

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2017

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat/-ka:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKA - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 692.232:004.946(497.4)(043.2)
Avtor: Dejan Bizjak
Mentor: doc. dr. Mitja Košir
Naslov: 2D-toplotna analiza stavbnega ovoja na podlagi 3D-modela.
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – visokošolski študij
Obseg in oprema: 77str., 41sl., 21 pregl.
Ključne besede: 2D-toplotno polje, toplotni mostovi, stavbni ovoj, lasersko 3D-skeniranje, prehod toplote, toplotna analiza stavbnega ovoja

Izvilleček

Diplomsko delo zajema toplotno analizo stavbnega ovoja s pomočjo programskega orodja THERM 7.5. Ovoj stavbe je bil izrisan v programu AutoCAD s pomočjo oblaka točk, pridobljenega z laserskim skeniranjem. Izrisani so trije profili stavbnega ovoja z različno stopnjo členjenosti: profil, ki predstavlja idealiziran stavbni ovoj (minimalno členjen); profil, ki predstavlja model obravnavane stavbe; in profil, ki predstavlja realno stanje na podlagi oblaka točk iz 3D-skeniranja. Za vsakega izmed profilov je bilo modeliranih 6 križanj, ki so bila analizirana v THERMu. Križanja so geometrijsko modelirana v skladu s SIST EN ISO 10211:2017. Rezultati 2D-toplotne analize so prikazani v obliki izoterm, termografskega izrisa toplotnega polja, vektorjev toplotnega toka in z intenzivnostjo toplotnega toka. Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko sklepamo, da členjenost v primeru obravnavane stavbe vpliva na spremembo toplotnega polja v stavbnem ovoj ter s tem na toplotni tok in toplotne izgube stavbe. Najmanjši toplotni tok teče skozi idealiziran profil. Razgibanost stavbnega ovoja vpliva na povečanje toplotnega toka skozi dele stavbe, kjer je stena zamaknjena v notranjost ali pa se medetažna plošča skozi steno nadaljuje v zunanost. V takih primerih se nam lokalno poveča toplotna prehodnost, kar posledično vpliva na zmanjšanje energetske učinkovitosti.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 692.232:004.946(497.4)(043.2)
Autor: Dejan Bizjak
Supervisor: assist. prof. Mitja Košir
Title: 2D thermal analysis of a building envelope on the base of a 3D model
Document type: Graduation thesis – higher professional studies
Notes: 77p., 41fig., 21tab.
Key words: 2D thermal analysis, building envelope, 3D scanning, heat flux

Abstract

The thesis deals with the thermal analysis of a building envelope, using the software tool THERM 7.5. The building envelope is drawn in the AutoCAD program, using the point cloud acquired by means of laser scanning. Three profiles of the building envelope are drawn, each with a different degree of division: the profile presenting the ideal building envelope (minimal division); the profile presenting the model of the building in question; and the profile presenting the real state, which is based on the point cloud from the 3D scanning. For each profile, 6 crossings are modelled and analysed in THERM. The crossings are geometrically modelled according to SIST EN ISO 10211:2017. The results of the 2D thermal analysis are presented in the form of contour lines, thermographic drawing of the thermal field, heat flux vectors and intensity of the heat flux. Based on the acquired results, it can be concluded that the division in the case of the building in question has an effect on the change of the thermal field in the building envelope and consequently on heat flux and heat loss of the whole building. The heat flux is smallest in the idealized profile. A dynamic building envelope affects the heat flux to increase, especially through the parts of the building, where the wall is moved inside the building or where the reinforced concrete plate continues through the wall to the exterior. In such cases the thermal conduction increases locally, which consequently affects the thermal efficiency to decrease.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za strokovno pomoč, ideje in napotke se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju.

Zahvaljujem se podjetju Vitrumlaser za podatke pridobljene z laserskim skenerjem.

Zahvaljujem se tudi Gregorju Novakoviču za pomoč pri obdelavi oblaka točk.

Posebne zahvale grede staršem, ki so mi ves čas študija stali ob strani.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Cilji naloge	1
1.2 Zasnova naloge	2
2 TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1 Splošno o prenosu toplote	3
2.2 Prenos toplote	4
2.3 Prevajanje toplote	5
2.4 Toplotni tok	5
2.5 Gostota toplotnega toka	6
2.6 Toplotni upor	7
2.7 Prestop toplote s stene na zrak	8
2.8 Toplotna kapaciteta	9
3 TOPLOTNI MOSTOVI	10
3.1 Konstrukcijski toplotni mostovi	10
3.2 Geometrijski toplotni mostovi	11
3.3 Konvekcijski toplotni most	12
4 METODOLOGIJA	13
4.1 Opis obravnavane stavbe in analiziranih profilov stavbnega ovoja	13
4.2 Pridobivanje podatkov	15
4.3 Uporabljena programska orodja	17
4.4 Zakonska podlaga in standardi	18
4.4.1 Direktiva 2010/31/EU o energetske učinkovitosti stavb	18
4.4.2 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah	18
4.5.3 Učinkovita raba energije TSG-1-004:2010	19
4.4.3 Standard SIST EN ISO 10211:2017	19
4.5 Obseg analize	20
4.6 Vhodni podatki	21
4.7 Okno in okenski okvir	21
4.8 Uporabljeni materiali	23
5 Rezultati analize	24
5.1 Predstavitev analiziranih karakterističnih križanj	24
5.2 Interpretacija rezultatov	30
5.2.1 Ravnina rosišča	32

5.3 Analiza rezultatov	33
5.3.1 Križanje 1: Tla na terenu	33
5.3.2 Križanje 2: križanje z medetažno konstrukcijo v 1. nadstropju	34
5.3.3 Križanje 3: križanje z medetažno konstrukcijo v 2. nadstropju	45
5.3.4 Križanje 4: križanje z medetažno konstrukcijo v 3. nadstropju	54
Grafični prikazi rezultatov izračuna za križanja 4_P1 so v Preglednici 10.	54
5.3.5 Križanje 5: križanje z medetažno konstrukcijo v 4. nadstropju	60
5.3.6 Križanje 6 na nivoju strehe	64
6 Primerjava	66
6.1 Primerjava križanja 2	66
6.2 Primerjava križanja 4	69
6.3 Primerjava križanja 5	72
7 Zaključek	74
Viri	76

KAZALO SLIK

Slika 1: Trda snov v plinu (vir: [4]).	4
Slika 2: Zgoraj omenjeni mehanizmi prenosa toplote (vir: [8]).	5
Slika 3: Toplotni tok skozi steno (vir: [8]).	6
Slika 4: Prehod skozi steno in stiropor (vir: [8]).	7
Slika 5: Grafična ponazoritev toplotnega upora plasti (vir: [9]).	8
Slika 6: Grafična ponazoritev zaporedne vezave toplotnih uporov plasti KS (vir: [9]).	8
Slika 7: Skupni upor KS (vir: [9]).	9
Slika 8: Konstrukcijski toplotni most pri balkonski konzoli (vir: [14]).	11
Slika 9: Kombiniran toplotni most; vogal (vir: [15]).	12
Slika 10: Konvekcijski toplotni most zaradi slabega stika stena-okno (vir: [16]).	12
Slika 11: Zgled obravnavane večnadstropne stavbe (vir: [17]).	13
Slika 12: Prikaz geometrije analiziranih profilov (nosilne konstrukcije) stavbnega ovoja.	14
Slika 13: 3D-model (vir: [17]).	16
Slika 14: 3D-laserski skener Z+F IMAGER 5006i z objektom v ozadju (vir: [17]).	17
Slika 15: Definiran obseg konstrukcijskega sklopa (vir: [23]).	20
Slika 16: Pravilo za križanje stika med stavbo in zemljo (vir: [23]).	20
Slika 17: Uporabljeno okno (vir: [25]).	22
Slika 18: Numerični model okna, izdelan v THERMu.	22
Slika 19: Križanja	24
Slika 20: Križanje 1_P1_P2_P3: Tla na terenu	25
Slika 21: Križanje 2_P1 (levo), Križanje 2_P2 (sredina) in Križanje 2_P3 (desno): Križanje v prvem nadstropju	26
Slika 22: Križanje 3_P1 (levo), Križanje 3_P2 (sredina) in Križanje 3_P3 (desno): Križanje v drugem nadstropju	27
Slika 23: Križanje 4_P1 (levo), Križanje 4_P2 (sredina) in Križanje 4_P3 (desno): Križanje v tretjem nadstropju	28
Slika 24: Križanje 5_P1 (levo), Križanje 5_P2 (sredina) in Križanje 5_P3 (desno): Križanje v četrtem nadstropju	29
Slika 25: Križanje 6_P1_P2_P3: Streha	30
Slika 26: Primer izoterm	30
Slika 27: Barvna legenda	31
Slika 28: Primer vektorjev toplotnega toka	31
Slika 29: Intenzivnost toplotnega toka	32
Slika 30: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl A	37
Slika 31: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl B	37
Slika 32: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl C	40
Slika 33: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl D	40
Slika 34: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl E, poletje	41
Slika 35: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl F, zima	41
Slika 36: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl G, zima	44
Slika 37: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl H, zima	45
Slika 38: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in etažne plošče, detajl J, zima	48
Slika 39: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in etažne plošče, detajl I, poletje	48

Slika 40: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna, podaljšanega profila in etažne plošče; detajl K	51
Slika 41: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna, podaljšanega profila in etažne plošče; detajl L	51

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Vrednost prestopnosti mejne zračne plasti	21
Preglednica 2: Uporabljeni materiali	23
Preglednica 3: Križanje 1 tla na terenu	33
Preglednica 4: Križanje 2_P1.....	35
Preglednica 5: Križanje 2_P2.....	38
Preglednica 6: Križanje 2_P3.....	42
Preglednica 7: Križanje 3_P1.....	46
Preglednica 8: Križanje 3_P2.....	49
Preglednica 9: Križanje 3_P3.....	52
Preglednica 10: Križanje 4_P1	54
Preglednica 11: Križanje 4_P2	56
Preglednica 12: Križanje 4_P3	58
Preglednica 13: Križanje 5_P1	60
Preglednica 14: Križanje 5_P2_P3	62
Preglednica 15: Križanje 6_P1_P2_P3	64
Preglednica 16: Primerjava križanja 2_P1_P2_P3.....	66
Preglednica 17: Primerjava križanja 2_P1_P2_P3.....	68
Preglednica 18: Primerjava križanja 4_P1_P2_P3.....	69
Preglednica 19: Primerjava križanja 4_P1_P2_P3.....	70
Preglednica 20: Primerjava križanja 5_P1_P2=P3.....	72
Preglednica 21: Primerjava križanja 5_P1_P2=P3.....	73

1 UVOD

Motivacija za izdelavo diplomske naloge izhaja iz želje po pridobitvi novih znanj. V diplomski nalogi in v delu pred in med njo smo med seboj združili različne inženirske discipline. Izhodišče za nalogo predstavlja delo opravljeno pri podjetju Vitrum Laser d. o. o., kjer smo obravnavani objekt skenirali s terestričnim 3D-laserjem. Pridobljeni podatki iz skeniranja predstavljajo oblak točk, ki je bil podlaga za izris 3D-modela objekta v programu AutoCAD [1]. Namen izrisa 3D-modela je bila potreba po določitvi odmika na vsaki točki fasade za nameščanje distančnikov za pritrditev prezračevane fasade. Sami smo ta model uporabili kot osnovo za določitev prereznega profila, ki smo ga uporabili za delo, vezano na temo diplomske naloge. V AutoCADu [1] smo izrisali 2D-profil, ki smo ga nato lahko uporabili za izris potrebnih križanj, ki smo jih analizirali v programskem orodju THERM [2], kjer smo nato opravili 2D-toplotno analizo ovoja dane stavbe.

V današnjem času potreba po varčevanju z energijo v stavbah vse bolj narašča. Ne samo, da se spoprijemamo z globalnim segrevanjem, človeštvo tudi vse bolj porablja razpoložljive in omejene naravne vire. V Direktivi o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU je zapisano, da poraba energije v stavbah dosega 40 % celotne energije v Evropski uniji. V Evropski uniji se zato stremi k temu, da bi se pri novogradnjah in tudi pri že obstoječih stavbah zagotovilo vsaj minimalni standard učinkovite rabe energije. Toplotni mostovi vplivajo na zmanjšanje energetske učinkovitosti stavb zaradi lokalno povečane toplotne prehodnosti. Poleg tega na območjih toplotnih mostov lahko pride do kondenzacije vodne pare in s tem do poškodb na stavbnih elementih. Zaradi kondenzacije vodne pare se lahko na notranji strani konstrukcijskih sklopov pojavi plesen. Plesen predstavlja veliko težavo ne le zaradi vpliva na estetski videz prostorov, poslabša lahko tudi bivalne razmere v stavbah, saj nekatere plesni lahko povzročijo tudi bolezni [3]. Poleg tega pa slabša energetska učinkovitost vpliva tudi na finančne izdatke, porabljene za energijo. Zaradi tega postaja preprečevanje in odpravljanje toplotnih mostov pomemben faktor pri prenovi oziroma gradnji novih stavb. Za preprečevanje nastanka toplotnih mostov lahko poskrbimo že pri načrtovanju novogradenj s pravilno postavitvijo toplotne zaščite in izbiro arhitekturne zasnove, ki je izpeljana tako, da zaradi geometrije čim bolj onemogoča nastanek toplotnih mostov. V že obstoječih stavbah pa lahko toplotne mostove odpravimo s sanacijo in prenovo. V sami praksi se toplotnim mostovom ni moč popolnoma izogniti, lahko le stremimo k temu, da jih čim bolj omilimo. Torej moramo biti pri načrtovanju in izgradnji stavb zato še posebej pozorni na to, da preprečimo nastanek toplotnih mostov oziroma zmanjšamo njihov vpliv.

1.1 Cilji naloge

Cilj naloge je na realnem primeru razčlenjenega stavbnega ovoja preveriti vpliv členjenosti na pojav geometrijskih kot tudi konstrukcijskih toplotnih mostov. Členjenost stavbnega ovoja analizirane stavbe je posledica tako arhitekturne zasnove kot tudi napak pri gradnji. Za namen analize bomo v nalogi med seboj primerjali tri profile stavbnega ovoja:

1. profil, ki predstavlja idealiziran stavbni ovoj (minimalno členjen),
2. profil, ki predstavlja model obravnavane stavbe, in
3. profil, ki predstavlja realno stanje na podlagi oblaka točk iz 3D-skeniranja.

Cilj naloge bo dosežen s primerjavo vpliva členjenosti med zgoraj naštetimi tremi različnimi prereznimi profili, pri čemer kot referenca služi idealiziran profil z minimalno členjenostjo.

Vsakega izmed profilov smo izrisali v programskem orodju za 2D-toplotno analizo (THERM [2]), kjer smo profil razdelili na posamezna križanja, kot so tla na terenu, medetažna konstrukcija, streha, vključena pa so tudi križanja z odprtinami (okni).

1.2 Zasnova naloge

Diplomska naloga je razdeljena na devet poglavij:

1. Uvod
2. Teoretične osnove
3. Toplotni mostovi
4. Metodologija dela
5. Obseg analize
6. Rezultati analize
7. Primerjava
8. Zaključki
9. Viri

V **uvodu** so na kratko predstavljena izhodišča in cilji diplomske naloge. Še posebej je poudarjen pomen varčevanja z energijo in vloga toplotnih mostov na energetsko učinkovitost stavb.

V **drugem poglavju** je podana teorija prenosa toplote, ki pojasnjuje načine in kinetiko prenosa toplote.

Srž **tretjega poglavja** so toplotni mostovi kot mesta na zunanjem ovoju zgradbe, kjer je povečano prehajanje toplote. V poglavju sta podani definicija in delitev toplotnih mostov glede na vzrok nastanka.

Metodologija in zasnova dela, opis obravnavane stavbe, uporabljena orodja za analizo toplotnih mostov in bistvena zakonodaja ter standardi ter predstavitev vhodnih podatkov za program THERM in karakteristik uporabljenih materialov v konstrukcijskih sklopih, oknu in okenskem okvirju so prikazani v **četrtem poglavju**.

V **petem poglavju** so predstavljeni tudi vsi v THERMu uporabljeni in analizirani konstrukcijski sklopi ter rezultati analize toplotnih mostov.

V **šestem poglavju** je na izbranih križanjih podana primerjava med različnimi profili.

Rezultati diplomske naloge so podani v strjeni obliki v zaključkih, ki so predstavljeni v **sedmem poglavju**.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Splošno o prenosu toplote

S kinetično molekularno teorijo lahko pojasnimo toploto snovi in prenos le-te [4]. Molekula z maso m_m , ki se giblje s povprečno hitrostjo $\bar{v}$, ima kinetično energijo:

$$W_k = \frac{m_m \bar{v}^2}{2} \quad (1)$$

Kinetična energija enega mola molekul z maso M pa je:

$$W_k = \frac{M \bar{v}^2}{2} \quad (2)$$

Ker je

$$\frac{M \bar{v}^2}{2} = \frac{3RT}{2} \quad (3)$$

lahko zapišemo kinetično energijo enega mola molekul:

$$W_k = \frac{3RT}{2} \quad (4)$$

Če upoštevamo, da je $R/N_A = k$, dobimo:

$$W_k = \frac{3RT}{2} = \frac{3}{2} N_A kT \quad (5)$$

Kjer je:

R – plinska konstanta

T – temperatura

N_A – Avogadrovo število

k – Boltzmannova konstanta

Ob upoštevanju enačbe (1) in (5) sledi, da je kinetična energija ene molekule:

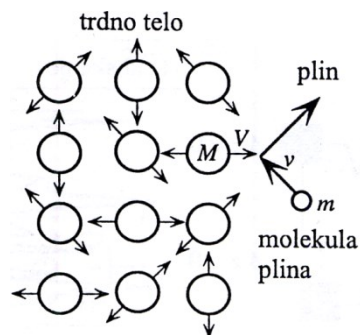
$$W_k = \frac{m_m \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (6)$$

Iz gornje enačbe lahko razberemo, da je hitrost oziroma kinetična energija molekule odvisna od temperature. Pri absolutni ničli ($T = 0$ K) se gibanje molekul popolnoma ustavi. V trdni snovi atomi le nihajo okoli svojih ravnovesnih leg s povprečno kinetično energijo:

$$\frac{M_a \bar{v}_n^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad (7)$$

kjer je M_a masa atomov in v_n hitrost nihanja.

Vzemimo premer trdne snovi v plinu (Slika 1). Pri trku molekul plina prihaja do izmenjave kinetične energije z atomi na površini.



Slika 1: Trda snov v plinu (vir: [4]).

V termičnem ravnovesju ($T_{\text{trdne snovi}} = T_{\text{plina}}$) imata plin in trdna snov isto povprečno kinetično energijo:

$$\frac{M_a \bar{v}_n^2}{2} = \frac{m \bar{v}^2}{2} \quad (8)$$

kar pomeni, da v daljšem časovnem obdobju ne bo izmenjave kinetične energije. V enačbi je m masa molekul plina.

Če pa ima trdna snov nižjo temperaturo od plina ($T_{\text{trdne snovi}} < T_{\text{plina}}$), sledi

$$\frac{M_a \bar{v}_n^2}{2} < \frac{m \bar{v}^2}{2} \quad (9)$$

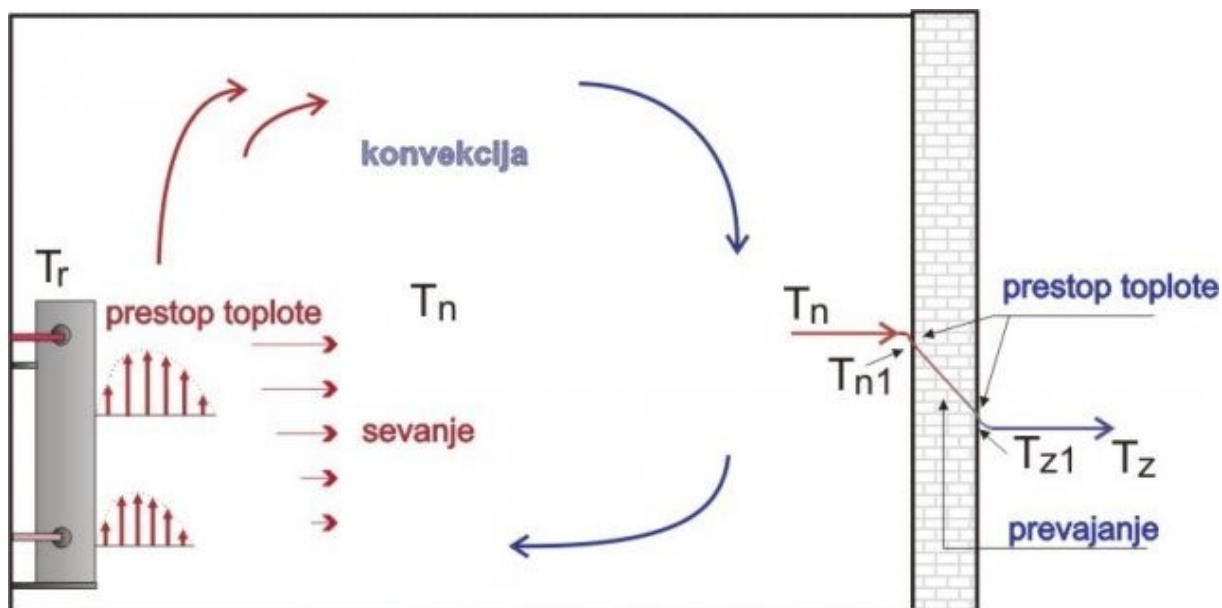
in se bo energija plina prenašala na trdne snovi. Količina energije, ki se prenese s kinetično energijo s toplejšega telesa na hladnejši plin, se imenuje toplota. Toplota je torej količina, ki nam pove, koliko energije se prenese z enega telesa na drugega zaradi razlike v temperaturi.

2.2 Prenos toplote

Do prenosa toplote pride, kjer imamo med dvema območjema temperaturne razlike, na primer med notranjostjo in zunanostjo zgradbe. Toplota prehaja s toplejše strani proti hladnejši strani ovoja zgradbe. Poznamo tri načine prenosa toplote:

1. s prevajanjem (kondukcija),
2. z gibanjem snovi (konvekcija) in
3. s sevanjem.

Shematski prikaz mehanizmov prenosa toplote je prikazan na sliki 2 [5].



Slika 2: Zgoraj omenjeni mehanizmi prenosa toplote (vir: [8]).

2.3 Prevajanje toplote

Zgoraj opisano teorijo uporabimo na primeru prenosa toplote s prevajanjem. Na toplejši strani telesa se atomi/molekule gibljejo hitreje kot na hladnejšem delu, tako oddajajo impulze atomom/molekulam v hladnejšem delu in ga s tem ogrevajo.

Pri prevajanju toplote poznamo stacionarno in nestacionarno prevajanje. Pri stacionarnem prevajanju teče skozi določeni prerez vedno enaka količina toplote v enoti časa. To pomeni, da je v vsaki točki ob vsakem času ista temperatura. Temperaturno polje je odvisno le od kraja, ne pa tudi od časa. Pri nestacionarnem prevajanju se temperatura s časom spreminja, spreminja pa se tudi smer toplotnega toka. Ker se v presekih s časom spreminja temperatura, se spreminja tudi toplotna kapaciteta [5, 6].

2.4 Toplotni tok

Količinsko definiramo toplotni tok P za stacionarno stanje kot:

$$P = \frac{Q}{t} \quad \left(\frac{J}{s} \right) \quad (10)$$

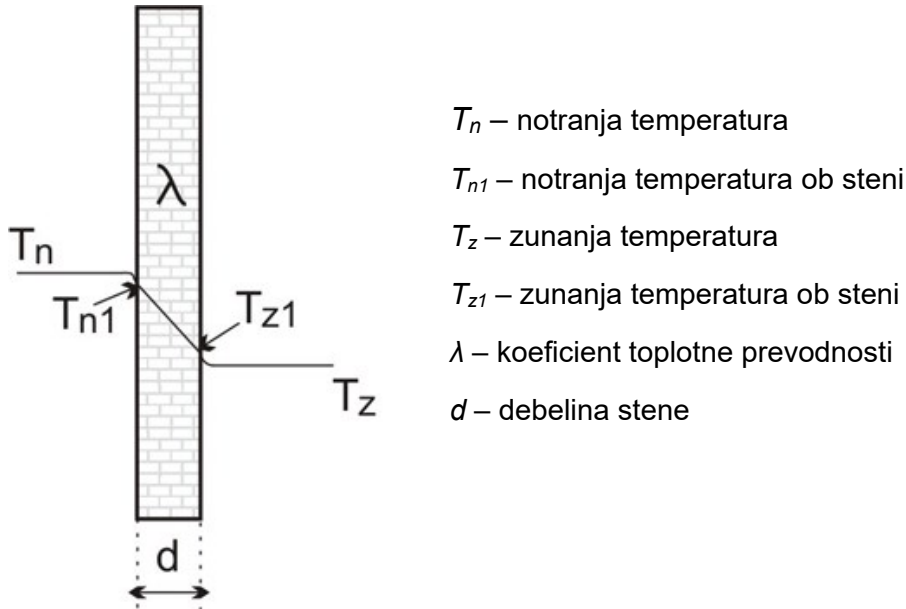
V enačbi je Q toplota in t čas. Toplotni tok nam pove, kolikšna količina toplote se prevede skozi dani izotermni presek (ploskev) v enoti časa.

Za časovno spremenljivi toplotni tok pa:

$$P = \frac{dQ}{dt} \quad \left(\frac{J}{s} \right) \quad (11)$$

Pri prevajanju se pretaka toplota z mesta z višjo temperaturo proti mestu z nižjo temperaturo. Toplota teče, vse dokler se temperatura na obeh koncih ne izenači. Vzpostavi se toplotno ravnovesje. V katero smer se bo toplota prevajala, je odvisno od trenutne porazdelitve temperature v snovi. To lahko ponazorimo z izotermnimi preseki (ploskvami): to so preseki, ki povezujejo mesta z enako temperaturo. Toplota teče pravokotno na izotermne ploskve.

Gonilna sila toplotnega toka je torej temperaturna razlika. Vzemimo primer prevajanja toplote skozi steno s površino S , in z debelino d (Slika 3). Stene so tako velike, da zanemarimo toplotni tok iz stene v prečni smeri. Notranja površina stene ima konstantno temperaturo T_{n1} in je višja od konstantne temperature T_{z1} na površini zunanje stene.



Slika 3: Toplotni tok skozi steno (vir: [8]).

Toplotni tok je premo sorazmeren s temperaturno razliko ($\Delta T = T_{n1} - T_{z1}$), s površino S in obratno sorazmeren z debelino d , tako da zvezo zapišemo:

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{d} \quad (12)$$

Sorazmernostni koeficient λ je toplotna prevodnost z enoto W/mK [5,7].

2.5 Gostota toplotnega toka

Količina toplotnega toka na enoto preseka, ki je pravokotna na smer toka, se imenuje gostota toplotnega toka j .

$$j = \frac{P}{S} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (13)$$

Zakon o prevajanju toplote lahko zapišemo tudi v obliki:

$$j = -\lambda \frac{dT}{dd} \quad (14)$$

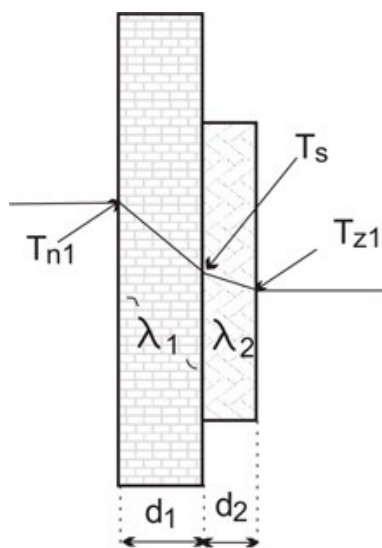
Če upoštevamo $dT/dd = \text{grad } T$, dobi enačba obliko:

$$j = -\lambda \text{grad } T \quad (15)$$

Iz tega vidimo, da je gostota toplotnega toka premo sorazmerna z gradientom temperature dT/dd . Toplotni tok oziroma njegovo gostoto obravnavamo kot vektor, njegova smer je po

definiciji smer pretakanja toplote. Toplotni tok teče v smeri negativnega gradienta, to je v nasprotni smeri naraščanja temperature.

Če je stena sestavljena npr. iz dveh slojev (Slika 4 **Napaka! Vira sklicovanja ni bilo mogoče najti.**), ki imata različna koeficienta toplotne prevodnosti, bo padec temperature v prvem sloju znatno večji kot v drugem. Vzrok je v različni toplotni prevodnosti. Toplotna prevodnost drugega sloja je veliko nižja od prve [4, 5, 6].



T_n – notranja temperatura

T_{z1} – zunanja temperatura ob steni

λ_1 – koeficient toplotne prevodnosti stene

λ_2 – koeficient toplotne prevodnosti stiropora

d_1 – debelina stene

d_2 – debelina stene

Slika 4: Prehod skozi steno in stiropor (vir: [8]).

Za plasti zapišemo toplotni tok:

$$P = P_1 = P_2 \quad P_1 = \lambda_1 S \frac{\Delta T_1}{d_1} \quad P_2 = \lambda_2 S \frac{\Delta T_2}{d_2} \quad (16)$$

kjer je:

$$\Delta T_1 = T_{n1} - T_s \text{ in } \Delta T_2 = T_s - T_{z1} \quad (17)$$

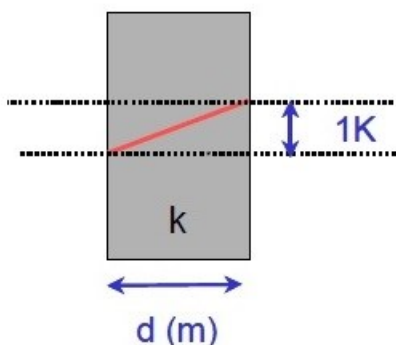
[4,5,6]

2.6 Toplotni upor

Toplotni tok lahko izračunamo tudi z uporabo enačbe:

$$P = \Delta T / R \quad (18)$$

V zgornji enačbi nam faktor R predstavlja toplotni upor z enoto (K/W). Toplotni tok je premo sorazmeren s temperaturno razliko in obratno sorazmeren s toplotnim uporom snovi. Ko se nam skozi snov pretaka majhen toplotni tok, imamo velik toplotni upor pri določeni temperaturni razliki. Majhen toplotni upor pomeni, da je za dan toplotni tok potrebna manjša temperaturna razlika. Na sliki 5 je grafična predstavitev toplotnega upora. Toplotni upor zidu pove, kolikšna mora biti temperaturna razlika med obema stranema zidu, da skozi zid teče toplotni tok jakosti 1W.



Slika 5: Grafična ponazoritev toplotnega upora plasti (vir: [9]).

V nadaljevanju izračunajmo toplotni upor:

$$P = \lambda S \frac{\Delta T}{d} = \frac{\Delta T}{R} \rightarrow R = \frac{d}{\lambda S} = \frac{d}{k} \quad (19)$$

Toplotni upor je premo sorazmeren z debelino ter obratno sorazmeren s toplotno prevodnostjo in prerezom.

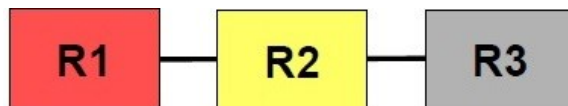
V večini primerov imamo zidove, ki so sestavljeni iz različnih slojev, na primer iz betona, različne izolacije in zaključnih slojev. Vsak material v konstrukcijskem sklopu ima različne materialne lastnosti in zato različen toplotni upor. Posamezne sloje lahko obravnavamo kot zaporedno vezane toplotne upornike (Slika 6). Prva plast ima toplotni upor $R_1 = d_1/\lambda_1 S$, druga $R_2 = d_2/\lambda_2 S$, tretja ima upor $R_3 = d_3/\lambda_3 S$ itd. [5,7].

Toplotni upor celotnega zidu je tako vsota toplotnih uporov vsakega posameznega sloja, ki sestavlja konstrukcijski sklop (slika 7):

$$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i S} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} \quad (20)$$

kjer je

$$k_i = \lambda_i S \quad (21)$$



Slika 6: Grafična ponazoritev zaporedne vezave toplotnih uporov plasti KS (vir: [9]).

2.7 Prestop toplote s stene na zrak

Temperatura zraka v okolice stene se za nekaj stopinj razlikuje od temperature stene. Prehod s temperature zraka (T_z) na temperaturo stene (T_s) se izvrši v tanki plasti ob steni debeline okoli 1 cm. To plast imenujemo termična mejna plast. Gostota toplotnega toka, ki s stene prestopa v zrak ali v obratni smeri, je premo sorazmerna z razliko temperature stene in okolijskega zraka:

$$j = \frac{P}{S} = \alpha(T_s - T_z) \quad (22)$$

Faktor α (W/m²K) imenujemo prestopni koeficient ali toplotna prestopnost. Odvisen je od termodinamičnih lastnosti stene in zraka ter viskoznosti in hitrosti gibanja zraka ob steni. Boljši kot je prestop toplote s stene na zrak, manjša je temperaturna razlika na mejni plasti in manj se temperatura zraka razlikuje od temperature stene. Ko zgornjo enačbo zapišemo v obliki Ohmovega zakona:

$$P = \Delta T / R \quad (23)$$

ugotovimo, da na mejno plast ob 1 m² stene odpade toplotni upor:

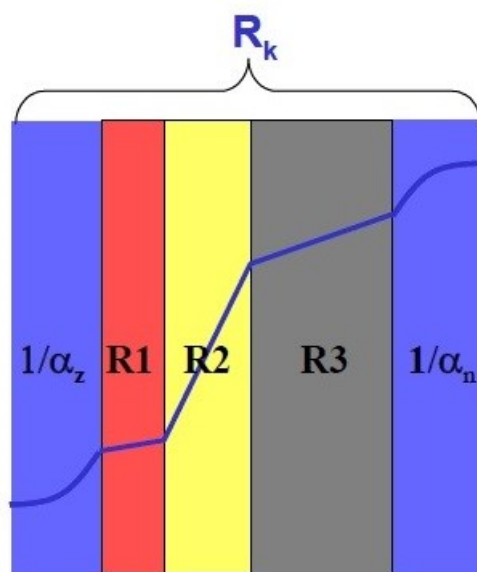
$$R = \frac{1}{\alpha} \quad (24)$$

pri čemer je $1/\alpha$ toplotni upor mejne zračne plasti 1 m² stene. Običajno nas zanima temperatura zraka ob notranji steni in ob zunanji steni, kar pomeni, da moramo poleg toplotnega upora zidu upoštevati tudi toplotni upor mejnih zračnih plasti [5]:

$$P = (T_n - T_z) / R \quad (25)$$

Celotni upor je (Slika 7):

$$R_k = R_{\text{mej}} + R_{\text{zid}} = \frac{1}{S} \alpha_n + \frac{1}{S} \alpha_z + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{k_i} \quad (26)$$



Slika 7: Skupni upor KS (vir: [9]).

