

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvorna različica zaključnega dela.

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

Amon, J., 2015. Analiza učinkovitosti ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M.): 104 str.

Datum arhiviranja: 02-02-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Amon, J., 2015. Analiza učinkovitosti ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M.): 104 pp.

Archiving Date: 02-02-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
SMER OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

JERNEJ AMON

**ANALIZA UČINKOVITOSTI UKREPOV ZA ODPRAVO
TIPIČNIH TOPLOTNIH MOSTOV**

Diplomska naloga št.: 510/SOG

**EFFECTIVENESS ANALYSIS OF MEASURES TO
AVOID TYPICAL THERMAL BRIDGES**

Graduation thesis No.: 510/SOG

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Član komisije:

izr. prof. dr. Jana Šelih

doc. dr. Franc Sinur

Ljubljana, 23. 01. 2015

Stran za popravke, Errata

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU DELA

Podpisani **Jernej Amon** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »**ANALIZA UČINKOVITOSTI UKREPOV ZA ODPRAVO TIPIČNIH TOPLOTNIH MOSTOV**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 24.12.2014

Jernej Amon

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	536.2:536.65:699.86(043.2)
Avtor:	Jernej Amon
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	Analiza učinkovitosti ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov
Tip dokumenta:	Diplomska naloga
Obseg dokumenta:	104 str., 23 pregl., 76sl.
Ključne besede:	Toplotni most, U-faktor, THERM, tehnična smernica, SIST EN ISO 10211:2007, SIST EN ISO 14683:2007, SIST EN ISO 13789:2007

Izvleček

Diplomsko delo obravnava primerjalno analizo učinkovitosti v praksi najbolj pogostih ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov. Upošteval sem zahteve definirane v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), ki se sklicuje na tehnično smernico TSG-1-004:2010, Učinkovita raba energije. Za izračun posameznega ukrepa odprave toplotnega mostu sem uporabil programsko orodje THERM 7.3 (LBNL, 2014). Analizo učinkovitost ukrepov za odpravo tipičnih toplotnih mostov sem opravil za štiri najpogostejše oblike toplotnih mostov, ki se pojavljajo na stanovanjskih objektih. Za izhodiščni primer sem izbral toplotni most brez sanacijskega ukrepa, za vsakega od štirih primerov in za vsak toplotni most pa vsaj dve najpogostejši rešitvi. Z izračuni posameznih ukrepov sem pridobil izhodiščne informacije za nadaljnje analize. Analiza je pokazala, da je pozicija toplotne izolacije ključnega pomena in da predstavlja glavni vzrok za odstopanja pri rezultatih. Ugotovil sem, da je pri odpravi toplotnega mostu na stiku okno-stena najpomembnejša pozicija vgradnje okna. Pri odpravi toplotnega mostu na stiku balkonske plošče z zunanjo steno in medetažno ploščo je edini učinkoviti ukrep »prekinitiv« betonske plošče z toplotno armaturno košaro. Toplotni most na stiku medetažne plošče in zunanje stene lahko odpravimo že z upoštevanjem zahtev omejitev U-faktorja (faktor toplotne prehodnosti) iz TSG-1-004:2010, torej z zadostno debelino toplotnega izolacijskega ovoja stavbe. Za odpravo toplotnega mostu na stiku med zunanjo steno in poševno streho je ključnega pomena pravilen položaj toplotne izolacije.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	536.2:536.65:699.86(043.2)
Author:	Jernej Amon
Supervisor:	ASSIST. PROF. Mitja Košir, PhD
Title:	Effectiveness Analysis of Measures to Avoid Typical Thermal Bridges
Document type:	Graduation Thesis – Higher Professional Studies
Scope and tools:	104 p., 23 tab., 76 fig.
Keywords:	Thermal bridge, U-factor, THERM, Tehnical Guideline, SIST EN ISO 10211:2007, SIST EN ISO 14683:2007, SIST EN ISO 13789:2007

Abstract

This thesis deals with a comparative efficiency analysis of measures that are most frequently used in building practice to eliminate typical thermal bridges. The analysis complies with the requirements specified in the Rules on Efficient Use of Energy in Buildings (PURES, 2010) with reference to Technical Guideline TSG-1-004:2010, Efficient Use of Energy. Efficiency calculations for individual measures used to eliminate a thermal bridge were conducted with the THERM 7.3 (LBNL, 2014) computer application. The efficiency analysis was carried out on the basis of four most common types of thermal bridges experienced in residential homes. I started by analysing the base case of a thermal bridge without any remedial measure used, and continued with at least two most frequently used solutions for each of the four cases of thermal bridges. Through calculations made for these measures, I obtained the needed base information for further analysis. The analysis showed that the position of thermal insulation is of crucial importance and represents the main reason for variances in results. I have found that the position of window installation is crucial for eliminating the thermal bridge at the window-wall junction. The only really efficient measure for elimination of a thermal bridge at the building junction of a balcony with external and the inter-floor slab is the »interruption« of the reinforced concrete plate with a structural thermal break element. Thermal bridge at the junction of an inter-floor slab and external wall can be eliminated by considering the limitation of U-factor (thermal transmittance factor) prescribed in TSG-1-004:2010, that is by sufficient thickness of the heat insulation envelope of a building. Correct positioning of heat

insulation is also of key importance for elimination of a thermal bridge on the junction between outer wall and sloped roof.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mitji Koširju, za strokovno pomoč, ideje in napotke pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se teti Lidiji za finančno in moralno podporo pri študiju in lektoriranju diplomske naloge. Babici Milici za pomoč pri prevodih ter ostalim, ki so mi kakorkoli pomagali na študijski poti.

Posebna zahvala gre mojima staršema, ki nista izgubila upanja v moje dokončanje študija.

KAZALO

1.0	UVOD	1
1.1	Namen in cilj naloge	1
1.2	Metoda dela	2
2.0	TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1	Povzetki dosedanjih raziskav na tem področju.....	3
2.1.1	Vpliv toplotnih mostov na stikih konstrukcijskih elementov (Totten, Paul E. in sod. 2008).....	3
2.1.2	Izvedba stika balkona z objektom brez toplotnega mosta (Grobovšek, B. 2006)	5
2.1.3	Določitev robnih vrednosti za linearno toplotno prehodnost toplotnih mostov v stavbah (Janssens, A. in sod. 2007)	7
2.1.4	Okna v pasivni hiši (Zbašnik-Senegačnik, M. 2011)	10
2.2	Zakonodaja in standardi.....	11
2.2.1	Relevantna Evropska zakonodaja	11
2.2.2	Relevantna nacionalna zakonodaja.....	11
2.2.3	Standardi	14
2.3	Prenos toplote	19
3.0	TOPLOTNI MOSTOVI.....	20
3.1	Definicija toplotnega mostu.....	20
3.1.1	Oblike toplotnih mostov	20
3.2	Najpogostejši toplotni mostovi	23
3.3	Obravnavani primeri.....	25
3.3.1	Stik okenskega okvirja in zida	25
3.3.2	Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo.....	26

