

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University  
of Ljubljana  
Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Tičar, A. 2016. Terensko evidentiranje toplotnih mostov z IR kamero in ocean njihovega vpliva na energetska bilanco. Diplomski naloga. = Field analysis of thermal bridges with IR camera and assessment of their influence on the building energy consumption. Graduation thesis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 42 str. (mentor: Košir, M. somentor: Kunič, R.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/6158/>

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo

Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

**ALEŠ TIČAR**

**TERENSKO EVIDENTIRANJE TOPLOTNIH MOSTOV Z IR  
KAMERO IN OCENA NJIHOVEGA VPLIVA NA  
ENERGETSKO**

Diplomsko delo štev.:

**FIELD ANALYSIS OF THERMAL BRIDGES WITH IR  
CAMERA AND ASSESSMENT OF THEIR INFLUENCE ON  
THE BUILDING ENERGY CONSUMPTION**

Graduation thesis No.:

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Predsednik komisije:**

**Somentor:**

doc. dr. Roman Kunič

**Član komisije:**

Ljubljana, 13.9.2016



## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

»Ta stran je namenoma prazna.«

Spodaj podpisani študent Aleš Tičar, vpisna številka 26109537, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Terensko evidentiranje toplotnih mostov z IR kamero in ocena njihovega vpliva na energetska bilanco

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljana

Datum: 13.9.2016

Podpis študenta:

\_\_\_\_\_

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

|                         |                                                                                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>UDK:</b>             | <b>699.86(043.2)</b>                                                                                       |
| <b>Avtor:</b>           | <b>Aleš Tičar</b>                                                                                          |
| <b>Mentor:</b>          | <b>doc. dr. Mitja Košir</b>                                                                                |
| <b>Somentor:</b>        | <b>doc. dr. Roman Kunič</b>                                                                                |
| <b>Naslov:</b>          | <b>Terensko evidentiranje toplotnih mostov z IR kamero in ocena njihovega vpliva na energetska bilanco</b> |
| <b>Tip dokumenta:</b>   | <b>diplomska naloga – visokošolski strokovni študij</b>                                                    |
| <b>Obseg in oprema:</b> | <b>XIV, 42 strani, 10 slik, 21 preglednic</b>                                                              |
| <b>Ključne besede:</b>  | <b>toplotni most, IR kamera, energetska bilanca</b>                                                        |

### **Izvleček:**

V sklopu diplomske naloge je bilo izvedeno terensko evidentiranje toplotnih mostov, ki se pojavljajo na realnih stavbah. Pri tem smo si pomagali z IR kamero, ki deluje na principu termografije. V sklopu evidentiranja toplotnih mostov smo izdelali tudi katalog toplotnih mostov na podlagi standarda SIST EN ISO 14683, ki je opremljen z IR posnetki toplotnih mostov iz realnih stavb. V drugem delu naloge pa smo preverili kako vplivajo toplotni mostovi na energetska bilanco izbrane enodružinske stavbe. Za potrebe teh izračunov smo omenjeno stavbo locirali v Ljubljano. Izračune smo naredili na tri različne načine upoštevanja toplotnih mostov. Prvi način je upoštevanje toplotnih mostov na poenostavljen način, kot to predpisuje tehnična smernica (TSG-01-004-3.1.2). Drugi način je bil z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683, pri čemer nismo vnesli nobenega toplotnega mostu. Tretji način pa je bil po standardu SIST EN ISO 14683 z vnesenimi vsemi toplotnimi mostovi, ki se pojavljajo na izbrani stavbi. Pri tem smo ugotovili, da način izračuna pomembno vpliva na energetska bilanco. Izkazalo se je, da so si rezultati, pridobljeni z upoštevanjem enostavne metode iz tehnične smernice (TSG-01-004-3.1.2) in rezultati pridobljeni z metodo po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnesenih toplotnih mostov precej blizu, z majhnimi medsebojnimi odstopanji. Če te rezultate primerjamo z rezultati pridobljenimi po metodi iz standarda SIST EN ISO 14683 z upoštevanjem dejanskih toplotnih mostov na stavbi, jasno vidimo, da so odstopanja precej večja.



»Ta stran je namenoma prazna.«

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND THE ABSTRACT**

|                         |                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>UDK:</b>             | <b>699.86(043.2)</b>                                                                                                         |
| <b>Author:</b>          | <b>Aleš Tičar</b>                                                                                                            |
| <b>Supervisor:</b>      | <b>assist. prof. Mitja Košir, Ph.D.</b>                                                                                      |
| <b>Co-supervisor:</b>   | <b>assist. prof. Roman Kunič, Ph.D.</b>                                                                                      |
| <b>Title:</b>           | <b>Field analysis of thermal bridges with IR camera and assessment of their influence on the building energy consumption</b> |
| <b>Document type:</b>   | <b>Graduation Thesis – University studies</b>                                                                                |
| <b>Scope and tools:</b> | <b>XIV, 42 pages, 10 pictures, 21 tables</b>                                                                                 |
| <b>Key words:</b>       | <b>thermal bridge, IR camera, energy consumption</b>                                                                         |

### **Abstract:**

The thesis consists of field evaluation of thermal bridges on real buildings with the help of IR camera. For this purpose we made a catalog of thermal bridges which is based on the standard SIST EN ISO 14683 and completed with the IR pictures of realistic thermal bridges. In the second part of the thesis we calculated the influence of thermal bridges on the energy consumption of our chosen building. The chosen building is modern family house located in Ljubljana. Energy consumption was calculated on three different ways regarding thermal bridges. The first calculation was in accordance with Slovenian technical building guide (TSG-01-004-3.1.2). The second calculation was based on the standard SIST EN ISO 14683 with the difference that no thermal bridge was included. The last calculation was basically no different than the second one except that all the thermal bridges that are possible on the building were included. The final result was a conclusion that it is really important which method is used in calculating the buildings energy consumption. First and second calculation showed only a small difference in the results. However results of the third calculation were very different from the first two, supporting our conclusion.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorju doc. dr. Romanu Kuniču za sodelovanje in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Posebna zahvala gre tudi mojim staršem in bratu, ki so mi ves čas stali ob strani in niso izgubili upanja v moje dokončanje študija.

Zahvaljujem se tudi vsem ostalim, ki so mi na kakršenkoli način pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

»Ta stran je namenoma prazna.«

## KAZALO VSEBINE

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. UVOD .....                                                                                                                             | 1  |
| 1.1 Splošno.....                                                                                                                          | 1  |
| 1.2 Namen in hipoteze.....                                                                                                                | 2  |
| 2. TERMOGRAFIJA .....                                                                                                                     | 3  |
| 2.1 Splošno.....                                                                                                                          | 3  |
| 2.2 Zgodovina .....                                                                                                                       | 4  |
| 2.3 IR kamera .....                                                                                                                       | 5  |
| 2.3.1 Tehnologija IR kamere.....                                                                                                          | 5  |
| 2.3.2 Uporaba IR kamere .....                                                                                                             | 6  |
| 2.3.3 Nameni uporabe IR kamere.....                                                                                                       | 6  |
| 3. TOPLOTNI MOSTOVI .....                                                                                                                 | 7  |
| 3.1 Geometrijski toplotni mostovi.....                                                                                                    | 7  |
| 3.2 Materialni toplotni mostovi .....                                                                                                     | 7  |
| 3.3 Točkovni toplotni mostovi .....                                                                                                       | 7  |
| 3.4 Linijski toplotni mostovi .....                                                                                                       | 8  |
| 3.5 Kombinirani toplotni mostovi .....                                                                                                    | 8  |
| 4. ZAKONODAJA.....                                                                                                                        | 8  |
| 5. TERENSKO DELO .....                                                                                                                    | 9  |
| 5.1 Uvod.....                                                                                                                             | 9  |
| 5.2 IR kamera .....                                                                                                                       | 10 |
| 5.3 Postopek dela .....                                                                                                                   | 10 |
| 6. KATALOG TOPLOTNIH MOSTOV .....                                                                                                         | 12 |
| 7. VPLIV RAZLIČNIH TOPLOTNIH MOSTOV NA ENERGETSKO BILANCO IZBRANE<br>STAVBE .....                                                         | 27 |
| 7.1 Izbrani objekt .....                                                                                                                  | 27 |
| 7.2 Izračun vpliva.....                                                                                                                   | 29 |
| 7.3 Rezultati izračunov.....                                                                                                              | 29 |
| 7.3.1 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov na poenostavljen način .....                                                     | 29 |
| 7.3.2 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 brez<br>vnosa toplotnih mostov .....              | 30 |
| 7.3.3 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 z<br>vnosom vsakega toplotnega mostu posebej..... | 31 |
| 7.3.4. Izračun po SIST EN ISO 14683 z upoštevanjem vseh toplotnih mostov.....                                                             | 36 |
| 8. ZAKLJUČEK.....                                                                                                                         | 38 |
| 9. VIRI.....                                                                                                                              | 41 |

**KAZALO SLIK**

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Slika 1:</i> Vidni spektra elektromagnetnega valovanja. [4].....                                                         | 3  |
| <i>Slika 2:</i> Sir William Herschel [5] .....                                                                              | 4  |
| <i>Slika 3:</i> Sestavni deli IR kamere [11] .....                                                                          | 5  |
| <i>Slika 4:</i> Stena, ki je le delno toplotno izolirana. ....                                                              | 7  |
| <i>Slika 5:</i> Stik stene in stavbnega pohištva. ....                                                                      | 7  |
| <i>Slika 6:</i> Primer vogala na stiku dveh zunanjih sten. ....                                                             | 7  |
| <i>Slika 7:</i> IR kamera, ki je bila uporabljena za meritve [9]. ....                                                      | 10 |
| <i>Slika 8:</i> Zemljevid z označenimi lokacijami stavb na območju Ljubljane na katerih so bile izvedene meritve [17]. .... | 11 |
| <i>Slika 9:</i> Slika izbrane enostanovanjske hiše. ....                                                                    | 27 |
| <i>Slika 10:</i> Tloris pritličja (levo) in tloris nadstropja (desno) izbrane stavbe. ....                                  | 27 |

## KAZALO PREGLEDNIC

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Preglednica 1:</i> Vremenski podatki za prvi del meritev opravljenih na območju Ljubljane [13].                                                                                                  | 9  |
| <i>Preglednica 2:</i> Vremenski podatki za drugi del meritev opravljenih na območju Brežic [13].                                                                                                    | 9  |
| <i>Preglednica 3:</i> Legenda za izdelan katalog toplotnih mostov.                                                                                                                                  | 12 |
| <i>Preglednica 4:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo na ravni strehi.                                                                                                                  | 13 |
| <i>Preglednica 5:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo ob balkonih.                                                                                                                      | 15 |
| <i>Preglednica 6:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo v vogalih.                                                                                                                        | 16 |
| <i>Preglednica 7:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri medetažni konstrukciji.                                                                                                       | 18 |
| <i>Preglednica 8:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri notranjih stenah.                                                                                                             | 20 |
| <i>Preglednica 9:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri tleh na terenu.                                                                                                               | 21 |
| <i>Preglednica 10:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri uporabi stebrov.                                                                                                             | 23 |
| <i>Preglednica 11:</i> Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri okenskih odprtinah.                                                                                                          | 24 |
| <i>Preglednica 12:</i> Tabela prikazuje podatke o izbrani stavbi, ki so potrebni za izračun.                                                                                                        | 28 |
| <i>Preglednica 13:</i> Seznam vseh toplotnih mostov opremljen s vrednostmi $\Psi_e$ in dolžinami.                                                                                                   | 29 |
| <i>Preglednica 14:</i> Rezultati pri upoštevanju toplotnih mostov na poenostavljen način – TSG-01-004-3.1.2.                                                                                        | 30 |
| <i>Preglednica 15:</i> Rezultati z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnesenih toplotnih mostov.                                                                     | 30 |
| <i>Preglednica 16:</i> Rezultati za toplotne mostove, ki se pojavljajo v izbrani stavbi in katerih vrednosti $\Psi_e=0$ .                                                                           | 31 |
| <i>Preglednica 17:</i> Rezultati za toplotne mostove, ki se pojavljajo v izbrani stavbi katerih vrednosti $\Psi_e$ niso enake nič.                                                                  | 33 |
| <i>Preglednica 18:</i> Primerjava vrednosti vpliva posameznega toplotnega mostu v primerjavi z izračunom po TSG4.                                                                                   | 34 |
| <i>Preglednica 19:</i> Primerjava vrednosti vpliva posameznega toplotnega mostu v primerjavi z izračunom po standardu SIST EN ISO 14683 brez upoštevanja toplotnih mostov.                          | 35 |
| <i>Preglednica 20:</i> Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov iz preglednice 13 in primerjava z osnovnima izračunoma.                                                                   | 36 |
| <i>Preglednica 21:</i> Primerjava rezultatov izračuna s računalniškim programom TOST z upoštevanjem toplotnih mostov navedenih v preglednici 13 z vrednostmi, ki so predpisane na izbranem območju. | 37 |



»Ta stran je namenoma prazna.«

## 1. UVOD

### 1.1 Splošno

Dandanes lahko povsod slišimo, da se zemlja segreva, kar je predvsem posledica prevelike uporabe energije iz fosilnih goriv na vseh področjih. Na območju Evropske unije znaša poraba energije v stavbah kar 40% celotne porabe energije in vsaj tolikšen delež izpustov CO<sub>2</sub>[1,2]. S tem mislim na vso porabljeno energijo, kamor spada tudi ogrevanje in ohlajevanje bivalnih prostorov ter vzdrževanje primerne bivalne klime. Glavni vzrok za tako veliko porabo energije so stavbe same, saj je večina le teh starejše gradnje. Pri gradnji teh objektov je bila uporaba toplotne izolacije bolj izjema kot pravilo, saj zavest o skrbi za naravo in varčevanju z energijo še ni bila prisotna. V zadnjih letih ali desetletjih pa ima poraba energije vse večjo vlogo, tako pri novogradnjah kot pri obnovah obstoječih objektov. Teži se k temu, da so objekti dobro toplotno izolirani ter s tem porabijo za vzdrževanje ugodne bivalne klime bistveno manj energije.

Evropska unija je sprejela Direktivo o energetske učinkovitosti stavb [3], ki zahteva zmanjšanje porabe energije v stavbah. Ta direktiva med drugim zahteva, da se delež energije pridobljene iz obnovljivih virov poveča za skoraj četrtino. Velja izpostaviti še zahtevo, da se zmanjša poraba energije v javnih stavbah za 20% do leta 2020. [3]

Z namenom zmanjšanja porabe energije v stavbah je Republika Slovenija leta 2010 sprejela Pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES 2010) [6], ki je skladen z evropsko direktivo o energetske učinkovitosti stavb. V tem času je bil v Sloveniji vrhunec ekonomske krize, zaradi česar je upadlo število novogradenj. Na drugi strani, pa so se pospešeno pripravljali načrti energetske prenov javnih objektov kot so vrtci, šole, bolnišnice ... Evropska unija kot pobudnica PURES-a 2010 te investicije v energetske obnove javnih ustanov tudi financira delno ali v celoti.

