

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p. p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**VISOKOŠOLSKI
STROKOVNI
ŠTUDIJ GRADBENIŠTVA
SMER OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

MIHA KASTELIC

**Analiza toplotnih mostov in ukrepov za izboljšavo
v večstanovanjski stavbi**

Diplomska naloga št.: 441/SOG

**Analysis of thermal bridges and improvement
measures in a multi-unit residential building**

Graduation thesis No.: 441/SOG

Mentor:
doc. dr. Živa Kristl

Predsednik komisije:
doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentor:
asist. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Miha Kastelic izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Analiza toplotnih mostov in ukrepov za izboljšavo v večstanovanjski stavbi«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 10. 11. 2011

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.91:621.3.014.7(043.2)
Avtor:	Miha Kastelic, dipl. inž. les.
Mentorica:	doc. dr. Živa Kristl
Somentor:	asist. dr. Mitja Košir
Naslov:	Analiza toplotnih mostov in ukrepov za izboljšavo v večstanovanjski stavbi
Obseg in oprema:	95 str., 6 pregl., 79 sl., 4 vir.
Ključne besede:	toplotni most, toplotni tok, temperatura rosišča, površinska kondenzacija vodne pare, simulacija toplotnega mostu

Izveček

V diplomski nalogi so prikazane analize linijskih toplotnih mostov na konkretni novozgrajeni večstanovanjski stavbi. Modeliranje in simuliranje toplotnih mostov je bilo izvedeno z računalniškim programom THERM. Predvsem na modelih toplotnih mostov, ki so se izkazali, da lahko povzročajo kondenzacijo vodne pare na površini notranjih sten, so izvedene simulacije več možnih ukrepov za njihovo izboljšavo. Poudarek je dan preizkušanju različnih izboljšav toplotnih mostov. Rezultati simulacij kažejo orientacijske vrednosti in trende, ki nakazujejo smiselnost projektiranih ukrepov za zmanjševanje lokalno povečanega toplotnega toka.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.91:621.3.014.7(043.2)
Author: Miha Kastelic
Supervisor: Assist. Prof. Živa Kristl, Ph. D.
Co-advisor: Assist. Mitja Košir, Ph. D.
Title: Analysis of thermal bridges and improvement measures in a multi-unit residential building
Notes: 95 p., 6 tab., 79 fig, 4 ref.
Key words: thermal bridge, thermal flow, dew point temperature, surface condensation of water vapor, simulation of the thermal bridge

Abstract

This thesis shows the analysis of linear thermal bridges in the newly built multi-unit residential building. Modelling and simulations of the thermal bridges were made with program called THERM. Especially on the models of thermal bridges, which shown to cause condensation of water vapour on the interior surfaces of the walls. Simulations were made for several possible actions that could be taken for their improvement. Emphasis was put on trying out different improvements of thermal bridges. Simulation results show values and trends which indicate suitability of project actions, needed for the reduction of increased local thermal flow.

ZAHVALA

Za pomoč in usmeritve pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici doc. dr. Živi Kristl in somentorju asist. dr. Mitji Košir.

Za pomoč pri lektoriranju se zahvaljujem Mojci Hafner. Za spodbudo in podporo, predvsem pri zaključevanju študija, se zahvaljujem staršem in sodelavcem. Zahvaljujem se tudi vsem ostalim, ki so mi na kakršenkoli način pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema	1
1.2	Namen naloge	1
1.3	Metoda dela	2
2	ZAKONODAJA IN REGULATIVA	3
2.1	PURES 2010	3
2.2	Tehnična smernica	3
2.3	Standardi	3
3	MODELIRANJE (ANALIZA) TOPLOTNIH MOSTOV	4
3.1	Modeliranje s programom THERM	4
3.2	Obravnavani objekt	4
3.3	Evidentiranje toplotnih mostov	5
3.3.1	Konstruktivski (materialni) toplotni most	5
3.3.2	Geometrijski toplotni most	6
3.3.3	Kombinirani toplotni most	6
3.3.4	Toplotni mostovi na obravnavani stavbi	7
3.3.4.1	Pritličje	10
3.3.4.2	Tipična etaža	11
3.3.4.3	Mansarda	12
3.3.4.4	Prerez 1-1	13
3.3.4.5	Prerez 3-3	14
3.3.5	Robni pogoji	15
4	SIMULACIJE TOPLOTNIH MOSTOV	16
4.1	Atika	16
4.1.1	»A-1«	16
4.2	Loža	20
4.2.1	»L-1«	20
4.2.2	»L-2«	26
4.2.3	»L-3«	32
4.2.4	»L-4«	38
4.2.5	»L-5«	42
4.2.6	»L-6«	46
4.2.7	»L-7«	48
4.2.8	»L-8«	52
4.3	Klet	55
4.3.1	»K-1«	55
4.3.2	»K-2«	59
4.3.3	»K-3«	63

4.4	Podstrešje in streha	66
4.4.1	»P-1«	66
4.4.2	»P-2«	68
4.5	Okno	74
4.5.1	»O-1«	74
4.5.2	»O-2«	77
4.5.3	»O-3«	79
4.5.4	»O-4«	81
4.6	Stopnišče	84
4.6.1	»S-1«	84
4.6.2	»S-2«	85
4.6.3	»S-3«	86
4.6.4	»S-4«	87
4.6.5	»S-5«	88
4.7	Vogal stavbe	89
4.7.1	»V-1«	89
5	ZAKLJUČEK	91
6	VIRI	94
6.1	Uporabljeni viri	94
6.2	Ostali viri	95

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Projektirane temperature in relativne zračne vlažnosti v posameznih delih stavbe.	15
Preglednica 2: Temperatura najhladnejše notranje površine [°C] v odvisnosti od širine dilatacije [cm].	23
Preglednica 3: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« [°C] v odvisnosti od premika balkonskih vrat proti zunanjemu delu konstrukcijskega sklopa [cm].	35
Preglednica 4: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« [°C] v odvisnosti od debeline toplotne izolacije špalete [cm].	36
Preglednica 5: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« v odvisnosti od kombinacij debeline toplotne izolacije špalete (a, b, c) in zamika balkonskih vrat proti zunanjim plastem konstrukcijskega sklopa (L-3-01, L-3-02, L-3-03).	38
Preglednica 6: Seznam toplotnih mostov s simulirano najnižjo temperaturo površine [°C] na notranji strani. Ugotovljene temperature, ki so nižje od rosišča pri 70 % relativni zračni vlažnosti so obarvane rdeče. Modro so obarvane temperature, ki povzročajo kondenzacijo pri povišani, 85 % relativni zračni vlažnosti.	91

KAZALO SLIK

Slika 1:	Stanovanjska soseska »Za vrtovi« v Cerknici, pogled z južne strani.	5
Slika 2:	Primer konstrukcijskega toplotnega mostu na križanju zunanje stene, medetažne konstrukcije in balkona, prerez. (Schöck, Innovative Building Solutions).	6
Slika 3:	Primer geometrijskega toplotnega mostu na vogalu stavbe, tloris.	6
Slika 4:	Primer kombiniranega toplotnega mostu na vogalu stavbe, tloris.	7
Slika 5:	Tloris pritličja z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.	10
Slika 6:	Tloris tipične etaže z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.	11
Slika 7:	Tloris mansarde z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.	12
Slika 8:	Prerez 1-1 z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.	13
Slika 9:	Prerez 3-3 z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.	14
Slika 10:	Simulacija toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1). Ravnina rosišča je označena modro.	16
Slika 11:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-01). Ravnina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.	18
Slika 12:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-02) Ravnina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.	19
Slika 13:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-03). Ravnina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.	20
Slika 14:	Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	21
Slika 15:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-01). Na levi sliki je AB konstrukcija prekinjena z 2 cm EPS, na desni pa z 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	22
Slika 16:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-02a). Notranji del lože ima odebeleno toplotno izolacijo s 3 cm na 6 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	23
Slika 17:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-02b). Notranji del lože ima toplotno izolacijo odebeleno na 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	24
Slika 18:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože brez vodila za senčila v tlorisu (primer L-1-03). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	24
Slika 19:	Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože brez vodila za senčila v tlorisu (primer L-1-03). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	25

- Slika 20: Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 26
- Slika 21: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-1a). AB stena je na lokaciji križanja prekinjena z 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 28
- Slika 22: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-1b). AB stena je na lokaciji križanja prekinjena z debelino lahke fasadne stene. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 29
- Slika 23: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-2a). Debelina toplotne izolacije na notranji strani AB stene v loži je povečana na 6cm. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 30
- Slika 24: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-2b). Debelina toplotne izolacije na notranji strani AB stene v loži je povečana na 12cm. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 31
- Slika 25: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-3). Jeklena konstrukcija lahke fasadne stene je odmaknjena od AB stene. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 32
- Slika 26: Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-3). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 33
- Slika 27: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu s premikom okna proti zunanjemu delu (primer L-3-02 na levi in L-3-03 na desni). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 34
- Slika 28: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu s povečano debelino toplotne izolacije na špaleti (primer »L-3-01b« na levi in »L-3-01c« na desni). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 36
- Slika 29: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu s povečano 6 cm deblo toplotno izolacijo na špaleti in zamikom okna proti zunanjem delu (primer »L-3-02c« na levi in »L-3-03c« na desni). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 37
- Slika 30: Simulacija toplotnega mostu lože v prerezu (primer L-4). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 39
- Slika 31: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v prerezu s povečano debelino na 5 cm toplotne izolacije na AB plošči (primer »L-4-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 40
- Slika 32: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v prerezu s povečano širino toplotne izolacije na zgornji strani AB plošče s 60 cm na 120 cm (primer »L-4-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 41
- Slika 33: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v prerezu z uporabo armaturne košare v ravnini zunanjega toplotnoizolacijskega ovoja stavbe (primer »L-4-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 42
- Slika 34: Simulacija toplotnega mostu v prerezu »L-5«. Povečan toplotni tok je iz stanovanjskega dela na zgornji strani po obodni AB steni (na levi strani) proti

- kolesarnici na spodnji strani. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 43
- Slika 35: Simulacija toplotnega mostu v prerezu »L-5«. Prikaz relativne velikosti in smeri toplotnega toka iz stanovanjskega dela proti zunanosti (na levi strani) in proti kolesarnici (na spodnji strani). 43
- Slika 36: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) z oblogo zgornjega dela stene kolesarnice s 5 cm kamene volne (primer »L-5-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 45
- Slika 37: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) z oblogo cele stene v bivalnem prostoru s 5 cm kamene volne (primer »L-5-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 46
- Slika 38: Simulacija toplotnega mostu nad ložo (v prerezu) (primer »L-6«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 47
- Slika 39: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 na 10 cm (primer »L-6-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 48
- Slika 40: Simulacija toplotnega mostu terase nad stanovanjem (v prerezu) (primer »L-7«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 49
- Slika 41: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na špaleti panoramske stene s 5 cm na 10 cm (primer »L-7-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 50
- Slika 42: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm (primer »L-7-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 51
- Slika 43: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s kombinacijo povečane debeline toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm in povečane debeline toplotne izolacije na špaleti panoramske stene s 5 cm na 10 cm (primer »L-7-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 52
- Slika 44: Simulacija toplotnega mostu lože in terase na levi strani ter stanovanja na desni (v prerezu) (primer »L-8«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 53
- Slika 45: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože in terase na levi strani ter stanovanja na desni (v prerezu) (primer »L-8-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 54
- Slika 46: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je garaža v kletni etaži, desno zgoraj je stanovanje in levo zgoraj je zunanji del (primer »K-1«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 56
- Slika 47: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu s povečano toplotno izolacijo pod površjem zunanje ureditve. Spodnji prostor je garaža v kletni etaži, desno zgoraj je stanovanje in levo zgoraj je zunanji del (primer »K-1-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 57

- Slika 48: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu z dodano toplotno izolacijo pod nosilcem. Spodnji prostor je garaža v kletni etaži, desno zgoraj je stanovanje in levo zgoraj je zunanji del (primer »K-1-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 58
- Slika 49: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 59
- Slika 50: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem. 61
- Slika 51: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem. 62
- Slika 52: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 63
- Slika 53: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 64
- Slika 54: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 65
- Slika 55: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 65
- Slika 56: Simulacija toplotnega mostu strehe v prerezu (primer »P-1«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 67
- Slika 57: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu strehe v prerezu (primer »P-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 68
- Slika 58: Simulacija toplotnega mostu podstrešja v prerezu (primer »P-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro. 69
- Slika 59: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu podstrešja v prerezu s povečano debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm (primer »P-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 71
- Slika 60: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu podstrešja v prerezu s 17 cm toplotne izolacije na tleh podstrešja (primer »P-2-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 72
- Slika 61: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu podstrešja v prerezu s 17 cm toplotne izolacije na tleh podstrešja in s povečano debelino toplotne izolacije na stropu lože na 10 cm (primer »P-2-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem. 73

Slika 62: Simulacija toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	74
Slika 63: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	75
Slika 64: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	76
Slika 65: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	77
Slika 66: Simulacija toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	78
Slika 67: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v lahki fasadni steni v tlorisu (primer »O-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	79
Slika 68: Simulacija toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-3«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	80
Slika 69: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-3-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.	81
Slika 70: Simulacija toplotnega mostu okna v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	82
Slika 71: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-4-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	83
Slika 72: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-4-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	84
Slika 73: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-1) v prerezu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	85
Slika 74: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-2) v prerezu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	86
Slika 75: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-3) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	87
Slika 76: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-4) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	88
Slika 77: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-5) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	89
Slika 78: Simulacija toplotnega mostu vogala stavbe v tlorisu (primer »V-1«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.	90
Slika 79: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-1« v odvisnosti od debeline dilatacije. Temperatura rosišča je označena črtkano.	93

KRATICE

AB	armiran beton
EPBD	Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2002/91/ES
EPBD-r	prenovljena Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU
EPS	ekspandiran polistiren
PIR	poliizocianuratne
PURES 2010	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
tehnična smernica	Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije
XPS	ekstrudiran polistiren

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Tako pri novogradnjah, kot tudi pri adaptacijah ali rekonstrukcijah so se povišale zahteve uporabnikov, ki si želijo povečati udobje bivanja. Povpraševanje po stavbi, ki z nizkimi stroški upravljanja omogoča udobno bivanje, spodbuja razvoj novih materialov in tehnologij. Z razvojem so se gradbeni materiali specializirali in omogočajo sestavo namenskih konstrukcijskih sklopov, ki omogočajo velike izboljšave energetske učinkovitosti stavb. Danes ima na učinkovito rabo energije v stavbah velik vpliv tudi zakonodaja, ki se na tem področju zaostruje predvsem z uvedbo Direktive o energetske učinkovitosti stavb (EPBD).

Na stavbi nastane zaradi njenih značilnih geometrijskih lastnosti veliko križanj konstrukcijskih sklopov, med katerimi se z vidika toplotno-izolacijske učinkovitosti pojavljajo tudi problematična, ki imajo lokalno tanjšo ali celo prekinjeno toplotnoizolacijsko plast. Slabe rešitve le-teh povzročajo lokalno oziroma točkovno ali linijsko poslabšanje toplotno izolacijske lastnosti in povečan toplotni tok skozi konstrukcijski sklop. Kritična mesta v ovojju konstrukcije, kjer je toplotni tok proti zunanosti povečan, imenujemo toplotni most.

Zaradi prekinitve toplotnoizolacijskih plasti konstrukcijskih sklopov ali zaradi posebnih geometrijskih lastnosti le-teh, ki se pojavljajo predvsem v primerih križanj, se povečujejo toplotne izgube, ki se kažejo na večji porabi energije za vzdrževanje želene notranje temperature in z lokalno nižjo temperaturo površine na notranji strani zunanjih sten. Posledično je tik nad hladnejšo površino povišana relativna zračna vlažnost, ki povzroča visoko vlažnost materiala na kritičnih mestih konstrukcijskega sklopa. V primeru, da se stena ohladi pod temperaturo rosišča, se na njej kondenzira para. Podoben pojav se lahko zgodi tudi znotraj konstrukcijskega sklopa. V času nizkih zunanjih temperatur se plasti konstrukcijskega sklopa v vplivnem območju toplotnega mostu ohladijo, bolj kot na ostalem delu in povzročajo prekomerno navlaževanje posameznih plasti zaradi kondenziranja vodne pare, ki difundira skozi konstrukcijski sklop. Navlaževanje materialom poslabša toplotnoizolacijske lastnosti, ki še povečajo lokalne toplotne izgube in s tem povečajo kondenziranje vodne pare. Prevladni materiali predvsem zaradi pojava gliv propadajo. Pojav plesni in drugih gliv pa slabo vplivajo na zdravje. Na razvoj plesni in drugih gliv lahko praktično vplivamo le z zmanjšanjem relativne zračne vlažnosti v prostoru in z odpravo vzrokov navlaževanja konstrukcijskih sklopov. Toplotni mostovi poleg slabih higienskih razmer in povečane porabe toplote energije povzročajo tudi slabše toplotno ugodje.

1.2 Namen naloge

Namen naloge je preveriti toplotne mostove na novozgrajeni večstanovanjski stavbi in ugotoviti kje se bodo na notranjih površinah sten med uporabo stavbe izpolnili pogoji za kondenzacijo vodne pare. Namen naloge je tudi preveriti učinek različnih izboljšav za zmanjšanje vpliva toplotnih mostov, predvsem tistih, ki se bodo izkazali za problematične.

1.3 Metoda dela

Na konkretni novozgrajeni večstanovanjski stavbi sem poiskal linijske toplotne mostove, ki bi lahko ob povišani relativni zračni vlažnosti ali ob nepredvideni rabi in slabem vzdrževanju prostorov povzročali težave. Potencialno problematične toplotne mostove sem evidentiral in analiziral v programu THERM-5. Rezultati simulacije toplotnih mostov z omenjenim programom so pokazali potek izoterm po prerezih materialov konstrukcijskih sklopov. Na modelih toplotnih mostov, ki so se izkazali, da lahko povzročajo kondenzacijo vodne pare na površini notranjih sten, sem simuliral več možnih ukrepov za njihovo izboljšavo in jih primerjal med seboj.

2 ZAKONODAJA IN REGULATIVA

2.1 PURES 2010

Konec junija 2010 je bil v Uradnem listu RS objavljen pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), ki je začel veljati 1. januarja 2011, hkrati z njim pa bo treba upoštevati tudi tehnično smernico o učinkoviti rabi energije.

Pravilnik je pravzaprav prenos zahtev, usmeritev in priporočil evropske zakonodaje na uporabno raven in njihova formalizacija v lokalnem pravnem sistemu. Najstarejša pravna podlaga za PURES 2010 je Direktiva o gradbenih proizvodih 89/106/EEC iz leta 1988. Ta obravnava temeljne zahteve za elemente, ki so za stalno vgrajeni v objekte, in za bivalne pogoje v grajenem okolju. Druga pravna podlaga je prenovljena Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU. Ta obravnava večanje energetske učinkovitosti v stavbah z namenom zmanjšanja odvisnosti EU od uvožene energije. Tretja podlaga je Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES.

PURES 2010 uvaja na področju graditve stavb instrumente, ki so potrebni, da bi lahko Slovenija sledila zahtevam prenovljene direktive o energetske učinkovitosti stavb (EPBD-r), ki ne zajema le strogo "energetsko-tehničnih vidikov rabe energije", ampak tudi področji zdravja in učinkovitosti, ki sta pomembna vidika trajnostne gradnje. (Krainer, Galonja, 2010)

2.2 Tehnična smernica

Poleg PURES 2010 je bila hkrati objavljena tudi Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije (tehnična smernica), ki jo je potrebno upoštevati. Oba dokumenta moramo obravnavati v tesni povezavi. Tako PURES 2010 kot tudi tehnična smernica ne določata podrobnih zahtev o projektiranju rešitev toplotnih mostov. Medtem ko PURES 2010 (2010) navaja: »Stavbe je treba projektirati in graditi tako, da je vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po energiji za ogrevanje in hlajenje čim manjši in da toplotni mostovi ne povzročajo škode stavbi ali njenim uporabnikom«, je v tehnični smernici (2010) navedeno tudi, da se je treba toplotnim mostovom z linijsko toplotno prehodnostjo $\Psi_e > 0,2 \text{ W/(mK)}$ 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.

2.3 Standardi

Za določanje linijske toplotne prehodnosti toplotnih mostov tehnična smernica (2010) določa standard SIST EN ISO 14683 in SIST EN ISO 10211. Tehnična smernica določa tudi, da se vpliv toplotnih mostov pri računanju potrebne toplote za ogrevanje upošteva po standardih SIST EN ISO 13789, SIST EN ISO 14683 oziroma SIST EN ISO 10211. Za določanje kritične temperature, ki je v izogib navlaževanju zaradi kondenzacije vodne pare, najnižja dopustna, lahko uporabimo metodo po SIST EN 13788.

3 MODELIRANJE (ANALIZA) TOPLOTNIH MOSTOV

3.1 Modeliranje s programom THERM

Za analizo linijskih toplotnih mostov sem uporabil računalniški program THERM, ki je bil razvit v laboratoriju Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) v pomoč proizvajalcem gradbenih izdelkov, inženirjem, študentom, arhitektom in drugim, ki se pri svojem delu srečujejo s toplotno prevodnostjo na detajlih stavb. Program THERM je primeren za modeliranje dvodimenzionalnih toplotnih mostov in omogoča simuliranje temperature na lokalnih mestih, kar omogoča predvidevanje težav s kondenzacijo vodne pare. Analiza dvodimenzionalnega prevajanja toplote temelji na metodi končnih elementov, ki omogoča modeliranje gradbenih elementov poljubnih geometrijskih oblik. (Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling, 2011)

3.2 Obravnavani objekt

Toplotne mostove sem obravnaval na eni izmed sedmih večstanovanjskih stavb Stanovanjskega naselja »Za vrtovi« v Cerknici (zgrajeno leta 2009), ki stojijo na skupni podzemni garaži in imajo izključno stanovanjsko namembnost. Poleg ene skupne kletne etaže so stavbe visoke pet etaž. Tipična etaža, ki je visoka 2,92 m, je tlorisnega gabarita dimenzij 16,85 m × 16,4 m. Etaže povezuje komunikacijsko jedro s stopnicami in osebnim dvigalom. V kletni etaži so shrambe stanovanj, parkirna mesta in servisni prostori. Del pritličja je namenjen prostorom za skupno rabo. V nadstropjih imajo vsa stanovanja balkon ali ložo, v mansardnih stanovanjih pa so izvedene terase kot ravna streha. V sklopu stanovanjske soseske so zgrajeni tudi spremljajoči objekti in zunanja ureditev z urejenimi pripadajočimi funkcionalnimi in manipulativnimi površinami ter komunalna, energetska in prometna infrastruktura.

Objekti so iz armiranobetonske (AB) konstrukcije z nosilnimi AB stenami v obeh ortogonalnih smereh. Medetažne konstrukcije so AB plošče debeline 20 cm. Balkoni so izvedeni kot AB plošče, zaključene z robnim nosilcem. Del eksoskeletne konstrukcije je tudi AB stopniščno jedro z dvigalnim jaškom. Stopniščne rame so izvedene tako, da preprečujejo prehod udarnega zvoka. Kletna etaža je prav tako armirano betonska z nosilnimi AB stebri in obodnimi AB stenami. Objekti so temeljeni na AB pasovnih temeljih pod stenami in AB točkovnih temeljih pod stebri.

Tipična zunanja stena je toplotno izolirana na zunanji strani z ekspandiranim polistirenom (EPS). V spodnjem delu zunanje stene, ki je v stiku s terenom pa je uporabljen ekstrudiran polistiren (XPS). Fasada je ometana z zaključnim tankoslojnim silikatnim ometom. Strehe so v naklonu 7°, deloma tudi ravne, in so toplotno izolirane z ekspandiranim polistirenom in hidroizolirane z bitumenskimi trakovi s posipom škrlja. Okna so iz PVC pet komornih profilov z dvojnimi izolacijskimi zasteklitvami ($U=1,1\text{ W/m}^2\text{K}$) in z zunanjimi senčili.

Predelne stene so izvedene iz mavčno-kartonskih plošč na podkonstrukciji iz pocinkane jeklene pločevine. Stene sanitarnih prostorov so zidane iz votle opeke, ometane in obložene s keramičnimi

ploščicami do stropa. Razen v kopalnici, kjer so keramične ploščice položene tudi po tleh, so vse talne obloge v stanovanjih iz klasičnega hrastovega parketa.



Slika 1: Stanovanjska soseka »Za vrtovi« v Cerknici, pogled z južne strani.

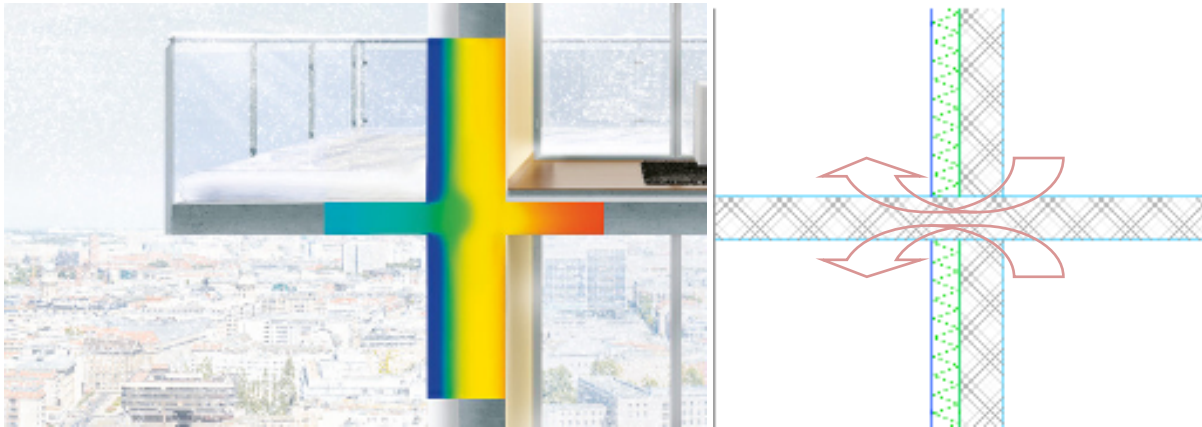
3.3 Evidentiranje toplotnih mostov

3.3.1 Konstrukcijski (materialni) toplotni most

Sprememba enakomernega toplotnega upora na ovoju stavbe je osnovni vzrok za konstrukcijski ali materialni toplotni most. Do njega pride, ko je ovoj stavbe prekinjen ali predrt z materialom, ki ima veliko toplotno prevodnost in ki ni toplotno izoliran ne z zunanje ne z notranje strani. S premišljeno zasnovo ovoja stavbe se lahko konstrukcijskim toplotnim mostovom praktično povsem izognemo. To pomeni, da je potrebno s pravilnim načrtovanjem in izvedbo zagotoviti povezanost in enakomernost sloja toplotne izolacije ter po potrebi namestiti dodaten sloj toplotne izolacije na oslabljenih mestih.

Poseben primer te vrste toplotnega mostu je navlažen del konstrukcije, še posebej materiala za toplotno izolacijo; tudi navlažen material namreč predstavlja toplotni most, saj se mu zaradi vsebnosti vlage oziroma vode toplotna prevodnost poveča (Toplotni mostovi, Zbirka..., 2010).

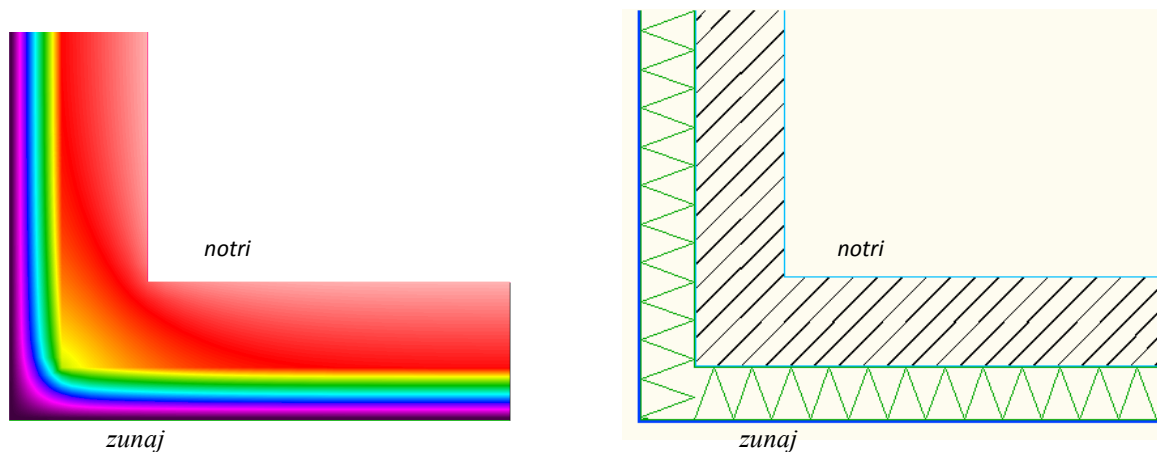
Prekomerno navlaževanje sloja konstrukcijskega sklopa se zgodi zaradi kondenziranja vodne pare, ki prehaja skozi konstrukcijski sklop, na ravnini rosišča. Ravnino rosišča imenujemo navidezno ploskev v konstrukcijskem sklopu, kjer je temperatura materiala enaka temperaturi rosišča pri dani relativni vlažnosti notranjega zraka.



Slika 2: Primer konstrukcijskega toplotnega mostu na križanju zunanje stene, medetažne konstrukcije in balkona, prerez. (Schöck, Innovative Building Solutions).

3.3.2 Geometrijski toplotni most

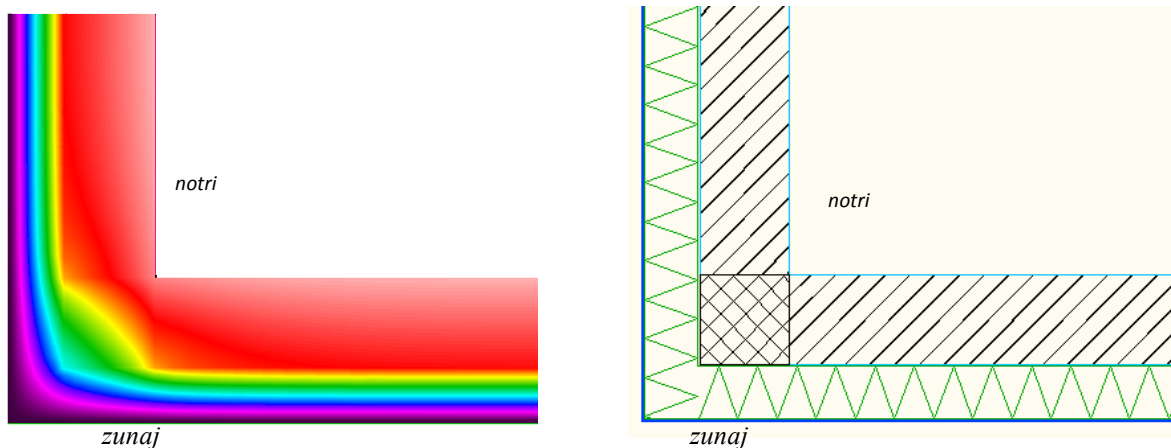
Geometrijski toplotni most nastopi na delu ovoja stavbe, pri katerem je zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precej večja od notranje. Geometrijskim toplotnim mostovom se v praksi ne moremo izogniti, lahko pa njihov vpliv močno omilimo. Kot osnovno pravilo velja, da se je potrebno izogibati stikom pod kotom manjšim od 90° , ukrivljeni elementi ali sklopi pa naj imajo čim večji radij. Tipičen primer geometrijskega toplotnega mostu je zunanji vogal stavbe. Pomen geometrijskih toplotnih mostov, tako relativni kot absolutni, se manjša z debelino toplotne zaščite na zunanji strani ovoja stavbe. Pogoji je seveda, da so detajli skrbno načrtovani in izvedeni in da ni prekinitev plasti toplotne zaščite. (Toplotni mostovi, Zbirka..., 2010)



Slika 3: Primer geometrijskega toplotnega mostu na vogalu stavbe, tloris.

3.3.3 Kombinirani toplotni most

Geometrijski toplotni most pogosto nastopa hkrati s konstrukcijskim, na primer armiranobetonska protipotresna vogalna vez, nosilni armiranobetonski steber v zunanji steni, ki sega preko zunanje ravne zidu, toplotno neizoliran stik dveh zunanjih sten ter armiranobetonske plošče proti neogrevanemu podstrešju oziroma ravne strehe in podobno. V takih primerih govorimo o kombiniranem toplotnem mostu. Te vrste toplotni mostovi zahtevajo še posebej skrbno obravnavo in iskanje najustreznejše rešitve. (Toplotni mostovi, Zbirka..., 2010).



Slika 4: Primer kombiniranega toplotnega mostu na vogalu stavbe, tloris.

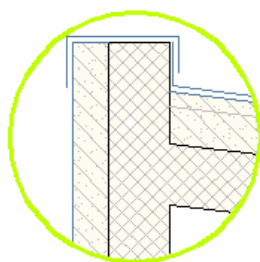
3.3.4 Toplotni mostovi na obravnavani stavbi

Na obravnavanem objektu sem poiskal toplotne mostove. Največje težave v stavbi povzročajo predvsem konstrukcijski toplotni mostovi, ki nastanejo zaradi prekinitve toplotnoizolacijskega ovoja. Vpliv geometrijskih toplotnih mostov ni posebno izrazit, vendar se velikokrat pojavljajo v kombinaciji s konstrukcijskimi toplotnimi mostovi in jim povečujejo lokalne toplotne tokove.

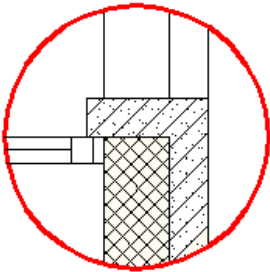
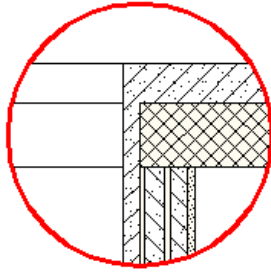
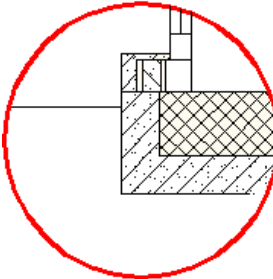
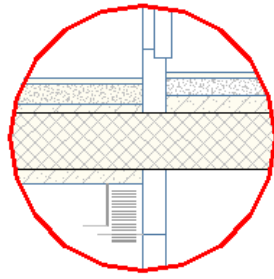
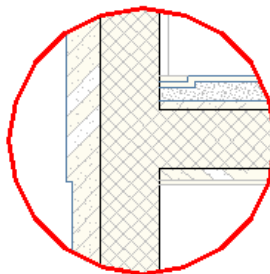
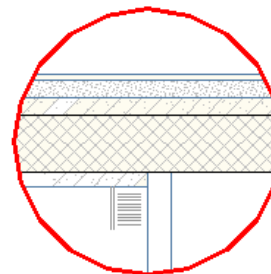
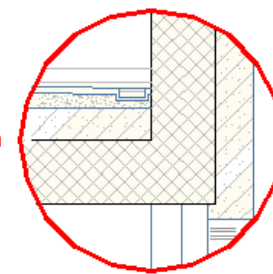
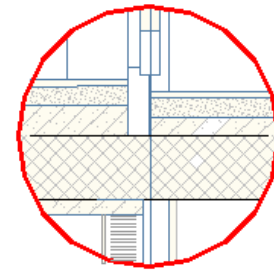
Toplotne mostove sem razdelil po sklopih glede na njihovo lokacijo v stavbi. Sklope podobnih toplotnih mostov sem poimenoval po začetni črki lokacije, kjer se nahajajo:

- A – Atika

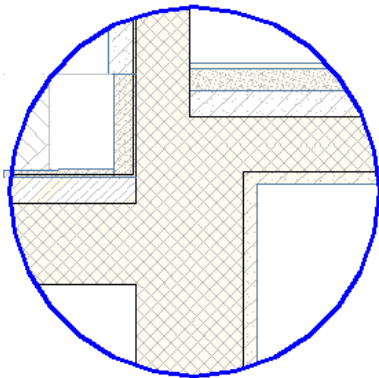
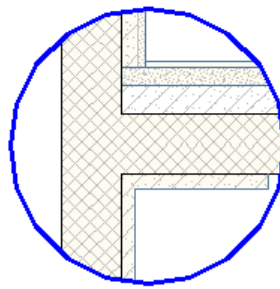
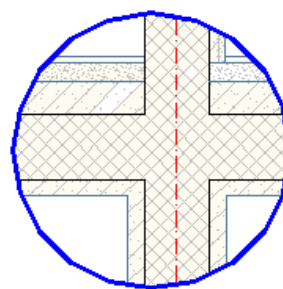
A-1



- L – Loža

L-1**L-2****L-3****L-4****L-5****L-6****L-7****L-8**

- K – Klet

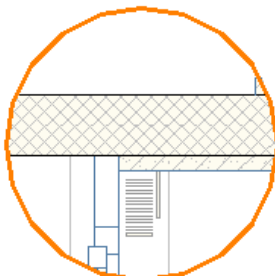
K-1**K-2****K-3**

- P - Podstrešje in streha

P-1

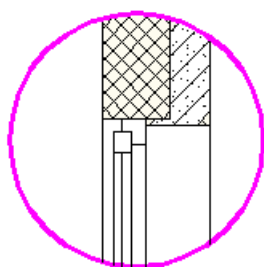


P-2

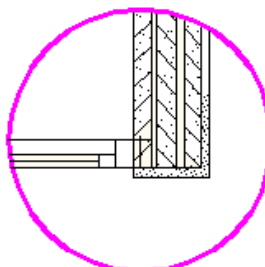


- O – Okno

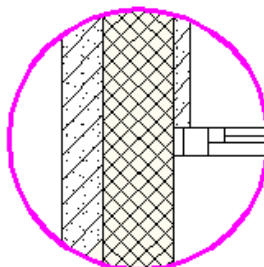
O-1



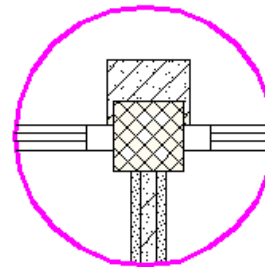
O-2



O-3

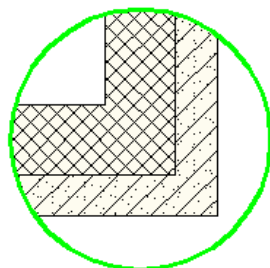


O-4



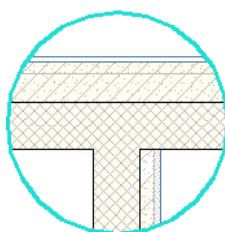
- V - Vogal stavbe

V-1

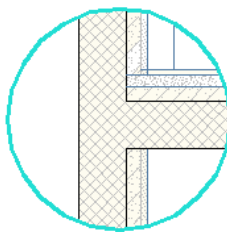


- S – Stopnišče

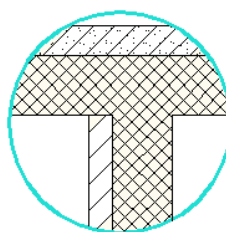
S-1



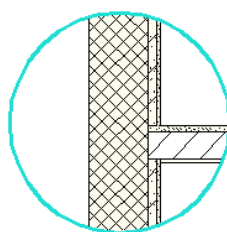
S-2



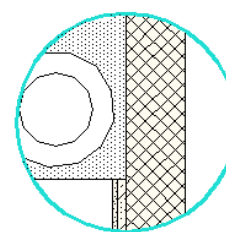
S-3



S-4

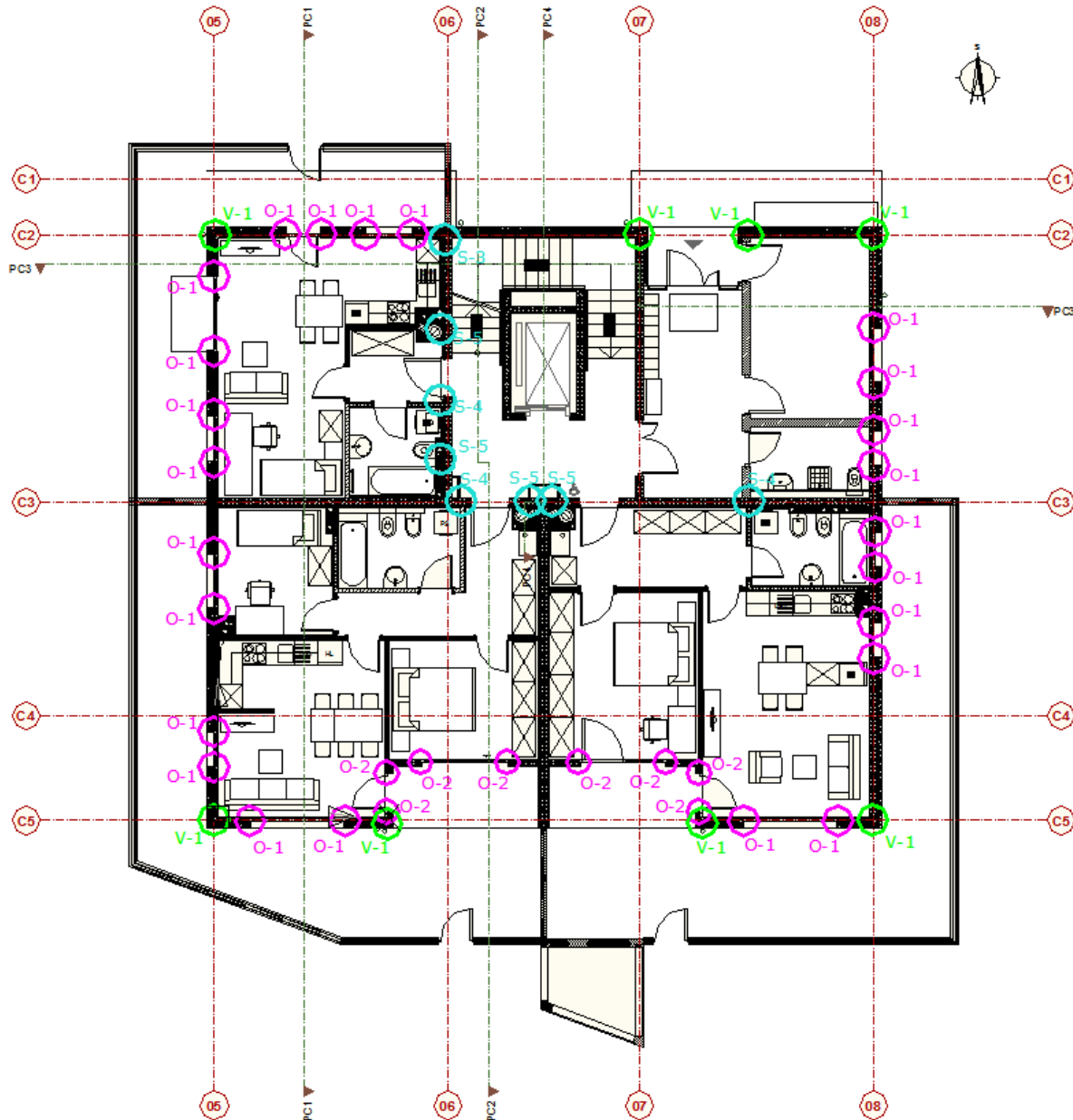


S-5



3.3.4.1 Pritličje

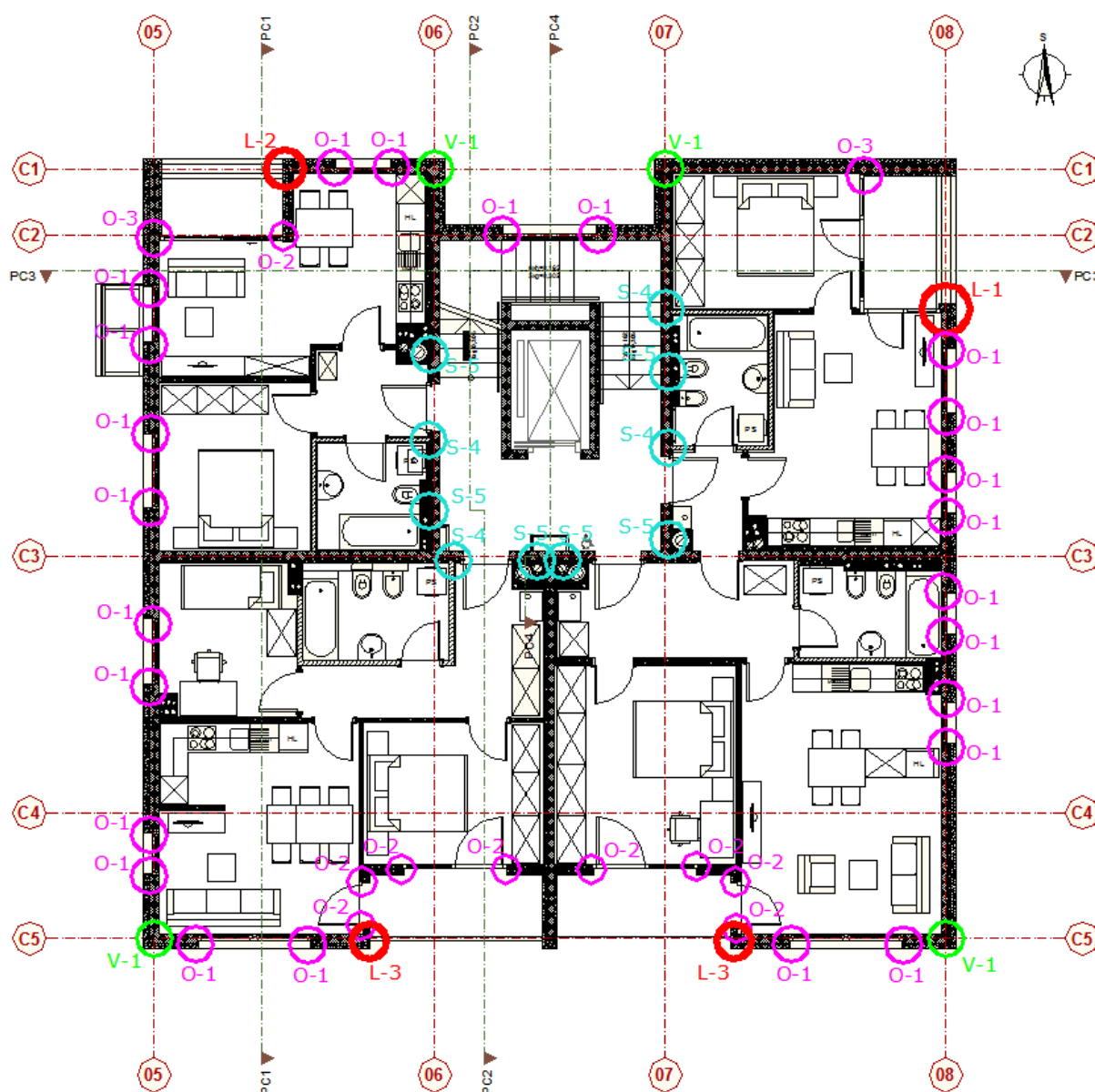
V pritličju sem evidencialno dva različna tipa toplotnih mostov, ki se pojavljajo v okolici oken (O-1 in O-2). Evidencialno sem tri tipe toplotnih mostov, ki so nastali zaradi prekinjene toplotne izolacije stanovanj proti stopnišču (S-3, S-4 in S-5), ter en tip toplotnega mostu, ki se pojavlja na vogalih stavbe (V-1).



