelom dok je kod prisilne prisutan vanjski izvor razlike

tlakova. Zračenje je način izmjene topline koji se događa u obliku elektromagnetskih valova, bez materijalnog posrednika. [8]

3. Princip rada termografskog uređaja

Infracrvena termografija kao i svaka druga suvremena tehnologija zahtjeva poznavanje rada mjernog uređaja zbog pravilnog izvođenja mjerenja, ali i veće točnosti i same brzine izvođenja mjerenja. Samo znanje o tehnologiji nije dovoljno jer mjeritelj mora poznavati i objekt koji promatra, da bi ispitivanja bila valjana.

3.1. Sustav i parametri korišteni za infracrveno mjerenje temperature

Mjerenje se vrši sustavom koji se sastoji od termografske kamere i jedinice za obradu podataka odnosno rezultata mjerenja koje nazivamo termogrami, u većini slučajeva ta jedinica je osobno računalo. Sama infracrvena kamera se sastoji od osjetila infracrvenog zračenja, optike, jedinice za pretvorbu električnog signala u video signal, monitora i memorije za pohranu podataka.

Optika koja se koristi u infracrvenim uređajima radi na sličnom principu kao fotografske kamere, dok su samo materijali korišteni u njezinoj izvedbi drugačiji. Obične fotografske kamere propuštaju cijeli spektar elektromagnetskog zračenja, dok optika u infracrvenim kamerama izolira samo infracrveno zračenje, što se postiže materijalima poput cink sulfida, germanija, cink selenida za dugovalna zračenja ili kvarc, magnezija, safira ili silikona za srednjevalna infracrvena zračenja. Krajnji rezultat mjerenja je termograf koji dodatno analiziramo na računalu zbog programskih rješenja koja olakšavaju interpretaciju podataka. [4]

Temperatura nije mjerljiva jedinica, već je izvedena vrijednost. U infracrvenoj termografiji mjerena fizikalna veličina definira se kao emitirana energija. Pomoću zračenja tijela preko sustava vrijednosti i proračunima dobivamo temperaturu tijela. Zbog veće razine točnosti podataka potrebno je izolirati samo zračenje promatranog tijela, dok utjecaj okoline treba biti sveden na minimum. Faktor konstantne emisivosti iznosi specifičnu vrijednost za svaki materijal, a definira se kao odnos ukupne elektromagnetske energije tijela na isto zračenje crnog tijela. Za sva relna tijela taj faktor ima vrijednost između 0 i 1, dok idealno crno tijelo ima faktor 1. [9]

Povećanje temperature tijela znači da se spektralni pojas elektromagnetske energije pomiče prema kraćim valnim duljinama elektro magnetskog spektra, odnosno prema dijelu spektra koji je vidljiv. Upravo zbog toga potrebno je izvršiti prilagodbu infracrvenog detektora i potom što točnije unijeti vrijednost emisivosti tijela da bi se dobili najtočniji rezultati. Najčešće pogreške u mjerenjima dolaze upravo zbog nepoznavanja strukture mjerenog objekta.

4. Toplinski mostovi

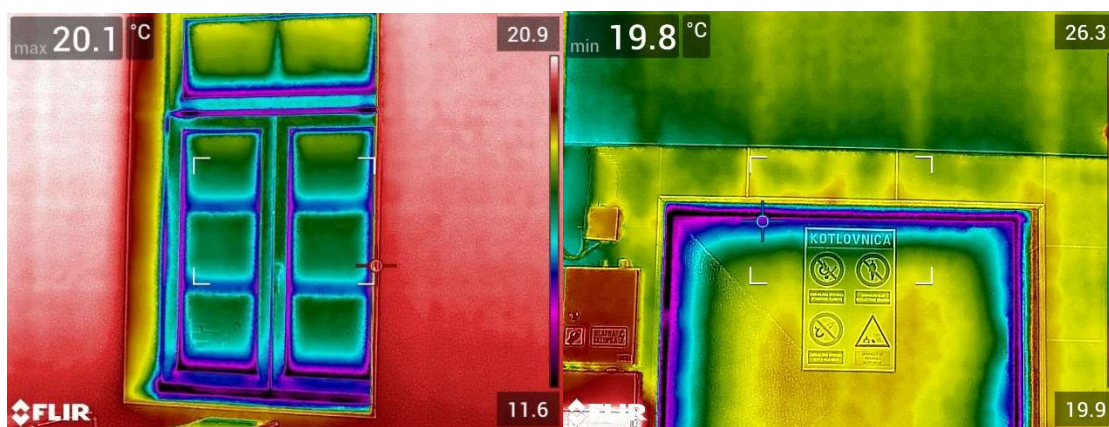
Toplinski mostovi su lokalizirane površine na građevinskom objektu kroz koje je povećan toplinski tok u donosu na druge površine građevinskog elementa. Pojavljuju se na vanjskom plaštu objekta i mogu imati nekoliko uzroka, kao što su: promjena materija, debljine ili geometrije građevinskog elementa [10]. Upravo oni su najčešći nedostaci u projektiranju i izvedbi građevinskog objekta.

4.1. Vrste toplinskih mostova

Postoji više vrsta toplinskih mostova. Svaki od njih razlikuje se po uzroku nastanka te njihovom obliku. U ovom radu prikazani su konvekcijski, geometrijski, konstrukcijski i toplinski mostovi uvjetovani materijalom i okolinom.

4.1.1. Konvekcijski toplinski mostovi

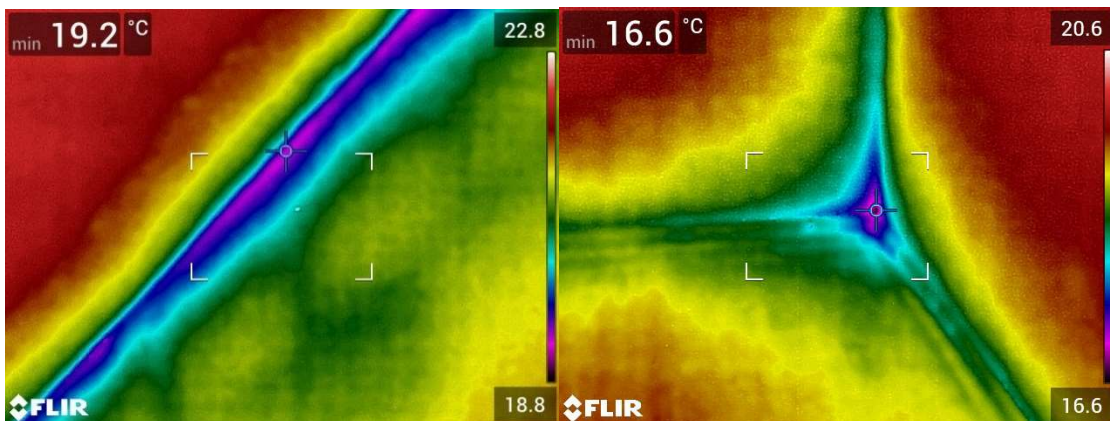
Konvekcijski toplinski mostovi su povezani sa strujanjem zraka kroz pukotine ili otvore. U ovom slučaju dešavaju se toplinski gubici zbog nekontroliranog prolaska zraka. Pasivne kuće su najbolji primjer projektiranja bez konvekcijskih toplinskih mostova gdje se takvi gubici pravilnim projektiranjem i ugradnjom prozora te vrata svode na minimum, odnosno jedini gubici su prilikom otvaranja i zatvaranja vrata i prozora.



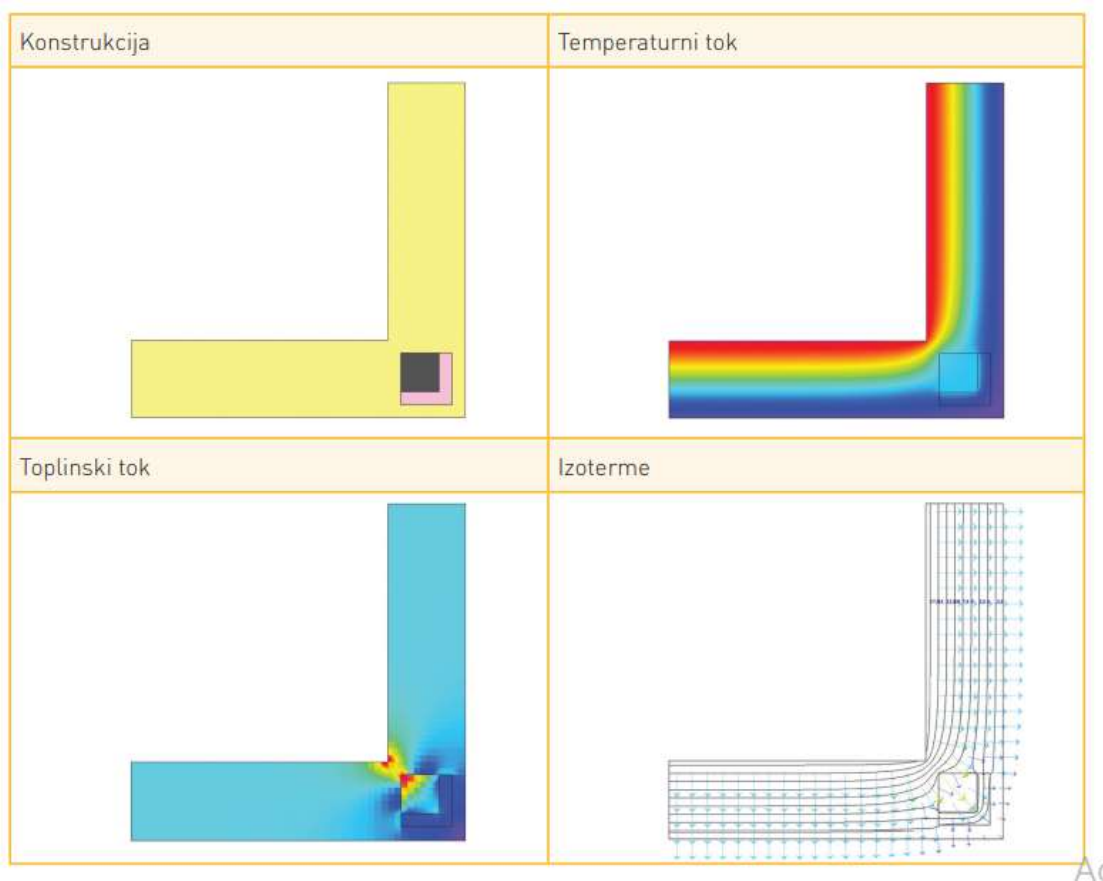
Slika 8. Konvekcijski toplinski mostovi [obrađeno autorom (16.1.2024.)]

4.1.2. Geometrijski toplinski mostovi

Geometrijski toplinski mostovi pojavljuju se na površinama objekta gdje je unutarnja površina kroz koju prolazi toplina manje veličine od vanjske. Zbog prirode toplinske energije ona se raspoređuje šire po vanjskoj površini i stvara hladniju unutarnju površinu. Time se smanjuje toplinski otpor konstrukcije. Geometrijski toplinski mostovi su česti jer nastaju na spojevima zidova, uglovima zgrada, sljemenima i čeonim napustima te ih je teško izbjeći. Po dimenzijama mogu biti točkasti, dvodimenzionalni i trodimenzionalni.



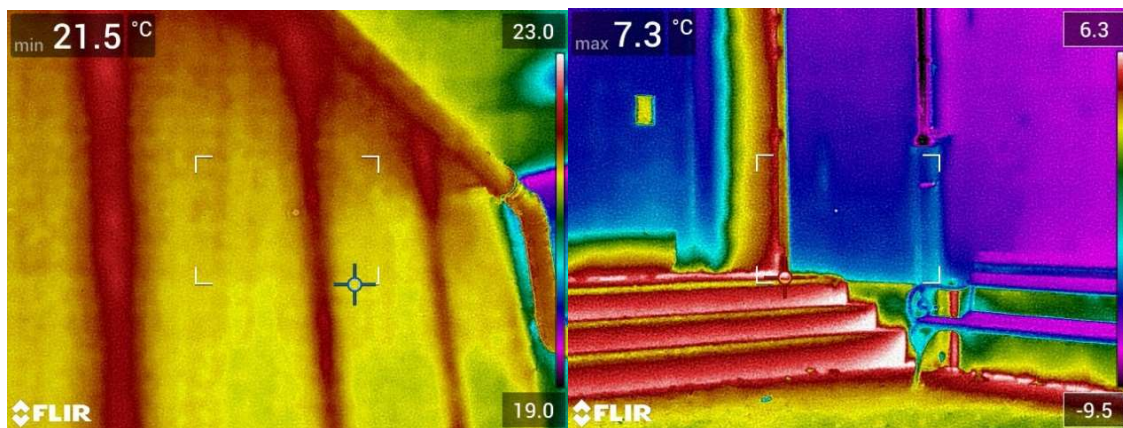
Slika 9. Geometrijski toplinski mostovi [obrađa autora (16.1.2024.)]