Pri energetske prenovi je potrebno paziti, da je le ta ustrezno načrtovana in izvedena. Posvetiti se je potrebno predvsem toplotnim mostovom in njihovi sanaciji. Na mestih, kjer imamo toplotne mostove se pogosto pojavljajo problemi v obliki kondenzacije vodne pare in nastanka plesni. V primeru, da se toplotni mostovi ne sanirajo ustrezno in niso pravilno toplotno izolirani, so na energetske prenovljenem objektu le še izrazitejši in cilj prenove tako ni dosežen. Le v primeru, da so tudi toplotni mostovi ustrezno sanirani lahko rečemo, da je toplotna prenova uspela ter tako učinkovito zmanjšamo porabo energije .

Slovenija je leta 2014 sprejela Energetske zakon (EZ-1) [15] s katerim so bile uvedene tudi t.i. energetske izkaznice, ki nam povedo koliko energije porabi posamezna stavba ter v kateri razred energetske učinkovitosti spada. Pridobitev energetske izkaznice je obvezna za vse novogradnje in za javne stavbe z površino večjo od 250m<sup>2</sup>. Za obstoječe objekte pa pridobitev te izkaznice ni obvezna oziroma jih potrebujete, če želite svoj objekt prodati ali oddati v najem [16].

## 1.2 Namen in hipoteze

Cilj diplomske naloge je s terenskim evidentiranjem ugotoviti kateri tipi toplotnih mostov se pojavljajo v dejanskih stavbah, ugotoviti kateri tip toplotnega mostu je najpogostejši ter prikazati najpogostejše vrste realnih toplotnih mostov v katalogu. Vseh obstoječih stavb ni mogoče obravnavati, saj jih je preveč. Posledično sem se odločil, da se bom pri izdelavi diplomske naloge osredotočil na manjši vzorec stavb z območja Slovenije. Na koncu bom primerjal še vpliv različnih toplotnih mostov na računsko porabo energije, ki jo bom analiziral na namišljeni enodružinski hiši na območju Ljubljane.

Predvidevam, da bosta najpogostejša toplotna mostova linijski toplotni most pri preboju horizontalne konstrukcije skozi zunanjo steno (balkon) ter ob stiku stavbnega pohištva z zunanjo steno. Na podlagi te ugotovitve predvidevam tudi, da sta ta dva primera toplotnih mostov najbolj kritična pri vplivu na energetska in toplotno učinkovitost stavbe. To bom poskušal dokazati z računom vpliva na energetska bilanco enostanovanjske hiše.

## 2. TERMOGRAFIJA

### 2.1 Splošno

Človeško oko je organ, ki zaznava svetlobo in nam tako omogoča vid. Svetloba, ki jo zazna človeško oko se imenuje tudi vidna svetloba in je del spektra elektromagnetnega sevanja. Elektromagnetni spekter pokriva področje od zelo nizkih frekvenc, ki se dandanes uporabljajo za radijsko komunikacijo pa vse do visokih frekvenc gama sevanja. Elektromagnetni spekter je torej skupek vseh možnih frekvenc elektromagnetnega sevanja. Zdravo človeško oko zazna valovne dolžine od 390 do 750 nm oziroma če to prevedemo v frekvence od 430 do 770 THz.



*Slika 1:* Vidni spektra elektromagnetnega valovanja. [4]

Vidni spekter je tisti del elektromagnetnega spektra, ki ga človeško telo vidi. Vendar vidni spekter ne vsebuje vseh barv temveč le t.i. spektralne barve, ki so prikazane na zgornji sliki (Slika 1). Tiste barve, ki niso vsebovane v spektru imenujemo tudi nespektralne barve in nastanejo z mešanjem več valovnih dolžin. Primer takšne barve sta roza (pink) in magenta, ki je variacija vijolične barve.

Frekvence infrardečega sevanja so višje od vidnega dela spektra in posledično ga človeško oko ne more zaznati. Infrardeče sevanje ima valovne dolžine višje od 700 nm. To je tudi definirana spodnja meja IR spektra. Zgornja meja pa ni točno definirana saj literatura navaja vrednosti med 100  $\mu\text{m}$  in 1 mm [20]

## 2.2 Zgodovina

To poglavje sem povzel iz vira [9,10]. Infrardeče sevanje je odkril Sir William Herschel, kraljevi astronom angleškega kralja, ki je zaslovel z odkritjem planeta Uran. Med iskanjem novega optičnega materiala, ki bi zmanjšal svetlost sonca v teleskopih med opazovanjem sonca je po naključju odkril infrardeče sevanje.

Leta 1829 je Melloni iznašel napravo, ki je vsebovala tedanje najboljše termometre in je omogočala zaznavo toplotnega sevanja človeka na oddaljenosti do 3m. Šele leta 1840 je Sir John Herschel, sin odkritelja infrardečega sevanja in astronom s svojim znanjem omogočil nastanek prvega toplotnega posnetka. Način nastanka posnetka je bil povezan s izhlapevanjem tanke plasti olja med izpostavljenostjo toploti oz toplotnemu vzorcu. Toploten posnetek je bil viden, če so nanjo usmerili svetlobo, saj se je jasno videlo kje je olje bolj izhlapelo oziroma čisto izhlapelo in kje ne. Uspel je zabeležiti svoje toplotne posnetke na papir, kar je poimenoval termograf.



*Slika 2:* Sir William Herschel [5]

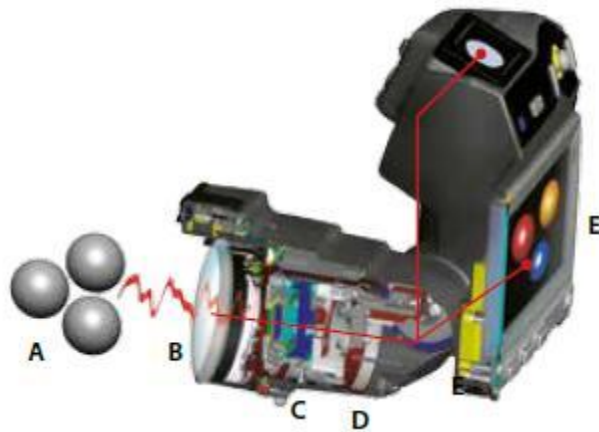
Tehnologija je od tedaj zelo napredovala in danes so infrardeče kamere zelo napredne in omogočajo veliko različnih funkcij in načinov uporabe. Tudi sam način in postopek procesiranja podatkov je drugačen in predvsem bolj zapleten.

## 2.3 IR kamera

### 2.3.1 Tehnologija IR kamere

To poglavje je povzeto po viru [10]. IR kamera zazna sevanje v infrardečem delu spektra in to spreminja v barvno sliko, ki jo lahko vidimo. IR kamera dejansko izmeri površinsko temperaturo predmeta in jo prikaže na sliki v barvnem spektru.

Princip delovanja IR kamere je sledeč. Infrardeče sevanje, ki prihaja od predmeta je s pomočjo optike usmerjeno na detektor, ki zaznava infrardeče sevanje. Detektor nato posreduje podatke elektroni, ki ustvari posnetek v vidnem delu elektromagnetnega sevanja (Slika 3). Elektronika prevede podatke detektorja v posnetek, ki ga je mogoče videti na zaslonu kamere ali na računalniškem zaslonu.



Legenda:

A = infrardeče sevanje / energija

B = optika

C = infrardeč detektor

D = elektronika in senzor

E = LCD zaslon, ki prikazuje sliko

**Slika 3:** Sestavni deli IR kamere [11]

S pomočjo infrardeče termografije je možno spremeniti infrardeče slike v radiometrične kar nam omogoča, da odčitamo temperaturne vrednosti neposredno iz posnetka. To pomeni, da je vsak pixel na radiometrični sliki v bistvu temperaturna vrednost. Postopek pretvorbe je zelo kompleksen in zahteva uporabo matematičnih algoritmov, ki so programirani v infrardečo kamero.

### 2.3.2 Uporaba IR kamere

IR kamera je sama po sebi zelo preprosta za uporabo. Ima LCD zaslon, podobno kot digitalni fotoaparati, na katerem se izrisuje slika tistega kamor je kamera obrnjena oz. kar kamera zaznava.

Pri uporabi IR kamere moramo biti pozorni, da kamero uporabljamo v takšnem času dneva, ko nam sončno sevanje s segrevanjem merjenih površin, vključno z vsemi odboji sevanja ne pokvari meritve. Zato je najbolje meritve opravljati zgodaj zjutraj ali pozno zvečer. Paziti moramo tudi na druge parametre merjenja, kot so temperatura zraka, zračna vlažnost, emisivnost merjenih površin... Pri temperaturi zraka je pomembno, da je temperaturna razlika med zunanjim in notranjim zrakom čim večja, če želimo imeti natančne meritve. Tudi vlaga v zraku je pomembna saj vpliva na atmosferski prenos termalne radiacije teles. Če narobe ocenimo vlažnost posledično predpostavimo napačno zmožnost zraka za prenos toplotnega sevanja. Ta napaka se odraža pri meritvah, saj lahko dobimo temperature merjenih površin, ki so nižje od dejanskih.

Vse te parametre je potrebno predhodno nastaviti v kameri, saj se na podlagi teh parametrov kamera prilagaja in ustvarja IR posnetke.

Kamera ne deluje oz. ne prikazuje zelenih rezultatov, če je temperaturna razlika premajhna ali v primeru, da je merjena površina vlažna ali mokra saj vlaga zmede kamero.

Ko vse te parametre nastavimo lahko dejansko pričnemo s samim zajemom posnetkov. Pri tem si zopet lahko v meniju izberemo več različnih načinov zaznave temperature vendar bomo tu našli le nekaj najpomembnejših. Na izbiro imamo eno samo merilno točko v katero usmerimo kamero; tri točke v vrsti, ki merijo temperature površin na določeni oddaljenosti ter primerjalni način pri katerem kamera primerja temperaturi v dveh točkah. Na vsakem posnetku pa je seveda tudi temperaturna lestvica s katero lahko določimo tudi temperaturo tistih površin, ki jih kamera zazna oz. posname.

### 2.3.3 Nameni uporabe IR kamere

IR kamere se uporabljajo v znanstvene in raziskovalne namene, saj so praktično in ne invazivno orodje. Z njihovo pomočjo lahko hitro in enostavno odkrijemo probleme ter jih dokumentiramo.

V gradbeništvu se IR kamera najpogosteje uporablja za odkrivanje toplotnih mostov na stavbnem ovoju, za odkrivanje napak na sistemih talnega ogrevanja in podometnih toplovodnih sistemih ter za odkrivanje napak pri gradnji. Uporabimo jo lahko tudi za odkrivanje netesnih mest stavbnega pohištva, kontrolo toplotnih izgub, odkrivanje vlage v stenah ter iskanje vzrokov in izvorov zamakanja [7].

### 3. TOPLOTNI MOSTOVI

To poglavje je povzeto po viru [8, 19]. Toplotni most se pojavi na delu stavbnega ovoja, kjer se zaradi različnih razlogov spremeni toplotna prevodnost stavbnega ovoja. To se lahko zgodi zaradi sprememb v geometriji stavbnega ovoja (npr. vogal) ali zaradi spremembe materialne sestave oziroma spremembe debeline materialov v stavbnem ovoju. Primer takšnega toplotnega mostu je na sliki 4, kjer je na levi polovici slike nameščena toplotna izolacija na desni pa toplotne izolacije ni.

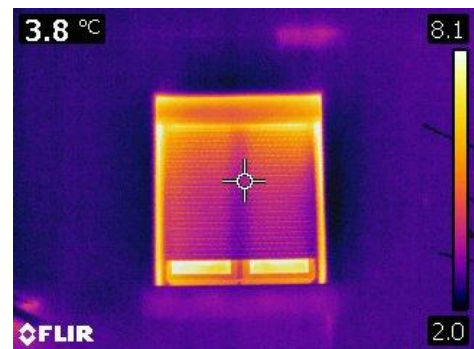
Tako lahko toplotne mostove razdelimo na geometrijske in materialne oziroma konstrukcijske.



Slika 4: Stena, ki je le delno toplotno izolirana.

#### 3.1 Geometrijski toplotni mostovi

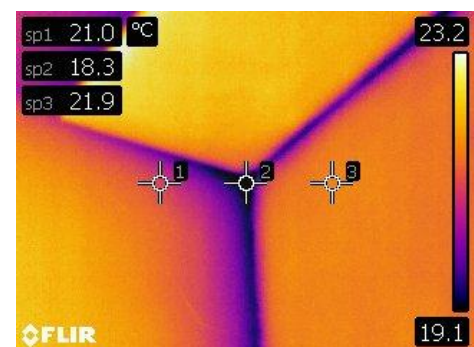
Geometrijski toplotni mostovi so pogosti in se jim težko izognemo. Pojavljajo se pri stikih stene in strehe, stene in tal, na stikih dveh zunanjih sten in tudi pri stiku sten z stavbnim pohištvom, ki je prikazan na sliki 5. Na vseh teh mestih pride do spremembe geometrijskih karakteristik, ki posledično privedejo do toplotnega mostu.



Slika 5: Stik stene in stavbnega pohištva.

#### 3.2 Materialni toplotni mostovi

Materialni toplotni mostovi se pojavijo na mestih, kjer pride iz različnih razlogov do sprememb debelin materialov v stavbnem ovoju. Primer je prikazan na sliki 4.



Slika 6: Primer vogala na stiku dveh zunanjih sten.

#### 3.3 Točkovni toplotni mostovi

Točkovni toplotni mostovi so v bistvu lokalni deli z drugačno toplotno prevodnostjo, ki jih tako definiramo za lažjo predstavbo ter lažji izračun vpliva. Primer takšnega toplotnega mostu je kakšen vogal npr dveh zunanjih sten in strehe ali tal kjer imamo izrazito spremembo v toplotni prevodnosti. Prikazan je na sliki 6.



### 3.4 Linijski toplotni mostovi

Linijski toplotni mostovi so toplotni mostovi, ki imajo konstanten prečni prerez in potekajo na določeni dolžini. Tipičen primer takšnega toplotnega mostu se lahko pojavi pod balkonom, kjer na stiku stene in balkona pride do toplotnega mostu.

### 3.5 Kombinirani toplotni mostovi

Kombinirani toplotni mostovi so toplotni mostovi pri katerih imamo kombinacijo geometrijskega in materialnega linijskega toplotnega mostu. Tipičen primer tega toplotnega mostu se pojavi pri stiku dveh zunanjih sten kjer pride tudi do spremembe materiala (npr opeko zamenja armiran beton).

## 4. ZAKONODAJA

PURES 2010 pravi, da morajo biti stavbe načrtovane in zgrajene tako, da imajo čim manj toplotnih mostov ter da je vpliv le teh na letno potrebo po energiji čim manjši. Prav tako ti toplotni mostovi ne smejo povzročati škode uporabnikom ali stavbi sami.

V sklopu PURES-a 2010 je bila izdana tudi tehnična smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (TSG4), ki določa ukrepe in rešitve za zadovoljitev zahtev pravilnika.

Tehnična smernica, katere uporaba je obvezna, se na področju toplotnih mostov sklicuje na dva standarda in sicer na SIST EN ISO 10211 ter na standard SIST EN ISO 14683.

Standard SIST EN ISO 10211 Toplotni mostovi v stavbah – Toplotni tokovi in površinske temperature - Podrobni izračuni obravnava toplotne mostove v stavbah, pri čemer podrobneje obravnava toplotne tokove in temperature površin. Standard podaja tudi postopek s pomočjo katerega lahko zelo natančno izračunamo toplotni tok skozi stavbni ovoj in posledično tudi temperature površin na drugi strani stavbnega ovoja.