Slika 5: Tloris pritličja z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.

3.3.4.2 Tipična etaža

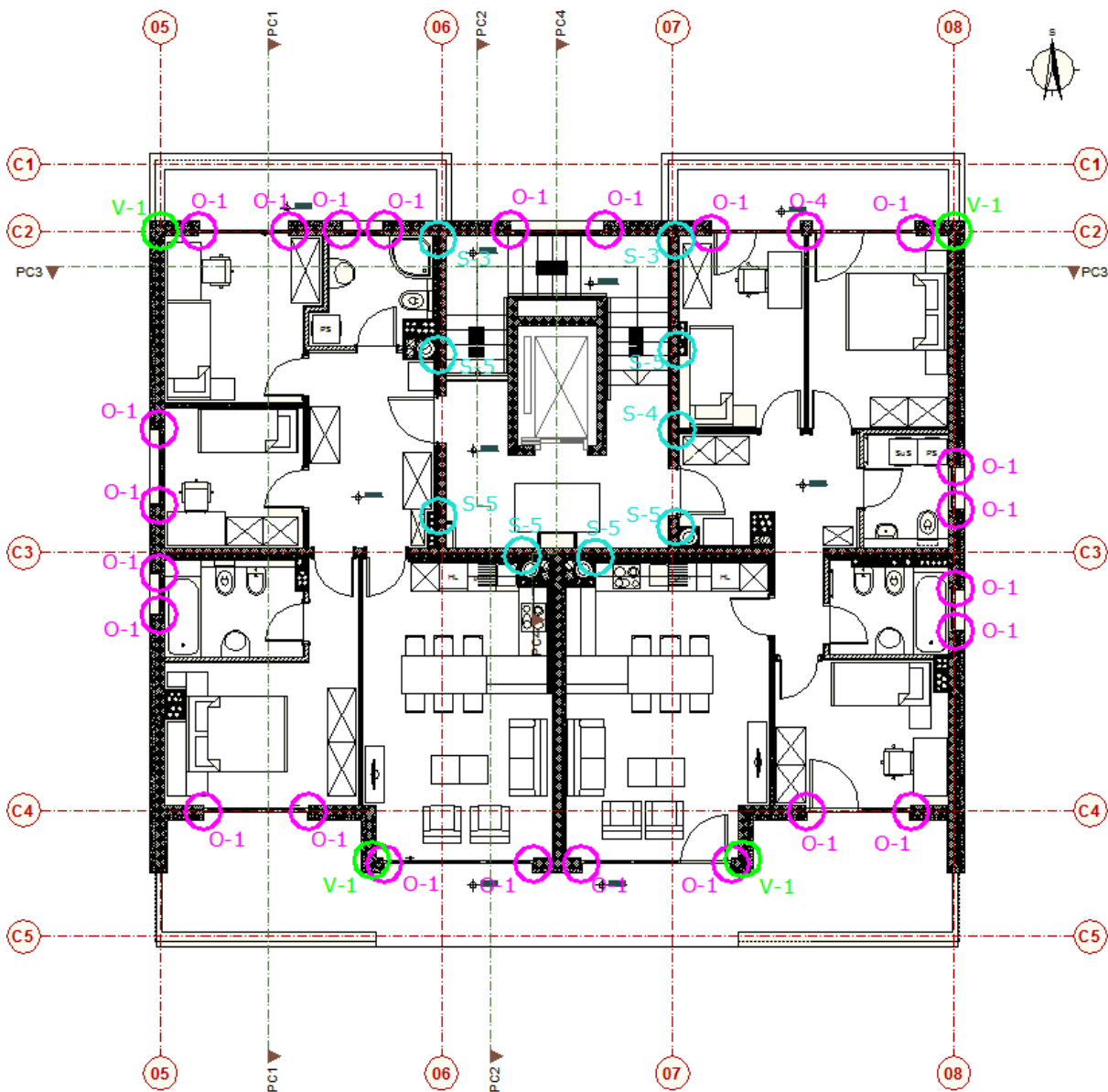
Nad pritličjem so tri enake etaže, kjer sem evidentiral tri različne tipe toplotnih mostov, ki se pojavljajo v okolici oken (O-1, O-2 in O-3). Evidentiral sem tri tipe toplotnih mostov, ki so nastali zaradi prekinjene toplotne izolacije zunanjih sten pri ograjah lože (L-1, L-2 in L-3), ter en tip toplotnega mostu, ki se pojavlja na vogalih stavbe (V-1). Zaradi prekinjene toplotne izolacije stanovanj na steni proti stopnišču so nastali toplotni mostovi, ki sem jih evidentiral z oznakami S-4 in S-5.



Slika 6: Tloris tipične etaže z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.

3.3.4.3 Mansarda

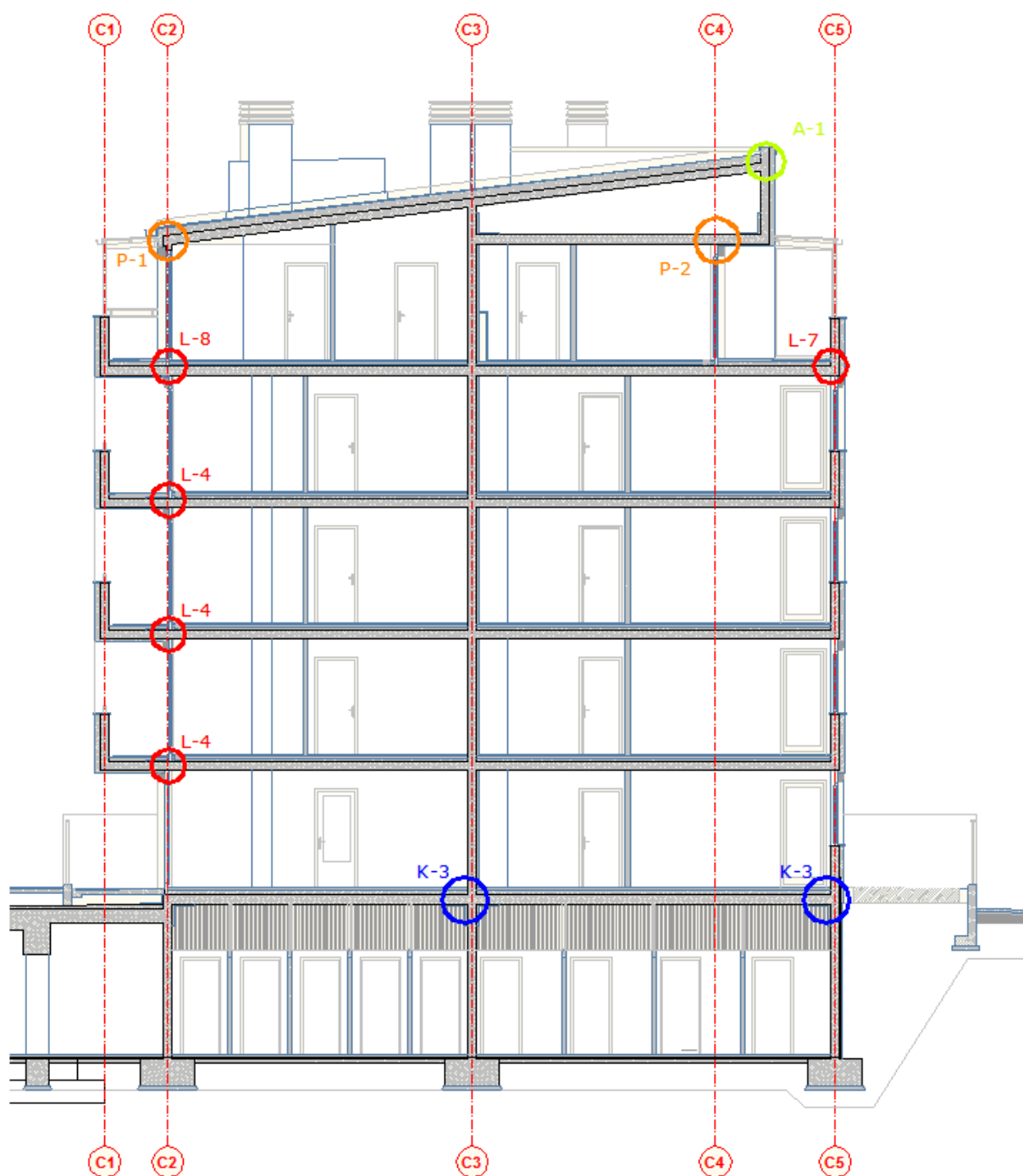
V najvišji, mansardni etaži sem evidencialno dva tipa toplotnih mostov, ki se pojavljajo v okolici oken (O-1 in O-4). Zaradi prekinjene toplotne izolacije stanovanj proti stopnišču so nastali toplotni mostovi, ki sem jih evidencialno z oznakami S-3, S-4 in S-5 ter en tip toplotnega mostu, ki se pojavlja na vogalih stavbe (V-1).



Slika 7: Tloris mansarde z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.

3.3.4.4 Prerez 1-1

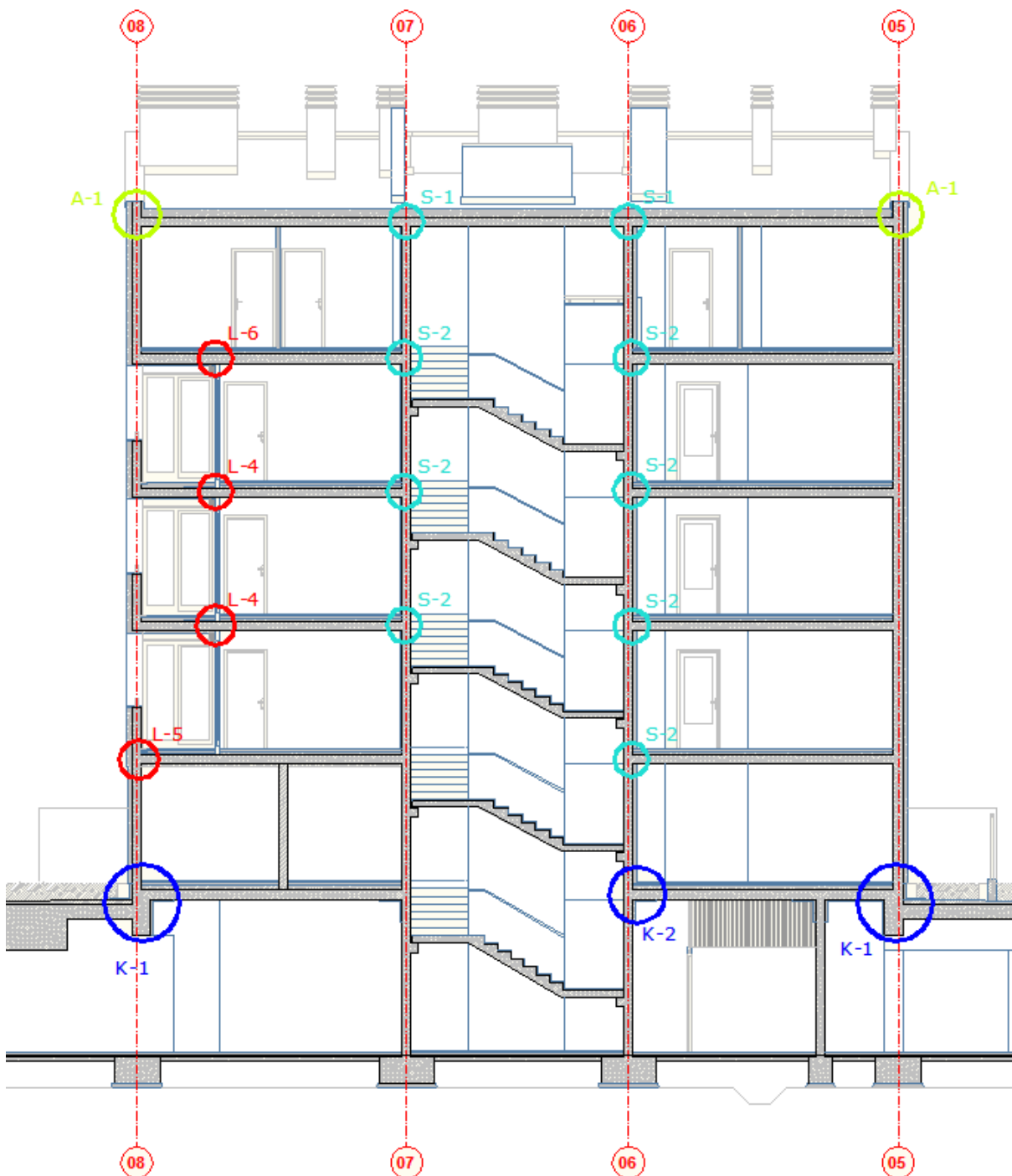
V prvem prerezu sem evidencialno toplotne mostove, ki so nastali v ložah, na balkonih in terasi, kjer medetažna plošča prekinja toplotno izolacijski zunanji ovoj (L-4, L-7 in L-8). V najvišji, mansardni etaži sem evidencialno dva toplotna mostova, ki se pojavljata na zgornji strani oken ob stiku podstrešne ali strešne plošče (P-1 in P-2). Evidencialno sem toplotni most, ki se je pojavil v območju atike (A-1). Toplotni most, ki sem ga označil kot K-3 povzročajo AB stene, ki se iz neogrevane kleti nadaljujejo v pritlična stanovanja in prekinjajo toplotno izolacijo na medetažni plošči.



Slika 8: Prerez 1-1 z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.

3.3.4.5 Prerez 3-3

Evidentiral sem toplotni most A-1, ki se pojavi v atiki. V ložah se pojavljajo toplotni mostovi L-4, L-5 in L-6 predvsem pri prekinitvah toplotno izolacijskega ovoja zaradi medetažne AB plošče, ki se iz stanovanjskega dela neprekinjeno nadaljuje v ložo, balkon ali teraso. Toplotna mostova K-1 in K-2 se pojavljata pri prekinjeni toplotni izolaciji pritlične plošče, zaradi AB nosilcev in sten, ki se iz kleti nadaljujejo v pritlična stanovanja. Zaradi prekinjene toplotne izolacije stanovanj na steni proti stopnišču so nastali toplotni mostovi, ki sem jih evidentiral z oznakami S-1 in S-2.



Slika 9: Prerez 3-3 z označenimi različnimi tipi toplotnih mostov glede na njihovo lokacijo v stavbi, M1:150.

3.3.5 Robni pogoji

Obravnavana stavba je zgrajena v Cerknici. Zunanji klimatski pogoji so izbrani glede na lokacijo. Notranje projektne temperature in relativna zračna vlažnost je izbrana glede na namen uporabe prostorov.

Preglednica 1: Projektirane temperature in relativne zračne vlažnosti v posameznih delih stavbe.

prostor	zunaj	stanovanjski prostori	skupni prostori, stopnišče	klet
temperatura zraka [°C]	-10	21	13	8
relativna zračna vlažnost [%]	90	70	70	80

4 SIMULACIJE TOPLOTNIH MOSTOV

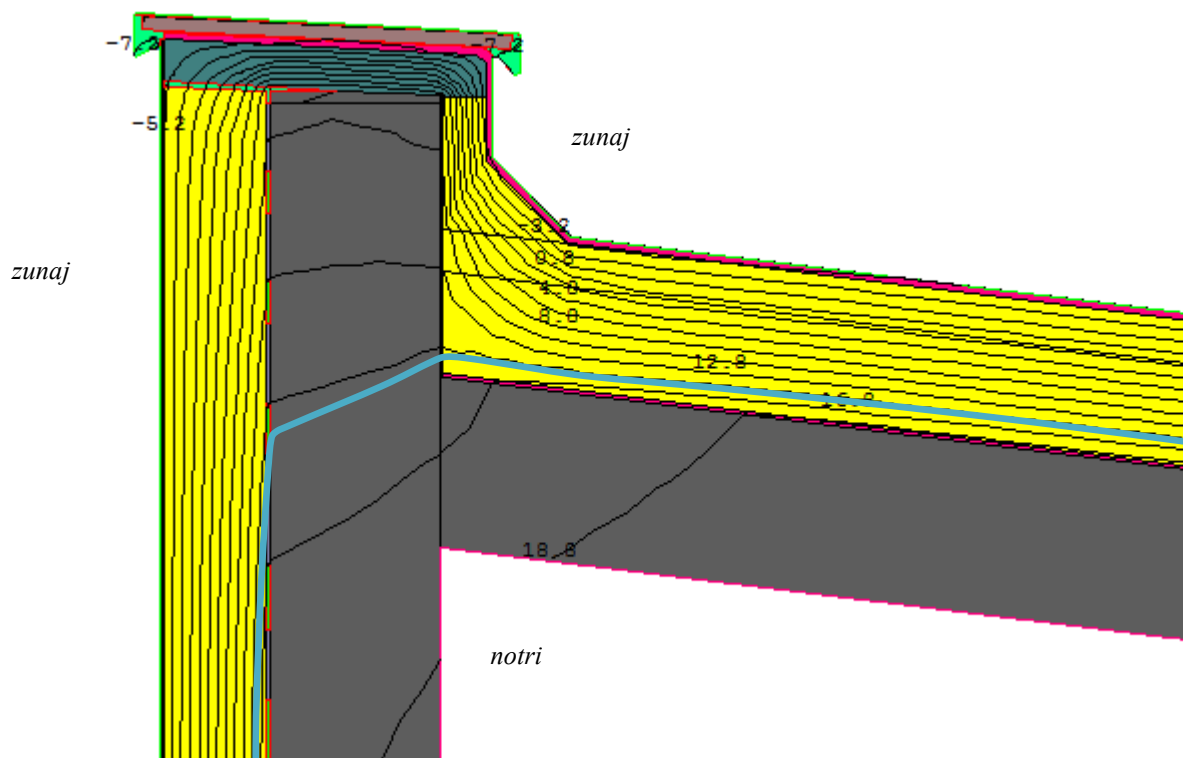
4.1 Atika

4.1.1 »A-1«

OPIS KRIŽANJA

Strešna plošča, kot tudi nosilna stena sta iz armiranega betona. Po zunanjem obodu mansardnih stanovanj poteka križanje strešne plošče in zunanje stene v območju atike. AB stena, ki se nad strešno ploščo dviguje cca 40 cm, je na zunanji strani toplotno izolirana z 12 cm ekspandiranega polistirena (EPS). Vrh atike je toplotno izoliran s 5 cm EPS, ki je prekinjen z lesenimi letvami. Lesene letve na vrhu atike so nosilna konstrukcija za pločevinasto kapo. Parapet atike je na notranji strani toplotno izoliran s 5 cm EPS. Toplotna izolacija strehe sestavlja EPS v debelini 17 cm, ki je položena na parno oviro iz bitumenskih trakov z vgrajeno aluminijasto folijo in pokrita z več plastno hidroizolacijo iz bitumenskih trakov. Vrhnja plast bitumenskih trakov je zaščiten s škrljlem. Naklon strehe 7° je izveden z naklonom strešne AB plošče.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (A-1)



Slika 10: Simulacija toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1). Ravnina rosišča je označena modro.

Atika predstavlja kombinacijo geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu. Simulacija je pokazala, da je najhladnejša temperatura na notranji površini v kotu in sicer 18,0 °C.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Vrhnji del kot tudi notranja stran atike sta toplotno izolirana le s 5 cm EPS. Relativno majhna debelina toplotne izolacije povzroča povečan toplotni tok po AB nosilni konstrukciji. Problem nizke površinske temperature notranje stene, zaradi slabše toplotne izolacije atike povečuje geometrijski toplotni most.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Smiselno je povečati debelino tanjše toplotne izolacije, predvsem na delu, ki je bližji notranji površini.

Za zmanjšanje toplotnega mostu sem uporabili naslednje ukrepe:

➤ A-1-01:

Povečal sem debelino toplotne izolacije na vrhu AB parapeta atike s 5 na 10 cm EPS.

➤ A-1-02:

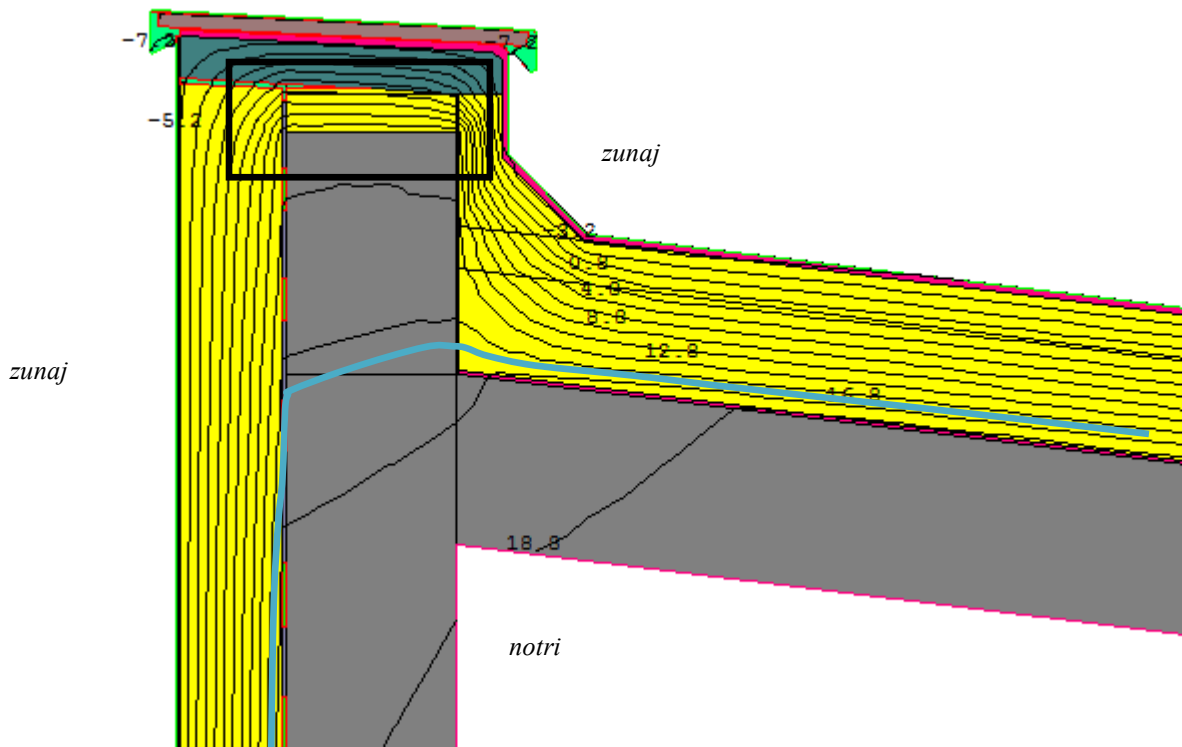
Povečal sem debelino toplotne izolacije vertikalnega dela atike na strani strehe s 5 na 10 cm EPS.

➤ A-1-03:

Dodatno sem toplotno izoliral vrh AB parapeta atike s 5 na 10 cm EPS in vertikalni del atike na strani strehe s 5 na 10 cm EPS.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

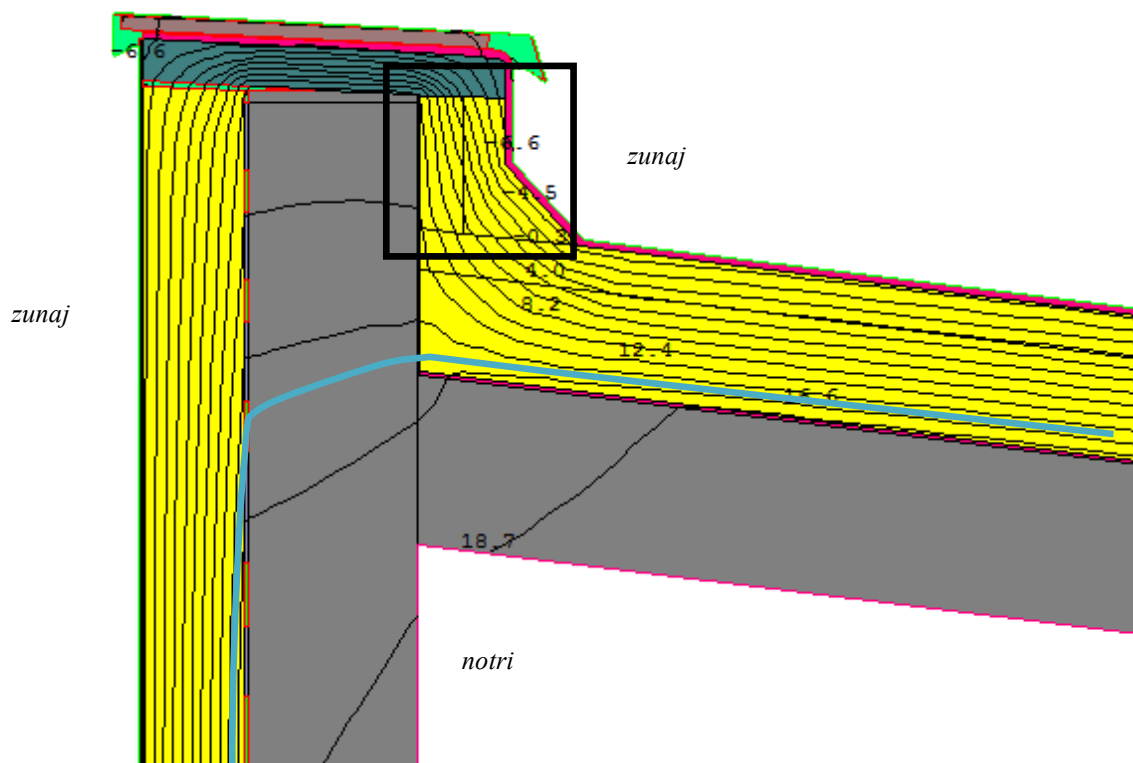
➤ A-1-01



Slika 11: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-01). Ravnina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da je najhladnejša temperatura na notranji površini v kotu, in sicer 18,3 °C. Z dodatno toplotno izolacijo vrha AB nosilne konstrukcije sem sicer povišal temperaturo AB konstrukcije v zgornjem delu atike za več kot 1 K, vendar se je izkazalo, da omenjen dvig temperature ne pride do izraza na notranji stanovanjski površini, kjer se je v primerjavi s prvotnim primerom temperatura dvignila le za 0,3 K.

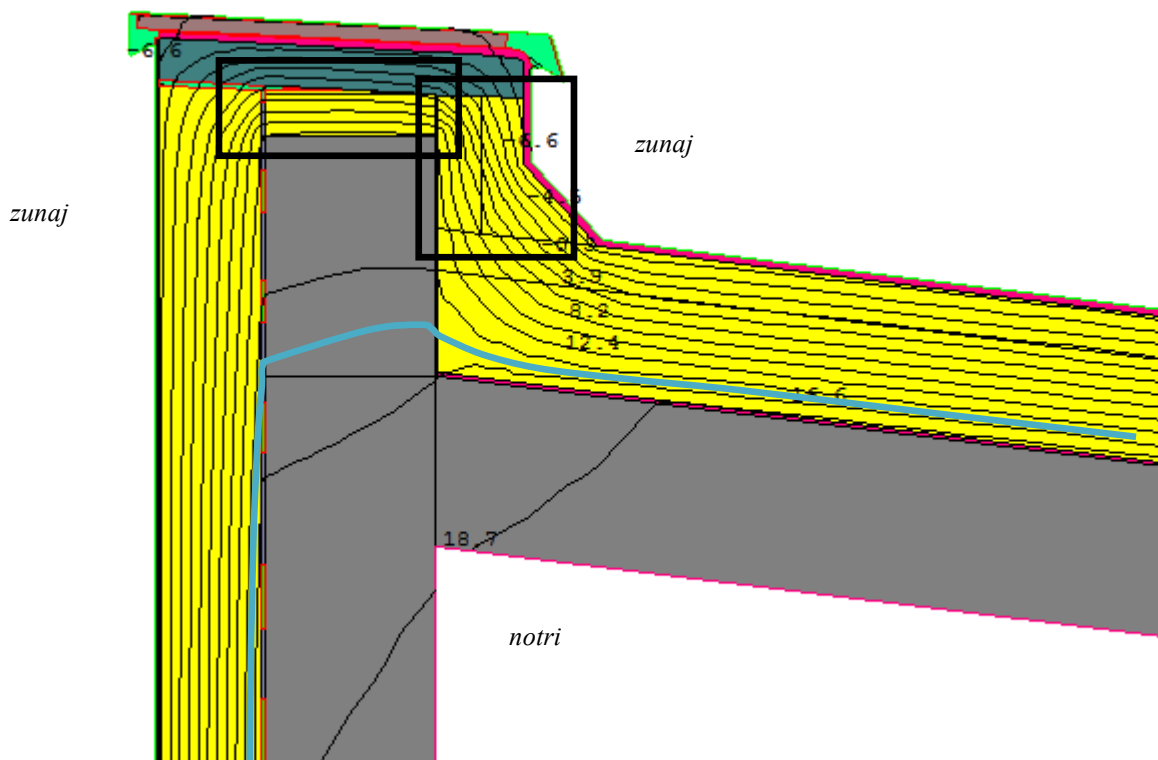
➤ A-1-02



Slika 12: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-02) Ravnilina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da je najhladnejša temperatura na notranji površini v kotu in sicer 18,2 °C. Z dodatno toplotno izolacijo vertikalnega dela atike na strani strehe sem povišal temperaturo na notranji stanovanjski površini le za 0,2 K. Podobno kot v prvem primeru se je AB konstrukcija tik pod odebeljeno toplotno izolacijo ogrela za približno 1 K, vendar ta dvig temperature nima velikega vpliva na spremembo temperature notranje stanovanjske površine.

➤ A-1-03



Slika 13: Simulacija izboljšane toplotnega mostu atike v prerezu (primer A-1-03). Ravnina rosišča je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.

Simulacija je pokazala najhladnejšo temperaturo na notranji površini v kotu, in sicer $18,5^{\circ}\text{C}$. S kombinacijo dodatne toplotne izolacije vertikalnega dela atike na strani strehe in dodatno toplotno izolacijo vrha AB nosilne konstrukcije sem povišal temperaturo na notranji-stanovanjski površini za $0,5^{\circ}\text{C}$. Atika predstavlja kombinacijo geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu. Z ukrepom sem skušal zmanjšati vpliv predvsem konstrukcijskega dela toplotnega mostu. Vzrok za majhno spremembo temperature je tudi ta, da je zunanosti izpostavljena relativno majhna površina toplotno slabše izolirane atike. Če bi bila atika višja, bi bil vpliv znatnejši.

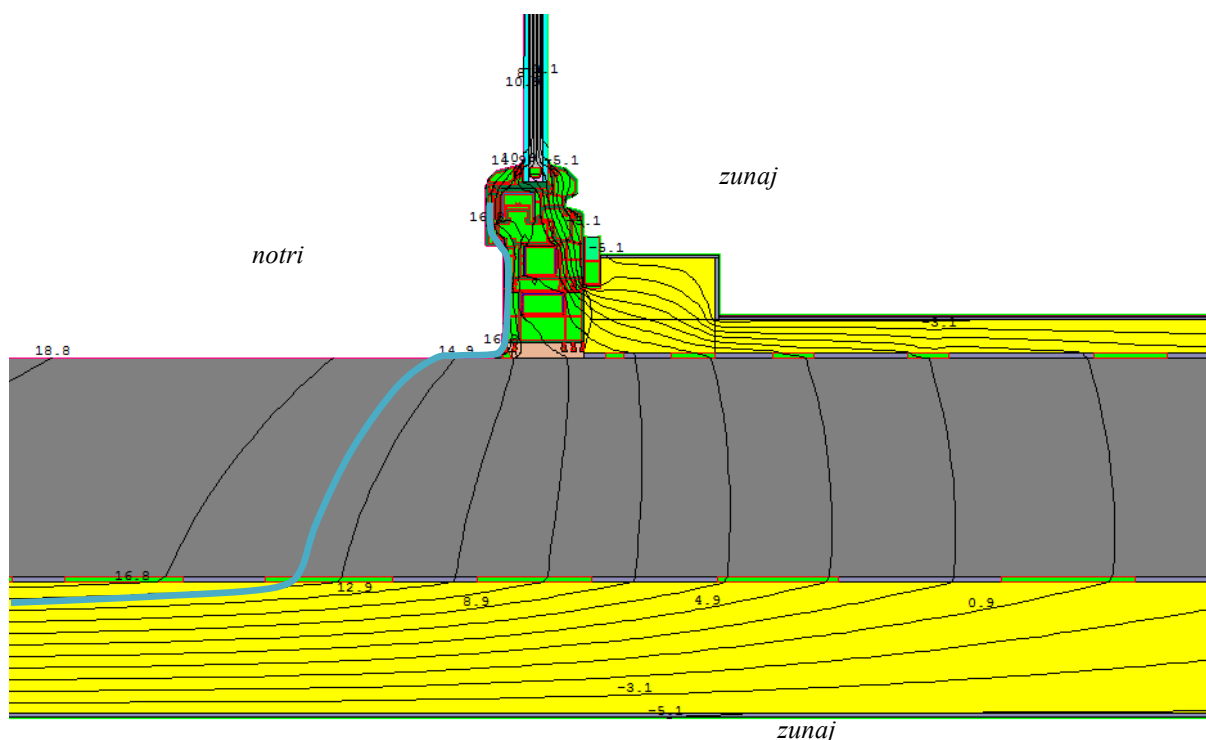
4.2 Loža

4.2.1 »L-1«

OPIS KRIŽANJA

Obravnavani toplotni most je prikazan v tlorisni ravnini. Pojavi se na križanju zunanje stene in balkonskih vrat, ki loči ložo na desni in stanovanje na levi strani. Zunanja stran AB stene je toplotno izolirana z 12 cm EPS. Parapetna ograja lože, ki je izvedena iz armiranega betona in se dotika ostale armiranobetonske nosilne konstrukcije stavbe, je visoka cca. 1,2 m. Parapetna ograja je na strani lože izolirana s 3 cm ekspandiranega polistirena. Toplotno izolirane so tudi špalete balkonskih vrat.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-1)



Slika 14: Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo toplotnega mostu sem ugotovil, da se pri projektni temperaturi zraka najhladnejši del stanovanjske površine v kotu ob obravnavanem toplotnem mostu ohladi na 13,9° C. Toplotni most je problematičen, saj bo ob projektni temperaturi na notranji površini stene vodna para kondenzirala že pri 64 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Največji problem predstavlja nosilna konstrukcija iz armiranega betona, ki je toplotno dobro prevoden material in tako omogoča prevajanje toplote iz stanovanjskega dela do stene lože, ki ima zunanjim temperaturam izpostavljeno večjo slabo izolirano površino. Balkonska vrata, ki ločijo ložo od stanovanja, imajo špaleta toplotno izolirano, vendar pa je na okvirju vrat tudi vodilo rolet, ki sega v toplotno izolacijo in zmanjša debelino toplotne izolacije ter tako dodatno poveča toplotni tok.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za izboljšanje stanja predlagam naslednje ukrepe:

➤ L-1-01:

Ugotovitev vpliva širine dilatacije iz EPS v AB steni v območju dotikanja balkonskih vrat s steno.

➤ L-1-02a:

Povečanje debeline izolacije AB stene v loži s 3 cm na 6 cm.

➤ L-1-02b:

Povečanje debeline izolacije AB stene v loži s 3 cm na 10cm.