3.3.3	Stik zunanje stene in medetažne plošče	27
3.3.4	Stik poševne strehe in zunanje stene	28
4.0	PODATKI IN IZHODIŠČA.....	29
4.1	Opis uporabljenega programskega orodja	29
4.2	Obseg analize	29
4.3	Izhodiščni modeli in možne rešitve, uporabljene pri analizi obravnavanih toplotnih mostov	30
4.3.1	Stik stena-okno – toplotni most (TM_O_00)	30
4.3.2	Montaža okna v toplotno izolacijo zunanjega ovoja stavbe (TM_O_01)	31
4.3.3	Poravnava okna z zunanjim robom stene (TM_O_02)	32
4.3.4	Obdelava špalet z ekstrudiranim polistirenom (v nadaljevanju XPS) do okenskega okvirja (TM_O_03)	33
4.3.5	Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu – montaža okna na sredino špalete (TM_O_04)	33
4.3.6	Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu – montaža okna na zunanji rob stene (TM_O_05)	34
4.3.7	Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo – toplotni most (TM_B_00).....	35
4.3.8	Obložitev balkona s toplotno izolacijo (TM_B_01)	36
4.3.9	Vstavitev toplotne armature košare (TM_B_02)	37
4.3.10	Križanje zunanje stene in medetažne plošče – toplotni most (TM_SP_00).....	38
4.3.11	Debelejša izolacija po celotni površini ovoja stavbe (TM_SP_01)	39
4.3.12	Zamik medetažne plošče in odebelitev izolacije na stiku (TM_SP_02)	39
4.3.13	Stik poševne strehe in zunanje stene – toplotni most (TM_SS_00).....	40
4.3.14	Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z notranje/spodnje strani (TM_SS_01).....	41
4.3.15	Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z zunanje strani (TM_SS_02)	41

4.4	Vhodni podatki za program THERM	43
4.4.1	Stik stena-okno (TM_O_00-05)	43
4.4.2	Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo (TM_B_00 - 02).....	50
4.4.3	Stik zunanje stene in medetažne plošče (TM_SP_00 – 02).....	53
4.4.4	Stik poševne strehe in stene (TM_SS_00 – 02).....	56
5.0	REZULTATI.....	60
5.1	Termografska skica izračuna programa THERM.....	60
5.1.1	Izračun stika okna in stene (TM_O_00 – TM_O_05)	60
5.1.2	Izračun križanja balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo (TM_B_00 – TM_B_02)	73
5.1.3	Izračun stika zunanje stene in medetažne plošče (TM_SP_00 – TM_SP_02)	77
5.1.4	Izračun stika poševne strehe in zunanje stene (TM_SS_00 – TM_SS_02).....	83
6.0	PRIMERJAVA ANALIZIRANIH UKREPOV ZA ODPRAVO TOPLOTNEGA MOSTU	89
6.1	Primerjava za stik okna s steno.....	90
6.2	Primerjava za križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo	93
6.3	Primerjava za stik zunanje stene in medetažne plošče	95
6.4	Primerjava za stik poševne strehe in zunanje stene	97
7.0	ZAKLJUČEK	99
VIRI	101	
Uporabljeni viri	101	
Ostali viri	103	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vhodni podatki za primere stika stena-okno.....	44
Preglednica 2: Vhodni podatki za primere križanja balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo.....	51
Preglednica 3: Vhodni podatki za stik zunanje stene in medetažne plošče	54
Preglednica 4: Vhodni podatki za stik poštevne strehe in stene	57
Preglednica 5: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_00.....	61
Preglednica 6: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_01.....	63
Preglednica 7: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_02.....	65
Preglednica 8: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_03.....	67
Preglednica 9: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_04.....	69
Preglednica 10: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_05.....	71
Preglednica 11: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_00.....	74
Preglednica 12: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_01	75
Preglednica 13: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_02.....	77
Preglednica 14: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_00	78
Preglednica 15: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_01	80
Preglednica 16: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_02	82
Preglednica 17: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_00.....	84
Preglednica 18: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_01.....	86
Preglednica 19: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_02.....	87
Preglednica 20: 2D U-faktorji analiziranih ukrepov TM_O_00, TM_O_01, TM_O_02, TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05	91
Preglednica 21: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_B_00, TM_B_01 in TM_B_02.....	94
Preglednica 22: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_SP_00, TM_SP_01 in TM_SP_02	96
Preglednica 23: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_SS_00, TM_SS_01 in TM_SS_02	98

KAZALO SLIK

Slika 1: Graf razmerja med toplotno propustnostjo (Ψ) in U-faktorjem zunanje stene (Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings 2007, str. 3)	9
Slika 2: Tabela A2 - Projektne vrednosti linearne toplotne prevodnosti (SIST EN ISO 14683:2007, str. 8).....	16
Slika 3: Primer gradbenih elementov, ki ločujeta dve okolji (SIST EN ISO 10211:2008, str. 38).....	18
Slika 4: Primer konstrukcijskega toplotnega mosta na stiku balkona, medetažne plošče in zunanje stene.....	21
Slika 5: Skica konstrukcije za primer geometrijskega toplotnega mostu	22
Slika 6: Primer geometrijskega toplotnega mostu na vogalu stavbe	22
Slika 7: Primer konvekcijskega toplotnega mostu na stiku med oknom in špaleta (Grobovšek, B. 2009)	22
Slika 8: Skica konstrukcije za primer kombiniranega toplotnega mostu	23
Slika 9: Primer kombiniranega toplotnega mostu na vogalu stavbe	23
Slika 10: Najpogostejši toplotni mostovi (Instalater 2009)	24
Slika 11: Primer nepravilno montiranega okna pri novogradnji (Kokot, M. 2011)	26
Slika 12: Primer prehajanja toplote pri toplotnem mostu balkona	27
Slika 13: Primer prehajanja toplote pri toplotnem mostu križanja medetažne plošče in zunanje stene	28
Slika 14: Izhodiščni primer za stik okna s steno	31
Slika 15: Primer montaže okna v toplotno izolacijski ovoj stavbe (Kokot, M. 2011)	32
Slika 16: Primer montaže okna na zunanji rob stene (Žnidaršič, B. 2012)	32
Slika 17: Primer obdelave špalet z XPS do okenskega okvirja (Žnidaršič, B. 2012)	33
Slika 18: Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu (Žnidaršič, B. 2012).....	34
Slika 19: Obdelava špalete z 3cm XPS	35
Slika 20: Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo - toplotni most.....	36
Slika 21: Obložitev balkonske plošče s toplotno izolacijo (Pod svojo streho.net, 2012).....	37
Slika 22: Toplotna armaturna košara (Schöck Innovative Building Solutions 2014).....	38
Slika 23: Križanje zunanje stene in medetažne plošče - toplotni most	39

Slika 24: Odebelitev izolacije na stiku medetažne plošče in zunanje stene (Ursa 2010)	40
Slika 25: Stik poševne strehe in zunanje stene - toplotni most.....	40
Slika 26: Obložitev lesene kapne lege z izolacijo - z notranje strani.....	41
Slika 27: Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z zunanje strani.....	42
Slika 28: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_00	45
Slika 29: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_01	46
Slika 30: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_02	47
Slika 31: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_03	48
Slika 32: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_04	49
Slika 33: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_05	50
Slika 34: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_00	51
Slika 35: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_01	52
Slika 36: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_02	53
Slika 37: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_00	54
Slika 38: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_01	55
Slika 39: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_02	56
Slika 40: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_00	57
Slika 41: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_01	58
Slika 42: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_02	59
Slika 43: Termografska skica izračuna za primer TM_O_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno).....	61
Slika 44: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_00.....	62
Slika 45: Termografska skica izračuna za primer TM_O_01, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno).....	63
Slika 46: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_01.....	64
Slika 47: Termografska skica izračuna za primer TM_O_02, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno).....	65
Slika 48: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_02.....	66
Slika 49: Termografska skica izračuna za primer TM_O_03, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno).....	67
Slika 50: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_03.....	68