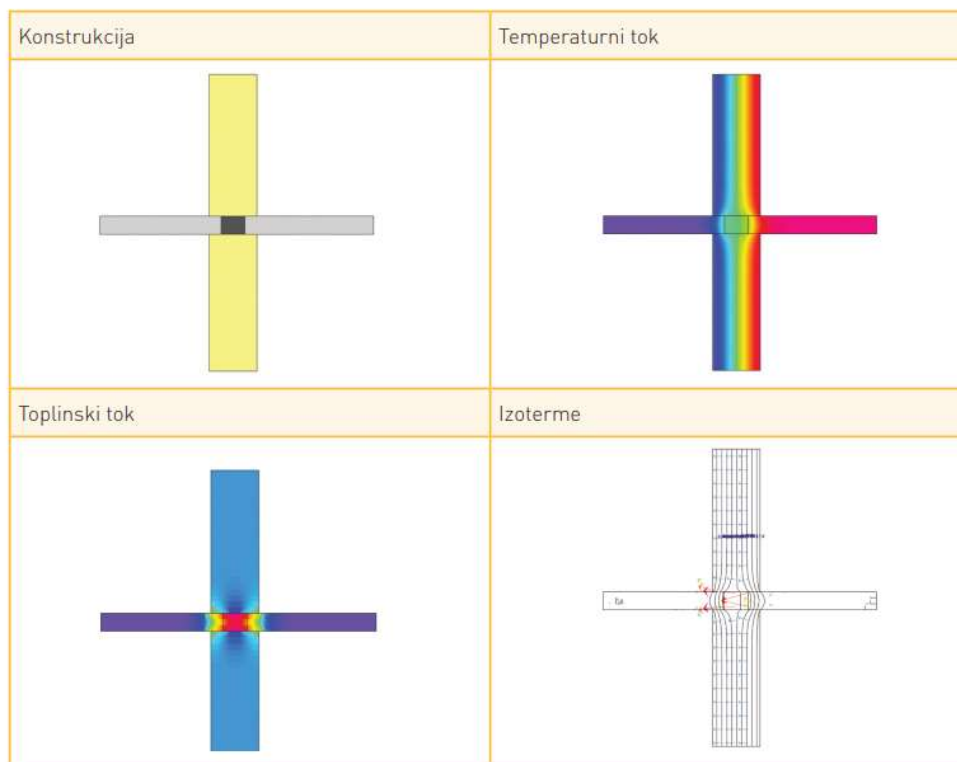
Slika 10. Prikaz toplinskog toka kroz geometrijske toplinske mostove [7]

4.1.3. Konstrukcijski toplinski mostovi

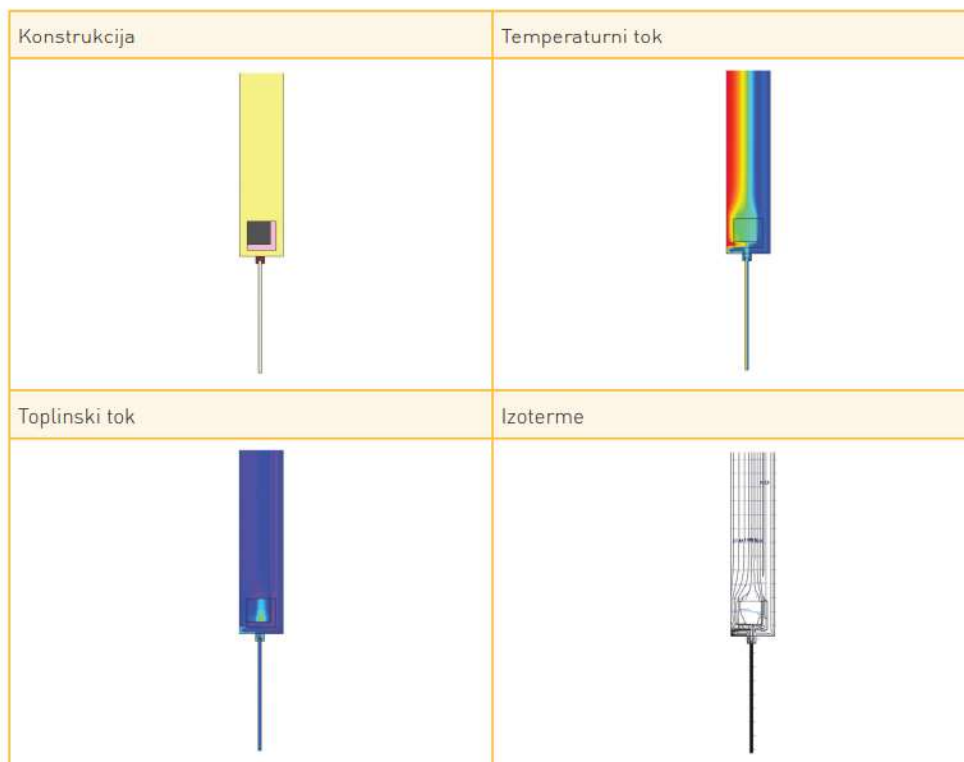
Konstrukcijski toplinski mostovi nastaju na mjestima prekinutog toplinskog plašta zgrade zbog lošeg projektiranja detalja kod proboja, rebara, konzola i različitih drugih elemenata koji se mogu ukloniti pravilnom izvedbom i projektiranjem.



Slika 11. Konstrukcijski toplinski mostovi [obrađeno autorom (16.1.2024.)]



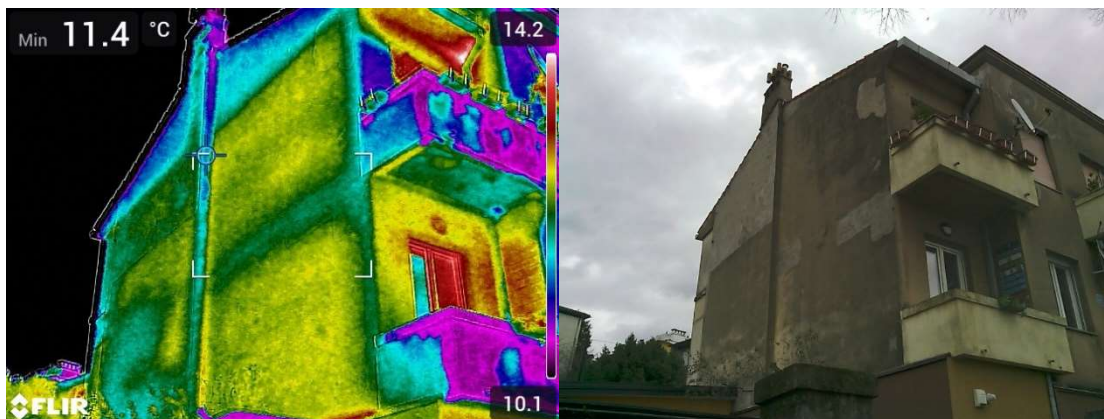
Slika 12. Prikaz toplinskog toka kroz konstrukcijske toplinske mostove balkona [7]



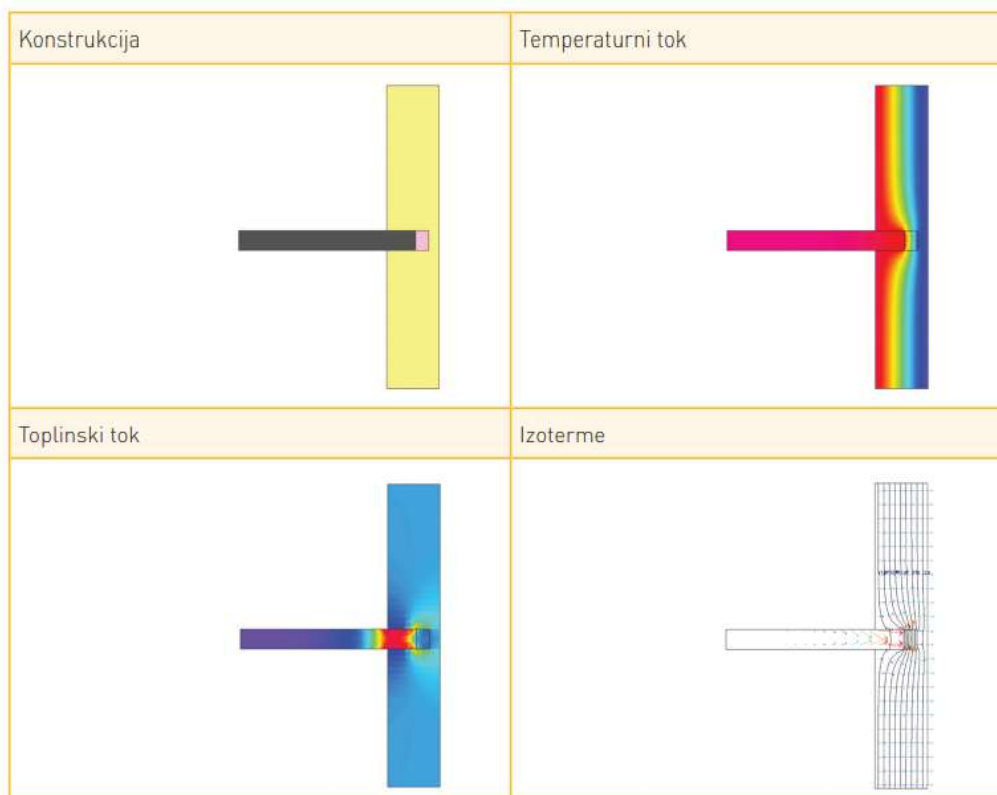
Slika 13. Prikaz toplinskog toka kroz konstrukcijske toplinske mostove nadvoja [7]

4.1.4. Vrste toplinskih mostova uvjetovani materijalom

Toplinski mostovi uvjetovani materijalom nastaju na mjestima sudara i spajanja različitih materijala. Toplinski mostovi uvjetovani okolinom javljaju se na mjestima pojačanog zagrijavanja pojedinačnih mjesta na omotaču zgrade, kao što su područja ispod prozora kod kojeg se nalazi radijator. [11]



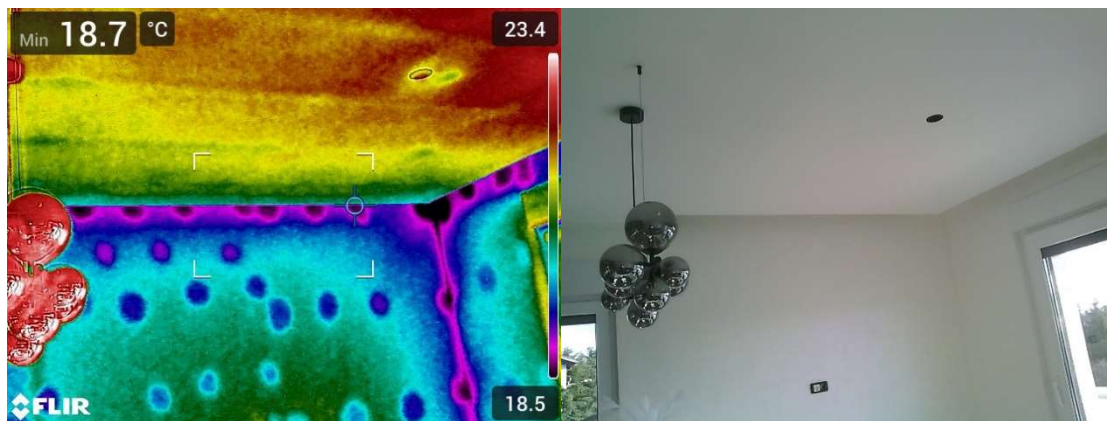
Slika 14. Toplinski mostovi uvjetovni materijalom [obrađeno autorom (16.1.2024.)]



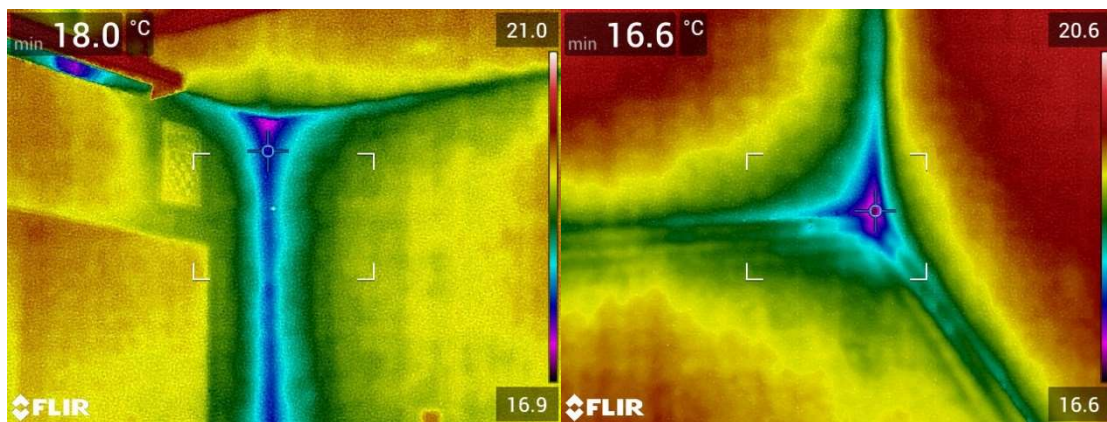
Slika 15. Prikaz toplinskog toka kroz toplinske mostove uvjetovane materijalom [7]

4.2. Oblici toplinskih mostova

Prema obliku razlikujemo tri oblika toplinskih mostova. Uz samu vrstu toplinskih mostova po nastanku koristi se i parametar oblika za precizniju definiciju toplinskog mosta. Točkasti toplinski mostovi se nalaze na mjestima pričvršćivača termoizolacijskih sustava fasade i prodora metalnih nosača na pročelju. Linijski toplinski mostovi pojavljuju se na spojevima građevinskih djelova, dvije plohe ili ravnine kao što su spoj zida i krova ili ugao zida. Trodimenzionalni toplinski mostovi javljaju se u sličnim uvjetima kao i linijski, ali uz dodatak još jedne plohe, kao što su spoj ugla poda i dvaju zidova. [11]



Slika 16. Točkasti toplinski mostovi [obrada autora (16.1.2024.)]



Slika 17. Linijski i trodimenzionalni toplinski mostovi [obrada autora (16.1.2024.)]

4.3. Posljedice toplinskih mostova

Pojava toplinskih mostova uzrokuje mnoge negativne posljedice, a one su najviše uočljive na modernim objektima koji teže niskoenergetskim standardima iako i stariji objekti osjećaju utjecaje toplinskih mostova, visoki standardi suvremene gradnje iziskuju maksimalnu efikasnost upravo na području na kojem toplinski mostovi imaju najveći utjecaj.

Potrošnja energije koja se koristi za grijanje, ali i hlađenje je znatno uvećana, što je ujedno i glavni razlog zbog kojeg se pristupa energetskej obnovi objekata u suvremenom dobu. Zato je i infracrvena termografija efikasna metoda za otkrivanje pravilno izvedenih radova. Apsorpcija topline na hladnim unutarnjim građevnim dijelovima i elementima iziskuje više temperature zraka za postizanje jednake razine temperature ugodnosti za korisnika prostora. Samim time potrošnja energije objekta je veća, što povećava troškove grijanja i hlađenja.

Površinske temperature su zbog toplinskih mostova na unutarnjoj strani objekta ili građevinskog elementa niže, što znači slabiju toplinsku ugodnost kod niskih vanjskih temperatura. Hladnije površine daju osjećaj propuha, pa zbog toga korisnik povećava unutanju temperaturu prostora i u zraku se nalazi veća količina bakterija i virusa. [10]

Zbog niže temperature površine na području toplinskog mosta nalaze se mjesta koja su podložna rošenju, odnosno površinskoj kondenzaciji. Ukoliko se pojavi površinska kondenzacija na tu površinu sjeda prašina i druge nečistoće iz prostora, pa u kombinaciji s podlogom daju uvjete za razvoj spora i plijesni koji onda štete ljudskom zdravlju. Takva mjesta su najčešće prostorije s viši udjelom vlage u prostoru, a ukoliko se radi o stambenoj namjeni prostora to znači i prostorije u kojima korisnici provode i najviše vremena (slike 18. i 19.).