2.8 Toplotna kapaciteta

Sprememba temperature ΔT pri dani dovedeni toploti Q je odvisna od toplotne kapacitete:

$$C = mc \quad (27)$$

V enačbi sta c specifična toplota z enoto J/kgK in m masa (kg). Toplotna kapaciteta snovi pove količino toplote, ki je potrebna, da se snov segreje za 1 K. Specifična toplota nam pove, koliko toplote je potrebno dovesti, da segreje 1 kg snovi za 1 K.

Betonske zgradbe z debelejšimi zidovi imajo precejšno toplotno kapaciteto, zato se počasi ogrevajo in ohlajajo. Obratno je z materiali z manjšo toplotno kapaciteto: ti se hitro ogrejejo in ravno tako hitro ohladijo [5].

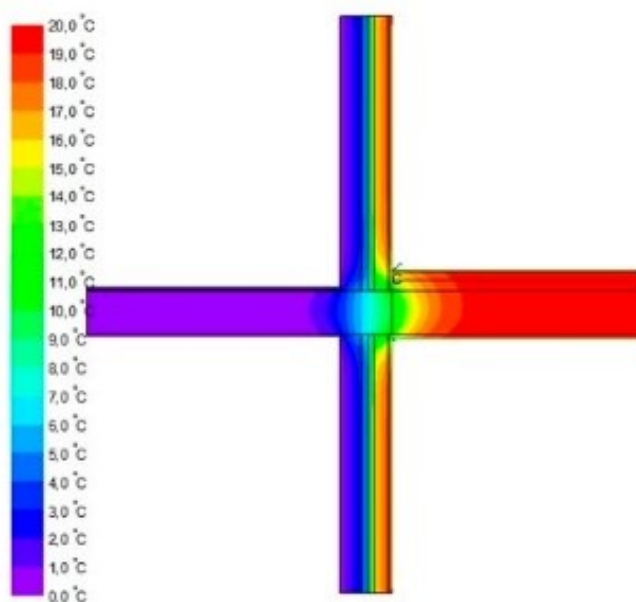
3 TOPLOTNI MOSTOVI

Toplotni mostovi so tista mesta na ovoju zgradbe, na katerih se toplotna upornost lokalno spremeni, je znatno manjša od ostalega ovoja zgradbe. To pomeni, da je zaradi zmanjšane toplotne upornosti toplotni tok v zimskem času iz notranjosti zgradbe v zunanje okolje povečan. Posledica so večja poraba energije, slabši bivalni pogoji, toplotni mostovi pa so tudi mesta, na katerih so lahko izpolnjeni pogoji za razvoj plesni. Toplotne mostove glede na vzrok nastanka delimo na konstrukcijske, geometrijske, kombinirane in konvekcijske.

Za računske potrebe poleg že omenjenih delitev uporabljamo tudi izraza točkovni in linijski toplotni most. Točkovni toplotni most je lokalizirani toplotni most, čigar vpliv lahko predstavimo s točko toplotne prehodnosti. Linearni toplotni most je toplotni most z enakomernim presekom vzdolž ene od treh pravokotnih osi [10].

3.1 Konstrukcijski toplotni mostovi

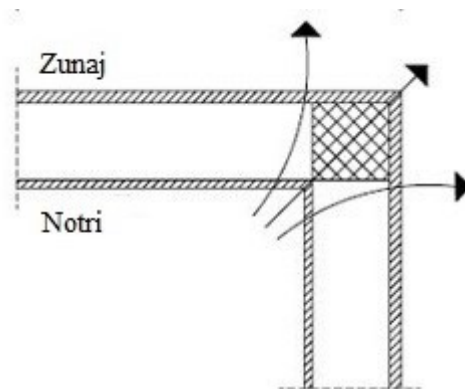
Osnovni vzrok za nastanek konstrukcijskih toplotnih mostov je sprememba toplotnega upora na ovoju stavbe. Konstrukcijski toplotni mostovi nastanejo na mestih, kjer toplotna izolacija ni ustrezno vgrajena ne z zunanje in ne z notranje strani in ko prekinemo ovoj stavbe z materialom, ki ima veliko toplotno prevodnost (npr. armiran beton). Takim toplotnim mostovom se lahko skoraj popolnoma izognemo s pravilnim in premišljenim načrtovanjem ovoja zgradbe. Konstrukcijski sloj je potrebno načrtovati tako, da zagotovimo povezanost in enakomernost toplotne zaščite in po potrebi na mestih z nizkim toplotnim uporom dodamo dodaten sloj. Poseben primer te vrste toplotnega mostu nastane, ko se material navlaži, še posebej, če je to toplotna zaščita. Navlaženemu izolacijskemu materialu se poveča toplotna prevodnost, oziroma zmanjša toplotna upornost. Potencialna mesta, kjer lahko nastanejo konstrukcijski toplotni mostovi, so na vseh križanjih, kot so mesta pri prebojih zaradi dimnikov, pri vogalnih vertikalnih protipotresnih vezeh, ob ležiščih betonskih plošč, pri cevni napeljavah v stenah, balkonih (Slika 8) [10, 11, 13].



Slika 8: Konstrukcijski toplotni most pri balkonski konzoli (vir: [14]).

3.2 Geometrijski toplotni mostovi

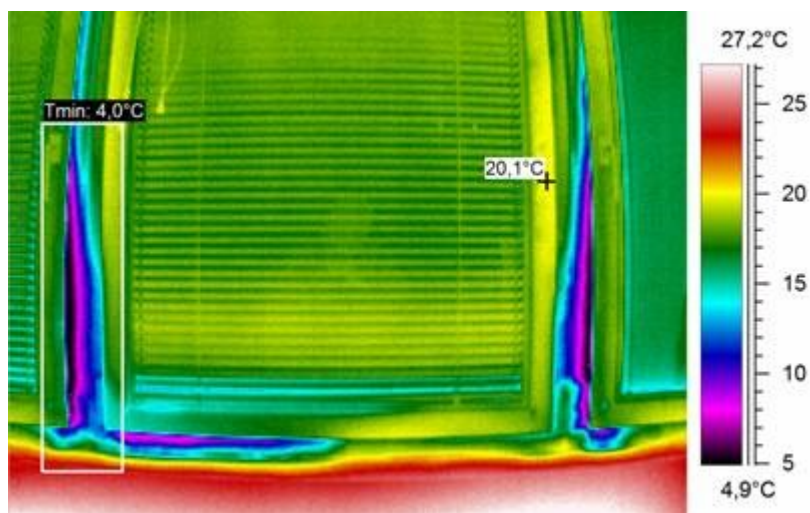
Geometrijski toplotni mostovi so mesta, kjer je zunanja površina znatno večja od notranje površine ogrevane stavbe. Tak primer so vogali v neizoliranih stavbah (Slika 9). Skozi neizolirane vogale je toplotni tok večji kot skozi steno. Geometrijskim toplotnim mostovom se v praksi ni moč popolnoma izogniti, lahko pa jih omilimo. Osnovno pravilo je, da se izogibamo kotom, manjšim od 90 stopinj, ukrivljeni elementi ali sklopi pa naj imajo čim večji radij. Tudi tu gre za povečan toplotni tok, ki pa je pogojen z razliko med velikostjo zunanje in notranje površine takega elementa. Z večanjem debeline toplotne izolacije na zunanji strani razliko med velikostjo zunanje in notranje vogalne površine še povečamo. Iz definicije toplotnega mostu lahko sklepamo, da bi bilo dodajanje toplotne izolacije napačno. Pomembnejše je, da se zviša temperatura notranje površine, kar pri običajni temperaturi, vlažnosti in gibanju notranjega zraka povsem prepreči nevarnost površinske kondenzacije. Geometrijski toplotni mostovi pogosto nastopajo hkrati s konstrukcijskimi, takšni primeri so armiranobetonska protipotresna vogalna vez (Slika 9), armiranobetonska balkonska plošča in balkonska stena, toplotno neizoliran stik dveh zunanjih sten in podobno. V takih primerih govorimo o kombiniranem toplotnem mostu [10, 11, 12].



Slika 9: Kombiniran toplotni most; vogal (vir: [15]).

3.3 Konvekcijski toplotni most

Konvekcijski toplotni mostovi nastanejo v ovoju stavbe zaradi prekinitve ali netesnosti toplotne zaščite, kjer tople zrak iz notranjosti brez ovir uhaja iz stavbe skozi špranje, odprtine itd. Pogostejši konvekcijski toplotni most, ki se pojavlja, je netesnost med steno in oknom (Slika 10). Na teh mestih je tudi omogočen pretok notranjega, vlažnega zraku v konstrukcijski sklop. Zaradi slabe zrakotesnosti se zelo poveča nevarnost kondenzacije vodne pare v konstrukcijskem sklopu [10].



Slika 10: Konvekcijski toplotni most zaradi slabega stika stena-okno (vir: [16]).

4 METODOLOGIJA

Namen diplomske naloge je na realnem primeru razčlenjenega stavbnega ovoja preveriti vpliv členjenosti na pojav geometrijskih kot tudi konstrukcijskih toplotnih mostov in izvesti toplotno analizo le-teh. Podatke o objektu smo pridobili z uporabo 3D-laserskega skeniranja. Analizirane profile stavbnega ovoja smo izrisali v AutoCADu na podlagi oblaka točk. Na podlagi CAD profilov smo določili križanja. CAD profile smo uporabili kot podlago za izris križanj v programu THERM, ki smo ga uporabili za modeliranje 2D-toplotnega polja ter s tem analizo toplotnih mostov.

4.1 Opis obravnavane stavbe in analiziranih profilov stavbnega ovoja

Obravnavani objekt je večnadstropna stavba, namenjena hotelski dejavnosti (Slika 11). Stavba je grajena v Splitu v neposredni bližini morja, kar je zaradi klimatskih razmer vplivalo na izbiro sestave konstrukcijskih sklopov. Za potrebe analize in primerjave smo namesto hrvaških uporabljali slovenske zakone in predpise, za klimatske podatke, uporabljene v analizi, pa smo privzeli lastnosti lokacije v Splitu. Stavba je sestavljena iz pritličja, štirih nadstropji in strehe. Nosilna konstrukcija je narejena iz armiranega betona.

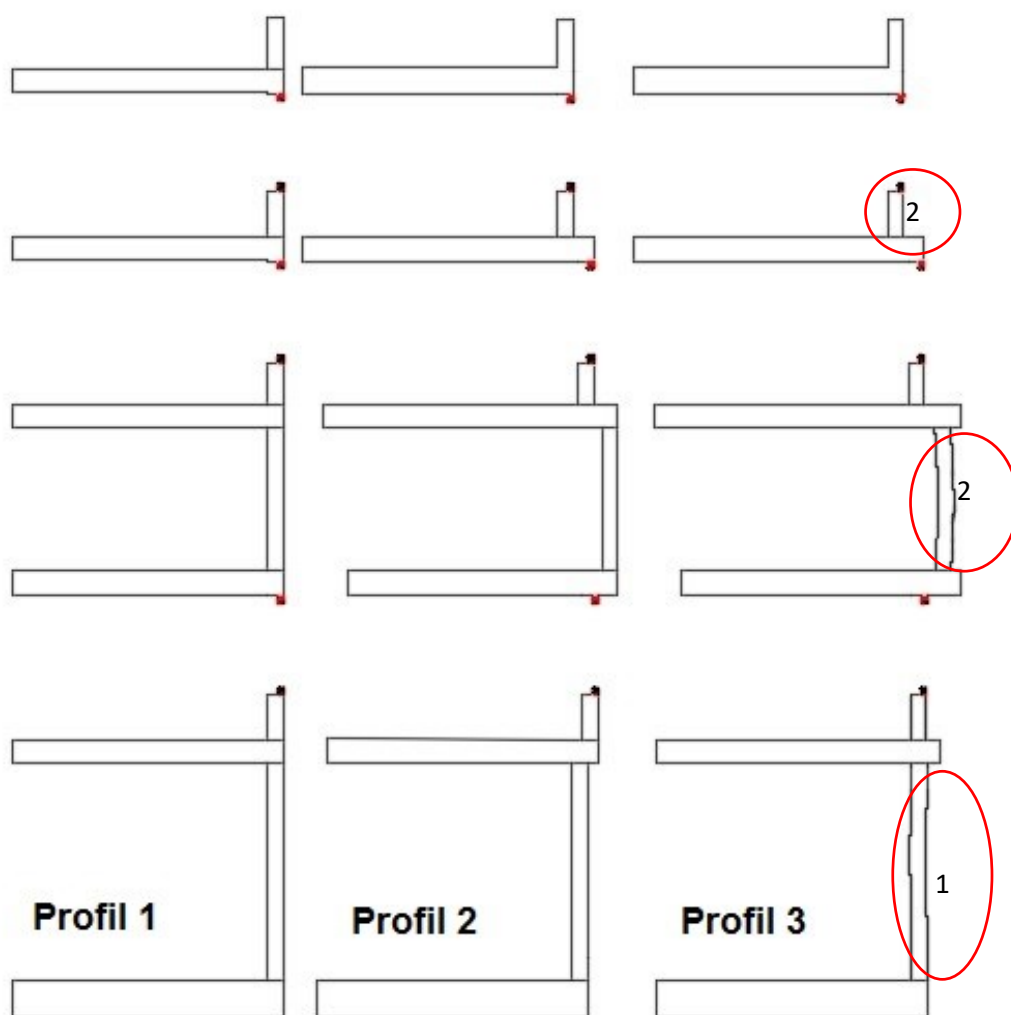


Slika 11: Zgled obravnavane večnadstropne stavbe (vir: [17]).

Vsi analizirani profili stavbnega ovoja (Slika 12) so sestavljeni iz temeljne plošče debeline 70 cm, medetažnih plošč debeline 45 cm in zunanjih sten debeline 30 cm. Streha je ravna nepohodna plošča debeline 45 cm. Vsi obravnavani profili imajo odprtine v steni, ki so namenjene za vgradnjo oken.

Profil 1 (Slika 12) predstavlja idealizirani profil, ki v primerjavi z dejanskim stanjem stavbe ohranja le dimenzije nosilne konstrukcije ter pozicijo in velikost odprtin. Ravno tako je križanje tal na terenu enako preostalima dvema profiloma. V primerjavi z ostalima dvema je celotna zunanja stena poravnana z vertikalno osjo.

Profil 2 predstavlja model obravnavane stavbe. V njem niso zajete napake, nastale pri gradnji in nekateri elementi na njem niso tako močno zamaknjeni v notranjost zgradbe, kot so dejansko (Slika 12).



Slika 12: Prikaz geometrije analiziranih profilov (nosilne konstrukcije) stavbnega ovoja.

Profil 3 odraža dejansko stanje nosilne konstrukcije, kot je bila zajeta s 3D-skeniranjem geometrije. V profilu so lepo vidne napake, ki so se pojavile med samo gradnjo. Stena med pritličjem je rahlo vbočena proti notranjosti stavbe. Stena med drugim in tretjim nadstropjem pa je precej izbočena na ven. V stenah, kjer so odprtine, so na nekaterih mestih napake, ki so zaradi manjših dimenzij sten slabše vidne. Za potrebe nadaljnjega dela v programu THERM smo nekatere napake na profilu 3 zanemarili. Zanemarjene so bile sledeče napake, označene

na Sliki 12: 1 – vboklina, 2 – izboklina. Omenjene geometrijske deformacije niso dovolj izrazite, da bi vplivale na rezultate 2D-toplotne analize.

4.2 Pridobivanje podatkov

Podatke o objektu smo pridobili z uporabo 3D-laserskega skeniranja, ki omogoča celovito zajemanje prostorskih podatkov o objektu. Je učinkovita metoda za zaznavanje vseh sprememb, ki so nastale med gradnjo, ter napak v gradnji in v arhitekturni zasnovi same zgradbe.

3D-lasersko skeniranje

Lasersko skeniranje je metoda skeniranja objekta z laserjem. Laser odda impulz svetlobe, ki se odbije od objekta, beleži se čas potovanja svetlobe, ki se ga pomnoži z hitrostjo svetlobe ter deli z dva; tako dobimo razdaljo. Odklonski mehanizem skenerja določi višino in azimut oddanega pulza, naprava za sprejem odbitega žarka zabeleži čas in s tem omogoči izračun razdalje. V nekaj minutah zajame milijone prostorskih koordinatnih točk, ki predstavljajo površino skeniranega objekta. Tako pridobljenim podatkom pravimo oblak točk oz. *pointcloud*. Zbrani podatki se nato lahko uporabijo za izdelavo digitalne dvodimenzionalne slike ali tridimenzionalnega modela, ki sta uporabna za različne namene. Prednost laserskega skeniranja je dejstvo, da lahko posnamemo veliko točk v kratkem času in z veliko natančnostjo, merjeno v mm. Da lahko celovito pokrijemo celotno strukturo objekta, laser postavimo na različna stojišča, oblake točk pa je potrebno združiti. 3D-laserji se lahko uporabljajo kot statični ali dinamični. Meritve, kjer je 3D-laserski skener tekom celotnega skeniranja stacionaren (na nepremičnem mestu), imenujemo statične. Prednost statičnega skeniranja je visoka natančnost in velika gostota točk. V primeru dinamičnega skeniranja je 3D-laserski skener kot mobilni sistem pritrjen na neko pomično platformo. Taka metoda skeniranja potrebuje še dodatne naprave za določanje pozicije objekta npr. GPS. Zaradi tega je celoten proces bolj zapleten ter tudi dražji in nekoliko manj natančen. Primer dinamičnega laserskega skeniranja je skeniranje iz letala, avtomobila ali iz brezpilotnega letala.

Pred skeniranjem je treba določiti cilje skeniranja, pregledati in analizirati samo območje, ki bo skenirano, pregledati in urediti opremo. Cilje skeniranja se določi glede na potrebe naročnika, zakaj ta posnetek objekta potrebuje in kaj hoče z njim narediti. Treba je tudi vedeti, kakšne rezultate potrebuje naročnik: ali gre za 2D-načrte, 3D-modele ali kaj drugega. Zbrati se mora čim več informacij o objektu in njegovi okolici, saj se na podlagi tega določi tehniko snemanja. Ko so pridobljene vse potrebne informacije, se naredi načrt skeniranja ter določi mesta postavitve tarče. Lokacija postavitve laserja mora biti optimalna, da zagotavlja čim boljše pokritost in natančnost. Pri statičnem skeniranju se 3D-laserski skener postavi na trinožno stojalo, pri čemer se višina stojala običajno postavi tako, da je skener v višini oči. Optični čitalnik se mora nastaviti čim bolj natančno. Samo skeniranje je skoraj popolnoma avtomatizirano. Po pritisku na krmilni gumb se skener premakne na začetno točko in začne z zbiranjem točk. Točke lahko skener shrani v prenosni računalnik ali v notranji pomnilnik optičnega bralnika. V večini primerov je objekt, ki se skenira, prevelik, da bi se lahko zajel iz enega samega stojišča. Zato skener postavimo na več različnih stojišč. Vse točke v oblaku točk, pridobljenim s skeniranjem posameznega stojišča, imajo prostorske koordinate v

skenerjevem koordinatnem sistemu z izhodiščem v skenerjevem centru. Po končanem skeniranju se nato oblake točk iz različnih stojišč združi. To imenujemo registracija. Pri registraciji »*target-to-target*« se oblaki združijo na podlagi najmanj treh veznih točk, označenimi s posebnimi tarčami. Take tarče so narejene iz materiala, ki dobro odbija svetlobo. Imamo tudi možnost, da tarče sami natisnemo na papir in so ravno tako uporabne. Pri tarčah je pomembno, da so postavljene naključno. V primeru, da so nekateri deli objekta težko dosegljivi za postavitev tarč, se lahko za tarče uporabijo določena mesta objekta, ki jih lahko pozneje prepoznamo.

Cilj skeniranja je bil izdelava 3D-modela večnadstropne stavbe (slika 13), ki se je uporabil za načrtovanje prezračevane fasade. Sama razgibana arhitekturna zasnova objekta in nekatere napake, ki so se pojavile med gradnjo, so onemogočale enostavno pritrditev fasadne obloge. Za skeniranje obravnavane zgradbe smo uporabili statičen način skeniranja s 3D-laserskim skenerjem Z+F IMAGER 5006i (slika 14). Skeniranje na terenu je trajalo 8 minut na enem stojišču. Posamezne oblake točk smo združili z metodo »*target to target*«. Vezne točke smo označili s tarčami podjetja Zoller & Fröhlich in tarčami, ki smo jih sami natisnili na papir [18, 19].



Slika 13: 3D-model (vir: [17]).



Slika 14: 3D-laserski skener Z+F IMAGER 5006i z objektom v ozadju (vir: [17]).

4.3 Uporabljena programska orodja

Analizirane profile stavbnega ovoja (Slika 12) smo najprej izrisali v AutoCADu na podlagi 3D-modela in s pomočjo oblaka točk. Te modele smo nato razdelili na konstrukcijske sklope, ki so zanimivi za nadaljnjo obdelavo. Dvodimenzionalne modele, izrisane v CADu, smo uporabili kot podlago za analizo potencialnih toplotnih mostov in izoterm v konstrukcijskih sklopih.

Za nadaljnjo toplotno analizo smo uporabili program THERM 7.5, ki je namenjen modeliranju 2D-toplotnega polja pri stacionarnih robnih pogojih. Program je bil razvit pod okriljem Univerze v Kaliforniji v Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). Namenjen je proizvajalcem različnih gradbenih elementov, inženirjem, profesorjem, študentom in vsem, ki se ukvarjajo z energetske učinkovitostjo. Računalniško orodje nam omogoča analizo in prikaz dvodimenzionalnega toplotnega polja in toplotnega toka. Uporabljamo ga za analizo gradbenih elementov, kot so okna, vrata, stene, tla, strehe in drugi deli stavb, torej povsod, kjer je možnost pojava toplotnih mostov. Na podlagi teh analiz lahko ocenimo razporeditev temperature v gradbenem elementu, energetske učinkovitost in lokacije potencialnih težav s kondenzacijo vodne pare. Program THERM deluje na principu končnih elementov in omogoča izdelavo modelov zapletenih geometrijskih elementov. Poleg programa THERM 7.5 smo uporabljali tudi program WINDOW 7.5, ki je bil prav tako razvit na LBNL-ju. V programu WINDOW smo sestavili zasteklitev, uporabljeno v sklopu oken, in jo uvozili v program THERM.

Tako se lahko s kombinacijo obeh programov opravi celotno analizo stavbnega ovoja z vidika distribucije toplote.

4.4 Zakonska podlaga in standardi

4.4.1 Direktiva 2010/31/EU o energetske učinkovitosti stavb.

Sklep Evropskega sveta, sprejet v direktivi 2010/31/EU [20], je kot eden primarnih strategij EU izpostavil potrebo po povečanju energetske učinkovitosti. Zadan je bil cilj, da se doseže 20-% prihranek porabe primarne energije. Poudarjeno je bilo, da stavbe predstavljajo 40 % končne porabe energije v EU. Torej je učinkovita uporaba energije v stavbah ena izmed ključnih rešitev za doseganje zadanih ciljev. Potrebno je zagotoviti prenovo energetske neučinkovitih stavb, s čimer bi tudi dosegli rast in zaposlovanje v gradbenem sektorju.

Glede na Direktivo 2010/31/EU, ki pravi: »Države članice sprejmejo potrebne ukrepe, s katerimi zagotovijo, da so minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti stavb ali stavbnih enot določene tako, da se dosežejo stroškovno optimalne ravni«, morajo članice EU zagotoviti, da vse nove stavbe zagotavljajo vsaj minimalne pogoje energetske učinkovitosti. Države pripravijo načrte za povečanje števila skoraj nič-energijskih stavb. Sprejmejo pa tudi vse potrebne ukrepe, da se poveča prenova dotrajanih stavb tako, da le-te zadostujejo minimalni energetske učinkovitosti. Direktiva 2010/31/EU je podlaga za sprejetje nacionalne zakonodaje, ki ureja področje energetske učinkovitosti stavb. V Sloveniji je področje regulirano s pravilnikom o učinkoviti rabi energije [20].

4.4.2 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah

»Ta pravilnik določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb« (PURES 2010, 1. člen).

V pravilniku je določeno, da se ta uporablja za vse novogradnje in za rekonstrukcijo stavb, kjer poseg zajame vsaj 25 odstotkov površine toplotnega ovoja.

»Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbah je treba upoštevati celotno življenjsko dobo stavbe, njeno namembnost, podnebne podatke, materiale konstrukcije in ovoja, lego in orientiranost, parametre notranjega okolja, vgrajene sisteme in naprave ter uporabo obnovljivih virov energij« (PURES 2010, 6. člen).

Pravilnik tudi navaja, da je potrebno z različnimi ukrepi zagotoviti:

- zmanjšan prehod energije skozi površino toplotnega ovoja,
- zmanjšati pregrevanje in podhlajevanje,
- da difuzijski prehod vodne pare ne poškoduje stavbnih elementov,
- uravnavanje zrakotesnosti.

Izvajalcem pa tudi nalaga, da je potrebno zgradbe načrtovati in graditi tako, da se čim bolj zmanjša vpliv toplotnih mostov na porabo energije. Glede preprečevanja škode na stavbi ali

uporabnikom zaradi toplotnih mostov PURES 2010 zahteva obvezno uporabo Tehnične smernice TSG-1-004:2010 [21].

4.5.3 Učinkovita raba energije TSG-1-004:2010

TSG-1-004:2010 [22] je tehnična smernica na področju zagotavljanja učinkovite rabe energije v stavbah, obsega področja toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, klimatizacije, priprave pitne vode in razsvetljave. Smernica nam poda tudi potrebne izračune in metodologijo za preverbo energetske učinkovitosti stavb ter osnovne podatke za nekatere bolj pogoste gradbene materiale.

Tehnična smernica TSG-1-004:2010 navaja: »S toplotno zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja je treba:

- zmanjšati prehod energije skozi površino toplotnega ovoja stavbe,
- zmanjšati podhlajevanje ali pregrevanje stavbe,
- zagotoviti tako sestavo gradbenih konstrukcij, da ne prihaja do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare, in
- nadzorovati (uravnavati) zrakotesnost stavbe« (TSG-1-004: 2010, 9.člen).

Glede obravnavanja toplotnih mostov TSG-1-004:2010 navaja sledeče: »Vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po toploti mora biti čim manjši. Toplotnim mostovom z linijsko toplotno prehodnostjo $\psi_e > 0,2 \text{ W/(mK)}$ (standard SIST EN ISO 14683, tabela 2, ali SIST EN ISO 10211) se je treba z ukrepi v skladu z zadnjim stanjem gradbene tehnike izogniti s popravki načrtovanih detajlov. Če pa to ni mogoče, je treba dokazati, da vodna para na mestih toplotnih mostov ne bo kondenzirala. Pri tem je treba uporabiti metodo iz standarda SIST EN ISO 10211 z upoštevanjem klimatskih pogojev kot pri prehodu vodne pare« (TSG-1-004: 2010, str. 16) [22].

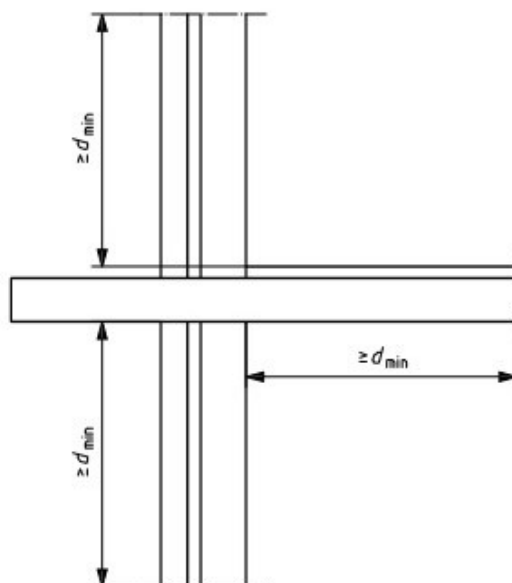
4.4.3 Standard SIST EN ISO 10211:2017

SIST EN ISO 10211:2017 [23] je standard, ki se nanaša na toplotne mostove v stavbah, toplotne tokove in površinske temperature. Standard določa specifikacije za modeliranje dvodimenzionalnih in tridimenzionalnih geometrijskih modelov toplotnih mostov za numerične izračune:

- toplotne tokove v stavbah ali njenih delih za presojo toplotnih izgub in
- minimalne temperature na površini stavbe za presojo kondenzacije na površini.

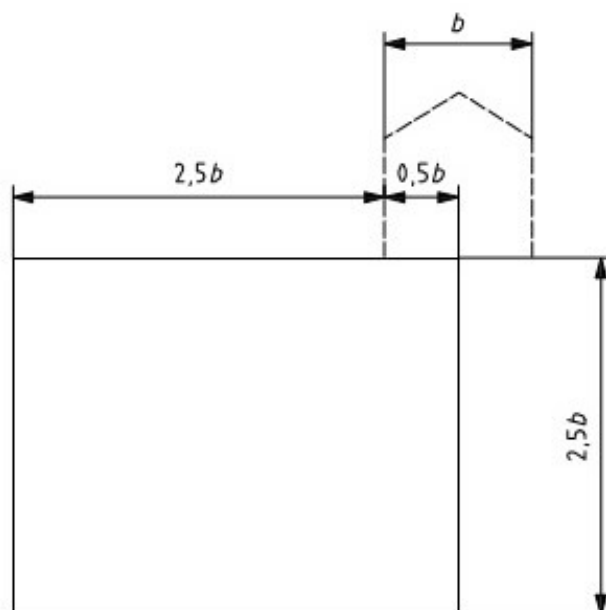
Specifikacije, določene v standardu, vsebujejo tudi geometrijske mejne pogoje, razdelitev modela na manjše enote, toplotne robne pogoje ter termične vrednosti in razmerja, ki jih je treba uporabiti.

Pri modeliranju in analizi profilov stavbnih ovojev v THERMu smo uporabljali potrebna navodila iz standarda SIST EN ISO 10211:2017 glede določitve mej geometrijskega modela dela stavbnega ovoja. Konstrukcijski sklop v območju križanja, ki nas zanima, mora biti izrisan minimalno za dolžino d_{min} , ki je trikratnik debeline sklopa ali vsaj 1 m (Slika 15).



Slika 15: Definiran obseg konstrukcijskega sklopa (vir: [23]).

Pri modeliranju križanja stavbe v stiku z zemljo moramo modelirati do sredine stavbe ($0,5b$). Zemljinu na zunanji strani v horizontalni smeri in vertikalni smeri modeliramo na dolžino $2,5b$. Pri tem je b celotna širina stavbe (slika 16). [23]



Slika 16: Pravilo za križanje stika med stavbo in zemljo (vir: [23]).

4.5 Obseg analize

V analizo toplotnih mostov smo vključili vse tri izrisane profile stavbe (Slika 12), ki smo jih obravnavali po križanjih konstrukcijskih sklopov. Vsak profil smo razdelili na šest križanj. Križanja, ki zajemata tla na terenu in streho, sta enaka pri vseh treh profilih. Vse primere smo analizirali za pogoje toplega in mrzlega letnega časa, to je poletja in zime, s pripadajočimi

klimatskimi lastnostmi (temperatura, relativna vlaga, točka rosišča). Skupno smo v THERMu izvedli analizo za 34 primerov.

4.6 Vhodni podatki

Za notranje pogoje smo uporabili temperaturo in relativno vlažnost, podano v TSG-1-004:2010 [22]. Za zunanje klimatske razmere pa smo izbrali najvišjo povprečno temperaturo v januarju in juliju [24].

Vhodni podatki, ki smo jih uporabljali v programu THERM za primer poletja:

zunanja temperatura: $T_Z = 31^\circ\text{C}$

notranja temperatura: $T_N = 20^\circ\text{C}$

relativna vlažnost: 65 %

Vhodni podatki, ki smo jih uporabljali v programu THERM za primer zime:

zunanja temperatura: $T_Z = 10^\circ\text{C}$

notranja temperatura: $T_N = 20^\circ\text{C}$

relativna vlažnost: 65 %

Poleg temperatur in vlažnosti smo morali pri definiranju mejnih pogojev pri stenah in tleh uporabiti tudi vrednosti prestopnosti mejne zračne plasti α . Na Sliki 17 α_i predstavlja prestopnost mejne plasti na notranji strani, α_e predstavlja prestopnost mejne plasti na zunanji strani.

Preglednica 1: Vrednost prestopnosti mejne zračne plasti.