Slika 51: Termografska skica izračuna za primer TM_O_04, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	69
Slika 52: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_04	70
Slika 53: Termografska skica izračuna za primer TM_O_05, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	71
Slika 54: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_05	72
Slika 55: Termografska skica izračuna za primer TM_B_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	73
Slika 56: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_00	74
Slika 57: Termografska skica izračuna za primer TM_B_01 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	75
Slika 58: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_01	76
Slika 59: Termografska skica izračuna za primer TM_B_02 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	76
Slika 60: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_02	77
Slika 61: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_00 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	78
Slika 62: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_00	79
Slika 63: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_01 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	80
Slika 64: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_01	81
Slika 65: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_02 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	82
Slika 66: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_02	83
Slika 67: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_00 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	84
Slika 68: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_00	85
Slika 69: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_01 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	85
Slika 70: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_01	86
Slika 71: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_02 barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)	87

Slika 72: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_02	88
Slika 73: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_O_01, TM_O_02, TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05 s toplotnim mostom TM_O_00 in med seboj	90
Slika 74: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_B_01, TM_B_02 s toplotnim mostom TM_B_00 in med seboj.....	93
Slika 75: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_SP_01, TM_SP_02 s toplotnim mostom TM_SP_00 in med seboj	95
Slika 76: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_SS_01, TM_SS_02 s toplotnim mostom TM_SS_00 in med seboj	97

1.0 UVOD

Zaradi vedno večjih zahtev zakonodaje po učinkoviti rabi energije v stavbah in potreb po zmanjševanju stroškov uporabe stavbe postaja vedno pomembnejše tudi odpravljanje in preprečevanje toplotnih mostov. Le-ti povzročajo velike in nekontrolirane dobitke ali izgube energije, zato jih je potrebno preventivno preprečiti ali pravilno sanirati. Za njihovo odpravo oziroma zmanjšanje lahko poskrbimo že pri načrtovanju in med samo gradnjo objektov, pri starejših objektih pa z ustrežno sanacijo med energetske prenovi stavbe. Z odpravo toplotnih mostov privarčujemo pri porabi energije in posledično pri finančnih izdatkih za energijo. Poleg tega pa preprečimo možnost nastanka gradbene škode (npr.: navlaževanje delov konstrukcijskih sklopov in posledično propadanje le-teh) ali nezdravih bivalnih razmer v stavbah (npr.: pojav kondenzacije in rast plesni na površinah konstrukcijskih sklopov), ki so mnogokrat posledica toplotnih mostov.

Najpogostejši toplotni mostovi, ki se pojavijo v tipičnih stanovanjskih objektih so: stik okenskega okvirja s steno, križanje balkona z zunanjo steno in medetažno ploščo, stik poševne strehe z zunanjo steno ter križanje medetažne plošče z zunanjo steno. Za odpravo posameznega toplotnega mostu srečujemo v praksi več ukrepov, na primer odebelitev in postavitev toplotne izolacije na mestu toplotnega mostu ali ustrezne konstrukcijske rešitve pri gradnji. Različni ukrepi za odpravljanje toplotnih mostov so tudi različno učinkoviti in prav to sem preveril in prikazal v diplomski nalogi.

1.1 Namen in cilj naloge

Namen diplomskega dela je določiti, kje se najpogosteje pojavljajo toplotni mostovi v tipičnem stanovanjskem objektu in preveriti učinkovitost najpogostejših že znanih in v praksi uporabljenih rešitev za odpravljanje toplotnih mostov. Pri analizi bom uporabil program THERM 7.3 (LBNL, 2014), s katerim bom izračunal dvodimenzionalno (2D) toplotno polje v okviru analiziranega toplotnega mostu. Dobljene rezultate za posamezen ukrep bom primerjal z izhodiščnim primerom. Rezultate analiziranih ukrepov bom primerjal med seboj za vsak primer posebej. Za izhodiščni model analize bom uporabil toplotni most posameznega križanja konstrukcijskih sklopov.

1.2 Metoda dela

Na primeru tipične stanovanjske stavbe sem poiskal reprezentativne toplotne mostove. Izmed identificiranih sem izbral štiri najpogostejše. Za te štiri toplotne mostove sem poiskal dve najpogosteje uporabljeni rešitvi, razen v primeru toplotnega mostu na stiku okenskega okvirja in stene, kjer sem našel pet različnih ukrepov za odpravo obravnavanega toplotnega mostu. Za vsak posamezen ukrep sem preveril in podal rezultate učinkovitosti s programom THERM 7.3. Rezultate ukrepov posameznega toplotnega mostu sem primerjal med seboj in določil najučinkovitejšega. Metoda dela je primerjalna analiza primerov, ki sem jih obravnaval.

2.0 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Pri pripravi na izdelavo diplomske naloge sem najprej pregledal kar nekaj tuje in domače literature, ki se ukvarja z obravnavano problematiko. V nadaljevanju podajam kratke povzetke člankov, ki so se mi zdeli še posebej zanimivi v kontekstu obravnavane teme.

2.1 Povzetki dosedanjih raziskav na tem področju

2.1.1 Vpliv toplotnih mostov na stikih konstrukcijskih elementov (Totten, Paul E. in sod. 2008)

Članek se mi je zdel zanimiv predvsem iz treh razlogov. Prvič, ker govori o toplotnih mostovih na stikih konstrukcijskih sklopov, ki sem jih posebej obdelal v svoji diplomski nalogi, drugič, ker obravnava optimalne rešitve za toplotne mostove pri visoko prevodnih materialih in kondenzaciji, in tretjič, ker avtorji za svoje izračune predlagajo programski paket THERM (LBNL, 2003), ki sem ga tudi sam uporabil, pri tem pa že v uvodu opozorijo, da šele uporaba sodobnejših programov za izračun dvo- ali tridimenzionalnega prenosa toplote omogoča točnejšo določitev U-faktorjev na takih toplotnih mostovih.

Navajam kratek povzetek članka:

Toplotni mostovi predstavljajo prekinitve v toplotno izolacijskem ovoju stavbe. Le čim popolnejša vgradnja in neprekinjenost v povezavi konstrukcijskih elementov omogočata zmanjšanje toplotnih mostov, kar preprečuje toplotne izgube in pojav kondenzacije. Kadar to zaradi gradbene konstrukcije ali iz drugih razlogov ni mogoče, se neprekinjenost izolacijskega ovoja zagotavlja z ustreznimi oblikami in načini izolacije, ki zmanjša učinek toplotnega mostu. Stavbni ovoj ločuje notranje okolje od zunanega. Stopnja spremembe temperature je odvisna od tega, kako dobro njeno pot prekinjajo izolacijski elementi. Toplotni mostovi nastanejo tam, kjer prevodni element prečka toplotno izolacijo (stavbni ovoj). Posledica tega je, da več toplote zaobide toplotno izolacijo in s tem zviša ali zniža notranjo temperaturo v stavbi. Pogosti primeri so nepravilno nameščeni okenski okvirji v stenah, iz zidu štrleče betonske balkonske plošče, stenske obloge. Prenos toplote poteka v treh dimenzijah, saj na ta

način potuje po vsakem elementu stavbnega ovoja. Z uporabo ustrezne programske opreme lahko izračunamo dva- in tri- dimenzionalen prenos toplote. Znana programa za izračune sta THERM ter HEAT3D (MIT, 2003). V stavbnem ovoju sodelujejo pri prenosu energije med notranjostjo in zunanostjo vsi trije mehanizmi (prevajanje, konvekcija in sevanje). Preko trdnih materialov, kot so opeka, beton in kovine se energija prenaša s prevajanjem. Konvekcijski prenos pa poteka skozi stenske votline.