Tudi standard SIST EN ISO 14683 Toplotni mostovi v stavbah – Linearna prehodnost – Poenostavljena metoda [8] obravnava toplotne mostove v stavbah, vendar se osredotoča na uporabo linearne toplotne prevodnosti toplotnih mostov  $\Psi$  [W/m K] pri izračunu porabe energije v stavbi. Znotraj tega standarda so za določene tipe toplotnih mostov podane njihove vrednosti linearnih toplotnih prevodnosti ter poenostavljeni postopki za izračun porabe energije. Pri našem delu bomo uporabili vrednosti zunanje linearne toplotne prevodnosti toplotnih mostov  $\Psi_e$ .

## 5. TERENSKO DELO

### 5.1 Uvod

Praktični del naloge, ki je obsegal terensko merjenje izbranih objektov sem opravil v začetku letošnjega leta, ko so bile zunanje temperature dovolj nizke, da so omogočale izvedbo primernih posnetkov. Prvi del meritev sem opravil 11. februarja v zgodnjih jutranjih urah. Pri tem sta bila prisotna somentor doc. dr. Roman Kunič in asist. Luka Pajek, ki sta mi razložila kako IR kamera deluje ter kako jo pravilno uporabljati. Pred in med opravljanjem meritev sta mi dala še nekaj nasvetov na kaj moram paziti in kako moram meriti, da dobim zadovoljive rezultate. Za drugi del meritev, ki sem ga opravil sam sem dobil IR kamero v izposojajo, saj sem že znal pravilno ravnati z njo.

Pri merjenju je zelo pomembno, da vnesemo v IR kamero trenutno stanje ozračja med merjenjem.

Prvi del meritev je bil opravljen na območju Ljubljane v bližini UL FGG. V bližini ni meteorološke postaje, zato sem privzel podatke z meteorološke postaje Ljubljana – Bežigrad (Preglednica 1). Drugi del meritev je bil opravljen nekoliko pozneje in sicer 4. marca v večernih urah na območju mesta Brežice. Tudi tu sem imel težavo, saj nikjer v mestu ni meteorološke postaje. Vendar v Brežicah ni meteorološke postaje, zato sem privzel podatke najbližje meteorološke postaje, ki se nahaja na bližnjem letališču v Cerkljah ob Krki (Preglednica 2).

**Preglednica 1:** Vremenski podatki za prvi del meritev opravljenih na območju Ljubljane [13].

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Vremenska postaja             | Ljubljana – Bežigrad      |
| Lokacija (koordinate)         | lon=14.5124, lat= 46.0655 |
| Nadmorska višina (m)          | 299                       |
| Datum meritev                 | 11.2.2016                 |
| Ura izvajanja meritev         | 6:15 – 7:30               |
| Temperatura zraka (°C)        | -1                        |
| Povprečna relativna vlaga (%) | 83                        |

**Preglednica 2:** Vremenski podatki za drugi del meritev opravljenih na območju Brežic [13].

|                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| Vremenska postaja             | Letališče Cerklje ob Krki |
| Lokacija (koordinate)         | lon=15.5184, lat= 45.8987 |
| Nadmorska višina (m)          | 154                       |
| Datum meritev                 | 4.3.2016                  |
| Ura izvajanja meritev         | 21:00 – 23:00             |
| Temperatura zraka (°C)        | +1                        |
| Povprečna relativna vlaga (%) | 95                        |

## 5.2 IR kamera

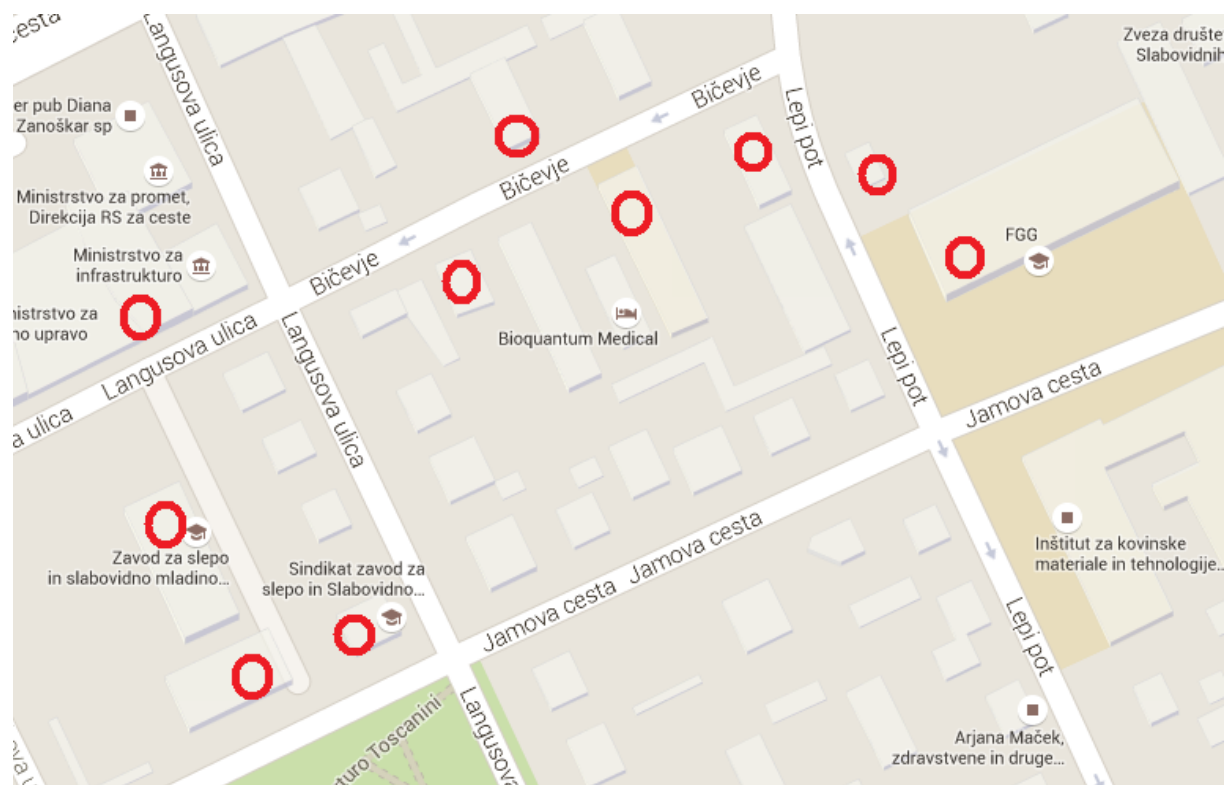
Za namen opravljanja meritev je bila uporabljena infrardeča kamera proizvajalca FLIR serije Exx, ki je prikazana na sliki 7. V poglavju Uporaba IR kamere je podrobneje opisano katere parametre je potrebno vnesti v kamero pred začetkom merjenja. Po vnosu vseh podatkov v kamero je torej čas za začetek opravljanja meritev. Kamero je zaradi njene zasnove enostavno držati v eni roki in opravljati meritve, saj s kazalcem nadzorujemo sprožilec. Drugo roko potrebujemo le za izostritev slike, saj kamera nima avtomatske izostritve. Ko vse to obvladamo pa je delo preprosto, saj samo na namerimo in sprožimo kamero, ki nato opravi meritev in rezultate v obliki IR posnetkov shrani na podatkovno kartico. Po končanem delu na terenu se IR kamera enostavno priklopi na osebni računalnik in se IR posnetki prenesejo na računalnik, kjer je možna še analiza s pomočjo računalniških programov, ki jih ponuja proizvajalec IR kamere FLIR.



*Slika 7:* IR kamera, ki je bila uporabljena za meritve [9].

## 5.3 Postopek dela

Kot že omenjeno sem meritve opravljal v začetku leta 2016 v času zime. Tako so bile zunanje temperature dovolj nizke, da je bila razlika med zunanjimi temperaturami in notranjimi temperaturami v stavbah vsaj 15 °C. Ta temperaturna razlika je omogočila, da so bili vsi toplotni mostovi jasno vidni. Prvi del meritev smo opravili med šesto in osmo uro zjutraj. Za tako zgodnjo jutranjo uro smo se odločili, da smo večino posnetkov naredili pred sončnim vzhodom. Za izbrani dan je bilo namreč napovedano sončno vreme in sončno sevanje bi nam zagotovo pokvarilo meritve, saj bi segrelo površine stavb. Sončni vzhod je bil nekaj minut po sedmi uri, zato smo pozneje meritve opravljali na osenčenih delih stavb. V tem delu merjenja smo izmerili objekte v bližini UL FGG. Tako smo izmerili toplotne mostove na stavbah Zavoda za slepo in slabovidno mladino, Ministrstva za promet in na objektih v sklopu naše fakultete. Opravili smo meritve tudi na stanovanjskih blokih, ki se nahajajo med našo fakulteto in Zavodom za slepo in slabovidno mladino.



Slika 8: Zemljevid z označenimi lokacijami stavb na območju Ljubljane na katerih so bile izvedene meritve [17].

Drugi del meritev sem opravil nekaj tednov pozneje v okolici svojega doma. Razlog za takšen zamik med merjenji je bil v zasedenosti IR kamere ter v neugodnih vremenskih okoliščinah. Za ta del meritev sem dobil kamero v izposajo na dom čez vikend kar sem želel izkoristiti, vendar so mi slabe vremenske razmere pokvarile načrte. Tako sem uspel meritve opraviti le v petek zvečer. Žal lokacij na katerih so bile opravljene meritve ni mogoče prikazati na zemljevidu, saj so precej razkropljene po mestu Brežice in bližnji okolici. Sicer sem kljub slabemu vremenu v nedeljo poskušal narediti tudi nekaj meritev vendar rezultati niso bili zadovoljivi. S koncem vikenda se je iztekel moj čas izposoje kamere in tudi konec slabega vremena.






## 6. KATALOG TOPLOTNIH MOSTOV

Po končanem terenskem delu sem s pomočjo standarda SIST EN ISO 14683 določil katere vrste toplotnih mostov sem evidentiral s terenskim delom. Svoje posnetke sem združil s pripadajočimi skicami iz standarda SIST EN ISO 14683 Toplotni mostovi v stavbah –Linearna prehodnost – Poenostavljena metoda [8] in jih prikazal v priloženih preglednicah. Pri tem sem za boljšo preglednost toplotne mostove razdelil na več skupin ter vsaki skupini namenil svojo preglednico. Pri razdelitve toplotnih mostov na skupine sem se odločil, da jih razdelim glede na konstrukcijske sklope oziroma mesta kjer se pojavljajo. Tako sem dobil sledečih 8 skupin: ravne strehe, balkoni, vogali, medetažne konstrukcije, notranje stene, tla na terenu, stebri in okenske odprtine. Znotraj vsake skupine so s skicami predstavljeni različni tipi toplotnih mostov. Pri nekaterih skicah so priloženi tudi posnetki, ki so rezultat terenskih meritev. V teh primerih je na levi strani skica toplotnega mostu iz standarda in na desni strani pripadajoči IR posnetek tega toplotnega mostu.

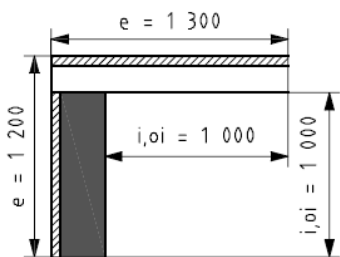
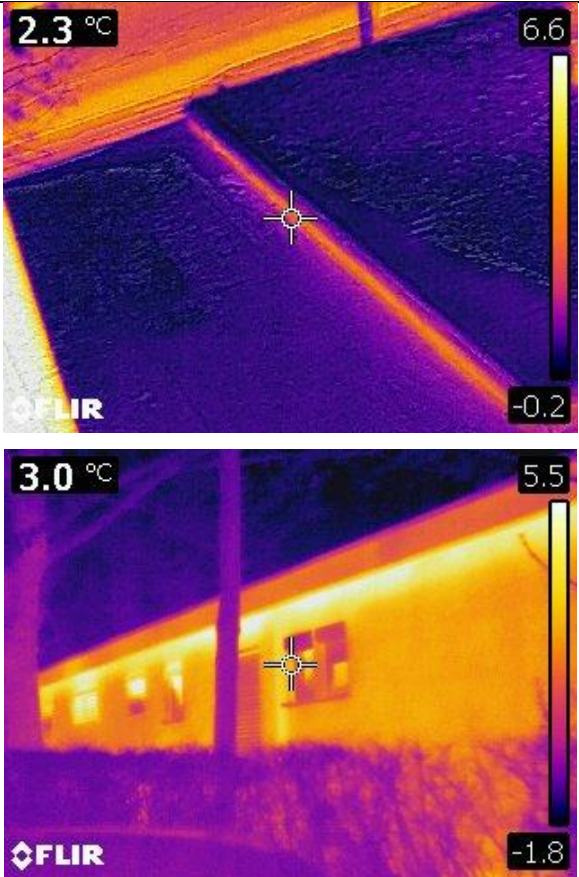
Standard SIST EN ISO 14683 [8] obravnava poenostavljene metode za določitev prehoda toplote skozi linearne toplotne mostove. Podaja metode za izračun brez pomoči računalnika in katalog toplotnih mostov, ki je opremljen z vrednostmi linearnih toplotnih prehodnosti  $\Psi$ . V katalogu podane vrednosti  $\Psi$  so privzete za najslabše primere in so podane v W/m K. Standard loči tri vrste toplotne prehodnosti: zunanjo  $\Psi_e$ , notranjo  $\Psi_i$  in skupno notranjo  $\Psi_{oi}$ . Na področju Republike Slovenije velja, da se za izračun upošteva vrednost zunanje toplotne prehodnosti  $\Psi_e$ .

Legenda prikazana v tabeli 3 in vse skice v tem poglavju so izvzete iz standarda SIST EN ISO 14683 [8]. Vključeni IR posnetki pa so rezultat terenskih meritev opravljenih z IR kamero.