➤ L-1-03:

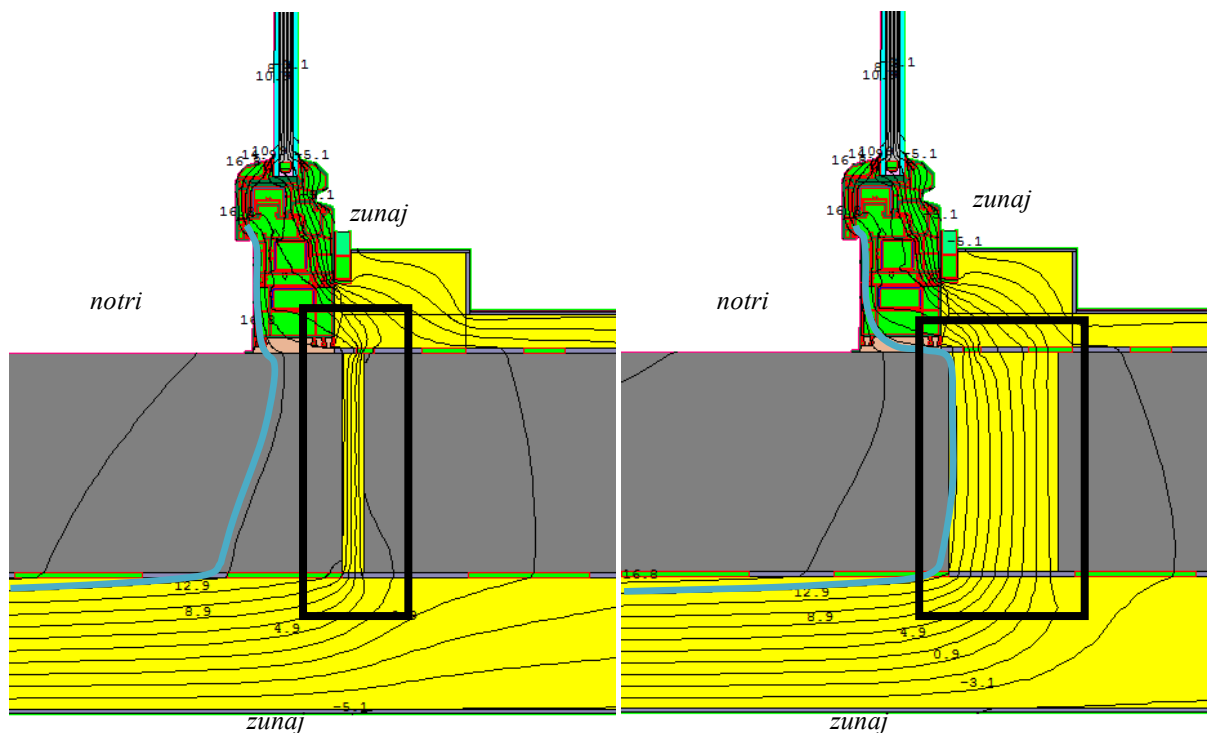
Odstranitev vodila za roletno iz toplotne izolacije na špaleti.

➤ L-1-04:

Toplotno izoliranje notranjega dela stene v stanovanju.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ L-1-01



Slika 15: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-01). Na levi sliki je AB konstrukcija prekinjena z 2 cm EPS, na desni pa z 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Toplotni most nastane zaradi toplotno prevodne AB stene, ki se nadaljuje iz nosilne konstrukcije stavbe v konstrukcijo parapetne ograje lože. Problem toplotnega mostu sem reševal z različno široko dilatacijo AB konstrukcije parapetne ograje. Izvedel sem več simulacij z različnimi širinami dilatiranja in tako ugotovil vpliv na temperaturo najhladnejšega dela površine stene v stanovanju.

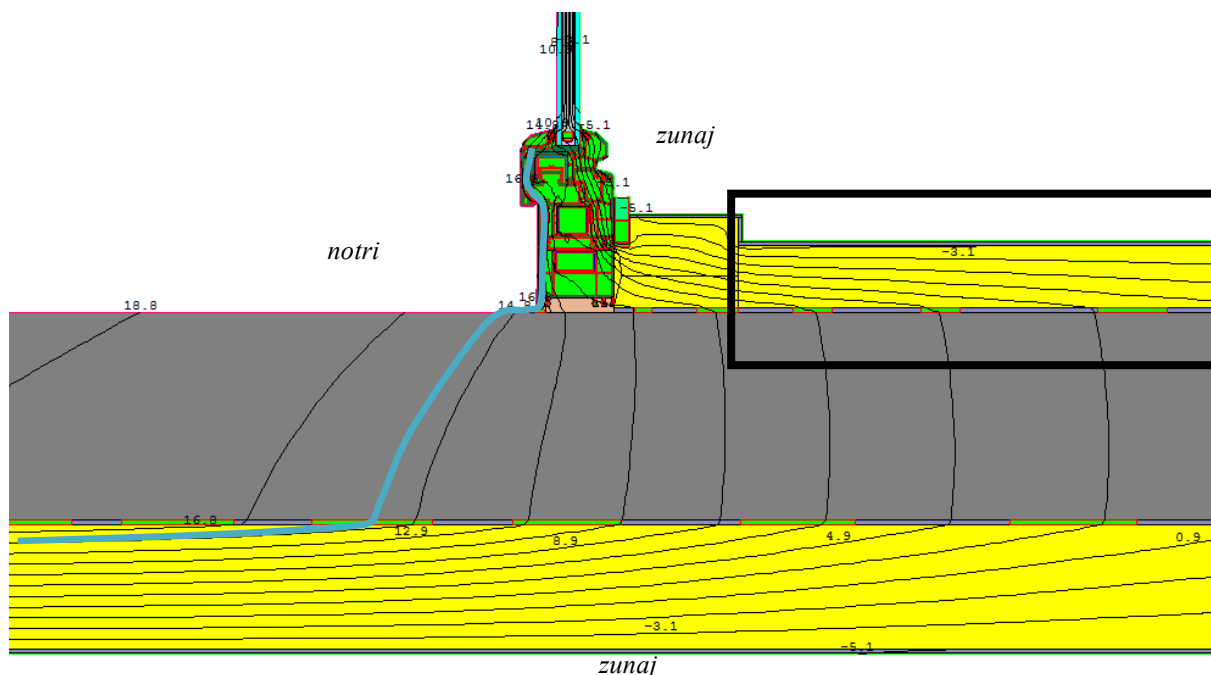
Na sliki 15 je prikazano, kako se različno široka dilatacija odraža na spreminjanju temperature notranjega dela toplotnega mostu, ki je posledica spreminjanja toplotnega toka skozi obravnavano križanje. V preglednici 2 kot tudi na sliki 15 je prikazano, da ima že manjša dilatacija relativno velik vpliv na spremembo temperature notranje površine. Pri dilataciji širine le 2 cm je temperatura

najhladnejše notranje površine 2,2 K višja kot v prvotnem primeru. 5 cm široka dilatacija povzroči 3,1 K višjo temperaturo najhladnejše notranje površine kot v prvotnem primeru brez dilatacije.

Preglednica 2: Temperatura najhladnejše notranje površine [°C] v odvisnosti od širine dilatacije [cm].

širina dilatacije [cm]	0	0,5	1	2	3	4	5	7	10	15
temperatura najhladnejše notranje površine [°C]	13,9	14,8	15,4	16,1	16,5	16,8	17,0	17,3	17,6	17,9

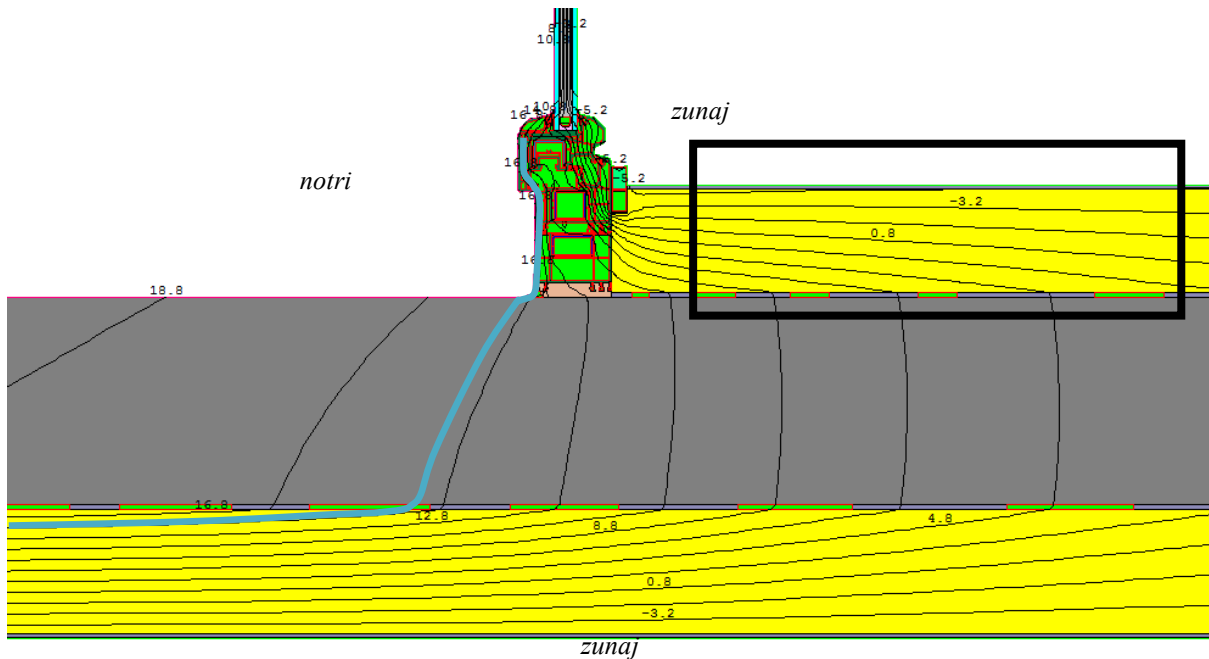
➤ L-1-02a



Slika 16: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-02a). Notranji del lože ima odebeljeno toplotno izolacijo s 3 cm na 6 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da s povečanjem debeline toplotne izolacije v loži s 3 cm na 6 cm na notranji strani AB parapeta v danih temperaturnih pogojih povišamo temperaturo na najhladnejšem delu notranje stene s 13,9 °C na 14,6 °C. Izkazalo se je, da povečanje debeline toplotne izolacije na notranjem delu lože ni zadostno za odpravo površinske kondenzacije vodne pare.

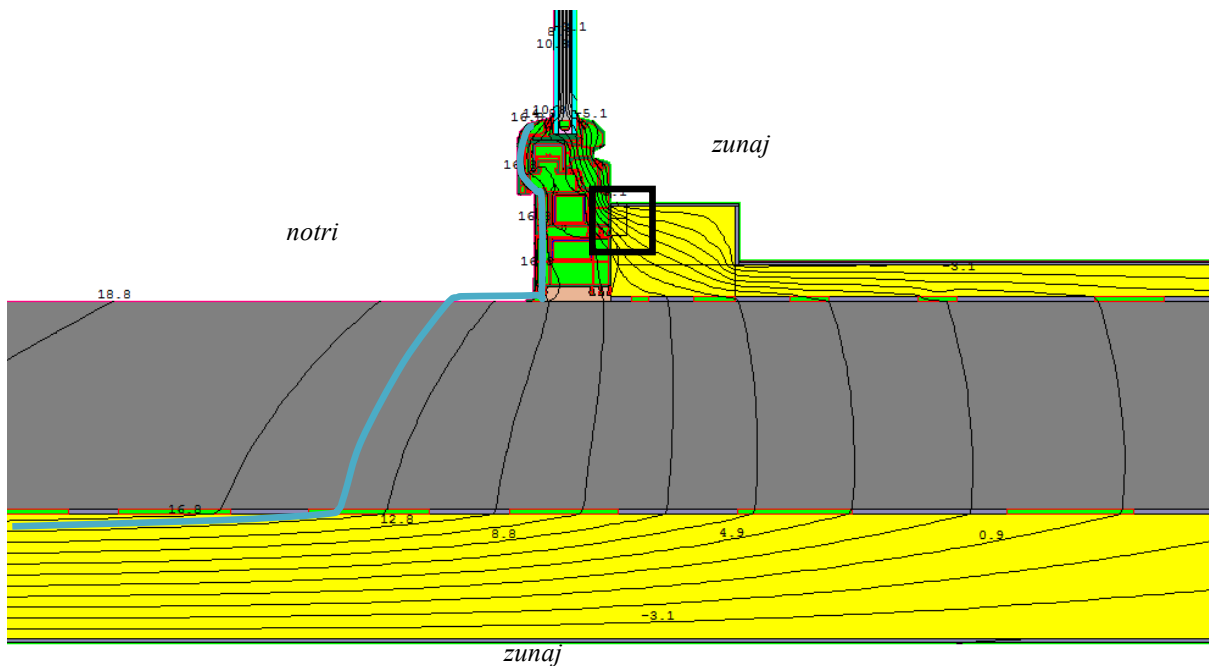
➤ L-1-02b



Slika 17: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-1-02b). Notranji del lože ima toplotno izolacijo odebeljeno na 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

S simulacijo sem ugotovil, da s povečanjem debeline toplotne izolacije na notranji strani AB stene v loži s 3 cm na 10 cm povišamo temperaturo na najhladnejšem delu notranje stene na 15,5 °C. To je 1,6 K več kot v prvotnem primeru, ki je dovolj za preprečevanje kondenzacije vodne pare pri projektni 70 odstotni relativni zračni vlažnosti.

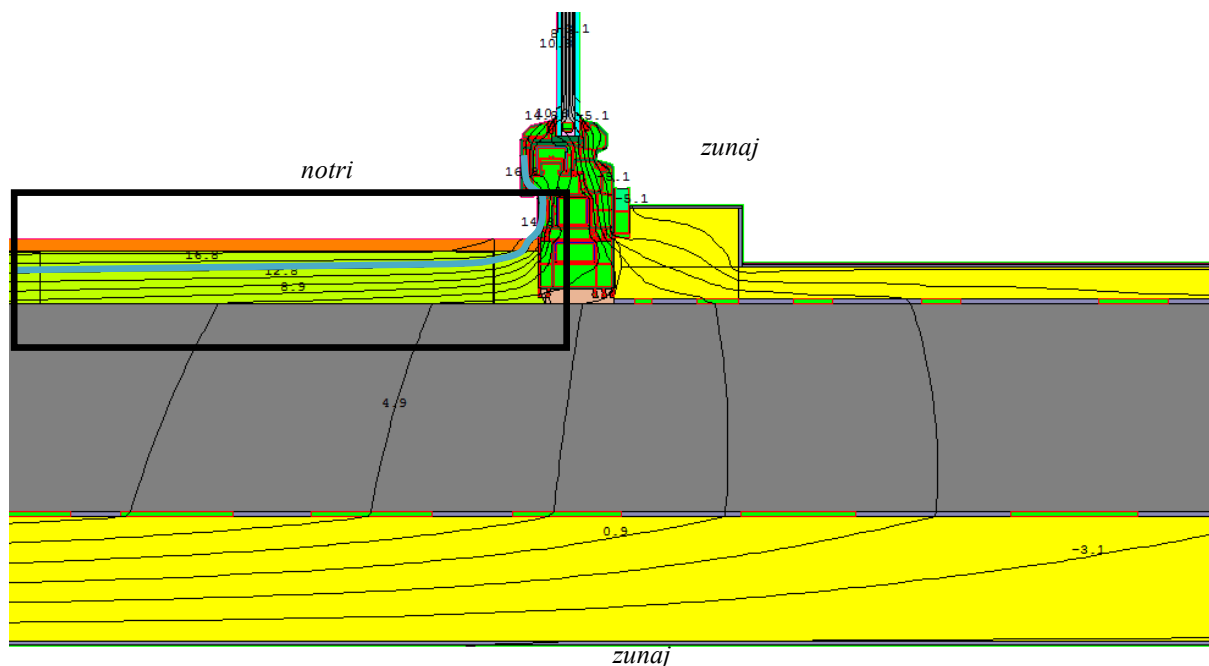
➤ L-1-03



Slika 18: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože brez vodila za senčila v tlorisu (primer L-1-03). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Izvedel sem simulacijo modela brez vodil za senčila, ki so bila v prvotnem primeru vgrajena v špaleta ob balkonskih vratih. Izkazalo se je, da ima vgrajeno vodilo za senčila majhen vpliv na temperaturo stene na notranji strani. Izveden ukrep se je izrazil v manjšem dvigu temperature na notranji strani stene ob balkonskih vratih, in sicer za 0,2 K, kar ne vpliva veliko na premik ravnine rosišča.

➤ L-1-04



Slika 19: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože brez vodila za senčila v tlorisu (primer L-1-03). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Po izvedenem modeliranju toplotnoizolacijske obloge na notranji stanovanjski površini sem simuliral novo stanje izoterm po prerezu. Simulacija je pokazala, da je temperatura mavčno-kartonske obloge na notranji strani tik ob okenskem okvirju le 14,8 °C, kar pomeni, da bo pri einiranih pogojih v tem delu prišlo do površinske kondenzacije vodne pare. Vendar temperatura površine na notranji strani, v primerjavi s prvotnim primerom, z oddaljenostjo od okenskega okvirja raste hitreje. Že en centimeter od okenskega okvirja je temperatura površine na notranji strani 16 °C.

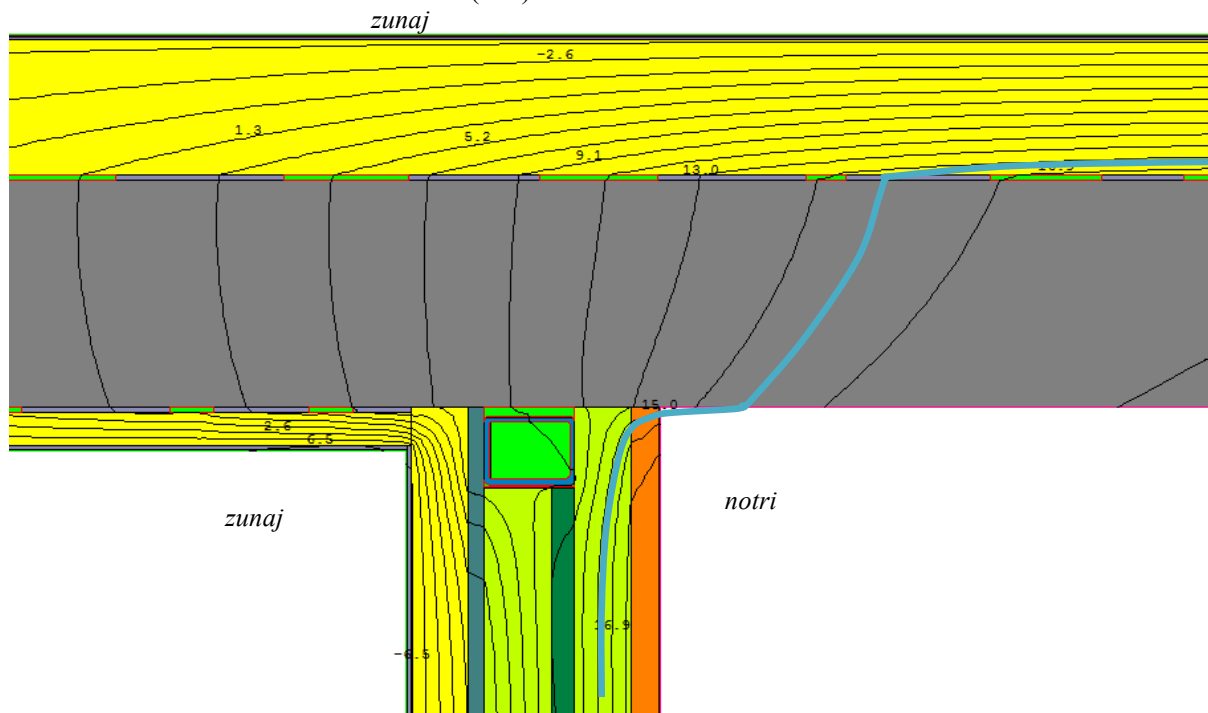
Od preizkušenih ukrepov se je za najučinkovitejšega izkazal prvi primer (L-1-01), pri katerem sem z dilatiranjem AB stene zmanjšal toplotni tok po nosilni konstrukciji iz notranjega dela v ložo. Za preprečevanje površinske kondenzacije zadostuje 1 cm široka dilatacija z vstavljenim EPS. Kot drugi primernejši ukrep se je izkazal primer »L-1-02«, kjer sem AB parapet lože toplotno izoliral na notranji strani. Za zadovoljivo toplotno izolacijo je bil potreben 10 cm debel sloj EPS. Manj primeren ukrep za zmanjševanje toplotnega mostu je izvedba toplotne izolacije na notranji strani stene. V tem primeru je v ozkem pasu ob okenskem okvirju še vedno prenizka temperatura za preprečevanje kondenzacije vodne pare. Poleg tega se ravnina rosišča premakne v toplotno izolacijo na notranji strani nosilne AB stene. Ukrep »L-1-03«, pri katerem sem preizkusil vpliv v toplotno izolacijo vgrajenega vodila senčila, se je izkazal za ne primerne in ni pokazal občutnega učinka.

4.2.2 »L-2«

OPIS KRIŽANJA

Toplotni most, ki je prikazan v tlorisni ravnini, se pojavi na križanju zunanje stene in lahke fasadne stene, ki razmejuje ložo na levi in stanovanje na desni strani. Armirano betonska stena je na zunanji strani toplotno izolirana z 12 cm EPS. V obodni AB steni je v predelu lože večja odprtina, ki ji daje lastnosti zunanjega prostora. Zunanja AB stena lože je na notranji strani izolirana s 3 cm EPS. Lahka fasadna stena, ki loči ložo od notranjega dela stanovanja, ima nosilno konstrukcijo iz jeklenega okvirja. Polnilo lahke fasadne stene je mineralna volna. Na notranji strani je stena pokrita s polietilensko folijo in mavčno kartonsko ploščo. Na zunanji strani je stena pokrita z vlaknocementno ploščo in 5 cm EPS, ki je zaključen s tankoslojnim akrilnim ometom.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-2)



Slika 20: Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

S simulacijo toplotnega mostu v prvotnem stanju sem ugotovili, da je temperatura najhladnejše notranje površine v kotu med lahko fasadno steno in zunanjo AB steno 14,5 °C.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Armirano betonska stena je s strani lože toplotno izolirana le s 3 cm EPS in predstavlja občutno oslabitev toplotno izolacijskega ovoja. Velik problem predstavlja nosilna konstrukcija, ki je iz toplotno zelo prevodnega materiala in tako omogoča prevajanje toplote iz stanovanjskega dela mimo toplotno izolirane lahke fasadne stene do lože, ki ima zunanjim temperaturam izpostavljene veliko slabše izolirane površine. Lahka fasadna stena ima na lokaciji jeklene konstrukcije stanjšano toplotno izolacijo. Na okvirju jeklene konstrukcije je le 5 cm ekspanziranega polistirena in 5 cm mineralne

volne. Zaradi jeklene nosilne konstrukcije so linijsko slabše toplotno izolirani deli lahke fasadne stene. Jeklena konstrukcija je locirana na robove lahke fasadne stene. Toplotni most je zaradi prevajanja toplote po betonu obodne stene v kombinaciji z oslavitvami toplotne izolacije lahke fasadne stene še izrazitejši.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za izboljšanje stanja predlagam naslednje ukrepe:

➤ L-2-01a:

Prekinitev AB stene na lokaciji križanja z 10 cm EPS.

➤ L-2-01b:

Prekinitev AB stene na lokaciji križanja za debelino lahke fasadne stene.

➤ L-2-02a:

Povečanje debeline toplotne izolacije notranje strani AB stene v loži na 6 cm.

➤ L-2-02b:

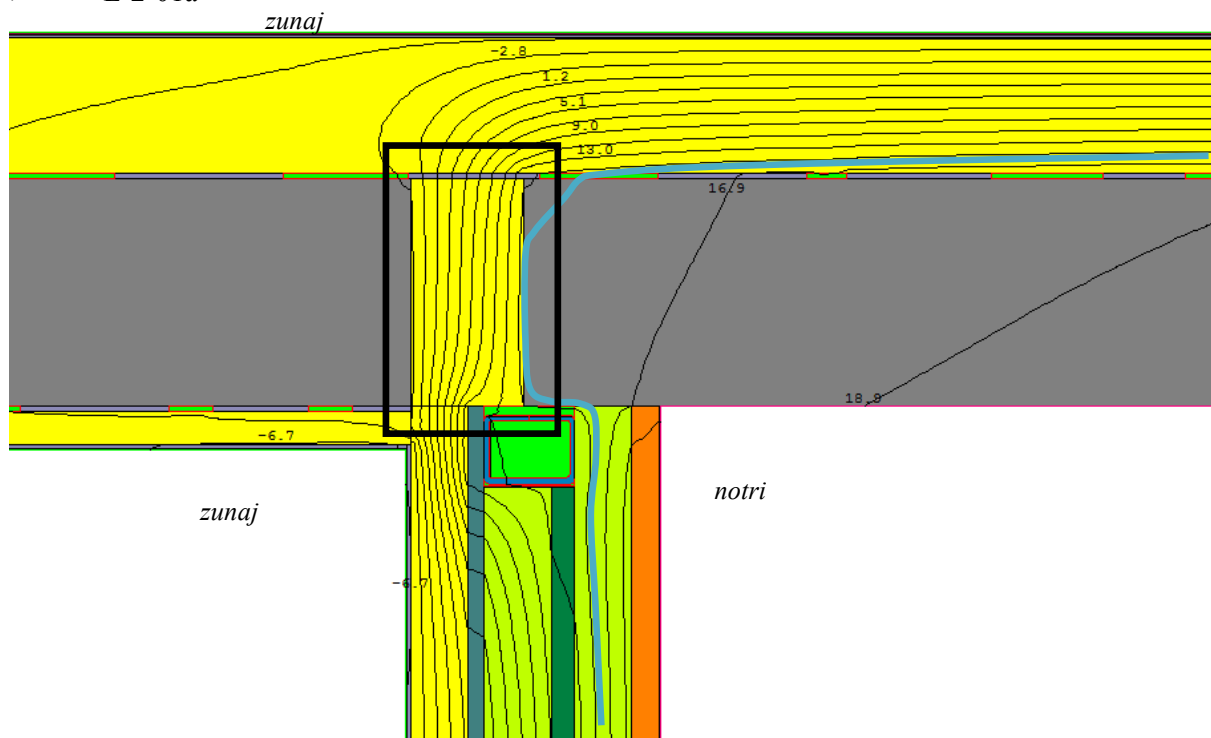
Povečanje debeline toplotne izolacije notranje strani AB stene v loži na 12 cm.

➤ L-2-03:

Odmik jeklene konstrukcije lahke fasadne stene od AB stene za 10 cm.

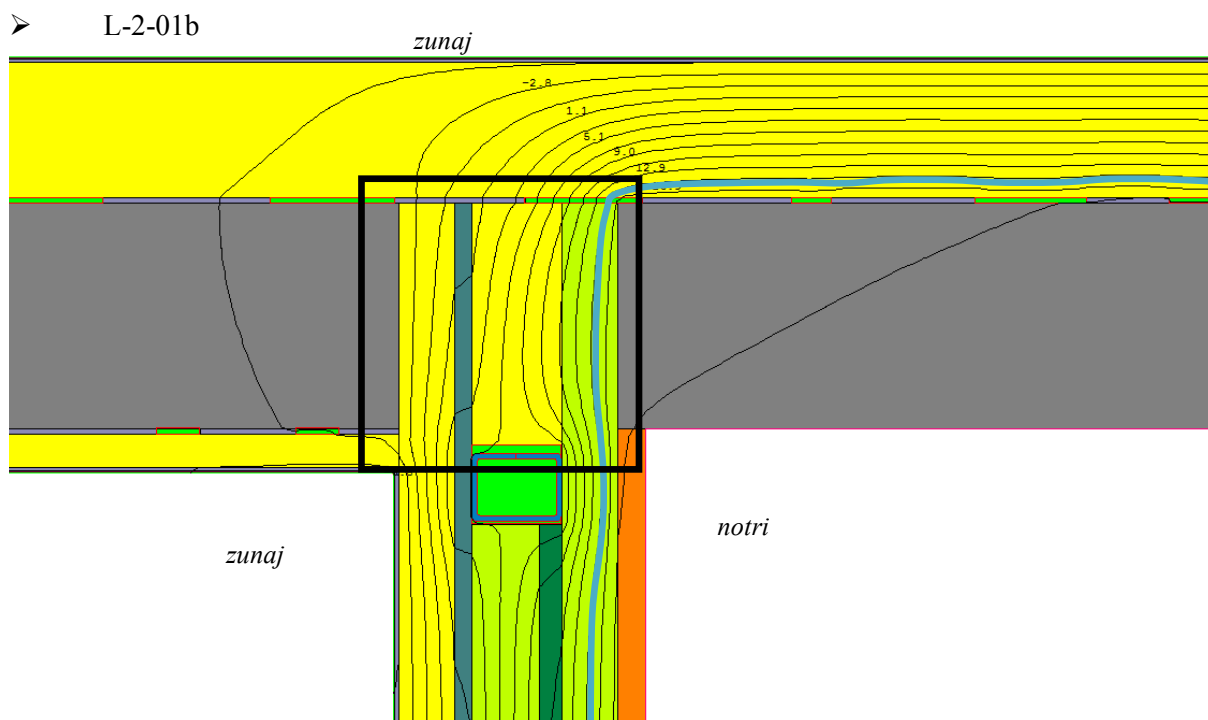
REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ L-2-01a



Slika 21: Simulacija izboljšane toploinskega mostu lože v tlorisu (primer L-2-1a). AB stena je na lokaciji križanja prekinjena z 10 cm EPS. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

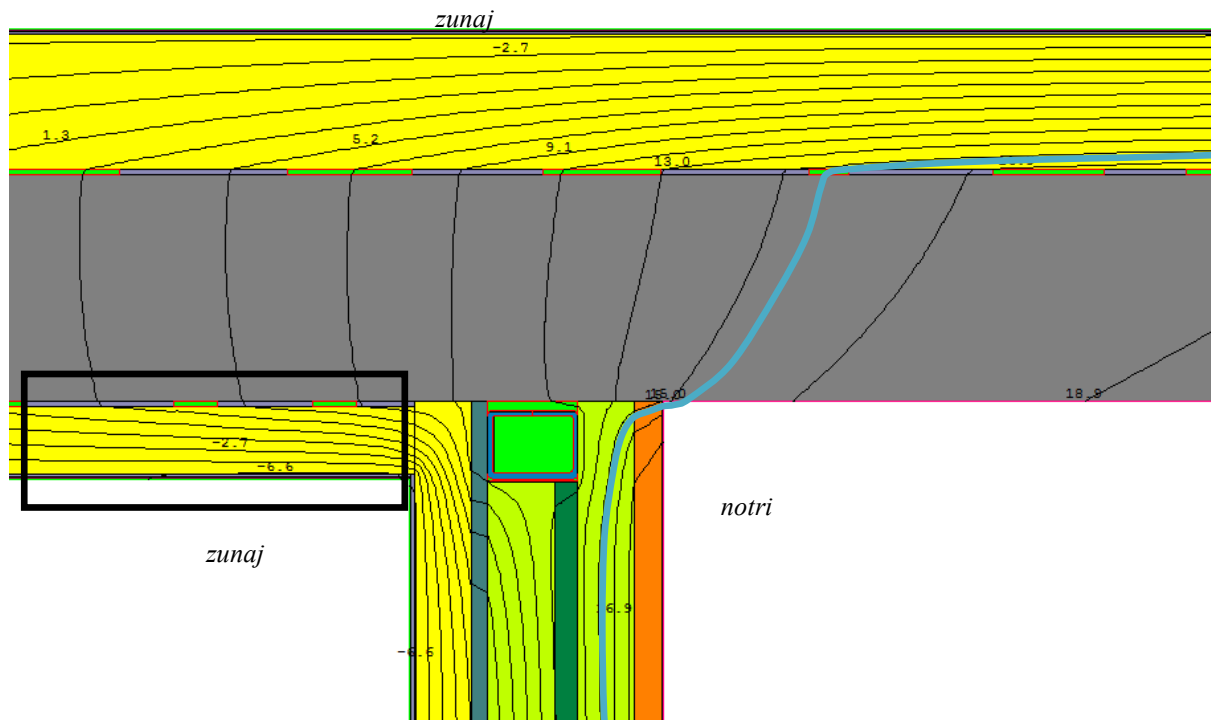
Kot je pokazala simulacija, omogoča prekinitev nosilne konstrukcije obodne stene in zapolnitev dilatacije z 10 cm EPS občutno povišanje temperature notranjega dela stene. In sicer se temperatura najhladnejše notranje površine stene poviša na 17,6 °C. To je 3,1 K višja temperatura kot v prvotnem primeru in omogoča preprečevanje kondenziranja vodne pare do relativne zračne vlažnosti v prostoru 81 %. Ravnina rosišča je v območju lahke fasadne stene za parno zaporo, v območju obodne stene pa za debelejšim slojem armiranega betona. Načrtovanje takega ukrepa v fazi projektiranja omogoča njegovo relativno nezahtevno izvedbo.



Slika 22: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-1b). AB stena je na lokaciji križanja prekinjena z debelino lahke fasadne stene. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

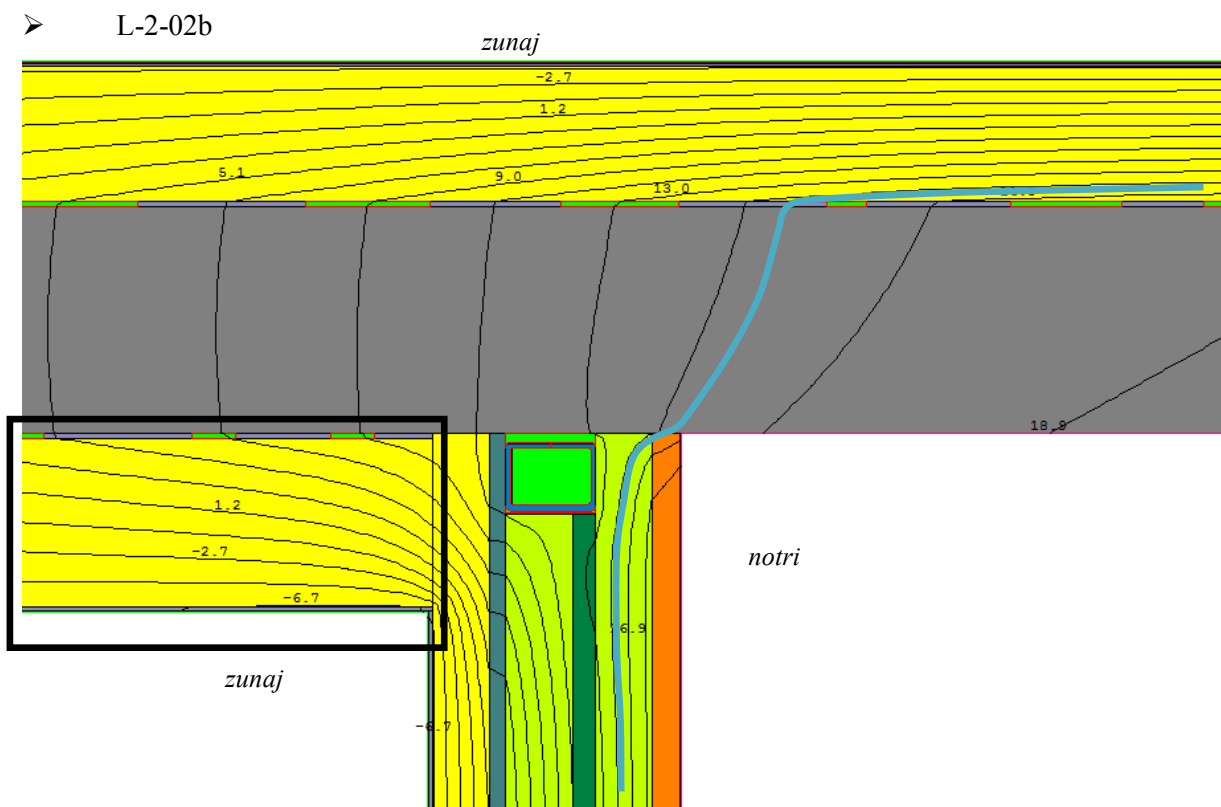
Najboljši rezultat sem dobil s prekinitvijo obodne stene s celo debelino lahke fasadne stene. Simulacija je pokazala, da je temperatura najhladnejše notranje površine stene v kotu med lahko fasadno steno in zunanjo AB steno 19,0 °C. To je 4,5 K več kot v prvotnem primeru. Dilatacija nosilne konstrukcije je v tem primeru široka 19,5 cm, enako kot debelina lahke fasadne stene. S tem ukrepom sem spojil lahko fasadno steno s toplotno izolacijo obodne AB stene, kar predstavlja izvedbo neprekinjenega toplotno-izolacijskega ovoja.

➤ L-2-02a



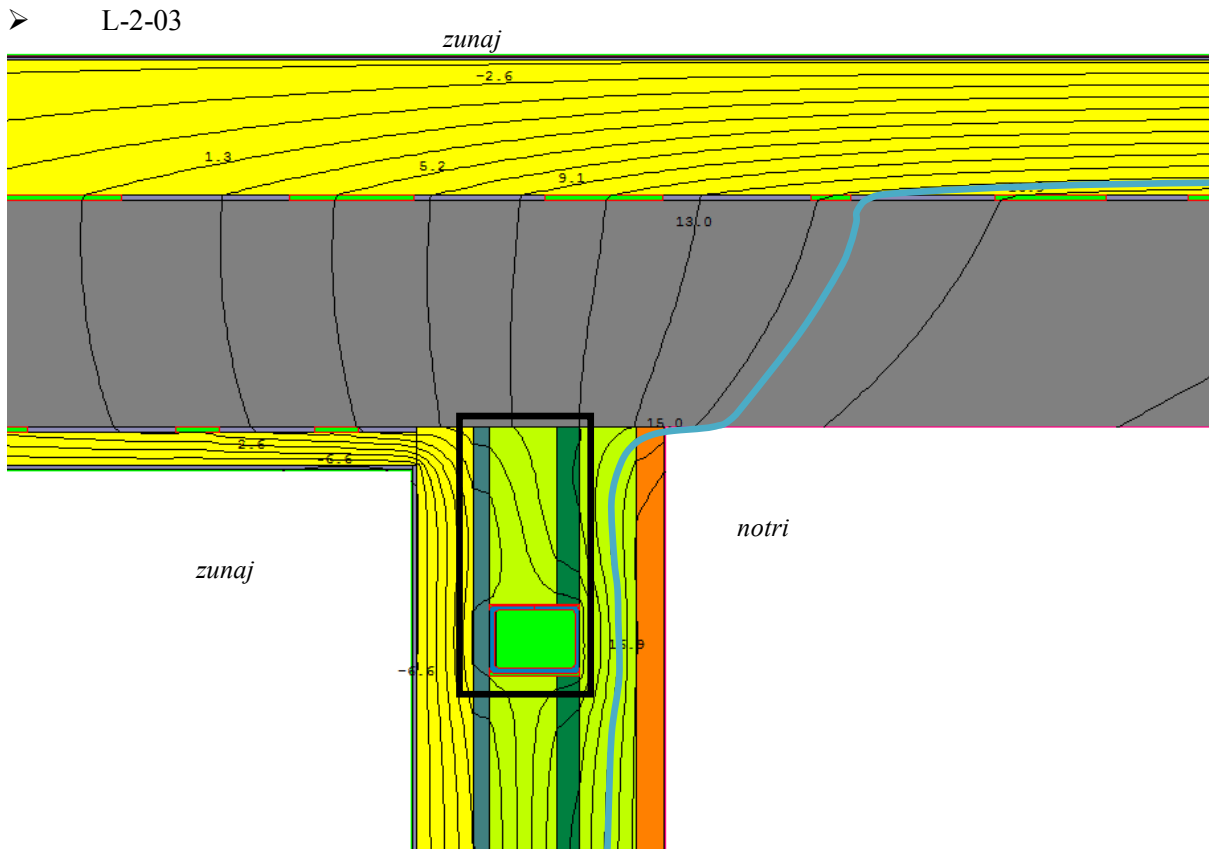
Slika 23: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-2a). Debelina toplotne izolacije na notranji strani AB stene v loži je povečana na 6cm. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija je pokazala povišanje temperature najhladnejše notranje površine stene na 15,1 °C. To je 0,6 K več kot v prvotnem primeru, kar pa ni dovolj za preprečevanje kondenziranja vodne pare pri projektnih pogojih. Očitno je, da predstavlja velik vpliv na obravnavani toplotni most slabo toplotno izolirana notranja stran AB stene v loži. Primer izboljšave je pokazal vpliv povečanja toplotne izolacije notranje strani obodne AB stene v loži, in sicer s 3 cm na 6 cm debelo plast EPS.



Slika 24: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-2b). Debelina toplotne izolacije na notranji strani AB stene v loži je povečana na 12cm. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija modela z 12 cm debelo toplotno izolacijo na notranji strani parapeta lože je pokazala povišanje temperature najhladnejše notranje površine stene na 15,9 °C. To je 1,4 K več kot v prvotnem primeru in zadošča za preprečevanje kondenziranja vodne pare pri projektih pogojih. Dodatna debelina EPS obloge na notranji strani parapeta lože pa je nekoliko neugodna zaradi zmanjševanja uporabne površine. V prvotnem primeru je loža široka 1,3 m. Z dodatno debelino toplotne izolacije bi se uporabna površina lože zmanjšala za 7 %.