Strategije za zmanjševanje toplotnih mostov:

Streha – stena

Način preprečitve nastanka toplotnega mostu je izvedba izolacije, kontinuirano povezane iz stene v strešni izolacijski sistem, kar zagotavlja toplotno kontinuiteto. Pri dvoplastnih stenah se mora vmesna izolacija nadaljevati tudi v parapet ter preko njega povezano v strešni izolacijski sistem. Paziti je potrebno, da je toplotna izolacija usklajena z pozicijo vetrnih zaščit in hidroizolacije. Določena stopnja toplotne premostitve je neizogibna za zagotavljanje vodo- in zrakotesnosti. Če zmanjšamo toplotni most, lažje nadziramo dobitek in izgubo toplote na tem mestu, kar zmanjša tveganje za nastanek kondenzacije.

Okno – stena

Če je stavba izolirana, lahko okenske odprtine znatno doprinesejo k celotnim izgubam prevedene toplote skozi ovoj stavbe. To je posledica narave pretoka toplote vedno po poti najmanjšega odpora. Za generično steno stavbe bo dodajanje oken z U-faktorjem 0,5 [Btu/h *ft²*F] (Btu je britanska enota za toplotno prevodnost, torej 0,5 [Btu/h *ft²*F] je 2,839 [W/m²K]) v obsegu 20% stene, zmanjšalo celotno izolacijsko vrednost sistema za približno 45%. Zaradi tako visokih vrednosti doprinosa toplote skozi »nepropustne« stene je pomembno načrtovanje stika okno-stena tako, da se izognemo toplotnim mostovom in preveliki izgubi toplote. Okenski sistemi (okna) so sestavljeni iz okvirjev iz nizko prevodne plastike in iz izolacijskega stekla. To zagotavlja neprekinjen potek izolacije v izdelku in minimalizira toplotni tok skozi izolacijske komponente okna.

Tudi, če so okna in nenosilne stene ustrezno poravnane z izolacijo, lahko prevodni elementi na obodu okna še vedno povzročajo povečane toplotne izgube. Tako na primer kovinski deli,

kot so pritrdilni profili, jekleni zatiči in drugi strukturni deli, ki so bistveno bolj prevodni kot sama okna ali izolacijski materiali. Zato je uporaba jeklenih sider in drugih tipičnih konstrukcijskih elementov s termičnega vidika vprašljiva.

Stena – balkon

Na večini objektov je balkon zgrajen neprekinjeno z notranjih podom, tako da balkon prehaja skozi toplotno izolacijo in ustvarja toplotno rebro na zunanji stran stavbe. Uporabljen je bil primer betonskega balkona. Obstajata dva načina za odpravo ali omejitev vpliva toplotnega mostu. Prvi način je, da zgradimo zunanje in notranje dele ločeno z vmesno toplotno izolacijo. To je mogoče doseči z zagotovitvijo ločene strukture ali uporabo raznih sistemov, ki imajo izolacije in prednapete kable iz materialov nizke prevodnosti, ki lahko povezujejo zunanjo konstrukcijo z notranjo brez tipičnih toplotnih mostov. Druga metoda je uporaba izolacije nad in pod ploščo za določeno razdaljo od stavbe, da se zmanjša učinek toplotnega mostu, vendar metoda ni vedno izvedljiva. Ta najpogostejši toplotni most na balkonskih ploščah se pogosto niti ne obravnava zaradi težav pri uresničevanju rešitev v okviru konstrukcijskih omejitev.

2.1.2 Izvedba stika balkona z objektom brez toplotnega mosta (Grobovšek, B. 2006)

Ker večina balkonskih plošč leži izven izolacijskega ovoja objekta, je na stiku balkona z objektom toplotna izolacija prekinjena. Balkon zaradi tega predstavlja toplotni most, ki je izpostavljen velikim nihanjem temperature. Toplotni most, ki se pojavi zaradi betonske plošče, bi odpravili, če bi balkonsko ploščo z zgornje in spodnje strani obložili z ustrezno debelino toplotne izolacije, najmanj 50 cm od stene. Takšna rešitev ni funkcionalna, zaradi problematike odpiranja balkonskih vrat in že same pritrditve toplotne izolacije. Iz tega razloga moramo morebitni toplotni most s posebno konstrukcijsko rešitvijo odpraviti že med samo gradnjo. Najboljša rešitev je izvedba stika balkona z objektom z namenskimi armaturnimi košarami. Obstaja še druga možnost rešitve tega problema, in sicer, da balkon zgradimo kot samostojno gradbeno konstrukcijo, ki fizično ne bo segala v ovoj zgradbe.

V večini primerov sami nehoti povečamo vpliv toplotnih mostov. Primer je balkonska plošča, pri kateri z dodatno toplotno izolacijo stene nad in pod balkonom povečamo razliko med površinskimi temperaturami. Posledica tega je še bolj izrazit toplotni most skozi ploščo. Razen povečanih toplotnih izgub toplotni most povzroča tudi lokalno znižanje temperature notranje površine zunanega zidu in spodnje površine stropne plošče. Posledica je pojav kondenza in plesni na vogalih objekta.

Velika temperaturna nihanja, ki so lahko poleti do $+40^{\circ}\text{C}$ in pozimi do -30°C , povzročajo krčenje in raztezanje gradbene konstrukcije. Ker se elementi nosilne konstrukcije objekta nahajajo znotraj toplotno izolacijskega ovoja, elementi nosilne konstrukcije balkona pa zunaj, so posledica tega znatne strižne napetosti na stiku balkona z objektom.

Armaturne košare so namenjene za priključitev balkonske plošče konzolnega balkona na armiranobetonsko stropno ploščo. V srednjem delu po vsej višini ima košara vgrajeno toplotno izolacijo – vložek iz trdega polistirena debeline 8cm, da se prepreči nastanek toplotnega mostu. Armaturo sestavljajo natezne palice, poševne za prevzem prečnih sil in tlačne palice. Armaturne košare se razlikujejo po nosilnosti za različne dolžine konzol, za različne debeline plošč, po načinu vpetja balkona (klasično, robno, pod koto stropne plošče), armaturne košare za balkone z jeklenimi ali konzolnimi nosilci in povišano požarno varnostjo, če služi balkon kot požarni izhod.

Toplotno izolacijski ovoj je z vgradnjo armaturne košare prekinjen samo na mestih, kjer armaturne palice prebadajo izolacijsko ploščo iz polistirena. Polistiren, vgrajen v košaro, omogoča termično krčenje in širjenje balkona, vendar je pri balkonih večjih dolžin potrebno izvesti še dilatacije. Izolacijska plošča v armaturni košari služi tudi kot armaturna košara na stiku balkon – objekt. Vgradnja košar je enostavna in hitra. Pri vgradnjah za jeklene nosilce in nosilce iz lesa, je možna tudi izravnava eventualnih višinskih razlik z distančnimi ploščami, ki imajo vgrajene matice za reguliranje višine.