**Preglednica 3:** Legenda za izdelan katalog toplotnih mostov.

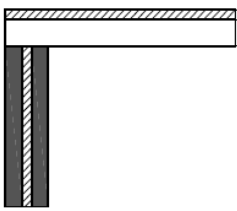
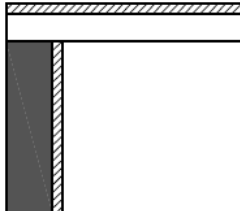
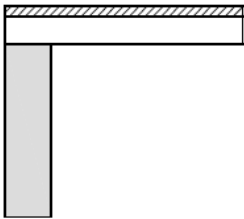
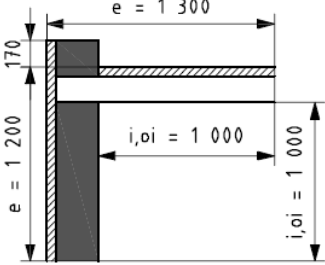
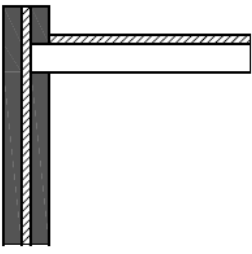
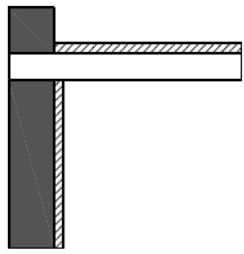
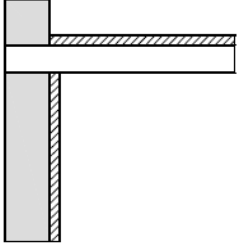
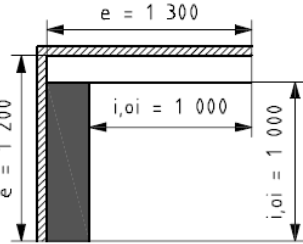
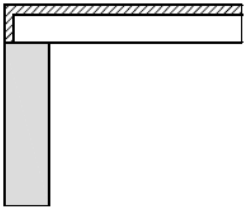
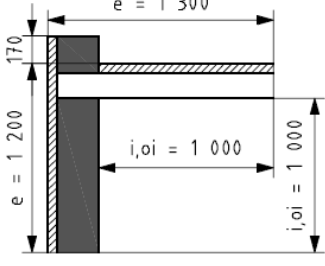
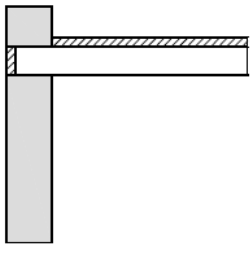
| Legenda                                                                             |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|  | Stena           |
|  | Lahka stena     |
|  | Izolativni sloj |
|  | Plošča/Steber   |
|  | Okenski okvir   |
| Vse dimenzije so v mm                                                               |                 |
| Linearne toplotne prehodnosti $\Psi$ so v W/m K                                     |                 |

**Preglednica 4:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo na ravni strehi.

| Ravne strehe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Na območju Slovenije je večina stavb starejše gradnje [18]. Za te stavbe so značilne poševne strehe iz precej preprostega razloga – poševne strehe so enostavno izvedljive in tudi bolj primerne za naš tip podnebja za katerega so značilne hladne zime s snegom. Ravne strehe imajo predvsem industrijski objekti ter večstanovanjske stavbe (bloki). V zadnjih letih je moč opaziti tudi porast ravnih streh na enostanovanjskih hišah predvsem v večjih mestih. Posledično sem imel na voljo za izvedbo meritev le dva objekta z ravno streho. Na enem sem uspel izvesti meritve, na drugem pa mi zaradi slabega vremena to ni uspelo.</p> <p>Odkril sem dva toplotna mostova, za katera sem pozneje ugotovil, da sta istega tipa. Gre za toplotni most, ki se pojavi na prekinitvi toplotne izolacije. Na prvi sliki gre za spoj dveh streh, pri čemer je leva malenkost nižja od desne. Na drugi sliki pa gre za stik strehe z zunanjo steno, kjer je zopet prekinjena toplotna izolacija.</p> |                                                                                     |
|  <p>R1</p> $\psi_e = 0,55$ $\psi_{oi} = 0,75$ $\psi_i = 0,75$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani....

Nadaljevanje...

|                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>R2</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,50 \\ \Psi_{oi} &= 0,75 \\ \Psi_i &= 0,75\end{aligned}$    |  <p><b>R3</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,40 \\ \Psi_{oi} &= 0,75 \\ \Psi_i &= 0,75\end{aligned}$    |  <p><b>R4</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,40 \\ \Psi_{oi} &= 0,65 \\ \Psi_i &= 0,65\end{aligned}$    |
|  <p><b>R5</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,60 \\ \Psi_{oi} &= 0,80 \\ \Psi_i &= 0,80\end{aligned}$    |  <p><b>R6</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,50 \\ \Psi_{oi} &= 0,70 \\ \Psi_i &= 0,70\end{aligned}$    |  <p><b>R7</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,65 \\ \Psi_{oi} &= 0,85 \\ \Psi_i &= 0,85\end{aligned}$    |
|  <p><b>R8</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,45 \\ \Psi_{oi} &= 0,70 \\ \Psi_i &= 0,70\end{aligned}$  |  <p><b>R9</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= -0,05 \\ \Psi_{oi} &= 0,15 \\ \Psi_i &= 0,15\end{aligned}$ |  <p><b>R10</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,00 \\ \Psi_{oi} &= 0,20 \\ \Psi_i &= 0,20\end{aligned}$ |
|  <p><b>R11</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,05 \\ \Psi_{oi} &= 0,25 \\ \Psi_i &= 0,25\end{aligned}$ |  <p><b>R12</b></p> $\begin{aligned}\Psi_e &= 0,15 \\ \Psi_{oi} &= 0,40 \\ \Psi_i &= 0,40\end{aligned}$ |                                                                                                                                                                                             |

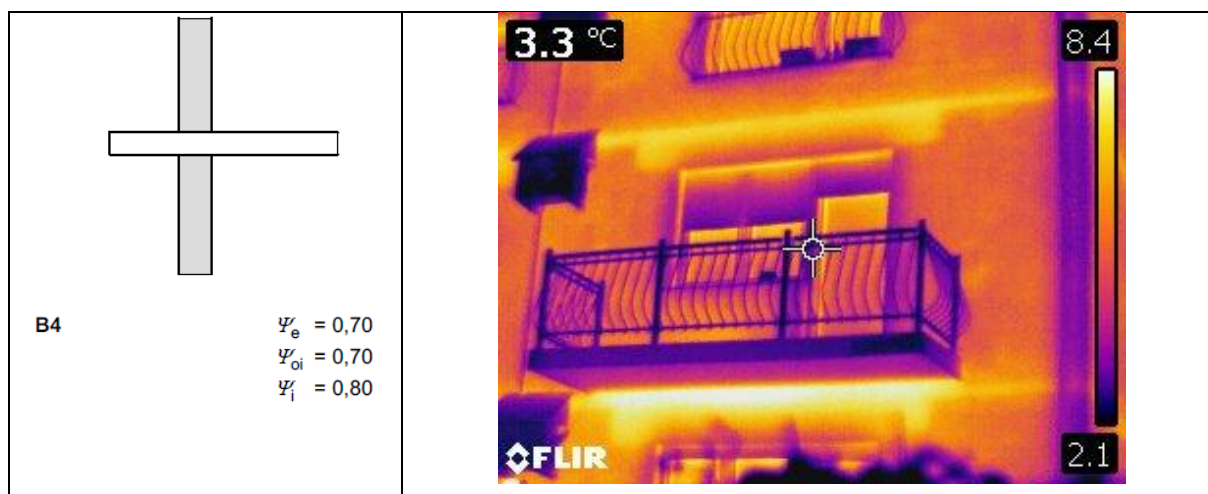
**Preglednica 5:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo ob balkonih.

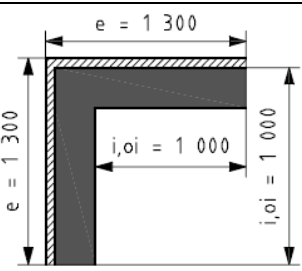
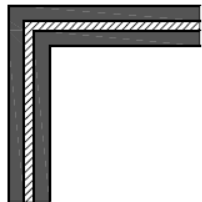
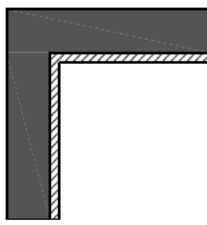
| Balkoni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>To je najpogostejši tip toplotnega mostu in hkrati najpogostejša napaka, ki se pojavlja v gradbeništvu. Upam si trditi, da ima takšen toplotni most večina stavb, če ne kar vse na izbranem območju. Razlog za to je predvsem v tem, da je balkon povezan s preostankom medetažne konstrukcije. Ta povezava nam omogoča, da balkon stoji kjer mora brez dodatnih podpor.</p> <p>Danes sicer obstajajo posebni izdelki, ki se jih vgradi med balkon in preostanek medetažne konstrukcije in se tako znebimo toplotnega mostu. Vendar gre za relativno novo tehnologijo, ki še ni v široki uporabi.</p> <p>Na slikah sta prikazana dva objekta in sicer eden brez toplotne izolacije in eden z novo fasado. Pričakovano je toplotni most izrazitejši na stavbi brez TI, vendar lahko na drugem objektu jasno vidimo, da kljub novi fasadi in nameščeni TI z debelino 20 cm ni odpravljen. [19]</p> <p>Moja predpostavka, da je toplotni most pod balkonom eden najpogostejših se je izkazala za pravilno, saj je bil toplotni most opazen na vseh obravnavanih objektih, ki so imeli balkon.</p> |  |                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | <p><b>B1</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,95</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,95</math><br/> <math>\Psi_i = 1,05</math></p>                                                                                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  | <p><b>B2</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,95</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,95</math><br/> <math>\Psi_i = 1,05</math></p> <p><b>B3</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,90</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,90</math><br/> <math>\Psi_i = 1,00</math></p> |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...



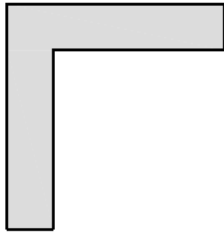

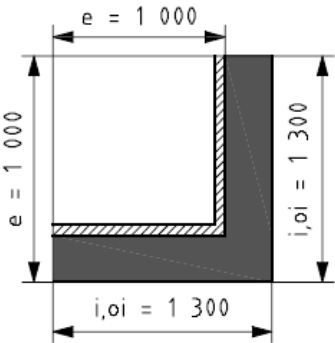
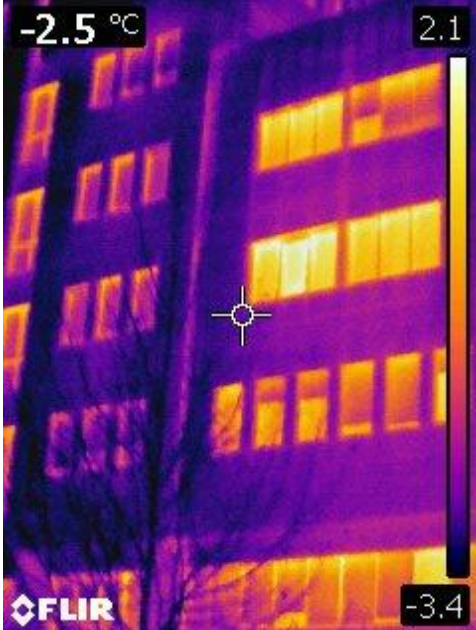
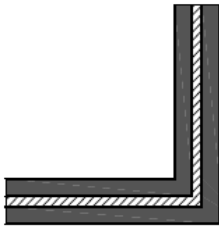
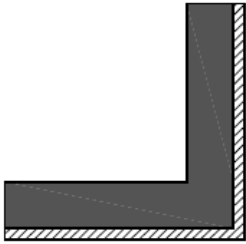
Nadaljevanje...

**Preglednica 6:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo v vogalih.

| Vogali                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>V vogalih se najpogosteje pojavlja plesen, kar je običajno posledica nižje temperature zidu v vogalu kjer se stikata dve zunanji steni. To pa je posledica geometrijskega toplotnega mostu, ki je precej pogost. Toplotni most pa se lahko pojavi tudi zaradi spremembe materiala v stavbnem ovoju – predpisi namreč zahtevajo protipotresno gradnjo, ki vključuje armiranobetonske stebre in vezi, ki povečajo strižno odpornost zidov in preprečujejo porušitev. Armiran beton ima drugačne lastnosti kot porozna opeka, ki je še vedno najpogostejši material pri gradnji.</p> <p>V primeru, da pride v vogalu do obeh zgoraj navedenih toplotnih mostov imamo opravka s kombiniranim toplotnim mostom.</p> |                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                              |
|  <p><b>C1</b></p> <p><math>\Psi_e = -0,05</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,15</math><br/> <math>\Psi_i = 0,15</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  <p><b>C2</b></p> <p><math>\Psi_e = -0,10</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,10</math><br/> <math>\Psi_i = 0,10</math></p> |  <p><b>C3</b></p> <p><math>\Psi_e = -0,20</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,05</math><br/> <math>\Psi_i = 0,05</math></p> |

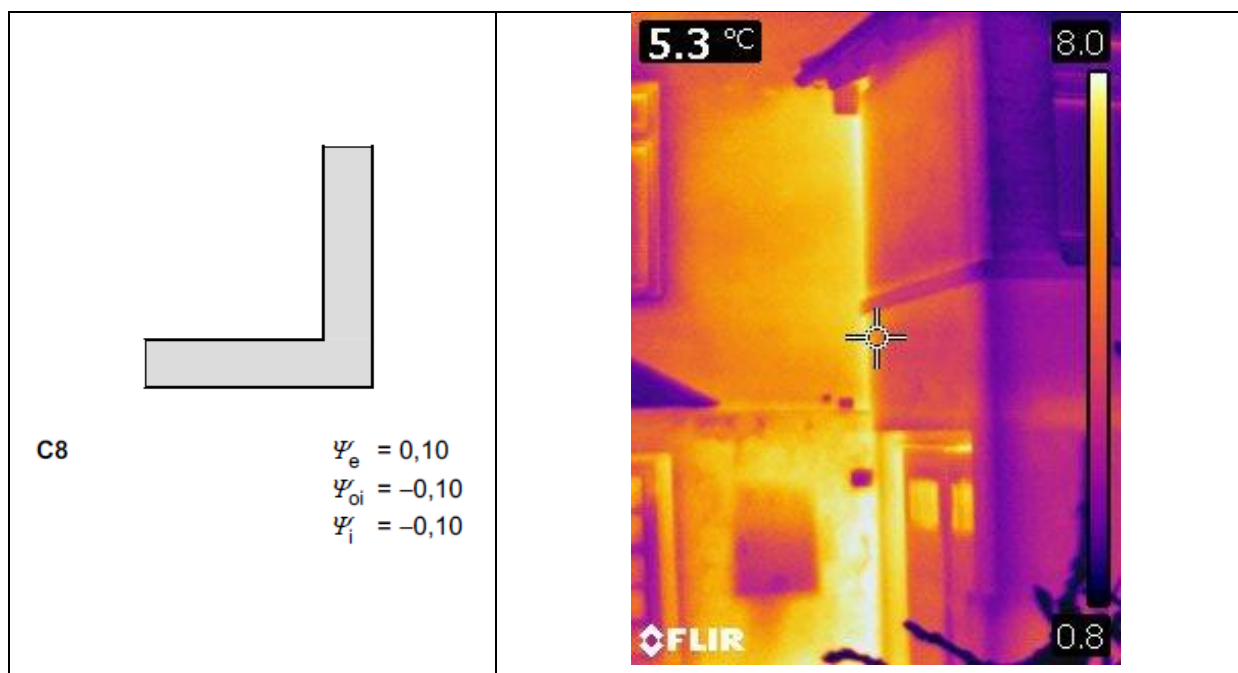
Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

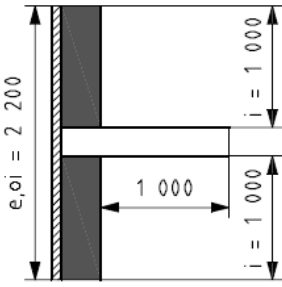
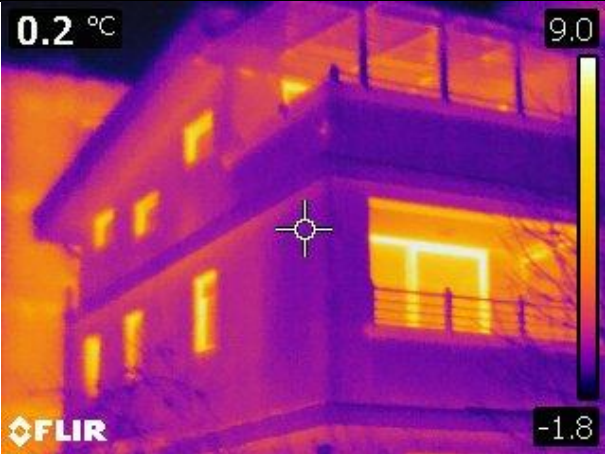
Nadaljevanje...