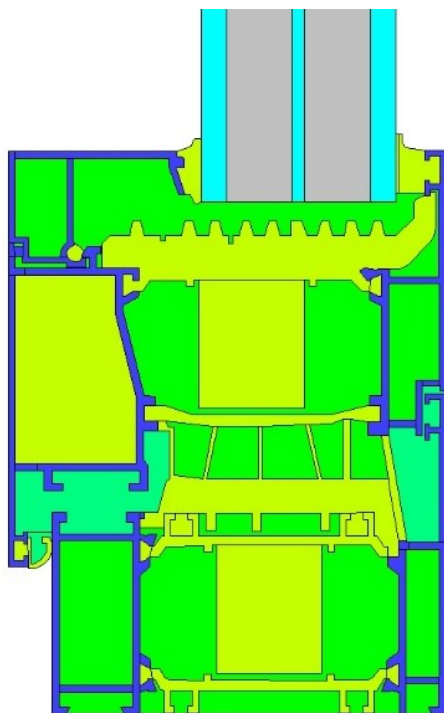
Konstrukcijski sklop	$\alpha_i \text{ W/m}^2\text{K}$	$\alpha_e \text{ W/m}^2\text{K}$
Zunanji zidovi	8	23
Tla na terenu	6	0
Medetažna konstrukcija nad terenom	6	23
Medetažna konstrukcija med stanovanji	8	8

4.7 Okno in okenski okvir

Uporabljeno okno je izdelek italijanskega proizvajalca oken Metra tipa NC 90 STH HES-WS [25] in je enokrilno. Okno ima troslojno zasteklitev, medstekelni prostor je polnjen s plinsko mešanico 95 % argona in 5 % zraka. Okenski okvir je sestavljen iz aluminija. V notranjosti je kot prekinitev toplotnega stika med notranjim in zunanjim delom okvira uporabljen etilen-propilen-dien-monomer (EPDM) (Slika 17). Okno je prikazano na Sliki 17, prerez skozi uporabljen numerični model pa na Sliki 18.



Slika 17: Uporabljeno okno (vir: [25]).



Slika 18: Numerični model okna, izdelan v THERMu

4.8 Uporabljeni materiali

Materiali, ki smo jih uporabili za analizo v programu THERM [2], so predstavljeni v preglednici 1 [22, 26, 27].

Preglednica 2: Uporabljeni materiali

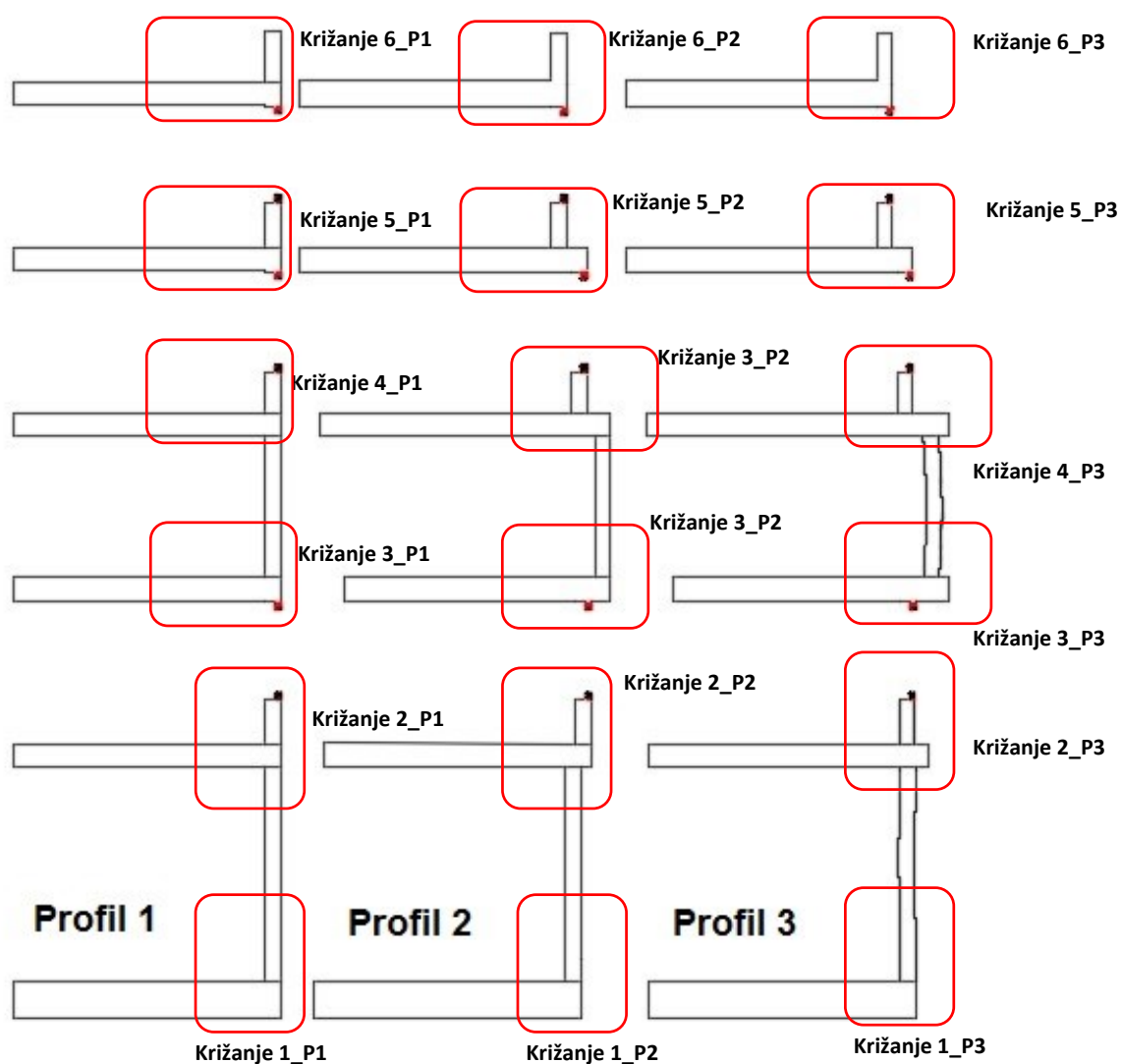
Material	λ [W/mK]	Oznaka
Armiran beton	2,330	
EPS	0,038	
Cementni estrih	1,440	
Parket	0,210	
Izravnalni kit	1,400	
Bitumen	0,170	
HI trak Izoself B3 duo	0,170	
Kamena volna	0,045	
Ventilirana zračna plast	0,180	
Fasadna obloga	1,260	
Zemlja	2,000	
Gramoz	1,000	
Lesena polica	0,160	
Nerjaveče jeklo	160,0	
Poliuretanska pena	0,030	
Silikon	0,170	
Purenit	0,086	
Tekatrak	0,040	
Aluminij	237,0	
EPDM	0,250	
Votli profil	0,120	
Prezračevani votli profil	0,068	

5 Rezultati analize

Rezultate analize bomo prikazali s termografskimi skicami, to je z izotermami, barvnim prikazom, vektorji toplotnega toka in intenziteto toplotnega toka.

5.1 Predstavitev analiziranih karakterističnih križanj

Vsi profili so narejeni v skladu z navodili v standardu SIST EN ISO 10211:2017. Na Sliki 19 so prikazani vsa obravnavana križanja in profili.



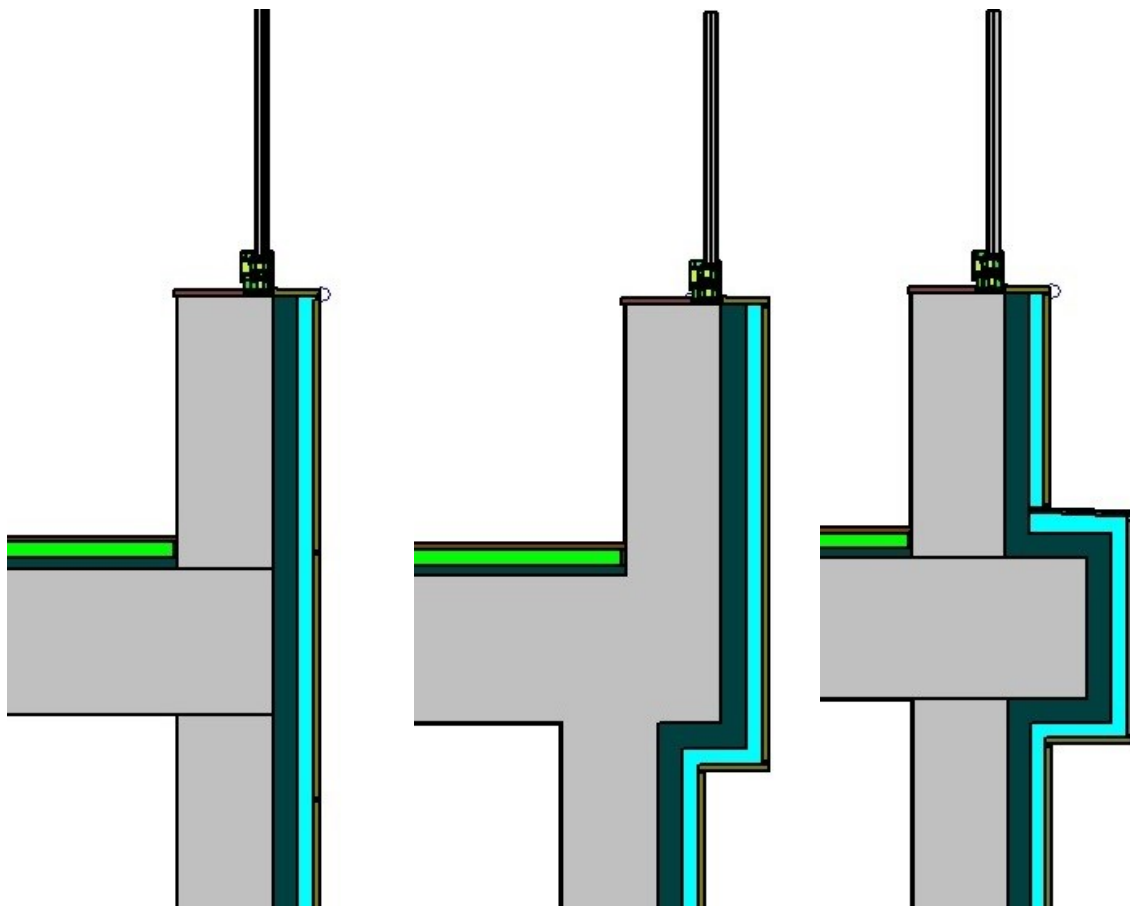
Slika 19: Križanja

Križanje 1_P1=P2=P3 (slika 20): Križanje tla na terenu*Slika 20: Križanje 1_P1_P2_P3: Tla na terenu*

Temeljna plošča je armiranobetonska debeline 70 cm. Nanjo je položen bitumenski hidroizolacijski trak, ki poteka tudi po njeni desni (zunani) stranici in je debeline 5 mm. Na bitumnu je 8 cm ekspanziranega polistirena, nad njim pa cementni estrih debeline 5 cm ter zaključni sloj – parket debeline 2 cm. Leva stran se nadaljuje v notranjost stavbe. Temeljna plošča je na desni strani poleg bitumna zaščiten s hidroizolacijskim trakom prav tako debeline 5 mm in ekspanziranim polistirenom. Oba se nadaljujeta po steni do višine 20 cm nad zemljo. Stena je toplotno izolirana s kameno volno debeline 8 cm. Debelina stene je 30 cm. Fasada se nadaljuje s prezračevanim zračnim slojem in je zaključena s kamnito oblogo. Na notranji steni je plast izravnalnega kita debeline 2 mm. Za preprečitev prenosa zvoka je med estrihom in steno izvedena dilatacija iz ekspanziranega polistirena.

Križanje 2_P1_P2_P3 (Slika 21): Križanje na nivoju prvega nadstropja

Medetažna plošča je debeline 45 cm. Na plošči je kot zvočna in toplotna izolacija postavljena kamena volna debeline 3 cm. Na kameni volni je 5 cm betonskega estriha in na njem parket debeline 2 cm. Na notranji strani stene je 2 mm izravnalnega kita. Za preprečitev prenosa zvoka je ob notranji strani med estrihom in steno dilatacija iz kamene volne. Na spodnji strani plošče je izravnalni kit (2 mm).

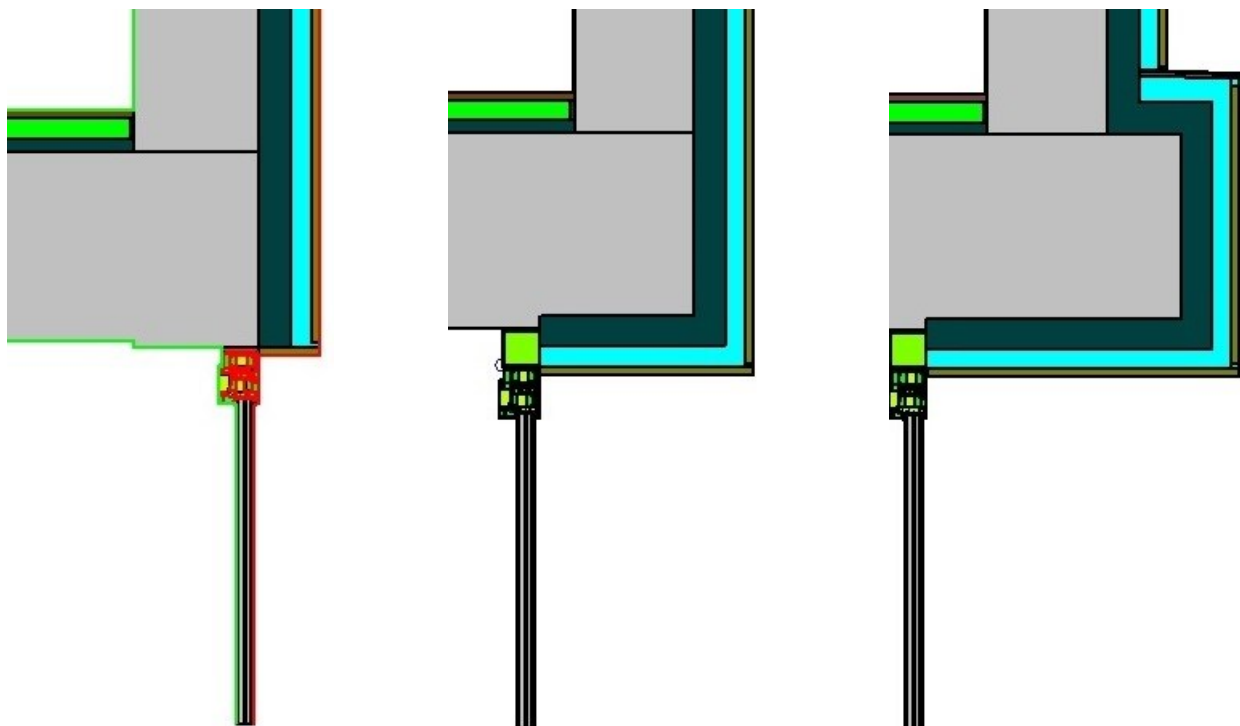


Slika 21: Križanje 2_P1 (levo), Križanje 2_P2 (sredina) in Križanje 2_P3 (desno): Križanje v prvem nadstropju

Tako kot pri križanju 1 (Slika 20) je tudi pri križanju 2 (Slika 21) zunanost stene zaščitena s prezračevano fasado. Sestava fasade je 8 cm kamene volne, 5 cm prezračevanega sloja in kamnita zaključna obloga debeline 2 cm. Finalna zaključna in hidro-izolacijska plast na zunanji steni je sestavljena iz kamnitih plošč, obešenih na kovinsko podkonstrukcijo. Med ploščami so fuge, skozi katere doteka zrak v prezračevalni kanal. Pri Križanju 2_P3 (Slika 21) je zaradi močne izpostavljenosti z meteorno vodo izbočen del plošče zaščiten z nerjavečo pločevino, izvedeno na leseno podkonstrukcijo. Križanje se na vrhu zaključi s stikom z oknom. Okenski okvir je pritrjen z vijachenjem v nosilno konstrukcijo. Med konstrukcijo in okvirjem je poliuretanska pena. Okvir je ob straneh med policama tesnjen s silikonom. Na notranji strani okna je lesena, na zunanji pa kamnita polica.

Križanje 3_P1_P2_P3 (Slika 22): križanje na nivoju drugega nadstropja.

Sama zasnova križanja 3 v drugem nadstropju je enaka kakor v primeru križanja 2 v prvem nadstropju. Na plošči so kamena volna (3 cm), betonski estrih (5 cm), parket (2 cm) in dilatacija iz kamene volne, ki preprečuje prenos zvoka s plošče na steno. Izravnalni kit (2 mm) na notranji strani stene in kamena volna (8 cm), prezračevani sloj (5 cm) in zaključna kamnita obloga (2 cm).

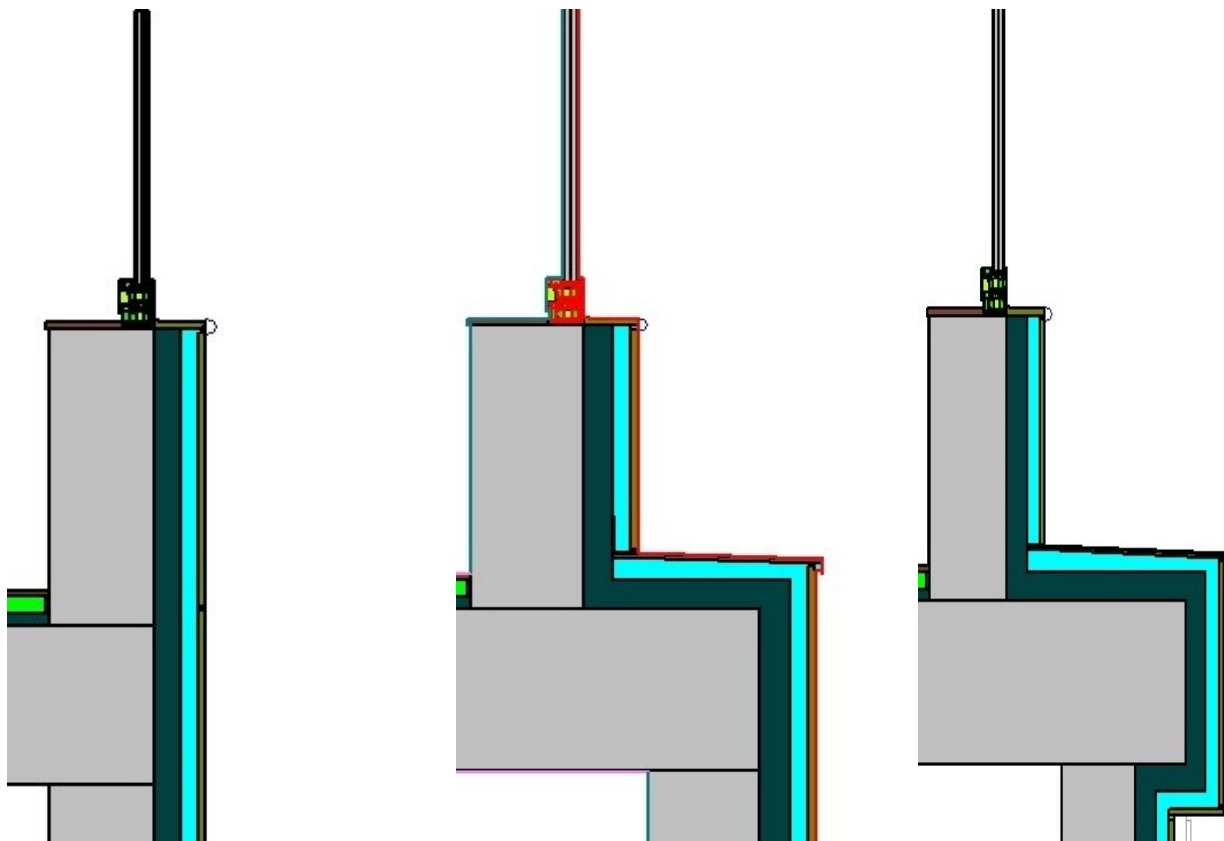


Slika 22: Križanje 3_P1 (levo), Križanje 3_P2 (sredina) in Križanje 3_P3 (desno): Križanje v drugem nadstropju

Razlika je pri montaži okna na profilu P2 in profilu P3 v drugem nadstropju (Slika 22), kjer je okno zamaknjeno proti notranjosti stavbe. Ker je nosilna konstrukcija zamaknjena v notranjost, smo uporabili podaljševalni profil. Okno je ob straneh vijačeno v nosilno konstrukcijo. Kot podaljševalni profil smo uporabili purenit [28], ki se ga lahko dokaj enostavno obdeluje, ima dobre termoizolacijske lastnosti in je odporen na vlago. Med nosilno konstrukcijo in purenitom [24] je približno 1 cm debela plast poliuretanske pene. Za zapolnitev stika med okenskim okvirjem in purenitom ter dodatno tesnitev smo uporabili tesnilni trak tektrak [29].

Križanje 4_P1_P2_P3 (Slika 23): križanje na nivoju tretjega nadstropja.

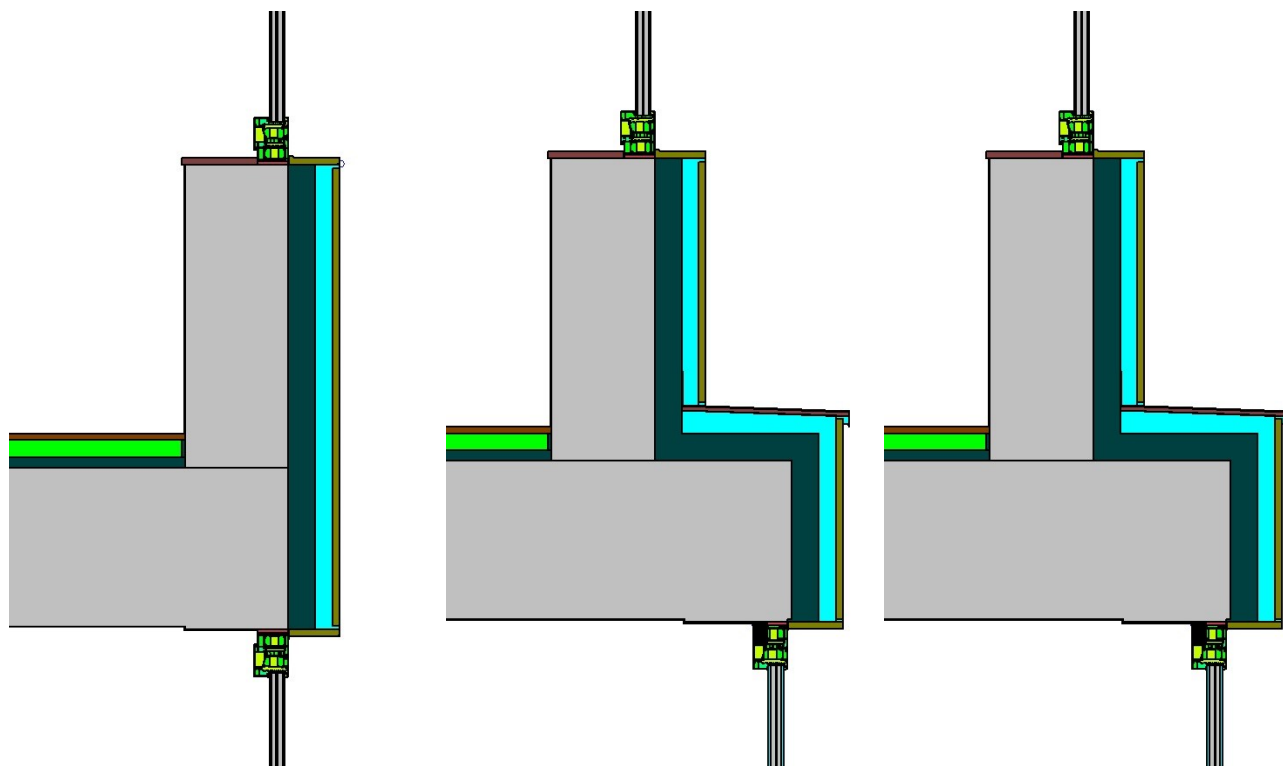
Križanje 4 v tretjem nadstropju je po sami zasnovi sestavljeno enako kakor križanje 2 v prvem nadstropju (str 23). Na medetažni plošči so kamena volna (3 cm), betonski estrih (5 cm) in parket (2 cm). Ob steni je dilatacija iz kamene volne. Zunanji del stene je ravno tako zaščiten s kameno volno (8 cm), prezračevanim slojem (5 cm) in kamnito oblogo (2 cm). Zunanji del plošče z izolacijo, ki je znatno bolj izpostavljen dežju in ostalim vremenskim pogojem, je zaščiten s profilom iz nerjavečega jekla. Na spodnji strani medetažne plošče je izvedena izravnava s kitom.



Slika 23: Križanje 4_P1 (levo), Križanje 4_P2 (sredina) in Križanje 4_P3 (desno): Križanje v tretjem nadstropju

Križanje 5_P1_P2_P3 (Slika 24): križanja na nivoju četrtega nadstropja.

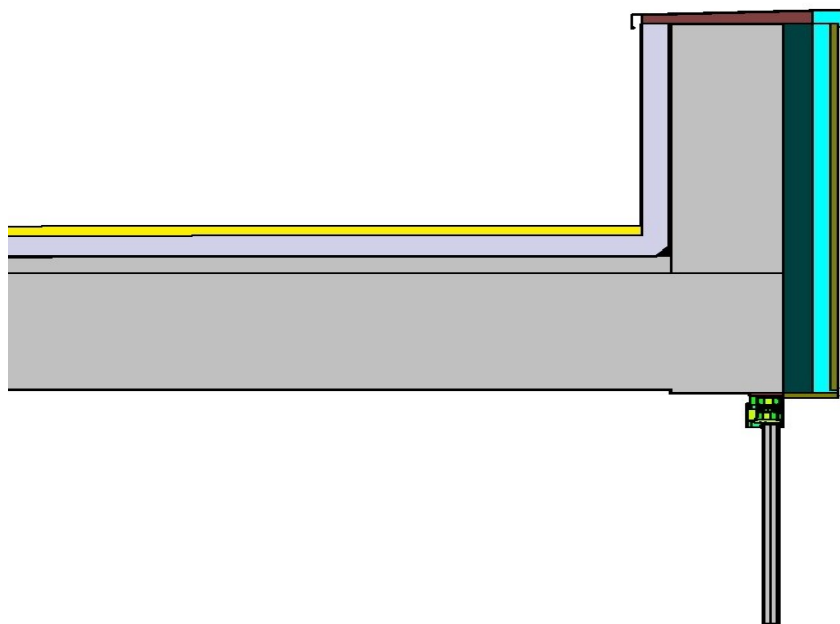
Križanje 5 v četrtem nadstropju je, kar se tiče uporabljenih elementov, enako križanju 4 v tretjem nadstropju (str 24). Razlika je v tem, da ima križanje 5 vgrajeno dvoje oken.



Slika 24: Križanje 5_P1 (levo), Križanje 5_P2 (sredina) in Križanje 53_P3 (desno): Križanje v četrtem nadstropju

Križanje 6_P1=P2=P3 (slika 25): Križanje na nivoju strehe.

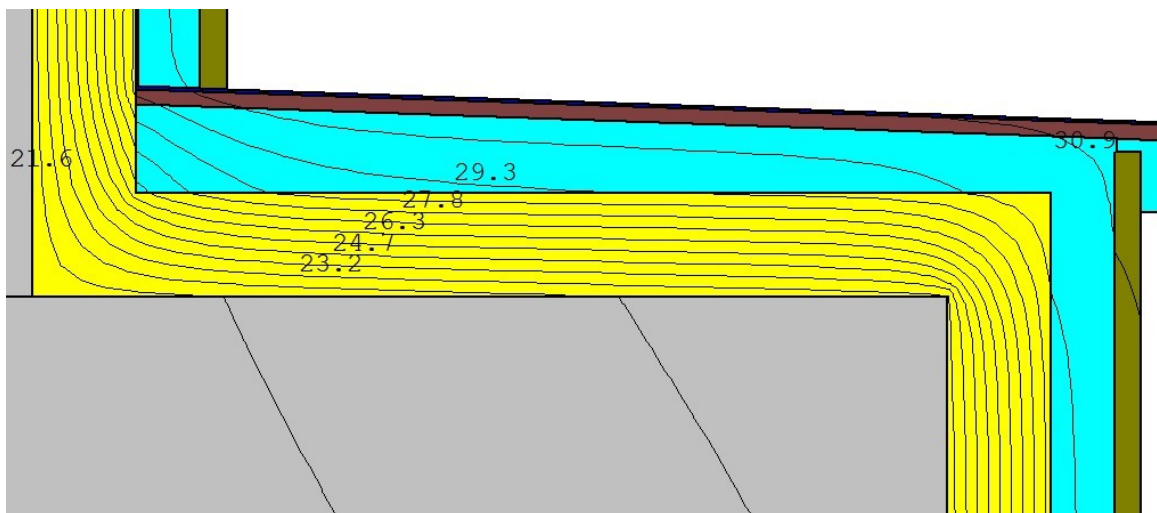
Debelina strešne plošče je 45 cm. Na strešni plošči je naklonski beton debeline 6–7 cm z 2-% naklonom. Na njem je 5 mm bitumenskega traku in 8 cm ekspandiranega polistirena. Zaključni sloj na strehi je gramoz debeline 4 cm. Stena se nadaljuje v parapet. Na zunanji strani parapeta je izvedena toplotna zaščita z 8 cm kamene volne, 5 cm prezračevanega sloja in se konča z zaključno kamnito oblogo. Na notranji strani parapeta se iz strešne plošče nadaljujeta 5mm bitumenskega traku in ekspandiran polistiren, ki je nato zaključen z izravnalnim kitom. Na vrhu parapeta je lesena podkonstrukcija, na njej pa zaščita iz nerjavečega jekla. Na spodnji strani je vgrajeno okno, ki je vijačeno ob straneh. Med okenskim okvirjem in nosilno konstrukcijo je 1 cm poliuretanske pene, ob straneh je izvedeno tesnjenje s silikonom.



Slika 25: Križanje 6_P1_P2_P3: Streha

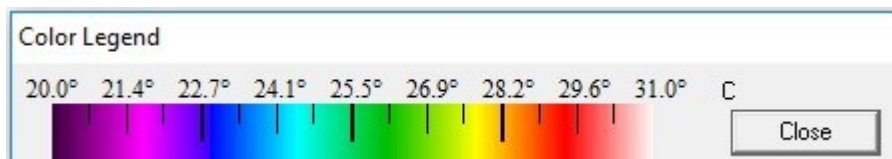
5.2 Interpretacija rezultatov

Izoterme (Slika 26) povezujejo med seboj točke z isto temperaturo. Razdalja med izotermami nam daje vpogled v stopnjo spremembe temperature (v temperaturni gradient) in/ali v kateri smeri se temperaturno polje najbolj spreminja. Ekstremni temperaturni gradienti lahko povzročijo toplotne napetosti ali strukturne probleme [2].



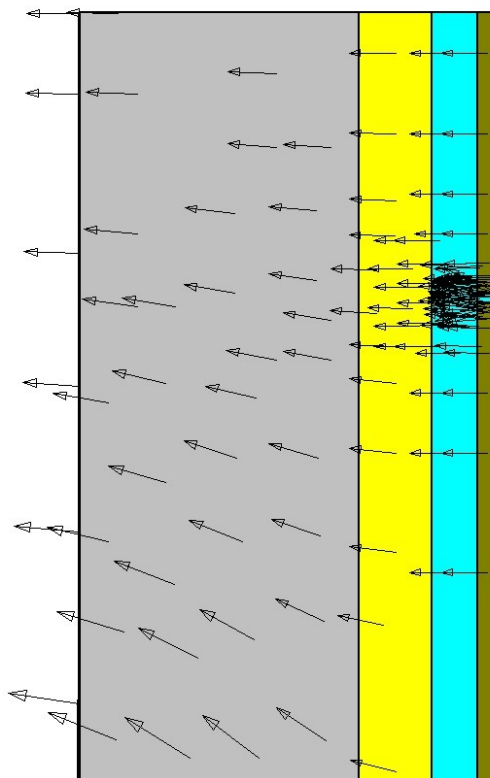
Slika 26: Primer izoterm

Barvni prikaz (IR) prikaže temperaturne gradiente v analiziranim prerezu. Toplejša stran je obarvana v toplejših barvah (rdeče, rumena), hladnejša pa v modro-vijoličnih odtenkih (Slika 27) [2].



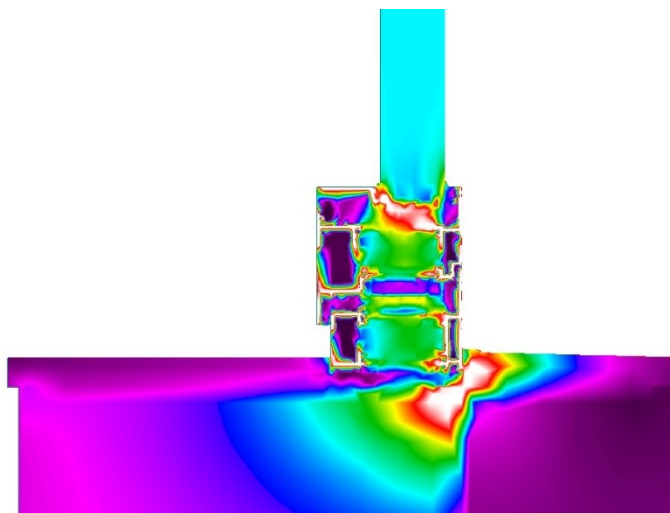
Slika 27: Barvna legenda

Vektorji toplotnega toka nam prikazujejo smer in intenzivnost toplotnega toka skozi dani prerez. Dolžina vektorja ustreza količini toplotnega toka skozi dani prerez; smer toplotnega toka pa nam nakažejo puščice (Slika 28) [2].