Oštećivanje građevnog djela konstrukcije zbog kondenzata na područjima toplinskih mostova je također moguće. Kod drvenih konstrukcija to znači gubitak nosivosti ili mogućnost otpadanja žbuke i morta zbog konstantnog vlaženja.



Slika 18. Plijesan - posljedica toplinskih mostova [obrađa autora (16.1.2024.)]



Slika 19. Plijesan - posljedica toplinskih mostova [obrađa autora (16.1.2024.)]

5. Postupak mjerenja i analiza podataka

Mjerenjima može pristupiti samo osoba upoznata s načinom rada infracrvene kamere kako bi se osigurala točnost podataka, a potrebno je i poznavanje objekta koji se mjeri te pojavu koju želimo izmjeriti. Mjerenje toplinskih mostova i gubitaka energije u građevinskom objektima vrši se u uvjetima pasivne termografije kvantitavnim metodama. Potrebno je postići razliku temperature između objekta i vanjske atmosfere, okoliša.

Veća razlika temperature znači jasnije i točnije prepoznavanje rezultata zbog veće izraženosti nedostataka promatranog objekta. [12]

5.1. Korišteni uređaji u mjerenju temperature

U ovom radu za potrebe promatranja toplinskih gubitaka i toplinskih mostova potrebno je poznavanje nekoliko vrijednosti. Vanjska temperatura okoliša, unutarnja temperatura u objektu te sama temperatura vanjske ovojnice objekta.

Vanjsku i unutarnju temperaturu mjerimo pomoću FLIR MR176 uređaja koji ima termometar, dok je za izradu termograma korištena FLIR E96 infracrvena kamera. Obrada podataka, temperaturno podešavanje i obrada fotografija vršilo se u Flir Report Center programskoj podršci.



Pin Moisture	Range 7% to 30% / Basic Accuracy $\pm 1.5\%$ MC / Range 30% to 100% / Basic Accuracy Reference only
Pin Moisture Groups	9 Material Groups
Air Temperature	Range 32 to 122°F (0 to 50°C) / Basic Accuracy $\pm 1.1^\circ\text{F}$ ($\pm 0.6^\circ\text{C}$)

Slika 20. FLIR MR176 termometar i njegove specifikacije [8]



IR Resolution	640 × 480 pixels
Thermal Sensitivity/NETD	<40 mK at 30°C (86°F)
Accuracy	$\pm 2^\circ\text{C}$ ($\pm 3.6^\circ\text{F}$) or $\pm 2\%$ of the reading
Digital Camera	5 MP, with built-in LED photo/video lamp
Display	4", 640 × 480 pixel touchscreen LCD with auto-rotation
Storage Media	Removable SD card

Slika 21. FLIR E96 termografska kamera i njezine specifikacije [8]

6. Primjena infracrvene termografije u praksi

U sklopu ovog diplomskog rada bilo je snimano Sveučilište Sjever u Varaždinu. Predmet proučavanja bile su zgrade UNIN 1 i UNIN 2, gdje su se pomoću infracrvene kamere FLIR E96 mjerili toplinski mostovi.



Slika 22 Sveučilište Sjever – UNIN 1 i UNIN 2 [9]

Snimanje se odvijalo u siječnju. Vanjska temperatura iznosila je -5°C , dok je unutar Sveučilišta bilo 20°C . Vlažnost zraka bila je 55.0%. Iz razloga što Sunce nepovoljno utječe na mjerenje stvarajući greške zbog grijanja vanjske ovojnice objekta, sa snimanjem se počelo u 6:00 sati ujutro.

6.1. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever UNIN 1 - izvana

Prilikom mjerenja vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever izvana, uočene su sve vrste toplinskih mostova koje se mogu pojaviti na građevinskom objektu.

Prva vrsta uočenih toplinskih mostova bili su konvekcijski toplinski mostovi linijskog oblika, koji su vidljivi oko prozora i vrata objekta. Pojava ovakve vrste toplinskog mosta tumači se kao nedostatak pravilne ugradnje stolarije te slabiju kvalitetu iste, što je vidljivo sa slika 23. i 24.

Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	6:16:00
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	1.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 23. Vanjska ovojnica Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađeno autorom (16.1.2024.)]



Slika 24. Termogram vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađeno 16.1.2024.]

Na slici je vidljivo pojačano grijanje u području otvora, drugim riječima na mjestima ugradnje stolarije, što označava povećani protok toplinske energije kroz ta mjesta, koja su na termogramu prikazana crvenom bojom, dok su hladnija mjesta označena zelenom, plavom i ljubičastom bojom (vidljivo na temperaturnoj ljestvici prikazanoj na desnoj strani termograma).

Prilikom mjerenja vanjske ovojnice iz okoliša gledaju se toplija mjesta koja prikazuju povećani toplinski tok, dok s unutarnje strane gledano prema okolišu analiziraju se hladnija područja koja označavaju istu pojavu.

Druga vrsta uočenih toplinskih mostova bili su konstrukcijski toplinski mostovi linijskog oblika koji se javljaju na području stepenica (slike 25. i 26.) i betonskog vijenca krova (slike 27. i 28.). Razlog pojavljivanja takvih toplinskih mostova je slabo projektiranje detalja u kojem nije prekinuti toplinski tok, tj. stepenice su spojene direktno s temeljnom konstrukcijom građevinskog objekta UNIN 1.

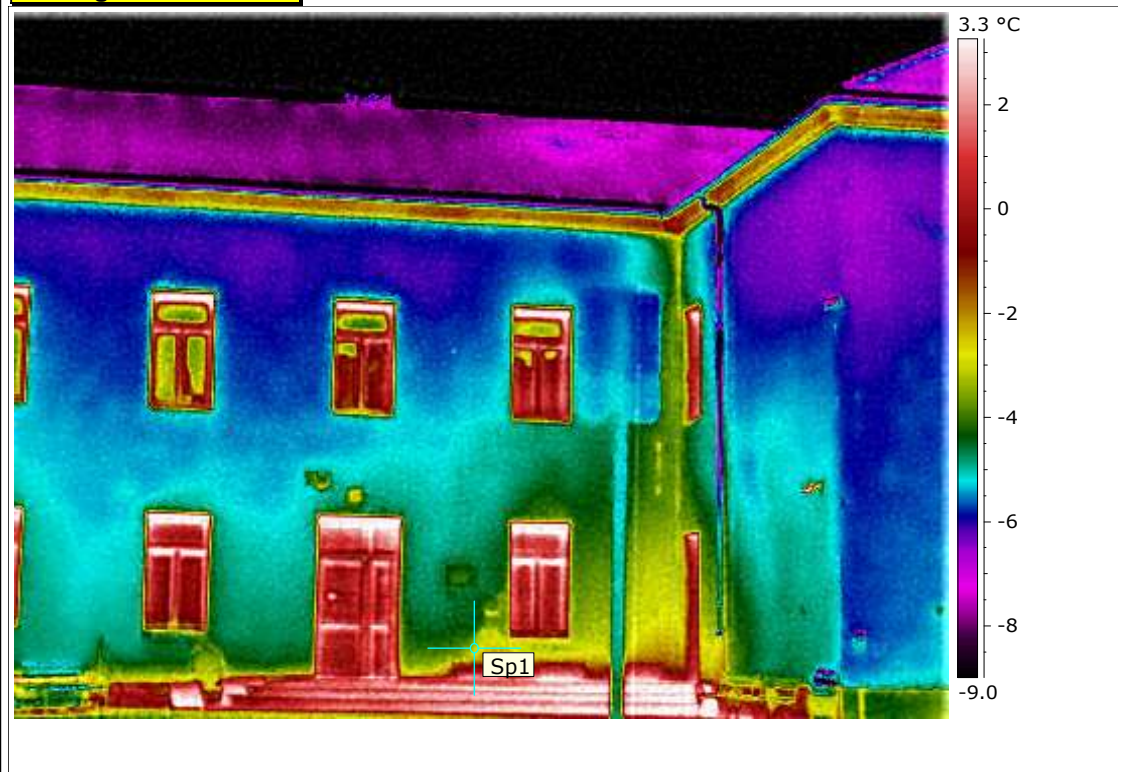
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:15:20
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-3.1 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 25. Vanjske stepenice Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 26. Termogram vanjskih stepenica Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađa autora (16.1.2024.)]

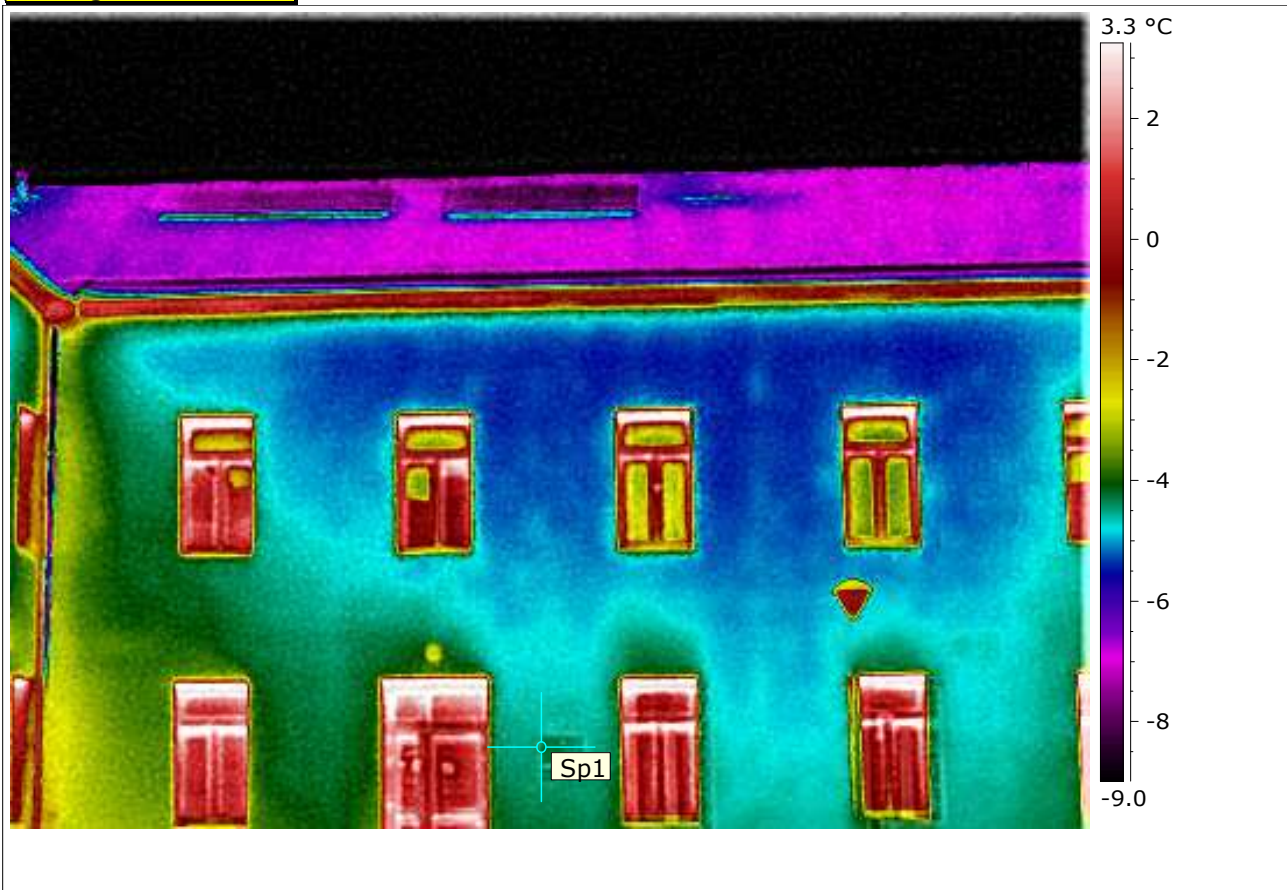
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:16:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 27. Betonski vijenac Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 28. Termogram betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Treća vrsta toplinskih mostova bila je uvjetovana promjenom materijala, uočena na području cokla linijskog oblika. Razlog njihovog nastanka je smanjenost toplinske izolacije u području cokla, što se može primjetiti na slikama 29. i 30.

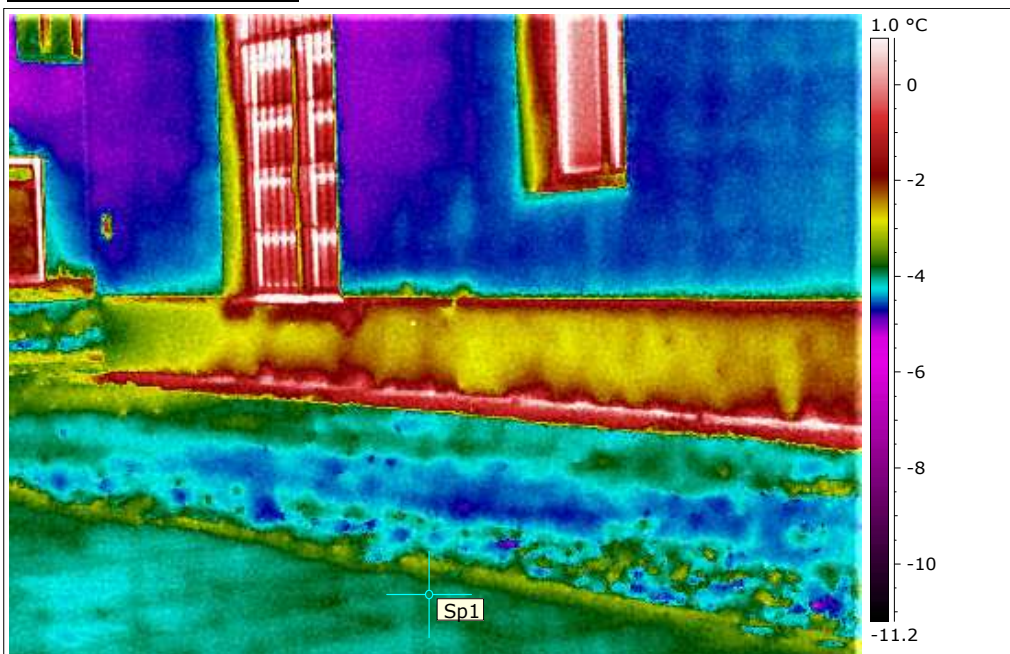
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:16:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 29. Cokl Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrada autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 30. Termogram cokla Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrada autora (16.1.2024.)]