|                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>C4</b></p>  <p> <math>\Psi_e = -0,15</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,10</math><br/> <math>\Psi_i = 0,10</math> </p>    |                                                                                                                              |
| <p><b>C5</b></p>  <p> <math>\Psi_e = 0,05</math><br/> <math>\Psi_{oi} = -0,15</math><br/> <math>\Psi_i = -0,15</math> </p>  |                                                                                                                             |
| <p><b>C6</b></p>  <p> <math>\Psi_e = 0,15</math><br/> <math>\Psi_{oi} = -0,10</math><br/> <math>\Psi_i = -0,10</math> </p> | <p><b>C7</b></p>  <p> <math>\Psi_e = 0,15</math><br/> <math>\Psi_{oi} = -0,05</math><br/> <math>\Psi_i = -0,05</math> </p> |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

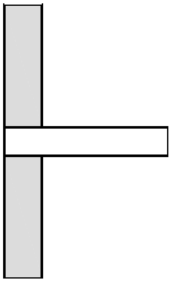
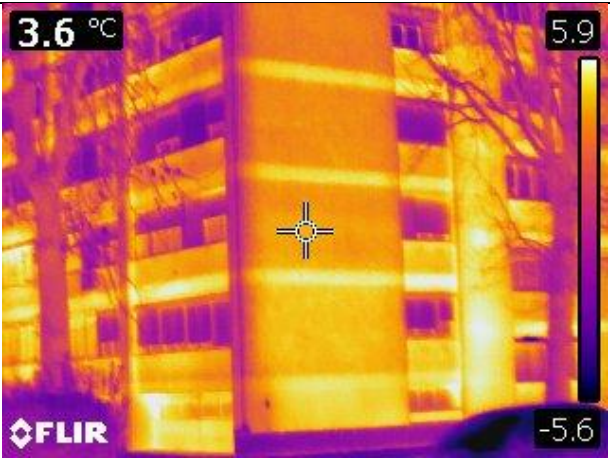
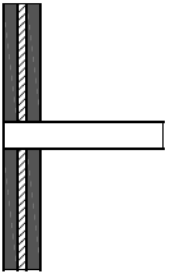
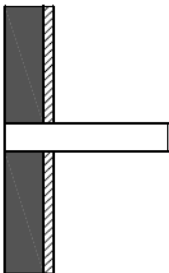
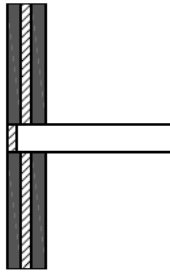
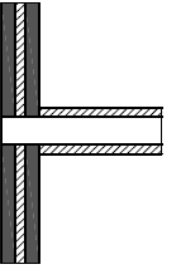
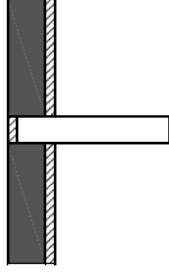
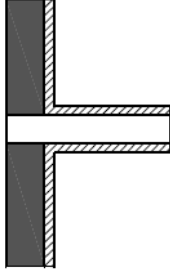
Nadaljevanje...

**Preglednica 7:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri medetažni konstrukciji.

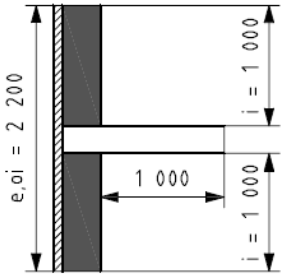
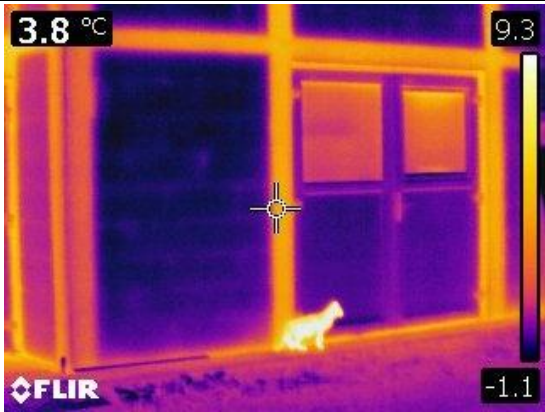
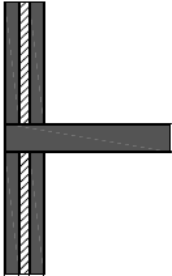
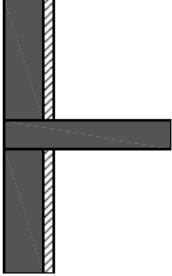
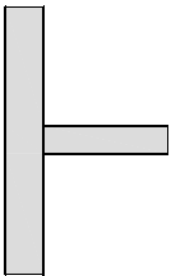
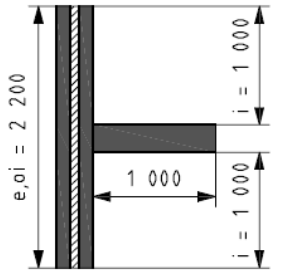
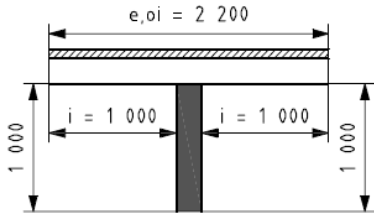
| Medetažna konstrukcija                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Medetažna konstrukcija je nujna v vsaki stavbi, ki ima več kot eno etažo. Omogoča nam, da stavbo razdelimo na več etaž ter posledično zgradimo višjo hišo.</p> <p>Pri terenskem delu sem odkril dva najpogostejša tipa toplotnih mostov povezanih z medetažnimi konstrukcijami in sicer v primeru brez toplotne izolacije in v primeru s toplotno izolacijo. Na prvi sliki se kljub izolaciji na zunanji strani jasno vidi kje poteka medetažna konstrukcija ter manjši linijski toplotni most ob njej. Druga slika pa prikazuje večstanovanjsko stavbo, ki je kot večina stavb tega tipa na izbranem območju brez TI. Tu je jasno viden potek medetažne konstrukcije.</p> |                                                                                      |
|  <p><b>IF1</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

Nadaljevanje...

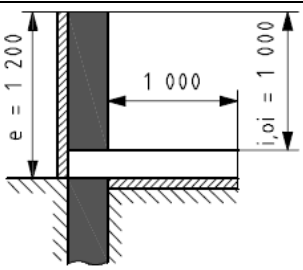
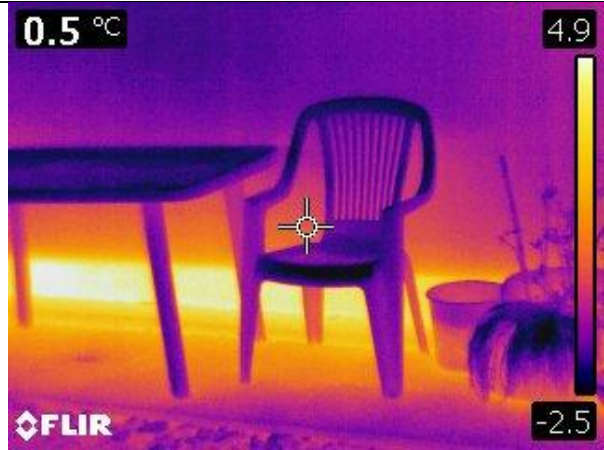
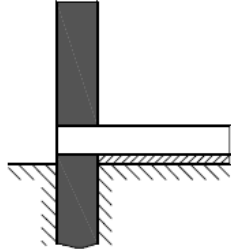

|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>IF4</b></p> $\Psi_e = 0,70$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,80$   |                                                                        |                                                                                                                                                            |
|  <p><b>IF2</b></p> $\Psi_e = 0,95$ $\Psi_{oi} = 0,95$ $\Psi_i = 1,05$  |  <p><b>IF3</b></p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$  |  <p><b>IF5</b></p> $\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,60$ $\Psi_i = 0,65$  |
|  <p><b>IF6</b></p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$ |  <p><b>IF7</b></p> $\Psi_e = 0,70$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,80$ |  <p><b>IF8</b></p> $\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,45$ $\Psi_i = 0,60$ |

**Preglednica 8:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri notranjih stenah.

| Notranja stena                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Pri opravljanju meritev sem imel kar nekaj težav z iskanjem toplotnih mostov kjer bi bile vključene notranje stene. Razlog za to je pa precej preprost. Pri gradnji stavb na izbranem območju najpogosteje najprej zgradijo obodne stene, ki potekajo brez prekinitev. K obodnim stenam nato prizidajo notranje stene, ki nimajo neposrednega stika z zunanostjo in posledično nastanek toplotnega mostu ni možen.</p> <p>Kljub temu sem pri terenskem delu zasledil manjši objekt, pri katerem sta zunanjo steno iz porozne opeke prekinili dve notranji AB steni. Toplotna izolacija je bila izvedena v obliki termoizolacijskega ometa z zunanje strani.</p> |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|  <p><b>IW1</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                       |                                                                                                                                                            |
|  <p><b>IW2</b></p> $\Psi_e = 0,95$ $\Psi_{oi} = 0,95$ $\Psi_i = 1,05$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  <p><b>IW3</b></p> $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_i = 1,00$ |  <p><b>IW4</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,20$ |
|  <p><b>IW5</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  <p><b>IW6</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,10$ |                                                                                                                                                            |

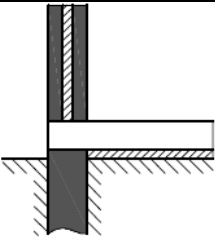
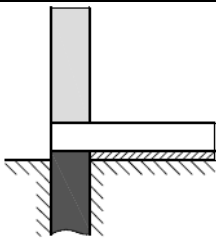
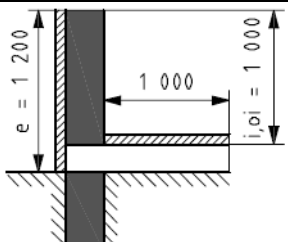
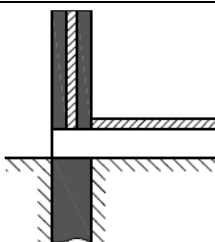
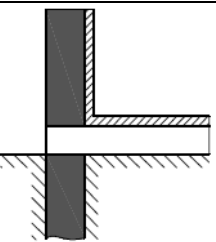
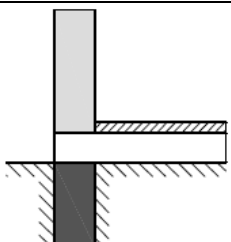


**Preglednica 9** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri tleh na terenu.

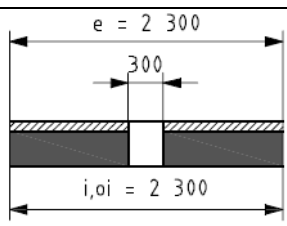
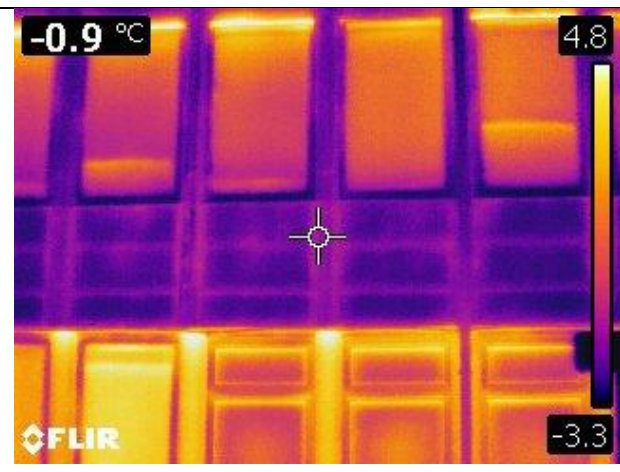
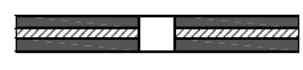

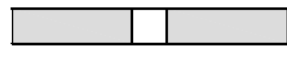
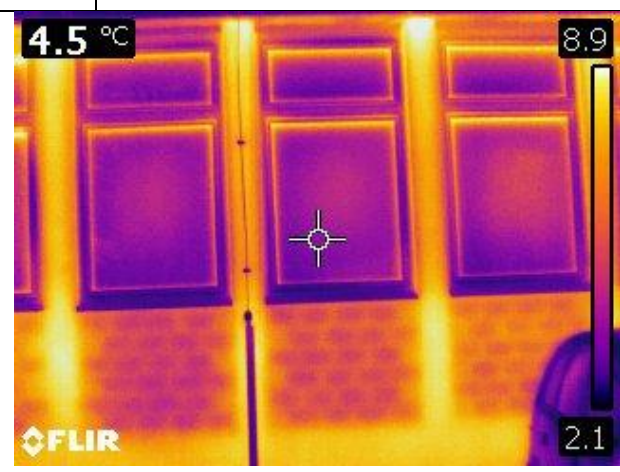
| Tla na terenu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Večina stavb zajetih v terenskem delu je starejše gradnje. Pri starejših objektih je izolacija tal na terenu bolj izjema kot pravilo. Posledično sem predpostavil, da na tleh ni nameščene nikakršne toplotne izolacije oziroma je ta minimalna (za zagotavljanje zvočne izolacije proti udarnem zvoku). Zanimivo je, da standard SIST EN ISO 14683 takšnega primera ne obravnava.</p> <p>Na prvem primeru je jasno viden toplotni most na prenovljeni stavbi z novo fasado. Drug primer pa je primer stare stavbe brez toplotne izolacije. Vidimo lahko, da je pri prvem objektu toplotni most bolj izrazit kot pri drugem.</p> |                                                                                      |
|  <p><b>GF1</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,65</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,80</math><br/> <math>\Psi_i = 0,80</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |
|  <p><b>GF3</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,55</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,70</math><br/> <math>\Psi_i = 0,70</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

Nadaljevanje...