Slika 25: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-2-3). Jeklena konstrukcija lahke fasadne stene je odmaknjena od AB stene. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

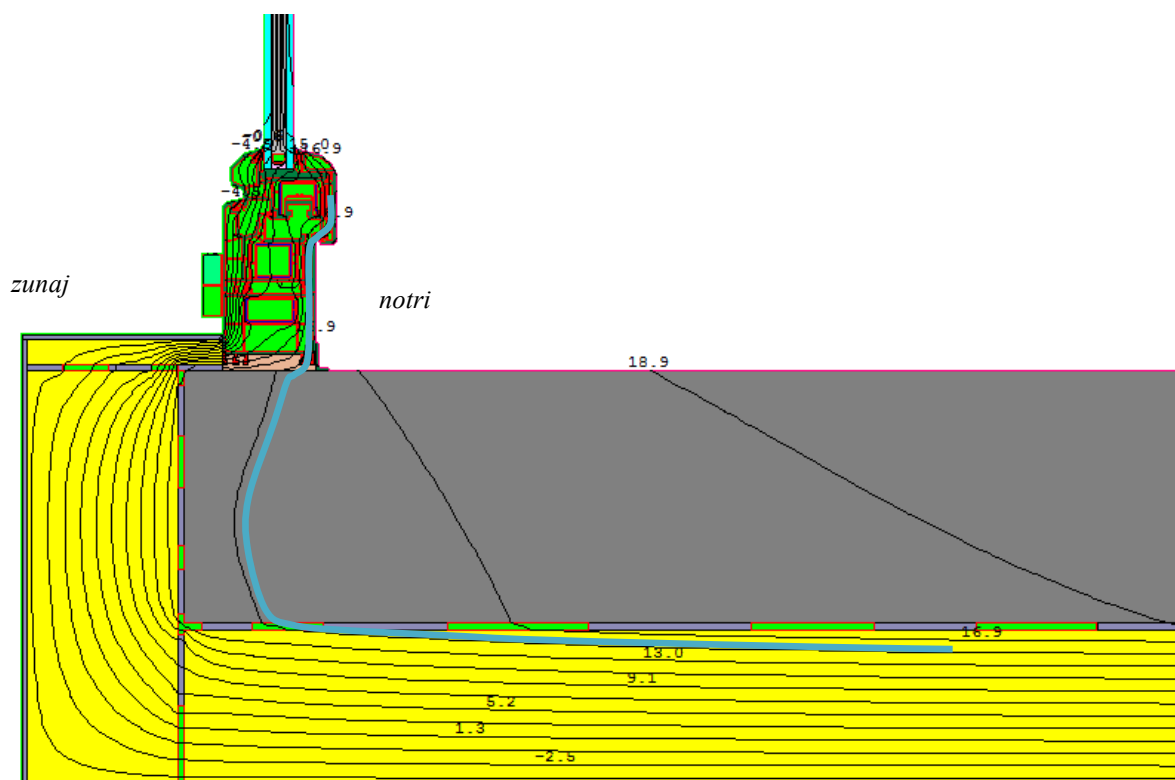
V primeru odmika jeklene nosilne konstrukcije, ki linijsko zmanjšuje toplotno izolativnost lahke fasadne stene, od obodne AB stene je simulacija pokazala povišanje temperature najhladnejše notranje površine stene le za 0,1 K v primerjavi s prvotnim primerom. Izkazalo se je, da ima lokacija jeklene konstrukcije lahke fasadne stene relativno majhen vpliv na obravnavani toplotni most.

4.2.3 »L-3«

OPIS KRIŽANJA

V območju lože so obodne AB stene prekinjene. Zunanji ovoj stavbe tako pridobi nekaj dodatnih križanj. Obravnavani primer toplotnega mostu se zgodi pri 'L' križanju. V vogalu se krak AB stene dotika balkonskih vrat. Na robu lože, kjer je obodna AB stena prekinjena, je toplotna izolacija nameščena na zunanji strani. Toplotna izolacija je iz 12cm debele plasti EPS v izvedbi fasade s tankoslojnim ometom. Toplotno izolacijski ovoj se nadaljuje z balkonskimi vrati, ki so vgrajena pod pravim kotom glede na os obodne AB stene. Balkonska vrata so od zunanje strani nosilne konstrukcije stene zamaknjena 3,5 cm proti stanovanju. Tako je širina špaleta balkonskih vrat 3,5 cm širok zamik vgradnje od roba AB nosilne stene ter debelina toplotne izolacije s pripadajočo plastjo lepila in zunanjega tankoslojnega ometa. Špaleta je toplotno izolirana z 2 cm EPS.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-3)



Slika 26: Simulacija toplotnega mostu lože v tlorisu (primer L-3). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil, da je temperatura najhladnejše notranje površine 16,5°C. Na površini stene na notranji strani ob oknu bi se kondenzirala vodna para pri 75 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Na obravnavanem križanju je več dejavnikov, ki povzročajo povečano linijsko toplotno prehodnost in posledično znižujejo temperaturo površin na notranji strani stene. Obravnavano križanje je z vidika toplotnega toka neugodno ne le zaradi geometrije, ampak tudi zaradi oslabljenega toplotno izolacijskega ovoja v bližini balkonskih vrat. Problematična je predvsem slabo izolirana špaleta balkonskih vrat. Ravnina rosišča poteka po betonu, zato se beton navlažuje. Ravnina rosišča, ki je na okenskem okviru tik pod površino, ni problematična, ker je za stavbno pohištvo izbran material polivinil klorid (PVC), ki ima velik difuzijski upor vodni pari, hkrati pa ni občutljiv na visoko vlažnost.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Osnovni primer L-3, ki je izhodišče za izvedbo naslednjih izboljšav sem preimenoval L-3-01 oz L-3-01a. Za zmanjševanje toplotnega toka sem izvedel naslednje izboljšave:

- L-3-01, L-3-02, L-3-03:

Premik balkonskih vrat proti sloju toplotne izolacije na zunanji strani AB stene.

- L-3-01a, L-3-01b, L-3-01c:

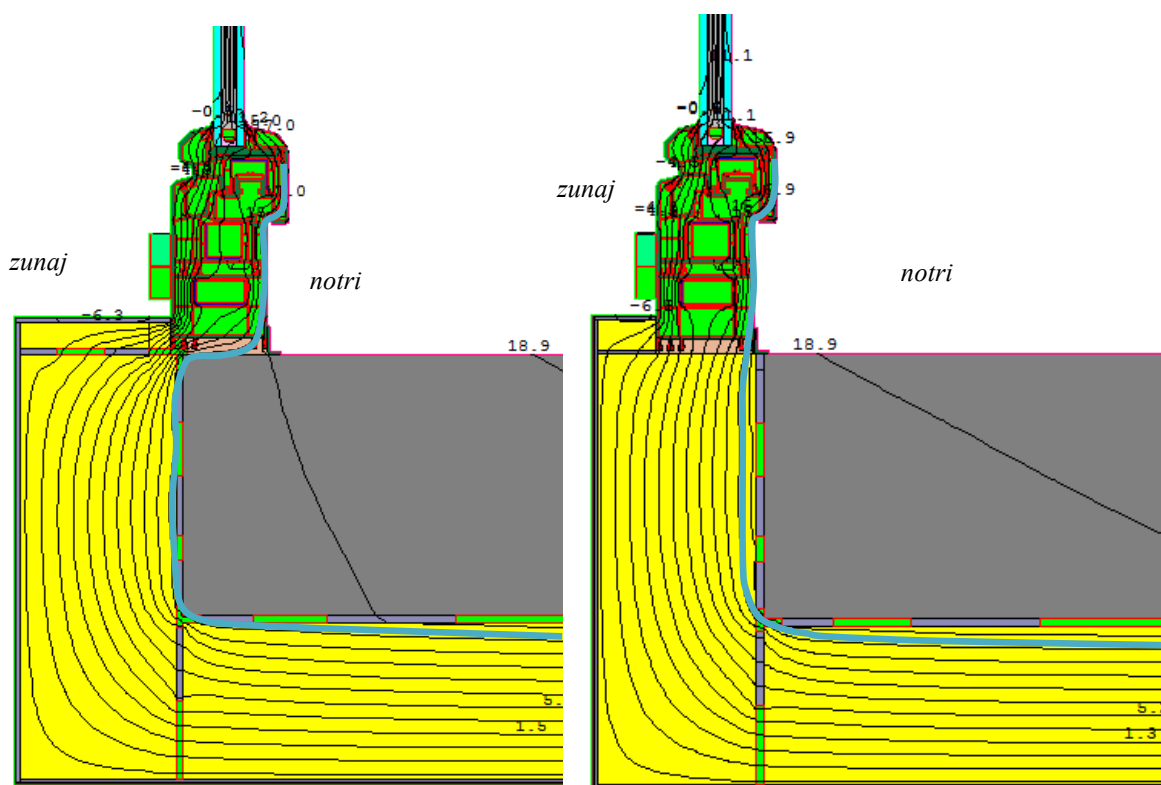
Povečevanje debeline toplotne izolacije špalete.

- Kombinacija povečanja debeline toplotne izolacije in premika balkonskih vrat proti zunanji strani.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

- L-3-01, L-3-02, L-3-03

Izvedel sem premik balkonskih vrat proti toplotni izolaciji na zunanji strani AB stene. V prvem primeru (L-3-01) toplotnega mostu je okno oziroma so balkonska vrata vgrajena z zunanjim robom okvirja 3,5 cm za zunanjim robom AB nosilne konstrukcije. V drugem primeru (L-3-02) sem balkonska vrata v primerjavi s prvim primerom prestavil 4,5 cm proti zunanjemu delu oziroma 1,0 cm čez rob AB stene. V tretjem primeru (L-3-03) sem balkonska vrata v primerjavi z drugim primerom prestavil v toplotno izolacijski sloj.



Slika 27: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v tlorisu s premikom okna proti zunanjemu delu (primer L-3-02 na levi in L-3-03 na desni). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S premikanjem balkonskih vrat proti zunanosti sem zmanjševal širino slabše toplotno izolirane zunanje špalete, kar se je odrazilo v rezultatih. Simulacija je pokazala, da je premik balkonskih vrat za 4,5 cm proti zunanjemu delu (primer L-3-02) pripomogel k povišanju temperature najhladnejše površine na notranji strani stene za 0,9 K oziroma na 17,4 °C. S premikom balkonskih vrat za naslednjih 6,5 cm proti zunanjemu delu (primer L-3-03) so vrata v ravnini toplotno izolacijskega

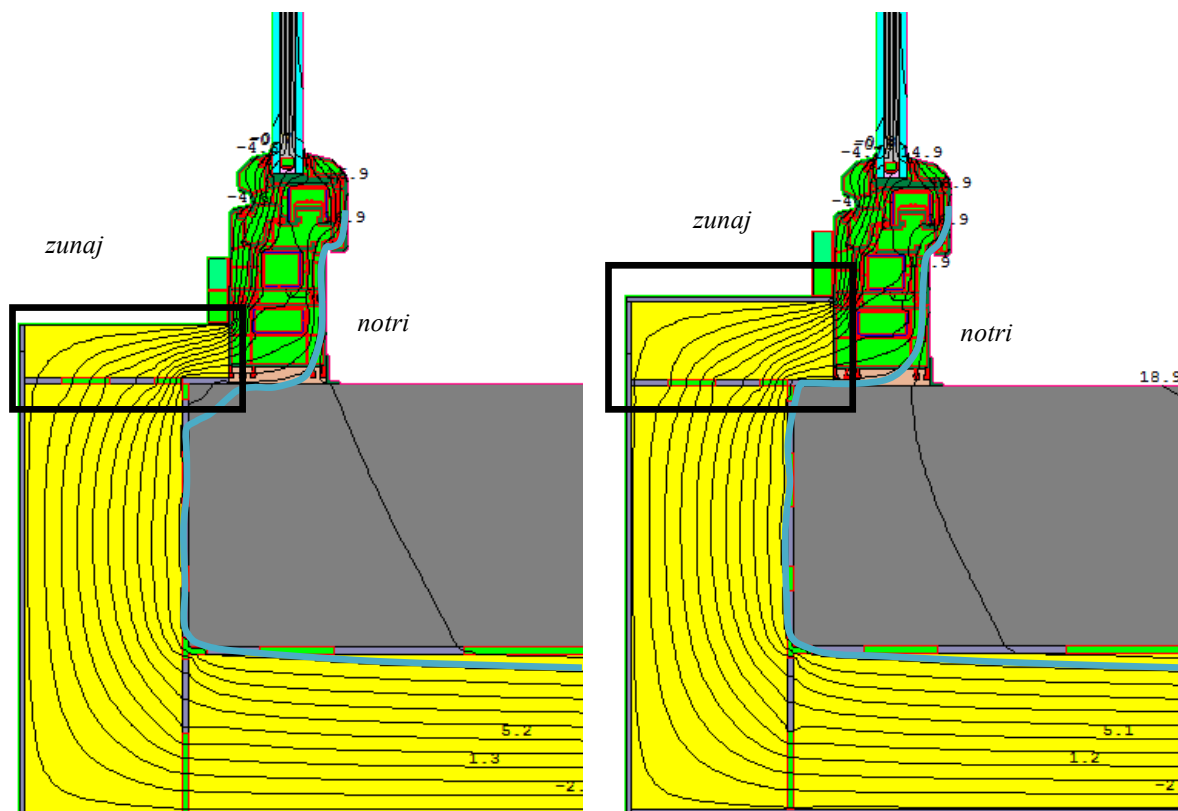
ovoja. V tem primeru se je temperatura najhladnejše površine na notranji strani stene povišala na 18,4 °C.

Preglednica 3: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« [°C] v odvisnosti od premika balkonskih vrat proti zunanjemu delu konstrukcijskega sklopa [cm].

primer izboljšave toplotnega mostu »L-3«	L-3-01	L-3-02	L-3-03
premik balkonskih vrat od prvotnega stanja proti zunanjemu delu konstrukcijskega sklopa[cm]	0	4,5	11
temperatura najhladnejše površine na notranji strani konstrukcijskega sklopa v območju križanja [°C]	16,5	17,4	18,4

➤ L-3-01a, L-3-01b, L-3-01c

Izvedel sem tri primere povečanja debeline toplotne izolacije špalete balkonskih vrat. Primer toplotnega mostu »L-3-01« sem simuliral s tremi različnimi debelinami toplotne izolacije špalete. V prvotnem primeru (»a«) ima 2 cm, primer »b« ima 4 cm in primer »c« 5 cm debelo toplotno izolacijo na zunanji špaleti.



Slika 28: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu s povečano debelino toplotne izolacije na špaleti (primer »L-3-01b« na levi in »L-3-01c« na desni). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

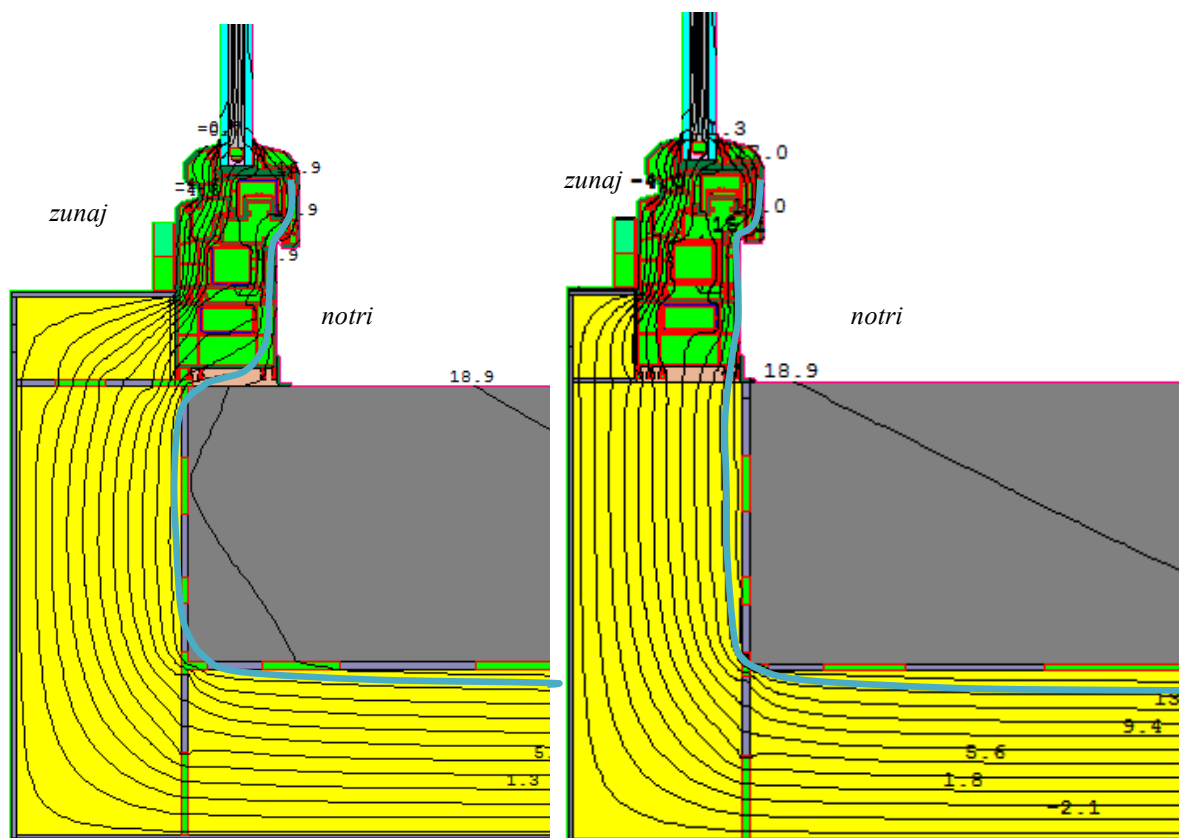
Simulacija je pokazala, da je pri povečanju debeline toplotne izolacije špalete z 2 cm na 4 cm temperatura najhladnejše površine na notranji strani stene narasla s 16,5 °C na 17,3 °C. V tem primeru se je temperatura povečala za 0,8 K. Pri naslednjem povečevanju debeline toplotne izolacije na 6 cm je temperatura najhladnejše površine na notranji strani stene narasla na 17,7 °C.

Preglednica 4: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« [°C] v odvisnosti od debeline toplotne izolacije špalete [cm].

primer izboljšave toplotnega mostu »L-3«	L-3-01a	L-3-01b	L-3-01c
debelina toplotne izolacije špalete [cm]	2	4	6
temperatura najhladnejše površine na notranji strani [°C]	16,5	17,3	17,7

- Kombinacija povečanja debeline toplotne izolacije špalete in premika balkonskih vrat proti zunanji strani.

Izvedel sem kombinacijo povečanja debeline toplotne izolacije in premika balkonskih vrat proti zunanji strani. Podobno, kot sem s tremi različnimi debelinami 2 cm, 4 cm in 6 cm toplotne izolacije špalete simuliral prvi primer (L-3-01) toplotnega mostu, sem z različnimi debelinami toplotne izolacije špalete simuliral tudi drugi (L-3-02) in tretji (L-3-03) primer toplotnega mostu.



Slika 29: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v tlorisu s povečano 6 cm deblo toplotno izolacijo na špaleti in zamikom okna proti zunanemu delu (primer »L-3-02c« na levi in »L-3-03c« na desni). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala največji vpliv povečanja debeline toplotne izolacije na zunanji špaleti pri prvem primeru (L-3-01), ki ima največji zamik vgrajenega okna proti notranjem delu AB stene. Pri povečanju debeline toplotne izolacije špalete z 2 cm na 6 cm je temperatura najhladnejše površine na notranji strani stene narasla za 1,2 K oziroma s 16,5 °C na 17,7 °C.

V drugem primeru (L-3-02) je pri povečanju debeline toplotne izolacije špalete z 2 cm na 6 cm temperatura najhladnejše površine na notranji strani stene narasla za 0,6 K oziroma s 17,4 °C na 18,0 °C.

V tretjem primeru (L-3-03), pri katerem je okvir okna ali vrat postavljen v ravnino zunanje toplotnoizolacijskega ovoja, ima povečanje debeline toplotne izolacije špalete z 2 cm na 6 cm manjši vpliv na temperaturo najhladnejše površine na notranji strani stene. Povečana debelina toplotne izolacije špalete je v tem primeru vplivala na povišanje notranje površinske temperature z 18,4 °C na 18,8 °C.

Pri vseh primerih izboljšav toplotnega mostu sem povišal temperaturo notranje površine stene ob oknu. Temperatura najhladnejše notranje površine okenskega okvira pa ostaja le malo nad rosiščem in sicer je to odvisno od posameznega primera, med 15,5 °C in 16 °C.

Preglednica 5: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-3« v odvisnosti od kombinacij debeline toplotne izolacije špalete (a, b, c) in zamika balkonskih vrat proti zunanjim plastem konstrukcijskega sklopa (L-3-01, L-3-02, L-3-03).

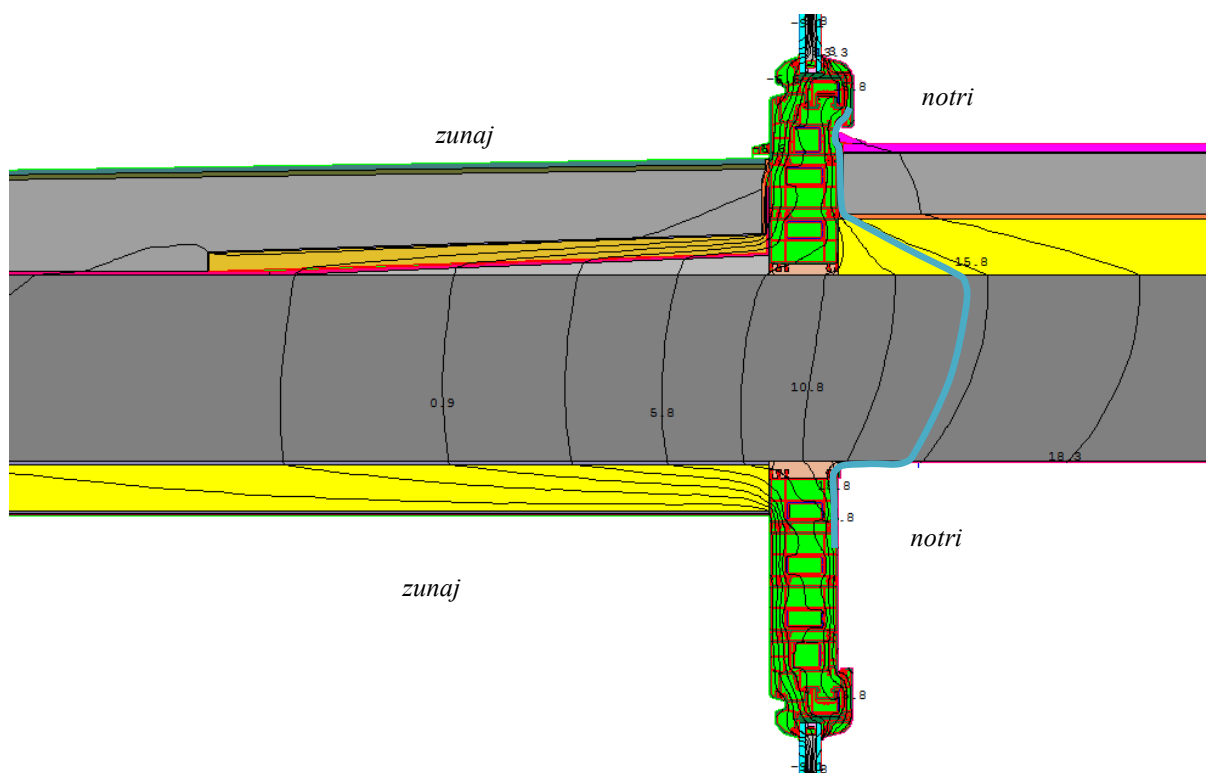
debelina toplotne izolacije špalete [cm]	premik balkonskih vrat od prvotnega stanja proti zunanjemu delu konstrukcijskega sklopa[cm]	0	4,5	11
		L-3-01	L-3-02	L-3-03
2	a	16,5	17,4	18,4
4	b	17,3	17,8	18,6
6	c	17,7	18,0	18,8

4.2.4 »L-4«

OPIS KRIŽANJA

Problematicen toplotni most je prisoten na križanju medetažne plošče z vertikalno panoramsko steno. Iz stanovanjskega dela se medetažna plošča za križanjem s panoramsko steno nadaljuje v balkon. V stanovanjskem delu je na plošči plavajoči pod s 6 cm toplotno izolativnega EPS, 0,5 cm zvočno izolativnega ekspandiranega polietilena in 6,5 cm debelega estriha z leseno talno oblogo. Estrih je od stene in spodnjega dela okvira balkonskih vrat dilatiran s 0,5 cm debelim slojem ekspandiranega polietilena. V stanovanjskem delu je AB plošča s spodnje strani obdelana le z disperzijsko izravnalno maso. Na zunanji strani pa je plošča toplotno izolirana na spodnji strani s 5 cm ekspandiranega polistirena in na zgornji strani z 2 cm ekstrudiranega polistirena v 0,6 metra širokem pasu.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-4)



Slika 30: Simulacija toplotnega mostu lože v prerezu (primer L-4). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo razporeditve izoterm po prerezu sem ugotovil, da je najhladnejša notranja površina obravnavanega toplotnega mostu strop stanovanja, ki je ob križanju AB plošče s panoramsko steno. Najhladnejši del stropa tik ob okviru panoramske stene se ohladi na 13,9 °C. Pri tej temperaturi se vodna para kondenzira pri 64 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Zaradi križanja nosilne konstrukcije je v fasadnem pasu prekinjena toplotna izolacija. Velik problem je v betonski nosilni konstrukciji, ki je toplotno zelo prevoden material in tako omogoča prevajanje toplote iz stanovanjskega dela v ploščo balkona, ki je slabše toplotno izolirana. Armirano betonska plošča je na balkonu toplotno najslabše izolirana na zgornji strani, zato bi bilo prav tu smiselno povečati toplotno izolacijo.

Razporeditev izoterm kaže poleg nizke temperature stropa še na nižjo temperaturo zgornje strani plošče, ki je pod estrihom izolirana z EPS in ekspanziranim polietilenom. Primer toplotnega mostu je problematičen tudi zaradi kondenziranja vode na lokaciji nizkih temperatur pod estrihom ob okviru balkonskih vrat.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjševanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

➤ L-4-01:

Povečanje debeline toplotne izolacije na zgornji strani balkona na 5cm.

➤ L-4-02:

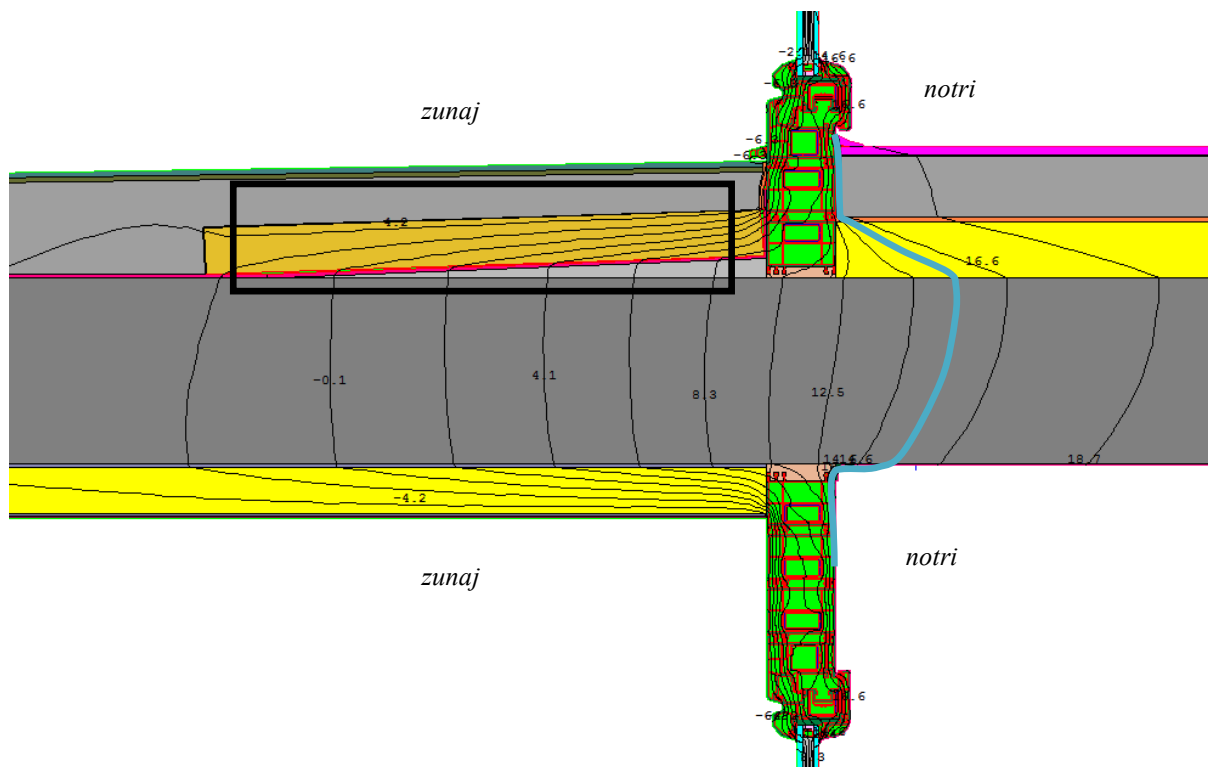
Povečanje širine toplotne izolacije na zgornji strani balkona s 60 cm na 120 cm.

➤ L-4-03:

Izvedba nosilne konstrukcije z uporabo izolacijskih armaturnih košar.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

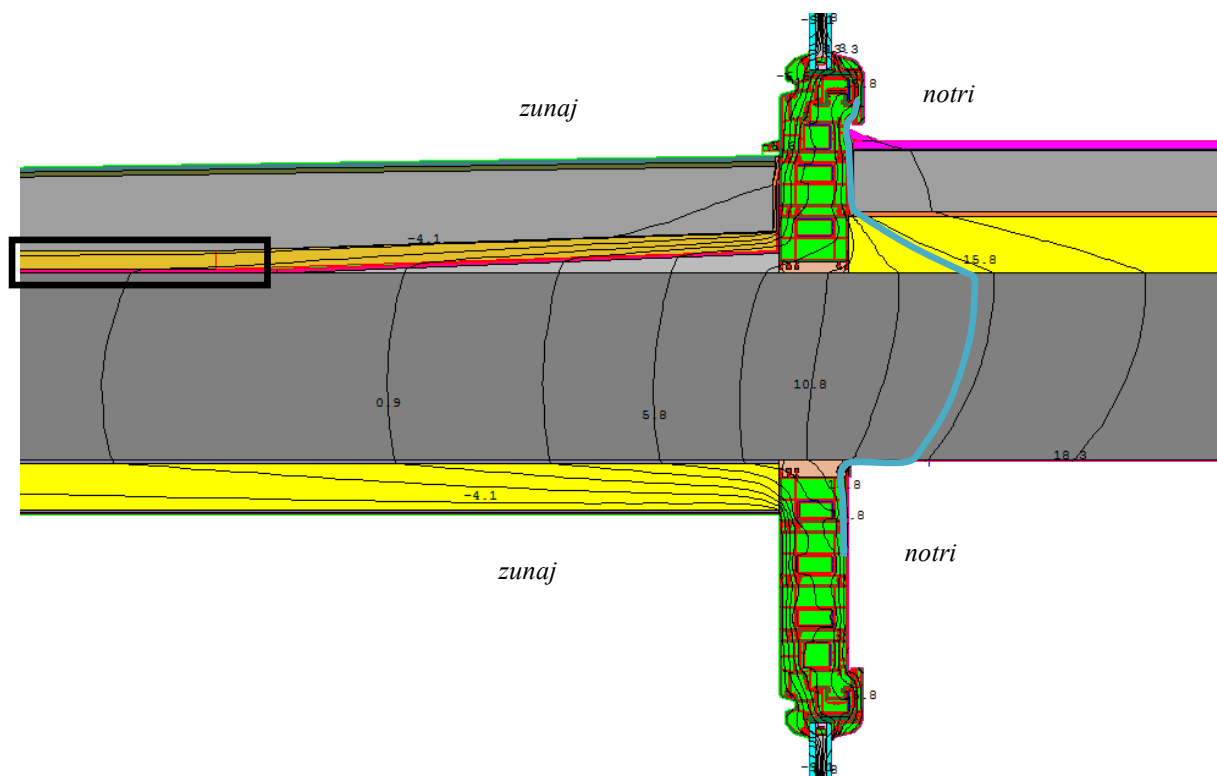
➤ L-4-01



Slika 31: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v prerezu s povečano debelino na 5 cm toplotne izolacije na AB plošči (primer »L-4-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

S simulacijo sem ugotovil učinek povečanja debeline toplotne izolacije na zgornji strani balkona z 2 na 5 cm EPS. Temperaturo na najhladnejšem delu stropa sem z ukrepom dvignil s 13,9 °C na 14,5 °C, to je za 0,6 K. V prvotnem modelu toplotnega mostu se je pojavila površinska kondenzacija vodne pare pri 64 % relativne zračne vlažnosti. Izkazalo se je, da izveden ukrep preprečuje nastanek površinske kondenzacije vodne pare pri 66,5 odstotni relativni zračni vlažnosti. Bistveno povečana debelina toplotne izolacije pa bi povzročila druge težave, kot je problem višine tlaka. Moral bi prilagoditi višino tlaka, ki lahko vpliva na izvedbo več drugih detajlov, ki so nujni za zanesljivo izvedbo hidroizolacije.

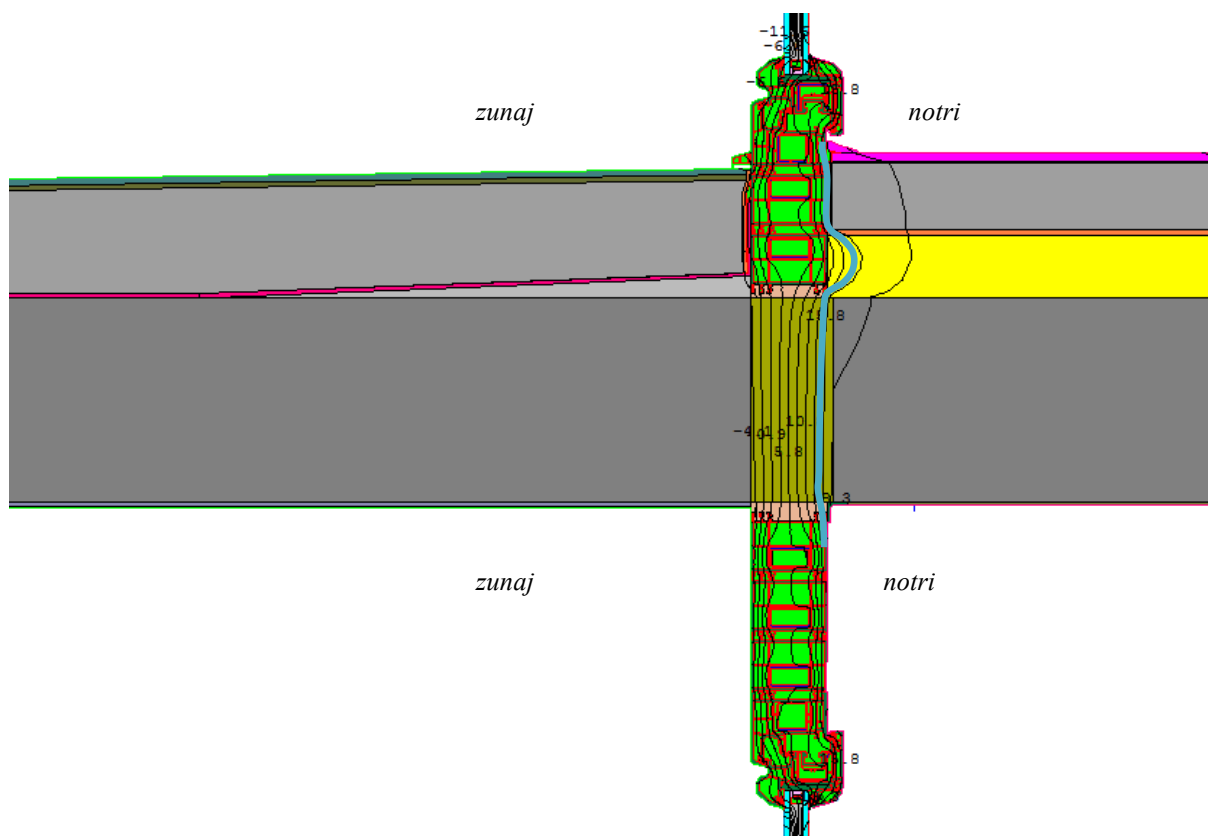
➤ L-4-02



Slika 32: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože v prerezu s povečano širino toplotne izolacije na zgornji strani AB plošče s 60 cm na 120 cm (primer »L-4-02«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Preveril sem učinek polaganja toplotne izolacije XPS na zgornji strani balkona v širini 120 cm. S simulacijo sem ugotovil, da je temperatura na najhladnejšem delu stropa pod obravnavanim križanjem 14,1 °C. V prvotnem primeru je bila toplotna izolacija na zgornji strani balkona v širini 60 cm. Izkazalo se je, da je učinek polaganja toplotne izolacije v dvakratni širini relativno majhen in ni zadosten za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare. Temperatura na najhladnejšem delu stropa v izboljšanem modelu toplotnega mostu je le za 0,2 K višja kot v prvotnem primeru.

➤ L-4-03



Slika 33: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu lože v prerezu z uporabo armaturne košare v ravnini zunanega toplotnoizolacijskega ovoja stavbe (primer »L-4-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo izboljšanega modela toplotnega mostu sem ugotovil relativno veliko spremembo v razporeditvi izoterm po prerezu. Uporabil sem armaturno košaro v ravnini zunanega toplotnoizolacijskega ovoja, ki je na obravnavanem primeru toplotnega mostu točno med okvirjema panoramske stene. Z uporabo armaturne košare se je temperatura najhladnejšega dela notranje površine dvignila za 5 K oziroma na 18,9 °C, kar je dovolj za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare pri projektnih pogojih. Kljub temu vzrok za navlaževanje toplotno izolacijskega sloja pod estrihom ob okviru panoramske stene, kot kaže potek ravnine rosišča, ni popolnoma odpravljen.

Slabost tovrstnega »+« križanja izvira iz prekinjene toplotne izolacije v fasadnem pasu zaradi AB plošče, ki se iz notranjega dela nadaljuje v zunanji balkon. Z uporabo armaturne košare sem izvedel neprekinjen toplotni ovoj. Na konzolnem delu plošče, ki je toplotno ločena od stavbe, prvotne plasti toplotne izolacije nimajo več tako velikega pomena.