6.2. Snimanje vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever UNIN 1 – unutra

Kod drugog djela mjerenja vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever unutra, također su uočene sve vrste toplinskih mostova. Prvi slučaj vidljiv je u području oko prozora i vrata, što označava konvekcijski toplinski most linijskog oblika. Isti takvi uočeni su i prilikom mjerenja izvana.

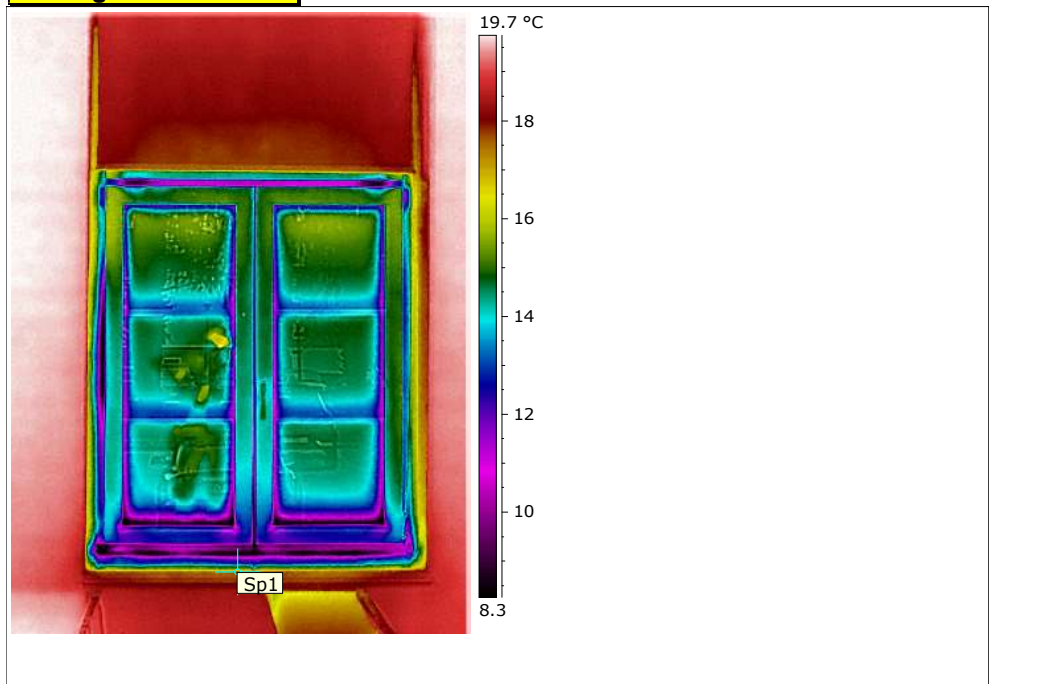
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:16:11
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 31. Unutarnji pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađeno autorom (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 32. Termogram unutarnjeg pogleda na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrađeno autorom (16.1.2024.)]

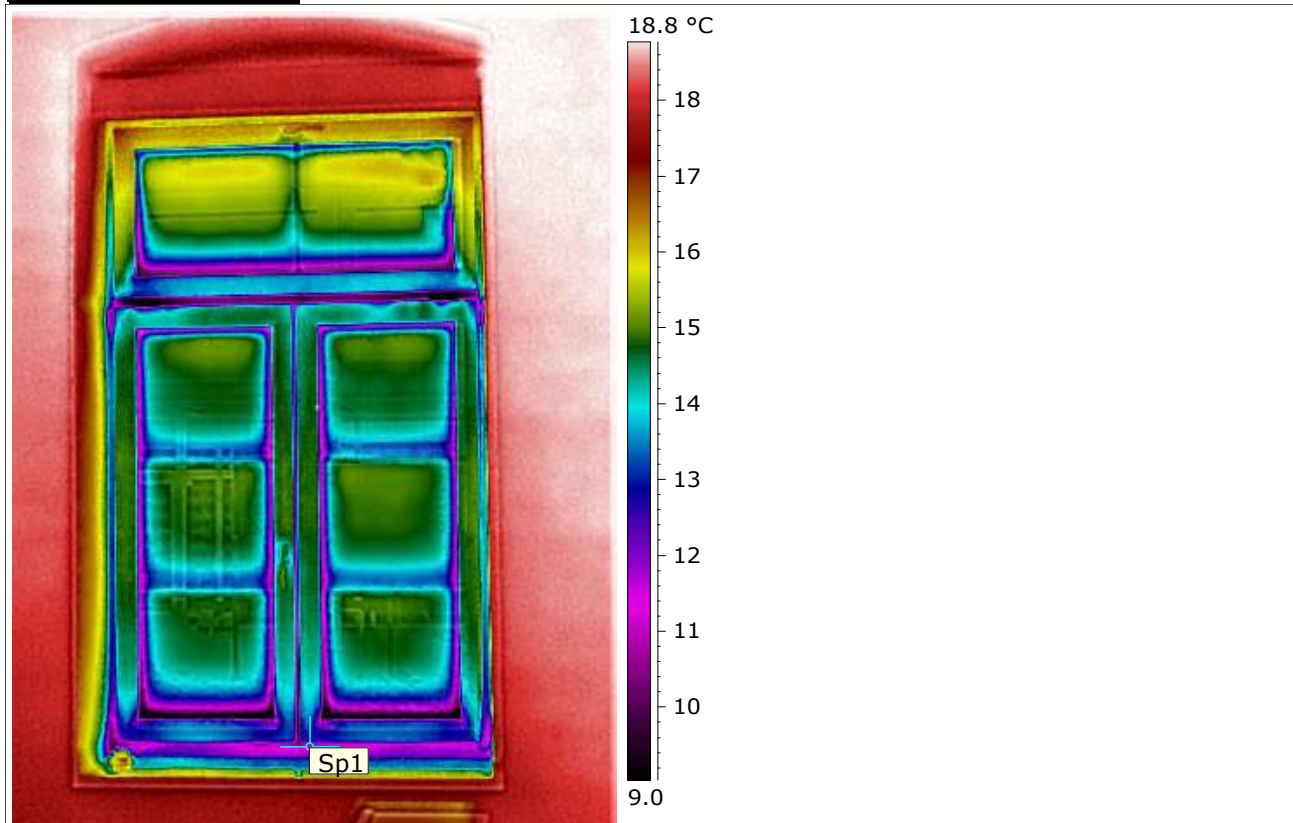
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:18:12
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 33. Unutarnji pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađena autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 34. Termogram unutarnjeg pogleda na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađena autora (16.1.2024.)]

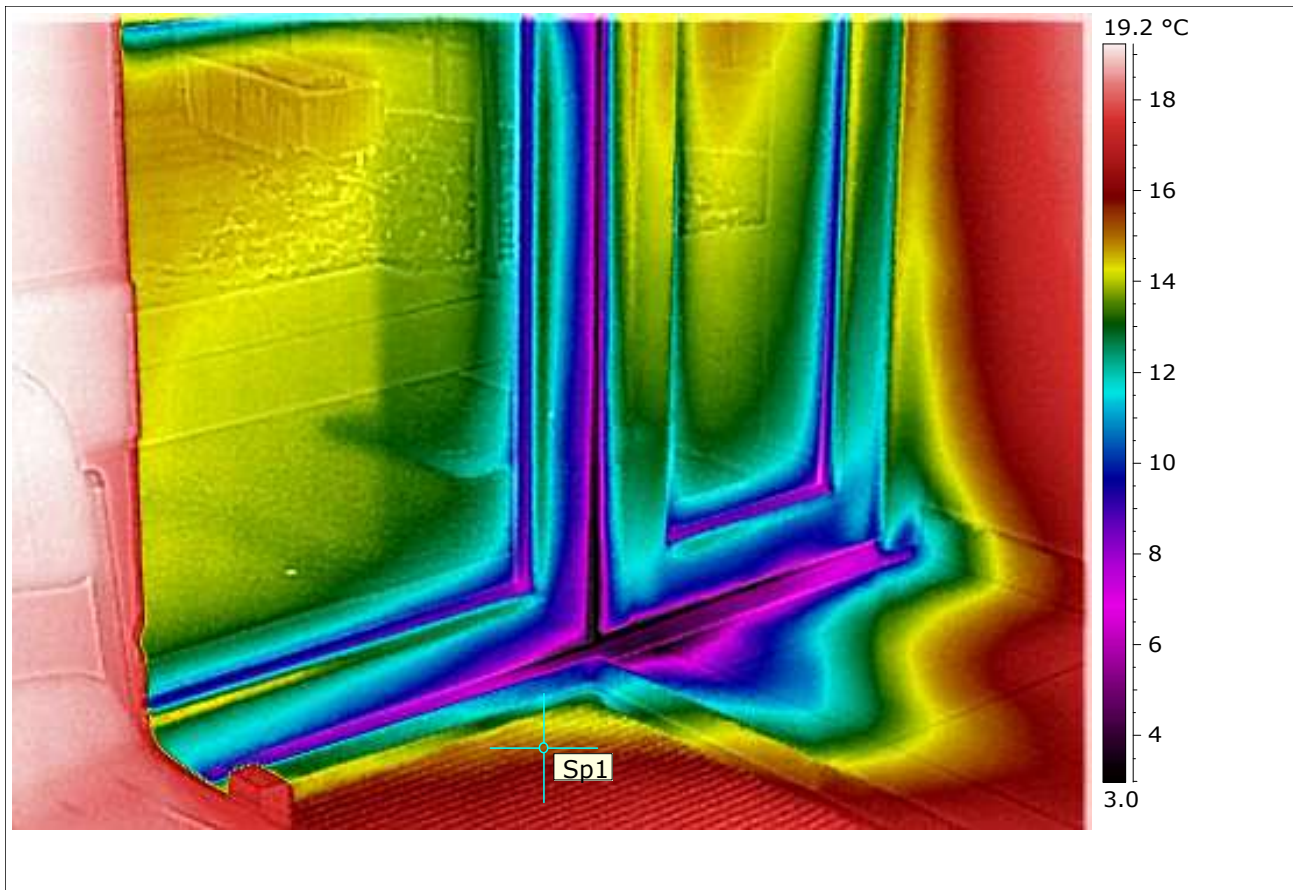
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:22:12
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 35. Unutarnji pogled na ulazna vrata Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 36. Termogram unutarnjeg pogleda na ulazna vrata Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

Sljedeći slučaj toplinskih mostova mjerenjem iznutra su geometrijski toplinski mostovi, linijskog i trodimenzionalnog oblika koji se javljaju na kutevima prostorija, točnije na spojevima vanjskih zidova. Zbog njegove prirode nastanka ovakav oblik toplinskih mostova se ne uočava mjerenjem izvana, ali je jasno vidljiv mjerenjem unutar prostora.

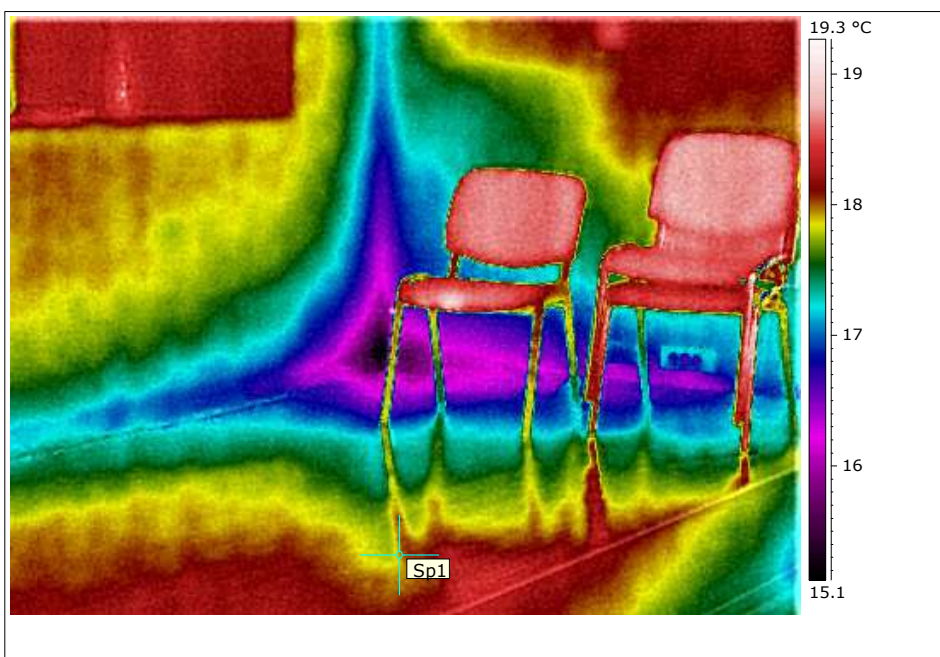
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:19:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

*Slika 37. Unutarnji pogled na spoj zida i poda Sveučilišta Sjever (UNIN 1)
[obrađa autora (16.1.2024.)]*

Termogram 16.1.2024.