Slika 28: Primer vektorjev toplotnega toka

Barvni prikaz intenzivnosti toplotnega toka (Slika 29) predstavlja intenzivnost vektorjev toplotnega toka. Hladnejše barve predstavljajo nižji tok, toplejše predstavljajo večjo intenzivnost toka. Iz prikaza ne moremo razbrati smeri toplotnega toka [2].



Slika 29: Intenzivnost toplotnega toka

5.2.1 Ravnina rosišča

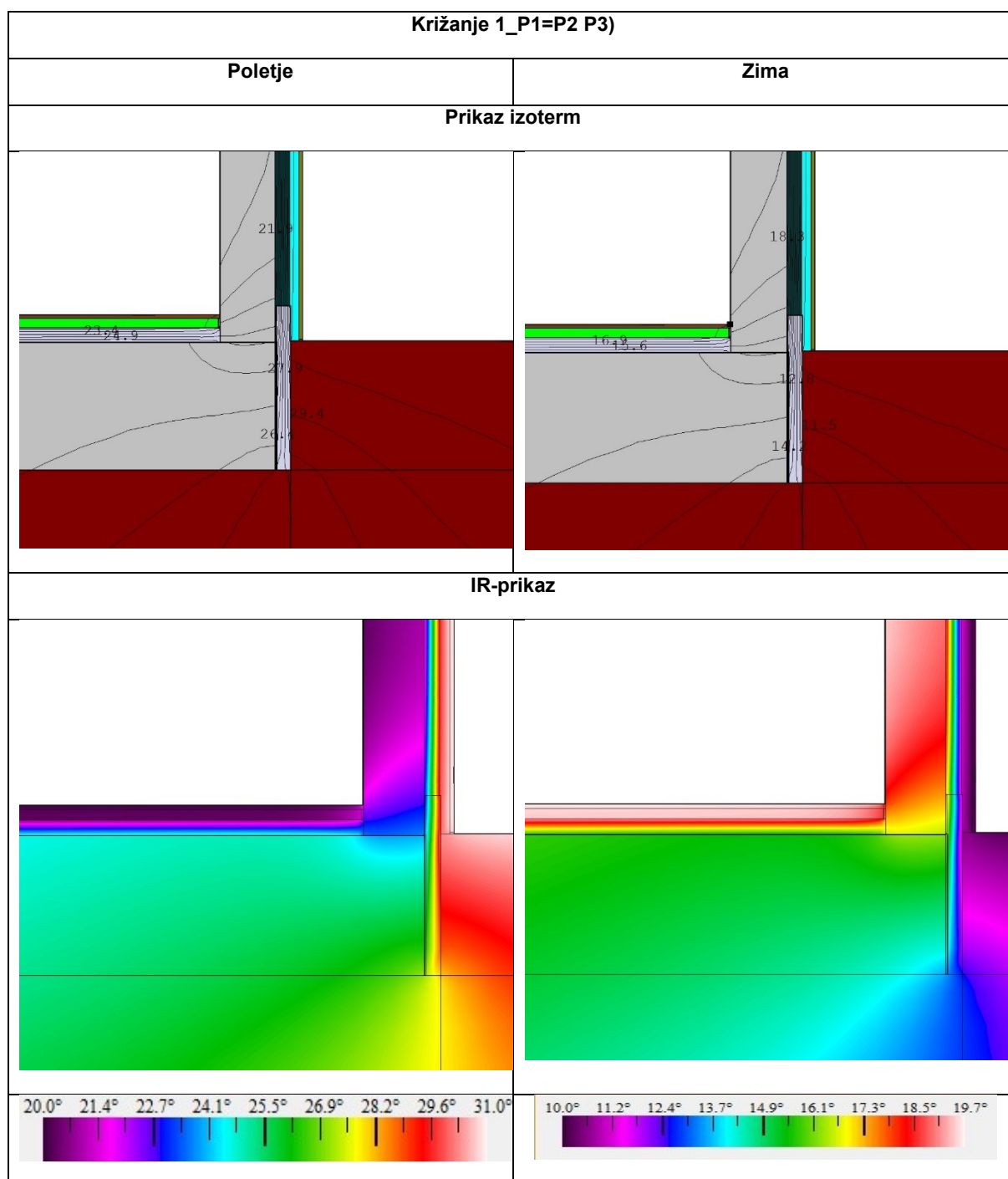
Računska točka rosišča, kjer se začne iz vlažnega zraka izločati vodna para, je pri izbranih notranjih robnih pogojih ($T_N = 20\text{ °C}$, 65 % relativna vlažnost) $13,2\text{ °C}$. Glede na izračunano točko rosišča lahko tako za poletne kot za zimske pogoje sklepamo, da ni nevarnosti kondenzacije na notranji strani stene. Pri vseh analizah toplotnih mostov v zimskih pogojih je ravnina rosišča pri $13,2\text{ °C}$, ta poteka po toplotni izolaciji, ki se lahko izsuši v prezračevani sloj.

5.3 Analiza rezultatov

5.3.1 Križanje 1: Tla na terenu

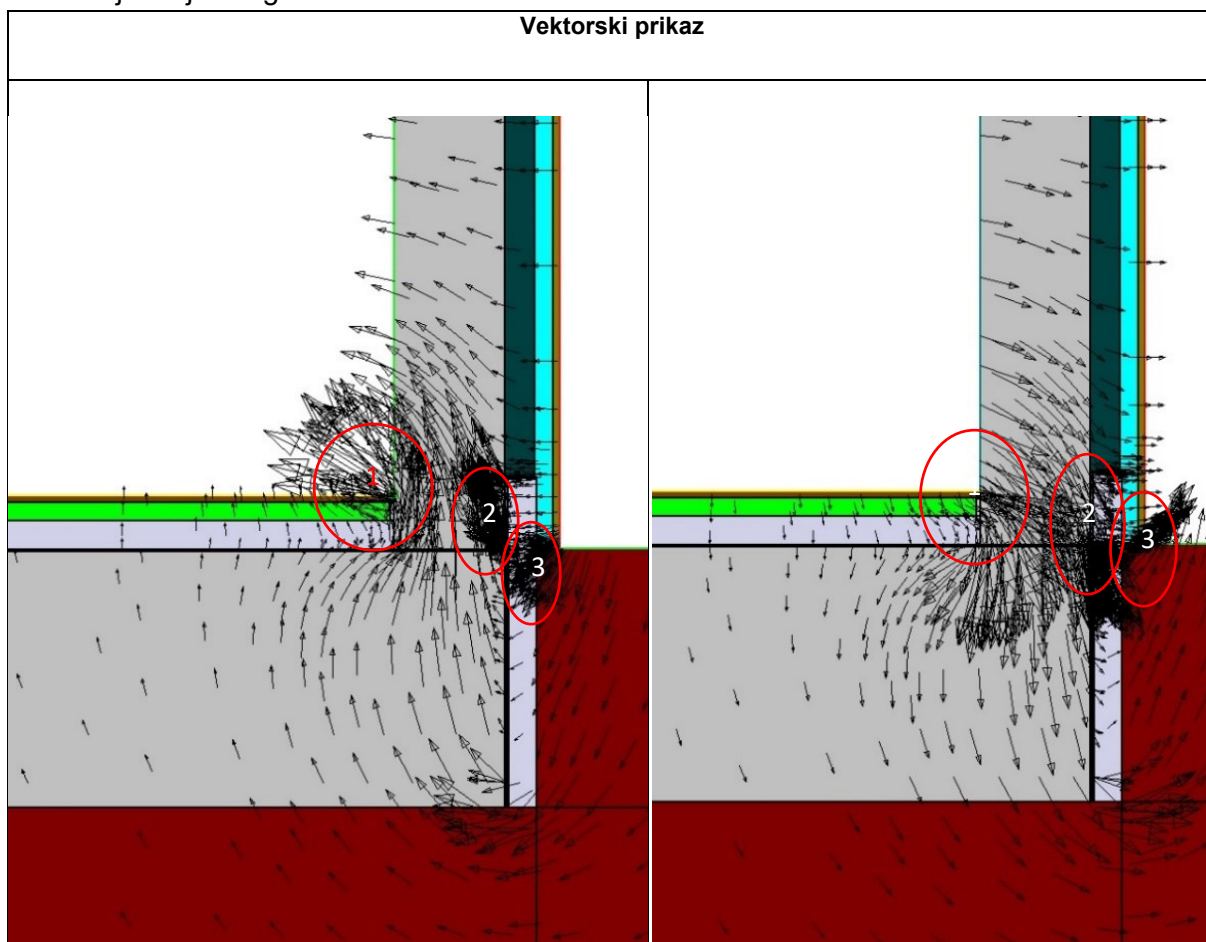
V Preglednici 3 so prikazane termografske skice, IR in vektorski prikaz izračuna za primer križanja tla na terenu za poletne in zimske pogoje.

Preglednica 3: Križanje 1 tla na terenu



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3.



Vektorski prikaz (Preglednica 3) prikazuje smer in intenzivnost toplotnega toka za primer *križanja tla na terenu* za poletne in zimske pogoje.

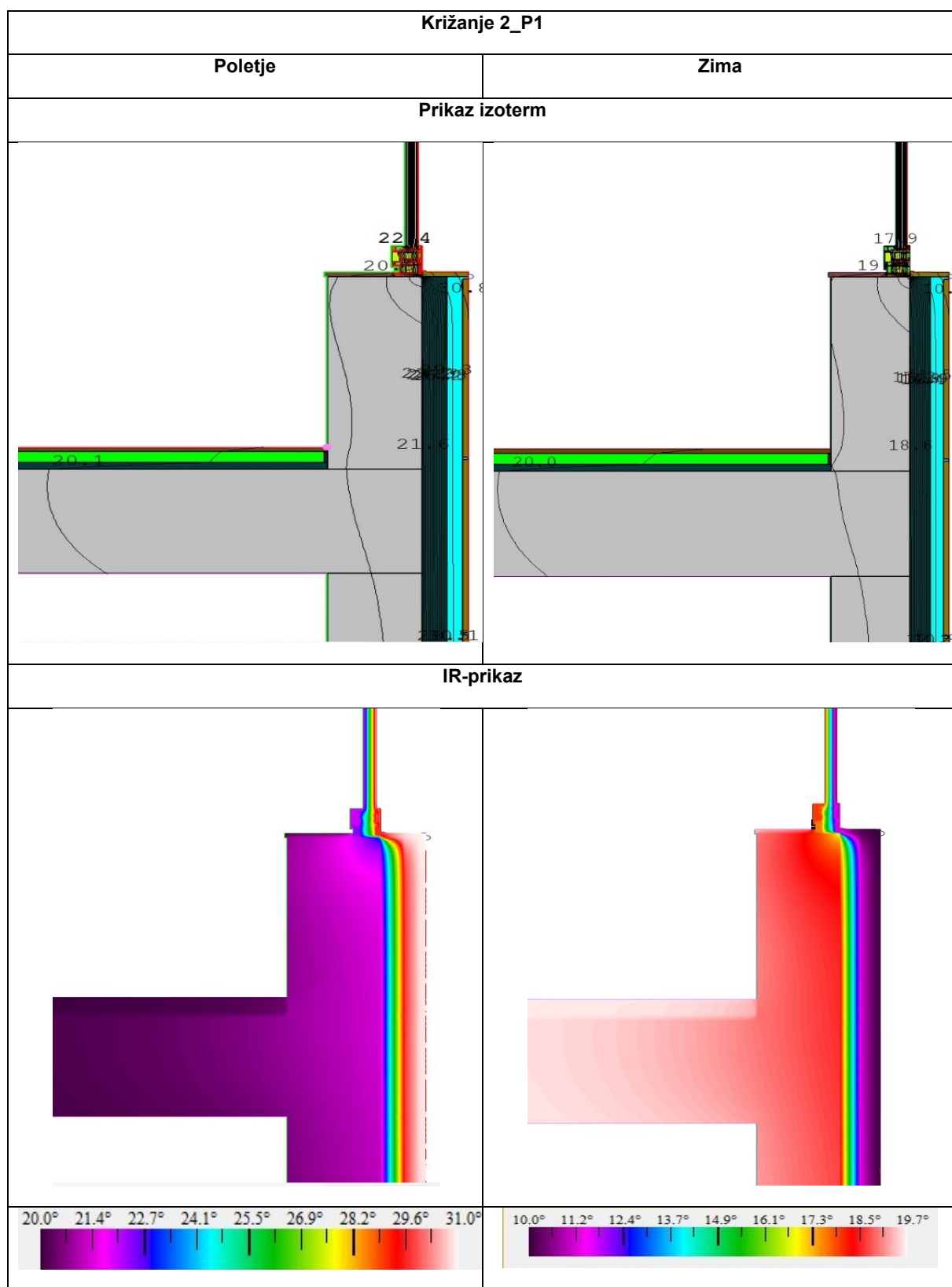
V Preglednici 3 lahko vidimo, da je šibka točka konstrukcijskega sklopa na stiku med temeljno ploščo in steno. Kljub toplotni izolaciji na zunanji strani temeljne plošče nastane manjši toplotni most (Preglednica 3, vektorski prikaz). Pri vektorskem prikazu vidimo večjo gostoto toplotnega toka v območju stika med temeljno ploščo, steno in ekspandiranim poliestrom (mesto 1). Znatno večja gostota toplotnega toka je v območju stika med temeljno ploščo, steno in ekspandiranim poliestrom na zunanji strani temeljne plošče (mesto 2) in v območju stika med ekspandiranim poliestrom in zemljo mimo zunanje toplotne izolacije (mesto 3). Smer toplotnega toka je v zimskih pogojih nasprotna od smeri v poletnih pogojih.

5.3.2 Križanje 2: križanje z medetažno konstrukcijo v 1. nadstropju

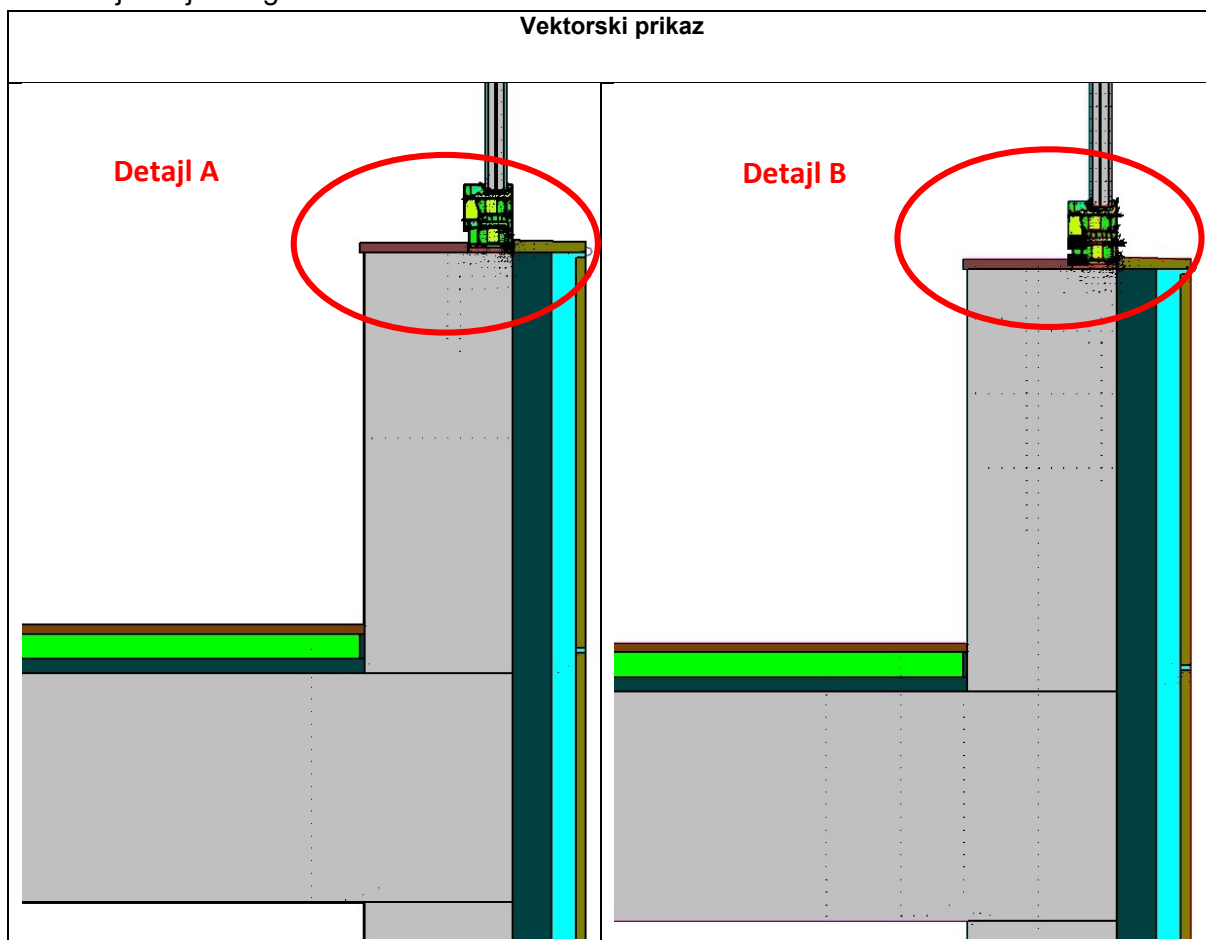
Križanje 2_P1

S programom THERM izračunani rezultati za *Križanje2_P1* so prikazani v Preglednici 4.

Preglednica 4: Križanje 2_P1

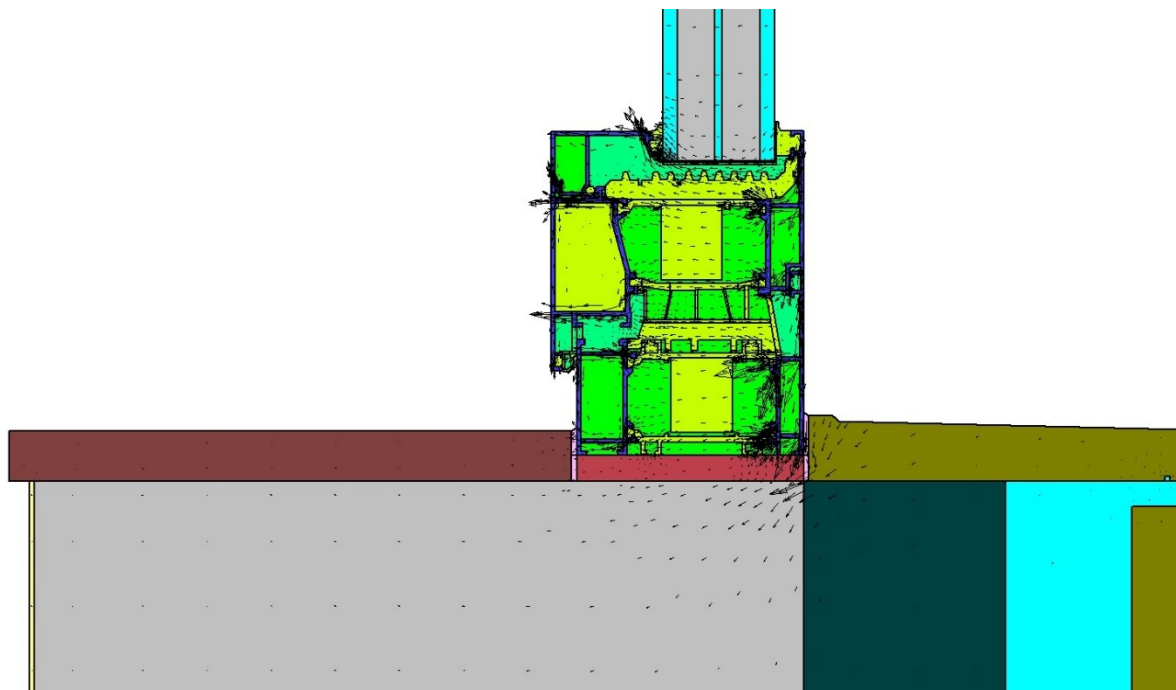


... nadaljevanje Preglednice 4.

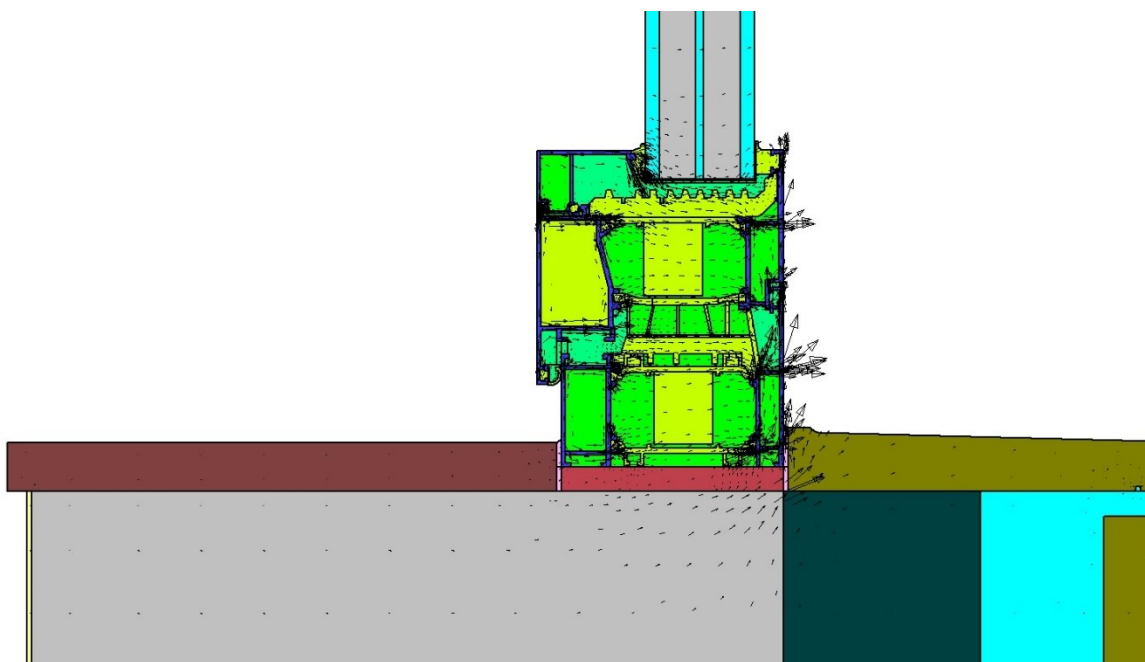


Primer stika medetažne plošče in stene je eden izmed najbolj pogostih križanj. To so mesta, kjer je lahko toplotni tok povečan, večje so toplotne izgube in posledično je poraba energije večja. Rezultati, ki so prikazani v Preglednici 4 prikaz izoterm in IR, kažejo, da je križanje v prvem nadstropju (Križanje 2_P1) zasnovano dobro, in opozarjajo na to, kako pomembno je pravilno načrtovanje ovoja zgradbe in toplotne izolacije plošče.

Vektorski prikaz intenzivnosti toplotnega toka (Preglednica 4) razkrije, da v območju stika plošče in stene ni znatno povečanega toplotnega toka. Iz slike lahko razberemo, da je okenski okvir vgrajen na robu stene, ni pa viden toplotni tok v območju stika okvirja in stene. Izrazito opazen je toplotni tok na Slikah 30 in 31, ki prikazujeta detajla A in B križanja, predstavljenega v Preglednici 4. Iz detajlov razberemo manjšo intenzivnost toplotnega toka okoli okvirja in nekoliko večjo v območju okenskega krila in okvirja. Taka montaža oken prispeva k manjši intenzivnosti toplotnega toka okoli okenskega okvirja. V primeru, da bi okno montirali na sredino stene, bi bila intenzivnost toplotnega toka precej večja.



Slika 30: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl A



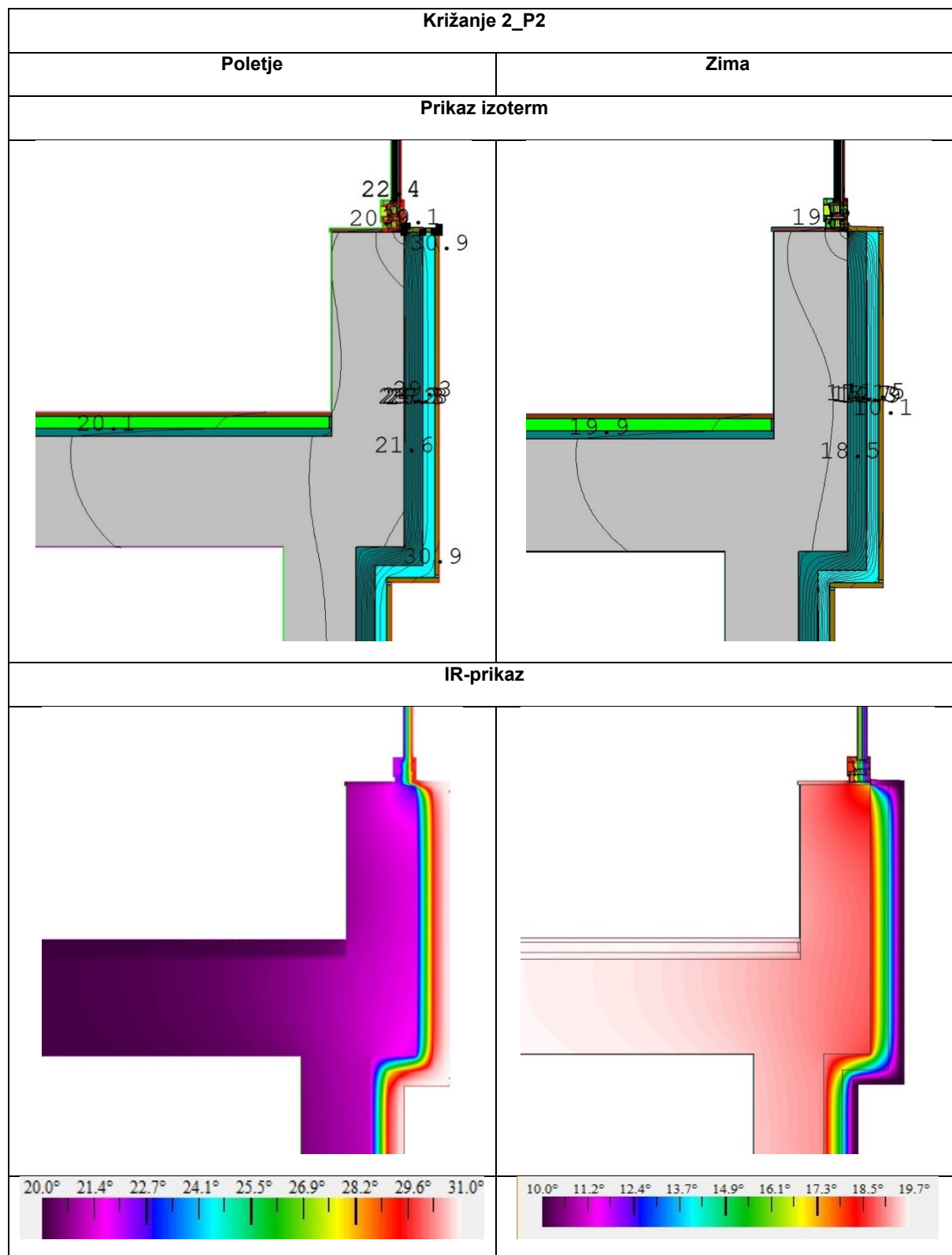
Slika 31: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl B

Večja intenzivnost toplotnega toka v aluminijastem okvirju je pričakovana zaradi boljše toplotne prevodnosti aluminija od ostalih uporabljenih materialov. Vidi se tudi manjši linijski toplotni most na stiku poliuretanske pene, silikona in toplotne izolacije.

Križanje 2_P2

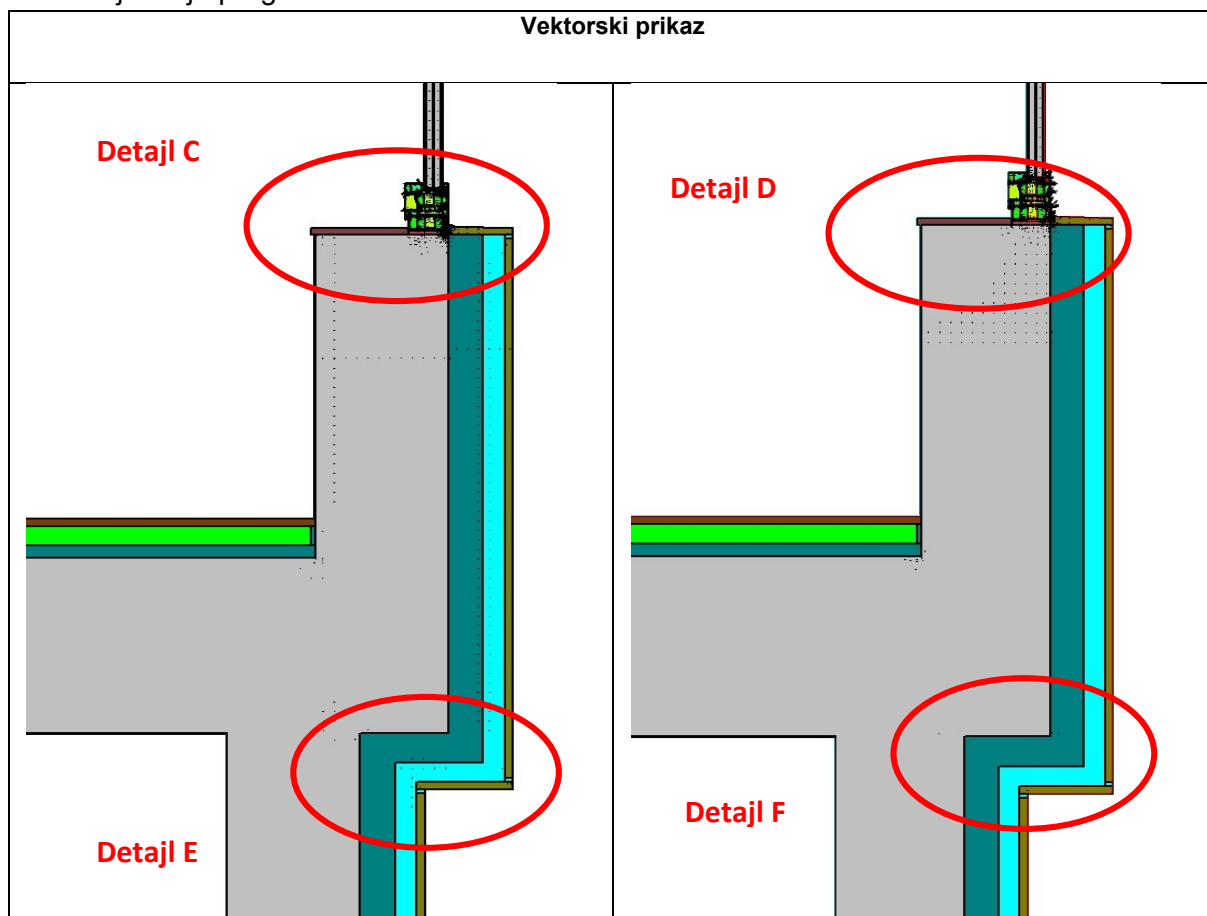
Grafični prikazi rezultatov izračuna za *križanje 2_P2* so prikazani v Preglednici 5.

Preglednica 5: Križanje 2_P2



se nadaljuje ...

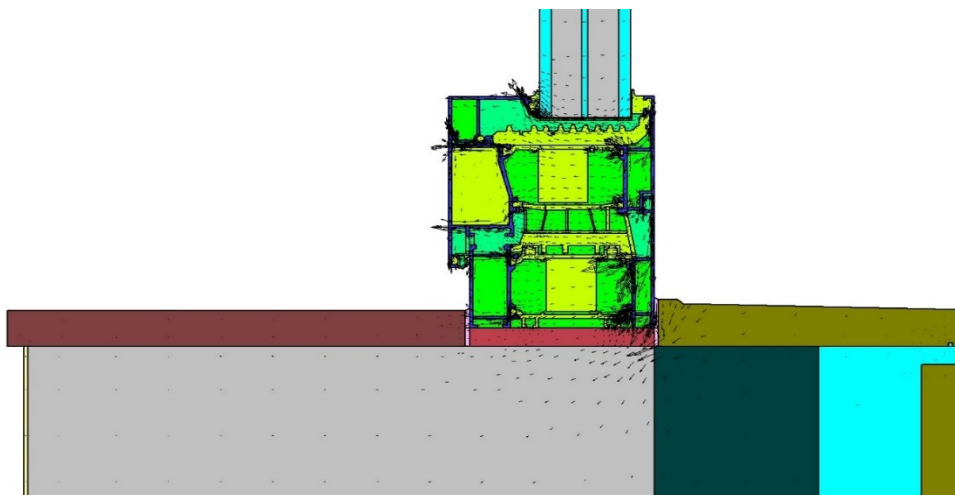
... nadaljevanje preglednice 4.