2.1.3 Določitev robnih vrednosti za linearno toplotno prehodnost toplotnih mostov v stavbah (Janssens, A. in sod. 2007)

V članku je predstavljena metodologija za določitev vrednosti robnih pogojev linearne toplotne prehodnosti, Ψ , na stikih konstrukcijskih sklopov za zmanjšanje vpliva toplotnih mostov na toplotno prehodnost. Rezultati analize so pokazali pomemben prispevek križanj gradbenih elementov k splošni toplotni prepustnosti ovoja stavbe. Projektanti stavb imajo za izračun toplotne prehodnosti na voljo različna numerična orodja za izračun dvodimenzionalnega ali tridimenzionalnega prenosa toplote. V tem članku so uporabili programski orodji EUROKOBRA (Physibel, 2002) in TRISCO (Physibel, 2003). Potrebujemo pa tudi ustrezne omejitvene vrednosti (robne pogoje), da lahko primerjajo izide z napovedano učinkovitostjo in se odločijo za morebitne potrebne izboljšave. V prispevku je predstavljena metodologija za določitev takšnih robnih vrednosti. Najprej je podana analiza vpliva geometrije toplotnega mostu in debeline izolacije na linearno prehodnost. Nato je izračunana (izmerjena) toplotna izguba dvodimenzionalnega prenosa toplote za vse stike, s katerimi se srečujejo v petih tipičnih modelih stanovanjskih gradenj. Prikazana je porazdelitev toplotne izgube preko različnih križanj (stik s streho, okna, temelj, itd.). Na koncu so prikazane robne vrednosti za izračun linearne toplotne prehodnosti, s katerimi bi zmanjšali toplotno izgubo dvodimenzionalnega prenosa na minimum. Robne vrednosti se razlikujejo glede na geometrijo toplotnega mostu in upoštevajo tehnično izvedljivost zahtev.

Medtem ko so se v preteklosti smernice za načrtovanje osredotočale na nadzor plesni, so se v gradbeni praksi pogosto pojavljali toplotni mostovi s sicer sprejemljivo učinkovitostjo za nadzor plesni (primerna površinska temperatura konstrukcijskega sklopa), vendar s pomembnim vplivom na izgubo prenosa toplote. To zagotovo velja za zidane votle stene, kjer je iz strukturnih razlogov težko ustvariti toplotno prekinitev med notranjim in zunanjim slojem stene na vseh spojih. V tem članku je po dogovoru upoštevano, da se enodimenzionalni toplotni tok določi na podlagi zunanjih dimenzij za vse gradbene elemente.

Dejavniki vpliva

Vrednotenje toplotne propustnosti (Ψ) detajla stavbe je manj preprosto od vrednotenja U-faktorja za gradbeni element. V skladu z definicijo je Ψ -vrednost potrebno obravnavati kot korekcijski faktor za referenčno izgubo pri enodimenzionalnem prenosu toplote, pri čemer je treba upoštevati tako geometrijske vidike (glede na prevzete mere), kot tudi povečanje toplotnega toka. Zato je njegova vrednost odvisna od več dejavnikov:

- neprekinjena plast toplotne izolacije,
- U-faktor sosednjih gradbenih elementov,
- geometrijski vidiki: položaj toplotne izolacije, razlika med notranjimi in zunanji področji (zunanji ali notranji vogali), itd.

Najprej so raziskali vpliv geometrije toplotnega mostu in debeline izolacije na linearno toplotno prehodnost.

Prekinitev v toplotni izolaciji povzroča dodatno eno- in dvodimenzionalno toplotno izgubo, ki je opredeljena s Ψ -vrednostjo diskontinuitete. Če na primer obravnavamo stik med betonskim stebrom in zunanjo steno z notranjo izolacijo, vidimo, da se ob stebri izolacija prekine pri višini H . Običajno se računa enodimenzionalna toplotna izguba skozi zunanjo steno s predpostavko, da je toplotna izolacija neprekinjena. V tem primeru lahko spodnjo mejo za Ψ -vrednost spoja ocenimo z enačbo 1, ki temelji na enodimenzionalnem izračunu dejanske izgube toplote:

$$\Psi_e \geq H (U_2 - U_1) \quad (1)$$

Kjer je

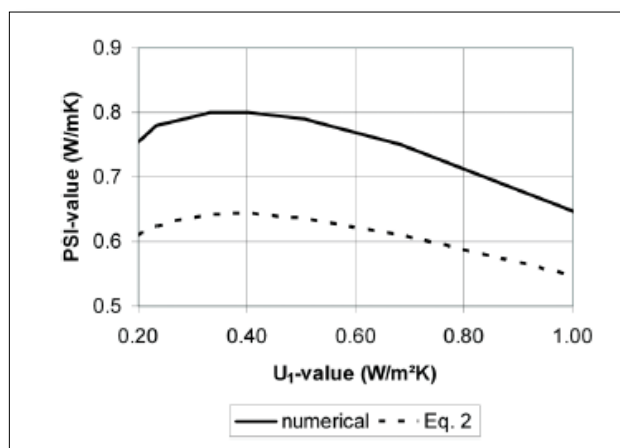
H višina pri kateri se prekine izolacija,

Ψ_e zunanji linijski prehod toplote,

U_1 faktor toplotne prehodnosti prvega konstrukcijskega sklopa,

U_2 faktor toplotne prehodnosti drugega konstrukcijskega sklopa

Graf na sliki 1 prikazuje razmerje med Ψ -vrednostjo toplotnega mostu in U-faktorjem zunanje stene. Zaradi dvodimenzionalne narave toplotnega toka je Ψ -vrednost, ki temelji na numeričnih izračunih, približno 25% večja od tiste, ki jo napoveduje enačba 1. Z zmanjšanjem U-faktorja (debelejša izolacija) postane dodatna izguba toplote pomembnejša in Ψ -vrednost se poveča.



Slika 1: Graf razmerja med toplotno prepustnostjo (Ψ) in U-faktorjem zunanje stene (Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings, 2007, str. 3)

Pri nižjih U-faktorjih doseže Ψ -vrednost sprva skoraj konstantno vrednost in se nato spet nekoliko zmanjša, ker se toplotna odpornost betonskega stebra z naraščajočo debelino stene povečuje. Vendar pa je pri U-faktorjih, manjših od $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, variacija Ψ omejena (manj kot 5%) in linearno toplotno prepustnost je mogoče šteti kot oceno za toplotno izolativno kakovost gradbenih detajlov, neodvisno od U-faktorja sosednjih gradbenih elementov.