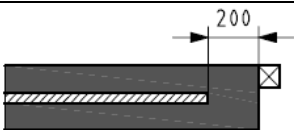
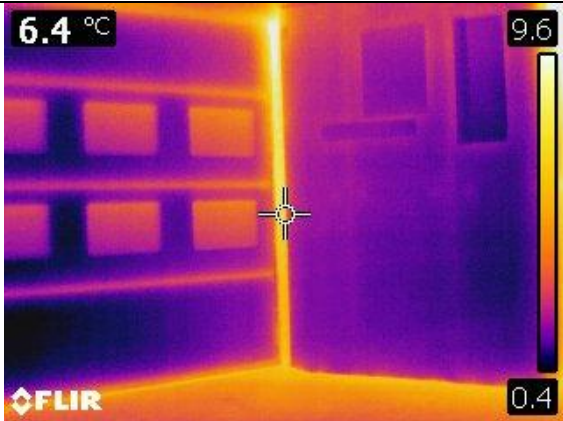
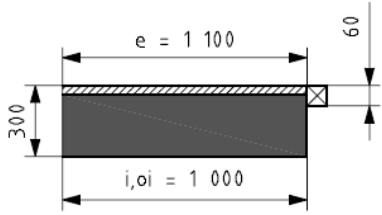
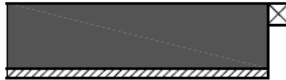

|                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>GF2</b></p> $\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$ |  <p><b>GF4</b></p> $\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,65$ $\Psi_i = 0,65$  |  <p><b>GF5</b></p> $\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$ |
|  <p><b>GF6</b></p> $\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,60$ $\Psi_i = 0,60$ |  <p><b>GF7</b></p> $\Psi_e = -0,05$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$ |  <p><b>GF8</b></p> $\Psi_e = 0,05$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$ |

**Preglednica 10:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri uporabi stebrov.

| Stebri                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Stavbe, ki imajo armiranobetonsko endoskeletno nosilno konstrukcijo običajno niso namenjene stanovanjski rabi, vendar morajo kljub temu izpolnjevati zakonske zahteve. Pri terenskem delu sem odkril dva od štirih toplotnih mostov, ki jih zajema standard SIST EN ISO 14683. Pri vseh so stebri neizolirani in so tako v neposrednem stiku tako z zunanostjo kot tudi z notranostjo. Prva slika prikazuje primer kjer so med stebre nameščene betonske plošče s toplotno izolacijo. Na drugi sliki pa je prikazan primer, ko je zid med stebri narejen iz betonskih blokov brez kakršne koli toplotne izolacije.</p> <p>Pri delu sem predpostavil, da na notranji strani zidu ni toplotne izolacije saj nisem imel dostopa v objekt.</p> |                                                                                                                                                                                                            |
|  <p><b>P1</b></p> <p><math>\Psi_e = 1,30</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 1,30</math><br/> <math>\Psi_i = 1,30</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                         |
|  <p><b>P2</b></p> <p><math>\Psi_e = 1,20</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 1,20</math><br/> <math>\Psi_i = 1,20</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  <p><b>P3</b></p> <p><math>\Psi_e = 1,15</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 1,15</math><br/> <math>\Psi_i = 1,15</math></p> |
|  <p><b>P4</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,90</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,90</math><br/> <math>\Psi_i = 0,90</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                        |

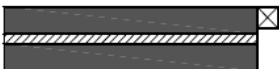
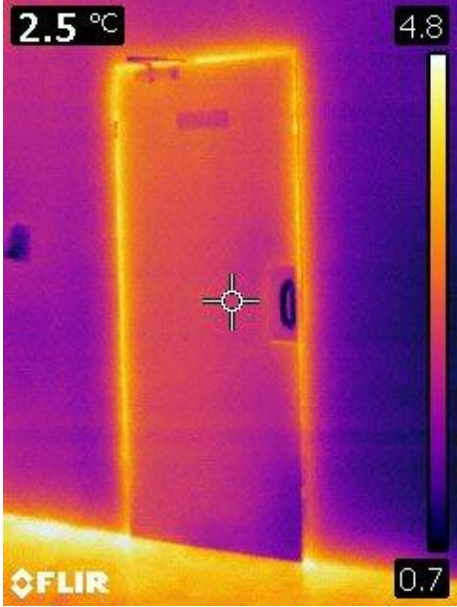
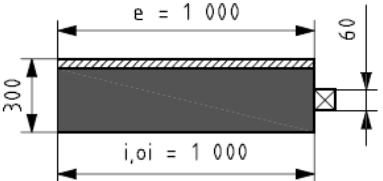
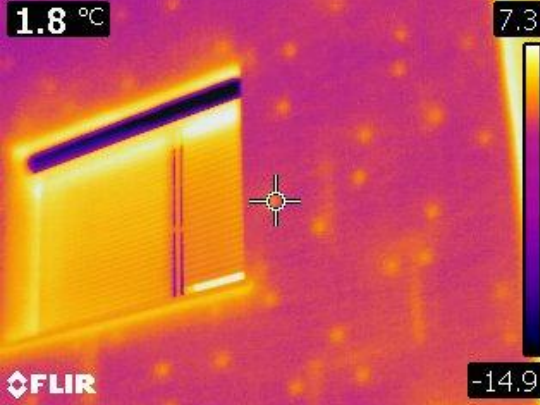
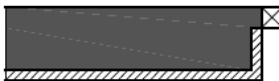
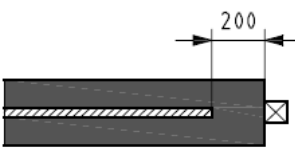
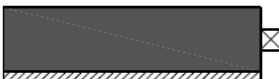


**Preglednica 11:** Tipi toplotnih mostov, ki se lahko pojavijo pri okenskih odprtinah.

| Okenske ali vratne odprtine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Vsaka stavba ima vsaj eno odprtino, ki nam omogoča dostop v notranjost. Stavb z eno odprtino je zelo malo. Običajno imajo stavbe večje število odprtin, ki poleg vstopa in izstopa ljudi omogočajo tudi dostop svetlobe v objekt. Odprtine so torej različnih velikosti in oblik v katere je vgrajeno stavbno pohištvo. Skupna lastnost vseh odprtin oz vsega stavbnega pohištva je stik s preostankom stene. Stik je odvisen od položaja stavbnega pohištva v steni ter od položaja toplotne izolacije v steni. Standard loči kar osemnajst različnih toplotnih mostov pri stiku stavbni ovoj – odprtina. Za namen te naloge sem poiskal nekaj najbolj pogostih primerov, ki se pojavljajo v stanovanjskih objektih.</p> |                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                           |
|  <p><b>W2</b></p> $\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                      |                                                                                                                                                           |
|  <p><b>W1</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  <p><b>W3</b></p> $\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$ |  <p><b>W4</b></p> $\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$ |


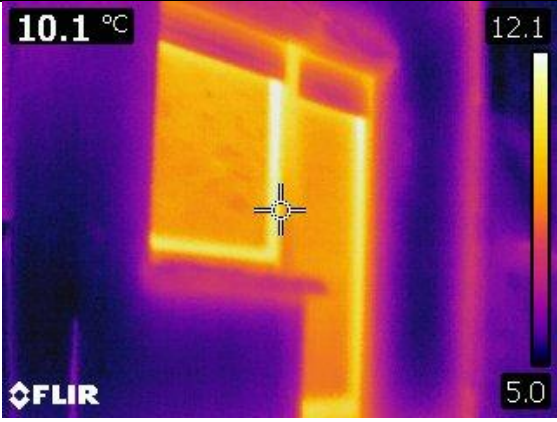
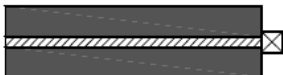

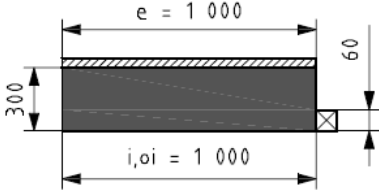
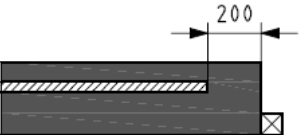
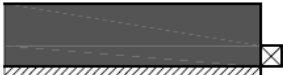

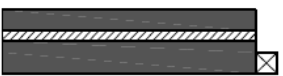
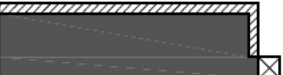

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

Nadaljevanje...

|                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>W5</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,40</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,40</math><br/> <math>\Psi_i = 0,40</math></p>   |                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                             |
|  <p><b>W7</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,45</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,45</math><br/> <math>\Psi_i = 0,45</math></p>  |                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                             |
|  <p><b>W6</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,10</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,10</math><br/> <math>\Psi_i = 0,10</math></p> |  <p><b>W8</b></p> <p><math>\Psi_e = 1,00</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 1,00</math><br/> <math>\Psi_i = 1,00</math></p> |  <p><b>W9</b></p> <p><math>\Psi_e = 0,60</math><br/> <math>\Psi_{oi} = 0,60</math><br/> <math>\Psi_i = 0,60</math></p> |

Preglednica se nadaljuje na naslednji strani...

Nadaljevanje...

|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>W10</b></p> $\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$   |                                                                        |                                                                                                                                                            |
|  <p><b>W11</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$   |  <p><b>W12</b></p> $\Psi_e = 0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$   |  <p><b>W13</b></p> $\Psi_e = 0,80$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$    |
|  <p><b>W14</b></p> $\Psi_e = 1,00$ $\Psi_{oi} = 1,00$ $\Psi_i = 1,00$ |  <p><b>W15</b></p> $\Psi_e = 0,00$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$ |  <p><b>W16</b></p> $\Psi_e = 0,15$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$ |
|  <p><b>W17</b></p> $\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,40$ $\Psi_i = 0,40$ |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            |
|  <p><b>W18</b></p> $\Psi_e = 0,20$ $\Psi_{oi} = 0,20$ $\Psi_i = 0,20$ |                                                                      |                                                                                                                                                            |

## 7. VPLIV RAZLIČNIH TOPLOTNIH MOSTOV NA ENERGETSKO BILANCO IZBRANE STAVBE

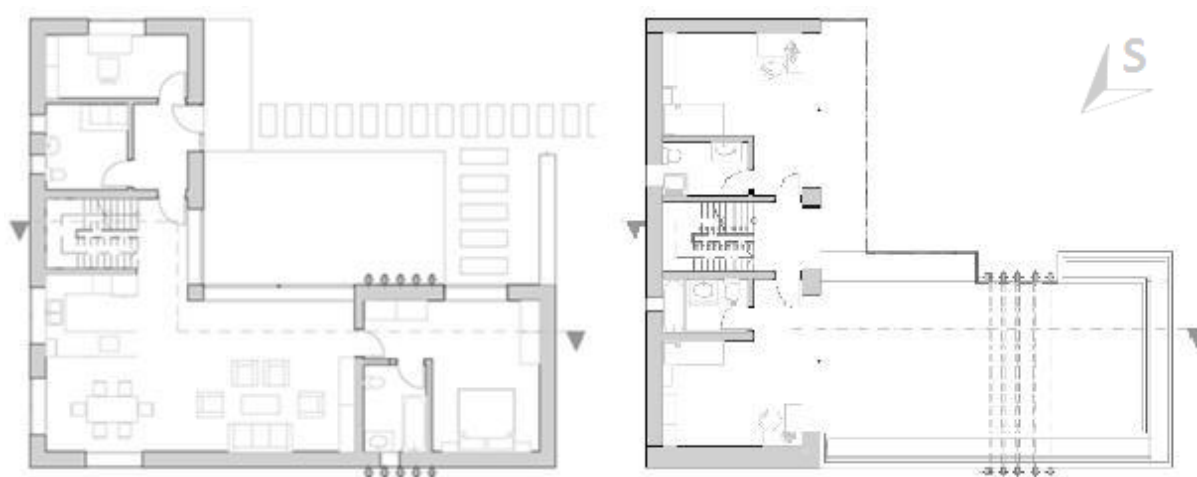
### 7.1 Izbrani objekt

Osnova za primerjavo vpliva različnih toplotnih mostov je enostanovanjska hiša, ki sem jo načrtoval tekom preteklega študijskega leta pri predmetu Uvod v načrtovanje stavb in je prikazana na sliki 7. Gre za stavbo v obliki črke L, ki je obrnjena proti jugovzhodu in ima dve etaži. Kot je razvidno iz priložene slike, je v drugi etaži na delu stavbe odprta terasa.



*Slika 9:* Slika izbrane enostanovanjske hiše.

Predvidena lokacija stavbe je v Ljubljani, natančneje v Rožni dolini v neposredni bližini študentskega naselja in vile Podrožnik. Na sliki 8 je vidno, da je glavna stavba od ceste ločena s pomožnim objektom v katerem se nahajajo servisni prostori, garaža za kolesa in orodje ter dve pokriti parkirni mesti. Celotno parcelo obdaja visoka živa meja, ki stanovalcem omogoča nekaj zasebnosti sredi mesta, jih varuje pred nezaželenimi pogledi sosedov in jim omogoča tudi nekaj sence ob sončnih dneh.



*Slika 10:* Floris pritličja (levo) in floris nadstropja (desno) izbrane stavbe.

Na naslednji strani so v preglednici 11 prikazani vsi potrebni podatki izbrane stavbe za izračun vpliva različnih toplotnih mostov na energetska bilanco.

**Preglednica 12:** Tabela prikazuje podatke o izbrani stavbi, ki so potrebni za izračun.

| <b>Splošne značilnosti obravnavane stavbe</b>                      |                              |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Vrsta stavbe                                                       | enostanovanjska              |
| Toplotna prevodnost zemljine (W/mK)                                | 2                            |
| HVAC sistemi                                                       | /                            |
| Energent                                                           | elektrika (toplotna črpalka) |
| Učinkovitost sistema                                               | 2                            |
| Lokacija (x,y)                                                     | 100880, 460530               |
| Računsko podobdobje                                                | 24/7                         |
| Senčenje                                                           | brez                         |
| <b>Splošne značilnosti posamezne cone</b>                          |                              |
| <b>Cona</b>                                                        | <b>GLAVNI OBJEKT</b>         |
| Opis cone                                                          | stanovanjski objekt          |
| Ogrevana prostornina cone V (m <sup>3</sup> )                      | 417,3                        |
| Uporabna površina cone – notranja A <sub>u</sub> (m <sup>2</sup> ) | 149,01                       |
| Projektna notranja T, pozimi (*C)                                  | 22                           |
| Projektna notranja T, poleti (*C)                                  | 22                           |
| Povprečna moč notranjih virov (W)                                  | 596,0 [7]                    |
| Vrsta prezračevanja                                                | naravno                      |
| Urna izmenjava zraka z okoljem (h <sup>-1</sup> )                  | 0,5                          |
| Minimalna izmenjava zraka (h <sup>-1</sup> )                       | 0,5                          |
| <b>Sestave KS</b>                                                  |                              |
| <b>Zunanja stena</b>                                               |                              |
| Površina netransparentni del A (m <sup>2</sup> )                   | 283,5                        |
| Toplotna prevodnost U                                              | 0,13                         |
| <b>Tla</b>                                                         |                              |
| Površina tal A <sub>f</sub> (m <sup>2</sup> )                      | 149,01                       |
| Izpostavljeni obseg tal P (m)                                      |                              |
| Toplotni upor tal                                                  | 6,41                         |
| Debelina zunanje stene nad nivojem terena d <sub>w</sub> (m)       | 0,5                          |
| <b>Streha</b>                                                      |                              |
| Površina A                                                         | 149,01                       |
| Toplotna prevodnost U                                              | 0,129                        |
| <b>Odprtine v zunanjem ovoju stavbe</b>                            |                              |
| Površina odprtine A <sub>w</sub>                                   | 61,95                        |
| Toplotna prehodnost U                                              | 0,87                         |
| Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja                          | 0,53                         |
| Faktor okvirja                                                     | 0,2                          |
| <b>Topla voda in razsvetljava</b>                                  |                              |
| Število dni zagotavljanja tople vode                               | 365                          |
| Gostota moči svetilk (W/m <sup>2</sup> )                           | maks. 8                      |
| Zasilna razsvetljava                                               | NE                           |
| Avtomatsko vodenje razsvetljave                                    | NE                           |
| Nadzorni sistem stalne osvetljenosti                               | NE                           |
| Upoštevanje zasedenosti                                            | ROČNO                        |
| Upoštevanje vpliva dnevne svetlobe                                 | ROČNO                        |

## 7.2 Izračun vpliva

Pri primerjavi vplivov različnih toplotnih mostov na porabo energije sem si pomagal z računalniškim programom TOST [11]. Pred pričetkom dela je bilo potrebno v program vnesti nekaj vhodnih podatkov, ki so prikazani v preglednici 11. Pri izbiri nekaterih vhodnih podatkov sem si pomagal z uporabniškim priročnikom računalniškega programa TOST [12]. Pri ugotovitvi moči notranjih virov sem si pomagal s tehnično smernico TSG4 [7], ki podaja za izračun povprečne moči notranjih virov enačbo  $4W \cdot A_u$  ( $4W/m^2$  na enoto uporabne površine stavbe).