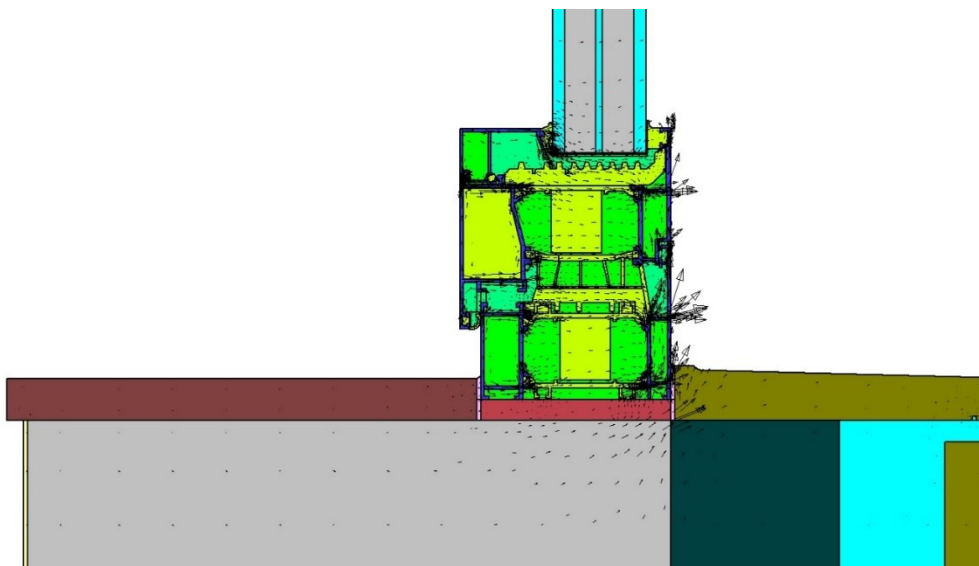
Pri križanju 2_P2 je stena v prvem nadstropju zamaknjena navzven glede na steno pritličja. Nastali vogal je primer kombiniranega toplotnega mostu in pričakovali bi znatno povečan toplotni tok. Analiza rezultatov, pridobljenih s programom THERM, ne potrdi znatno povečanega toplotnega toka in s tem večje energijske izgube (Preglednica 5). Razlog je v toplotni zaščiti zunanje strani in v le malo večji zunanji površini križanja. Na stiku med okvirjem in steno je prisoten manjši toplotni most, ki je dobro viden v Preglednici 5, IR-prikaz poletje. Modri polkrog je zarezan v hladnejšo vijolično barvo. Kot v primeru križanje 2_P1 je tudi pri križanju 2_P2 šibka točka montaža okenskega okvirja.

Iz Preglednice 5, ki prikazuje intenzivnost toplotnega toka, lahko razberemo le povečano intenziteto v območju stika okna in stene.

Opaznejša intenzivnost toplotnega toka je na slikah od 32 do 35, ki prikazujejo detajle iz Preglednice 5.

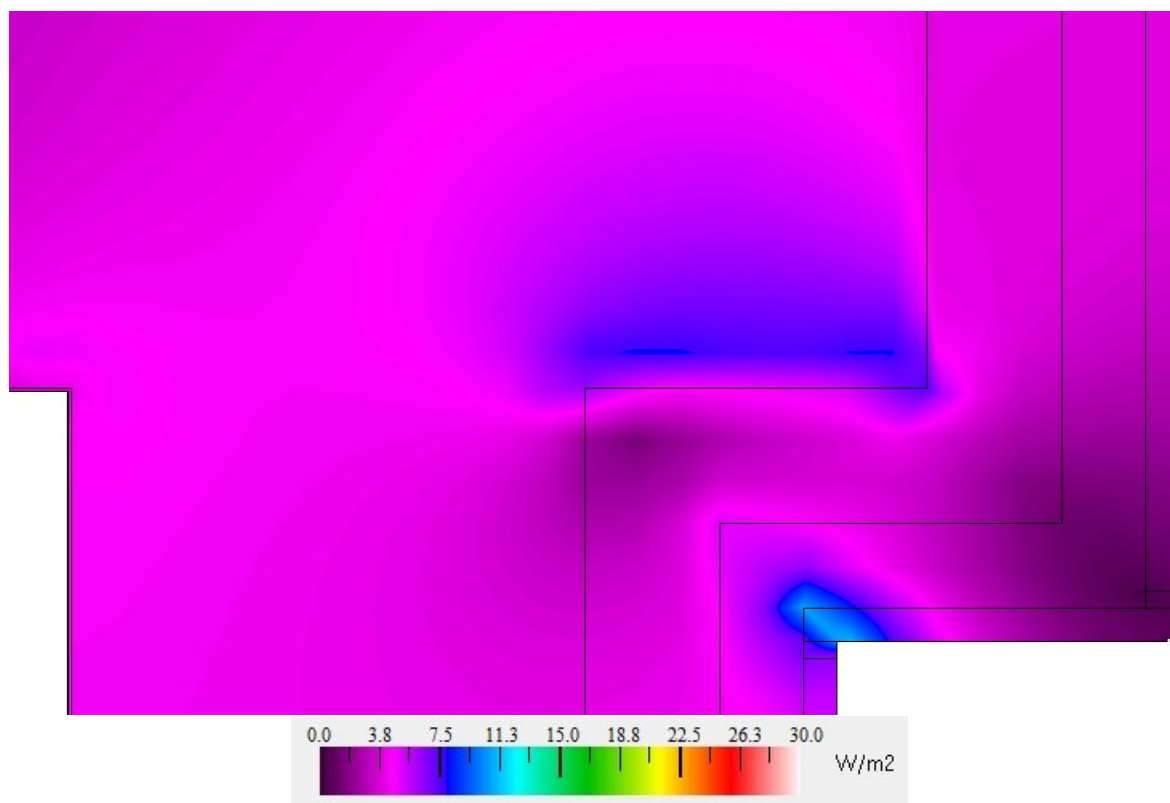


Slika 32: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl C

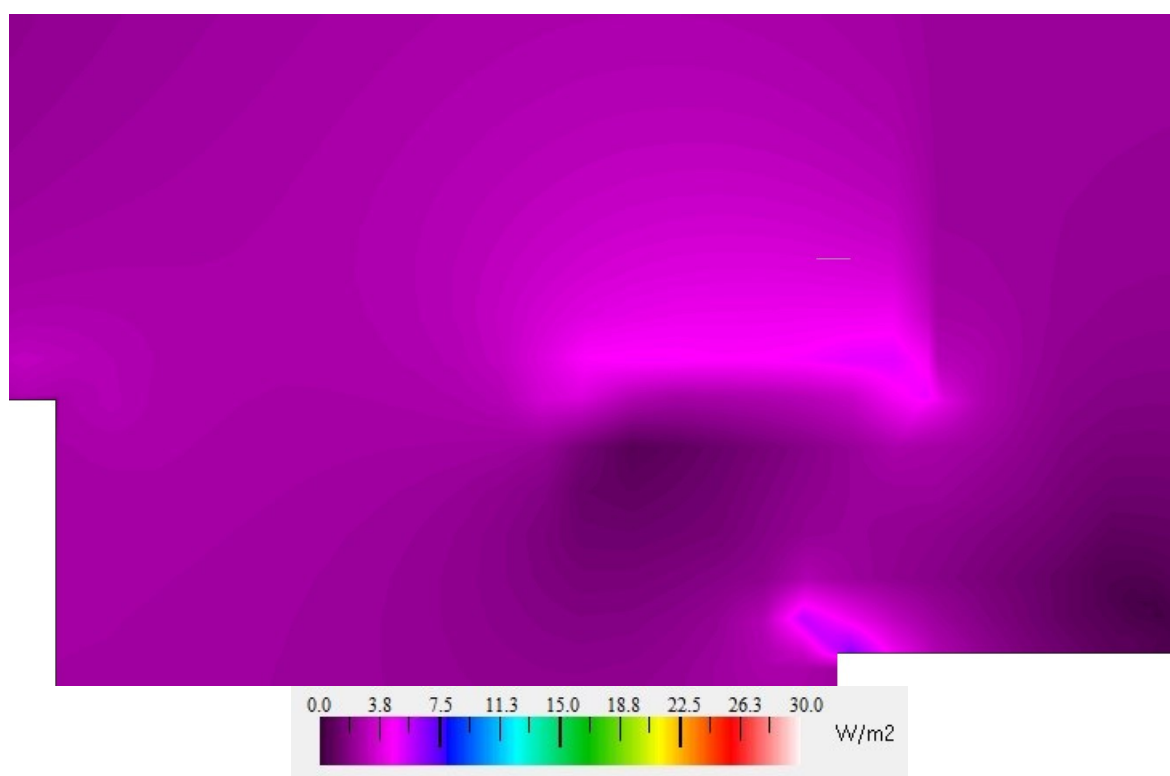


Slika 33: Intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in stene, detajl D

Na Slikah 32 in 33 se vidi močno povečan toplotni tok skozi okenski okvir in v območju stika okvir–stena. Situacija je enaka kakor pri P1 (str. 32) Sliki 30 in 31. Detajla E in F, ki prikazujeta intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, sta na Slikah 33 in 34. Toplotni tok je povečan na vogalu stene in etažne plošče in vogalu odkapa. V primerjavi med poletjem (Slika 34) in zimo (Slika 35) je intenziteta toplotnega toka pri poletnih temperaturah opazno večja.



Slika 34: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl E, poletje

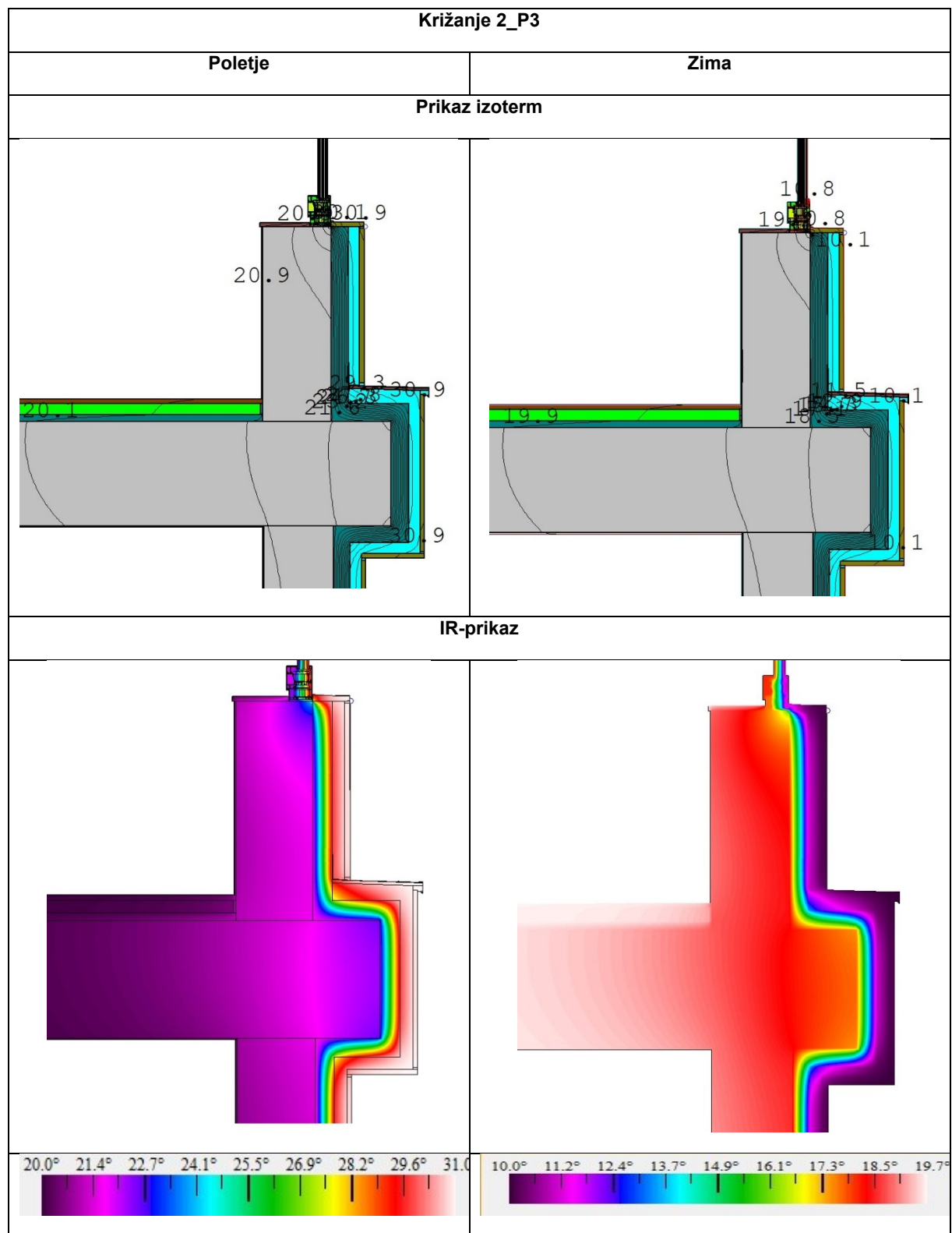


Slika 35: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl F, zima

Križanje 2_P3

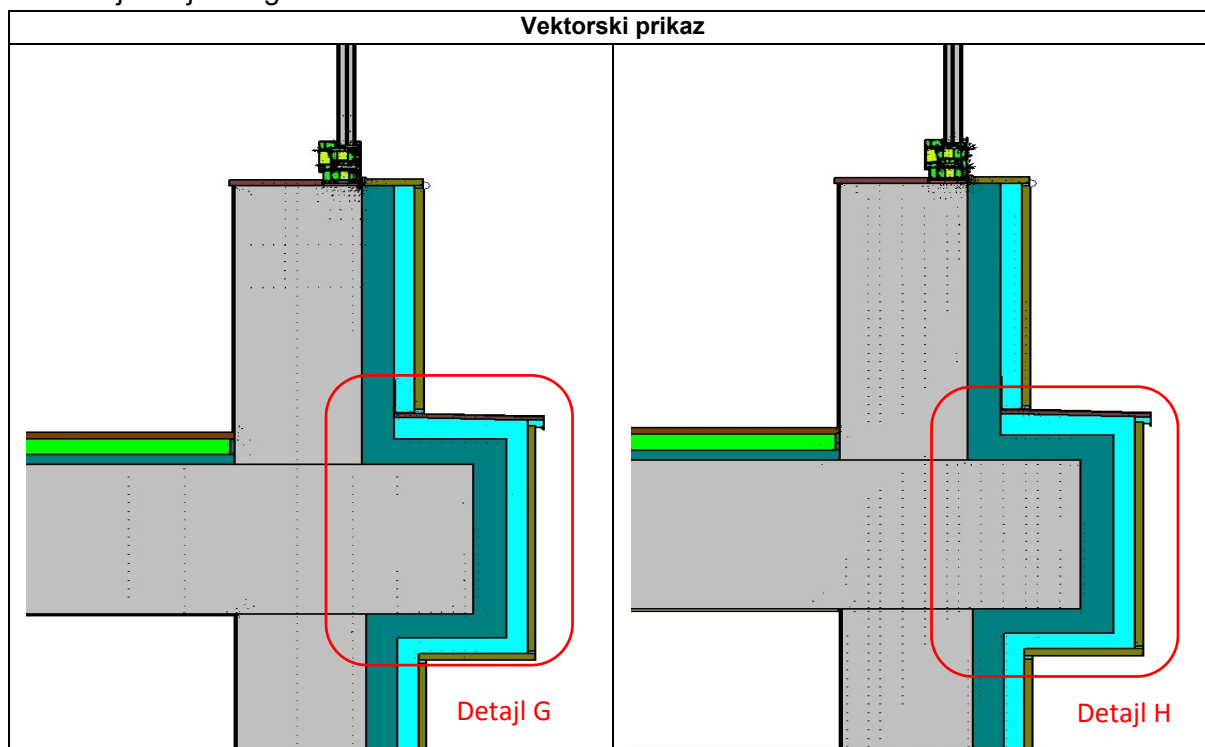
V Preglednici 6 so prikazani rezultati analize za križanje 2_P3.

Preglednica 6: Križanje 2_P3



se nadaljuje ...

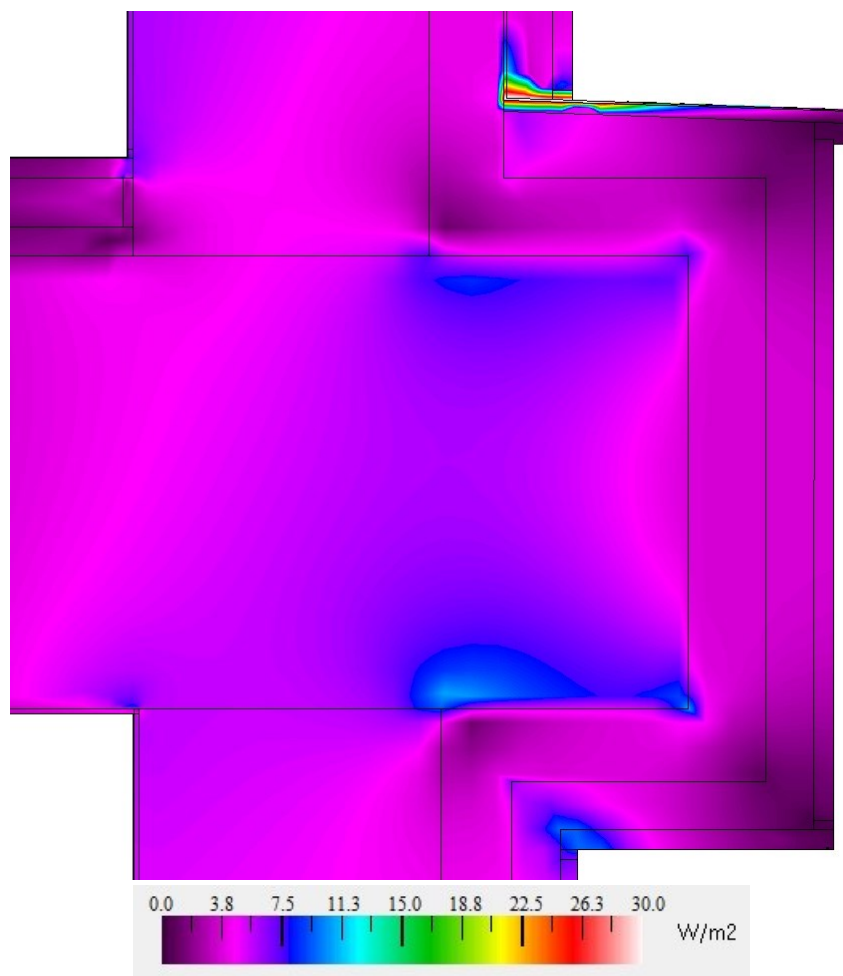
... nadaljevanje Preglednice 6.



Izračunani rezultati s programom THERM za območje stika okna in stene za križanje 2_P3 križanja v prvem nadstropju so pričakovano enaki kot pri profilu P1 in P2. Vsa okna so enaka in vgrajena na zunanji rob stene, obdelava špalet, police in izvedba toplotne izolacije sta enaki.

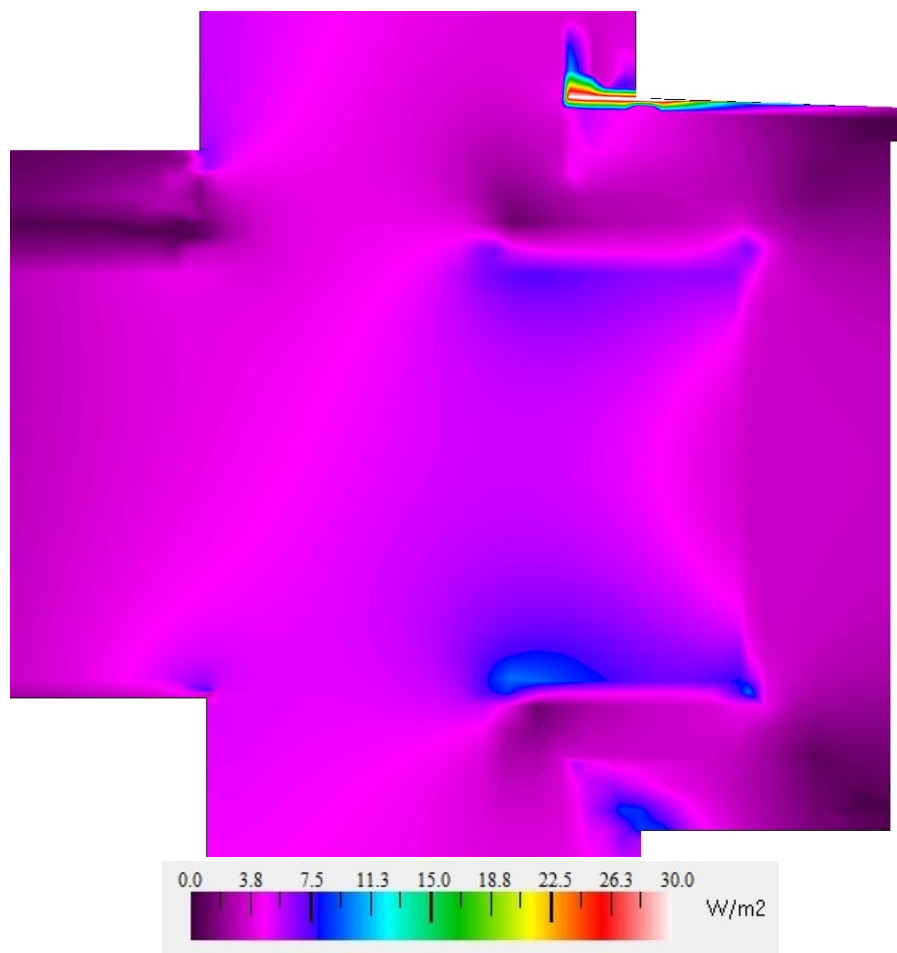
V konstrukcijskem sklopu je prisotno križanje etažne plošče z zunanjo steno. Plošča se iz notranjosti zgradbe nadaljuje skozi zunanjo steno in sega preko nje. Iz Preglednice 5 IR-prikaz lahko razberemo, da je iz zunanje stene izstopajoči del plošče toplejši v poletnih in hladnejši v zimskih pogojih. Iz prikaza izotermnih linij razberemo, da izotermi 21,6 °C (Preglednica 6) in 18,5 °C (Preglednica 6) potekata po zunanji površini stene spodnje etaže, skoraj premo skozi konzolo in se nadaljujeta po površini stene zgornje etaže. Sprememba temperature v posameznih območjih križanja je vidna tudi na IR-prikazu. Kljub temu, da je konzola popolnoma ovita v toplotno izolacijo enake debeline kot preostali del sklopa, je toplotni tok v poletnem času iz zunanosti v notranjost zgradbe in v zimskem času iz notranjosti zgradbe v zunanje okolje povečan glede na steno pri križanju 2_P1.

Podrobnejša analiza toplotnega toka v posameznih delih križanja (Preglednica 6) je prikazana na Slikah 36 in 37.



Slika 36: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl G, zima

Detajl G na sliki 36 prikazuje intenzivnost toplotnega toka za stik pločevine iz nerjavnega jekla z leseno podkonstrukcijo in toplotno izolacijo v poletnem času, na sliki 37 pa v zimskem času. Opazen je povečan toplotni tok preko jeklene pločevine, kar je razumljivo, saj ima precej večjo toplotno prevodnost kot ostali materiali na slikah. Toplotni tok delno prestopi v kameno volno, kjer se zaradi ugodnih toplotnih lastnosti zmanjša. V zimskih pogojih poteka toplotni tok v obratni smeri. Podobno kakor v križanju 2_P2 (Sliki 34, 35) je tudi intenzivnost toka tu povečana na vogalih etažne plošče.



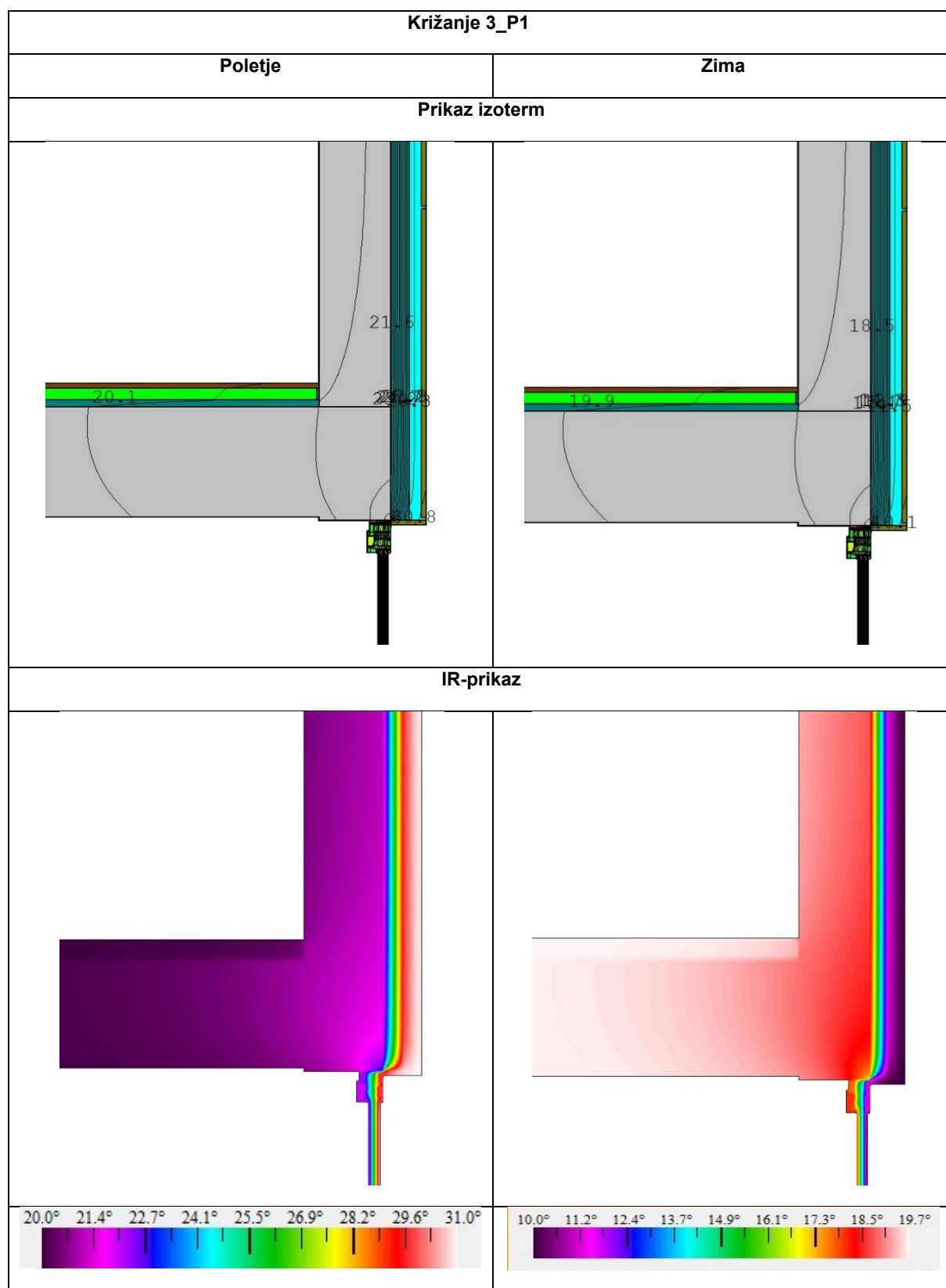
Slika 37: Intenzivnost toplotnega toka v območju vogala, detajl H, zima

5.3.3 Križanje 3: križanje z medetažno konstrukcijo v 2. nadstropju

Križanje 3_P1

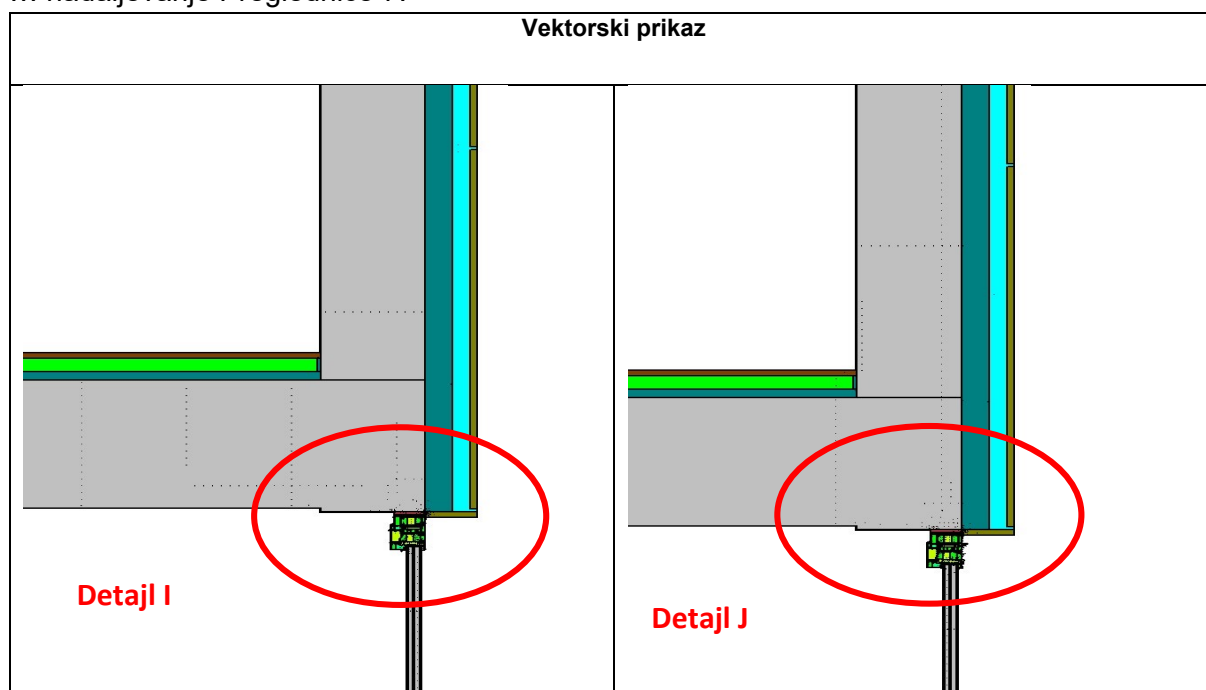
S programom THERM izračunani rezultati za *križanje 3_P1* so prikazani v Preglednici 7. Rezultati so podani v obliki izoterm, IR in vektorjev toplotnega toka.

Preglednica 7: Križanje 3_P1



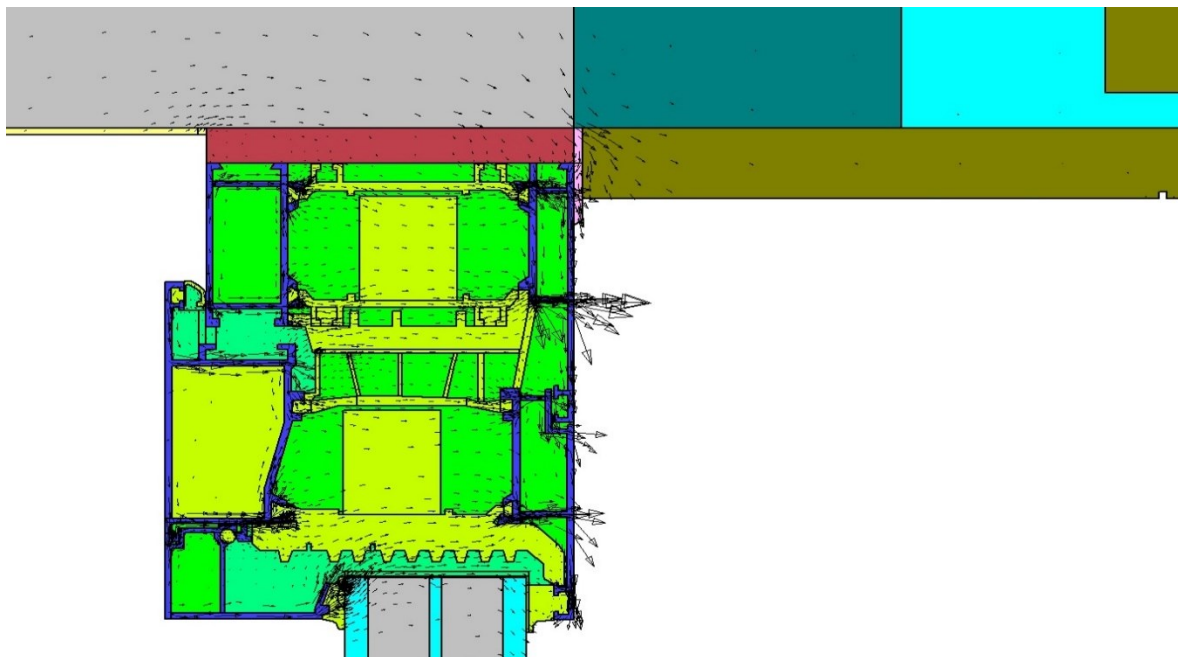
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 7.