Omejitve za linearno toplotno prepustnost toplotnih mostov

V standardih je le malo informacij o merilih za vrednotenje vrednosti Ψ gradbenih detajlov. Evropski standardi navajajo le, da se toplotnim mostovom z vrednostjo Ψ_e , ki je večja od $0,10 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, lahko izognemo z izboljšanim detajlov (EN 1999). V okviru projekta EUROKOBRA (Wouters et al. 2003) so razvili razvrstitev (klasifikacijo) vplivov (učinkov) toplotnih mostov. V razvrstitvi vrednost Ψ_e , ki je večja od $0,50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, pomeni zelo pomemben učinek na toplotne izgube, med $0,25$ in $0,50 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, vrednosti med $0,10$ in $0,25 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ pa zmanjšan učinek. Vendar ta merila ne upoštevajo geometrijskih vplivov na vrednosti linearne toplotne prepustnosti. Spoji na zunanjih vogalih imajo prav lahko vrednost

Ψ_e , ki je manjša od $0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, četudi je toplotna izolacija prekinjena. Po drugi strani pa imajo lahko spoji na notranjih vogalih vrednost Ψ_e , ki je večja od $0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, celo s popolnoma neprekinjeno izolacijo.

Na podlagi ugotovitev avtorji predlagajo nov sklop omejitev vrednosti Ψ_e z robnimi vrednostmi, ki so prilagojene glede na geometrijsko tipologijo različnih spojev. Ko je zasnova stavbe izpolnila ta sklop zahtev, je učinek gradbenih stikov na izgubo prepustnosti toplote omejen na $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ za manj kompaktne zgradbe in na $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ za kompaktnejše zgradbe. Iz tega izhaja, da je učinek toplotnih mostov na prepustnost toplote ovoja stavbe manjši kot 5%, razen pri bolj kompaktnih vrstah stavb.

2.1.4 Okna v pasivni hiši (Zbašnik-Senegačnik, M. 2011)

Ne nazadnje se mi je zdel pomemben tudi članek o oknih v pasivni hiši, zlasti opozorila za preprečevanje toplotnih mostov. Pri razvoju pasivne hiše je bilo ugotovljeno, da so kvalitetna okna ključnega pomena za doseganje standarda. Z njimi je prvič mogoče projektirati hišo brez grelnih teles v neposredni bližini oken, ne da bi s tem zmanjšali toplotno ugodje. V ta namen so razvili okna s toplotno prevodnostjo U_w največ $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, ki imajo trojno zasteklitev in okvirje s precej izboljšano toplotno izolativnostjo. Skozi takšna okna se kljub velikim steklenim površinam toplotne izgube drastično zmanjšajo, po drugi strani pa se povečajo dobitki sončnega obsevanja. Okno že samo po sebi predstavlja toplotni most, saj ima kljub izrednim lastnostim še vedno slabše toplotnoizolacijske karakteristike kot zunanja stena. Z nepravilno vgradnjo okna se toplotne izgube še povečajo.

Pri stenskih konstrukcijah iz masivnih materialov se okno vgradi v plast toplotne izolacije na zunanji strani stene s točkovno pritrditvijo. Fuge med oknom in steno je potrebno učinkovito zatesniti. Toplotna izolacija mora čim bolj prekriti okvir, kar izboljšuje toplotno zaščito. Če je okno vgrajeno brez prekrivanja, lahko tudi do 70% povečamo linijsko toplotno prehodnost pri zgradbi. Cilj pasivnih hiš je zmanjšati linijsko toplotno prehodnost Ψ pod $0,01 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Pomembno je tudi, da zagotovimo toplotno izolacijo pod okenskimi policami zaradi možnosti pojave kondenza. Na račun dobrega toplotnega ovoja s kvalitetnimi sestavnimi deli, ki so

vgrajeni brez toplotnih mostov in zrakotesno, se lahko odpovemo zmogljivejšemu, dragemu in tehnično zahtevnemu ogrevalnemu sistemu. Okna so tisti sestavni del ovoja stavbe, ki pri optimizaciji ne dopuščajo poenostavitev.

2.2 Zakonodaja in standardi

2.2.1 Relevantna Evropska zakonodaja

Direktiva 2010/31/EU evropskega parlamenta in sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb

Namen direktive je zmanjšati porabo energije in izpust toplogrednih plinov v Uniji ter omejiti minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti na najpomembnejših delih stavbe (ovoj stavbe), ki vplivajo na energijsko učinkovitost stavbe. Ker sektor stavb obsega 40% in se še večja, ima tudi pomemben vpliv na dolgoročno porabo energije. »Zaradi dolgega časovnega obdobja med prenovami obstoječih stavb bi morale nove stavbe in obstoječe stavbe, na katerih poteka večja prenova, izpolnjevati minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti, prilagojene lokalnim klimatskim razmeram.« (Direktiva 2010/31/EU)

2.2.2 Relevantna nacionalna zakonodaja

2.2.2.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010)

Pravilnik o učinkoviti rabi energije iz leta 2010 določa »tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe.« (PURES 2010, 1. člen)

»Ta pravilnik se uporablja pri gradnji novih stavb in rekonstrukcij stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25 odstotkov površine toplotnega ovoja.« (PURES 2010, 2. člen)

Po pravilniku moramo v računu potrebne toplote za ogrevanje, Q_{NH} , določene po standardu SIST EN ISO 13790:2008 (ISO 13790:2008), upoštevati vpliv toplotnih mostov.

Hkrati je potrebno upoštevati tudi tehnično smernico za graditev TSG-1-004:2010 (2010) o učinkoviti rabi energije. Tehnična smernica »določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe.« (PURES 2010, 5. člen)

Tehnična smernica o učinkoviti rabi energije se sklicuje na standarde: SIST EN ISO 13789:2008, SIST EN ISO 14683:2007 (ISO 14683:2007) in SIST EN ISO 10211:2008 (ISO 10211:2008). Uporaba tehnične smernice je obvezna.

2.2.2.2 Zahteve tehnične smernice TSG-1-004:2010

Toplotna zaščita

»S toplotno zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja je treba:

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

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.« (TSG-1-004: 2010, str. 16)

Toplotna prehodnost

»Toplotna prehodnost elementov zunanje površine stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja, ki se določi po standardih SIST EN ISO 6946 in SIST EN ISO 10211, ne sme presegati vrednosti, navedenih v tabeli 1.« (TSG-1-004: 2010, str. 16)

Maksimalna dovoljena toplotna prevodnost za konstrukcijske sklope je definirana v tabeli 1, TSG-1-004: 2010, na str. 16.

Toplotni mostovi

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

Prehod vodne pare

»Stavbe morajo biti projektirane in zgrajene tako, da se pri namenski uporabi vodna para, ki zaradi difuzije prodira v gradbeno konstrukcijo, ne kondenzira. Če pride do kondenzacije vodne pare v konstrukciji, se mora ta po koncu računskega obdobja difuzijskega navlaževanja in izsuševanja povsem izsušiti.

Vse gradbene konstrukcije stavb morajo biti projektirane in zgrajene tako, da vodna para pri projektnih pogojih na njihovih površinah ne kondenzira.

Vlaga, ki se kondenzira v konstrukciji, ne sme povzročiti škode na gradbenih materialih (na primer korozije, nastanka plesni, poslabšanja lastnosti izolacijskih materialov).«

(TSG-1-004: 2010, str. 17)

Zahteve za gradbeno konstrukcijo

»Pri izračunu se upoštevata notranja temperatura zraka 20°C in notranja relativna vlažnost zraka 65%.« (TSG-1-004: 2010, str. 18)

2.2.3 Standardi

Za področje, ki ga obravnavam v diplomski nalogi so pomembni standardi SIST EN ISO 13789:2008, SIST EN ISO 10211:2008 in SIST EN ISO 14683:2007.