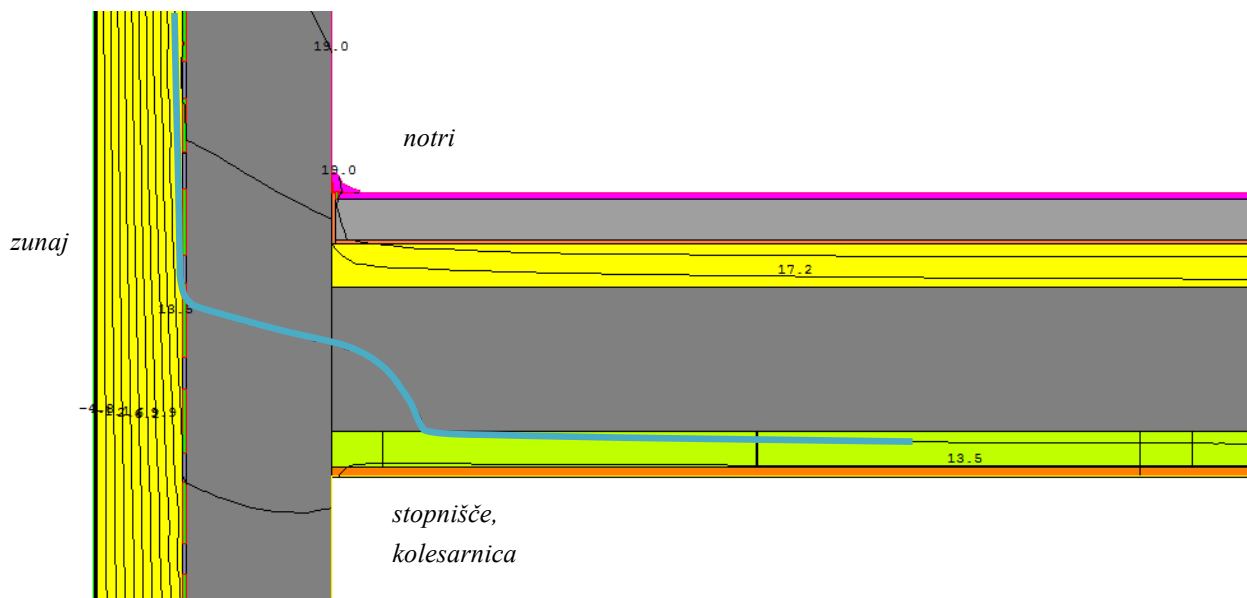
4.2.5 »L-5«

OPIS KRIŽANJA

Zunanje stene obravnavane stavbe so v splošnih primerih toplotno izolirane na zunanji strani z 12 cm EPS. Medetažna plošča je nad pritličnimi stanovanji toplotno izolirana na zgornji strani plošče oziroma pod estrihom s 6 cm EPS in 0,5 cm debelim ekspanziranim polietilenom. Estrih je od stene in

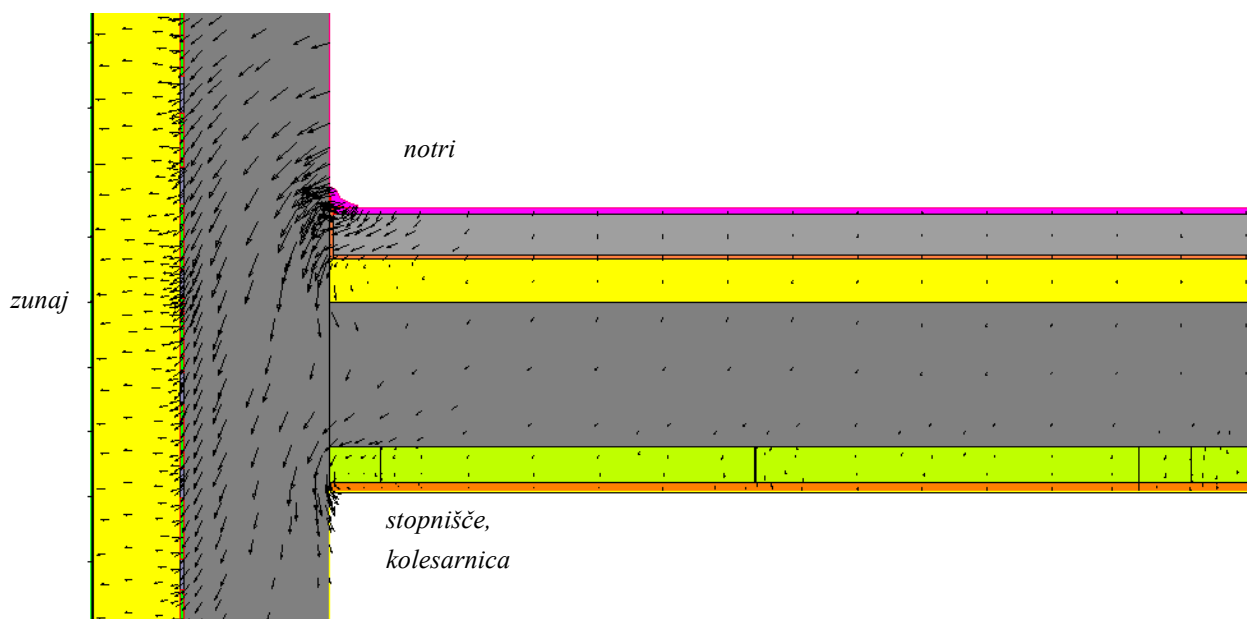
spodnjega dela okvira balkonskih vrat dilatiran s 0,5 cm debelim slojem ekspandiranega polietilena. Medetažna plošča nad kolesarnico pa je toplotno izolirana tudi na spodnji strani. Kolesarnica ima oblogo stropa, ki je toplotno izolirana s 5 cm debelo plastjo kamene volne. Obravnavani toplotni most nastane na zunanji steni, ki se iz pritlične kolesarnice nadaljuje v bivalni prostor v prvem nadstropju.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-5)



Slika 34: Simulacija toplotnega mostu v prerezu »L-5«. Povečan toplotni tok je iz stanovanjskega dela na zgornji strani po obodni AB steni (na levi strani) proti kolesarnici na spodnji strani. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil temperaturo najhladnejšega dela površine v bivalnem prostoru v bližini obravnavanega toplotnega mostu, in sicer 18,1 °C.



Slika 35: Simulacija toplotnega mostu v prerezu »L-5«. Prikaz relativne velikosti in smeri toplotnega toka iz stanovanjskega dela proti zunanosti (na levi strani) in proti kolesarnici (na spodnji strani).

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Zunanja AB stena omogoča prevajanje toplote iz bivalnega prostora v prvem nadstropju mimo toplotno izolirane AB medetažne plošče v neogrevano pritlično kolesarnico. Zunanja stena je toplotno izolirana samo na zunanji strani. Površina zunanje stene v bivalnem prostoru in površina zunanje stene v kolesarnici ni toplotno izolirana.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjšanje toplotnega toka po zunanji steni bi bilo smiselno toplotno izolirati tudi del stene na notranji strani. Površino stene v bivalnem prostoru je zaradi izgleda primerno oblagati s toplotno izolacijskimi oblogami le po celotni površini. V pritlični kolesarnici pa je dopustna tudi toplotno izolacijska obloga v ožjem pasu.

Za zmanjševanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

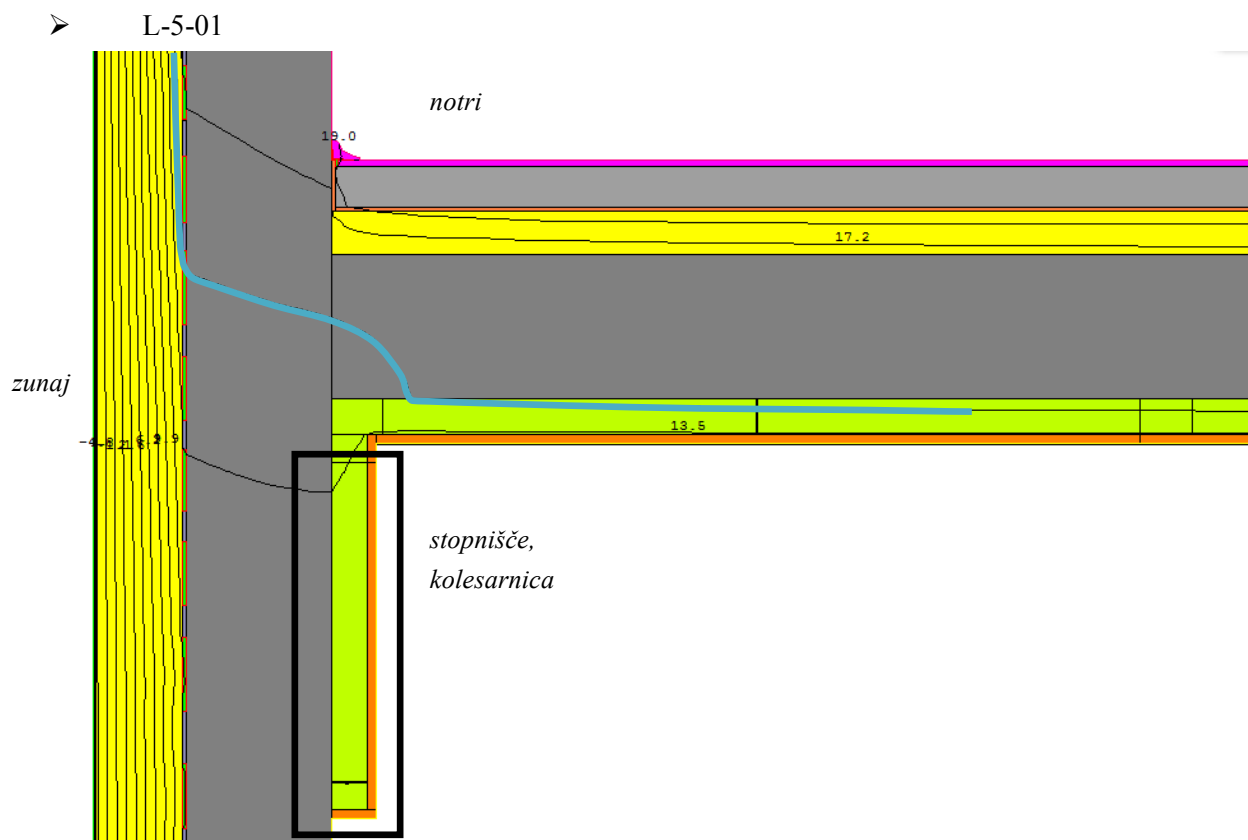
➤ L-5-01

Obloga zgornjega dela stene kolesarnice s 5 cm kamene volne.

➤ L-5-02

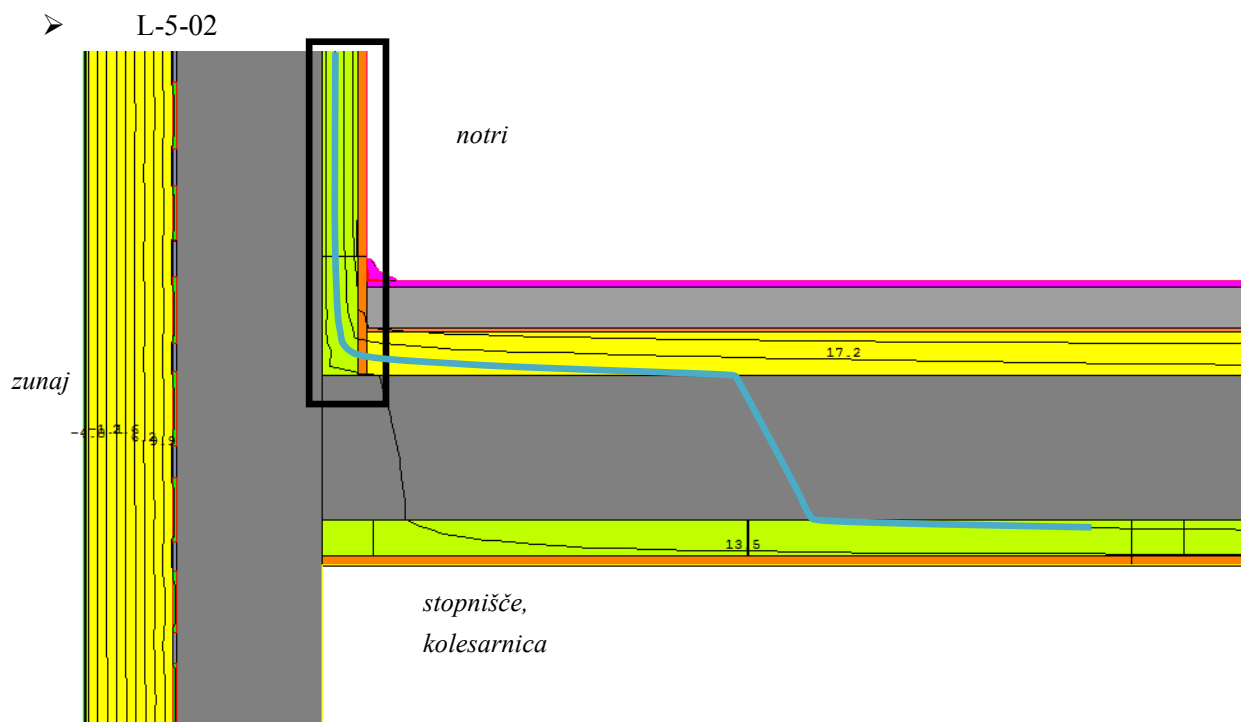
Obloga stene s 5 cm kamene volne v bivalnem prostoru.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM



Slika 36: Simulacija izboljšane toplotnega mostu (v prerezu) z oblogo zgornjega dela stene kolesarnice s 5 cm kamene volne (primer »L-5-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Pri gradnji stavbe, na kateri analiziram toplotne mostove, je izvajalec del na podlagi izkušenj izvedel enak ukrep za zmanjševanje obravnavanega toplotnega mostu. Zato sem toplotni most in ukrep za zmanjševanje njegovega vpliva preizkusil s simulacijo. V prvotnem stanju toplotni most ni povzročal pogojev za površinsko kondenzacijo vodne pare in simulacija ni pokazala bistvene razlike temperature na površini stene v bivalnem prostoru.



Slika 37: Simulacija izboljšane toplotne pregrade (v prerezu) z oblogo cele stene v bivalnem prostoru s 5 cm kamene volne (primer »L-5-03«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

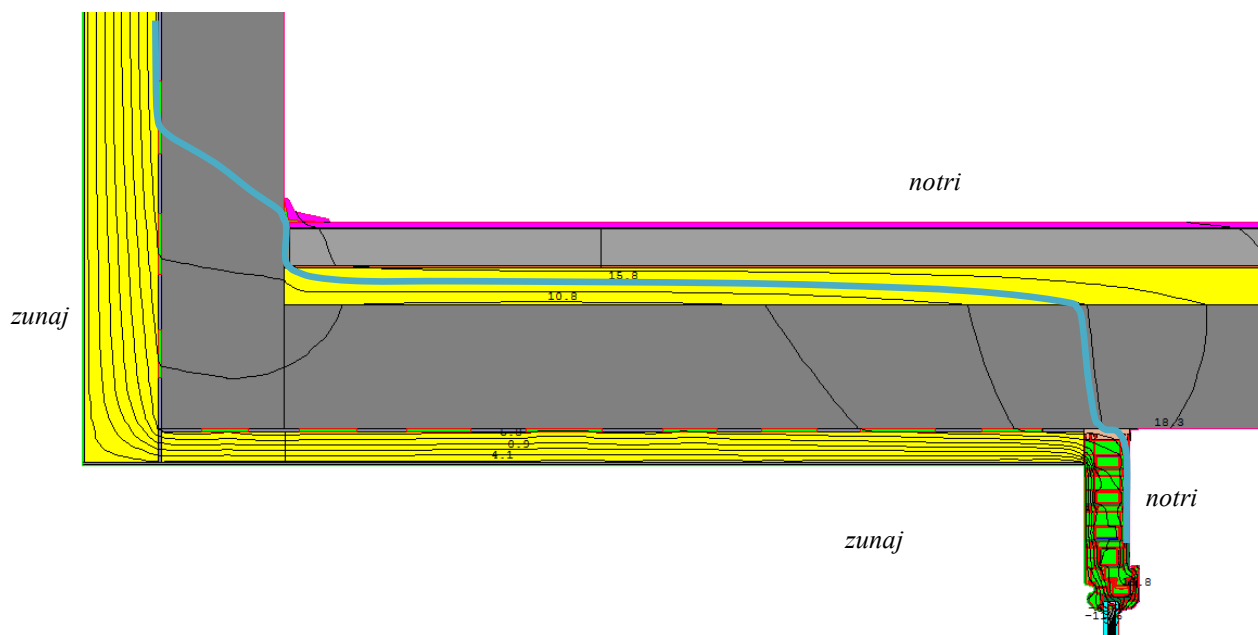
Izvedel sem dodatno toplotno izoliranje na notranji strani zunanje stene v bivalnem prostoru. Simulacija je pokazala, da je temperatura površine toplotnoizolacijske obloge v bivalnem prostoru izrazito višja kot površina stene v prvotnem primeru. Temperatura površine na najhladnejšem delu je narasla na 20,0 °C. Ravnina rosišča se je premaknila na notranjo stran zunanje stene in zgornjo stran plošče ob zunanji steni, zato je potrebno pri izvedbi tlakov in stenske toplotnoizolativne obloge preprečiti navlaževanje toplotnoizolacijskega materiala s parno zaporo.

4.2.6 »L-6«

OPIS KRIŽANJA

V loži stanovanja je prisotno problematično križanje stropa z balkonskimi vrati. V etaži nad križanjem je ogrevan bivalni prostor, ki ima tipično sestavo tlaka s 6 cm debelim slojem EPS. Medetažna AB plošča sega iz bivalnega prostora v ložo, ki je zunanji hladen prostor. Medetažna plošča je v loži toplotno izolirana na spodnji strani s 5 cm EPS.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-6)



Slika 38: Simulacija toplotnega mostu nad ložo (v prerezu) (primer »L-6«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Najhladnejša površina bivalnega prostora je stena v spodnjem delu zgornje etaže in strop, ki je v bližini križanja z balkonskimi vrati. Simulacija je pokazala, da je temperatura stropa ob balkonskih vratih v bivalnem prostoru 17,4 °C. Temperatura stene v spodnjem delu zgornje etaže pa je 16,5 °C.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Problematične toplotne izgube so nastale zaradi tanjše toplotne izolacije na stropu lože. Toplotna izolacija v loži je občutno tanjša od tipične debeline toplotne izolacije v zunanem ovoju objekta. Medetažna plošča pa je iz armiranega betona in omogoča prevajanje toplote iz notranjega dela stavbe v hladno ložo. Poleg tega je v spodnjem delu stene zgornje etaže prisoten vpliv geometrijskega toplotnega mostu.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

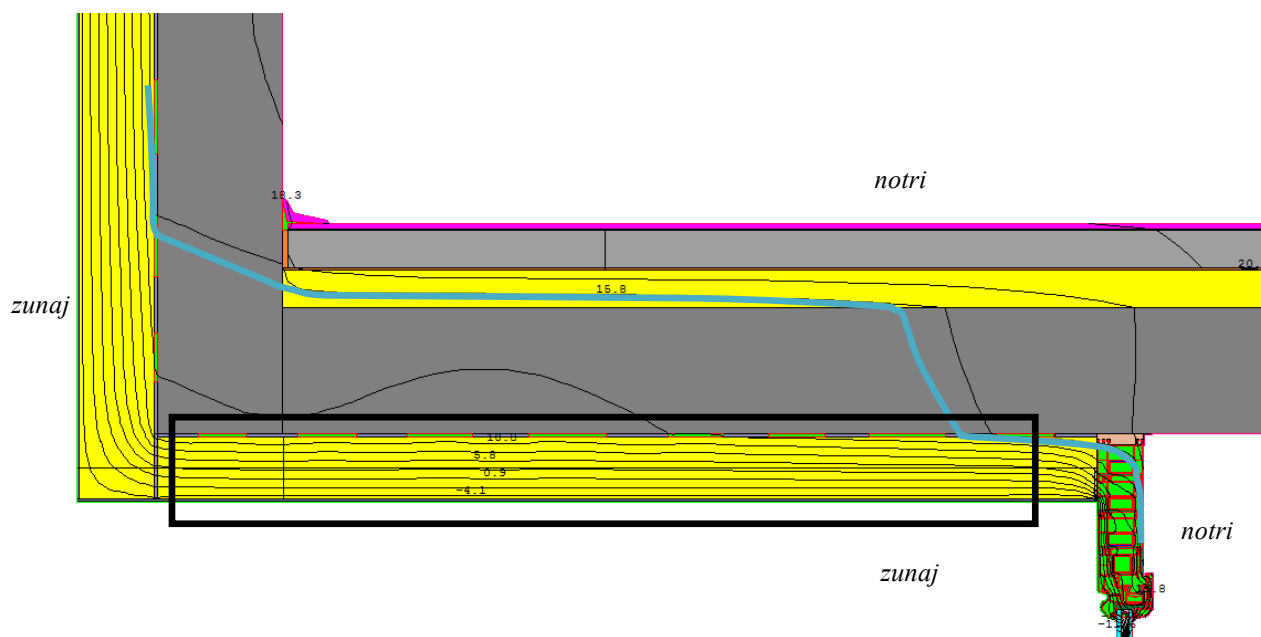
Za zmanjšanje toplotnega mostu predlagam naslednji ukrep:

- L-6-01

Povečanje toplotne izolacije na stropu lože s 5 na 10 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ L-6-01



Slika 39: Simulacija izboljšane toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 na 10 cm (primer »L-6-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

S simulacijo sem ugotovil učinek povečanja debeline toplotne izolacije na stropu lože s 5 na 10 cm EPS. Temperaturo na najhladnejšem delu stropa ob vratih notranjega prostora sem z ukrepom dvignil za 1,4 K oziroma s 17,4 °C na 18,8 °C. Simulacija je pokazala tudi, da se je pri podvojitvi debeline toplotnoizolacijske obloge povišala temperatura armiranobetonске plošče za 3 K, kar se je odrazilo tudi v povišani temperaturi stene v prostoru nad ložo. Na tem mestu se je temperatura površine stene nad višino tlaka povišala s 16,5 °C na 17,6 °C.

4.2.7 »L-7«

OPIS KRIŽANJA

Mansardna etaža ima na južni strani objekta teraso, ki je na zunanji strani ograjena z AB parapetom. Pod teraso je stanovanje. Zunanja stena stanovanja pod teraso se nadaljuje v parapet terase, ki je na notranji strani toplotno izoliran s 3 cm XPS. Parapet terase, kot tudi zunanja stena stanovanja, je zgrajen iz armiranega betona, ki je na zunanji strani toplotno izoliran z 12 cm EPS. Tipično zunanjo steno na nekaj mestih zamenjuje panoramska stena. Stanovanje ima strop proti terasi toplotno izoliran s ploščami iz poliizocianuratne (PIR) pene pod estrihom terase. Toplotni most nastane pri križanju medetažne plošče terase z zunanjo steno ali panoramsko steno, ki se nadaljuje v parapet na terasi.

➤ L-7-02

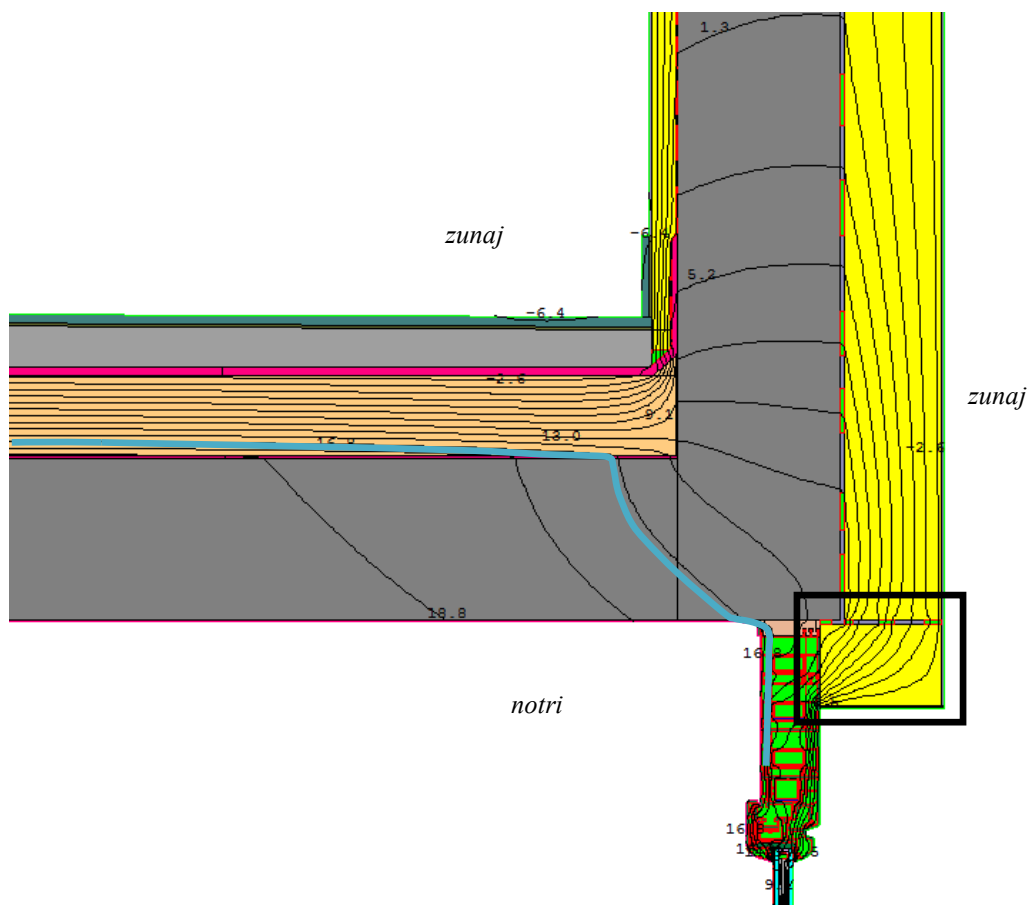
Povečanje debeline toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm.

➤ L-7-03

Kombinacija povečane debeline toplotne izolacije na špaleti panoramske stene na 10 cm in na notranji strani parapeta terase na 5 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

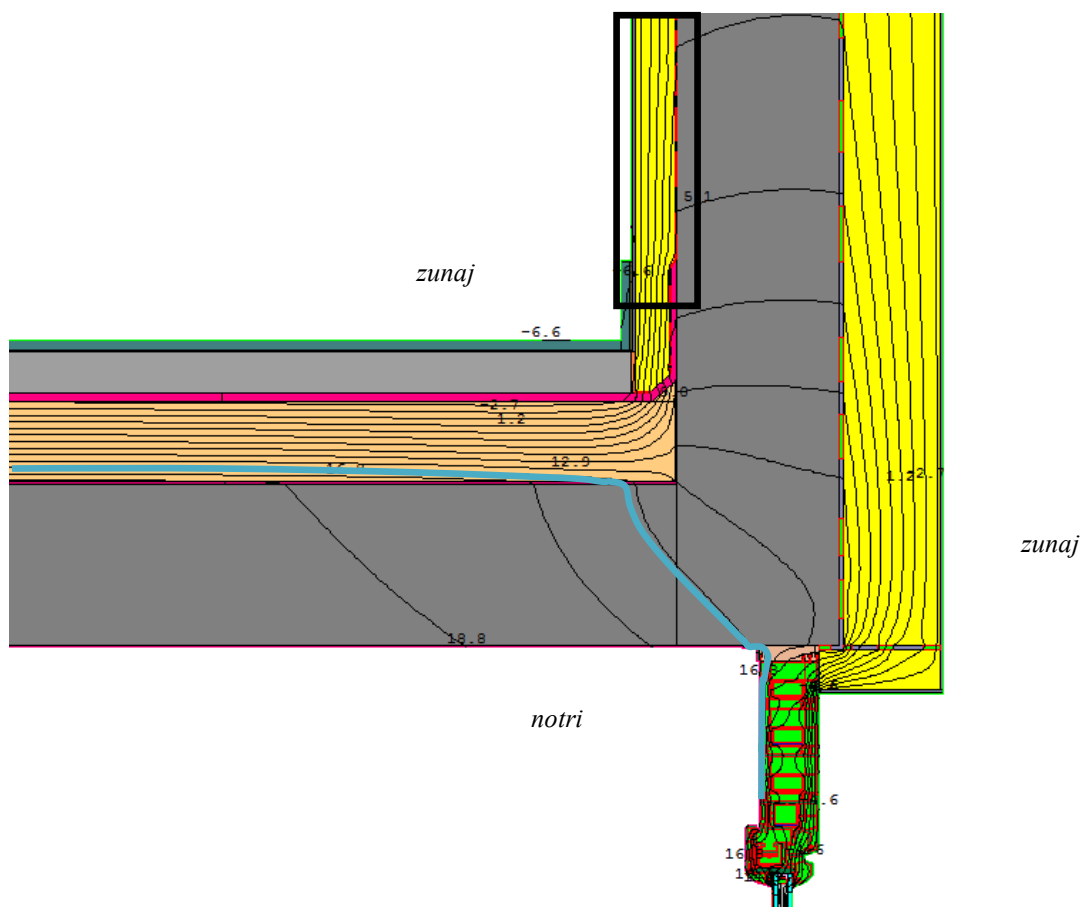
➤ L-7-01



Slika 41: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na špaleti panoramske stene s 5 cm na 10 cm (primer »L-7-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da povečanje toplotne izolacije na zgornji špaleti panoramske stene s 5 cm na 10 cm vpliva na povišanje temperature najhladnejše notranje površine s 14,7 °C na 15,0 °C. Učinek ukrepa za zmanjšanje vpliva toplotnega mostu ni zadovoljiv, da bi preprečil kondenziranje vodne pare pri projektih pogojih.

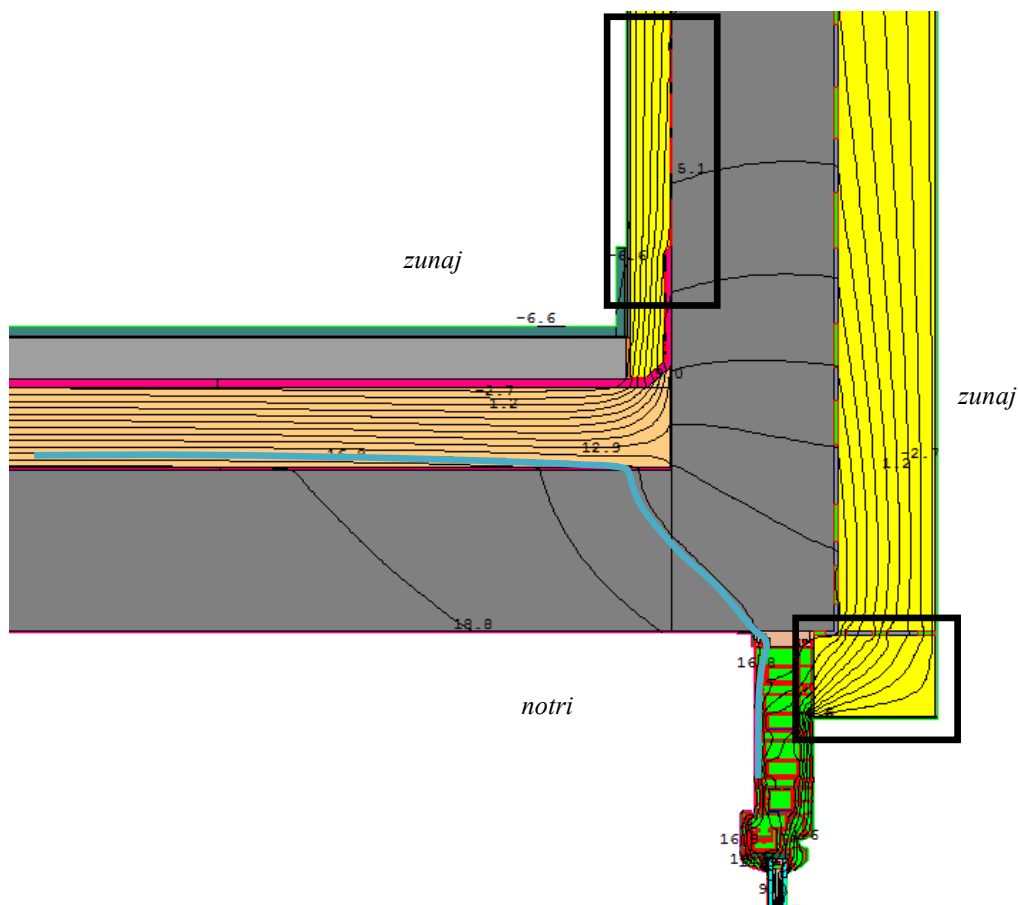
➤ L-7-02



Slika 42: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu (v prerezu) s povečano debelino toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm (primer »L-7-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Rezultat, ki sem ga dobil s simulacijo povečane toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm, je pokazal povišanje najhladnejše temperature notranje površine za 0,7 K oziroma na 15,4 °C, kar je dovolj za preprečitev kondenzacije vodne pare pri 70 odstotni relativni zračni vlažnosti in temperaturi 21 °C v stanovanju.

➤ L-7-03



Slika 43: Simulacija izboljšane toplotnega mostu (v prerezu) s kombinacijo povečane debeline toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase s 3 cm na 5 cm in povečane debeline toplotne izolacije na špaleti panoramske stene s 5 cm na 10 cm (primer »L-7-03«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

V tem primeru sem združil ukrepa prvega in drugega primera za zmanjšanje toplotnega mostu. Izkazalo se je, da sem s kombinacijo povečane debeline toplotne izolacije na špaleti panoramske stene na 10 cm in s povečano debelino toplotne izolacije na notranji strani parapeta terase na 5 cm povišal temperaturo najhladnejše površine na notranji strani za 1 K, oziroma na 15,7 °C, ki je višja od temperature rosišča. S simulacijo sem dokazal, da je obravnavana izboljšava toplotnega mostu boljša od predhodnih in zadošča za preprečevanje kondenzacije vodne pare pri projektih pogojih.

Izkazalo se je, da ima povečevanje debeline toplotne izolacije na notranji strani parapeta relativno velik vpliv in bi bilo smiselno debelino toplotne izolacije na tem mestu še povečati. V tem primeru ima debelina toplotne izolacije na špaleti panoramske stene manjši vpliv.

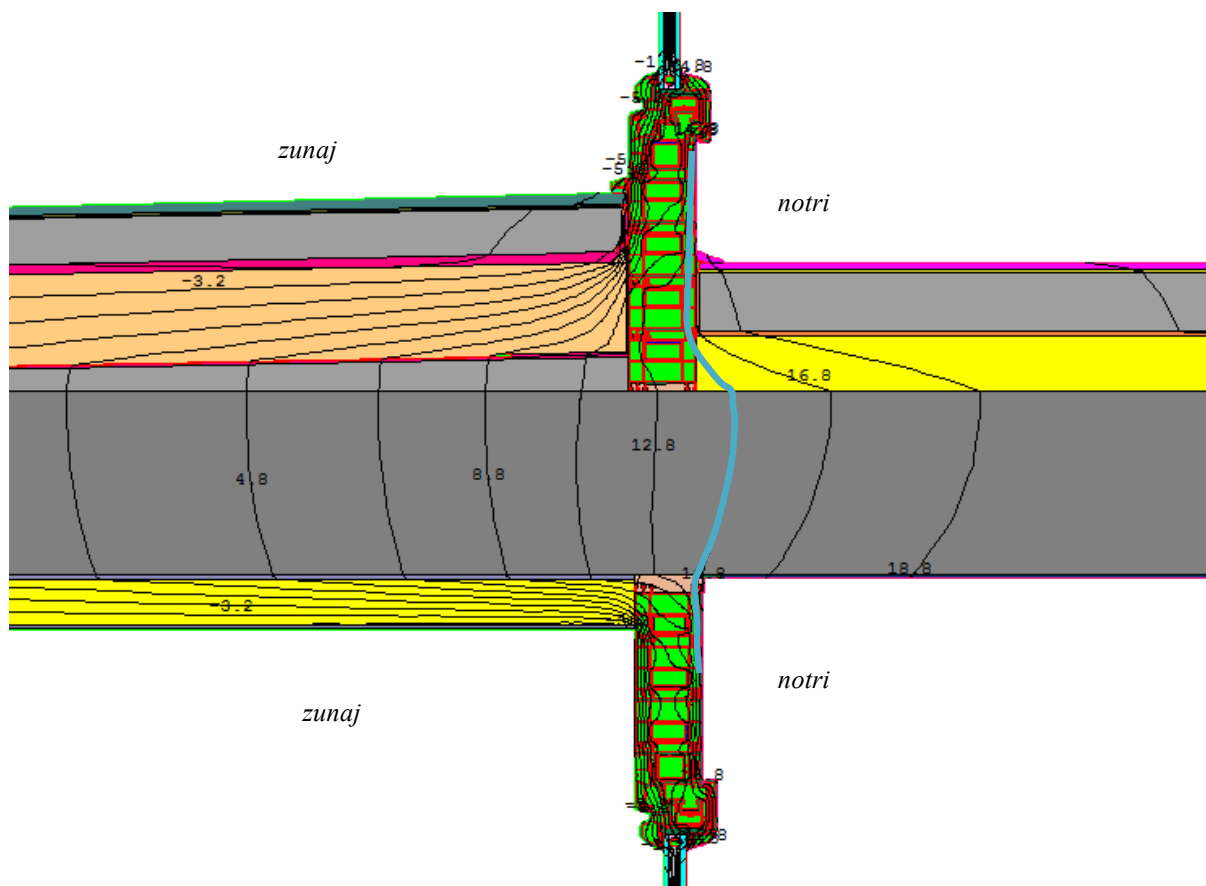
4.2.8 »L-8«

OPIS KRIŽANJA

Vse medetažne plošče so iz armiranega betona. Plošča mansardne etaže, ki meji na tretje nadstropje, se iz notranjega dela stavbe nadaljuje v teraso na zgornji strani in ložo na spodnji stani. Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije na notranji strani je tipična za bivalne prostore. Na

notranjem delu stavbe je armiranobetonska plošča na spodnji strani obdelana z izravnalno maso in prepleškana s pol disperzijsko barvo. Na zgornjem delu AB plošče je položena 6 cm debela plast EPS, 0,5 cm debela folija iz ekspaniranega polietilena, 6,5 cm debel cementni estrih in 0,8 cm debela lesena talna obloga. Estrih je od stene in spodnjega dela okvira panoramske stene dilatiran s 0,5 cm debelim slojem ekspaniranega polietilena. Notranji del medetažne konstrukcije je na spodnji in zgornji strani ločen od zunanjega dela s panoramsko steno. Zunanji del AB plošče je na spodnji strani obložen s 5 cm debelimi ploščami EPS, armirno mrežico v lepilu za EPS in fasadnim ometom. Zgornji del AB plošče v območju terase pa sestavljajo plasti: naklonski beton, bitumenski trak z nosilcem aluminijске folije, 10 cm debele plošče iz poliizocianuratne (PIR) pene, dva sloja bitumenskega traku, 5 cm debel cementni estrih, dodatna hidroizolacija iz poliuretanske smole in lepljene keramične ploščice.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (L-8)



Slika 44: Simulacija toplotnega mostu lože in terase na levi strani ter stanovanja na desni (v prerezu) (primer »L-8«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

S simulacijo toplotnega mostu v prvotnem stanju sem ugotovil, da je najhladnejša notranja površina strop ob panoramski steni. Temperatura najhladnejšega dela stropa je 15,8 °C. Toplotni most pri projektih pogojih ne povzroča površinske kondenzacije vodne pare. Do površinske kondenzacije vodne pare bi prišlo pri 72 odstotni relativni zračni vlažnosti, ki se lahko pojavi pri premalo prezračevanem stanovanju in nepredvideni rabi prostorov.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Konzolna plošča, ki se pogosto uporablja kot nosilna konstrukcija balkonov in povzroča značilen toplotni most, je prisotna tudi v obravnavanem primeru. Vzrok za toplotni most je armiranobetonska nosilna konstrukcija medetažne konstrukcije, ki je toplotno dobro prevoden material in v območju lože v svoji ravnini prekinja toplotnoizolacijski ovoj stavbe.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

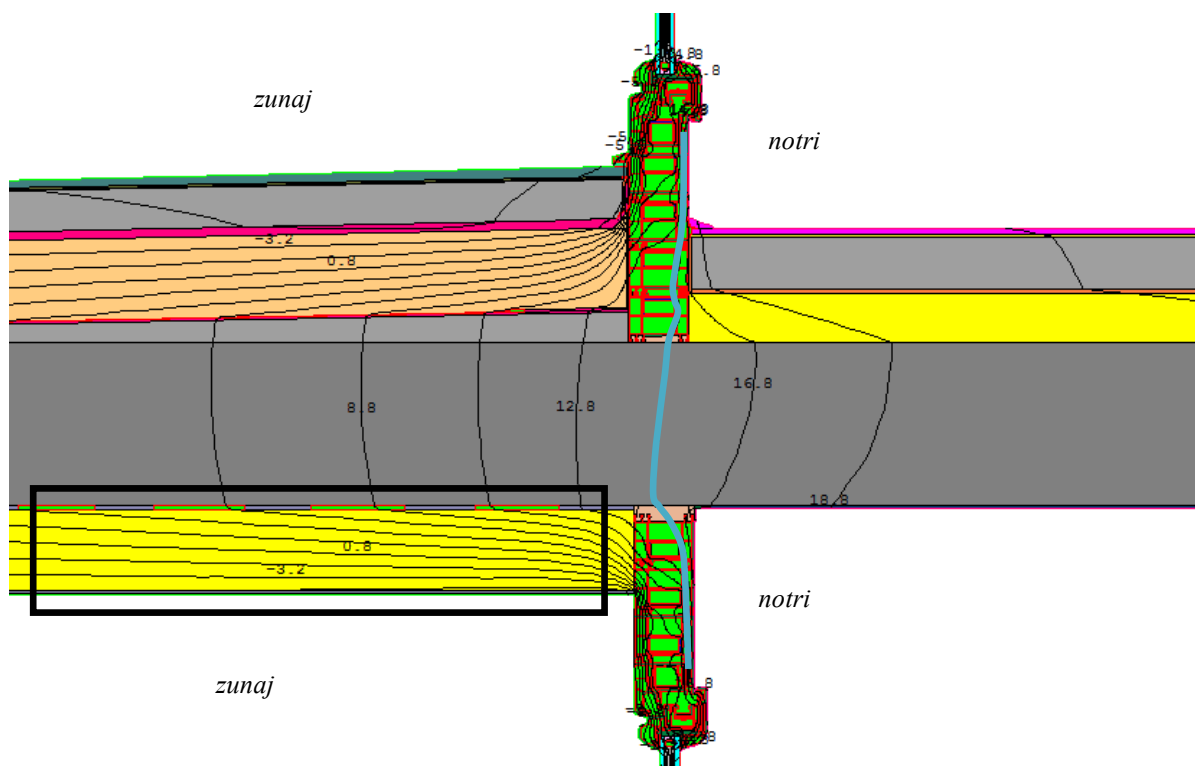
Rešitev prekinitve toplotnoizolacijskega ovoja stavbe bi bilo z uporabo armaturnih košar možno izvesti le s prilagoditvijo vpetja previsne plošče, ker je prvotno predvideno podpiranje s treh strani. Za predvideno zasnovo nosilne konstrukcije bi bilo najbolj smiselno izboljšati toplotno izolativnost na spodnji strani zunanje dela medetažne konstrukcije. Zato predlagam za zmanjšanje toplotnega mostu naslednji ukrep:

➤ L-8-01

Povečanje toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ L-8-01



Slika 45: Simulacija izboljšane toplotnega mostu lože in terase na levi strani ter stanovanja na desni (v prerezu) (primer »L-8-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da povečanje toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm vpliva na povišanje temperature najhladnejše notranje površine s 15,8 °C na 17,1 °C. Izkazalo se je, da je

povečanje toplotne izolacije na spodnji strani zunanjšega dela medetažne konstrukcije učinkovito in primerno za enostavno izvedbo.