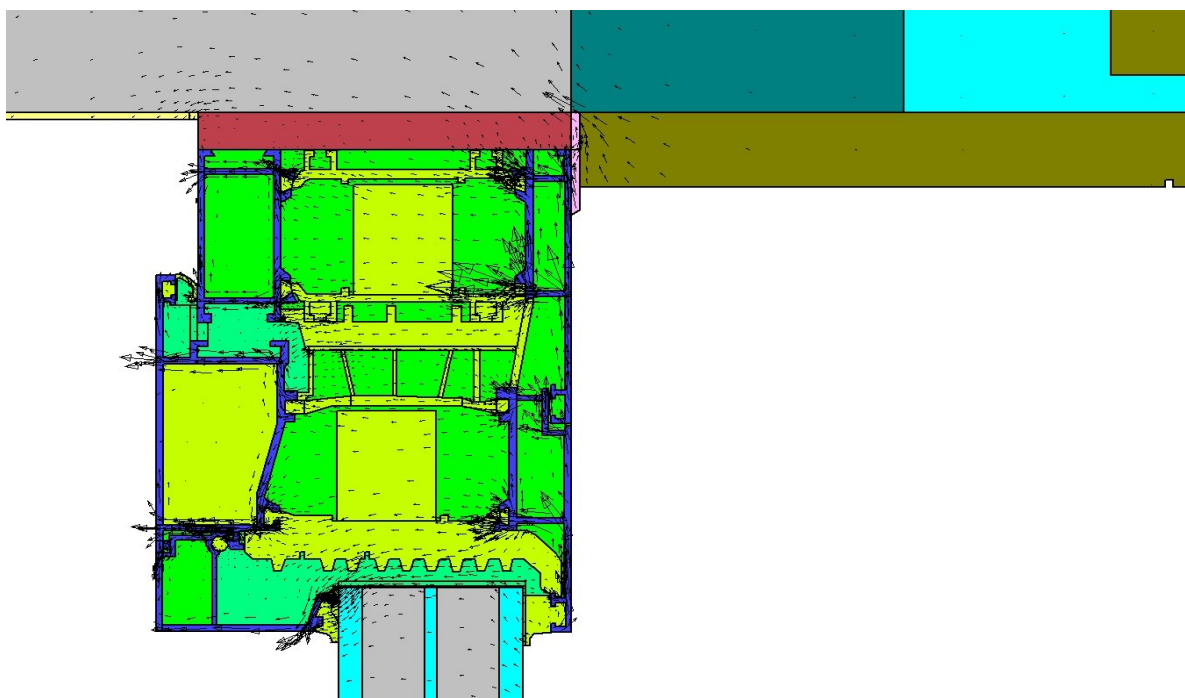


V Preglednici 7 je prikazan primer križanja, ki je sestavljen iz okna, medetažne plošče in stene drugega nadstropja. Etažna plošča se stika s steno in okvirjem okna in se razlikuje od križanja pri profilu 1 v prvem nadstropju po tem, da je tu stik etažne plošče le s steno. Šibko mesto križanja je stik med oknom in etažno ploščo. Povečana je tudi intenzivnost toplotnega toka skozi okenski okvir.

Podrobnejši prikaz vektorjev, ki prikazujejo smer in intenzivnost toplotnega toka, je na Slikah 38 in 39. Že omenjena šibka točka je okenski okvir in njegova pritrditev. Potek vektorjev skozi okenski okvir je bil pričakovan, saj je situacija podobna kot pri Slikah 30–33. V zimskem času je ojačen toplotni tok iz notranjosti stavbe preko zaključnega sloja in armiranega betona proti zunanosti (Slika 38) in iz zunanosti v notranjost zgradbe v poletnem času (Slika 39). Sliki prikazujeta tudi intenzivnost toplotnega toka skozi okenski okvir.



Slika 38: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in etažne plošče, detajl J, zima

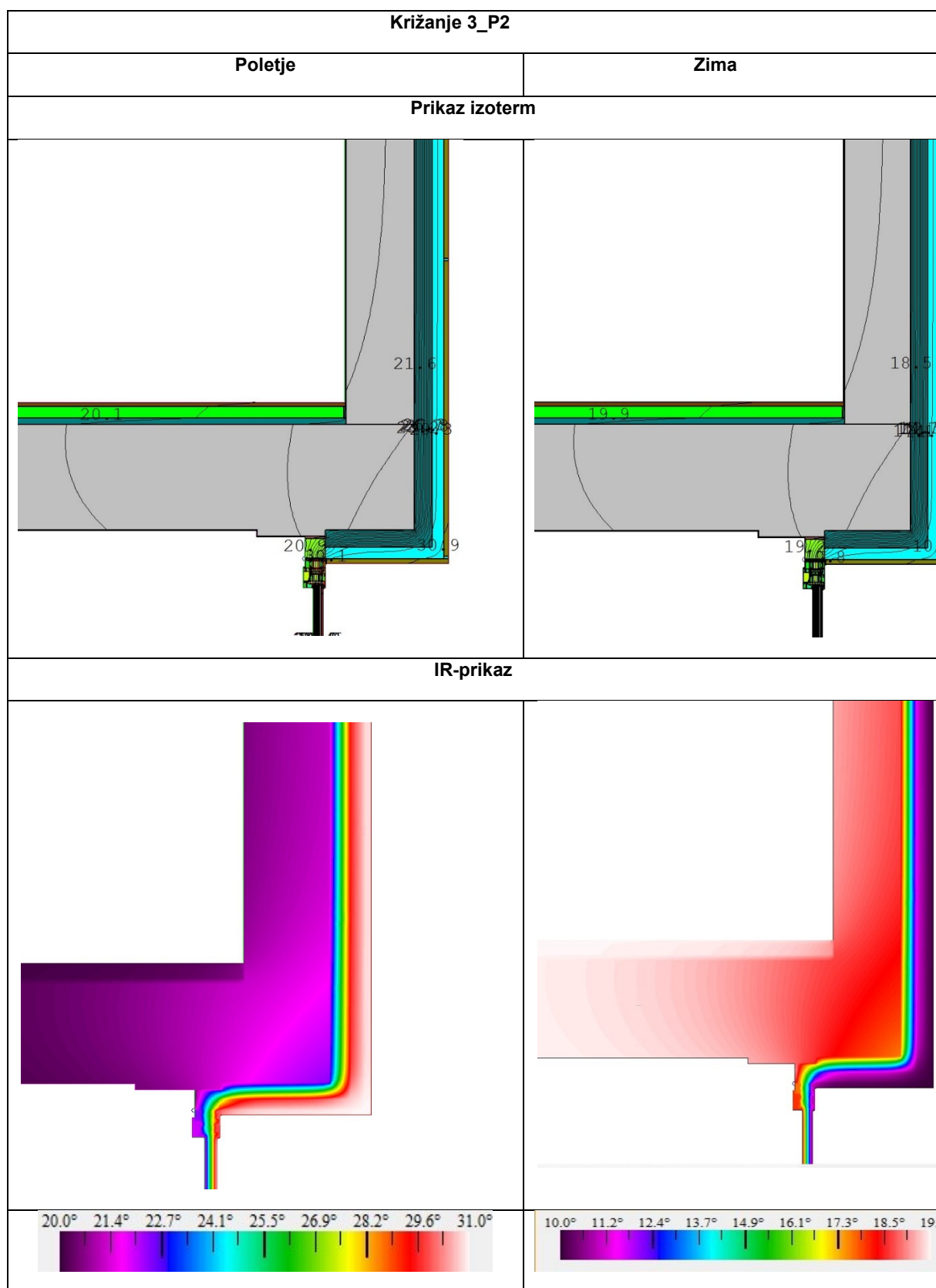


Slika 39: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna in etažne plošče, detajl I, poletje

Križanje 3_P2

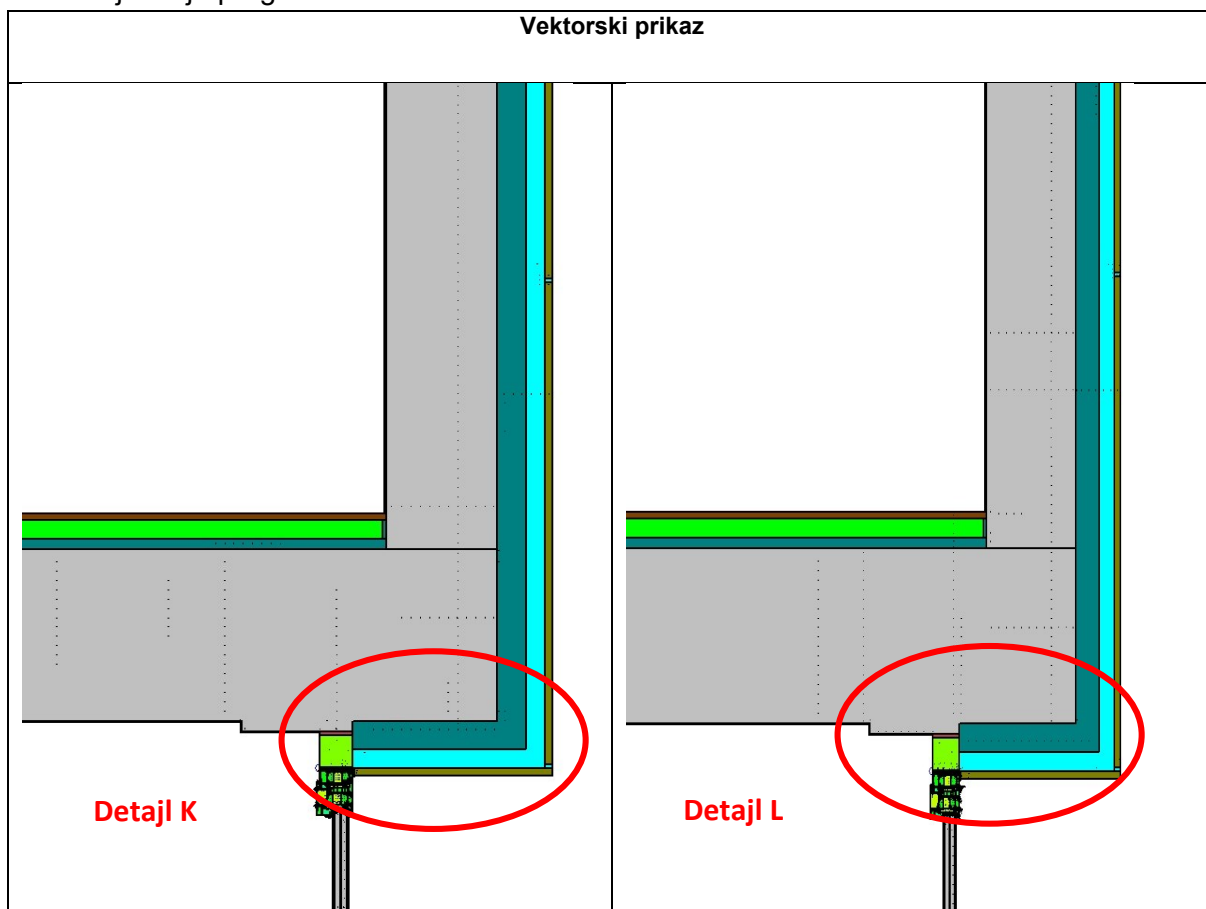
Grafični prikazi rezultatov izračuna za križanje 3_P2 so v Preglednici 8

Preglednica 8: Križanje 3_P2



se nadaljuje ...

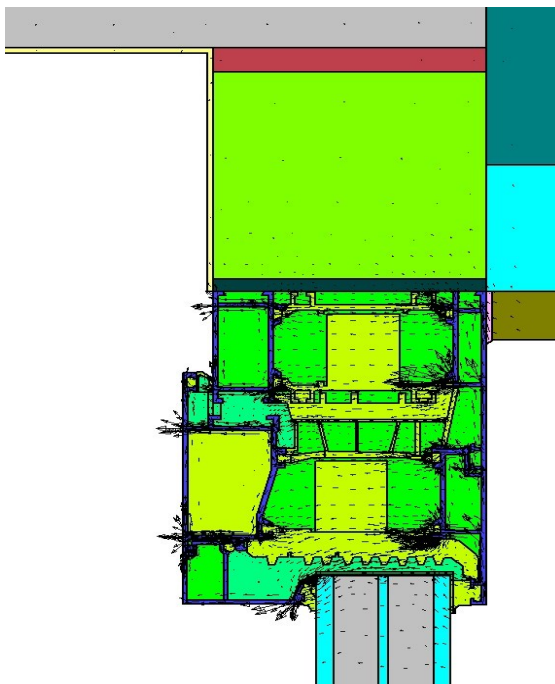
... nadaljevanje preglednice 8.



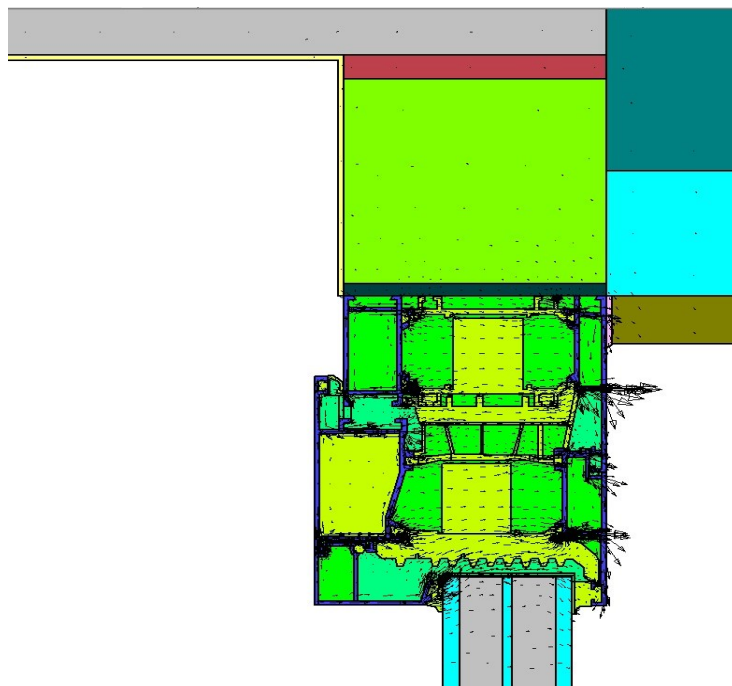
V križanju, prikazanem v Preglednici 8, je okno montirano drugače kot v že obravnavanih primerih. Vgrajeno je v določeni razdalji od roba stene tretjega nadstropja. Nosilna konstrukcija je zamaknjena v notranjost. Plast toplotne zaščite sega do nosilne konstrukcije in nujna je bila izvedba s podaljševalnim profilom. Brez podaljševalnega profila bi nastal toplotni most preko aluminijastega okenskega okvirja proti etažni plošči. Seveda bi bilo še slabše, če bi toplotno izolacijo zaključili na robu stene. S tem bi ustvarili velik toplotni most proti notranjosti stavbe. Manjši toplotni most nastane tudi na robu plošče kot posledica geometrije.

Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okenskega okvirja, podaljševalnega profila in etažne plošče je podrobneje prikazan na detajlih iz Preglednice 8.

Na Slikah 40 in 41 je prikazan detajl montaže okna, smer in intenzivnost toplotnega toka. V primerjavi z ostalimi primeri montaže oken je toplotni tok, ki doseže nosilno konstrukcijo (etažno ploščo), manj intenziven. Pri že obravnavanih montažah je šibka točka silikonsko tesnilo. Vzrok manjši intenzivnosti je v dodatnem tesnjenju s tesnilnim trakom in podaljšanim profilu iz purenita [24]. Tako purenit [24] kot tesnilni trak imata majhno toplotno prevodnost. Primer takšne montaže oken se izkaže za boljšo opcijo.



Slika 40: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna, podaljšanega profila in etažne plošče; detajl K

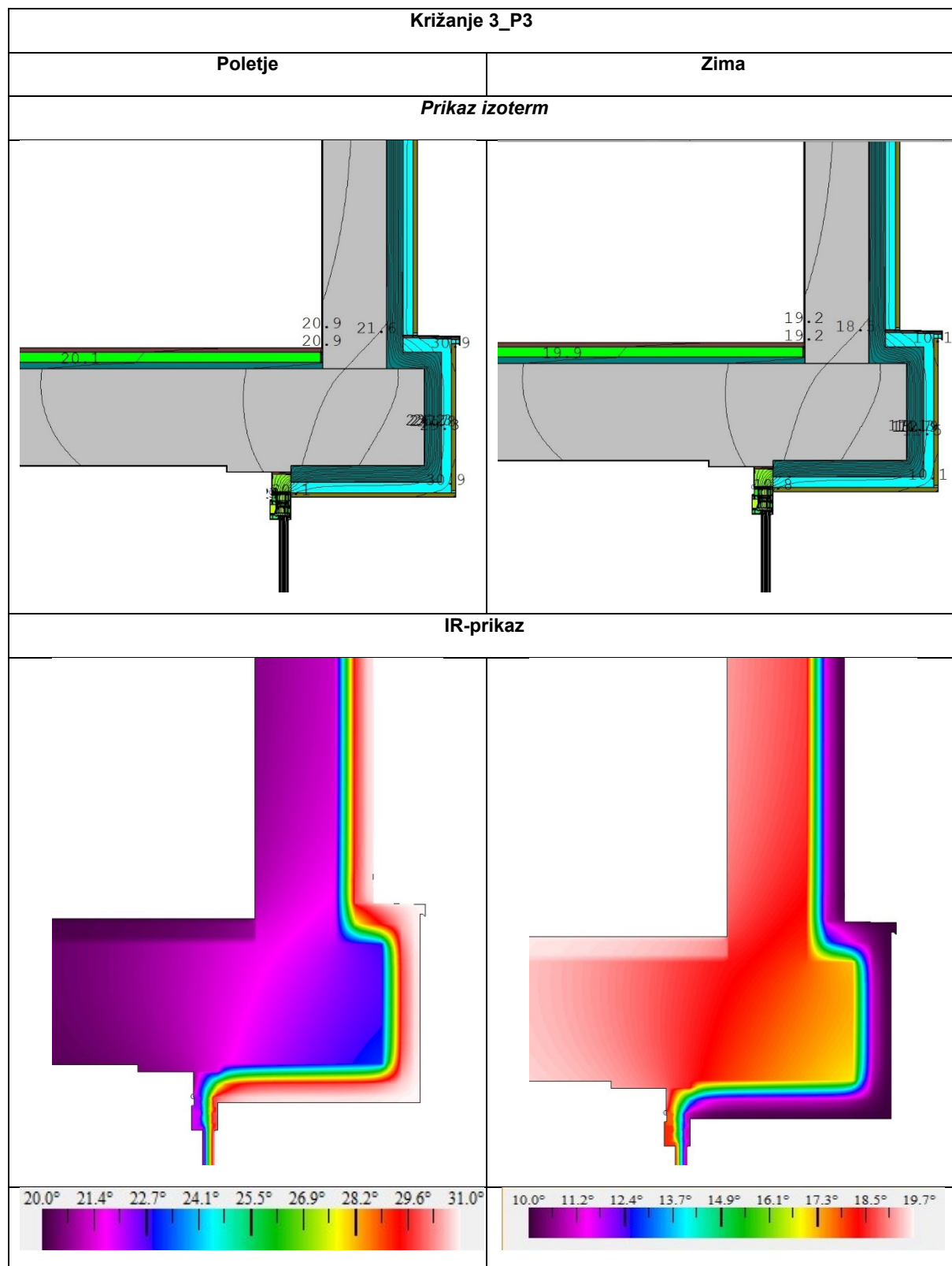


Slika 41: Smer in intenzivnost toplotnega toka v območju stika okna, podaljšanega profila in etažne plošče; detajl L

Križanje 3_P3

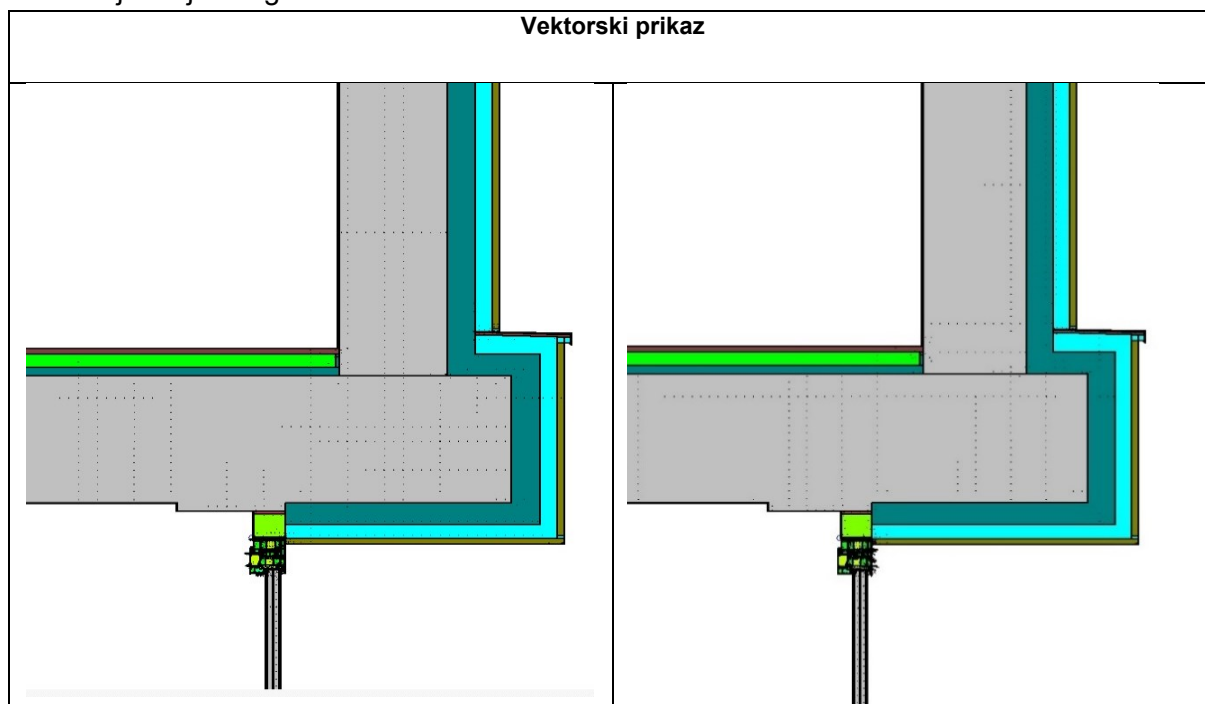
Na slikah v Preglednici 9 so prikazani rezultati analize za križanje 3_P3

Preglednica 9: Križanje 3_P3



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 9



Križanje v Preglednici 9 je kombinacija, ki vključuje sklop profila 2 v drugem nadstropju in profila 3 v prvem nadstropju. Potek temperature v območju križanja, kjer je nastal kombiniran toplotni most, je razviden iz Preglednice 9. Toplotni most je podoben primeru, ki nastopi pri armiranobetonski protipotresni vogalni vezi. Iz IR-prikaza so lepo vidne izotermne površine oziroma temperaturna polja. Temperaturno polje temno modre barve (toplejše mesto konzole) sega po liniji od okna preko etažne plošče do zunanega roba stene. Temno modro polje je znatno večje kot v primeru križanja 2_P3 v drugem nadstropju. Iz slik sklepamo na intenzivnejši toplotni tok. Toplotni tok skozi konzolo je intenzivnejši zaradi večje površine.

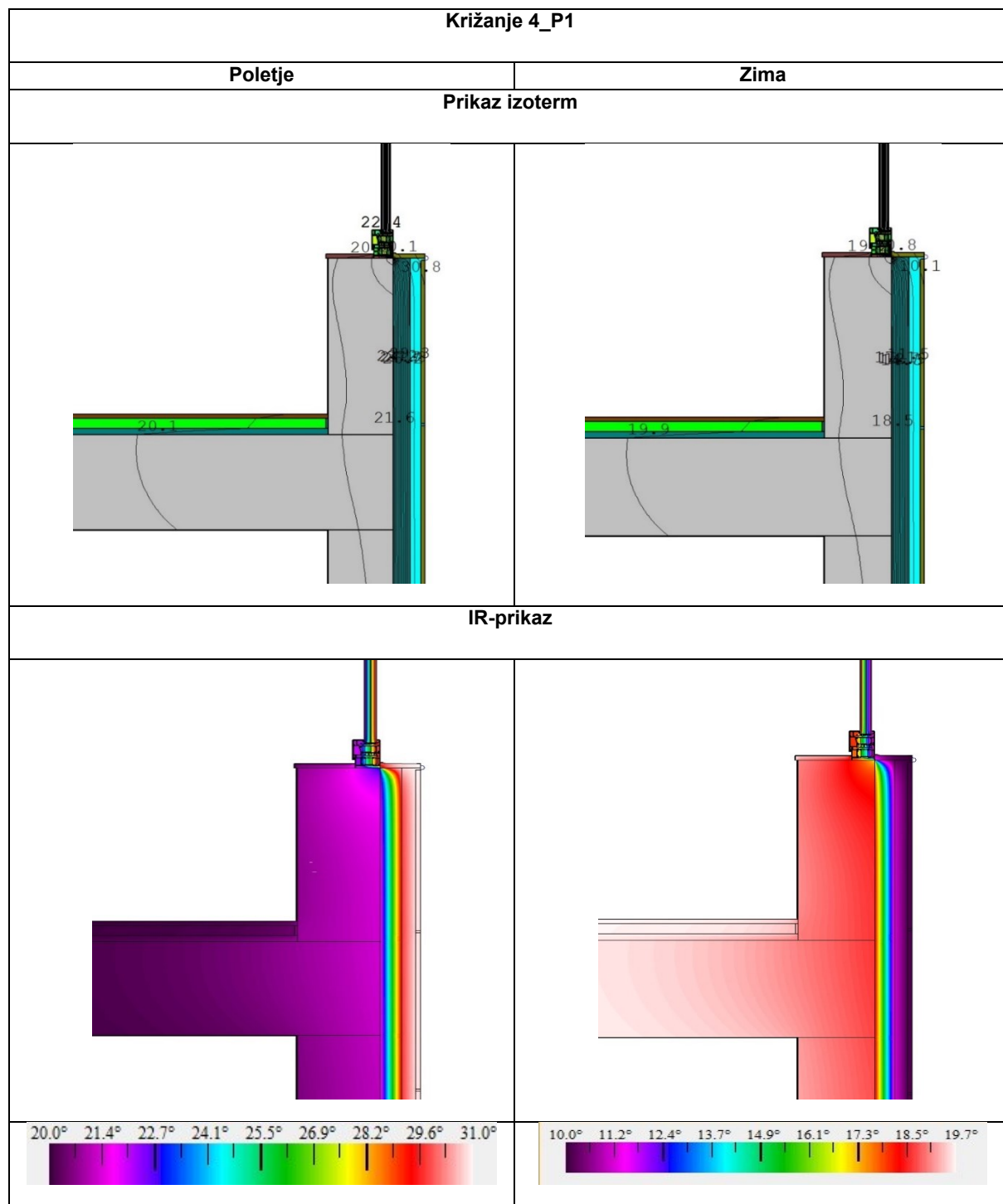
Na IR-prikazu (Preglednica 9) vidimo v poletnem in zimskem primeru toplotni most, ki nastane na robu armiranobetonske plošče. Polica, ki gleda iz nosilne konstrukcije, predstavlja kombinirani toplotni most. Ta nastanejo podobno kakor pri vogalih, saj je zunanja površina precej večja kakor notranja. Poleg tega pa ima armiran beton večjo toplotno prehodnost kot toplotna izolacija.

5.3.4 Križanje 4: križanje z medetažno konstrukcijo v 3. nadstropju

Križanje 4_P1

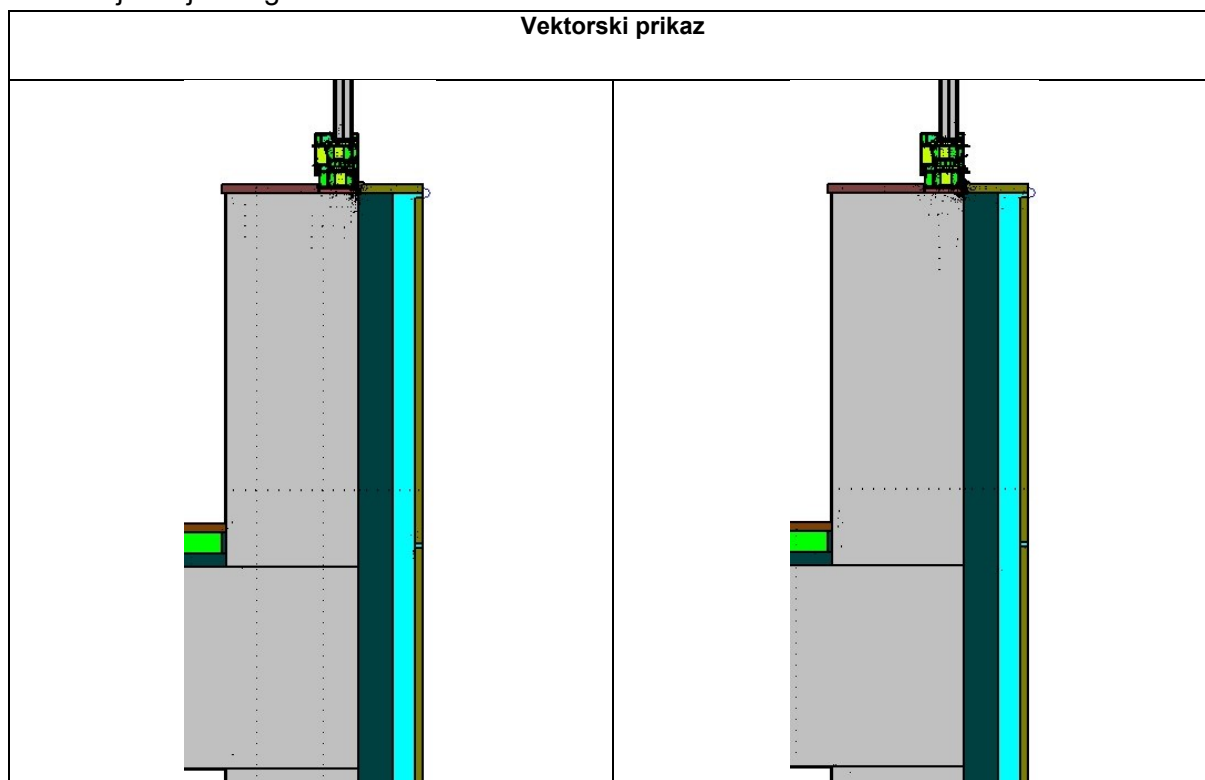
Grafični prikazi rezultatov izračuna za križanja 4_P1 so v Preglednici 10.

Preglednica 10: Križanje 4_P1



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 10.

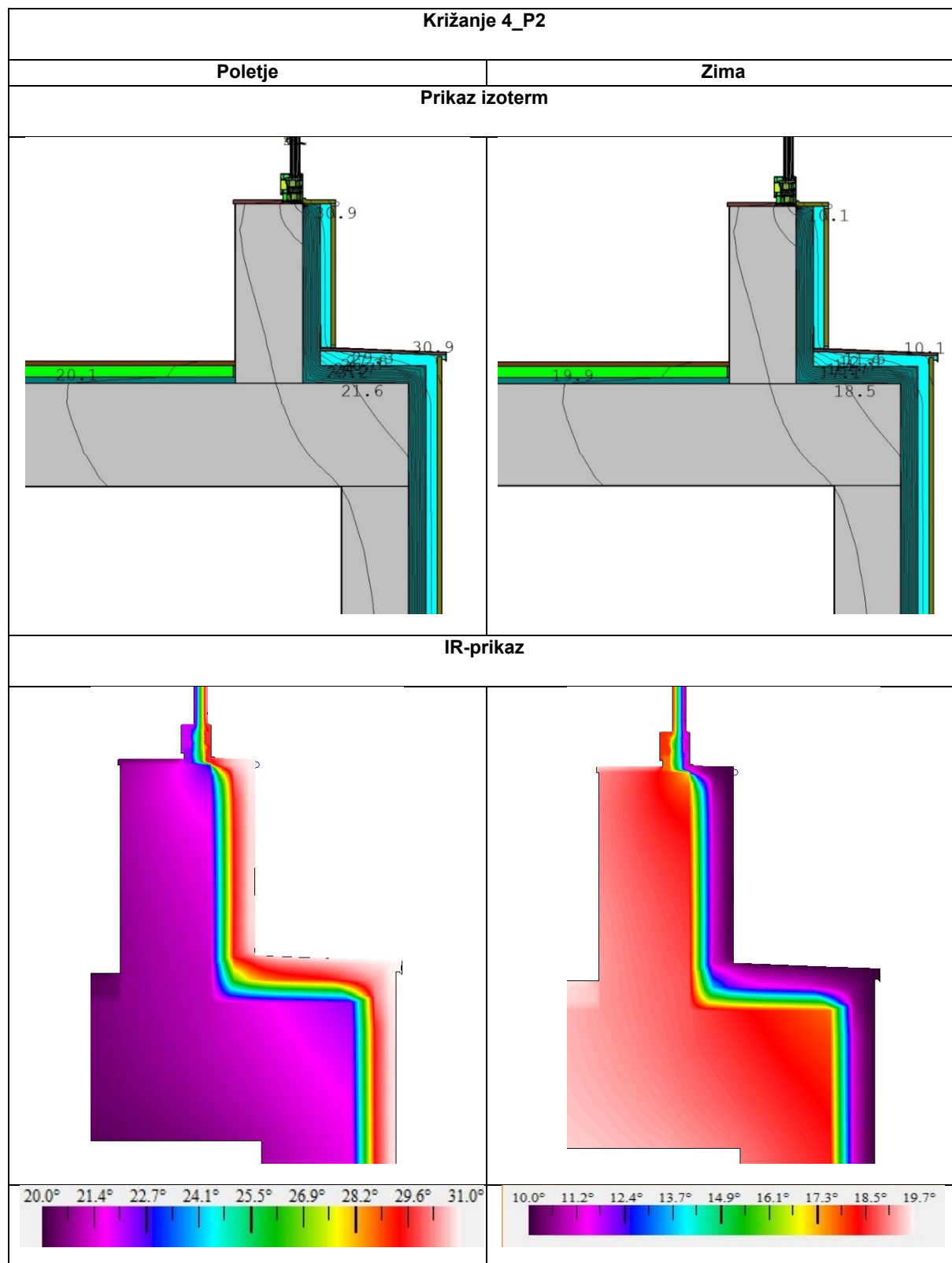


Križanje 4_P1 (Preglednica 10) je po sestavi in obliki enako križanju 2_P1 (str. 32). Rezultati analize so pričakovano zelo podobni, če že ne enaki.