Program TOST omogoča več načinov upoštevanja vpliva toplotnih mostov na energetska bilanco stavbe. Najprej sem opravil izračun z upoštevanjem toplotnih mostov na poenostavljen način – TSG4. Nato sem opravil izračun z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 pri čemer nisem vnesel nobenega toplotnega mostu. S tem sem simuliral idealno stavbo brez toplotnih mostov. Po tem postopku sem opravil tudi izračune za vsak tip toplotnega mostu posebej za primer svoje izbrane stavbe. Na koncu sem vnesel še vse možne toplotne mostove na svojem objektu in tako prikazal kako vpliva na porabo energije kombinacija toplotnih mostov.

V preglednici 13 so prikazani vsi toplotni mostovi, ki se pojavijo na izbrani stavbi vključno z pripadajočimi vrednostmi  $\Psi_e$  ter dejansko dolžino.

**Preglednica 13:** Seznam vseh toplotnih mostov opremljen s vrednostmi  $\Psi_e$  in dolžinami.

| Toplotni most | Vrednost $\Psi_e$ | Dolžina (m) |
|---------------|-------------------|-------------|
| vogal C1      | -0,05             | 27          |
| vogal C5      | 0,05              | 3           |
| tla GF1       | 0,65              | 61,8        |
| balkon B1     | 0,95              | 9,9         |
| streha R9     | -0,05             | 65,9        |
| okna W1       | 0,00              | 124,8       |
| medetažna IF1 | 0,00              | 25,2        |

## 7.3 Rezultati izračunov

### 7.3.1 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov na poenostavljen način

Pri prvem izračunu sem upošteval toplotne mostove na poenostavljen način kot je to navedeno v tehnični smernici TSG4. Pri tem izračunu sem dobil rezultate prikazane v preglednici 14. Iz rezultatov je razvidno, da pri izračunu po tem postopku izbrani objekt ustreza vsem zakonskim zahtevam po PURES 2010.

**Preglednica 14:** Rezultati pri upoštevanju toplotnih mostov na poenostavljen način – TSG-01-004-3.1.2.

|                                                                                                   |                                     | Izračunan | Največji dovoljen po PURES 2010 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Koeficient spec. transmisijskih topl. izgub stavbe $H'_T$ ( $W/m^2K$ )                            |                                     | 0,29      | 0,38                            |
| Letna raba primarne energije $Q_P$ (kWh)                                                          |                                     | 23259     | 36441                           |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)                                                |                                     | 8980      | 12741                           |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)                                                    |                                     | 6493      | 7450                            |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine | $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) | 60,26     | 85,50                           |
|                                                                                                   | $Q_{NH}/V_e$ (kWh/m <sup>3</sup> a) | 21,52     | /                               |

### 7.3.2 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnosa toplotnih mostov

V tem koraku sem opravil izračun z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 pri čemer nisem vnesel nobenega toplotnega mostu. Rezultat izračuna je prikazan v preglednici 15.

**Preglednica 15:** Rezultati z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnesenih toplotnih mostov.

|                                                                                                   |                                     | Izračunan | Največji dovoljen po PURES 2010 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Koeficient spec. transmisijskih topl. izgub stavbe $H'_T$ ( $W/m^2K$ )                            |                                     | 0,33      | 0,38                            |
| Letna raba primarne energije $Q_P$ (kWh)                                                          |                                     | 21546     | 36441                           |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)                                                |                                     | 8288      | 12741                           |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)                                                    |                                     | 5781      | 7450                            |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine | $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) | 55,62     | 85,50                           |
|                                                                                                   | $Q_{NH}/V_e$ (kWh/m <sup>3</sup> a) | 19,86     | /                               |



Iz dobljenih rezultatov lahko opazimo, da se potrebna toplota za ogrevanje stavbe zmanjša za 682 kWh oziroma za 7,7% če predvidimo, da stavba nima toplotnih mostov. Hkrati pa pade tudi potreba po hladu za hlajenje stavbe za 712 kWh oziroma za 11%. Posledično se zmanjšata tudi letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto uporabne površine in kondicionirane prostornine. Seveda ta račun ni pravilen, saj je program izračun naredil ob predpostavki, da objekt nima nikakršnega toplotnega mostu, kar pa vemo, da je zelo malo verjetno oziroma nemogoče.

### 7.3.3 Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 z vnosom vsakega toplotnega mostu posebej

V naslednjem koraku sem naredil izračun vpliva posameznega toplotnega mostu za svoj izbrani objekt. Pri tem sem se osredotočil le na toplotne mostove, ki se lahko pojavijo na izbrani stavbi in jih v izračunih upošteval v dolžinah v katerih se lahko pojavljajo na izbrani stavbi.

Pri izbrani hiši se pojavlja več različnih toplotnih mostov. Zanimivo je dejstvo, da imajo nekateri toplotni mostovi vrednost  $\Psi_e$  enako nič, kar pomeni, da ne vplivajo na porabo energije. Čeprav ne vplivajo na porabo energije se ti toplotni mostovi pojavljajo v izbrani stavbi, zato sem se odločil, da kljub temu naredim izračun in rezultate predstavim v preglednici 16.

**Preglednica 16:** Rezultati za toplotne mostove, ki se pojavljajo v izbrani stavbi in katerih vrednosti  $\Psi_e=0$ .

| Toplotni most                                                                                           | Notranje stene IW1 | Medetažne konstr. IF1 | Okenske odprtine W1 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| Vrednost $\Psi_e$                                                                                       | 0,00               | 0,00                  | 0,00                |
| Dolžina toplotnega mostu (m)                                                                            | 42                 | 25,2                  | 124,8               |
| Rezultati izračuna                                                                                      |                    |                       |                     |
| Koeficient spec. transmisijskih topl. izgub stavbe $H'_T$ (W/m <sup>2</sup> K)                          | 0,33               | 0,33                  | 0,33                |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)                                                      | 8288               | 8288                  | 8288                |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)                                                          | 5781               | 5781                  | 5781                |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) | 55,62              | 55,62                 | 55,62               |



Pričakovano se vrednosti izračuna z vključenim posameznim toplotnim mostom ne spreminjajo. S tem sem dokazal, da ti toplotni mostovi ne vplivajo na porabo energije v izbrani stavbi. Torej je z vidika vpliva na porabo energije povsem vseeno ali pri gradnji hiše notranje stene samo prislonimo k obodnim stenam ali jih pa priključimo tako, da prekinemo zunanjo steno, saj to ne vpliva na porabo energije. Podobno tudi postavitve medetažne konstrukcije ne vpliva na porabo energije. Pri okenskih odprtinah pa imamo več možnosti postavitve stavbnega pohištva. Pri primeru okenske odprtine W1 je stavno pohištvo nameščeno na zunanjem delu stene in je tako skoraj v ravnini s toplotno izolacijo, kar pomeni, da se stika stavbno pohištvo s polno debelino toplotne izolacije. Posledično ni vpliva na porabo energije saj toplotna izolacija ni ne prekinjena ne oslABLJENA.

V preglednici 17 je prikazan vpliv preostalih toplotnih mostov, katerih vrednost  $\Psi_e$  je različna od nič na porabo energije v izbrani stavbi.

**Preglednica 17:** Rezultati za toplotne mostove, ki se pojavljajo v izbrani stavbi katerih vrednosti  $\Psi_e$  niso enake nič.

| Toplotni most | Vrednost $\Psi_e$ | Dolžina toplotnega mostu (m) | Rezultati izračuna                                |                                                    |                                                |                                                                                         |  |
|---------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|
|               |                   |                              | Koeficient spec. izgub stavbe $H'_T$ ( $W/m^2K$ ) | Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh) | Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh) | Letna potr. toplota za ogrevanje na enoto neto up. površine $Q_{NH}/A_u$ ( $kWh/m^2a$ ) |  |
| Vogal C1      | -0,05             | 27                           | 0,33                                              | 8202                                               | 5814                                           | 55,04                                                                                   |  |
| Vogal C5      | 0,05              | 3                            | 0,33                                              | 8335                                               | 5782                                           | 55,94                                                                                   |  |
| Tla GF1       | 0,65              | 61,8                         | 0,40                                              | 11937                                              | 5049                                           | 80,11                                                                                   |  |
| Balkon B1     | 0,95              | 9,9                          | 0,34                                              | 9154                                               | 5597                                           | 61,43                                                                                   |  |
| Streha R5     | 0,6               | 65,9                         | 0,40                                              | 11878                                              | 5059                                           | 79,71                                                                                   |  |
| Streha R9     | -0,05             | 65,9                         | 0,32                                              | 8030                                               | 5856                                           | 53,89                                                                                   |  |
| Okna W7       | 0,45              | 124,8                        | 0,43                                              | 13432                                              | 4818                                           | 90,14                                                                                   |  |
| Okna W13      | 0,8               | 124,8                        | 0,50                                              | 17651                                              | 4293                                           | 118,45                                                                                  |  |
| Okna W18      | 0,2               | 124,8                        | 0,37                                              | 10539                                              | 5305                                           | 70,73                                                                                   |  |

Rezultate iz prejšnje tabele sem primerjal z rezultati, ki sem jih dobil pri izračunu po TSG4 ter po standardu SIST EN ISO 14863 brez vnesenih toplotnih mostov. Ugotovitve glede vpliva na porabo energije so prikazane v spodnjih preglednicah (Preglednica 18 in 19) v obliki vrednosti, ki predstavljajo povečanje oz zmanjšanje posameznih vrednosti glede na osnovne izračune podane v preglednicah 14,15.

**Preglednica 18:** Primerjava vrednosti vpliva posameznega toplotnega mostu v primerjavi z izračunom po TSG4.

| Rezultati primerjave z izračunom po TSG4.. |                   |                         |                                                                    |                                                 |                                                   |                                                                                                 |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Toplotni most                              | Vrednost $\Psi_e$ | Dolžina topl. mostu (m) | Pov. koeficienta spec. transmisivskih topl. izgub stavbe $H_T$ (%) | Pov letne potr. topl. za ogrevanje $Q_{NH}$ (%) | Pov. letnega potr. hlada za hlajenje $Q_{NC}$ (%) | Pov. letne potr. topl. za ogrevanje na enoto neto up. povr. $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) |
| Vogal C1                                   | -0,05             | 27                      | +13,8                                                              | -8,7                                            | -10,5                                             | -8,7                                                                                            |
| Vogal C5                                   | 0,05              | 3                       | +13,8                                                              | -7,0                                            | -11,0                                             | -7,2                                                                                            |
| Tla GF1                                    | 0,65              | 61,8                    | +37,9                                                              | +32,9                                           | -22,2                                             | +32,9                                                                                           |
| Balkon BI                                  | 0,95              | 9,9                     | +17,2                                                              | +1,9                                            | -13,8                                             | +1,9                                                                                            |
| Streha R5                                  | 0,6               | 65,9                    | +37,9                                                              | +32,3                                           | -22,1                                             | +32,3                                                                                           |
| Streha R9                                  | -0,05             | 65,9                    | +10,3                                                              | -10,6                                           | -9,8                                              | -10,6                                                                                           |
| Okna W7                                    | 0,45              | 124,8                   | +48,3                                                              | +49,6                                           | -25,8                                             | +49,6                                                                                           |
| Okna W13                                   | 0,8               | 124,8                   | +72,4                                                              | +96,6                                           | -33,9                                             | +96,6                                                                                           |
| Okna W18                                   | 0,2               | 124,8                   | +27,6                                                              | +17,4                                           | -18,3                                             | +17,4                                                                                           |

**Preglednica 19:** Primerjava vrednosti vpliva posameznega toplotnega mostu v primerjavi z izračunom po standardu SIST EN ISO 14683 brez upoštevanja toplotnih mostov.

| Rezultati primerjave z osnovnim izračunom po standardu SIST EN ISO 14683 brez upoštevanja topl. mostov. |                   |                         |                                                                     |                                                 |                                                   |                                                                                                 |  |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| Toplotni most                                                                                           | Vrednost $\Psi_e$ | Dolžina topl. mostu (m) | Pov. koeficienta spec. transmissijskih topl. izgub stavbe $H_T$ (%) | Pov letne potr. topl. za ogrevanje $Q_{NH}$ (%) | Pov. letnega potr. hlada za hlajenje $Q_{NC}$ (%) | Pov. letne potr. topl. za ogrevanje na enoto neto up. povr. $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) |  |  |  |
| Vogal C1                                                                                                | -0,05             | 27                      | +0,0                                                                | -1,0                                            | 5814                                              | -1,0                                                                                            |  |  |  |
| Vogal C5                                                                                                | 0,05              | 3                       | +0,0                                                                | +0,8                                            | 5782                                              | +0,8                                                                                            |  |  |  |
| Tla GF1                                                                                                 | 0,65              | 61,8                    | +21,2                                                               | +44,0                                           | 5049                                              | +44,0                                                                                           |  |  |  |
| Balkon BI                                                                                               | 0,95              | 9,9                     | +3,0                                                                | +10,4                                           | 5597                                              | +10,4                                                                                           |  |  |  |
| Streha R5                                                                                               | 0,6               | 65,9                    | +21,2                                                               | +43,3                                           | 5059                                              | +43,3                                                                                           |  |  |  |
| Streha R9                                                                                               | -0,05             | 65,9                    | -3,0                                                                | -3,1                                            | 5856                                              | -3,1                                                                                            |  |  |  |
| Okna W7                                                                                                 | 0,45              | 124,8                   | +30,3                                                               | +62,1                                           | 4818                                              | +62,1                                                                                           |  |  |  |
| Okna W13                                                                                                | 0,8               | 124,8                   | +51,5                                                               | +113,0                                          | 4293                                              | +113,0                                                                                          |  |  |  |
| Okna W18                                                                                                | 0,2               | 124,8                   | +12,1                                                               | +27,2                                           | 5305                                              | +27,2                                                                                           |  |  |  |

### 7.3.4. Izračun po SIST EN ISO 14683 z upoštevanjem vseh toplotnih mostov

Na koncu sem opravil še izračun pri katerem sem na izbrani stavbi upošteval vse toplotne mostove, ki se pojavijo v dejanski dolžini.

Rezultati izračuna z upoštevanjem vseh toplotnih mostov so prikazani v preglednici 20. Izračun z dejanskimi toplotnimi mostovi sem primerjal tudi z izračunom po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnesenih toplotnih mostov ter z izračunom na poenostavljen način – TSG-01-004-3.1.2. To sem prikazal v priloženi preglednici 20.