2.2.3.1 Standard SIST EN ISO 13789:2008 (Toplotna značilnosti stavb – Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanja – Računska metoda)

Ta mednarodni standard določa način in navaja merila za izračun koeficientov prenosa toplote celotnih stavb in njihovih delov. Uporablja se za izračunavanje toplotnih izgub (če je notranja temperatura višja od zunanje) in toplotnega dobitka (če je notranja temperatura nižja od zunanje). Izide teh izračunov je mogoče uporabiti za ugotavljanje letne porabe energije za ogrevanje ali hlajenje stavb.

Standard ima devet poglavij in tri informativne priloge. V prvem poglavju je opis vsebine. Sledijo sklici na prejšnje standarde s tega področja v drugem in opredelitev pojmov in simbolov v tretjem poglavju. V četrtem petem in šestem poglavju so obdelani izračuni koeficientov pri prenosu toplote in prezračevanju. Sedmo poglavje obravnava prenos toplote v sosednje stavbe, v osmem so zbrani dodatni dogovori glede izračunavanja, v devetem pa so navodila za poročanje.

Priloga A navaja podatke o izračunavanju temperature, v prilogi B so informacije o dimenzijah stavbnih elementov, priloga C pa obravnava hitrost zračnih tokov pri prezračevanju.

Računska metoda tega standarda določa količnik transmisijских toplotnih izgub H_T [W/K], ki ga potrebujemo za izračun transmisijских toplotnih izgub Q_T (W) (izgub zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavbe).

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad [\text{W/K}] \quad (2)$$

Vpliv linijskih in točkovnih toplotnih mostov je v enačbi (2) upoštevan s koeficientom specifičnih transmisijских toplotnih izgub H_D , ki se ga izračuna z enačbo (3):

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad [\text{W/K}] \quad (3)$$

Razlaga posameznih elementov enačbe:

A_i - površina elementa in ovoja stavbe, v $[\text{m}^2]$ (za dimenzije oken in vrat se upošteva dimenzije odprtin v steni)

U_i - toplotna prevodnost elementa i ovoja stavbe, v $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$

l_k - dolžina linearnega toplotnega mostu k, v $[\text{m}^1]$

Ψ_k - linijska toplotna prevodnost toplotnega mostu k, v $[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$; standard SIST EN ISO 13789 se sklicuje na standarda SIST EN ISO 14683 in SIST EN ISO 10211

χ_j - točkovna toplotna prevodnost toplotnega mostu j, v $[\text{W}/\text{K}]$; standard SIST EN ISO 13789 se sklicuje na standard SIST EN ISO 10211

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






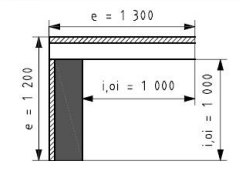
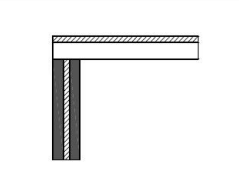
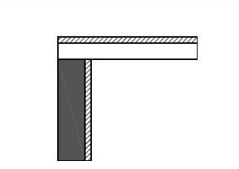
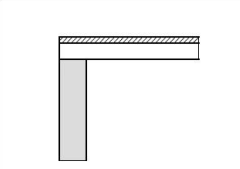
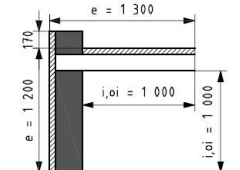
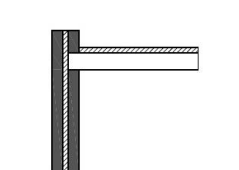
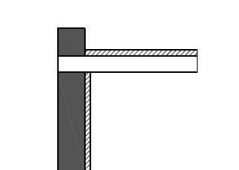
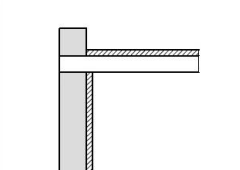
Standard SIST EN ISO 14682:2007 obravnava poenostavljene metode za določanje toplotnih tokov skozi linijske toplotne mostove na stikih konstrukcijskih sklopov.

Standard vsebuje pet poglavij in sicer:

Podobno kot pri vseh standardih prvo poglavje predstavi vsebino standarda, v drugem poglavju so navedeni dokumenti, na katere se standard sklicuje, v tretjem pa predstavljeni simboli in opredelitve pojmov. V četrtem poglavju je predstavljen vpliv toplotnih mostov na

skupni koeficient toplotnih izgub (H_T) ter izbiro notranjih in zunanjih dimenzij. Peto poglavje pa obravnava določitev linijskih toplotnih izgub, opiše razpoložljive metode in njihovo pričakovano natančnost.

V informativni prilogi A, natančneje v tabeli A.2 (slika 2), so prikazane projektne vrednosti Ψ linearne toplotne prehodnosti.

Dimensions in mm; linear thermal transmittance in W/(m·K)				
 Wall	 Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	 Insulating layer	 Slab/pillar	 Window frame
Roofs				
 R1 $\Psi_e = 0,55$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$	 R2 $\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$	 R3 $\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,75$ $\Psi_i = 0,75$	 R4 $\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,65$ $\Psi_i = 0,65$	
 R5 $\Psi_e = 0,60$ $\Psi_{oi} = 0,80$ $\Psi_i = 0,80$	 R6 $\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$	 R7 $\Psi_e = 0,65$ $\Psi_{oi} = 0,85$ $\Psi_i = 0,85$	 R8 $\Psi_e = 0,45$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$	

Slika 2: Tabela A2 - Projektne vrednosti linearne toplotne prehodnosti (SIST EN ISO 14683:2007, str. 8)

V informativni prilogi B so opisani in prikazani primeri projektne vrednosti linijskih toplotnih prehodnosti. Na podlagi tabel z določenimi projektne vrednostmi za določeno mesto toplotnega mostu (tabela A2) se izračuna specifične transmisijske toplotne izgube. Priloga vsebuje tudi primerjavo izračunov med uporabo notranjih ali zunanjih dimenzij stavbe.

V četrtem poglavju je skoraj na enak način kot v standardu SIST EN ISO 13789:2008 določen količnik transmisijskih toplotnih izgub H_T [W/K] z razliko, da ta standard ne upošteva koeficienta toplotnih izgub do sosednjih stavb H_A [W/K]. Peto poglavje določa, da se linijska toplotna prehodnost Ψ izračuna skladno s standardom SIST EN ISO 10211:2007. Kadar je

izdelana in določena samo oblika stavbe brez podrobnosti, tako da so znani sklopi različnih elementov ovoja stavbe, kot so strehe, stene in tla, se lahko izvede le grobo oceno prispevkov toplotnih mostov glede na celotne toplotne izgube. Podane so predpisane natančnosti za izračun posamezne kategorije. Pri izbiri kategorije je treba upoštevati zahtevano natančnost za izračunu skupnega prenosa toplote z upoštevanjem dolžine linearnih toplotnih mostov. Možne kategorije za določanje Ψ vključujejo različne izračune (tipične točnosti $\pm 5\%$), razvrščanje toplotnih mostov (tipična natančnost $\pm 20\%$), ročne izračune (tipična natančnost $\pm 20\%$), in privzete vrednosti (tipična natančnost 0% do 50%).