*Slika 38. Termogram unutarnjeg pogleda na spoj zida i poda Sveučilišta Sjever (UNIN 1)
[obrađa autora (16.1.2024.)]*

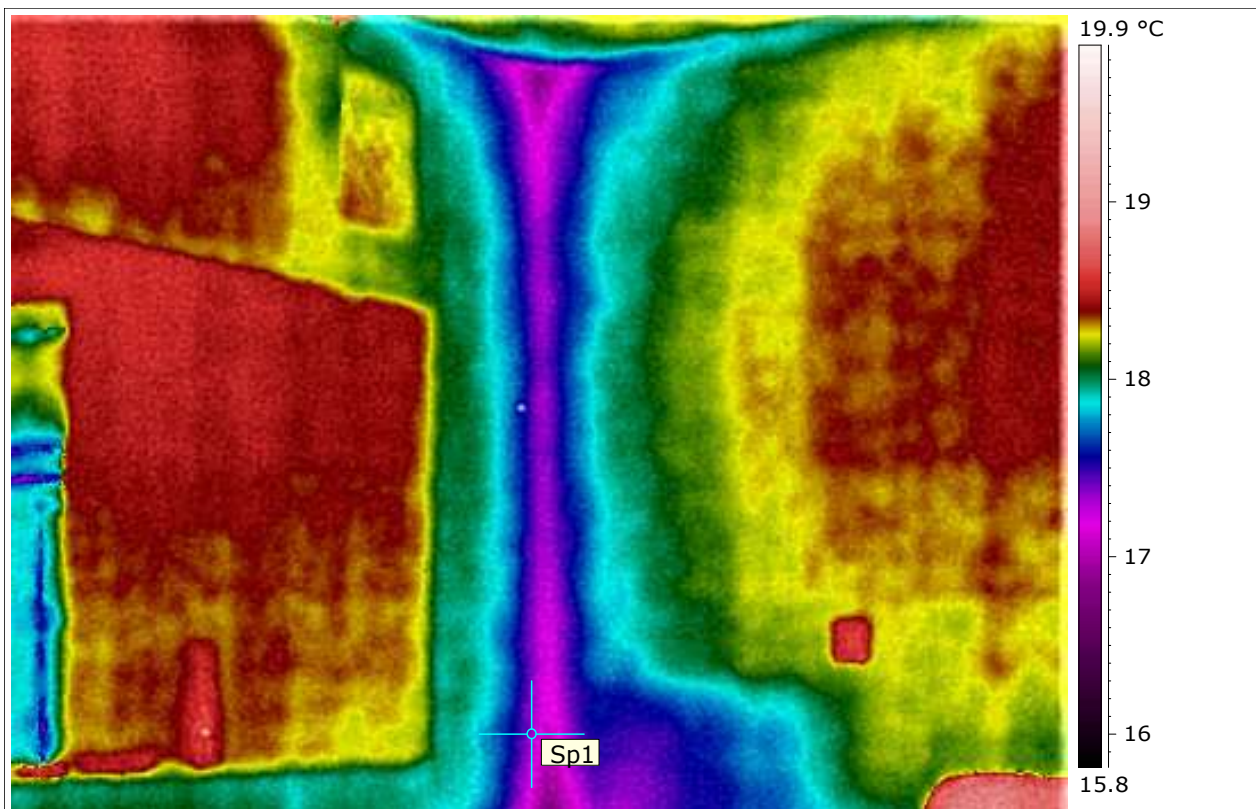
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:20:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 39. Unutarnji pogled na spoj dva zida Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 40. Termogram unutarnjeg pogleda na spoj dva zida Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

Treća vrsta toplinskih mostova promatrana iznutra su konstrukcijski toplinski mostovi linijskog oblika. Javljaju se na prvom katu, to jest na stropu istog koji graniči s negrijanim potkrovljem. Vidljive su nosive grede i slabije izveden detalj toplinske izolacije oko njih te betonski vijenac koji okružuje cijeli opseg objekta.

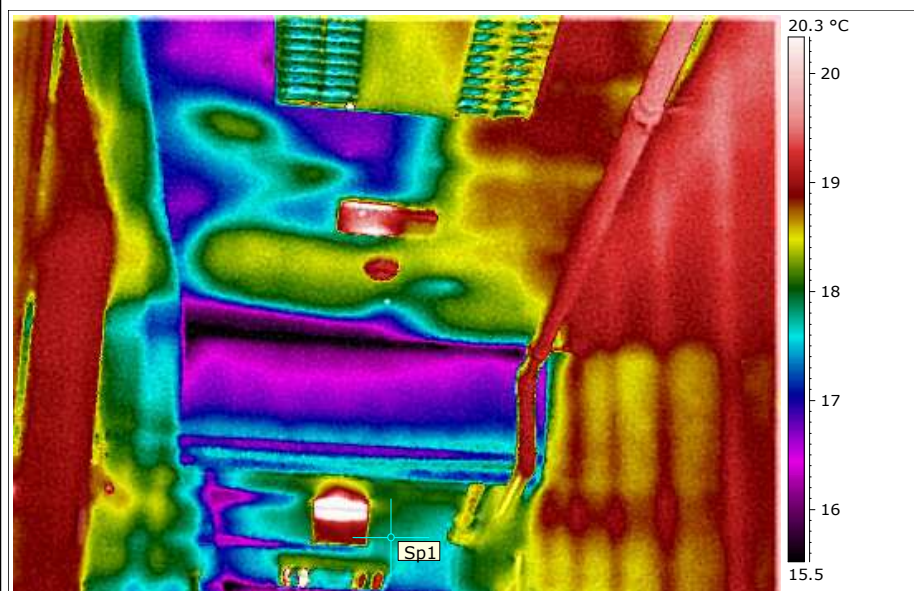
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:32:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 41. Unutarnji pogled na nosivu gredu potkrovlja Sveučilišta Sjever (UNIN 1)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 42. Termogram unutarnjeg pogleda na gredu potkrovlja Sveučilišta Sjever (UNIN 1)
[obrađa autora (16.1.2024.)]

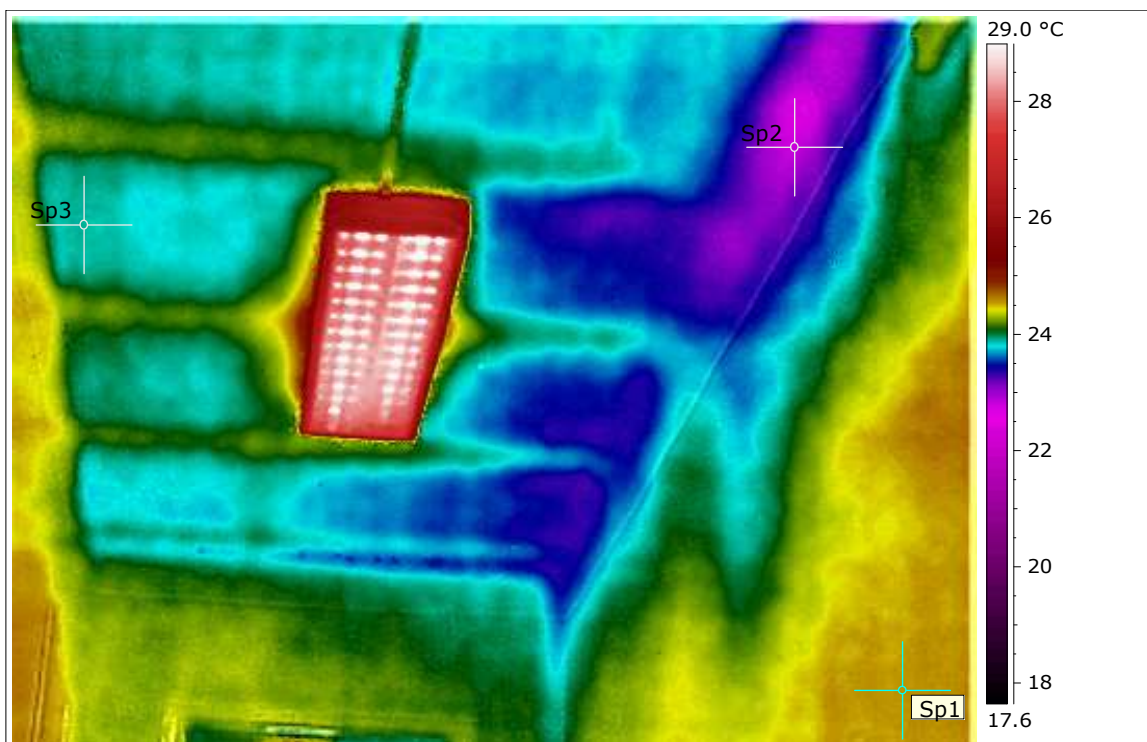
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:32:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

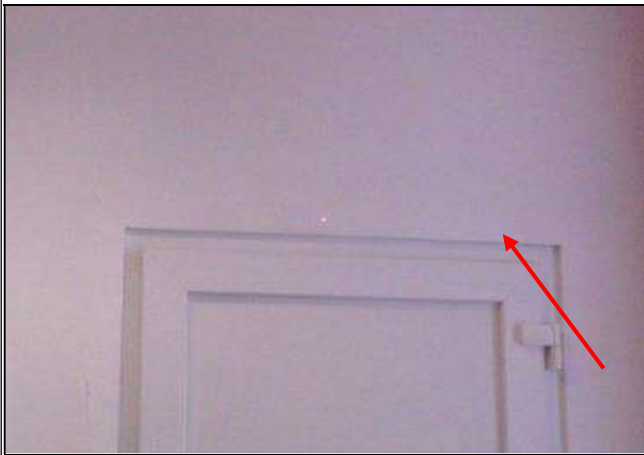
*Slika 43. Unutarnji pogled na potkrovlje Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrada autora (16.1.2024.)]*

Termogram 16.1.2024.



*Slika 44. Termogram unutarnjeg pogleda na potkrovlje Sveučilišta Sjever (UNIN I)
[obrada autora (16.1.2024.)]*

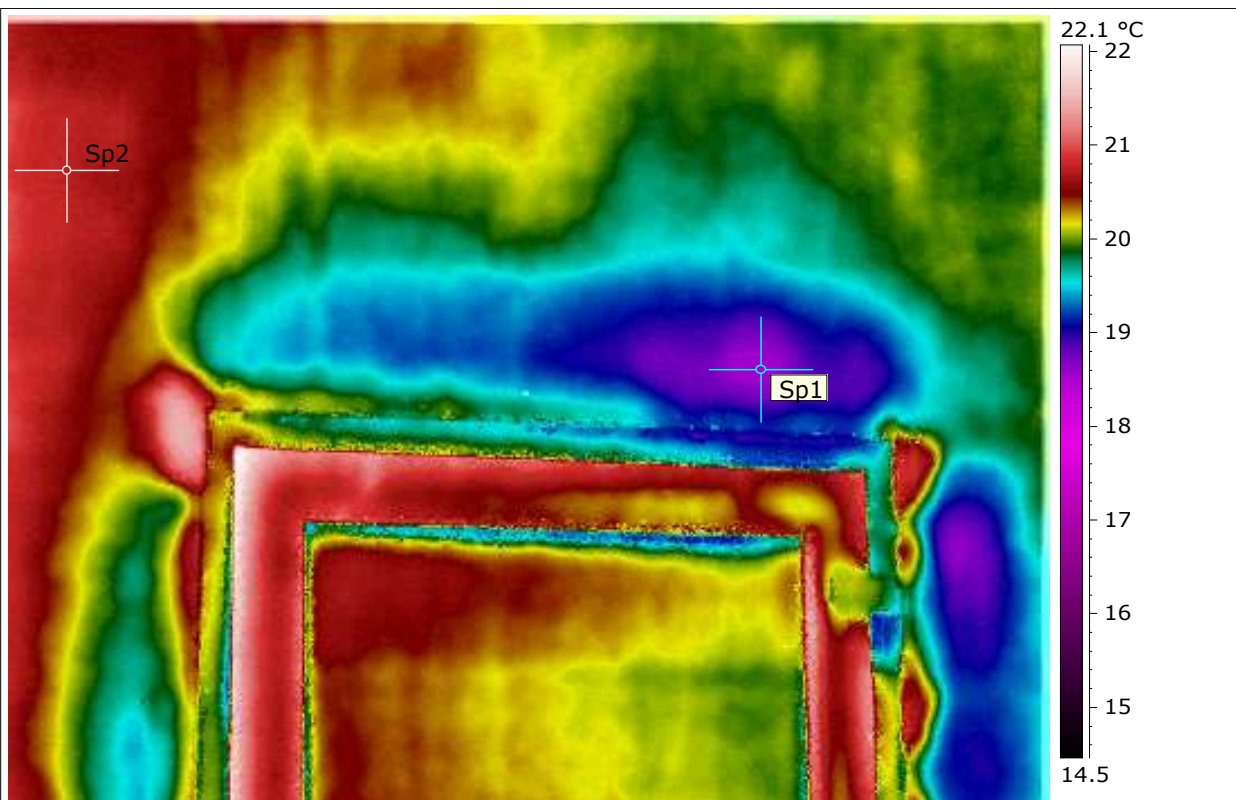
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:32:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 45. Unutarnji pogled na vrata Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 46. Termogram unutarnjeg pogleda navrata Sveučilišta Sjever (UNIN I) [obrađa autora (16.1.2024.)]

6.3. Snimanje vanjske ovojnice Sveučiliše Sjever UNIN 2 – izvana

Vršeno mjerenje toplinskih gubitaka i toplinskih mostva na objektu Sveučilišta Sjever UNIN 2 izvana objekta ukazuje na slične nedostatke koji se pojavljuju i na objektu UNIN 1. Predpostavljajući da su korišteni isti materijali, može se zaključiti da će i nedostaci biti istog intenziteta. S obzirom da pojava toplinskih mostova ovisi o projektiranim detaljima i načinu ugradnji materijala.

Ukoliko je izvođač isti na oba objekta možemo očekivati da će ugradnja biti jednaka. Izdvajajući pojedine toplinske mostove po njihovoj pojavi možemo uočiti konveksijske toplinske mostove linijskog oblika u području otvora na objektu, kao što su prozori i vrata (prikazano na slici 47. i 48.). Sljedeća vrsta uočenih toplinskih mostova bili su konstrukcijski toplinski mostovi linijskog oblika, koji se javljaju na području stepenica (slike 49. i 50.) i betonskog vijenca krova (slike 51. i 52.).

Treća vrsta toplinskih mostova uvjetovana je promjenom materijala, uočena na području cokla koji su linijskog oblika (slike 53. i 54.) Zbog slične izvedbe građevinskih objekta očekivano je da će se ti nedostaci pojaviti na oba.