4.3 Klet

4.3.1 »K-1«

OPIS KRIŽANJA

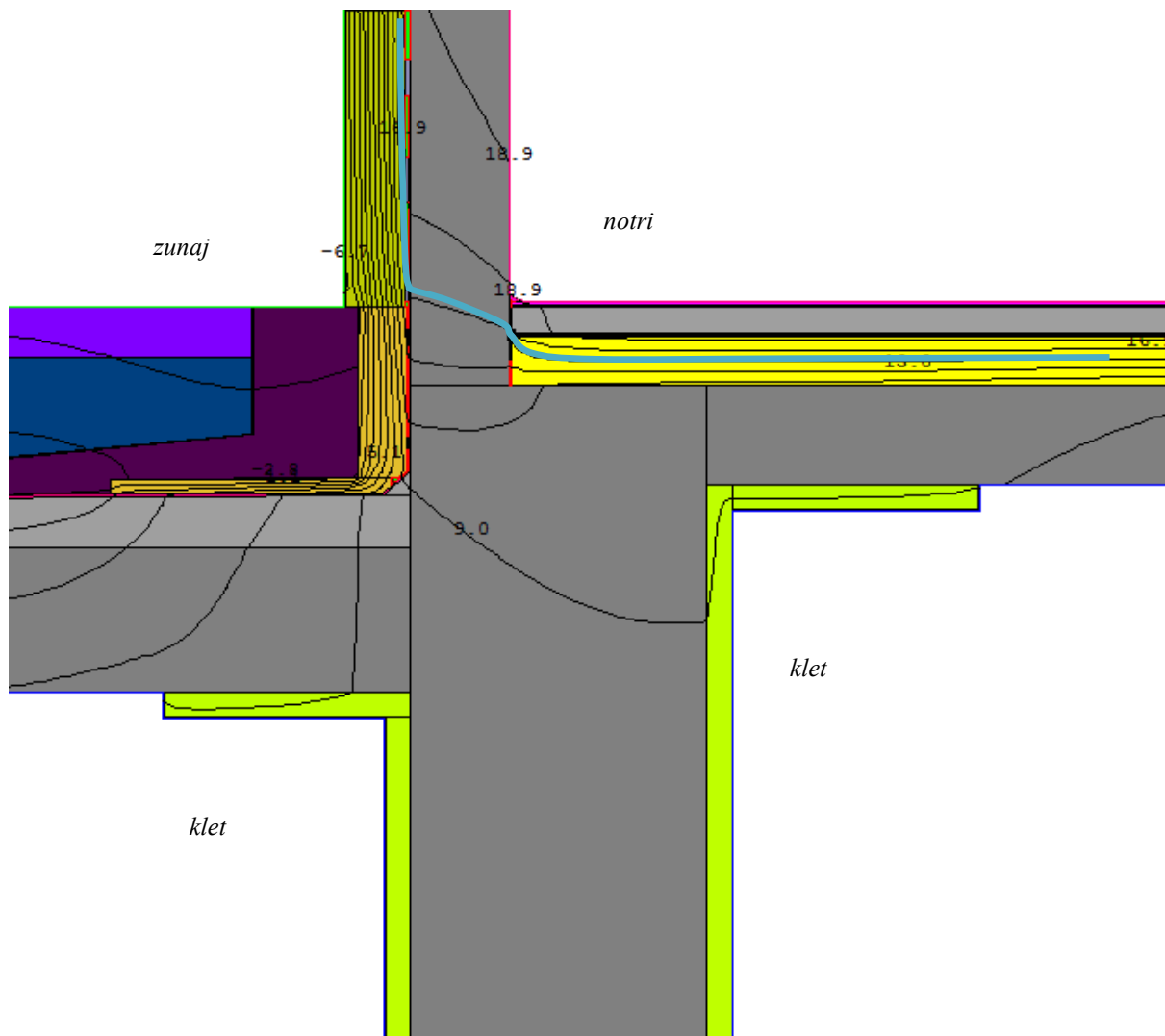
Nad garažno etažo so nosilne betonske stene objekta naslonjene na AB nosilec. Na isti nosilec sta naslonjeni tudi sosednji AB plošči in sicer 20 cm debela medetažna AB plošča stanovanjskega dela in na drugi strani 30 cm debela AB plošča pod zunanjim delom objekta.

Na plošči zunanjšega dela objekta je hidroizolacija na naklonskem betonu. Nad hidroizolacijo ob objektu je položena toplotna izolacija iz XPS v 60 cm pasu in debelini 3 cm. Vertikalni podzemni del AB nosilne konstrukcije je toplotno izoliran z XPS v debelini 10 cm. Vertikalni nadzemni del AB stene je toplotno izoliran z EPS v debelini 12 cm. Nad hidroizolacijo in toplotno izolacijo ob stavbi je nasutje gramoza, ki je ločen od hidroizolacije s čepasto folijo. Na nasutju gramoza je vlažna zemljina. Zgornjih 10 cm zemlje je pomešane s humusom.

Na plošči stanovanjskega dela (na sliki 46: zgornji desni del) je položena toplotna izolacija iz EPS v debelini 10 cm, na toplotni izolaciji je 0,5 cm debel sloj ekspaniranega polietilena, ki povečuje zvočno izolacijo konstrukcijskega sklopa. Betonski estrih je ločen od toplotno in zvočno izolacijskih plasti s poliestersko folijo. Estrih je ob steni dilatiran s 5 mm debelim slojem ekspaniranega polietilena. Na estrih je prilepljen hrastov parket v debelini 8 mm.

Nosilec, ki je izpostavljen hladnemu zraku v garaži, ima vertikalni del obložen z mineralno volno v debelini 5 cm. Z enako toplotno izolacijo je obložen tudi 50 centimetrski pas stropa garaže na vsaki strani nosilca.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (K-1)



Slika 46: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je garaža v kletni etaži, desno zgoraj je stanovanje in levo zgoraj je zunanji del (primer »K-1«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da se pri projektih temperaturah zraka notranja-stanovanjska površina AB stene v spodnjem delu, ohladi na 16,6 °C. Pri tej temperaturi bi se vodna para kondenzirala pri 76 odstotni relativni zračni vlažnosti. V tlaku pritličja poteka ravnina rosišča v sloju toplotne izolacije iz EPS, ki se pri projektih pogojih brez ustrezne parne zapore navlažuje.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Problem je v nosilni konstrukciji, ki je vsa iz armiranega betona. Beton dobro prevaja toploto z notranje površine stene v spodnji del konstrukcije. Poleg vpliva nizkih temperatur v garaži predstavljajo problem tudi plasti zunanje ureditve, ki imajo še nižjo temperaturo.

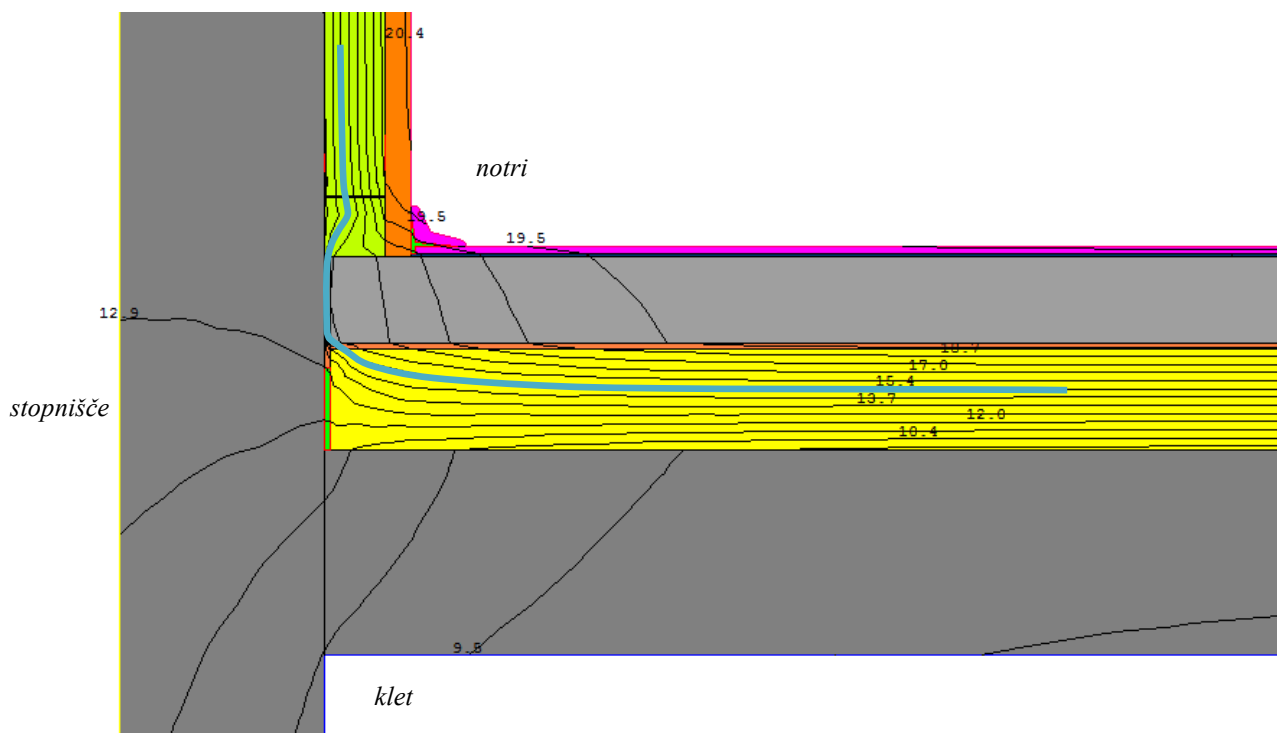
debeline toplotne izolacije pod nosilcem v kleti zelo majhen vpliv. Obravnavani toplotni most povzroča nosilna stena, ki prekinja toplotno izolacijski ovoj in je ni mogoče enostavno nadomestiti z ustreznim materialom z boljšo toplotno izolativnostjo, ki bi sklenil ovoj stavbe.

4.3.2 »K-2«

OPIS KRIŽANJA

Stena stopnišča se dotika medetažnih AB plošč. Stena stopnišča, ki meji na stanovanje, je na stanovanjski strani toplotno izolirana s 5 cm mineralne volne. Pritlično stanovanje je proti kleti toplotno izolirano pod estrihom z EPS v debelini 10 cm in zvočno izolirano z 0,5 cm debelo folijo iz ekspaniranega polietilena. Estrih je od stene dilatiran z 0,5 cm debelim slojem ekspaniranega polietilena. AB nosilna konstrukcija je neposredno izpostavljena hladnim temperaturam v kleti in v stopnišču, ki ni ogrevano.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (K-2)



Slika 49: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da se površinska temperatura v stanovanju na najbolj izpostavljenem delu obravnavanega križanja konstrukcijskih sklopov spusti na 19,1 °C. Najhladnejša stanovanjska površina obravnavanega toplotnega mostu je na parketu ob steni in je 4 °C višja od temperature rosišča pri projektnih pogojih.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

AB nosilna konstrukcija je neposredno izpostavljena hladnemu zraku kleti in neogrevanega stopnišča. Tako pri steni, ki loči stanovanje od stopnišča, kot pri AB plošči, ki loči stanovanje od kleti, je toplotna izolacija položena na notranji strani nosilne konstrukcije. Estrih plavajočega poda, ki je od AB stene ločen le z 0,5 cm debelim ekspanziranim polietilenom, prekinja toplotno izolacijski ovoj.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Med gradnjo stavbe je projektant zaradi nizke temperature kleti predvidel obravnavani toplotni most kot problematičen, zato je naročil izvesti toplotnoizolacijsko oblogo stene in stropa na kletni strani v bližini križanja konstrukcijskih sklopov. Zato sem tudi sam preizkusil ukrep:

➤ K-2-01

S 5 cm debelo in 100 cm široko oblogo iz mineralne volne sem izoliral kót v stičišču stene in stropa kleti.

Izvedel sem še dva alternativna ukrepa:

➤ K-2-02

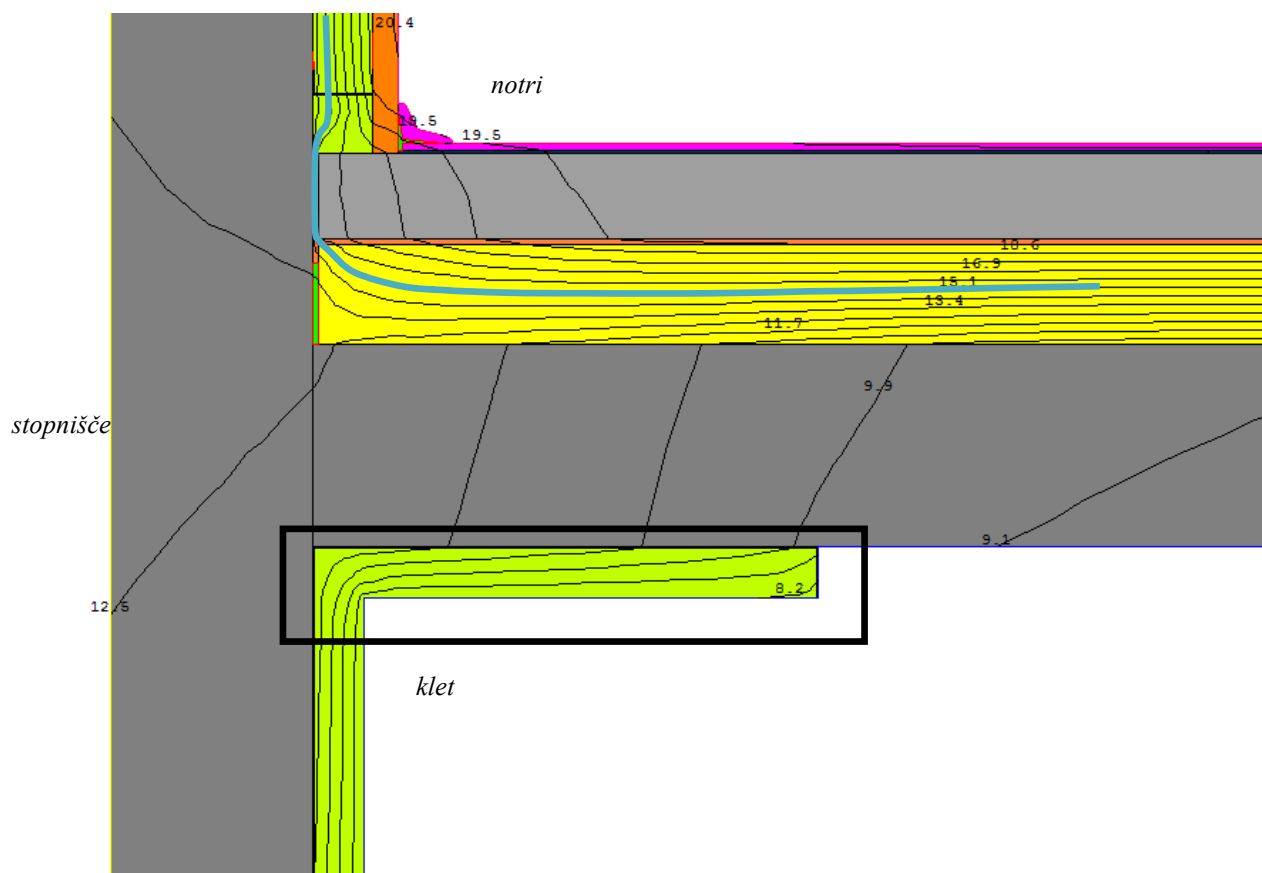
Razširil sem dilatacijo estriha ob steni, ki je zapolnjena z ekspanziranim polietilenom, s 5 mm na 2 cm.

➤ K-2-03

Najprej sem izvedel stensko toplotno izolacijsko oblogo do AB plošče in nato estrih do stenske obloge in ne do AB stene, kot v prvotnem primeru.

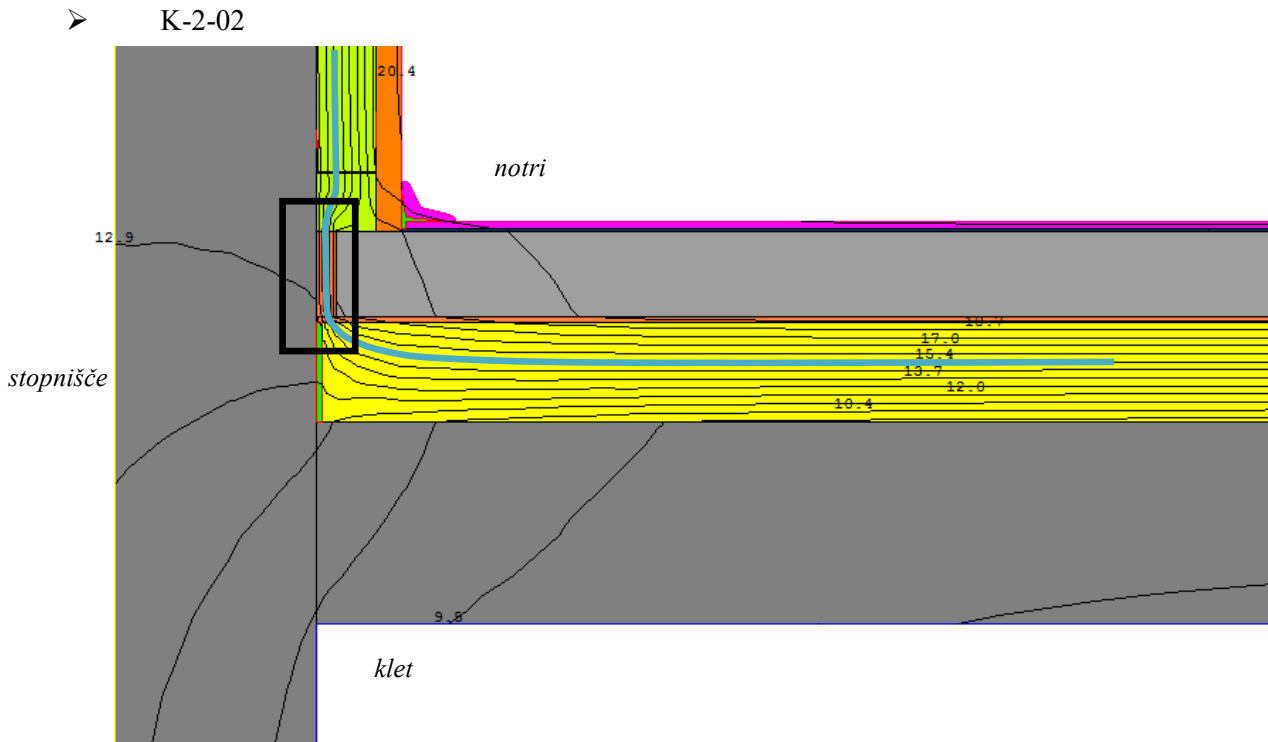
REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ K-2-01



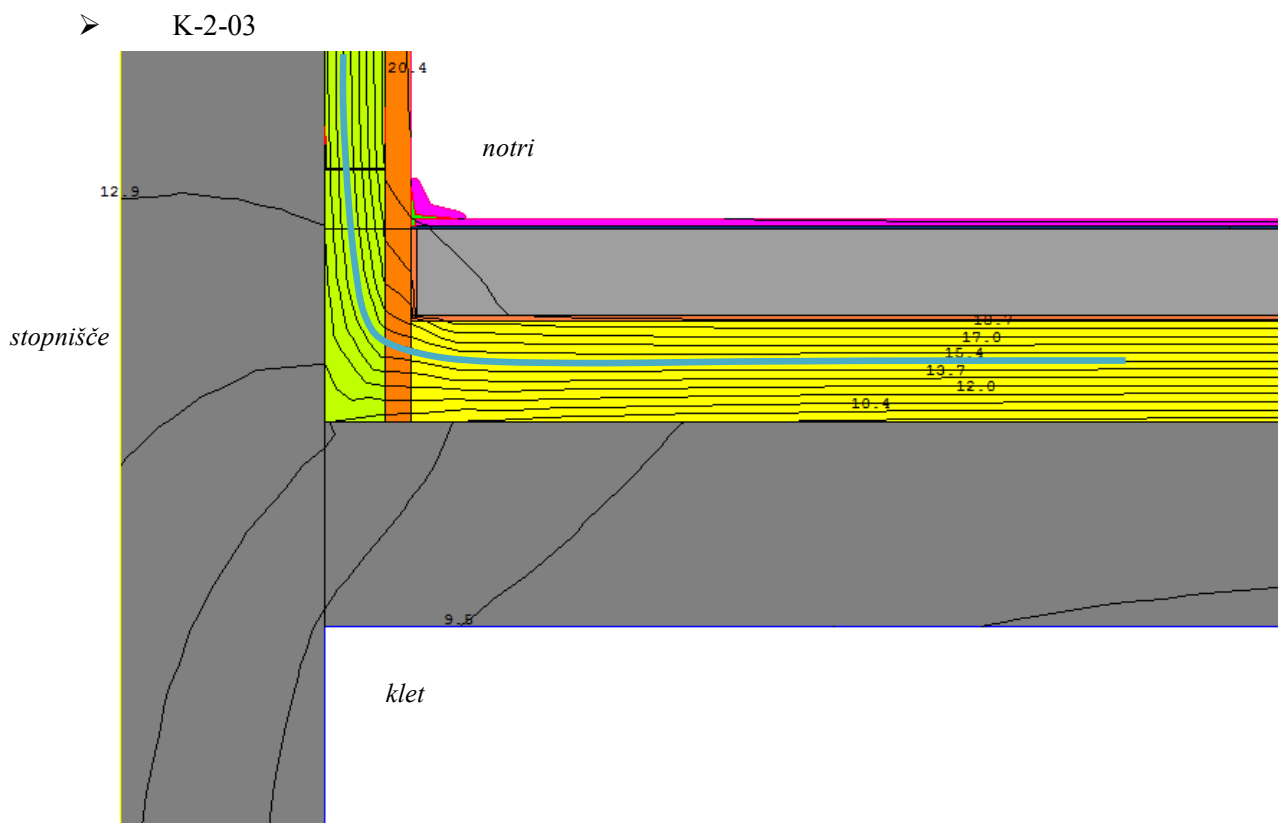
Slika 50: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.

Z dodatno toplotno izolacijo AB nosilne konstrukcije v kotu kleti, ki je najbližji obravnavanemu toplotnemu mostu, sem najnižjo površinsko temperaturo v stanovanju povišal na 19,3 oziroma za 0,2 K. Učinek ukrepa ni izrazit, ker je ostalo še veliko AB konstrukcije v bližini obravnavanega toplotnega mostu, ki ni dodatno toplotno izolirana. Izkazalo se je, da ukrep ni smiseln, saj je že v prvotnem primeru najhladnejša površina v stanovanju dovolj visoka za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare. Z ukrepom pa se je najhladnejša temperatura notranje površine povišala le za 0,2 K.



Slika 51: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-02«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, področje ukrepanja je označeno z okvirjem.

Z razširitvijo dilatacije estriha ob steni sem izvedel toplotno izolacijo na prekinitvi toplotnoizolacijskega ovoja. S povečanjem debeline dilatacijskega traku iz ekspandiranega polietilena z 0,5 cm na 2 cm sem najnižjo površinsko temperaturo v stanovanju povišal na 19,6 °C oziroma za 0,5 K več kot v prvotnem primeru. Ta primer prikazuje relativno veliko povišanje notranje površinske temperature pri majhni količini dodanega toplotno izolativnega materiala. Obravnavan ukrep se je izkazal za učinkovitejšega od predhodnega. Dodani toplotno izolacijski material ni viden.



Slika 52: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu v prerezu. Spodnji prostor je klet, desno zgoraj je stanovanje in levo je stopnišče (primer »K-2-03«). Ravnilina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

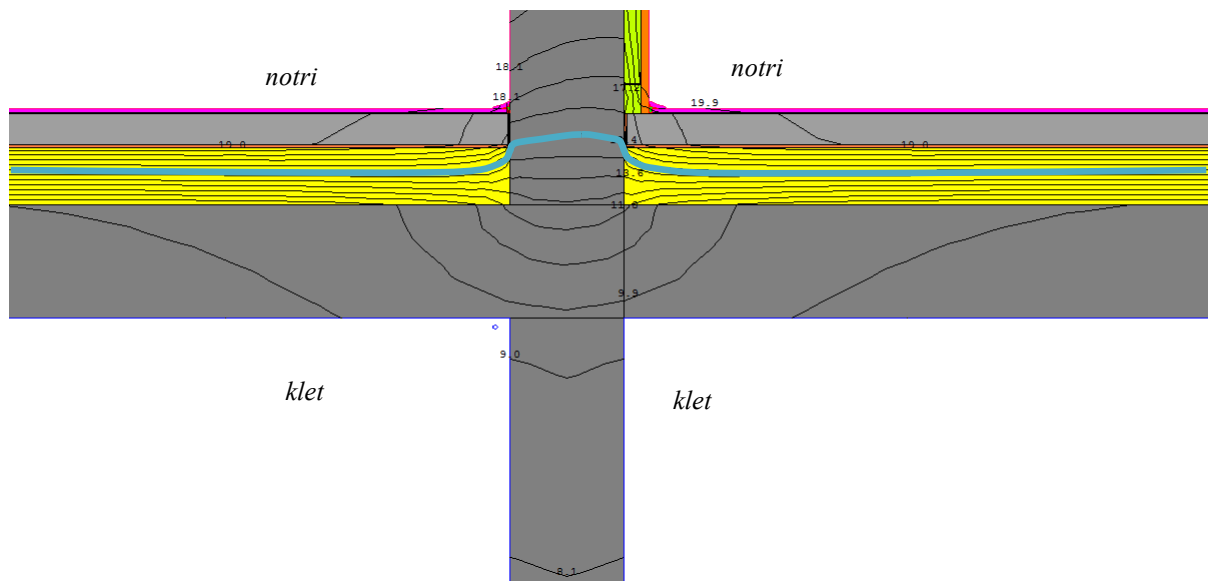
Z izvedbo toplotno izolacijske stenske obloge po celi etažni višini sem sklenil toplotno izolacijski ovoj stanovanja. S simulacijo sem ugotovil najnižjo temperaturo na parketu ob steni 20,0 °C oziroma 0,9 K višjo temperaturo kot v primerjavi s prvotnim primerom. In hkrati 1 K razlike do temperature notranjega zraka, kar je odlično. Problem nastane pri navlaževanju toplotne izolacije in mavčno-kartonske plošče, ki se nahaja pod ravnino rosišča. V tem primeru se zaradi geometrije vgrajenih materialov navlaževanju spodnjega dela mavčno-kartonske plošče ne moremo izogniti niti s parno zaporo pod estrihom ali pod mavčno-kartonsko ploščo stenske obloge.

4.3.3 »K-3«

OPIS KRIŽANJA

Obravnavani toplotni most je na križanju AB stene z AB medetažno ploščo. Strop nad kletjo nima toplotne izolacije in je izpostavljen nizkim temperaturam hladnega kletnega zraka. Prav tako je tudi kletna stena toplotno neizolirana. Kletna stena se nadaljuje v pritlični etaži, kjer loči dve stanovanji. AB stene med stanovanji so enostransko toplotno izolirane s tremi centimetri mineralne volne. Na AB plošči nad kletjo je položen plavajoči estrih v sestavi: 5,5 cm estrih, PE folija, 0,5 cm ekspandiran polietilen, 10 cm ekspandiran polistiren. Estrih je od AB stene dilatiran z 0,5 cm debelim slojem ekspandiranega polietilena. Na estrih je položen hrastov parket.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (K-3)



Slika 53: Simulacija toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Pri obravnavanemu toplotnemu mostu sem s simulacijo ugotovil, da je najhladnejša stanovanjska površina na spodnjem delu neizolirane strani stene. In sicer se ob projektnih temperaturnih robnih pogojih najnižja stanovanjska temperatura ohladi na 17,4 °C, kar ni tako problematično.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Kletne AB stene so toplotno neizolirane. Stene, ki se iz kleti nadaljujejo v pritličje in ločujejo stanovanja, so z ene strani toplotno izolirane s 3 cm mineralne volne. Druga stran pritlične AB stene je toplotno neizolirana. Stene, ki se iz kletne etaže nadaljujejo v pritlično stanovanje, prekinjajo toplotno izolacijo pod estrihom.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

➤ K-3-01

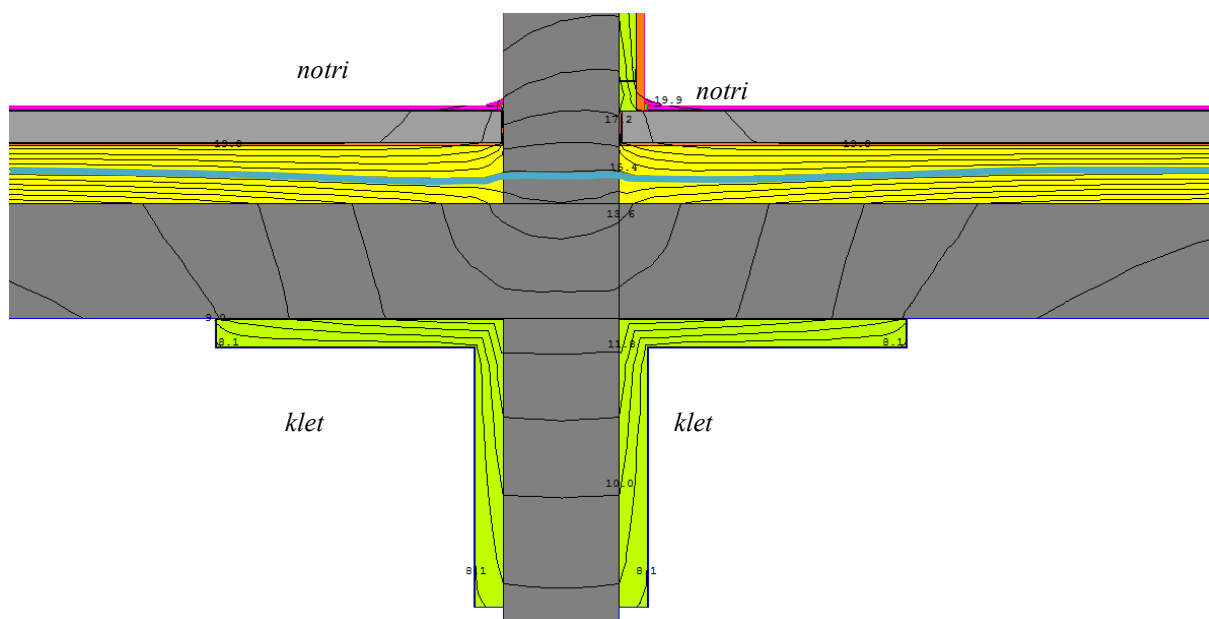
Strop kleti ob steni in kletno steno v zgornjem delu sem izoliral s 5 cm debelo in 50 cm široko oblogo iz mineralne volne.

➤ K-3-02

Strop kleti ob steni in kletno steno v zgornjem delu sem izoliral s 5 cm debelo in 100 cm široko oblogo iz mineralne volne.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

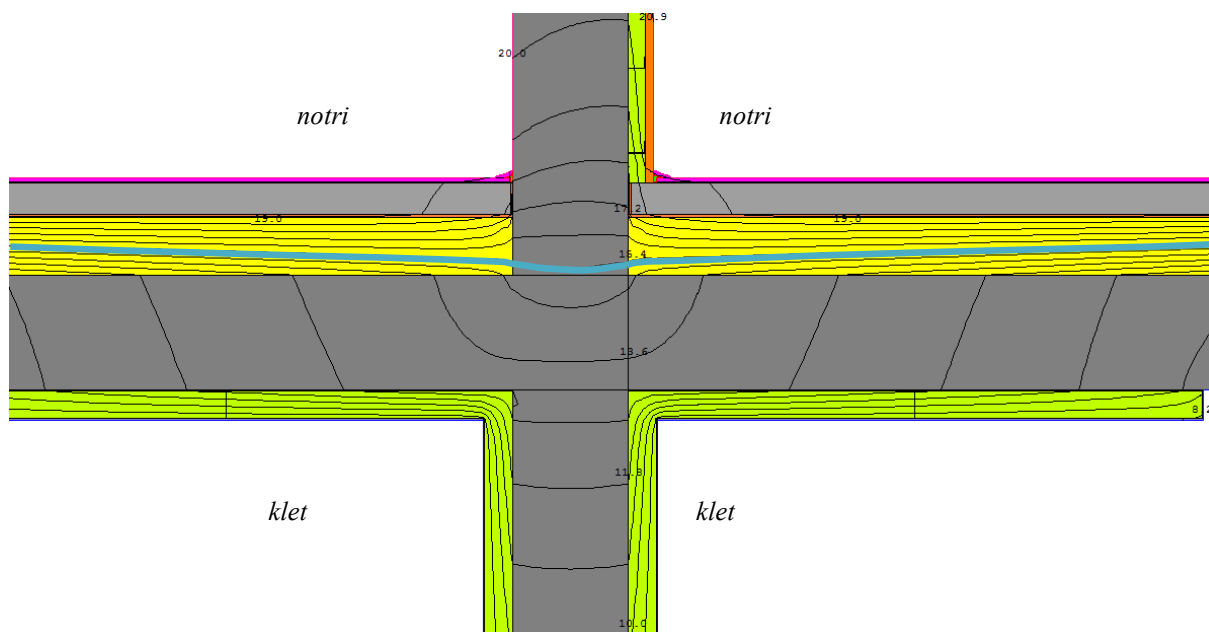
➤ K-3-01



Slika 54: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil, da je temperatura najhladnejše stanovanjske površine pritlične stene 18.2 °C. Izkazalo se je, da toplotno izoliranje kletnih površin v območju pol metra od obravnavanega toplotnega mostu vpliva na povišanje najhladnejše stanovanjske površine za 0,8 K.

➤ K-3-02



Slika 55: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu kleti v prerezu. Spodnji prostor je klet, zgornji pa stanovanje (primer »K-3-02«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo primera z izvedeno toplotno izolacijo stropa kleti in zgornjega dela kletne stene v območju enega metra okoli problematične prekinitev toplotnoizolacijskega ovoja sem ugotovil povišanje najhladnejše stanovanjske površine na 18,6 °C. To je 1,2 K več kot v prvotnem primeru in 0,4 K več kot v primeru prvega ukrepa za izboljšanje stanja. Ukrep je uporaben in pomemben predvsem v primerih, kadar se temperatura kleti bistveno zniža. Taki primeri se običajno pojavljajo na lokalnih mestih kleti zaradi nenadzorovanega prezračevanja v zimskem času.

4.4 Podstrešje in streha

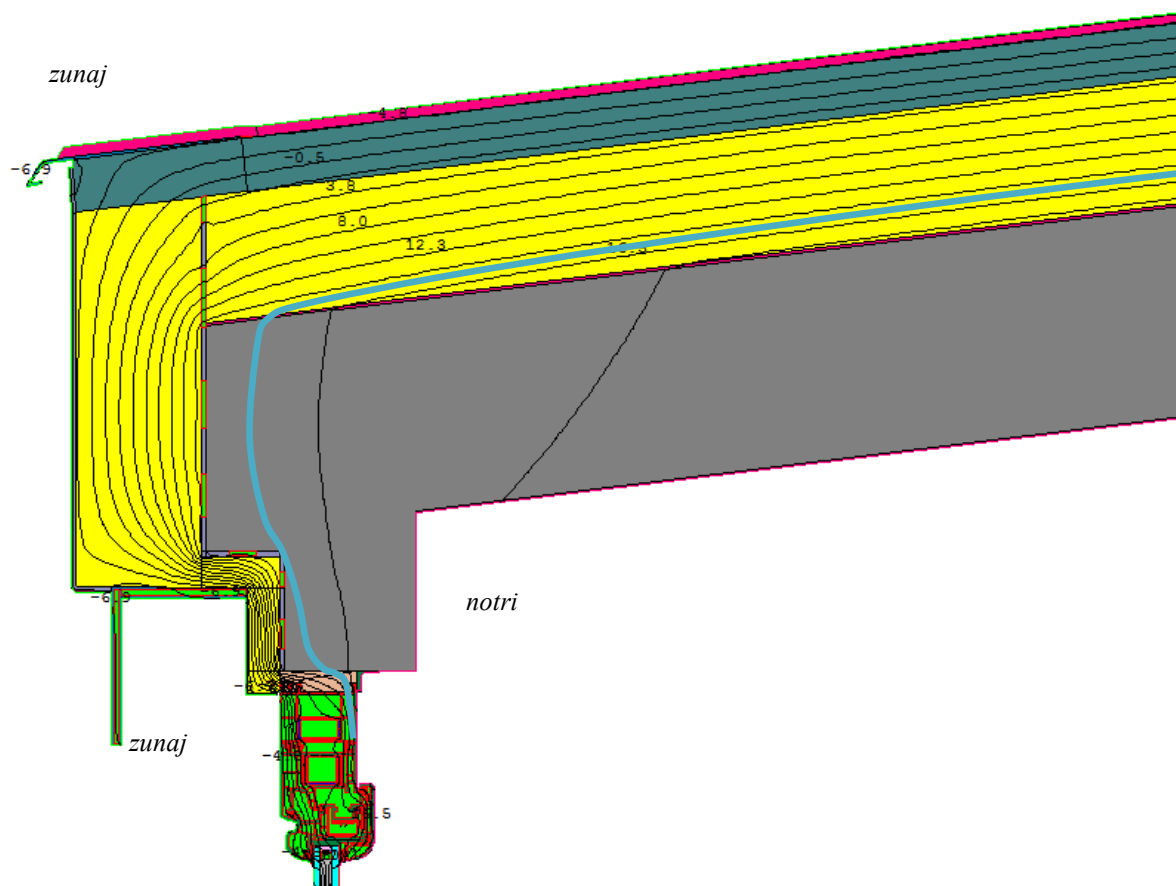
4.4.1 »P-1«

OPIS KRIŽANJA

Strešna AB plošča je v naklonu 7° in je na zgornji strani toplotno izolirana s 17 cm debelim slojem EPS. Zgornja 5 cm debela plast EPS je prekinjena z lesenimi letvami, ki služijo pritrjevanju odtočnih žlebov. Parna zapora je položena na AB ploščo in je iz bitumenskega traku z vgrajeno aluminijasto folijo. Hidroizolacija je položena na vrh toplotne izolacije in je sestavljena iz samolepilnega gumiranega polietilena, varjenega bitumenskega traku in bitumenskega traku s posipom škrilja.

Rob plošče je toplotno izoliran z 12 cm. Obravnavani toplotni most nastane na vrhu vgrajenega okna, kjer je toplotna izolacija stanjšana. Nad oknom na zunanji strani je potrebno zagotoviti prostor za senčilo.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (P-1)



Slika 56: Simulacija toplotnega mostu strehe v prerezu (primer »P-1«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da se najhladnejši del notranje površine pri projektnih pogojih ohladi na 17,6 °C. Pri tej temperaturi bi se vodna para kondenzirala pri 81 odstotni relativni zračni vlažnosti. Kar ni tako problematično. Površina s tanjšo toplotno izolacijo ni zelo velika in ima zato relativno majhen vpliv.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Nad vgrajenim oknom je predviden prostor za senčilo, ki preprečuje izvedbo debelejše toplotne izolacije. Poleg tega je v tem primeru prisoten tudi geometrijski toplotni most, ki še povečuje toplotni tok in s tem znižuje temperaturo notranje površine. Simulacija je pokazala, da toplotni most ni problematičen, vendar sem vseeno preizkusil vpliv povečane debeline toplotne izolacije na oslabiljenem delu nad oknom.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

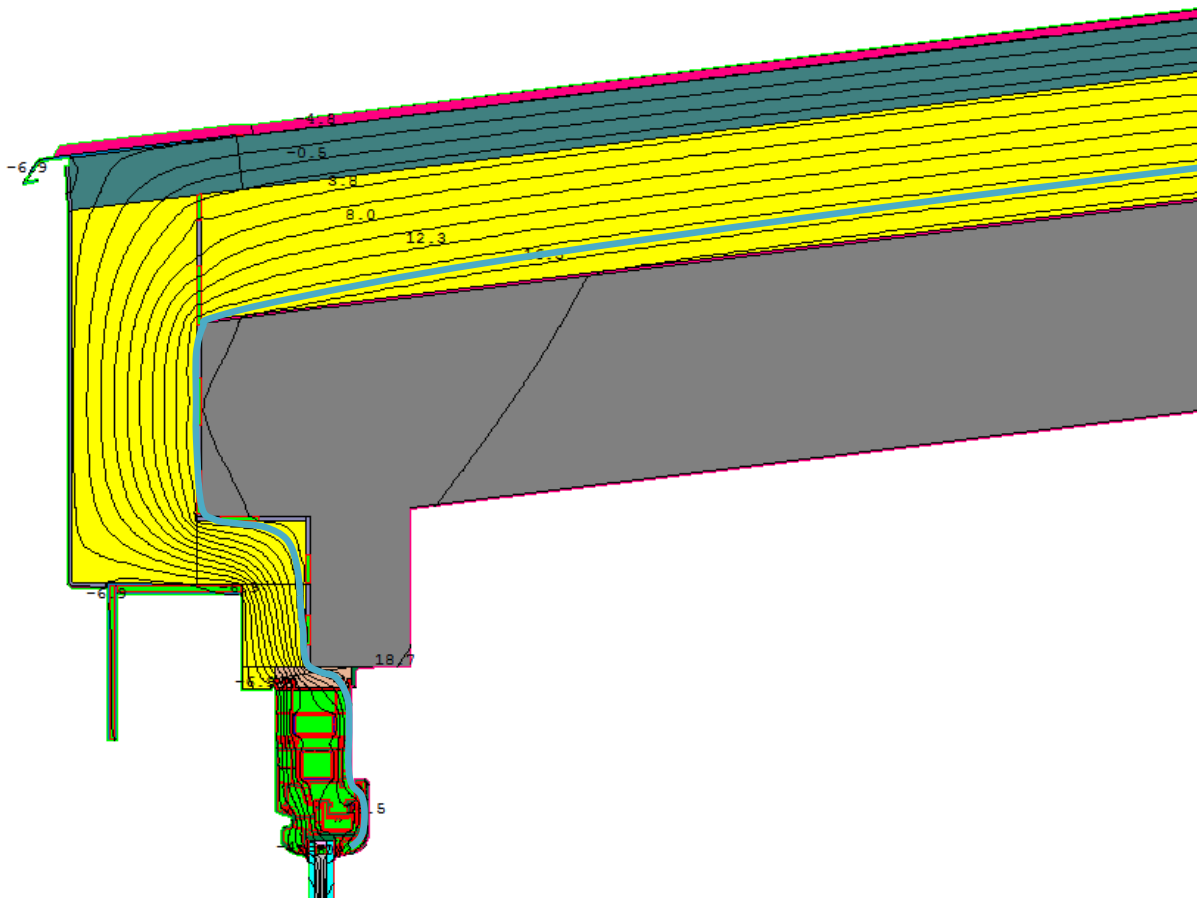
Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

- P-1-01

Debelino TI špalete nad balkonskimi vrati sem povečal s 3 cm na 6 cm

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ P-1-01



Slika 57: Simulacija izboljšane toplotnega mostu strehe v prerezu (primer »P-2«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Pri povečani debelini toplotne izolacije nad oknom se pojavi težava zaradi premajhnega prostora, ki je namenjen za senčilo. Za to sem za 2 cm zmanjšal širino betonskega nosilca nad oknom in na tem mestu pridobil dodatni prostor za toplotno izolacijo. Simulacija je pokazala vpliv povečane debeline na oslabiljenem delu, in sicer je temperatura najhladnejše notranje stene 18,5 °C. To je 0,9 K več kot v prvotnem primeru. Potrebno je le nekaj več natančnosti pri izvedbi. Še boljši rezultat bi dobil pri prestavitvi okna v sloj toplotne izolacije.