Križanje 4_P2

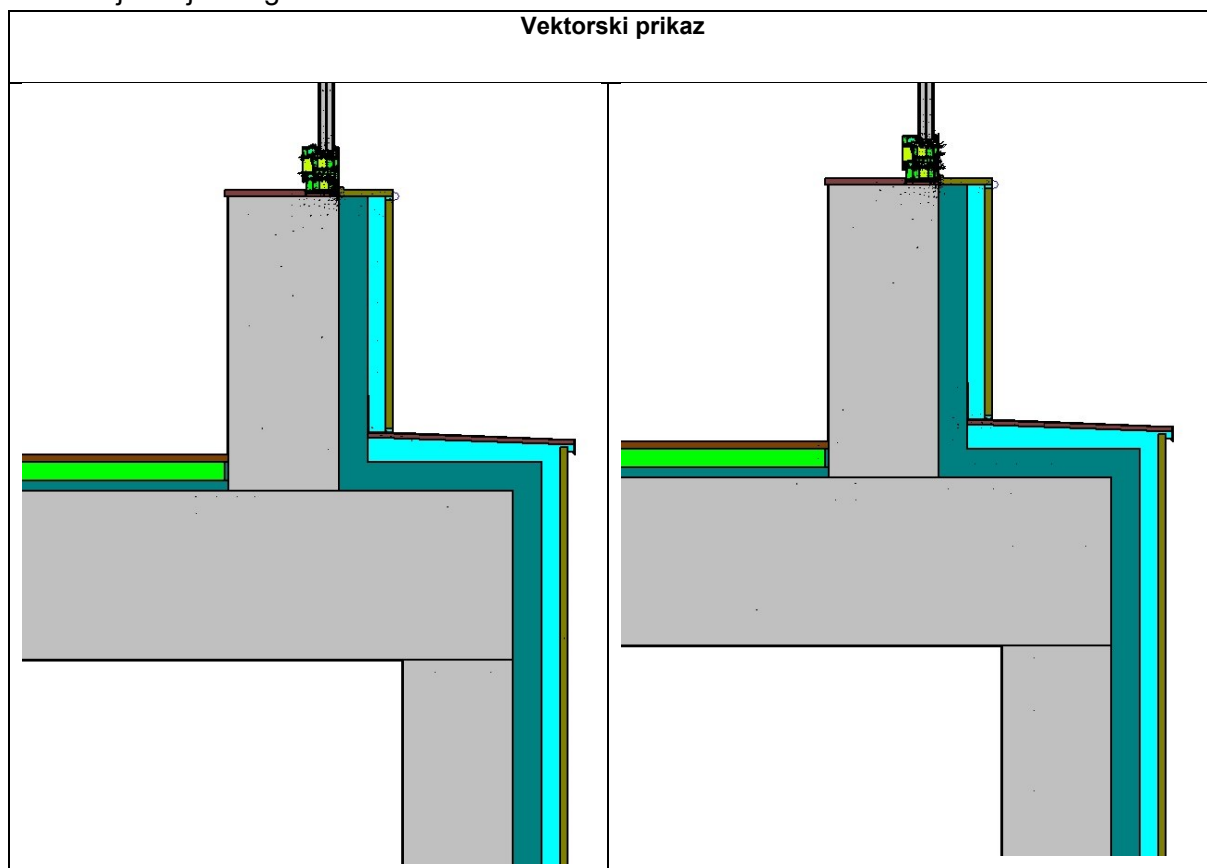
V Preglednici 11 so prikazani rezultati analize za *križanje 4_P2*

Preglednica 11: Križanje 4_P2



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 11.



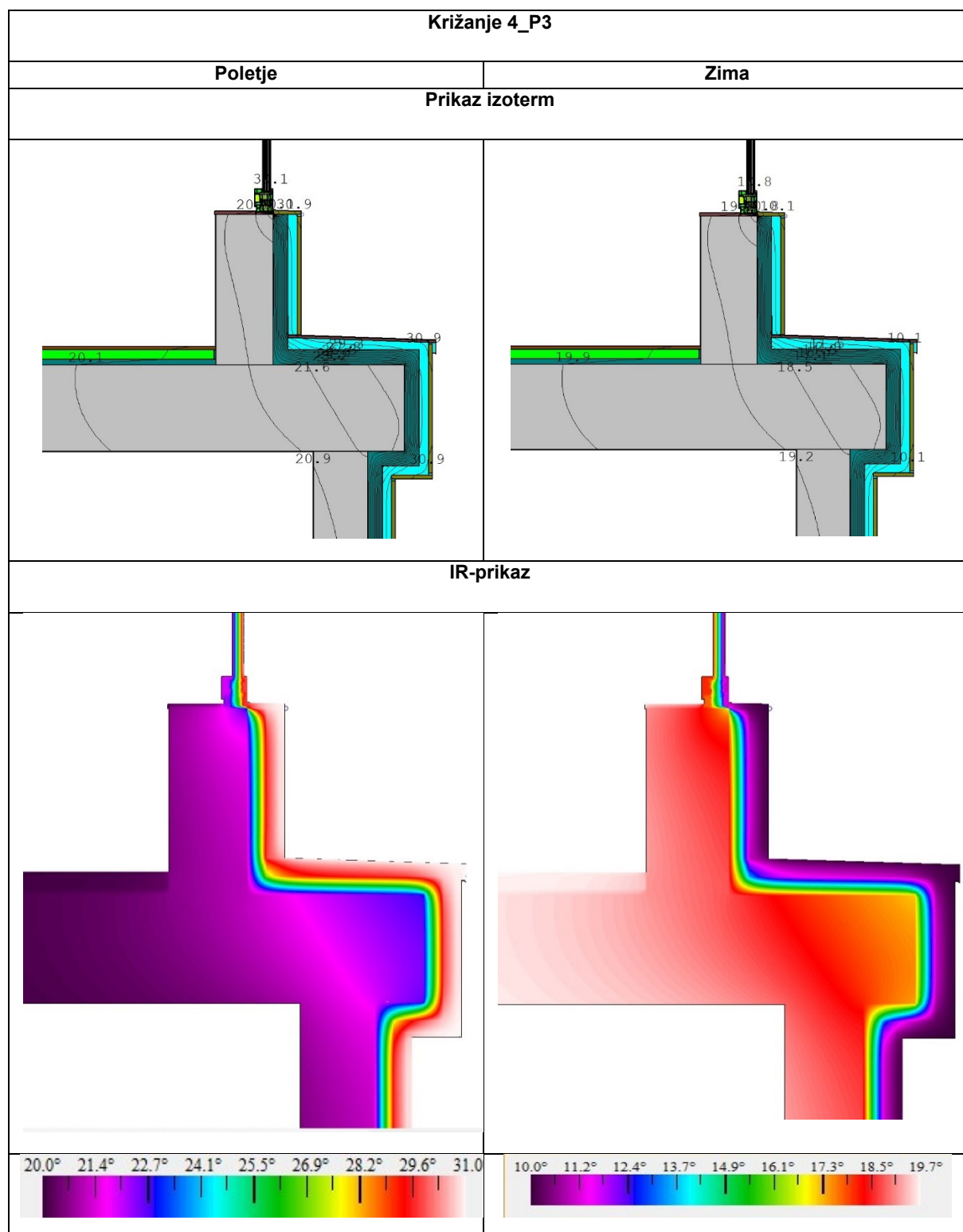
Pri križanju 4_P2 v tretjem nadstropju je stena tretjega nadstropja zamaknjena navznoter glede na steno drugega nadstropja. Iz IR-skic v Preglednici 11 lahko razberemo, da je v poletnem času najtoplejše mesto nosilne konstrukcije rob etažne plošče, ki je tudi najhladnejši v zimskem času. To pomeni, da mesto predstavlja toplotni most in je posledica večje površine. Povečana intenzivnost toplotnega toka je komaj opazna, vzrok je v toplotni zaščiti na zunanji strani.

Izrazitejši toplotni most nastane na stiku okenskega okvirja z zunanjo steno konstrukcije in skozi sam okvir in delno vstopi v toplotno izolacijo, ki zmanjša intenzivnost toplotnega toka v zunanje okolje.

Križanje 4_P3

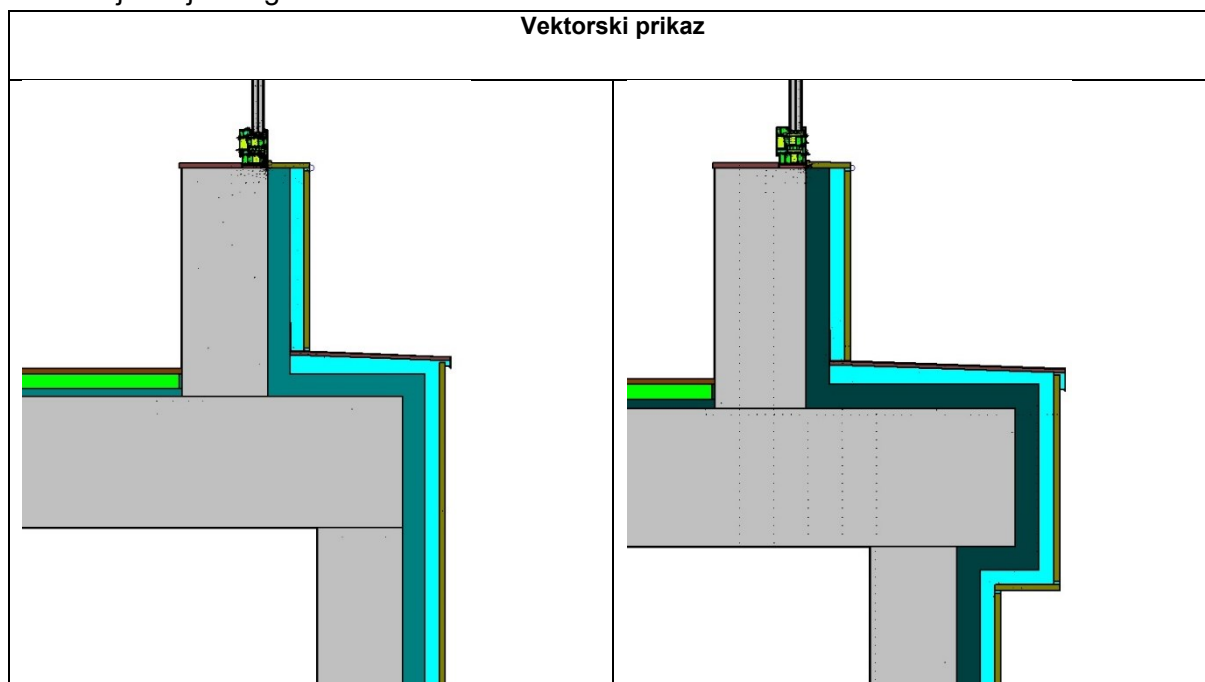
S programom izračunani rezultati za *križanje 4_P3* v tretjem nadstropju so prikazani v Preglednici 12.

Preglednica 12: Križanje 4_P3



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 12



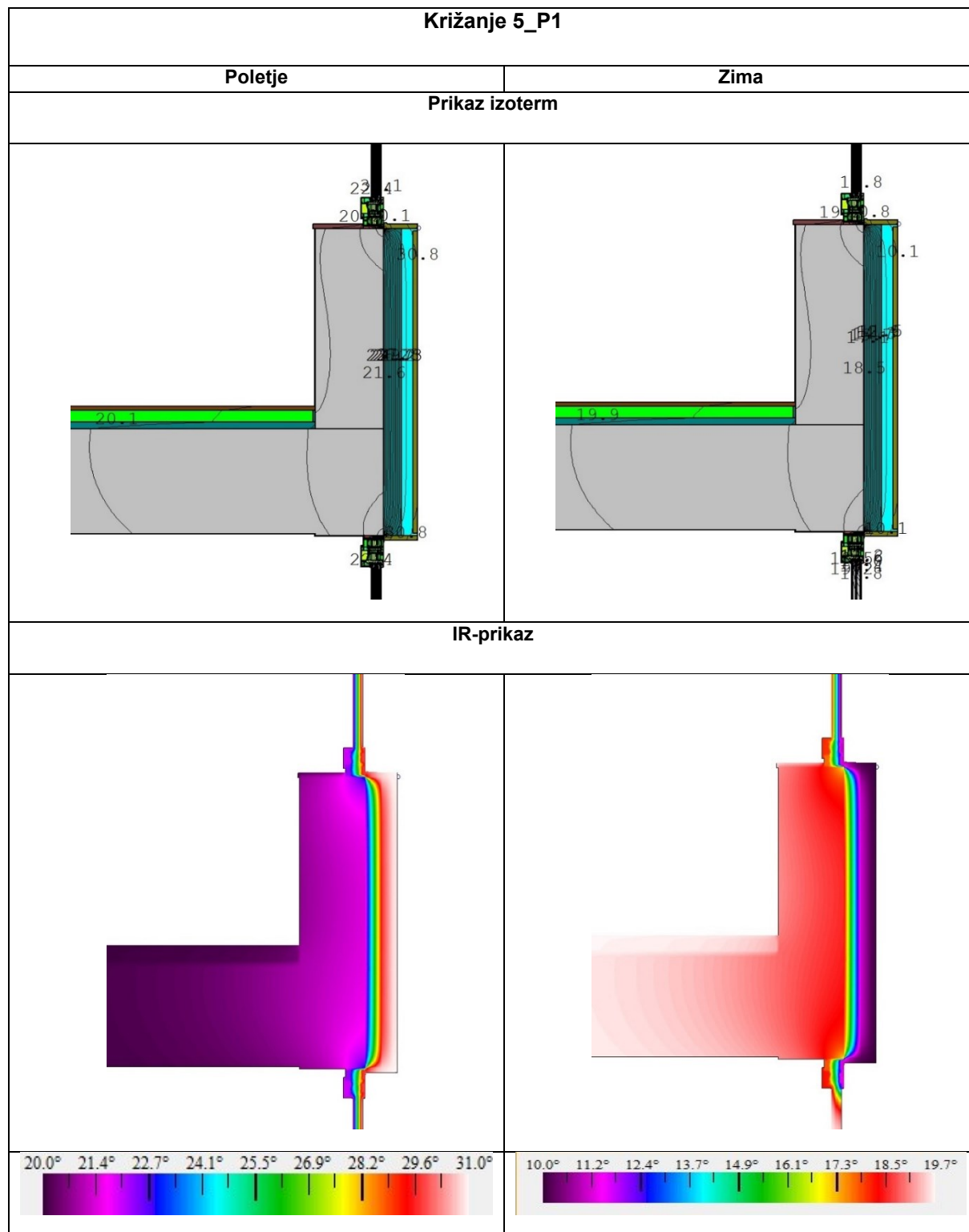
Pri križanju 4_P3 v tretjem nadstropju je stena v tretjem nadstropju zamaknjena navzven glede na steno drugega nadstropja in etažna plošča sega preko stene drugega nadstropja. Iz IR-prikaza v Preglednici 12 so lepo vidna temperaturna polja. Temperaturno polje temno modre barve, ki ponazarja toplejše območje konzole (IR, levo), sega vse do linije, ki povezuje vogala stene drugega in tretjega nadstropja in etažne plošče. V zimskem času pa območje konzole predstavlja hladnejše mesto, ki ravno tako sega do linije, ki povezuje vogala. Iz rezultatov izračuna lahko sklepamo na intenzivnejši toplotni tok, ki pa je še vedno majhne intenzitete. Znatno povečan toplotni tok je na stiku okno–stena, kar je pričakovano glede na rezultate vseh analiz območja stika okna s steno ali etažno ploščo.

5.3.5 Križanje 5: križanje z medetažno konstrukcijo v 4. nadstropju

Križanje 5_P1

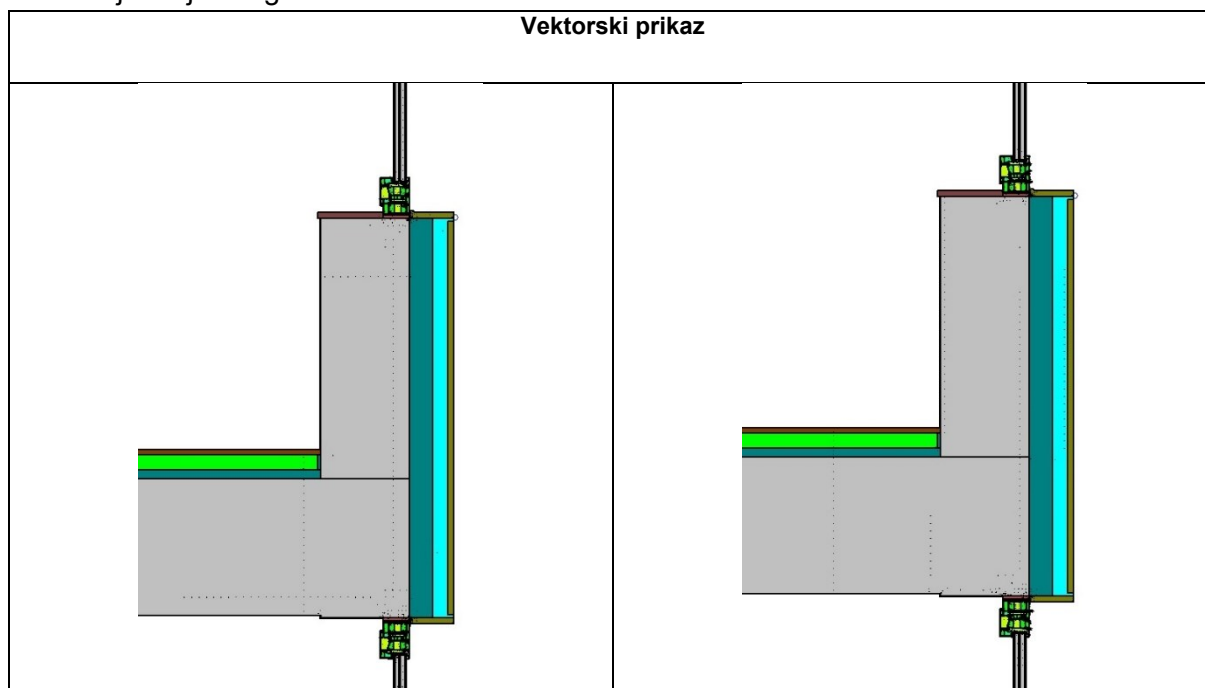
V Preglednici 13 so prikazane termografske skice za križanje 5_P1.

Preglednica 13: Križanje 5_P1



se nadaljuje ...

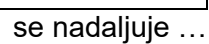
... nadaljevanje Preglednice 13



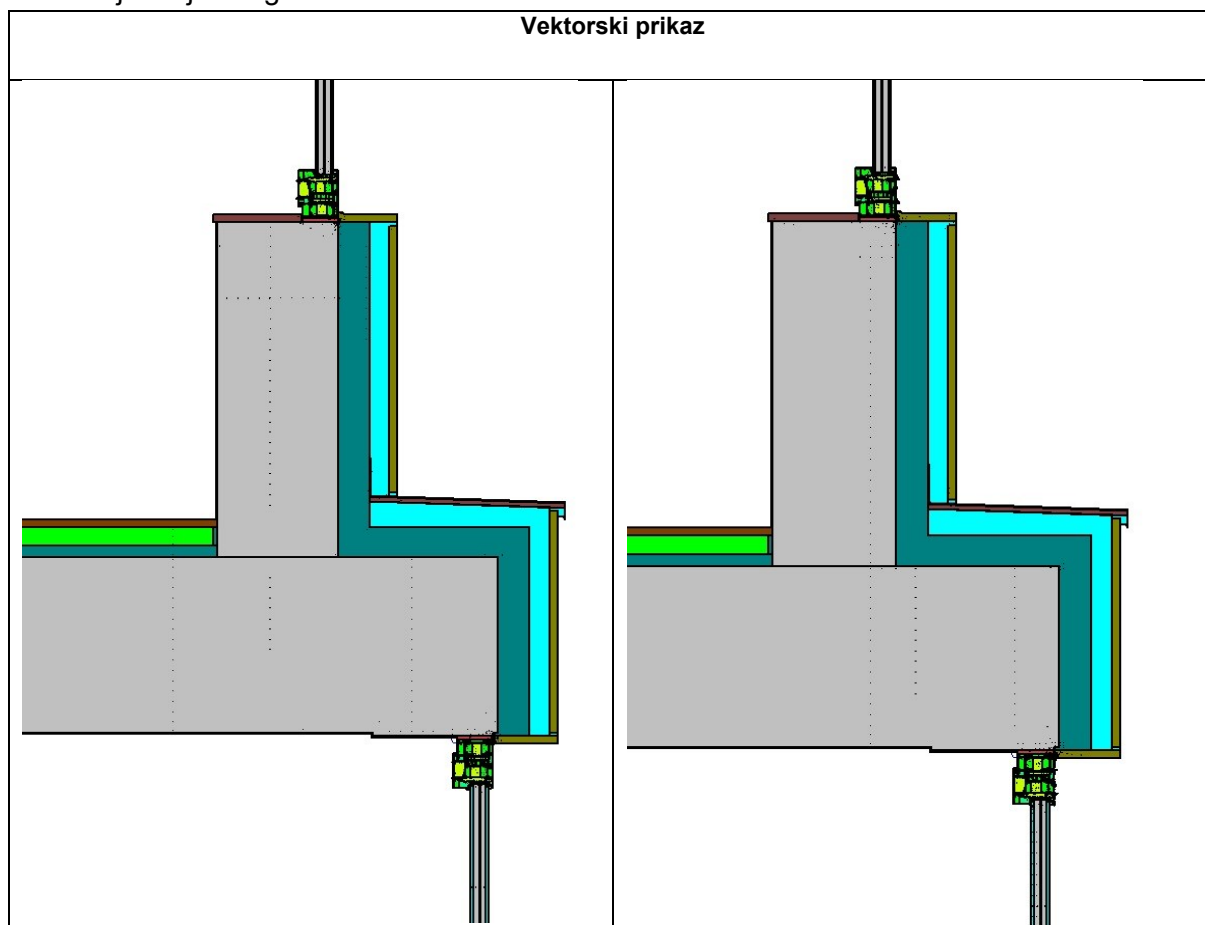
Križanje 5_P1 (Preglednica 13) ima dve šibki točki: stika okna z etažno ploščo in okna z zunanjo steno. Tako kot pri vseh ostalih primerih je tudi v obravnavanem primeru povečan toplotni tok skozi aluminij in silikonsko polnilo.

Križanji 5 profila 2 in 3 v četrtem nadstropju sta enaka. S programom THERM izračunani rezultati za križanje 5_P2_P3 so prikazani v Preglednici 14.

Preglednica 14: Križanje 5_P2_P3



... nadaljevanje Preglednice 14

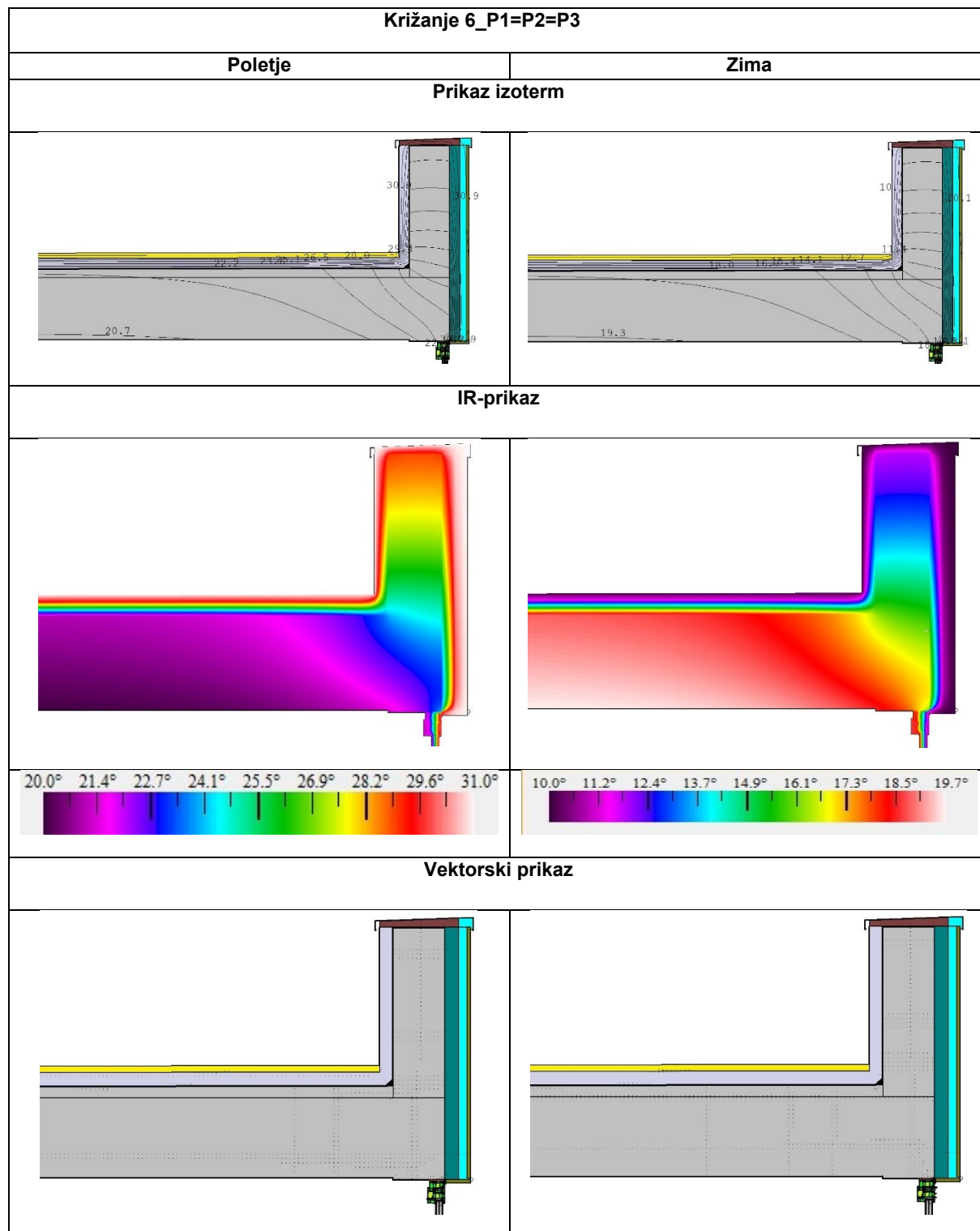


Iz rezultatov analize (Preglednica 14) lahko razberemo, da je v poletnem času najtoplejše mesto nosilne konstrukcije območje spodnjega roba etažne plošče, to je v območju stika okna z etažno ploščo, sledi območje zgornjega roba etažne plošče in območje stika okna z zunanjo steno (IR, levo). V zimskem času pa omenjena območja predstavljajo najhladnejša mesta (IR, desno). To pomeni, da je v območjih intenzivnejši toplotni tok.

5.3.6 Križanje 6 na nivoju strehe

Križanje na nivoju strehe je enako za vse profile ($P1 = P2 = P3$). Rezultati analiz so podani v obliki termografskih skic v Preglednici 15.

Preglednica 15: Križanje 6_P1_P2_P3



Pričakovano je na vrhu parapeta toplotni most, ki je viden v preglednici 15 IR-prikaz. Iz razmika med izotermami vidimo, da je hitrost sprememb temperature v parapetu počasnejša. Bolj kot so izoterme narazen, počasnejša je sprememba. Z IR-prikaza je razvidno, da je toplotni tok skozi parapet in strešno ploščo bolj intenziven kot skozi ostale etažne plošče in stene, saj je na vrhu toplotna izolacija prekinjena.

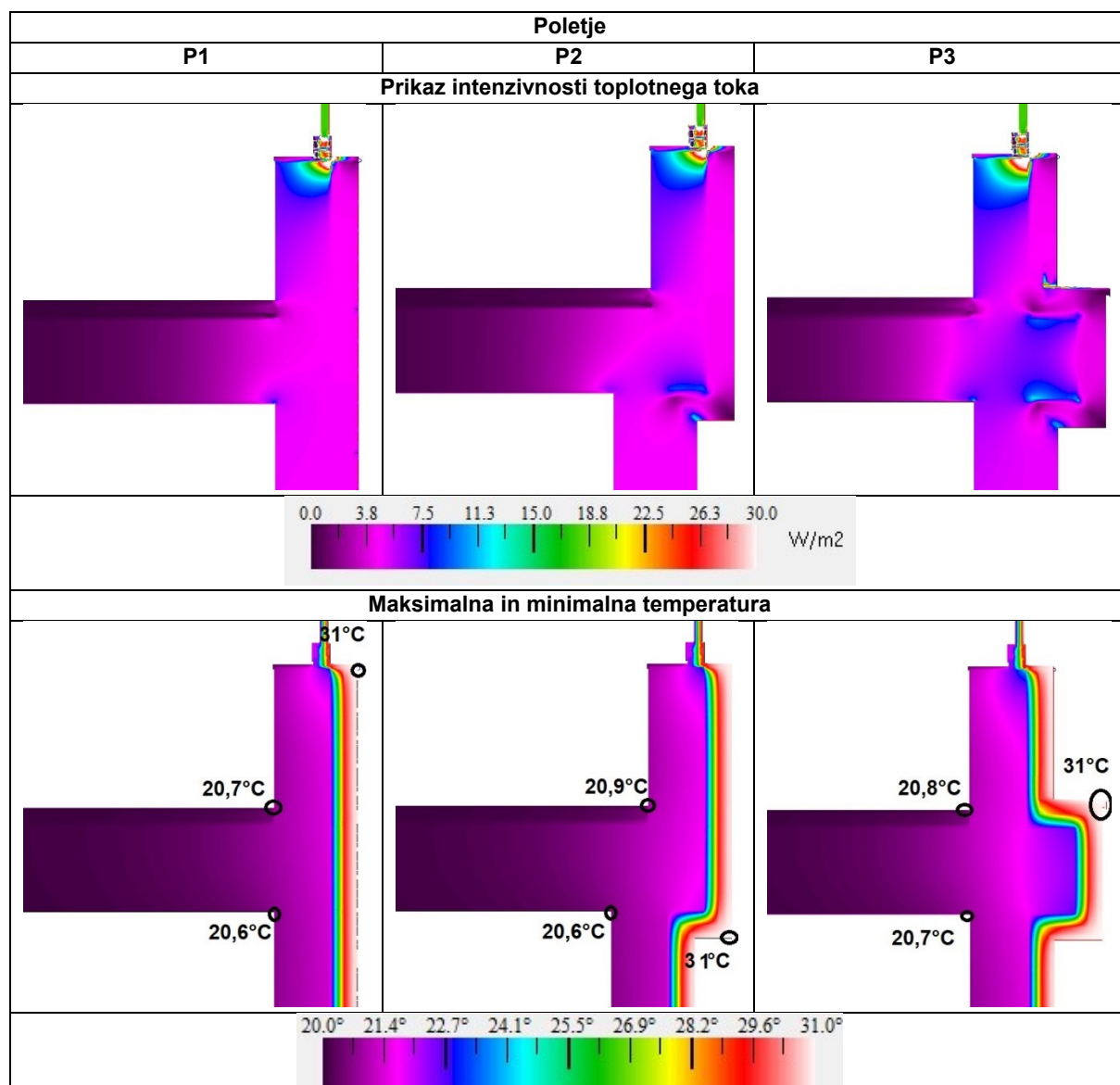
6 Primerjava

V tem poglavju bomo med seboj primerjali izbrana (ključna) križanja v vseh treh profilih. Za primerjavo rezultatov smo izbrali križanja 2, 4 in 5. Ta križanja so najbolj raznoliko členjena, saj so drugačna v vsakem od analiziranih profilov. Preostala križanja so med seboj enaka, oziroma so si zelo podobna. Tako so si med seboj podobni tudi rezultati. Primerjava je narejena za poletne in zimske robne pogoje. Izbrana križanja bodo primerjana s pomočjo prikaza intenzitete toplotnega polja, termografskega prikaza temperaturnega polja in vrednostjo temperature v izbranih (ključnih) točkah križanja.

6.1 Primerjava križanja 2

V Preglednicah 16 in 17 so prikazani rezultati analize križanja 2 za profile P1, P2 in P3

Preglednica 16: Primerjava križanja 2_P1_P2_P3



Iz primerjave analiz križanja 2_P1, P2 in P3 v Preglednici 16 lahko ugotovimo, da P1 predstavlja profil, skozi katerega teče najmanjši in najbolj enakomerno razporejen toplotni tok. Pri profilih P2 in P3 je intenzivnost toplotnega toka rahlo večja in v določenih delih križanja poudarjena. Razlog za večji toplotni tok lahko vidimo v Preglednici 16, prikaz intenzivnosti toplotnega toka. Pri P2 je stena zamaknjena navzven, pojavi se vogal. V območju vogala je povečana intenzivnost toplotnega toka na stiku armiranobetonske plošče in toplotne izolacije ter pri stiku kamnitega odkapa s prezračevano plastjo in fugo med fasadnimi ploščami. Pri P3, kjer se medetažna plošča nadaljuje skozi steno, je intenziteta toplotnega toka povečana tako na spodnjem in zgornjem vogalu plošče kakor tudi na stiku kamnitega odkapa s prezračevano plastjo. P3 ima za razliko od ostalih dveh profilov z nerjavečim jeklom zaščiteno zunanjo delo plošče, kjer je na manjšem delu izrazito povečan toplotni tok. Vsi trije profili pa imajo pričakovano povečano intenzivnost toplotnega toka v okolici okenskega okvirja.