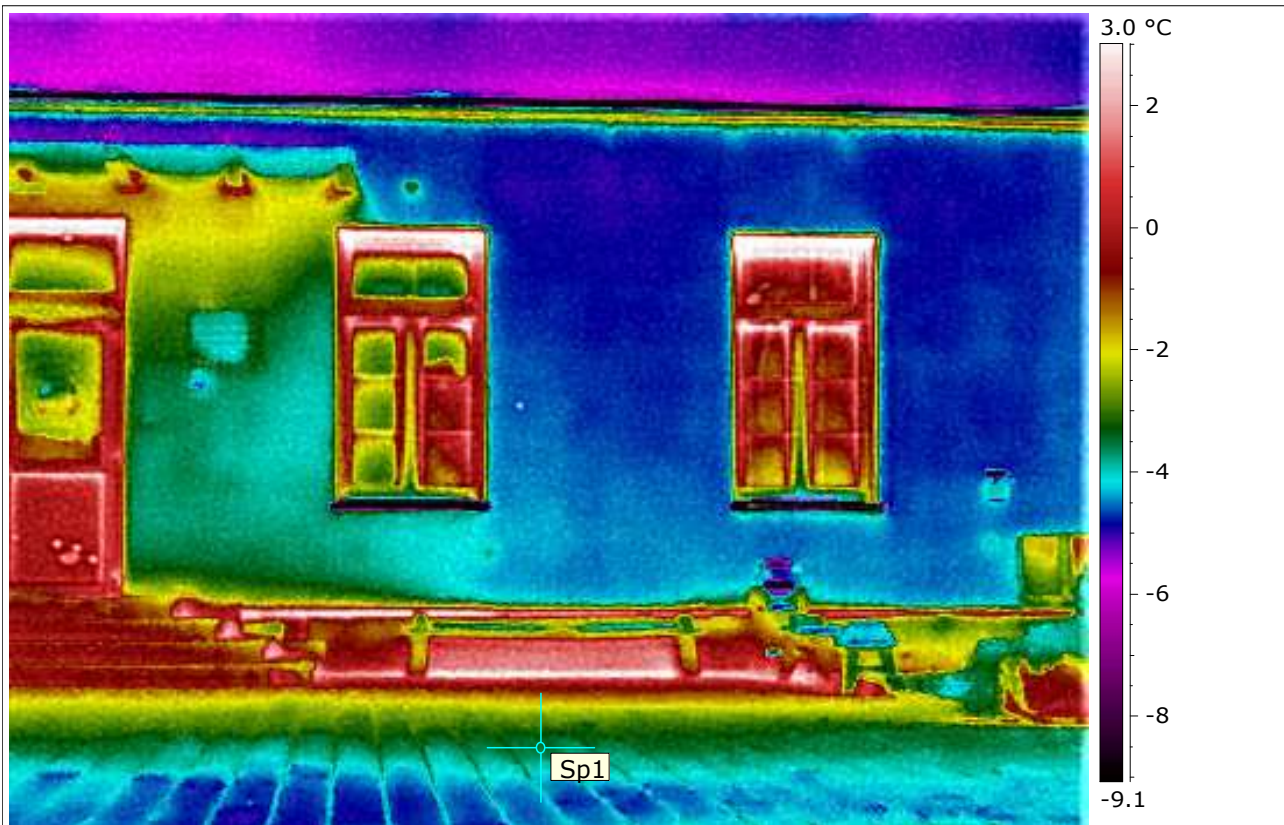
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:02:19
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 47. Pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 48. Termogram otvora Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

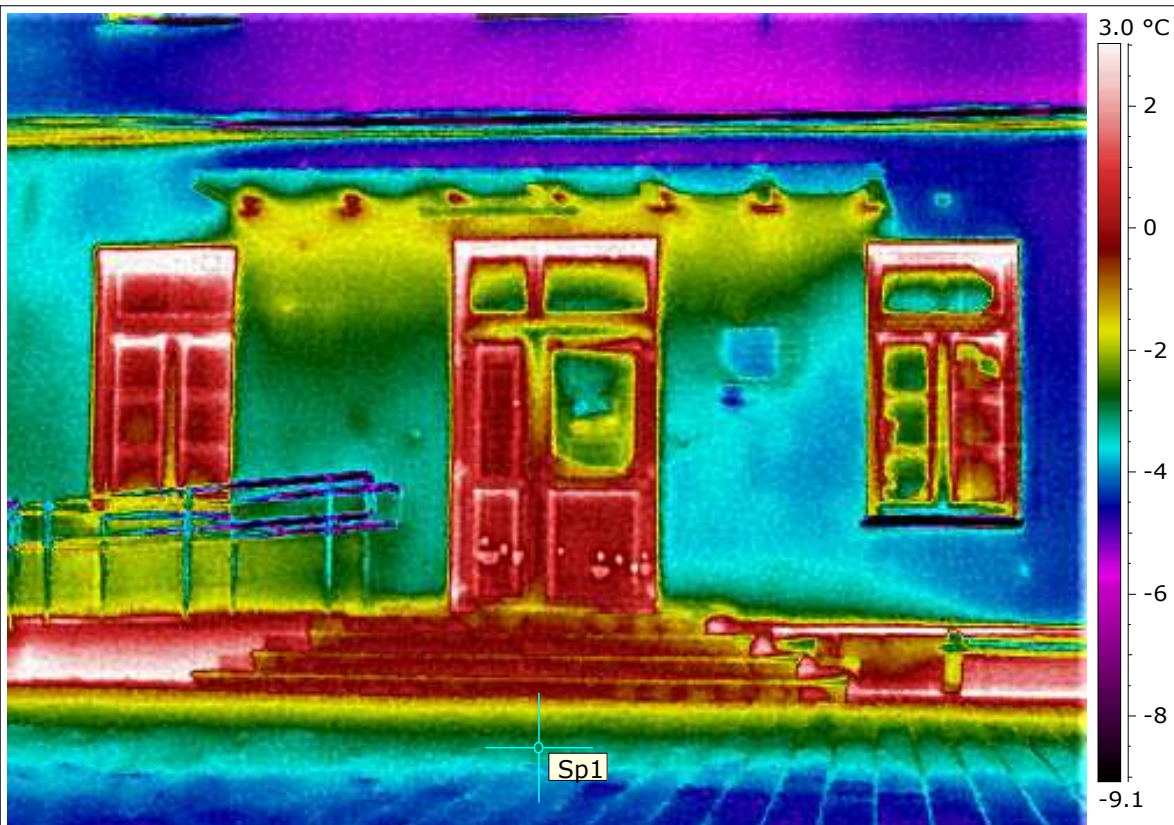
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:06:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 49. Pogled na stepenice Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 50. Termogram stepenica Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

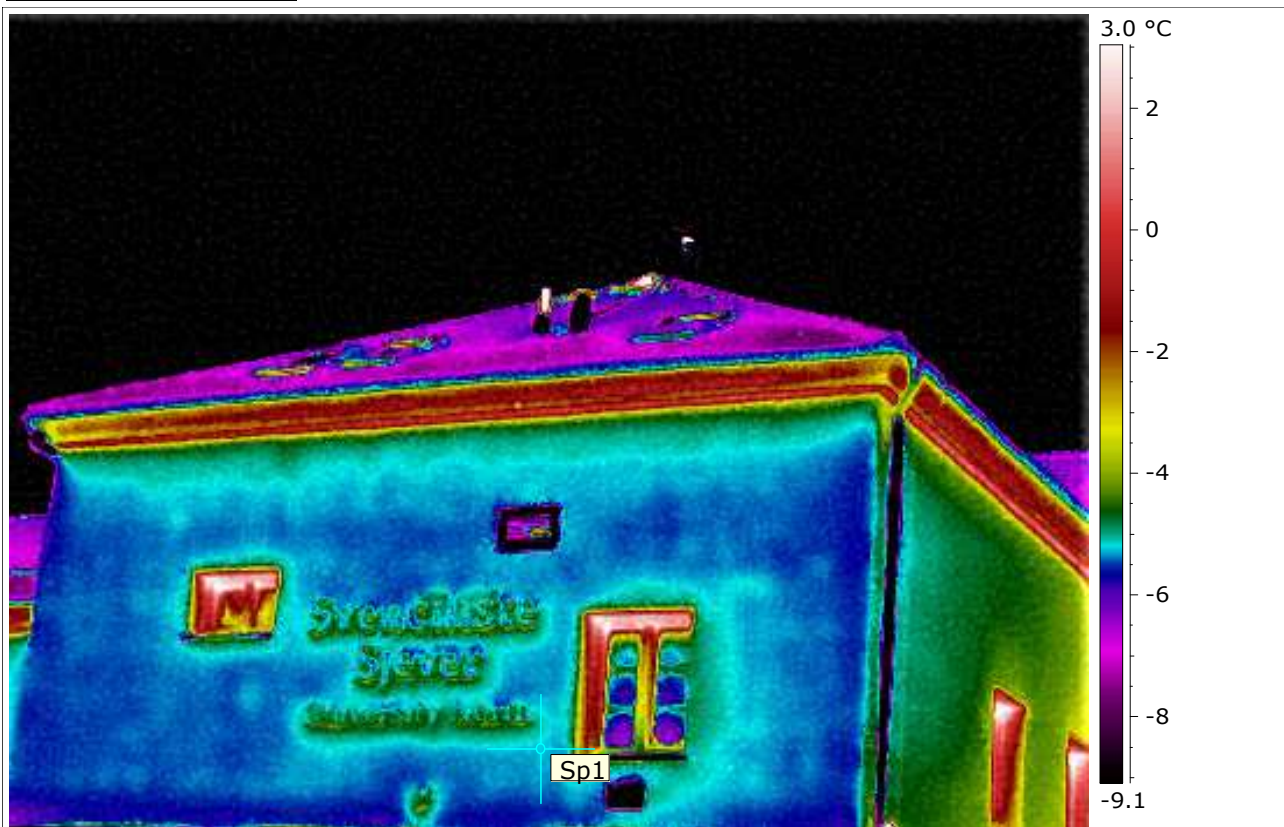
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:01:10
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 51. Pogled na betonski vijenac Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 52. Termogram betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

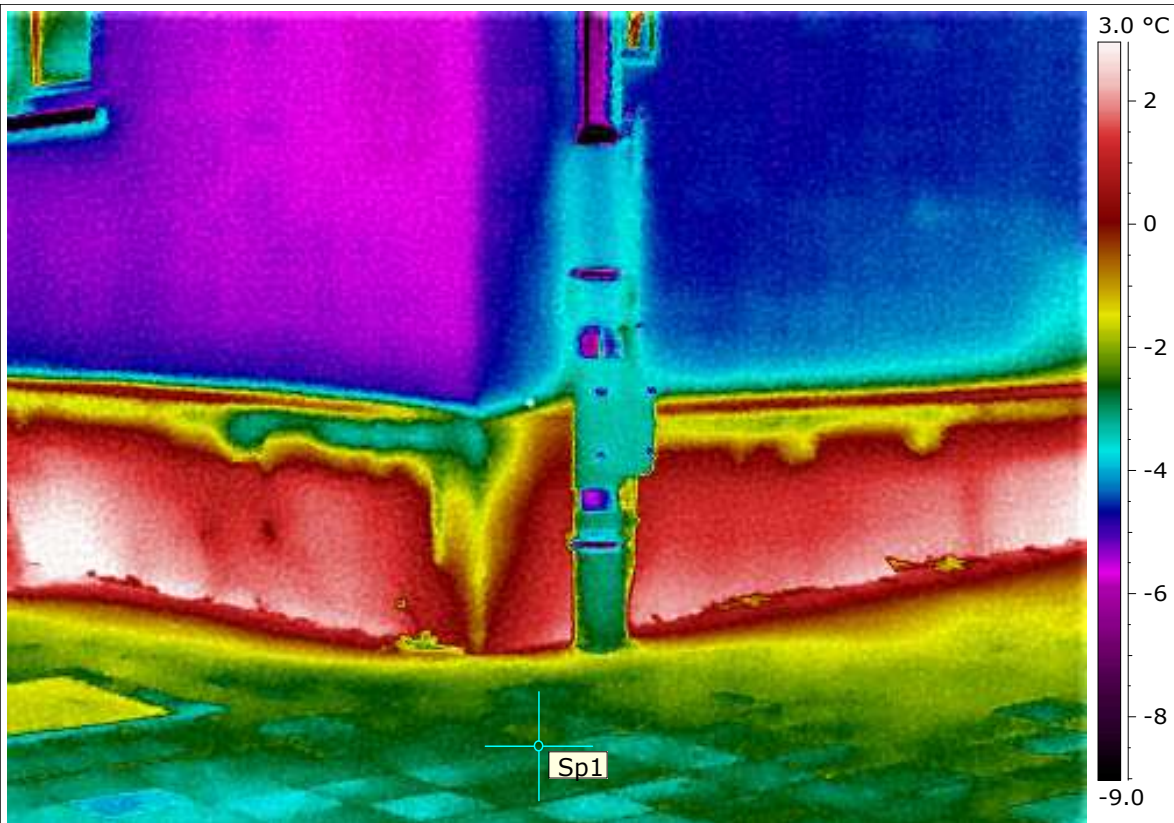
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:05:12
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 53. Pogled na cokol Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 54. Termogram cokla Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

6.4. Snimanje vanjske ovojnice Sveučiliše Sjever UNIN 2 – iznutra

Mjereći toplinske gubitke i toplinske mostve na objektu Sveučilišta Sjever UNIN 2 unutar objekta očuvaju se slični nedostaci koji se pojavljuju i na objektu UNIN 1. Prvi slučaj vidljiv u području prozora (prikazano na slikama 55. i 56.) i vrata (prikazano na slikama 57. i 58.), što označava konvekcijski toplinski most linijskog oblika. Isti takvi uočeni su prilikom mjerenja izvana, što je očekivani rezultat jer pojave koje se javljaju izvana kao topla mjesta jednako tako iznutra se pojavljuju kao hladna mjesta. Zbog efekta povećanog toka toplinske energije kroz te detalje građevinskog objekta.