4.4.2 »P-2«

OPIS KRIŽANJA

Med mansardnimi stanovanji in streho je neizkoriščen podstrešni prostor. Podstrešni prostor meji na zgornji strani na streho s tipično sestavo s 17 cm EPS, na obodu strehe je atika. Na južni strani objekta podstrešni prostor meji na zunanjo steno, ki je toplotno izolirana z 12 cm EPS. Podstrešje na spodnji strani meji na stanovanje in ložo, ki ima strop toplotno izoliran s 5 cm debelim EPS. Stanovanje je ločeno od lože z vrati in panoramsko steno.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjšanje toplotnega mostu bi bilo smiselno dodati debelo plast toplotne izolacije na tla podstrešja ter odebeliti toplotno izolacijo na stropu lože. V tem primeru toplotne izolacije na strehi nad neogrevanim podstrešjem ne bi bilo smiselno zanemarjati zaradi drugega dela stavbe, ki nima podstrešnega prostora oziroma je stanovanjski prostor visok do strešne plošče. Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

➤ P-2-01

Povečal sem debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm.

➤ P-2-02

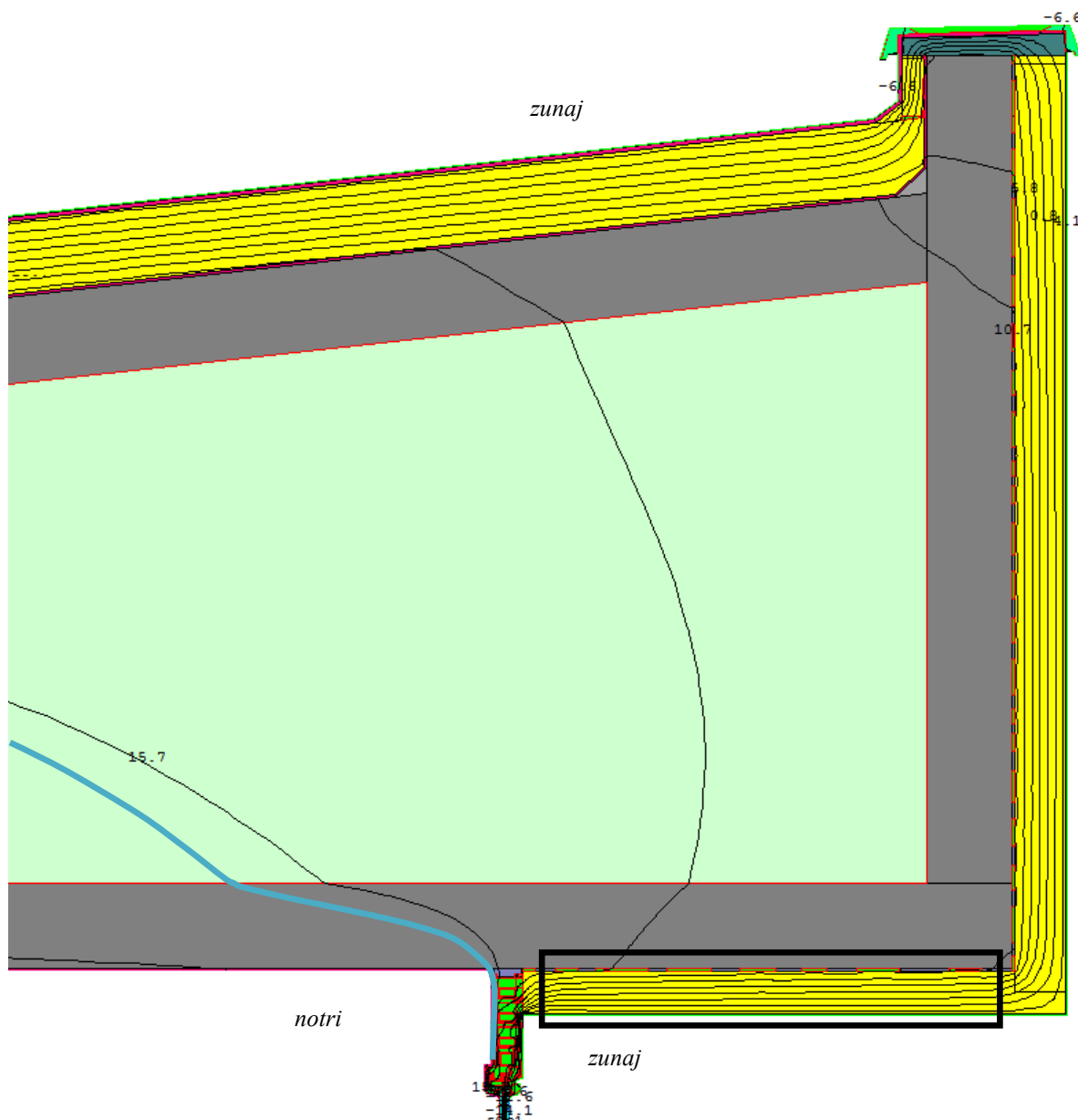
Na tla podstrešja sem položil 17 cm debel sloj EPS.

➤ P-2-03

Poleg oblaganja tal podstrešja s 17 cm debelim slojem EPS sem povečal debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

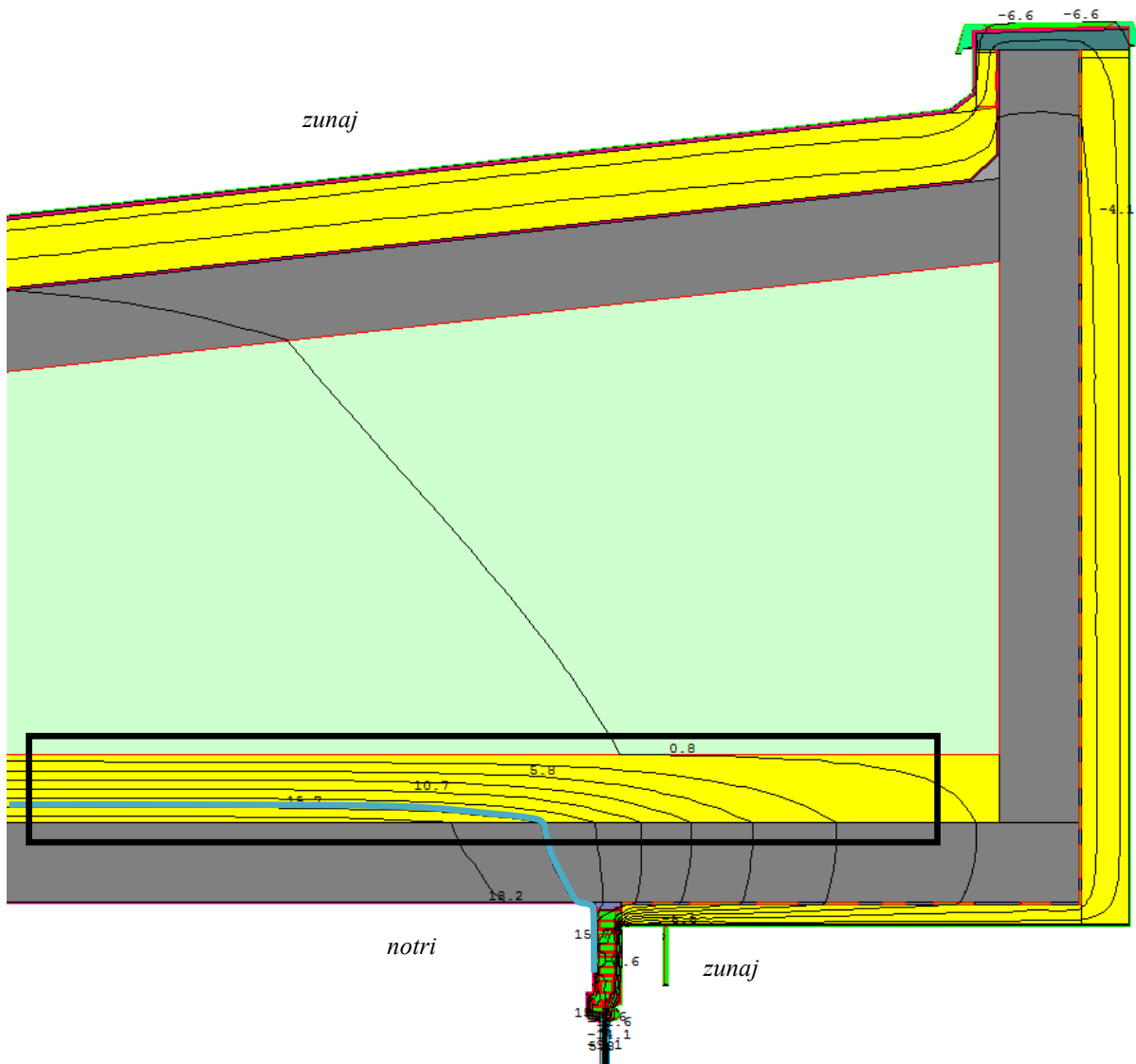
➤ P-2-01



Slika 59: Simulacija izboljšane toplotnega mostu podstrešja v prerezu s povečano debelino toplotne izolacije na stropu lože s 5 cm na 10 cm (primer »P-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Simulacija je pokazala, da je povečana debelina toplotne izolacije na stropu lože pripomogla k povišanju stropa stanovanja za 1,1 K. Temperatura stropa ob oknu je 16,8 °C. Pri tej temperaturi bi se vodna para kondenzirala pri 77 odstotni zračni vlažnosti. Z izvedenim ukrepom se je za 1 K povišala temperatura po celotnem podstrešnem prostoru. Hkrati se je z manjšo razliko v temperaturi med stanovanjem in podstrešjem zmanjšal tudi toplotni tok na ostalih delih stropa ali stene mansardnega stanovanja, ki meji na podstrešni prostor.

➤ P-2-02



Slika 60: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu podstrešja v prerezu s 17 cm toplotne izolacije na tleh podstrešja (primer »P-2-02«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

Z izvedenim ukrepom se je razporeditev izoterm zelo spremenila. Z dodano toplotno izolacijo na tleh podstrešja se je temperatura zraka v podstrešnem prostoru zelo znižala, prav tako se je znižala temperatura zunanje AB nosilne konstrukcije. Tudi medetažna plošča je nad ložo hladnejša kot v prvotnem primeru, vendar temperatura plošče proti stanovanjskemu delu hitro raste. V območju okenskega okvirja je temperatura stropa stanovanja enaka kot v prvotnem primeru, 15,7 °C, z oddaljenostjo od okna v stanovanje pa hitro raste. Temperatura stropa stanovanja na oddaljenosti od 50 cm od okna je 2,2 K višja kot v prvotnem primeru.

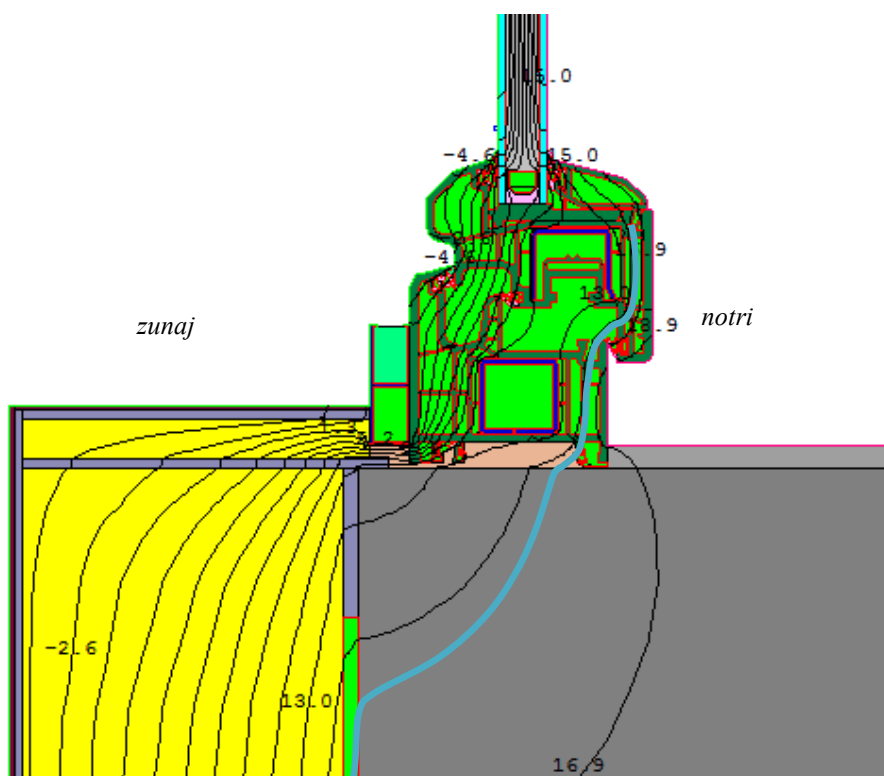
4.5 Okno

4.5.1 »O-1«

OPIS KRIŽANJA

Primer toplotnega mostu »O-1« obravnava toplotni most, ki nastane ob vertikalnem delu okenskega okvirja. Obravnavani primer se ponavlja pri večini oken. Okvir okna je pritrjen na zunanji del nosilne armiranobetonske stene. Zunanja stran stene je toplotno izolirana z 12 cm debelim slojem EPS, ki je pred zunanji vplivi zaščiteno z lepljeno armirno mrežico in tankoslojnim zaključnim ometom. Na zunanji špaleti je prilepljena 1,5 cm debela plast EPS. Okenski okvir je iz PVC 5-komornih profilov. Na okenskem okvirju je pritrjeno vodilo, ki je potrebno za izvedbo senčila z roletno.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (O-1)



Slika 62: Simulacija toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil, da je najhladnejši del notranje površine špaleta ob okenskem okvirju. Temperatura površine špaleta 1 cm od okenskega okvirja je 17,1 °C. Pri tej temperaturi bi se vodna para kondenzirala pri 78 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Iz rezultata simulacije je razvidno, da je največji gradient temperature za vodilom senčila. Zunanja špaleta armiranobetonske nosilne konstrukcije je relativno slabo toplotno izolirana. Del je pokrit z vodilom senčila, preostali del pa le z 1,5 cm debelim slojem EPS.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednje ukrepe:

➤ O-1-01

Premik okna 2 cm čez zunanji rob AB stene v toplotno izolacijo fasade.

➤ O-1-02

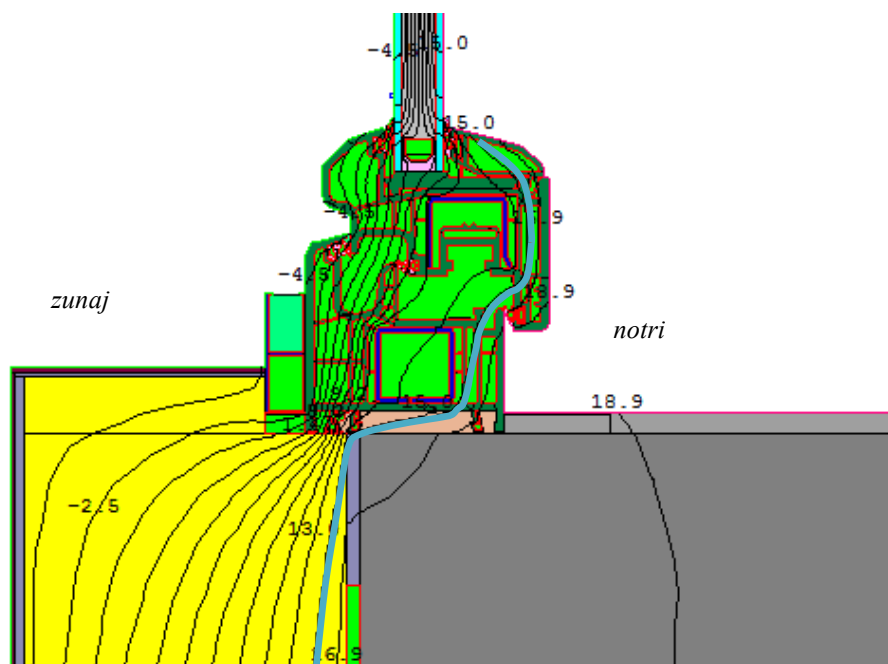
Premik okna v toplotno izolacijo fasade.

➤ O-1-03

Odstranitev vodila rolete in povečanje debeline toplotne izolacije špalete z 1,5 cm na 3 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

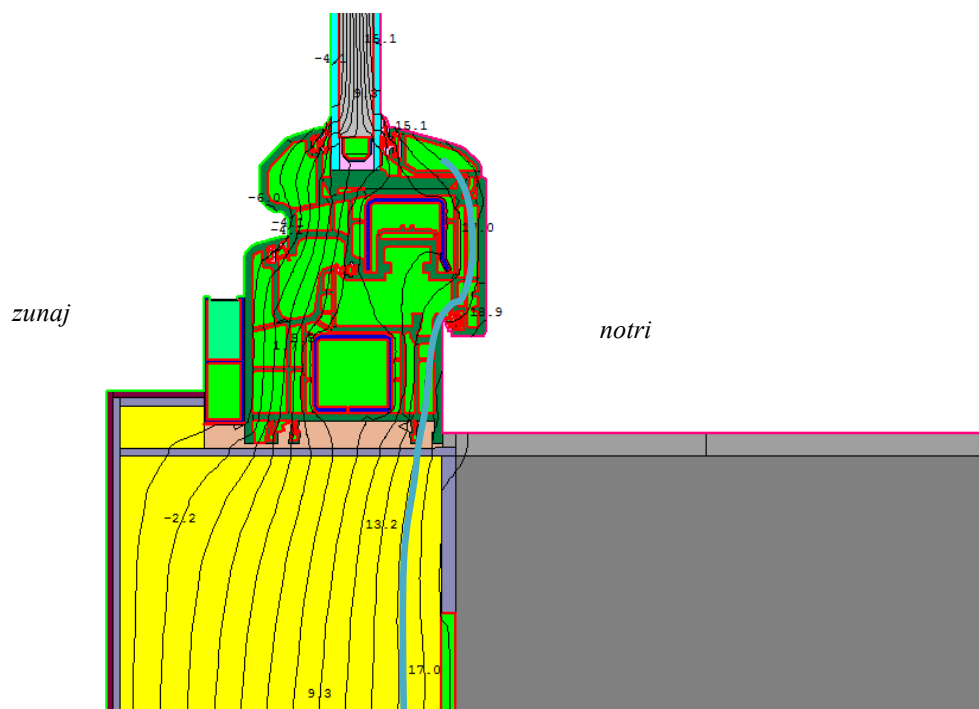
➤ O-1-01



Slika 63: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1-01«). Ravnina rosišča pri projektних pogojih je označena modro.

Premik okna 2 cm čez zunanji rob nosilne konstrukcije je zelo zmanjšal vpliv slabo toplotno izolirane zunanje špalete. Izboljšava toplotnega mostu je povzročila povišanje temperature notranje špalete za 1,2 K. Najhladnejši del notranje površine se je ogrel na 18,3 °C.

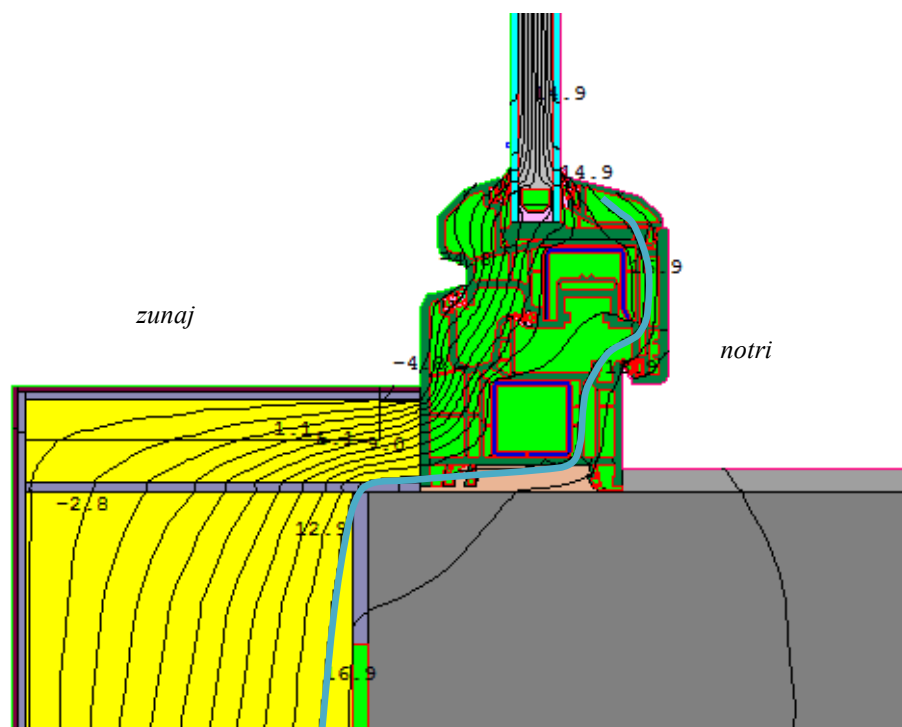
➤ O-1-02



Slika 64: Simulacija izboljšane toplotnega mostu okna v florisu (primer »O-1-02«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

Najhladnejši del notranje špalete ima temperaturo 18,8 °C. To je 0,5 K več kot v prvem primeru izboljšave toplotnega mostu in 1,7 K več kot v primerjavi s prvotnim primerom toplotnega mostu. S simulacijo sem dokazal, da je za zmanjševanje vpliva toplotnega mostu primerno vgrajevanje oken v toplotnoizolacijski sloj.

➤ O-1-03



Slika 65: Simulacija izboljšane toplotnega mostu okna v tlorisu (primer »O-1-03«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

Modelu okna sem odstranil vodilo rolete in podvojil debelino obloge špalete iz EPS. Simulacija je pokazala povišanje najhladnejše temperature notranje površine na 18,5 °C. V primerjavi s prvotnim primerom se je temperatura povišala za 1,4 K. Debelina toplotne izolacije špalete ima velik vpliv na toplotni most. Izkazalo se je, da je 3 cm debela toplotna izolacija špalete dovolj za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare tudi pri 85 odstotni relativni zračni vlažnosti.

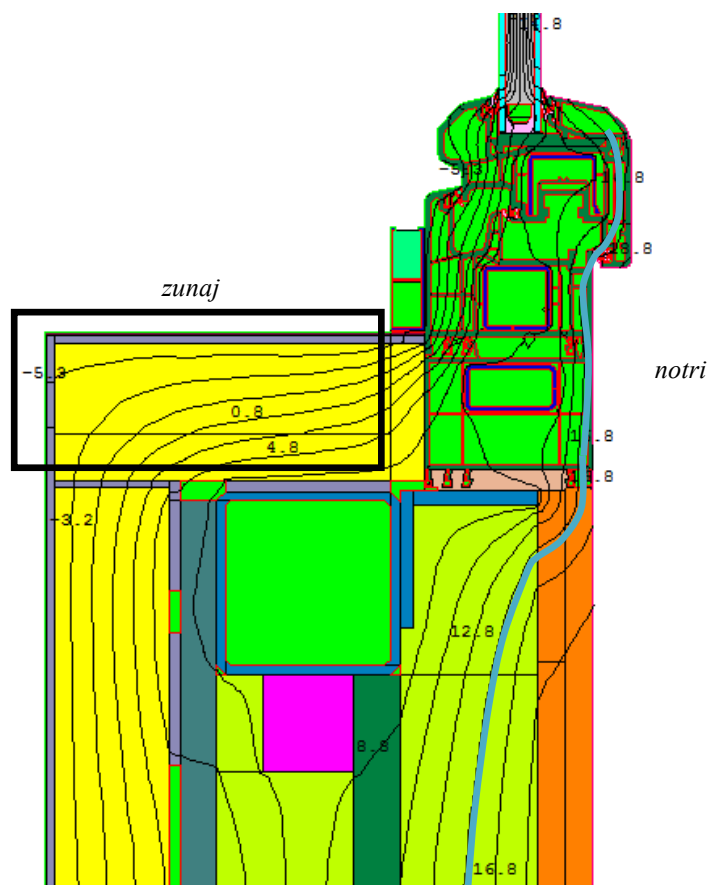
4.5.2 »O-2«

OPIS KRIŽANJA

Loža je od stanovanja ločena z lahko fasadno steno, ki ima skeletno jekleno nosilno konstrukcijo. Notranja stran je obložena z dvojno mavčno kartonsko ploščo, ki pokriva plasti: parna zapora iz polietilenske folije, dve 6 cm debele plasti kamene volne, ki sta pritrjeni na OSB ploščo, vlakno-cementna plošča in 5 cm EPS, ki je pokrit z lepilom in armirno mrežico ter zaključnim fasadnim ometom. Vrata in panoramska stena sta pritrjena na jekleno konstrukcijo na notranjem delu konstrukcijskega sklopa. Špaleta je toplotno izolirana z 2 cm debelo ploščo EPS.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ O-2-01



Slika 67: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu okna v lahki fasadni steni v tlorisu (primer »O-2-01«). Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

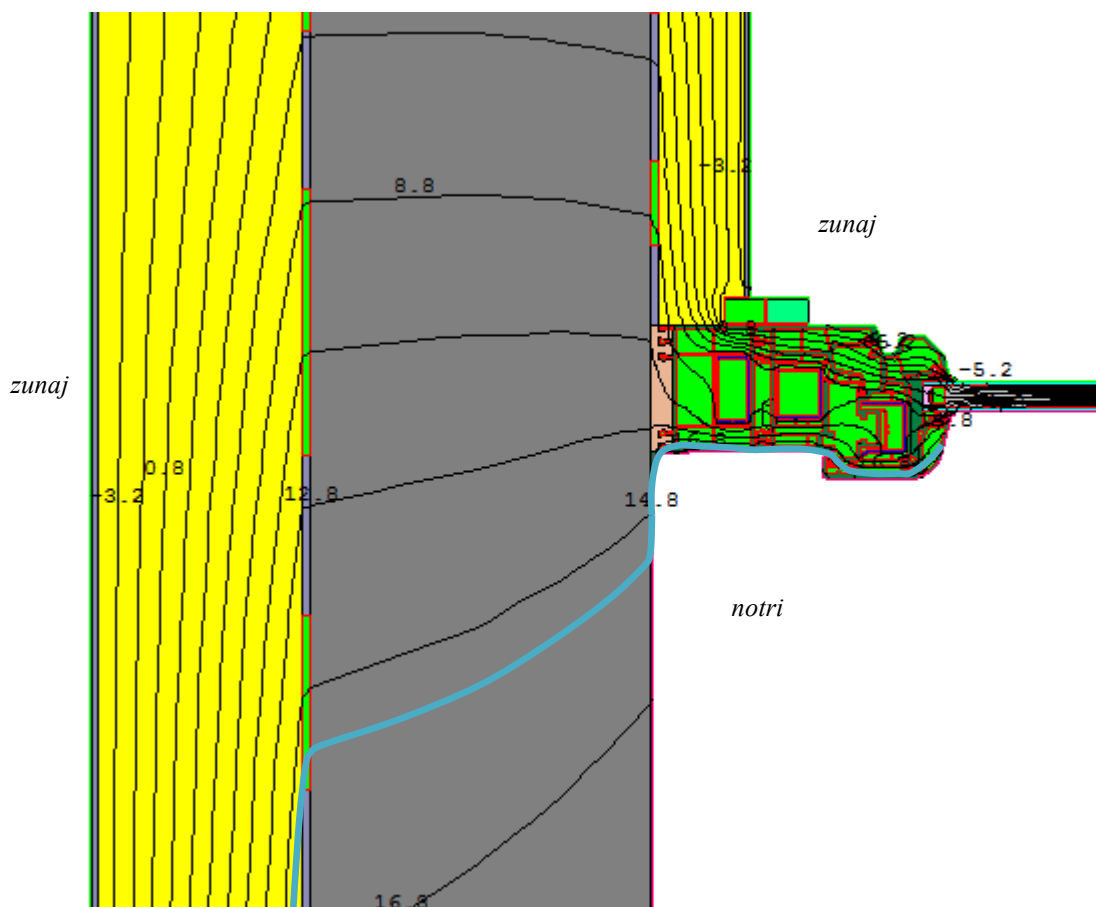
Povečanje debeline toplotne izolacije špalete sem omogočil s spremenjenim položajem nosilne konstrukcije za pritrjevanje okna. Pod povečano debelino toplotne izolacije špalete je temperatura jeklene konstrukcije 3,5 K višja, kot v prvotnem primeru. To se je pokazalo tudi pri temperaturi lokalno najhladnejšega dela mavčno-kartonske plošče ob parni zapori, ki je v tem primeru 8 °C. Površina mavčno-kartonske obloge v stanovanju ima na najbolj izpostavljenem delu temperaturo 16,3 °C, kar je 1 K več kot v prvotnem primeru in je dovolj za preprečitev površinske kondenzacije vodne pare pri projektnih pogojih. Še vedno pa ostaja problematičen manjši del mavčno-kartonske plošče tik ob jekleni konstrukciji za pritrjevanje okna. Za boljšo rešitev bi moral jekleni kotni profil za pritrjevanje okenskega okvirja izvesti le točkovno in ne po celotni dolžini.

4.5.3 »O-3«

OPIS KRIŽANJA

Panoramska stena, ki loči ložo od stanovanja, je pritrjena na AB nosilno konstrukcijo. AB konstrukcija je toplotno izolirana na strani lože s 5 cm EPS, na zunanji strani pa kot tipična fasadna obloga z 12 cm EPS.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (O-3)



Slika 68: Simulacija toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-3«). Ravnina rosišča pri projektних pogojih je označena modro.

S simulacijo toplotnega mostu sem ugotovil, da ima pri projektnih pogojih najhladnejši del površine notranje stene temperaturo 14,4 °C. Pri tej temperaturi se vodna para kondenzira pri 67 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Vzrok povečanega toplotnega toka je nosilna konstrukcija, ki je iz toplotno prevodnega armiranega betona in se iz stanovanjskega dela brez prekinitve nadaljuje v ložo. Stena v loži je toplotno izolirana le s 5 cm EPS.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

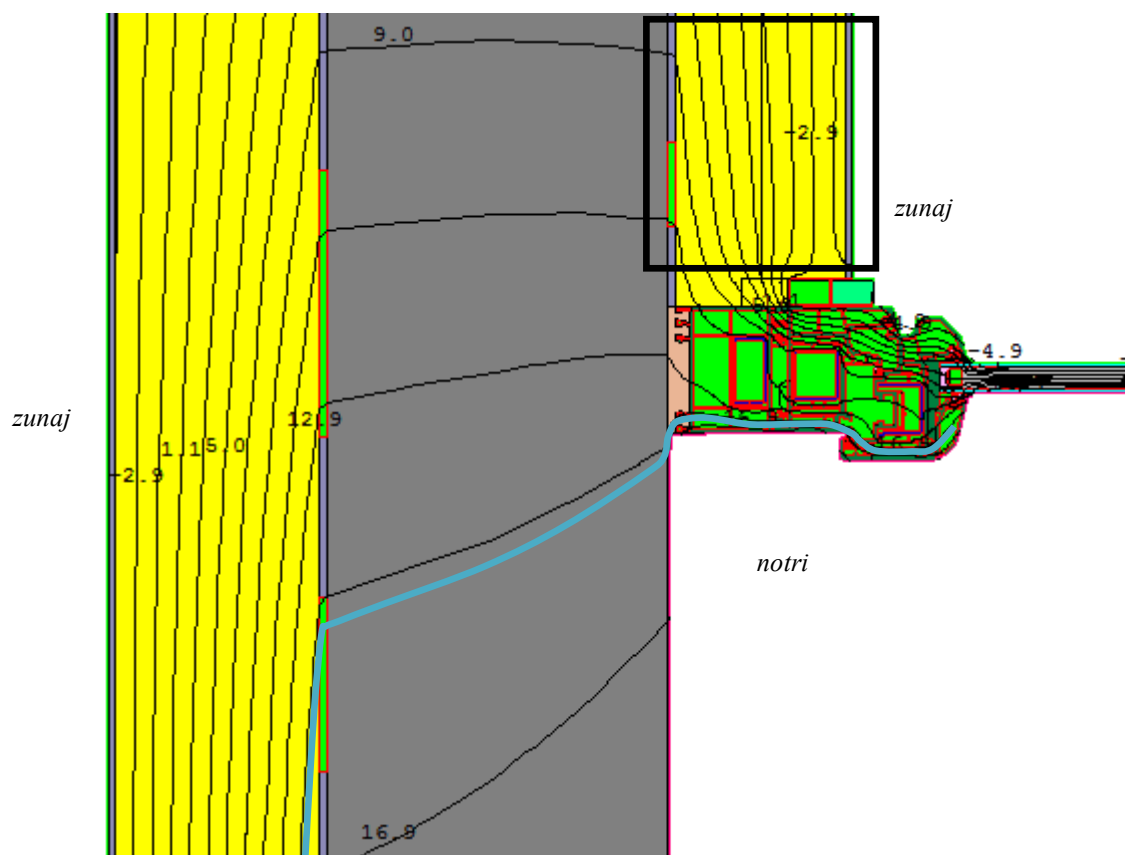
Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednji ukrep:

- O3-01

Povečal sem debelino toplotne izolacije na steni lože s 5 cm na 10 cm.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

➤ O3-01



Slika 69: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-3-01«).
Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro, ukrep je označen z okvirjem.

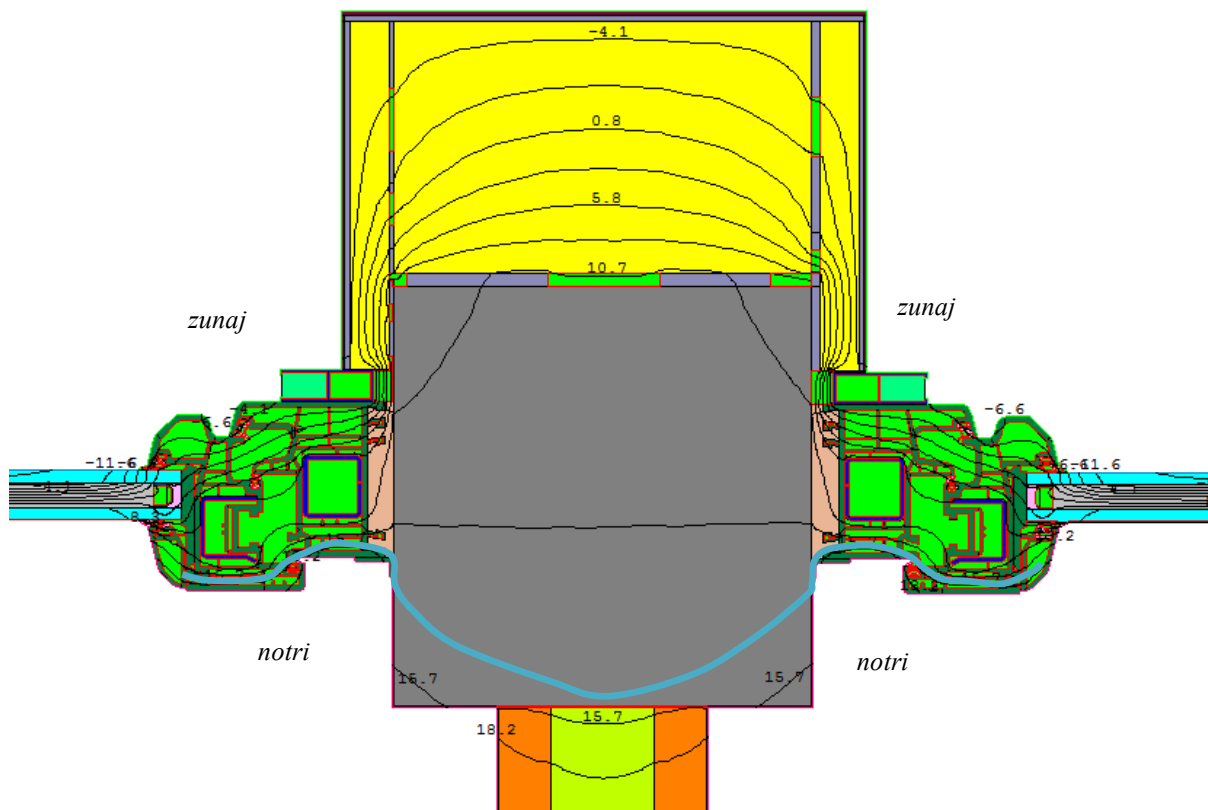
Simulacija je pokazala, da se pri povečani debelini s 5 cm na 10 cm EPS najhladnejši del površine notranje stene ogreje za 1 K oziroma na 15,4 °C. Pri tej temperaturi vodna para kondenzira pri 70 odstotni relativni zračni vlažnosti.

4.5.4 »O-4«

OPIS KRIŽANJA

V obravnavanem primeru sta dve panoramski steni, ki sta vgrajeni v zunanjo steno, razmaknjeni z 20 cm debelim AB stebrom. AB stebra se dotika tudi mavčno kartonska predelna stena, ki razmejuje prostora stanovanja. Zunanji rob okvira panoramske stene je zamaknjen 6 cm od zunanjega roba AB stebra. Špalete so toplotno izolirane z 2 cm debelim slojem EPS.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (O-4)



Slika 70: Simulacija toplotnega mostu okna v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da se ob projektnih pogojih najhladnejši del notranje površine stene ohladi na 15,6 °C. Najhladnejši del notranje površine je na špaleti ob okviru panoramske stene.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

Podobno kot pri drugih primerih vgrajenih oken je tudi tu prisoten toplotni most predvsem zaradi slabo toplotno izoliranih zunanjih špalet. V primerjavi z drugimi primeri toplotnih mostov, ki so posledica vgrajenih oken, v tem primeru povzročata povečan toplotni tok dve slabo toplotno izolirani špaleti na majhni razdalji.