**Preglednica 20:** Rezultati izračuna z upoštevanjem toplotnih mostov iz preglednice 13 in primerjava z osnovnima izračunoma.

| Rezultati z upoštevanjem dejanskih toplotnih mostov na izbrani stavbi                    |                                                    |                                                |                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Koeficient spec. transmisijskih topl. izgub stavbe $H'_T$ ( $W/m^2K$ )                   | Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh) | Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh) | Letna potr. toplota za ogrevanje na enoto neto up. površine $Q_{NH}/A_u$ ( $kWh/m^2a$ ) |
| 0,41                                                                                     | 12394                                              | 4975                                           | 83,18                                                                                   |
| Primerjava z izračunom po standardu SIST EN ISO 14683 brez vnesenih toplotnih mostov (%) |                                                    |                                                |                                                                                         |
| +24,2                                                                                    | +49,5                                              | -13,9                                          | +49,5                                                                                   |
| Primerjava z izračunom na poenostavljen način – TSG-01-004-3.1.2. (%)                    |                                                    |                                                |                                                                                         |
| +41,4                                                                                    | +38,0                                              | -23,4                                          | +38,0                                                                                   |

Pri rezultatih je jasno vidno, da ima metoda izračuna energetske bilance pomemben vpliv na končne rezultate. Pričakovano je bilo, da se bo potrebna količina energije za ogrevanje nekoliko povečala vendar me je presenetilo, da se je povečala za več kot tretjino glede na poenostavljeno metodo in metodo s »pozabljenimi« toplotnimi mostovi. Na podlagi teh rezultatov sklepam, da je za večino stavb potrebna energija za ogrevanje narobe izračunana, saj je večina izračunov narejenih po poenostavljeni metodi, ki nikakor ne prikaže realnega stanja in realne porabe energije.

Zanimivo je dejstvo, da ti toplotni mostovi, ki povečujejo potrebo po energiji za ogrevanje ugodno vplivajo na potrebno energijo za hlajenje  $Q_{NC}$ . Po rezultatih se vidi, da je potrebna energija za hlajenje od 13,9% do 23,4% nižja kot v primeru poenostavljene metode in metode po standardu brez toplotnih mostov. Do tega pojava pride zaradi upoštevanja toplotnih mostov, ki pripomorejo tako k zmanjšanju potrebe po hladu pri ohlajevanju kot tudi povečajo potrebo po toploti za ogrevanje.

Na tem mestu je potrebno poudariti, da je izračun po poenostavljeni metodi iz TSG4 dovoljen le v primeru, ko so vrednosti vplivov toplotnih mostov  $\Psi_e$  manjši ali enaki  $0,20 W/m K$ . Torej gre zgolj za približen izračun, ki ne prikaže dejanskega stanja. Za razliko od poenostavljene metode je natančnejši izračun po standardu SIST EN ISO 14683, ki natančno upošteva vse toplotne mostove na izbrani stavbi. Vsekakor pa je potrebno omeniti, da na izračune ne vpliva samo metoda po kateri računamo

temveč tudi stavba sama. Tako na izračune pomembno vplivajo oblika in velikost stavbe, vrsta nosilne konstrukcije stavbe ter tudi vrste konstrukcijskih sklopov in materiali uporabljeni pri gradnji.

V preglednici 21 so ponovno prikazani rezultati izračuna energetske bilance za izbrano stavbo po standardu z upoštevanjem vseh toplotnih mostov. V skrajnem desnem stolpcu so navedene vrednosti, ki so predpisane na območju Republike Slovenije. Z rdečo barvo so v tabeli obarvane vrednosti, ki presegajo predpisane. Stavba ustreza vsem zahtevam glede porabe energije, ne ustreza pa koeficient specifičnih transmisij izgub. To je posledica upoštevanja vseh toplotnih mostov, ki se pojavijo na izrani stavbi. V primeru, da bi imela stavba drugačno obliko in posledično manj toplotnih mostov bi bil lahko tudi ta kriterij izpolnjen.

**Preglednica 21:** Primerjava rezultatov izračuna s računalniškim programom TOST z upoštevanjem toplotnih mostov navedenih v preglednici 13 z vrednostmi, ki so predpisane na izbranem območju.

|                                                                                                   | Izračunan                           | Največji dovoljen po PURES 2010 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Koeficient spec. transmisij topl. izgub stavbe $H'_T$ (W/m <sup>2</sup> K)                        | 0,41                                | 0,38                            |
| Letna raba primarne energije $Q_P$ (kWh)                                                          | 27233                               | 36441                           |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje $Q_{NH}$ (kWh)                                                | 12394                               | 12741                           |
| Letni potrebni hlad za hlajenje $Q_{NC}$ (kWh)                                                    | 4975                                | 7450                            |
| Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine | $Q_{NH}/A_u$ (kWh/m <sup>2</sup> a) | 83,18                           |
|                                                                                                   | $Q_{NH}/V_e$ (kWh/m <sup>3</sup> a) | 29,71                           |
|                                                                                                   |                                     | /                               |

## 8. ZAKLJUČEK

Cilj diplomske naloge je bil preveriti kateri tipi toplotnih mostov se dejansko pojavljajo med v analizi upoštevanimi stavbami ter preveriti njihov vpliv na energetska bilanco stavbe. Pred začetkom dela smo naredili nekaj predpostavk glede pogostosti pojava katerega izmed toplotnih mostov, ki so se tekom terenskega dela izkazale za točne. Ugotovili smo, da sta toplotna mostova pri preboju horizontalne konstrukcije skozi zunanjo steno (balkon) ter ob stiku stavbnega pohištva z zunanjo steno res najpogostejša. Tudi pri vplivu na energetska bilanco se je izkazalo, da sta predpostavki pravilni.

V prvem delu naloge smo torej opravili terensko delo, katerega ne bi bilo mogoče izvesti brez IR kamere. S pomočjo IR kamere smo v zimskem času opravili izmere nekaterih objektov na Viču v bližini UL FGG ter na območju Brežic. Po izvedenem terenskem delu je bilo potrebno opraviti analizo rezultatov in pripraviti katalog toplotnih mostov opremljen z rezultati terenskega dela. Zaradi omejenega dostopa do IR kamere nismo uspeli poiskati vseh tipov toplotnih mostov in zanje narediti meritve, saj so nekateri toplotni mostovi pogostejši od drugih. Zaradi tega katalog ni popoln saj ni poleg vsakega tipa toplotnega mostu pripadajočega rezultata terenskega merjenja. Rezultati, ki smo jih dobili so pokazali, da so bile naše osnovne predpostavke točne. Zelo pogosto se je pojavljal toplotni most ob stiku stavbnega pohištva z zunanjo steno. Pri novejših objektih je bil ta toplotni most sicer skoraj neviden, pri obnovljenih objektih pa je bila izrazitost odvisna od natančnosti izvedbe obnove. Bolj zanimivo je bilo dejstvo, da so vse merjene stavbe, ki so imele balkone imele tudi pripadajoči toplotni most. Tu pa ni bilo razlike med starimi, obnovljenimi in novimi kar je zaskrbljujoč podatek, saj se danes na trgu pojavljajo izdelki s katerimi se lahko tem tipu toplotnega mostu izognemo. Pri obnovah stavb pa seveda nihče ne razmišlja o možnosti reševanja toplotnega mostu pod balkonom. To je glavni problem, saj tako opravljena obnova in toplotna sanacija ni celovita. S tem postane toplotni most le še bolj izrazit in ga je tako še lažje najti z IR kamero. Posledično pa lahko tudi povzroči gradbeno fizikalne težave (nastanek kondenzacije, rast plesni) za uporabnike stavbe.

Drugi del naloge je zajemal oceno vpliva toplotnih mostov na energetska bilanco. Ocena je bila opravljena na primeru namišljene enostanovanjske hiše s pomočjo računalniškega programa TOST. Opravljenih je bilo več izračunov po različnih metodah. Začel sem z izračunom, ki vpliv toplotnih mostov upošteva po poenostavljeni metodi, ki je zapisana v tehnični smernici TSG-01-004-3.1.2. Drugi izračun je zajemal vpliv toplotnih mostov po standardu SIST EN ISO 14683 vendar pri tem koraku ni bil vnesen noben toplotni most. Tretji izračun je narejen po istem kopitu kot drugi, le da sem vnašal vanj tudi posamezne toplotne mostove, ki se pojavijo v izbrani hiši z dejanskimi dolžinami. Pri tem sem dobil več rezultatov, ki sem jih prikazal v dveh tabelah. V zadnjem koraku pa sem v izračun po drugi metodi vnesel vse možne toplotne mostove v dejanski dolžini, kot se ti pojavijo na izbranem objektu. Rezultati pridobljeni z izračuni pa so pokazali zanimiva odstopanja.

Če vzamemo kot osnovo izračun po poenostavljeni metodi lahko zelo hitro ugotovimo, da v kolikor opravimo oceno po standardu SIST EN ISO 14683 in pri tem ne vnesemo nobenega toplotnega mostu se poraba energije za ogrevanje zmanjša za 7,7%, potrebni hlad za ohlajevanje pa se zmanjša za 11% in oboje posledično pozitivno vpliva na energetska bilanco. Posledično se za 13,8% poveča tudi koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe.

Pri vnašanju posameznih toplotnih mostov smo nato ugotovili, da nekateri toplotni mostovi nimajo nikakršnega vpliva na energetska bilanco medtem, ko je vpliv drugih zelo velik. Brez vpliva na energetska bilanco so toplotni mostovi notranje stene IW1, medetažne konstrukcije IF1 ter okenske odprtine W1, saj imajo vrednost  $\Psi_e$  enako nič. Popolnoma drugačen vpliv pa imajo okenske odprtine W7 in W13, ki povečajo potrebno energijo za ogrevanje za 49,6% oziroma za 96,6%. Na tem mestu moram zopet opozoriti, da so ti rezultati posledica geometrijskih karakteristik izbranega objekta ter da bi bili rezultati za kakšen drug objekt lahko povsem drugačni. Pri zadnjem izračunu sem vnesel vse toplotne mostove glede na metodo izračuna po standardu SIST EN ISO 14683 in pri tem prišel do zaskrbljujočih rezultatov. Poraba energije za ogrevanje je bila namreč kar za slabih 50% večja kot brez vnesenih toplotnih mostov in 38% večja kot pri poenostavljeni metodi. Na drugi strani pa je bila potrebna energija za hlad nekoliko manjša in sicer 13,9% manjša kot brez vnesenih toplotnih mostov ter 23,4% manjša kot po poenostavljeni metodi. Na podlagi teh rezultatov je razvidno, da v primeru upoštevanja vseh toplotnih mostov energetska bilanca objekta precej slabša in posledično stavba ne ustreza vsem zakonskim zahtevam Tako lahko vidimo, da stavba ustreza zahtevam glede letne potrebne toplote za ogrevanje in letnega potrebnega hlada za ohlajevanje, ne ustreza pa koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe. Pri prvih dveh izračunih pa so bile vse vrednosti nižje od zakonsko predpisanim zgornjim mej, kar pomeni, da ima objekt po prvih dveh izračunih precej boljšo energetska bilanco.

V primeru izbrane stavbe je torej razlika med natančno metodo po standardu, ki upošteva vse toplotne mostove in poenostavljeno metodo precejšna. Vprašanje, ki si ga postavljam, je koliko je na izbranem območju objektov z napačno izračunano energetska bilanco, saj ta vpliva tudi na energetska razred stavbe. Izbrana stavba je v primeru izračuna po poenostavljeni metodi iz TSG4 na spodnji meji energijskega razreda D. Če opravimo izračun po metodi z »pozabljenimi« toplotnimi mostovi se energijski razred izboljša, saj preide stavba v energijski razred C. Pri tem ne gre za veliko izboljšavo, ker je stavba še vedno blizu zgornje meje energijskega razreda. V primeru izračuna z upoštevanjem vseh toplotnih mostov pa pade stavba v sredino energijskega razreda D. Energijske razrede sem povzel po Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [21].



»Ta stran je namenoma prazna.«

## 9. VIRI

- [1] The Concerted Action EPBD. 2016. <http://www.epbd-ca.eu/> (Pridobljeno 9.4.2016)
- [2] Šijanec Zavrl, M. 2012. Trajnostna gradnja: Od energijsko učinkovite do zelene in trajnostne stavbe. ZMRK. Mladina: 49. str.  
<http://www.mladina.si/118540/trajnostna-gradnja/> (Pridobljeno 9.4.2016)
- [3] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta, Uradni list Evropske unije, [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=celex%3A32010L0031#ntr6-L\\_2010153SL.01001301-E0006](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=celex%3A32010L0031#ntr6-L_2010153SL.01001301-E0006) (Pridobljeno 9.6.2016)
- [4] KemInfo. 2016. Ultravijolična in infrardeča spektroskopija.  
<http://keminfo.pef.uni-lj.si/ro03m/uvirspl.htm> (Pridobljeno 9.6.2016)
- [5] Encyclopedia Britannica. 2016. Sir William Herschel.  
<https://www.britannica.com/biography/William-Herschel> (Pridobljeno 30.3.2016)
- [6] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). Uradni list RS, št. 52/2010: str.  
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=98727> (Pridobljeno 9.4.2016)
- [7] Tehnična smernica TSG-1-004 Učinkovita raba energije. 2010.  
[http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TS-G-01-004\\_2010.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TS-G-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 9.4.2016)
- [8] Standard SIST EN ISO 14683 Toplotni mostovi v stavbah – Linearna toplotna prehodnost – Poenostavljena metoda in privzete vrednosti,
- [9] Romb d.o.o. Edvard Hiti. 2006. Uporaba sodobne termovizijske kamere v gradbeništvu.  
[http://www.ravago.si/docs/uporaba\\_termovizijske\\_kamere.pdf](http://www.ravago.si/docs/uporaba_termovizijske_kamere.pdf) (Pridobljeno 30.6.2016)
- [10] FLIR. The ultimate infrared handbook for R&D professionals.  
[http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T559243/T559243\\_EN.pdf](http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T559243/T559243_EN.pdf)  
(Pridobljeno 30.6.2016)
- [11] Thermal imaging for Science / R&D. 2015. SI, FLIR: 44 str.
- [12] Krainer, A. Perdan, R. 2009. Računalniški program (TOST) za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ljubljana UL FGG.
- [13] Krainer, A. Perdan, R. 2009. Uporabniški priročnik za računalniški program (TOST) za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ljubljana. UL FGG.
- [14] Agencija Republike Slovenije za Okolje. Arhiv opazovanih in merjenih meteoroloških podatkov po Sloveniji. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (Pridobljeno 5.7.2016)
- [15] Energetski zakon EZ-1. 2014. Uradni list RS, št. 17/2014,  
<https://www.uradni-list.si/1/content?id=116549> (Pridobljeno 11.7.2016)

- [16] Ministrstvo za infrastrukturo RS. Portal energetika. 2016. Osnovne informacije o energetskih izkaznicah. <http://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetske-izkaznice-stavb/> (Pridobljeno 12.7.2016)
- [17] Google maps. <http://www.google.si/maps> (Pridobljeno 12.7.2016)
- [18] Statistični urad Republike Slovenije. 2002. Stanovanjski sklad, stanovanja po letu zgraditve po občinah Slovenije, po metodologiji popisa 2002, letno. <http://pxweb.stat.si/pxweb/dialog/Saveshow.asp> (Pridobljeno 12.7.2016)
- [19] Amon, J. 2015. Analiza učinkovitosti ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov. Diplomsko delo. Ljubljana. UL FGG. <http://drugg.fgg.uni-lj.si/5051/> (Pridobljeno 12.7.2016)
- [20] Urbančič, I. 2008. Infrardeče tehnologije. Ljubljana. UL FMF. <http://www-fl.ijs.si/~ziherl/IRTehnologije.pdf> (Pridobljeno 13.7.2016)
- [21] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. 2014. Uradni list RS. št. 92/2014. <https://www.uradni-list.si/1/content?id=119788> (Pridobljeno 26.7.2016)