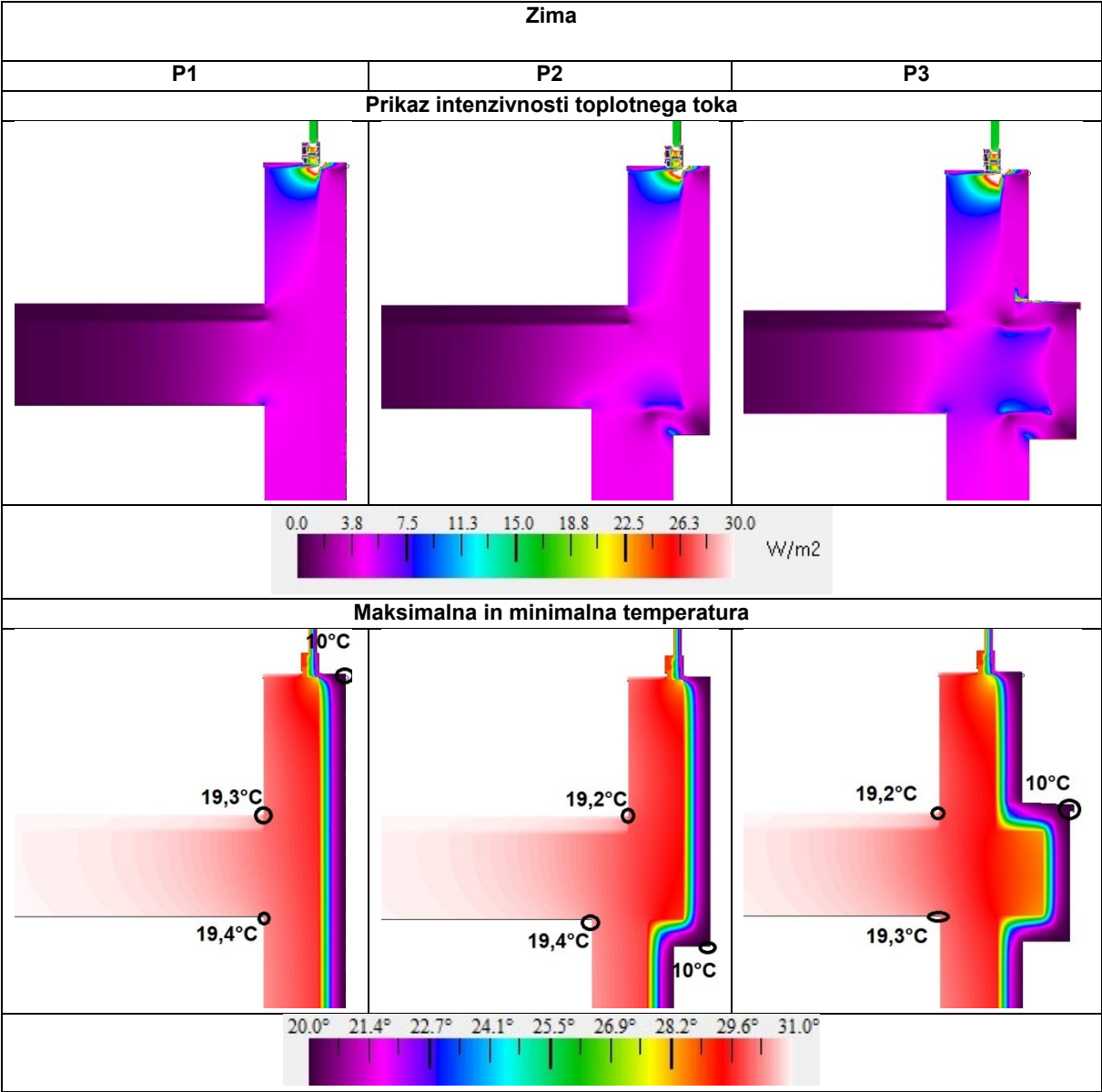
Maksimalne temperature se v analiziranih križanjih pričakovano pojavijo na različnih mestih: pri P1 na robu kamnite okenske police, pri P2 na kamnitem robu odkapa pri izbočenem vogalu, pri P3 pa na robu zaščitnega nerjavečega jekla. Pri vseh je dosežena maksimalna temperatura 31 °C.

Če pri tem naredimo primerjavo za zimske pogoje, podobno kot pri poletnih dobimo rahlo večjo intenzivnost toplotnega toka pri P2 in P3 glede na P1 (Preglednica 17). Večja intenzivnosti je zaznana na istih mestih. Smer toplotnega toka pa je nasprotna glede na smer v poletnem času.

Minimalna zunanja površinska temperatura je za vsa križanja 10 °C. Pri P1 se pojavi na robu kamnite okenske police, pri P2 na kamnitem robu odkapa pri izbočenem vogalu in pri P3 na robu zaščitnega nerjavečega jekla.

Pričakovano so temperature na notranji strani stavbe za vsak profil rahlo drugačne, kar je posledica različnega toplotnega toka skozi profile. V vseh primerih je na spodnjem stiku medetažne plošče in stene temperatura bolj ugodna. Poleti so temperature malo nižje, pozimi so malo višje v primerjavi s temperaturami na vrhnji strani etažne plošče (Preglednici 16 in 17).

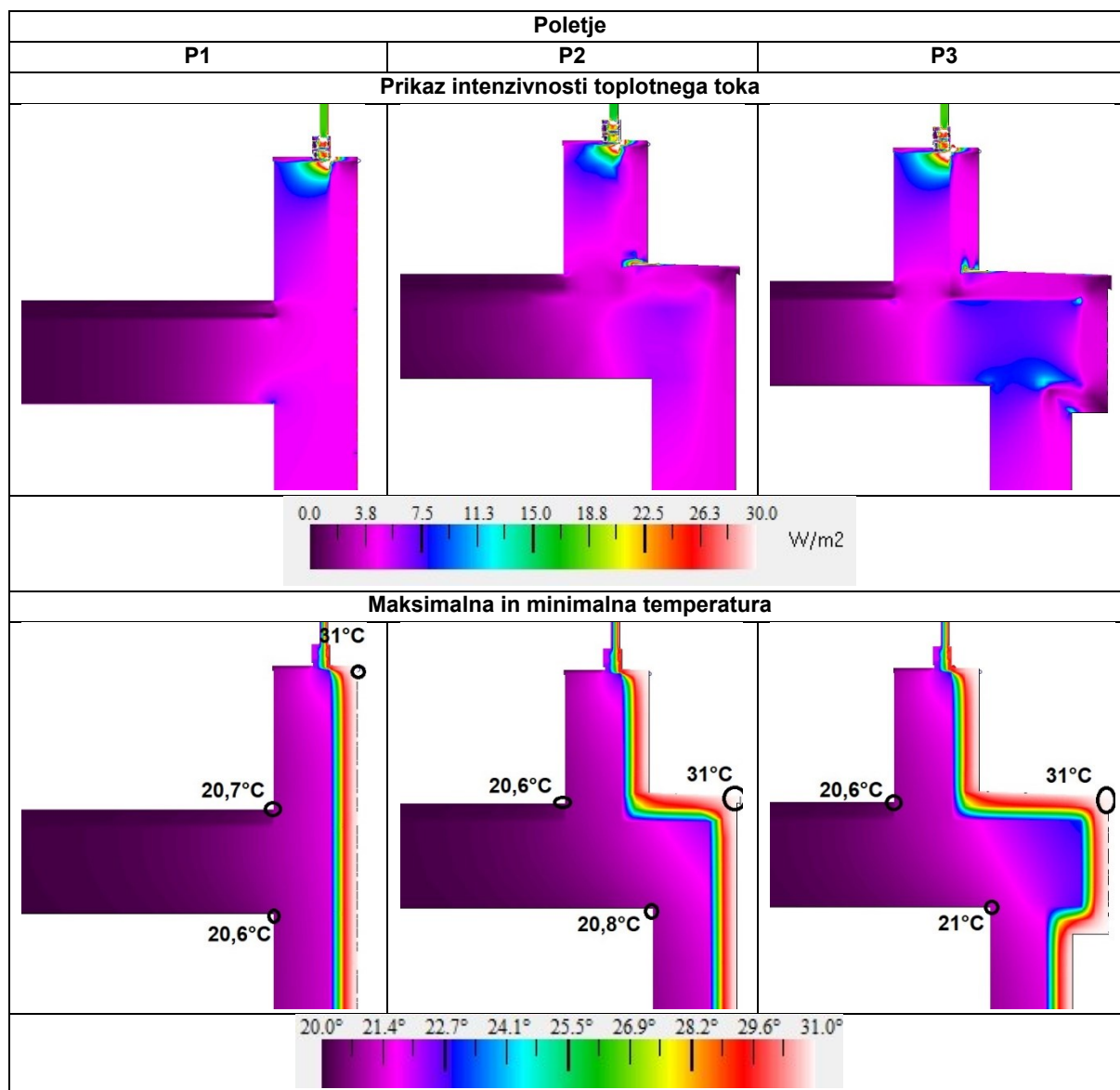
Preglednica 17: Primerjava križanja 2_P1_P2_P3



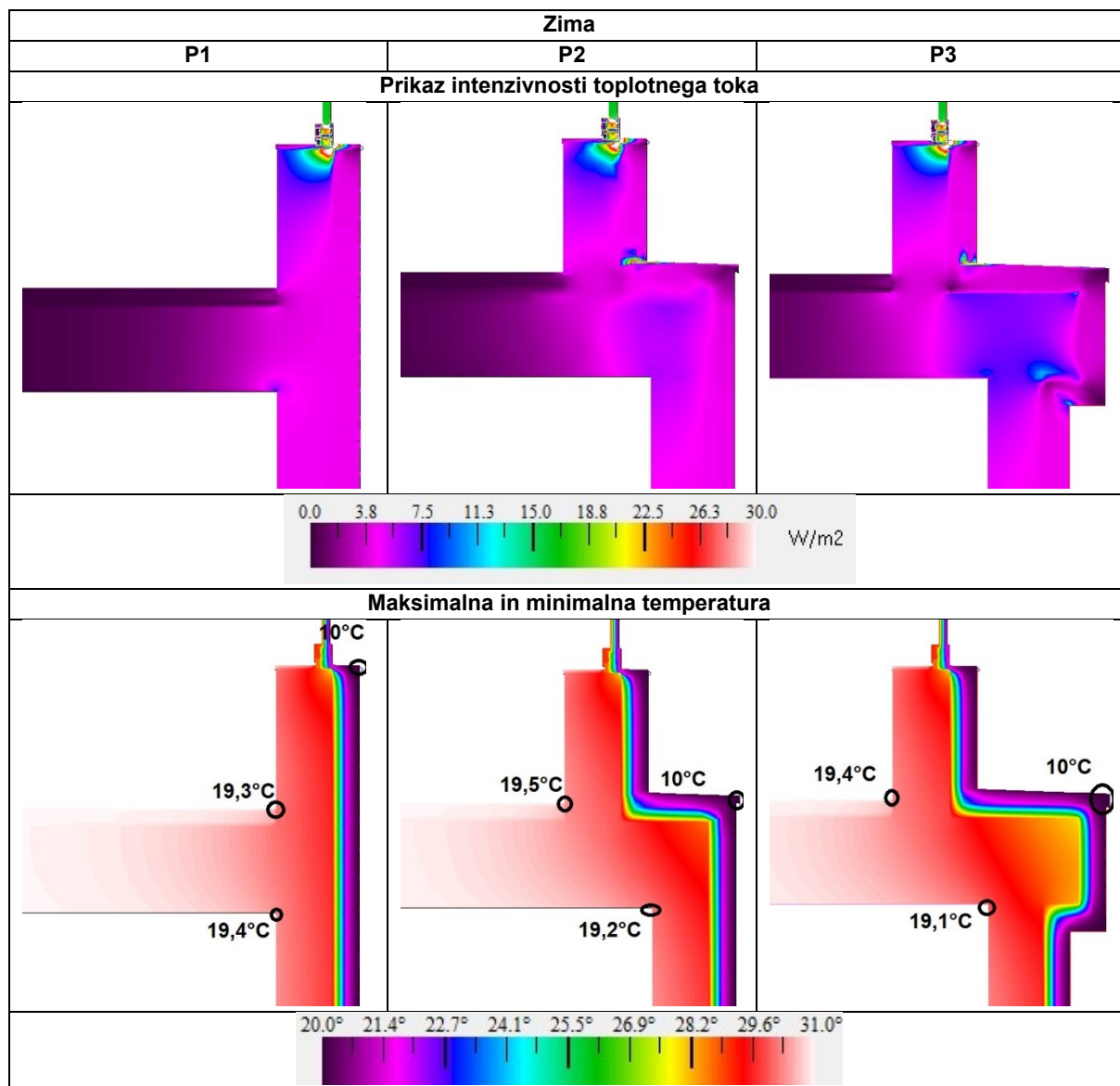
6.2 Primerjava križanja 4

V Preglednicah 18 in 19 so prikazani rezultati analize križanja 4 za profile P1, P2 in P3

Preglednica 18: Primerjava križanja 4_P1_P2_P3



Preglednica 19: Primerjava križanja 4_P1_P2_P3



Križanje 4_P1 je minimalno členjeno. Pričakovano je, da skozi P1 teče najmanjši toplotni tok. Pri primerjavi intenzivnosti toplotnih tokov moramo upoštevati, da je pri križanju 4_P2 stena zamaknjena navznoter glede na steno drugega nadstropja in da pri križanju 4_P3 etažna plošča sega preko stene drugega in tretjega nadstropja. Vogal in konzola učinkujeta kot toplotni most. Intenzivnost toplotnega toka P2 je večja od P1 in največja pri P3. Opazno večja intenzivnost toplotnega toka je na vogalih in robovih armirane betonske plošče ter na zunanjih vogalih. Ker je razlika med notranjo in zunanjo temperaturo v poletnem in zimskem času približno 10 °C, bo intenzivnost toplotnega toka tudi približno enaka. Smer toplotnega toka bo v zimskem času nasprotna od poletnega.

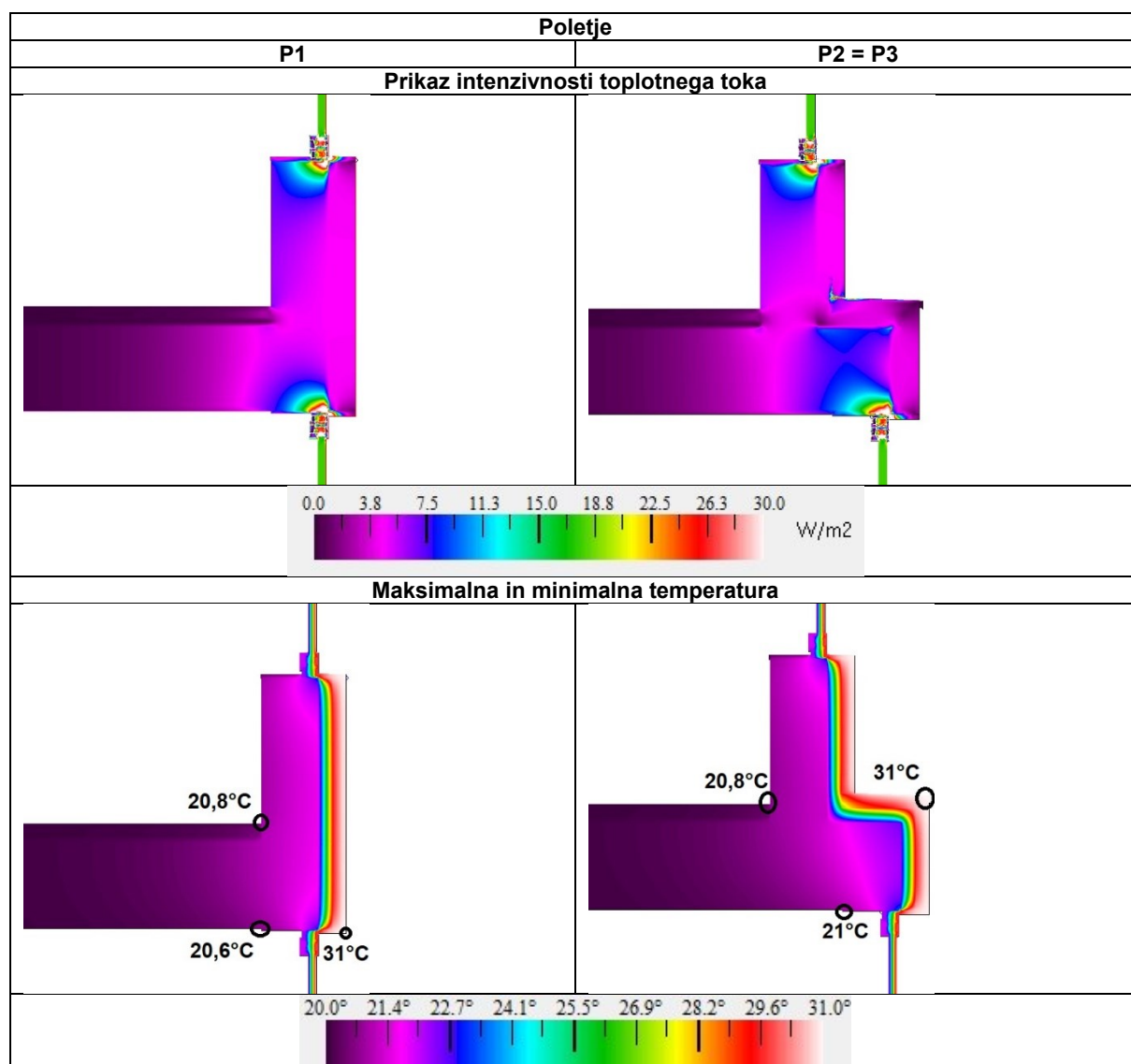
Značilen toplotni most, prikazan na gornjih slikah v Preglednicah 18 in 19, je stik okno–stena. Vsi trije profili imajo povečano intenzivnost toplotnega toka v okolici okenskega okvirja. Iz zgornjih slik v Preglednicah 18 in 19 je vidno, da so v poletnem času najtoplejša in v zimskem času najhladnejša mesta na zunanjih robovih fasadnega ovoja. V poletnih pogojih je dosežena maksimalna temperatura 31 °C, v zimskih pa 10 °C.

Enake temperature kakor pri križanju 2_P1 so tudi na notranji strani križanja 4_P1. Pri P2 in P3 sta poleti temperaturi bolj ugodni na zgornjem stiku med etažno ploščo in steno. To je posledica manjšega toka skozi steno. Spodnji stik med etažno ploščo in steno je rahlo toplejši, kar je posledica povečanega toplotnega toka skozi etažno ploščo. Povečana intenzivnost toplotnega toka se vidi pri P3, ki ima posledično tudi najbolj neugodno temperaturo na stiku stene in plošče. Podobno velja tudi za zimske pogoje. Spodnji stik etažne plošče s steno je bolj neugoden kakor zgornji.

6.3 Primerjava križanja 5

V Preglednicah 20 in 21 so prikazani rezultati analize križanja 5 za profile P1, P2 in P3. Značilnost križanja 5 so toplotni mostovi na stikih medetažne plošče in okna. Okna so vstavljena na rob etažne plošče. Pri profilu P1 je zunanja površina stene in okna v isti ravnini. Pri P2 in/ali P3 etažna plošča sega preko zunanje stene, tako da je okno zamaknjeno navzven glede na steno četrtega nadstropja. Ker imamo pri P2 in/ali P3 tudi vogale in robove, zunanja površina ni več enaka notranji.

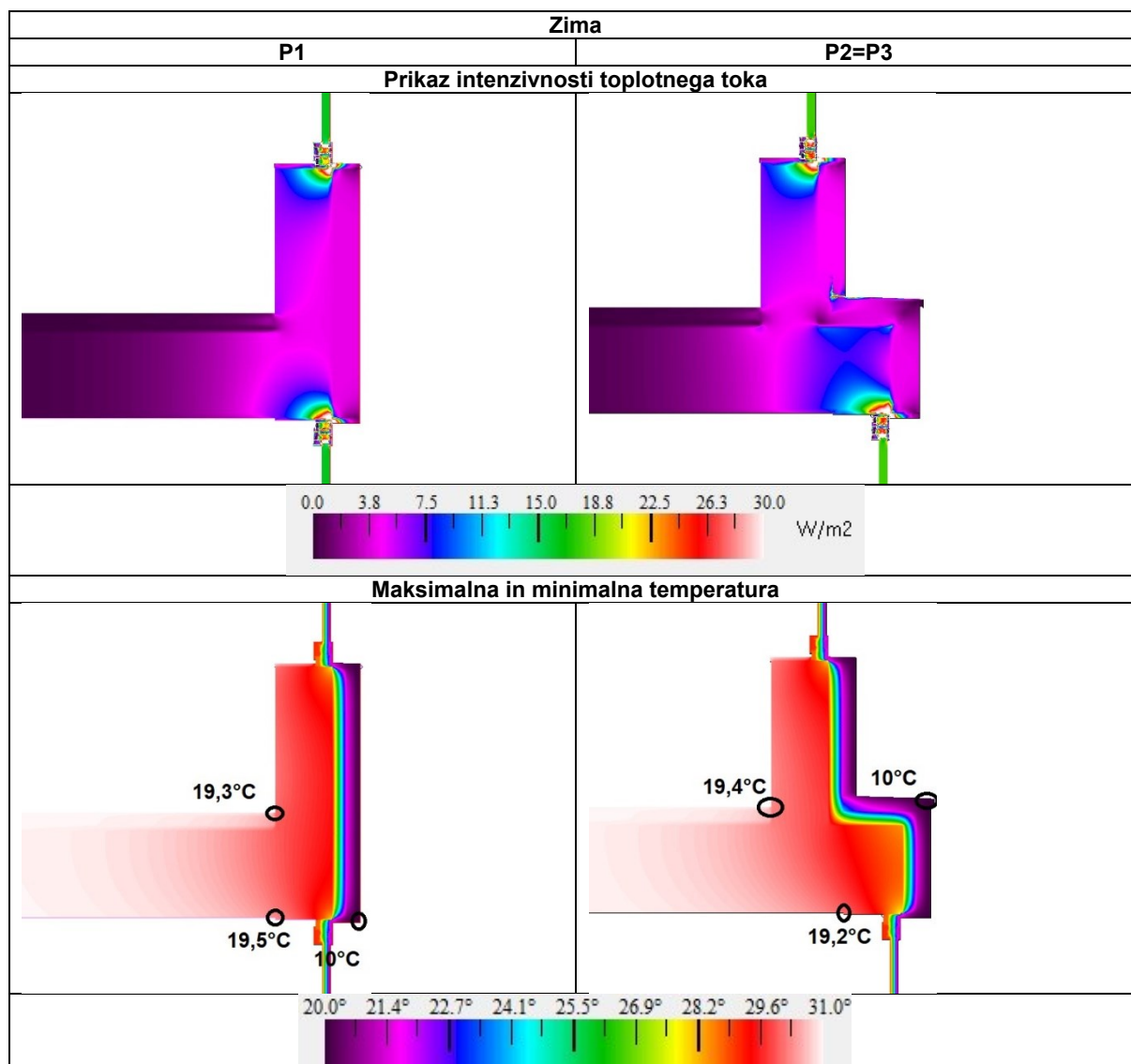
Preglednica 20: Primerjava križanja 5_P1_P2=P3



Vsi trije profili imajo povečano intenzivnost toplotnega toka v območju stika med steno in oknom in v območju stika med etažno ploščo in oknom. Razlika med P1, P2 in P3 je v obsegu območja povečane intenzivnosti toplotnega toka. Pri slednjih dveh obsega območje celotne armiranobetonske konzole.

V poletnem času se maksimalna temperatura pri križanjih pričakovano pojavi na različnih mestih: pri P1 na kamnitem robu odkapa, pri P2 in/ali P3 pa na robu zaščitnega nerjavečega jekla. Pri vseh je dosežena temperatura 31 °C.

Preglednica 21: Primerjava križanja 5_P1_P2=P3



Toplotni tok pri zimskih pogojih se od poletnih razlikuje v tem, da je smer nasprotna. Opaznih razlik v intenzivnosti toplotnega toka skoraj ni. V zimskem času je minimalna zunanja površinska temperatura za vsa križanja 10 °C. Pojavi se na istih mestih kot maksimalna v poletnem času, kar je pričakovano.

V križanju 5 razčlenjenost profila vpliva na notranje temperature. Podobno kakor pri križanjih 2 in 4 je P1 bolj ugoden. Pri P2 in P3 je stik med ploščo in steno bolj ugoden na zgornji strani tako poleti kakor pozimi. Temperatura poleti je 20,8 °C zgoraj in 21 °C spodaj, pozimi pa je zgoraj 19,4 °C in spodaj 19,2 °C. Rahlo višji oziroma nižji temperature na spodnji strani sta posledica bližine okenskega okvirja, pri P2 in P3 pa še razčlenjenosti stavbnega ovoja.

7 Zaključek

V okviru diplomske naloge smo na realnem primeru razčlenjenega stavbnega ovoja preverili vpliv členjenosti na pojav geometrijskih kot tudi konstrukcijskih toplotnih mostov. V ta namen smo izvedli analize profila, ki predstavlja idealiziran stavbni ovoj (minimalno členjen), profila, ki predstavlja model obravnavane stavbe, in profila, ki predstavlja realno stanje. Na podlagi rezultatov analize 36 križanj smo prišli do naslednjih pomembnejših ugotovitev:

1. Pri vseh profilih je močno povečan toplotni tok skozi okenski okvir in v območju stika okvirja in stene. To je posledica večje toplotne prevodnosti okvirja okna kot tudi načina montaže okna.
2. Pravilen način montaže okna (npr. v območju toplotne izolacije ali pa staknjeno s toplotno izolacijo) predstavlja učinkovit način odpravljanja toplotnih mostov v bližini okenskega okvirja.
3. Toplotni most pri križanju tal na terenu in zunanje stene predstavlja območje s povečano intenziteto toplotnega toka. Največja gostota toplotnega toka je v območju stika med temeljno ploščo, steno, ekspanziram poliestrom na zunanji strani temeljne plošče in zemlje. Intenziteta tega toplotnega mosta je v primerjavi z ostalimi toplotnimi mostovi ublažena zaradi bolj ugodnih zunanjih temperaturnih pogojev – temperatura zemljine je v zimskem času vedno višja od temperature zraka, v poletnem času velja obratno.
4. Vogal pri križanjih 2_P2, 3_P2, 4_P2, ki nastopa hkrati kot geometrijski in konstrukcijski toplotni most, predstavlja mesto, skozi katerega je le malo večji toplotni tok kot skozi steno. Razlog, da ni bolj intenzivnega prehoda toplote, je v uporabljeni debelini toplotne izolacije in v majhni razliki med velikostjo zunanje in notranje površine križanja. Čeprav omenjeno križanje potencialno predstavlja močno oslabitev stavbnega ovoja, je rešitev, uporabljena v analizi, uspešna pri preprečevanju bolj izrazitega vpliva na 2D-toplotno polje.
5. Primer križanja etažne plošče z zunanjo steno, kjer se plošča nadaljuje skozi steno (križanje ...), predstavlja mesto z večjo intenzivnostjo toplotnega toka. Toplotni tok je v poletnem času povečan iz zunanosti v notranost zgradbe in v zimskem času iz notranosti zgradbe v zunanost.
6. Kolenčni zid pri križanju ravne strehe z zunanjo steno predstavlja dokaj očiten toplotni most, kjer je znatno povečano prehajanje toplote. Toplotni tok skozi ta del stavbnega ovoja je bolj intenziven kot skozi ostale analizirane dele. Takemu toplotnemu mostu bi se lahko enostavno izognili z dodatno toplotno zaščito vrha parapeta.

Vgrajena okna predstavljajo najšibkejša mesta stavbnega ovoja zaradi najvišje toplotne prevodnosti v primerjavi s preostalim stavbnim ovojem. Stik okvirja okna in zunanje stene oziroma etažne plošče predstavlja izrazit toplotni most. Intenzivnost toplotnega toka je v

območju stika znatno povečana. Pri posrednem stiku, kjer je med okvirjem okna in etažno ploščo vgrajen podaljševalni profil iz purenita, je intenzivnost toplotnega toka manjša kot pri neposrednem stiku, a še vedno večja od ostalega ovoja zgradbe. Manjšo intenzivnost toplotnega toka bi dosegli z večjim toplotnim uporom okvirja okna, z izvedbo montaže z uporabo podaljševalnega profila oziroma z montažo v toplotno izolacijsko plast.

Ker zunanja armirano betonska konstrukcija ni le ravna, ampak imamo pri križanjih P2 in P3 robove in vogale, kar pomeni, da zunanja površina ni več enaka notranji, bolj razgibana geometrija pripelje do povečane intenzivnosti toplotnega toka v analiziranih profilih stavbnega ovoja. Večja je razlika med zunanjo in notranjo površino, večja je intenzivnost toplotnega toka. Ker je razlika med površinama pri konzoli (križanje v obliki »+«) večja, je večja tudi intenzivnost toplotnega toka v primerjavi z vogalnim (križanje v obliki »T«) križanjem. Ti toplotni mostovi nastopajo v manj izraziti obliki. Intenzivnost toplotnega toka se je z toplotno izolacijo omilila in je le malo večja od intenzivnosti toplotnega toka ravne sestavljene stene. Na podlagi tega lahko zaključimo, da pri omenjeni stavbi ter predlagani zasnovi toplotno izolacijskega ovoja, geometrijski toplotni mostovi (členjenost stavbnega ovoja) ne predstavljajo večje težave z gledišča delovanja stavbnega ovoja..

Razčlenjenost stavbnega ovoja vpliva na pojav toplotnih mostov. Bolj kot je stavba razčlenjena, več toplotnih mostov nastane. Takim toplotnim mostovom se v praksi ne moremo izogniti, lahko jih le omilimo. Čeprav je idealiziran stavbni ovoj bolj ugoden, razlike niso tako velike, da bi se morali izogibati razčlenjenosti stavbnega ovoja – seveda pod pogojem, da nastale oslavitve (geometrijske in konstrukcijske toplotne mostove) primerno saniramo in preverimo učinkovitost predlaganih rešitev.

Viri

- [1] AUTODESK, <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview> (Pridobljeno 25. 8. 2017.)
- [2] THERM, Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. University of California. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html> (Pridobljeno 10. 8. 2017.)
- [3] Kako plesen vpliva na zdravje. 2015. Bodi eko. <https://www.bodieko.si/kako-plesen-vpliva-na-zdravje> (Pridobljeno 29. 8. 2017.)
- [4] Smole, F. 1996. Materiali in tehnologija v elektrotehniki in optoelektroniki. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektroniko: 209 str.
- [5] Kladnik, R. 1989. Visokošolska fizika: Mehanski in toplotni pojavi. Del 1. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 231 str.
- [6] Sicherl, B. 1969. Toplotna tehnika v metalurgiji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo: 520 str.
- [7] Strnad, J. 1995. Fizika Prvi del Mehanika/Toplota. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 281 str.
- [8] Andrej Lavrič. Varčno ogrevanje 1.del. <http://instrukcije.net/2013/07/varcno-ogrevanje-uvod/#.WYHo5ulLeUk> (Pridobljeno 20. 4. 2017.)
- [9] Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. Toplotna prehodnost in difuzija vodne pare
- [10] Toplotni mostovi, Zbirka informativnih listov »ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE«, Agencija RS za učinkovito rabe energije: 4 str. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznicaAURE/IL2-11.PDF> (Pridobljeno 10. 4. 2017.)
- [11] Amon, J 2015. Analiza učinkovitosti ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov. Diplomsko naloga. Ljubljana, univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Amon) 510/SOG
- [12] Strmec, U 2015. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje stavb. Diplomsko naloga. Ljubljana, univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba U. Strmec) 3418/OTS
- [13] Gosar, G 2016. Energetska sanacija stavbnega ovoja s prefabricirnimi lesenimi moduli na primeru doma starejših občanov Petra Uzarja. Magistrsko delo. Ljubljana, univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Gosar) 12/II.ST

- [14] Thermal bridges in building construction <https://www.renieriarchitetto.com/riqualificazione-energetica/en/services/buildings-physics/thermal-bridges.html> (Pridobljeno 24. 8. 2017.)
- [15] Toplotni mostovi i vlaga. <http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=43> (Pridobljeno 20. 4. 2017.)
- [16] Bojan Grobovšek. Toplotni mostovi zaradi nepravilne vgradnje oken. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT307.htm> (Pridobljeno 24. 8. 2017.)
- [17] Vitrum laser inženiring d. o. o.
- [18] Introduction to Terrestrial Laser Scanning (TLS). https://www.utdallas.edu/research/interface/Resources/GSA%20National%202009/Oldow_TLS-Basics.pdf (Pridobljeno 28.8.2017)
- [19] Mozetič, B. 2004 Terestrično 3D (trirasežno) lasersko skeniranje. Geodetski vestnik 3. 351–362
- [20] Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU. UL L št. 153/2010 <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF> (Pridobljeno 10. 6. 2017.)
- [21] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. UL RS št. 52/2010.
- [22] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor. Št. 0071-101/2009: 114 str.
- [23] SIST EN ISO/10211:2017 Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations
- [24] Povprečna mesečna vremenskih podatkov za regijo Split v Hrvaška <http://www.temperatureweather.com/mediterr/vreme/si-vreme-v-hrvaska-split.htm> (Pridobljeno 29. 8. 2017.)
- [25] METRA WINDOWS AND DOORS <http://www.metra.it/building/EN/pagina.aspx?IDpost=1> (Pridobljeno 29. 8. 2017.)
- [26] Szokolay, S. 2008. Introduction to Architectural Science. Oxford, Elsevier Ltd: str. 154
- [27] Thermal Conductivity of common Materials and Gases http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (Pridobljeno 10. 4. 2017.)
- [28] purenit® – najboljša izbira med funkcijskimi materiali <http://si.puren.com/industrija/purenit/> (Pridobljeno 26. 8. 2017.)
- [29] Tekatrak <http://www.tkk.si/si/izdelki/izdelki-glede-na-lastnosti/montiramo-in-tesnimo/tekatrak> (Pridobljeno 26. 8. 2017.)