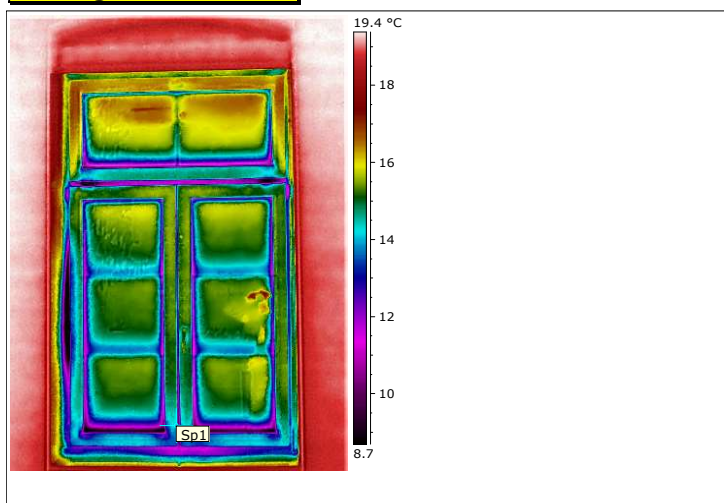
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:30:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 55. Pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 56. Termogram prozora Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

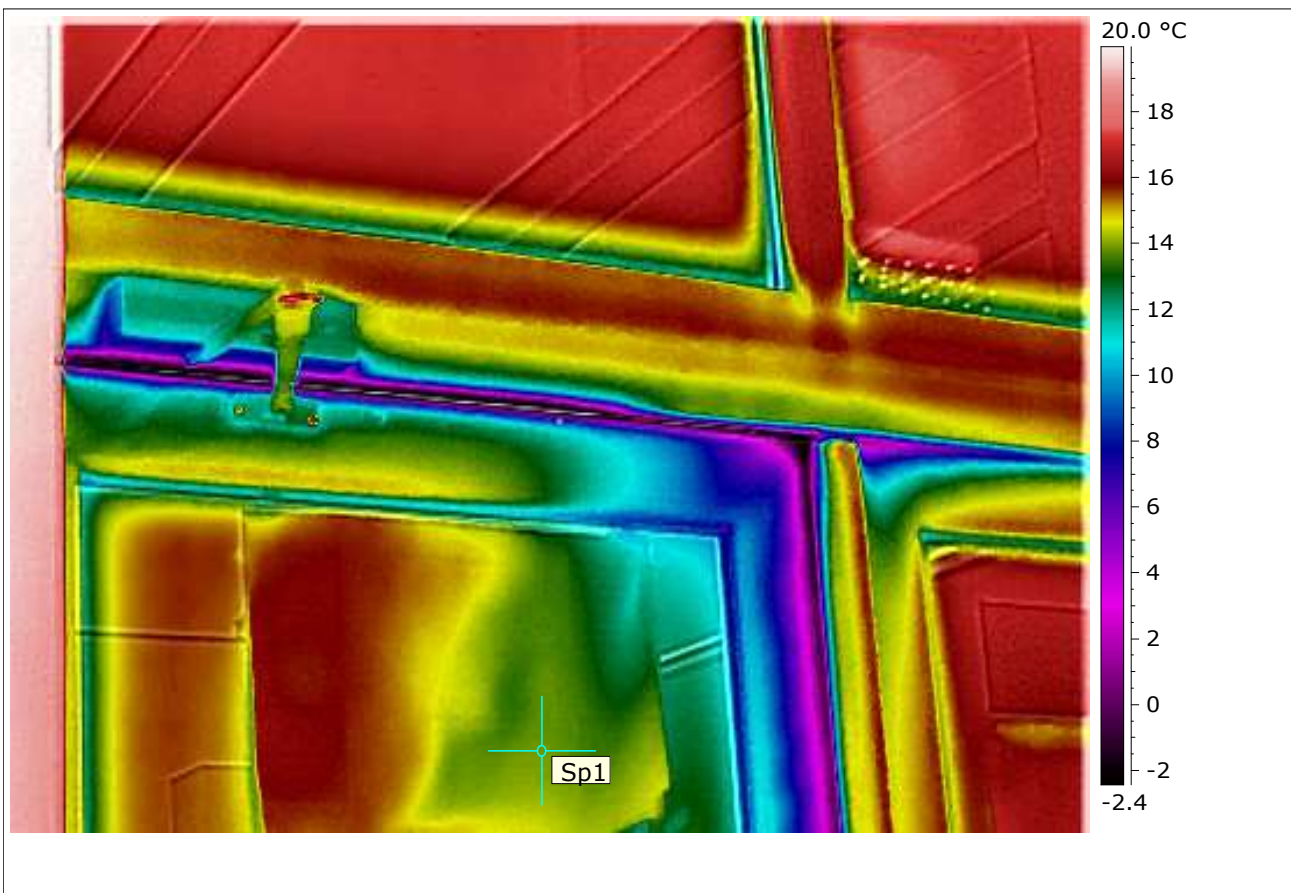
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:30:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 57. Pogled na vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 58. Termogram vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Sljedeći slučaj toplinskih mostova mjerenjem iznutra jest geometrijski toplinski mostovi, linijskog i trodimenzionalnog oblika koji se javljaju na kutevima prostorija, točnije na spojevima vanjskih zidova (prikazani na slikama 59. i 60.). Zbog njegove prirode nastanka ovakav oblik toplinskih mostova se ne uočava mjerenjem izvana i u objektima ih je gotovo nemoguće izbjeći.

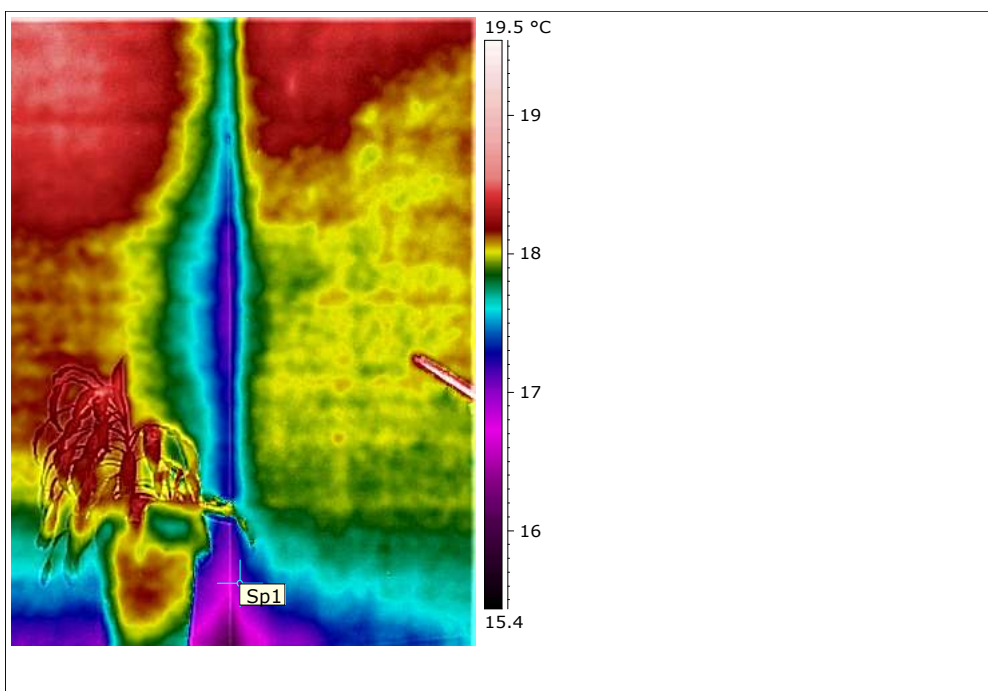
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:30:11
Temperatura okoline	-5.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 59. Pogled na vanjski zid Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 60. Termogram vanjskog zida Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

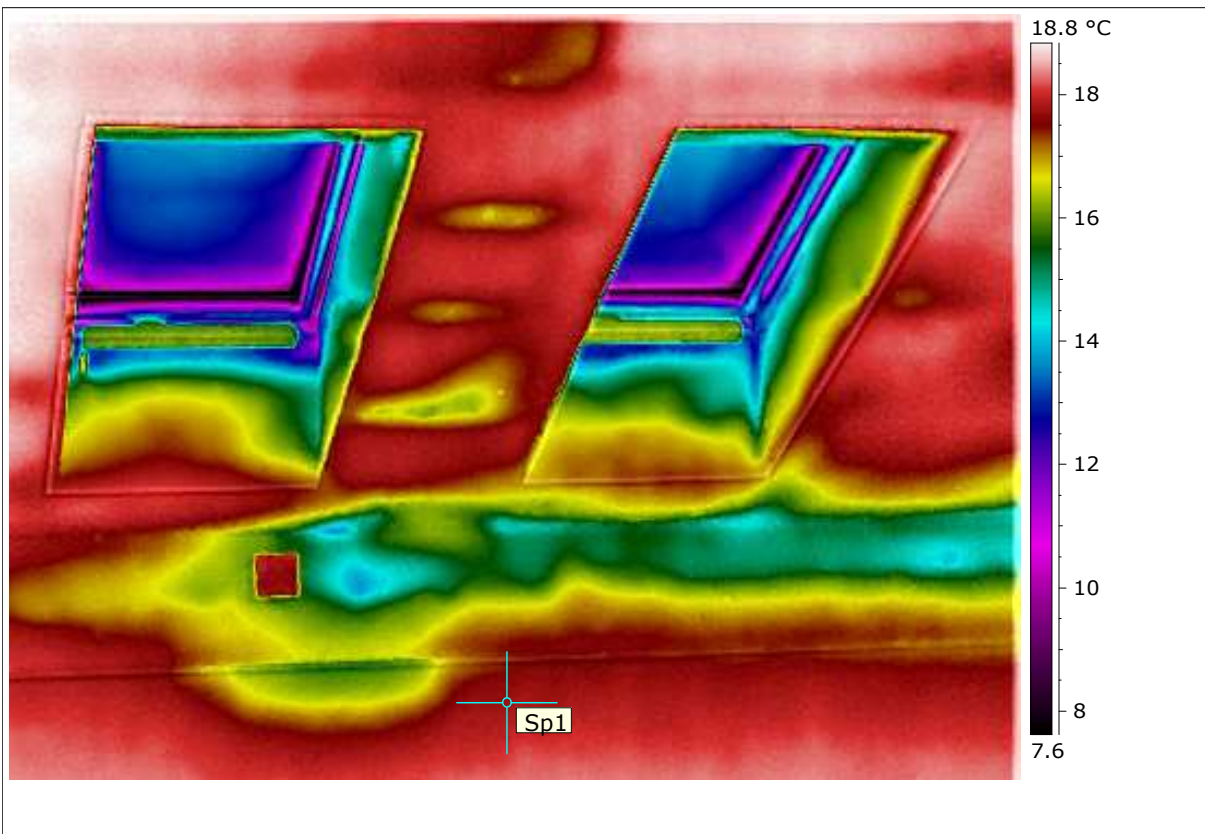
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:35:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 61. Unutarnji pogled na dio betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 62. Termogram unutarnjeg pogleda na dio betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Sljedeća vrsta toplinskih mostova koji su mjereni uvjetovani su promjenom materijala. Javlju se na stropu prvog kata koji je granica grijanog i negrijanog prostora objekta. Trodimenzionalnog oblika su. Nedostatak je izrazito vidljiv, a uzrok njemu je toplinska izloacija izvedena s povećim nedostacima. Na nekim površinama toplinska izolacija nije ni ugrađena, što je lako uočljivo na termogramima, koji prikazuju hladna područja.

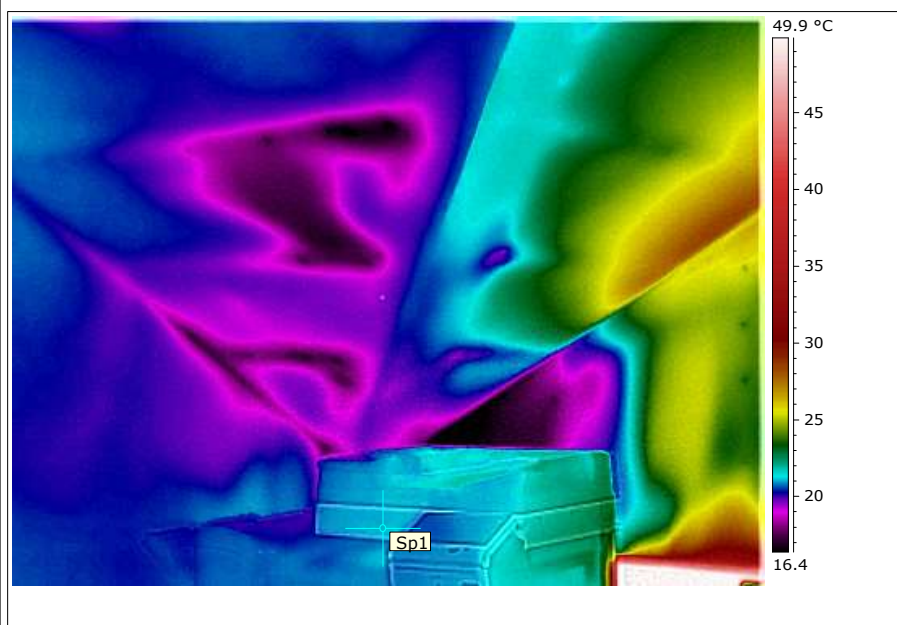
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:29:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 63. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 64. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrađa autora (16.1.2024.)]

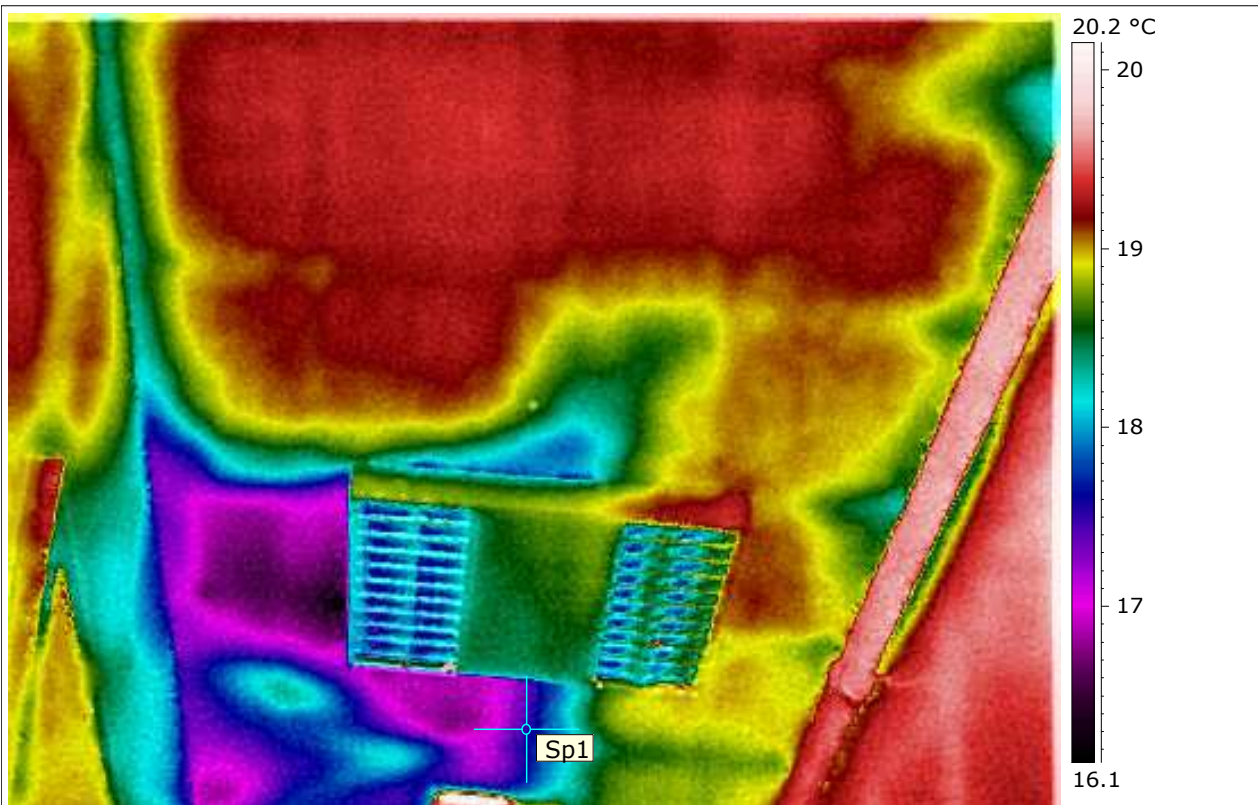
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:27:13
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 65. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 66. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