UKREPI ZA IZBOLJŠANJE STANJA

Za zmanjšanje toplotnega toka sem izvedel naslednji ukrep:

- O-4-01

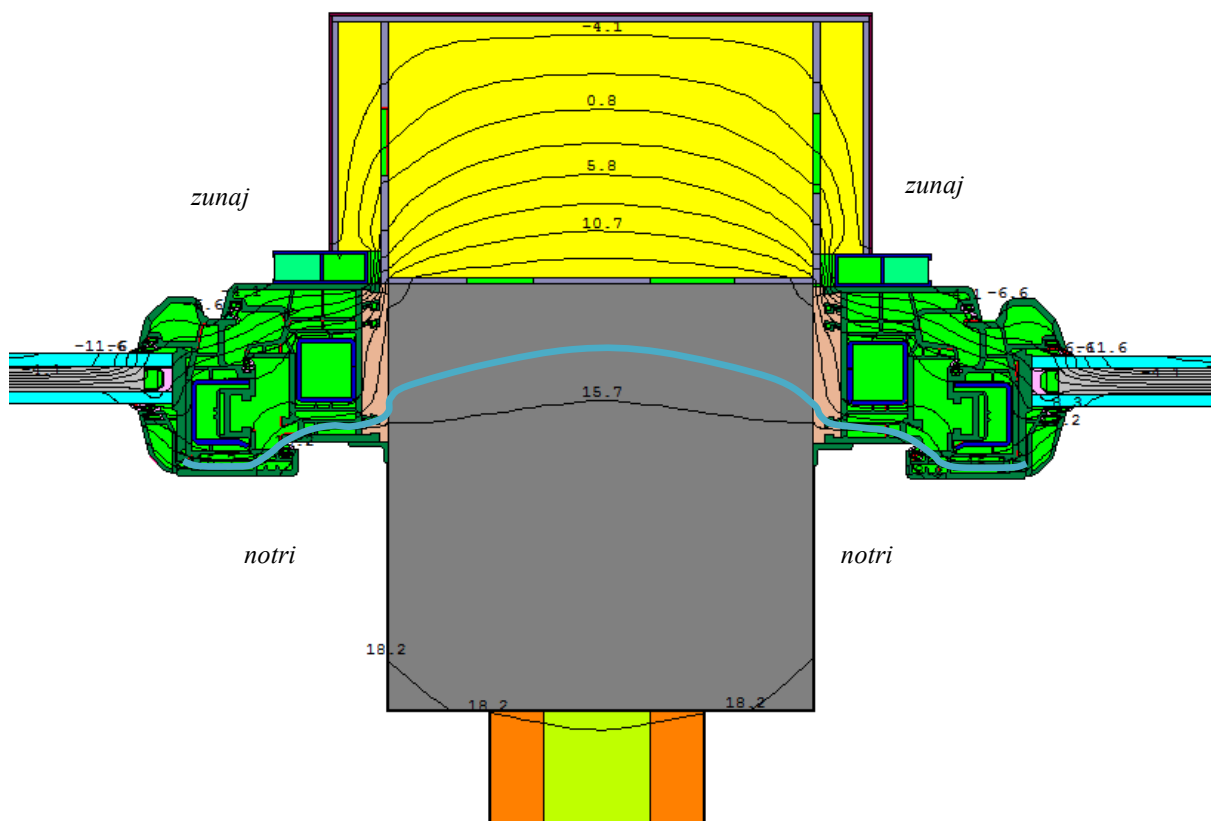
Panoramsko steno sem premaknil na zunanji rob AB konstrukcije.

- O-4-02

Panoramsko steno sem premaknil v toplotnoizolacijski sloj fasade.

REZULTATI UKREPOV S KOMENTARJEM

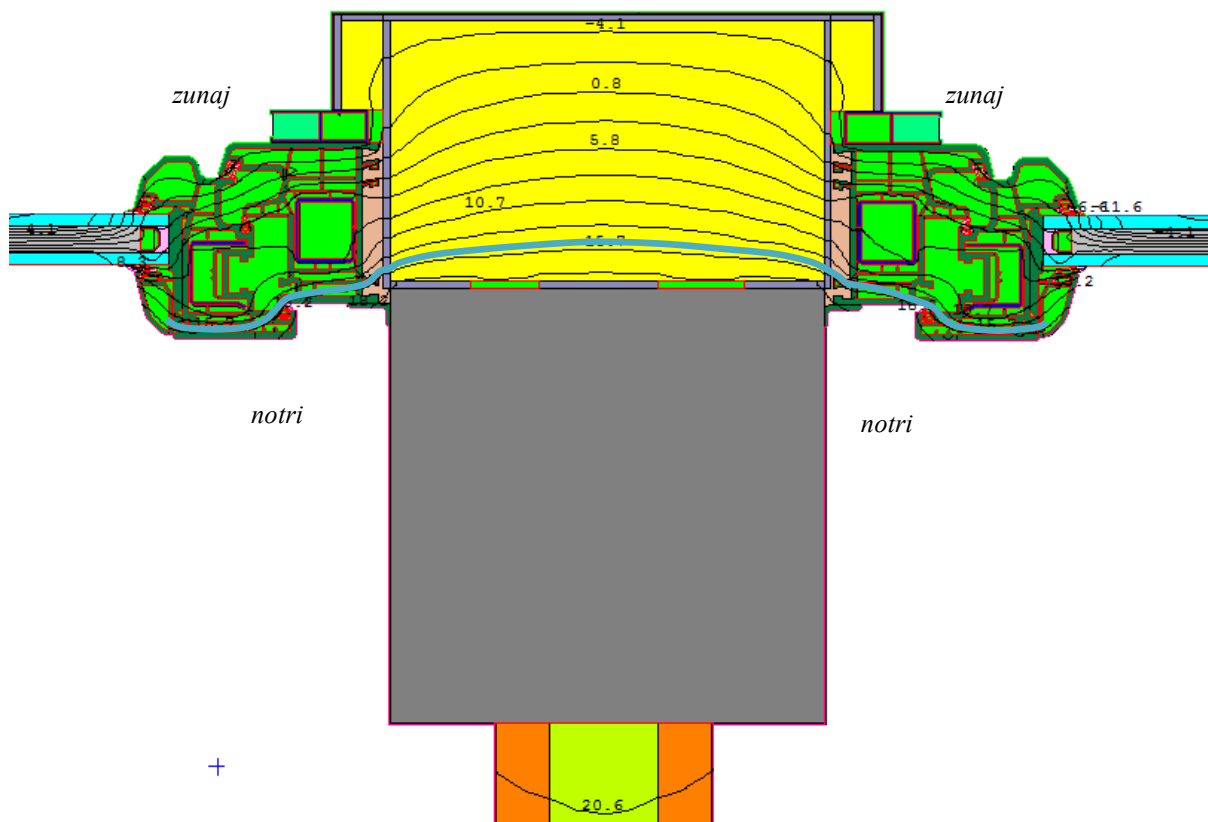
➤ O-4-01



Slika 71: Simulacija izboljšane toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-4-01«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

Simulacija toplotnega mostu s premaknjeno panoramsko steno na zunanji rob nosilne konstrukcije je pokazala, da ima najhladnejši del notranje špalete temperaturo 16,8 °C. To je 1,2 K več kot v prvotnem primeru in je dovolj za preprečevanje površinske kondenzacije pri relativni zračni vlažnosti 77 %.

➤ O-4-02



Slika 72: Simulacija izboljšanega toplotnega mostu panoramske stene v loži v tlorisu (primer »O-4-02«). Ravnina rosišča pri projektних pogojih je označena modro.

Panoramski steni sem premaknil v toplotnoizolacijski sloj fasade in tako omogočil neprekinjen toplotno izolacijski ovoj stavbe. Simulacija izboljšanega toplotnega mostu je pokazala, da je temperatura najhladnejšega dela notranje špalete 19,2 °C. Tak način zmanjševanja toplotnega mostu je zelo učinkovit za povišanje temperature notranje površine zidu. Temperatura okvira panoramske stene pa se z izvedenimi ukrepi ni bistveno spremenila.

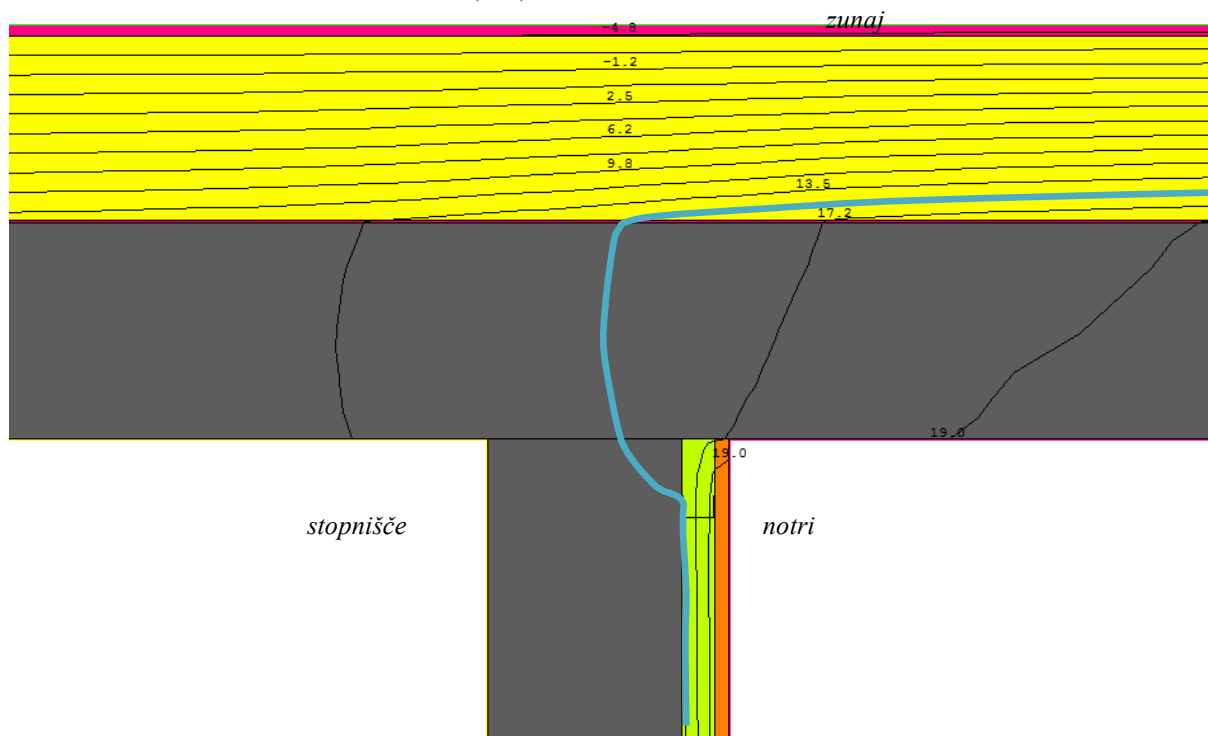
4.6 Stopnišče

4.6.1 »S-1«

OPIS KRIŽANJA

Toplotni most je prisoten na križanju stene stopnišča in strešne plošče. Stena stopnišča, ki meji na stanovanje, je na strani stanovanja obložena s toplotnoizolacijsko oblogo iz 3 cm debele plasti kamene volne in mavčnokartonske plošče. Strešna plošča je izvedena v naklonu 7° v smeri pravokotno na prerezno ravnino, ki je prikazana v rezultatu simulacije. Streha je sestavljena iz plasti: AB plošča, bitumenski trak z aluminijsko folijo, 17 cm debel sloj EPS in večplastna hidroizolacija iz bitumenskih trakov. Vrhnja plast bitumenskih trakov je zaščitena s škrljem.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (S-1)



Slika 73: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-1) v prerezu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da je temperatura najhladnejše površine stanovanja pri obravnavanem toplotnem mostu 17,4 °C. Najhladnejši del toplotne izolacije v oblogi stene ima temperaturo 15 °C, kar je dovolj za preprečevanje kondenziranja vodne pare do relativne zračne vlažnosti 68 %.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

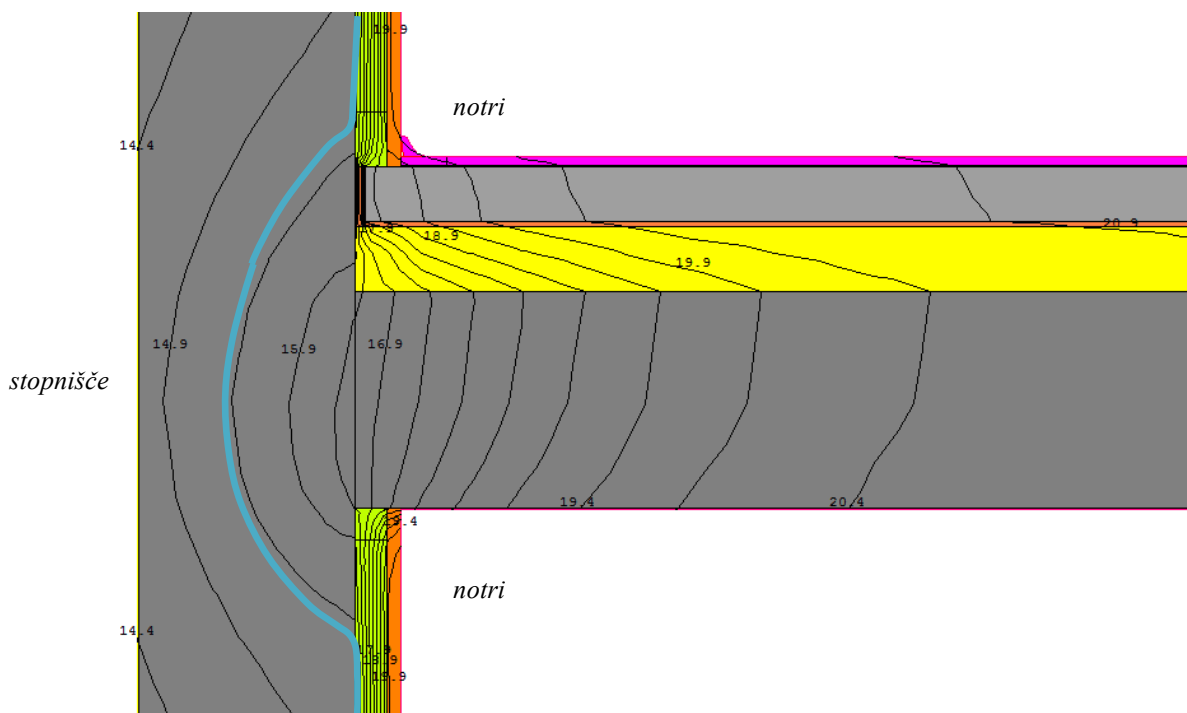
Stenska toplotnoizolacijska obloga se konča na višini stropa. Nosilna konstrukcija, ki je iz armiranega betona, povzroča večji toplotni tok iz stanovanja po strešni plošči do hladnejšega stopnišča. Vendar, kot je pokazala simulacija, so površinske temperature stanovanja tudi v bližini toplotnega mostu dovolj visoke za preprečevanje kondenzacije vodne pare. Izkazalo se je, da temperatura ni dovolj visoka za preprečevanje kondenzacije vodne pare na najhladnejšem delu toplotnoizolacijskega sloja ob AB konstrukciji. V primeru, da bi bila projektna temperatura in vlažnost v prostorih prisotna dlje časa, bi lahko to težavo rešili s parno zaporo med toplotnoizolacijskim slojem in mavčno-kartonsko oblogo.

4.6.2 »S-2«

OPIS KRIŽANJA

Toplotni most je prisoten pri križanju stene stopnišča in medetažne plošče. Stena stopnišča je na strani stanovanja obložena s toplotnoizolacijsko oblogo iz 3 cm debele plasti in mavčno-kartonsko ploščo. Na medetažno AB ploščo so položene plasti: 6 cm debel sloj EPS, 0,5 cm debela zvočnoizolacijska plast ekspaniranega polietilena, 5 cm debel estrih, ki je od AB stene stopnišča dilatiran z 1 cm debelim trakom iz ekspaniranega polietilena. Na estrih je položen hrastov parket.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (S-2)



Slika 74: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-2) v prerezu. Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

Simulacija je pokazala, da je temperatura najhladnejše površine stanovanja ob toplotnem mostu 17,9 °C. Podobno kot v primeru »S-1« ima najhladnejši del toplotne izolacije v oblogi stene temperaturo 15 °C, kar je dovolj za preprečevanje kondenziranja vodne pare do relativne zračne vlažnosti 68 %.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

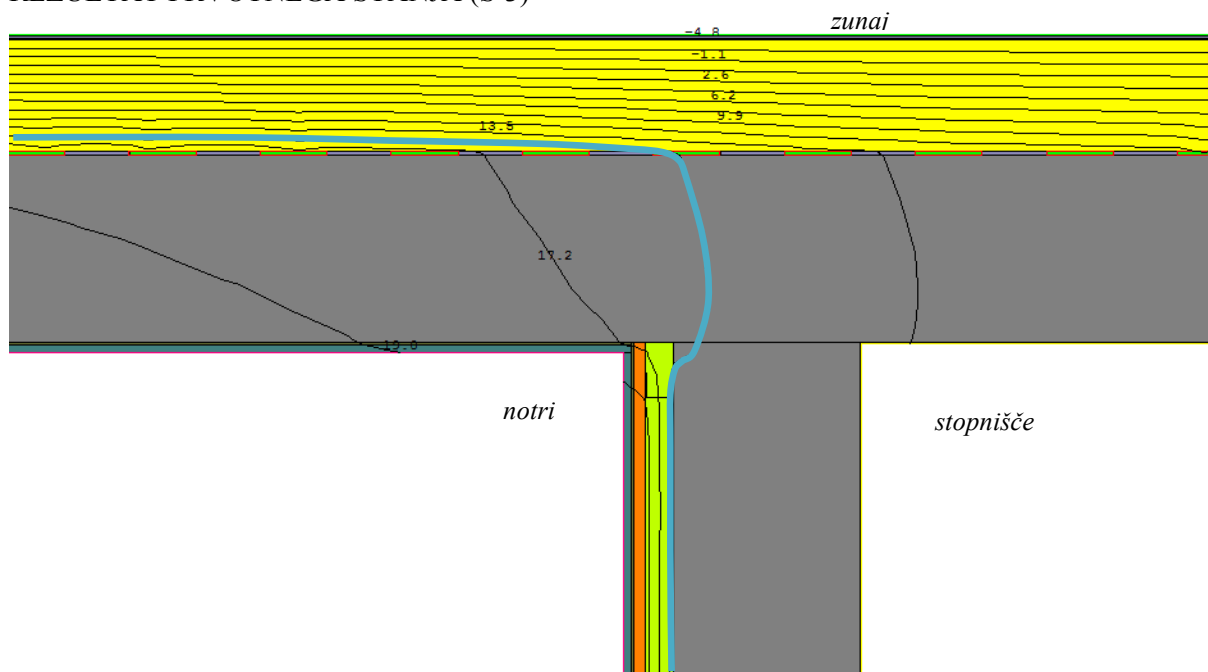
Povečan toplotni tok iz stanovanja v stopnišče nastane v območju medetažnega konstrukcijskega sklopa zaradi prekinjene toplotnoizolacijske stenske obloge. Medetažna plošča in stopniščna stena sta iz armiranega betona, ki ima veliko večjo toplotno prevodnost kot ostali materiali v konstrukcijskem sklopu. Simulacija je pokazala, da toplotni most ni tako problematičen, površinska kondenzacija vodne pare se ne bo pojavila. Problem nastane zaradi navlaževanja toplotnoizolacijskega materiala ob daljši izpostavljenosti konstrukcijskega sklopa projektim ali ostrejšim pogojem. V tem primeru bi moral toplotnoizolacijski material zaščititi pred navlaževanjem s parno zaporo pod mavčno-kartonsko ploščo.

4.6.3 »S-3«

OPIS KRIŽANJA

Obravnavani toplotni most nastane na križanju zunanje stene s steno stopnišča. Zunanja stran zunanje stene je toplotno izolirana z 12 cm debelo plastjo EPS, ki je pred zunanjimi vplivi zaščitena z nanosom lepila z armirno mrežico in fasadnim ometom. Stena stopnišča je na strani stanovanja toplotno izolirana s 3 cm mineralne volne, ki je pokrita z mavčno-kartonsko ploščo in keramičnimi ploščicami.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (S-3)



Slika 75: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-3) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil, da je najnižja temperatura na notranji površini 17,6 °C in je dovolj za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare. Najhladnejši del kamene volne, ki je ob AB steni stopnišča, ima ob projektnih pogojih temperaturo 14,9 °C. Pri tej temperaturi se vodna para kondenzira pri 68 odstotni relativni zračni vlažnosti.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

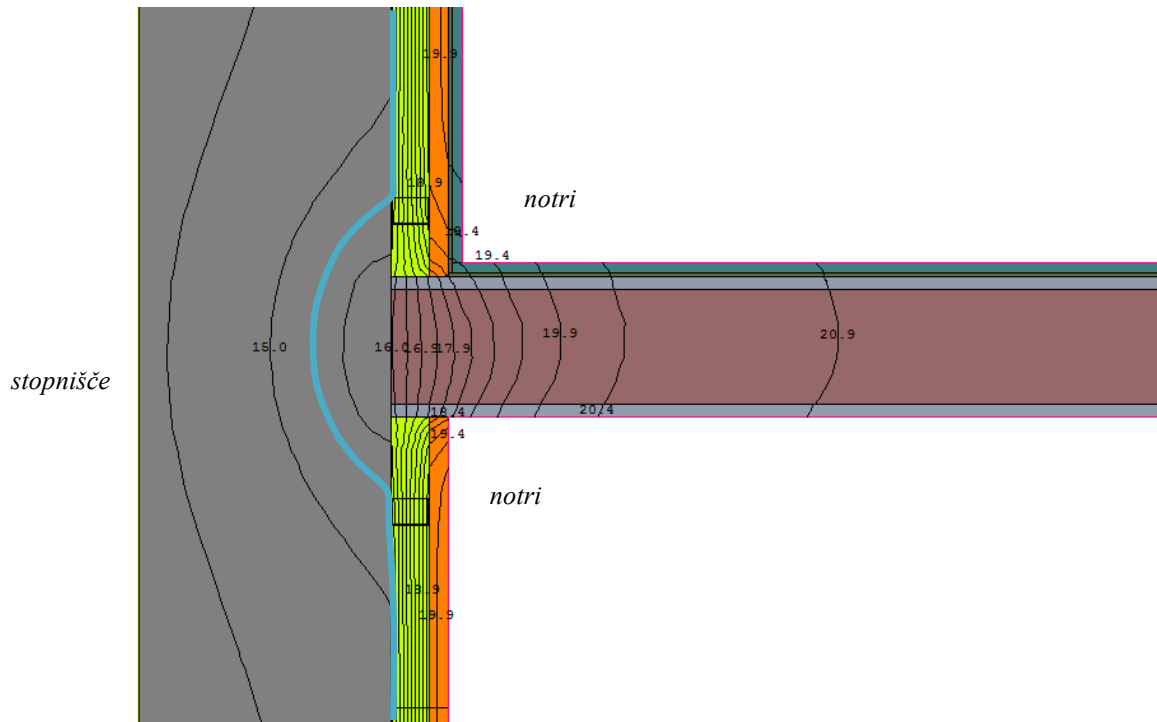
Podobno, kot pri drugih primerih toplotnih mostov ob stopnišču, je tudi v tem primeru problem prekinjene toplotne izolacije na steni med stopniščem in stanovanjem. Kljub prekinjeni toplotni izolaciji pa je razlika v temperaturi stanovanja in temperaturi stopnišča dovolj majhna in ne povzroča prenizke temperature stanovajske površine, kjer bi se kondenzirala vodna para. Ob dlje časa trajajočih projektnih ali ostrejših razmerah je prisotna nevarnost prekomernega navlaževanja najhladnejše plasti toplotne izolacije ob nosilni konstrukciji stene, ki meji na stopnišče.

4.6.4 »S-4«

OPIS KRIŽANJA

Zid iz opečnih zidakov deli kopalnico od ostalih delov stanovanja. Zid je obojestransko ometan. Na strani kopalnice so položene keramične ploščice. Toplotni most je prisoten na križanju opečnega zidu s steno med stanovanjem in stopniščem. Stena stanovanja, ki meji na stopnišče je na notranji strani obložena s 3 cm debelo mineralno volno in mavčno-kartonsko ploščo.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (S-4)



Slika 76: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-4) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Najhladnejši del površine stene v stanovanju je v kotu opečnega zidu ter stenske obloge in ima temperaturo 18,4 °C. Toplotno izolacijski sloj v stenski oblogi ima najnižjo temperaturo ob AB steni od 14,9 °C do 15,5 °C v bližini opečnega zidu.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

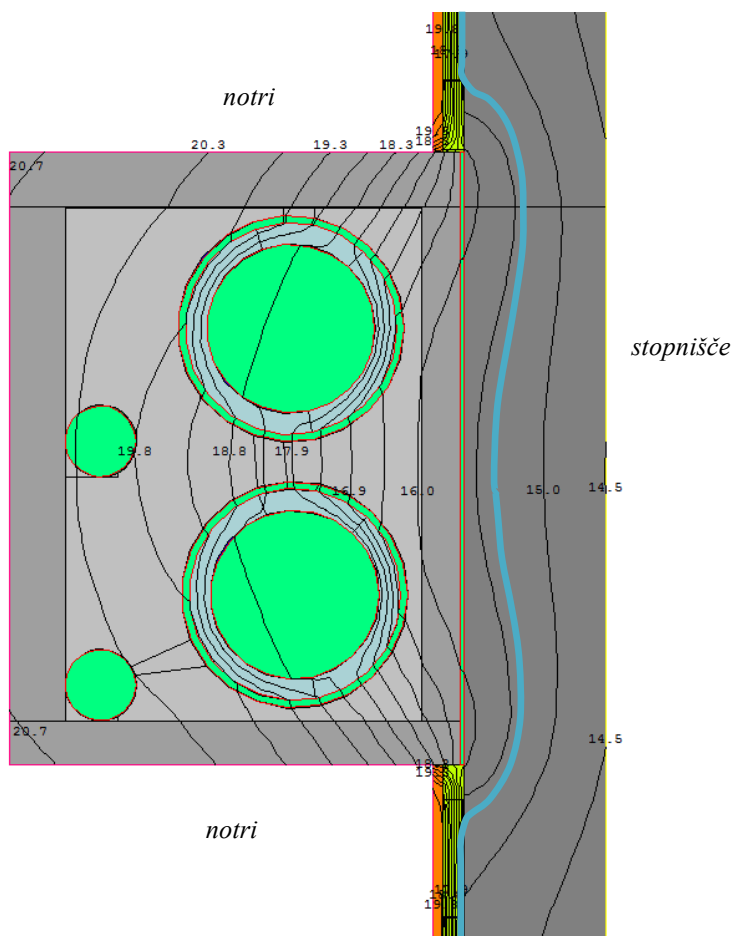
Vzrok povečanega toplotnega toka je prekinjena toplotno izolacijska stenska obloga v območju križanja. Predelna stena v stanovanju, ki je iz opečnih zidakov se dotika stopniščne stene. Simulacija toplotnega mostu je pokazala, da je temperatura površine stene stanovanja v bližini toplotnega mostu nižja. Vendar ne tako nizka, da bi predstavljala nevarnost površinske kondenzacije vodne pare.

4.6.5 »S-5«

OPIS KRIŽANJA

Toplotni most je prisoten v območju instalacijskih blokov, kjer je prekinjena toplotnoizolacijska obloga stene. Instalacijski bloki so postavljeni navpično skozi več nadstropij. Večina jih je ob steni, ki meji na stopnišče.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (S-5)



Slika 77: Simulacija toplotnega mostu stopnišča (primer S-5) v tlorisu. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih je označena modro.

Najhladnejši del površine stene stanovanja je v kotu instalacijskega bloka ob stenski oblogi, in sicer 17,5 °C, ki je dovolj za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare. Ravnina rosišča pri projektnih pogojih poteka v območju toplotnega mostu v AB steni, ki meji na stopnišče. Simulacija modela toplotnega mostu je pokazala, da toplotni most ni problematičen.

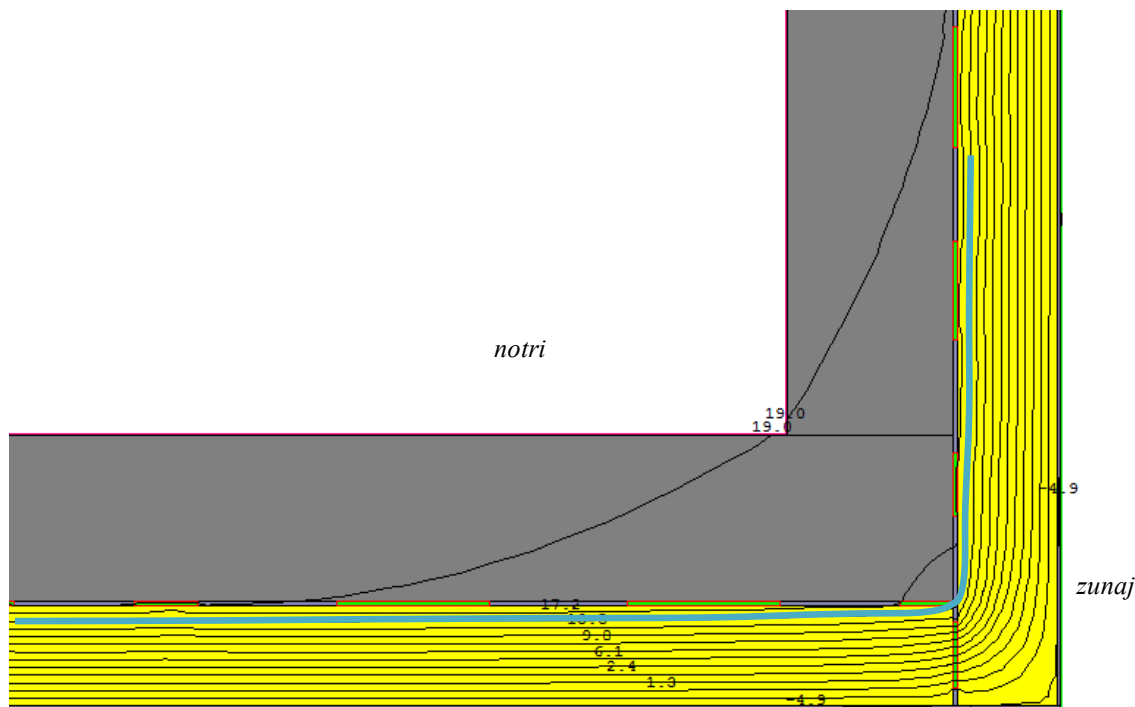
4.7 Vogal stavbe

4.7.1 »V-1«

OPIS KRIŽANJA

Na vogalih objekta se AB nosilne stene dotikajo pod kotom 90°. Toplotna izolacija, ki je iz EPS je nalepljena na zunanji strani stene v debelini 12 cm. Toplotna izolacija je pred zunanjimi vplivi zaščitena z nanosom lepila z armirno mrežico in fasadnim ometom.

REZULTAT PRVOTNEGA STANJA (V-1)



Slika 78: Simulacija toplotnega mostu vogala stavbe v tlorisu (primer »V-1«). Ravnina rosišča pri projektih pogojih je označena modro.

S simulacijo sem ugotovil, da je najnižja temperatura v kotu na notranji površini stene 18,9 °C.

PROBLEM OZ. VZROK POVEČANEGA TOPLOTNEGA TOKA

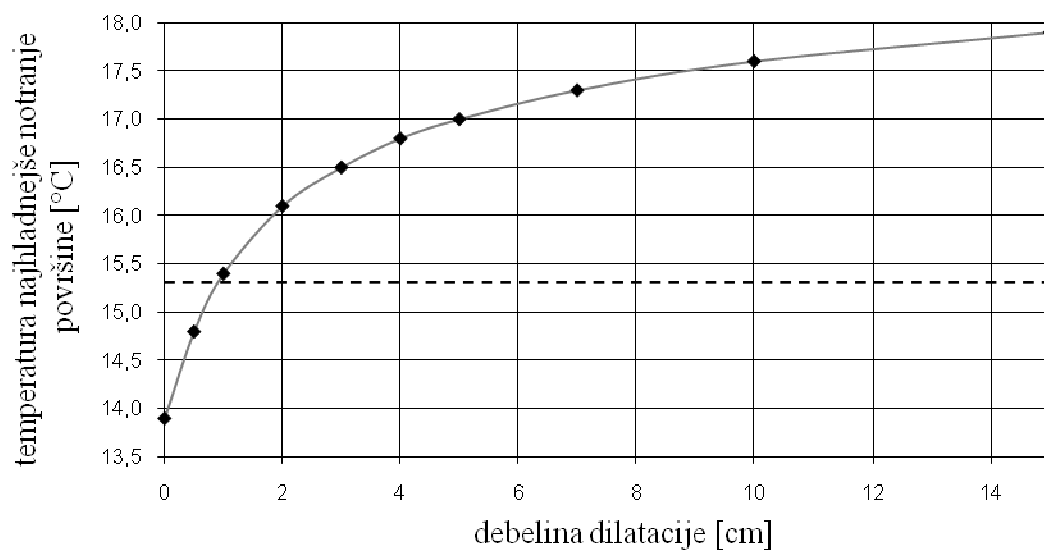
V vogalu objekta je toplotna izolacija neprekinjena in enaka, kot na drugih delih stene. Vzrok za nižjo temperaturo v kotu je geometrija križanja konstrukcijskega sklopa. To je tipičen geometrijski toplotni most, ki nastopi na delu ovoja stavbe, pri katerem je zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precej večja od notranje.

Na obravnavanem objektu sem analiziral 24 tipov toplotnih mostov. Od tega je nastalo 5 toplotnih mostov (S) zaradi prekinitev toplotnoizolacijskega sloja na steni, ki meji na stopnišče. Vseh pet primerov se je, zaradi dovolj visoke temperature stopnišča (13 °C), izkazalo za neproblematične. Trije toplotni mostovi, ki jih povzroča prekinjen toplotnoizolacijski ovoj proti kletni etaži (K), so se tudi izkazali za neproblematične. V kletni etaži je projektna temperatura (8 °C) dovolj visoka, da bi se v stanovanjskem delu toplotnega mostu pojavila površinska kondenzacija vodne pare. Kljub temu sem preizkusil nekaj izboljšav, ki so pokazale relativno majhne učinke. Simuliral sem en izključno geometrijski toplotni most (V) na vogalu stavbe, ki se je izkazal za neproblematičnega. Tudi toplotni most atike (A) se je izkazal za neproblematičnega. Kljub temu sem simuliral nekaj izboljšav, ki so imele relativno majhen vpliv na toplotni most. Simuliral sem štiri tipe toplotnih mostov, ki nastanejo zaradi tanjše debeline toplotnoizolacijskega ovoja ob oknu (O). Med njimi so bili trije problematični, te sem rešil z izboljšavo. Izvedel sem premik okna v toplotnoizolacijski sloj ali, kjer to ni bilo možno, odebeljeno toplotno izolacijo špalete. Analiziral sem osem tipov toplotnih mostov, ki se pojavljajo v območju lože (L), balkonov in teras, kjer nosilna konstrukcija prebada toplotnoizolacijski ovoj stavbe. Med njimi so bili štirje problematični, ki sem jih z ukrepi izboljšal do nivoja, da pri projektnih pogojih ni prišlo do površinske kondenzacije vodne pare.

Največ problematičnih toplotnih mostov je v ložah in v okolici oken, kjer je toplotni tok povečan zaradi prekinjene ali bistveno stanjšane toplotne izolacije. Kar sedem različnih tipov toplotnih mostov, ki se pojavljajo v območju lože in oken, povzroča ob projektnih pogojih lokalno znižano temperaturo notranje površine stene, ki je nižja od temperature rosišča 15,3 °C. V najslabšem primeru je najnižja temperatura notranje površine na lokalnem delu stene le 13,9 °C.

Kljub relativno novi stavbi sem odkril problematične toplotne mostove, čeprav v nekaterih primerih obstajajo enostavne tehnične možnosti za njihovo rešitev. S programom THERM sem preizkusil različne izboljšave problematičnih toplotnih mostov. Najboljše rezultate sem dobil z ukrepi, ki so približki neprekinjenega toplotnega ovoja. Težave, ki so se pokazale v okolici oken sem enostavno rešil s premikom okna v območje toplotno izolacijskega ovoja stavbe. Nosilna konstrukcija stavbe je večinoma iz armiranobetonskih plošč in sten, zato sem večkrat preizkusil učinek prekinitev nosilne konstrukcije. Na sliki 79 sem prikazal, kako na primeru toplotnega mostu lože »L-1« vpliva debelina prekinitev armirano betonske konstrukcije, ki je zapolnjena z EPS. Ugotovil sem, da ima prekinitev AB stene s slojem EPS v območju toplotnega mostu velik vpliv. Primer dilatacije AB konstrukcije z 2 cm debelim slojem EPS je povzročil za 2°C povišano temperaturo na najhladnejši notranji površini. Iz slike je razvidno, da je za preprečevanje površinske kondenzacije vodne pare dovolj dilatacija s slojem EPS debeline 1 cm.

Sestavni del analiz toplotnih mostov, ki sem jih izvedel v tej nalogi, je bila simulacija izoterm po prerezu križanja konstrukcijskih sklopov z uporabo programa THERM. Analize toplotnih mostov s programom THERM so uporabne in smiselne pri projektiranju stavb za preverjanje temperatur konstrukcijskih sklopov v okolici toplotnih mostov, kot tudi za preverjanje učinkov različnih variant pri izboljšavah toplotnih mostov.



Slika 79: Temperatura najhladnejše notranje površine toplotnega mostu »L-1« v odvisnosti od debeline dilatacije. Temperatura rosišča je označena črtkano.

Hkrati je potrebno upoštevati, da predstavljeni primeri toplotnih mostov simulirajo stanje glede na projektirane klimatske pogoje, ki pa se praviloma razlikujejo od dejanskih. Simulacije modelov toplotnih mostov pri projektnih pogojih kažejo orientacijske vrednosti in trende, ki nakazujejo smiselnost projektiranih ukrepov za zmanjševanje lokalno povečanega toplotnega toka.

Toplotne mostove sem ocenjeval glede na možnost površinske kondenzacije vodne pare, ki predstavlja le del težav, ki se pojavijo zaradi toplotnih mostov. Velik problem toplotnih mostov je v navlaževanju materialov znotraj konstrukcijskega sklopa in ustvarjanje pogojev za rast gliv. Predvsem daljši linijski toplotni mostovi povzročajo tudi večje toplotne izgube ter sevalno asimetrijo zaradi spremenjenih površinskih temperatur.

Za doseganje boljših rešitev je potrebno dobro medsebojno usklajevanje vseh sodelujočih projektantov. V praksi se na žalost pod pritiski racionalizacij poslovanja in pomanjkanjem znanja, zaradi kratkih rokov za dokončanje projekta in drugih razlogov dogajajo napake, ki jih morda še pravočasno ugotovi izvajalec del in prepreči njihovo izvedbo.

6 VIRI

6.1 Uporabljeni viri

Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2002/91/ES. UL L št. 1/2003: 65-71.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:12:02:32002L0091:SL:PDF> (pridobljeno: 20. 6. 2011).

Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU. UL L št. 153/2010: 13-35.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF> (pridobljeno: 20. 6. 2011).

Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES. UL L št. 140/2009: 16-62.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:SL:PDF> (pridobljeno: 20. 6. 2011).

Direktiva o približevanju zakonov in drugih predpisov držav članic, ki se nanašajo na gradbene proizvode 89/106/EGS. UL L št. 40/1989: 12-26.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:13:09:31989L0106:SL:PDF> (pridobljeno: 20. 6. 2011).

GPG inženiring, d.d. 2008. Stanovanjsko naselje »Za vrtovi«, Cerknica. PZI-projekt za izvedbo del.

SIST EN ISO 10211:2008 - Toplotni mostovi v stavbah - Toplotni tokovi in površinske temperature - Podrobni izračuni (ISO 10211:2007).

SIST EN ISO 13788:2002 - Higrotermalno obnašanje sestavnih delov stavb in elementov stavb – Notranja površinska temperatura za preprečevanje kritične vlage ob površini in kondenzacije v konstrukciji – Računska metoda (ISO 13788:2001).

SIST EN ISO 13789:2008 - Toplotne značilnosti stavb - Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanja - Računska metoda (ISO 13789:2007).

SIST EN ISO 14683:2008 - Toplotni mostovi v stavbah - Linearna toplotna prehodnost - Poenostavljena metoda in privzete vrednosti (ISO 14683:2007).

Enostransko izolirani balkoni, Schöck Inovative Bilbing Solutions.

<http://www.schoeck.si/sl/proizvodi/horizontalno-izstopajo-e-komponente-7> (pridobljeno 15. 6. 2011).

Krainer, A., Galonja, S. 2010. PURES 2010 – možnosti in priložnosti. Finance 20. dec. 2010, 246/2010.

<http://www.finance.si/297916/Sa%C5%A1a-Galonja-PURES-2010---mo%C5%BEnosti-in-prilo%C5%BEnosti> (pridobljeno 15. 6. 2011).

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. UL RS št. 52/2010: 2856.

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010 Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor. Št: 0071-101/2009: 114 str.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (pridobljeno 5. 4. 2011).

THERM, Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. University of California. Lawrence Berkeley National Laboratory.

<http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html> (pridobljeno 27. 5. 2011).

Toplotni mostovi, Zbirka informativnih listov »ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE«, Agencija RS za učinkovito rabe energije: 4 str.

http://www.aure.gov.si/eknjiznica/IL_2-11.PDF (pridobljeno 15. 5. 2011).

6.2 Ostali viri

Glive. 2011. Wikipedija. Prosta enciklopedija.

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Gliva> (pridobljeno 9. 10. 2011).

Grobovšek, B. Pasivna hiša: izvedba konstrukcijskih gradbenih detajlov.

http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=152 (pridobljeno 12. 10. 2009).

Jordan, S. 2011. Zakonodaja za učinkovito rabo energije. Zavod za gradbeništvo Slovenije: 34 str.

<http://www.dgit-celje.si/dogodkinovice/dg19/05%20-%20Zakonodaja%20PURES2010.pdf> (pridobljeno 9. 6. 2011).

Križanja. Stavbarstvo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 71 str.

http://fgg-web1.fgg.uni-lj.si/fgg_katedre/nimages/dynamic_novice/krizanja.pdf (pridobljeno 29. 4. 2011).

Šijanec Zavrl, M. 2010. Novi izzivi na področju nizkoenergijske gradnje. Gradbeni inštitut ZRMK: 39 str.

http://www.ditles.si/Files/DOM_10/6_Novi%20izzivi_Marjana%20Sijanec.pdf (pridobljeno 20. 5. 2011).