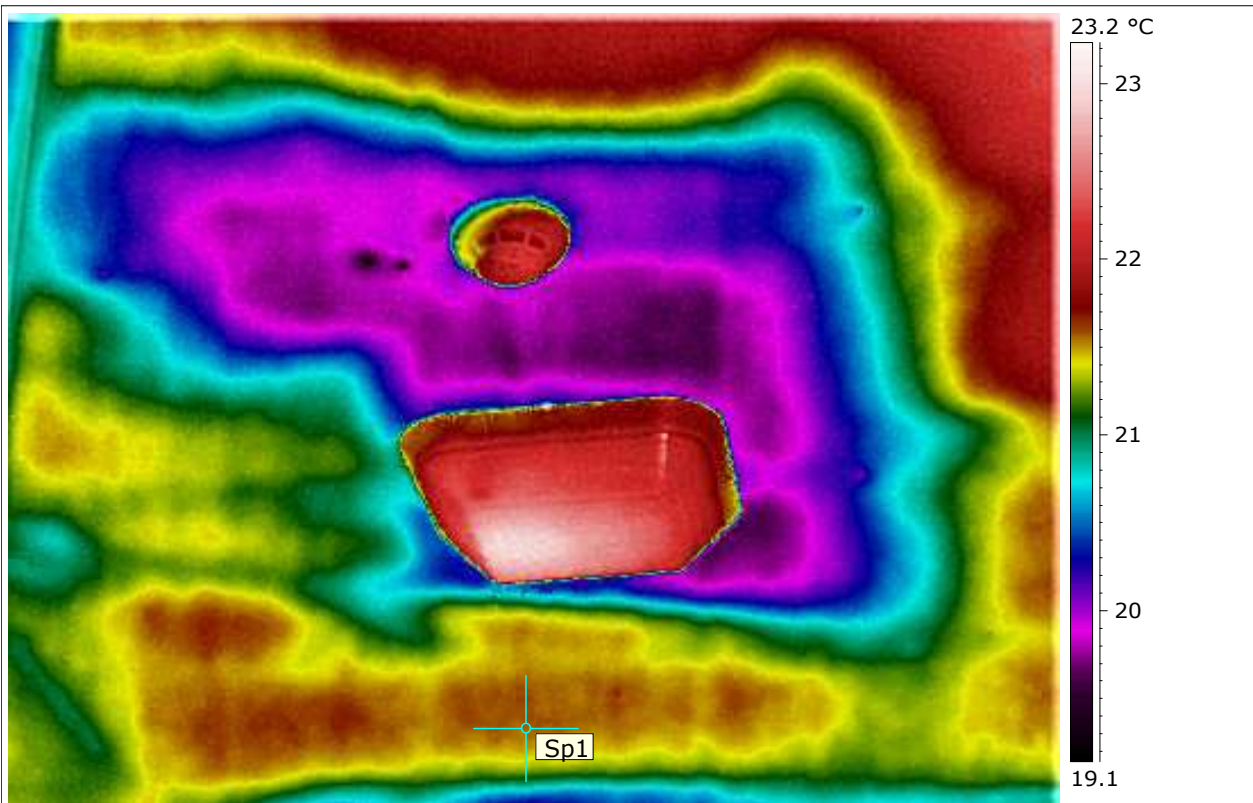
Slika mjesta



Datum	16.1.2024.
Vrijeme	7:37:15
Temperatura okoline	20.0 °C
Sp1 Temperatura	-4.3 °C
Emisivnost	0.95
Vlažnost zraka	55.0 %

Slika 67. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

Termogram 16.1.2024.



Slika 68. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]

7. Zaključak

U radu su prikazani počeci razvoja infracrvene termografije, osnovne zakonitosti na kojima se temelji trenutno stanje tehnologije koje se konstantno mijenja i tržištu nudi kvalitetniji proizvod s višim stupnjem specijalizirane primjene te je i opisan sam proces mjerenja na temelju kojeg su prikazani rezultati toplinskih mostova.

Rezultati koji su dobiveni sastoje se od konvekcijskih linijskih toplinskih mostova koji se pojavljuju na svim otvorima objekta oba dvije zgrade Sveučilišta Sjever. Drugim riječima, radi se o svim snimanim vratima i prozorima. Na području cijelog cokla i stropa javljaju se toplinski mostovi uzrokovani promjenom materijala, dok se na površini betonske istočke i stepenice javljaju konstrukcijski linijski toplinski mostovi. Nastanak svih tih nedostataka mogao je biti spriječen kvalitetnijom ugradnjom stolarije i pravilnim projektiranjem detalja toplinskog omotača zgrade, da bi se sačuvala njegova cjelina. Nedostaci su bili izraženiji prije energetske obnove te su danas njihovi utjecaji minimalizirani na prihvatljivu razinu. Kako je ljudima bitno u kakvom okruženju provode vlastito vrijeme, standard života definiran je objektom u kojem se nalaze. Nepotrebni ili štetni gubici energije smanjuju taj standard i doprinose nezdravom ozračju. Proučavajući literaturu i stvarajući iskustva u primjeni infracrvene termografije u praksi, mogu se shvatiti prednosti ovakve metode ispitivanja i kontrole svih objekata. Isto tako, brzi napredak tehnologije u posljednje vrijeme nije zaobišao navedene postupke mjerenja, stoga izvrsnu alternativu nudi upravo infracrvena tehnologija, koja je od uvelike pomoći kod kontrole i održavanja objekta, iz razloga što termografija daje apsolutnu i objektivnu sliku stanja objekta. S obzirom na zahtjeve današnjeg građevinskog sektora, ovakva tehnologija ima veliku primjenu te se pokazuje ispravnom za uočavanje i analizu toplinskih mostova i drugih toplinskih gubitaka objekta dajući time potrebne informacije koje omogućuju izbor najboljeg načina za sanaciju problema.

Korištenje infracrvene termografije u suvremenom dobu dokazano pozitivno doprinosi kvalitetnijem održavanju objekta, kao i zdravijem okruženju za njihove korisnike. Poboľšanja koja nastaju sanacijom objekta, to jest smanjenjem utjecaja toplinskih mostova, ujedno vode ostvarivanju zahtjeva i ciljeva Europske unije.

8. Literatura

- [1] Savić, S, Boras, I. (2009): „Termografija u zgradarstvu – Primjeri detekcije različitih tipova grešaka“, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb
- [2] Pašagić, V. (2008): “Primjena termografije u građevinarstvu“, Zagreb, Brodarski institut
- [3] URL 1: <https://www.huict.hr/index.php?page=whyict>
- [4] Andrassy, M., Boras, I., Švaić, Š. (2008): „Osnove termografije s primjenom“, Kigen d.o.o.
- [5] Barbarić, Ž. (2014): „Termovizija“, Akademska misao, Beograd
- [7] Gaussorgues, I. (1994): “Infrared Thermography: Springer Netherland” 1994
- [8] H. Glavaš, T. Barić, M. Stojkov (2017): “Primjena infracrvene termografije u tehničkim sustavima”, Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Osijek
- [9] Raymond A. Serway, John W. Jewett (2013): “Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics”, Brooks/Cole, Boston
- [10] Veliki, T. (2020): Predavanja s Fizika zgrade, Sveučilište Sjever, Varaždin
- [11] Zbašnik Senegačnik, M. (2009): “Pasivna kuća”, Zagreb, Sun Arh d.o.o.
- [12] B. Milovanović (2018): “Infracrvena termografija”, Zagreb, Građevinski fakultet u Zagrebu

9. Popis slika

<i>Slika 1. Snimanje infracrvenom kamerom</i>	2
izvor: [1] https://www.flickr.com/photos/walmartcorporate/5391510878 (preuzeto: 10. srpanj 2024.)	
<i>Slika 2. Prvi infracrveni uređaj</i>	4
izvor: [2] https://speedir.com/blog/the-history-of-thermal-imaging-cameras/ (preuzeto: 10. srpanj 2024.)	
<i>Slika 3. Aktivna termografija</i>	5
izvor: [3] https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/a985a697-8949-410e-af32-bfd69b605dd6/kvanti-elektromagnetskog-zracenja.html (preuzeto 10 srpanj 2024.)	
<i>Slika 4. Pasivna termografija</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	6
<i>Slika 5. Elektromagnetski spektar toplinskog zračenja</i>	7
izvor: [4] https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denj (preuzeto: 11. srpanj 2024.)	
<i>Slika 6. Idealno crno tijelo</i>	8
izvor: [5] https://glossary.periodni.com/preuzimanje_slike.php?name=zracenje_crnog_tijela.png (preuzeto: 12. srpnja 2024.)	
<i>Slika 7. Krivulje Planckovog zakona zračenja crnog tijela</i>	9
izvor: [6] https://enciklopedija.hr/clanak/planck-max (preuzeto: 12. srpnja 2024.)	
<i>Slika 8. Konvekcijski toplinski mostovi</i> [obrada autora (16.1.2024.)]	13
<i>Slika 9. Geometrijski toplinski mostovi</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	14
<i>Slika 10. Prikaz toplinskog toka kroz geometrijske toplinske mostove</i>	14
izvor: [7] https://www.arhitekti-hka.hr/files/file/pdf/baza-proizvoda/ytong/Toplinski_mostovi.pdf (preuzeto 11. srpanj 2024.)	
<i>Slika 11. Konstrukcijski toplinski mostovi</i> [obrada autora (16.1.2024.)]	15
<i>Slika 12. Prikaz toplinskog toka kroz konstrukcijske toplinske mostove balkona</i> [7]	16
<i>Slika 13. Prikaz toplinskog toka kroz konstrukcijske toplinske mostove nadvoja</i> [7].....	16
<i>Slika 14. Toplinski mostovi uvjetovni materijalom</i> [obrada autora (16.1.2024.)]	17
<i>Slika 15. Prikaz toplinskog toka kroz toplinske mostove uvjetovane materijalom</i> [7]	17
<i>Slika 16. Točkasti toplinski mostovi</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	18
<i>Slika 17. Linijski i trodimenzionalni toplinski mostovi</i> [obrada autora (16.1.2024.)]	18
<i>Slika 18. Plijesan - posljedica toplinskih mostova</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	20
<i>Slika 19. Plijesan - posljedica toplinskih mostova</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	20
<i>Slika 20. FLIR MR176 termometar i njegove specifikacije</i>	22
izvor: [8] izvor: https://www.flir.com/ (preuzeto: 15. srpanj 2024.)	
<i>Slika 21. FLIR E96 termografska kamera i njezine specifikacije</i> [8].....	22
<i>Slika 22 Sveučilište Sjever – UNIN 1 i UNIN 2</i>	23
izvor: [9] https://www.unin.hr/2018/10/ (preuzeto: 19. srpanj 2024.)	
<i>Slika 23. Vanjska ovojnica Sveučilišta Sjever (UNIN 1)</i> [obrada autora (16.1.2024.)].....	24

<i>Slika 24. Termogram vanjske ovojnice Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	25
<i>Slika 25. Vanjske stepenice Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	26
<i>Slika 26. Termogram vanjskih stepenica Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	26
<i>Slika 27. Betonski vijenac Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	27
<i>Slika 28. Termogram betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	27
<i>Slika 29. Cokl Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	28
<i>Slika 30. Termogram cokla Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	28
<i>Slika 31. Unutarnji pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	29
<i>Slika 32. Termogram unutarnjeg pogleda na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	29
<i>Slika 33. Unutarnji pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	30
<i>Slika 34. Termogram unutarnjeg pogleda na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	30
<i>Slika 35. Unutarnji pogled na ulazna vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	31
<i>Slika 36. Termogram unutarnjeg pogleda na ulazna vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	31
<i>Slika 37. Unutarnji pogled na spoj zida i poda Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	32
<i>Slika 38. Termogram unutarnjeg pogleda na spoj zida i poda Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	32
<i>Slika 39. Unutarnji pogled na spoj dva zida Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	33
<i>Slika 40. Termogram unutarnjeg pogleda na spoj dva zida Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	33
<i>Slika 41. Unutarnji pogled na nosivu gredu potkrovlja Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	34
<i>Slika 42. Termogram unutarnjeg pogleda na gredu potkrovlja Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	34
<i>Slika 43. Unutarnji pogled na potkrovlje Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	35
<i>Slika 44. Termogram unutarnjeg pogleda na potkrovlje Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	35
<i>Slika 45. Unutarnji pogled na vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	36
<i>Slika 46. Termogram unutarnjeg pogleda navrata Sveučilišta Sjever (UNIN 1) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	36
<i>Slika 47. Pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	38
<i>Slika 48. Termogram otvora Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	38
<i>Slika 49. Pogled na stepenice Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	39

<i>Slika 50. Termogram stepenica Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	39
<i>Slika 51. Pogled na betonski vijenac Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	40
<i>Slika 52. Termogram betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	40
<i>Slika 53. Pogled na cokolj Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	41
<i>Slika 54. Termogram cokla Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	41
<i>Slika 55. Pogled na prozor Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	42
<i>Slika 56. Termogram prozora Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	42
<i>Slika 57. Pogled na vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	43
<i>Slika 58. Termogram vrata Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	43
<i>Slika 59. Pogled na vanjski zid Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	44
<i>Slika 60. Termogram vanjskog zida Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	44
<i>Slika 61. Unutarnji pogled na dio betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	45
<i>Slika 62. Termogram unutarnjeg pogleda na dio betonskog vijenca Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	45
<i>Slika 63. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	46
<i>Slika 64. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	46
<i>Slika 65. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	47
<i>Slika 66. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	47
<i>Slika 67. Unutarnji pogled na strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	48
<i>Slika 68. Termogram unutarnjeg pogleda strop Sveučilišta Sjever (UNIN 2) [obrada autora (16.1.2024.)]</i>	48

10. Popis formula

Formula 1. Planckov zakon.....	8
Formula 2. Wienov zakon :	8
Formula 3. Stefan-Boltzmanov zakon.....	9
Formula 4. Emisijski faktor površine.....	10