Bolj natančne metode za izračun so podane v standardu SIST EN ISO 10211. Poenostavljena metoda izračuna vplivov namreč ni tako natančna kot numerične metode iz standarda SIST EN ISO 10211. Vrednosti Ψ , podane v tabeli A.2 (slika 2), so izračunane po numerični metodi standarda SIST EN ISO 10211. Pri izračunu so upoštevani točno določeni parametri, navedeni v tabeli A.1 v tem istem standardu. Poenostavljena metoda je ustrezna samo za grobo oceno prispevkov vpliva toplotnih mostov pri skupnih izgubah stavbnega ovoja.

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

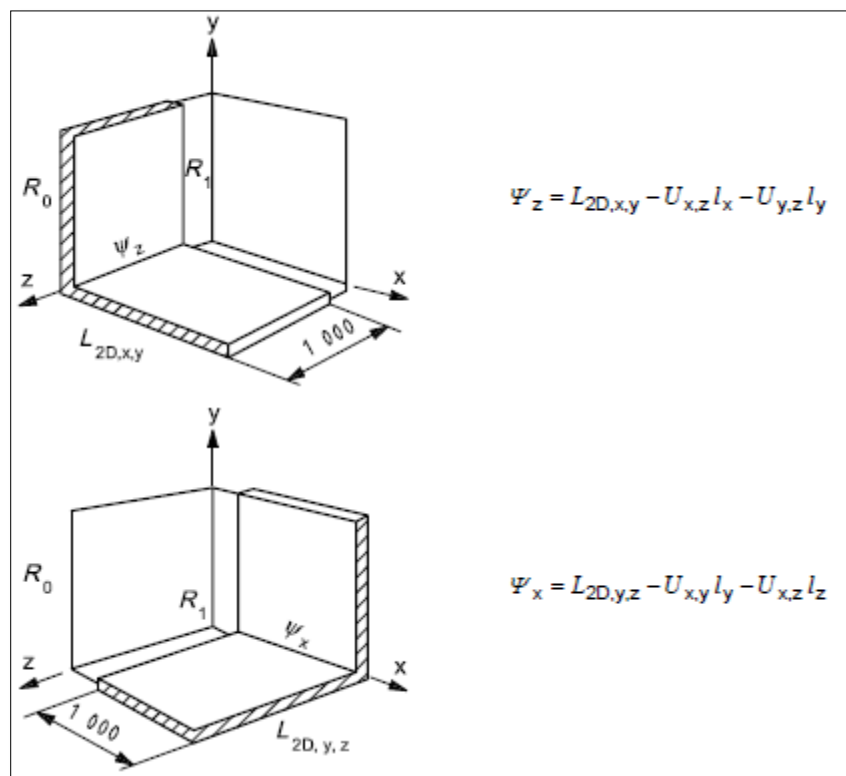
Ta mednarodni standard določa specifikacije za tridimenzionalni in dvodimenzionalni geometrijski model toplotnega mostu za numerični izračun toplotnih tokov, oceno toplotnih izgub iz stavbe ali dela stavbe. Določene so tudi minimalne površinske temperature za oceno nevarnosti površinske kondenzacije na najpogostejših mestih nastanka. Standard se uporablja za izpeljavo linearnih in točkovnih toplotnih prepustnosti in določitev temperaturnih faktorjev površin.

Prvo, drugo, tretje in četrto poglavje vsebujejo uvodne podatke standarda. Našteti so referenčni dokumenti, osnovne definicije, izrazi, simboli in enote. Četrto poglavje obravnava načela uporabe in sicer:

če so znani robni pogoji in podrobnosti konstrukcije se lahko izračuna porazdelitev temperature in toplotni tok skozi konstrukcijo. Geometrijski model razdelimo na več manjših enakih enot z enakomerno toplotno prevodnostjo. Pravila za modeliranje in delitev na enote so podana v petem poglavju, določitev robnih pogojev in vrednosti toplotne prevodnosti pa v šestem.

Porazdelitev temperature določimo z iterativnim izračunom ali z neposredno rešitvijo. Porazdelitev temperature v celicah materiala pa določimo z interpolacijo. Pravila za izračun so podana v sedmem poglavju. »Rezultate izračunov se lahko uporabi za določitev linearne toplotne prepustnosti, točkovnih toplotnih izgub in notranjih površinskih temperatur. Enačbe za to so v poglavjih 9, 10 in 11.« (ISO 10211:2008, str. 7)

Na koncu standarda so tri informativne priloge A, B in C. V prilogi A so podani štirje testni referenčni primeri, ki razlagajo računske metode, navedene v standardu. V prilogi B so primeri, ki jih lahko vidimo na sliki 3, določanja linijske in točkovne toplotne prevodnosti med dvema ali tremi okolji.



Slika 3: Primer gradbenih elementov, ki ločujeta dve okolji (SIST EN ISO 10211:2008, str. 38)

Priloga C obravnava določitev koeficienta toplotne združitve z več kot dvema robnima temperaturama.

2.3 Prenos toplote

Toplota se lahko prenaša na različne načine, na primer z prevajanjem, konvekcijo in sevanjem. Za vse tri načine prenosa toplote je potrebna temperaturna razlika. Toplota se vedno prenaša v smeri nižje temperature, torej z višje na nižjo.

V ovojju stavbe vsi trije mehanizmi prenosa toplote pomagajo pri prehodnosti energije med notranjostjo in zunanostjo. S prevajanjem se energija prenaša preko trdnih materialov, kot so opeka, beton in kovine. Konvekcijski prenos znotraj sten votlin poveča prenos energije med komponentami. Tudi sevanje lahko povzroči prenos toplote, na primer sevanje iz stavb ponoči. Če upoštevamo nekatere splošne smernice, kot na primer ločevanje visoko toplotno prevodnih materialov z izolacijskimi materiali, izbiro manj toplotno prevodnih materialov pri gradnji in zmanjšanje površine v stiku med visoko prevodnimi materiali, lahko zmanjšamo vpliv toplotnih mostov.

3.0 TOPLOTNI MOSTOVI

S toplotnimi mostovi se srečujemo pri vseh bivalnih in nebivalnih objektih. Večji poudarek odpravljanju toplotnih mostov dajemo stanovanjskim objektom; vsak graditelj si namreč želi, da je njegov objekt energetsko varčen in prijeten za bivanje.

3.1 Definicija toplotnega mostu

Toplotni most nastane na zunanjem ovoju stavbe zaradi »predrtega« toplotnega izolacijskega ovoja stavbe. Pri tem pride na mestu »predrtja« do povečanega prehajanja toplote skozi toplotno izolacijski ovoj stavbe, kar zviša ali zniža temperaturo v prostoru. Do predrtja lahko pride zaradi slabega načrtovanja ali nepravilne izvedbe izolacije pri gradnji. Nazornejše primere toplotnih mostov najdemo v stavbah, zgrajenih med petdesetimi in sedemdesetimi leti prejšnjega stoletja, vendar lahko v praksi tudi pri novogradnjah še vedno srečamo nepravilno načrtovane in izvedene toplotno izolacijske ovoje. Najpogostejši primeri nastanka toplotnega mostu so: stik poševne strehe s steno, iz zidu štrleče betonske plošče, slabo izvedena izolacija zunanje stene, zunanja senčila, nepravilno nameščena okna v steno, na neogrevanih mestih neizolirane notranje pregradne stene, neizolirana talna plošča, izstopajoči vhodni podest, povezave zunanje kletne stene s kletno ploščo.

3.1.1 Oblike toplotnih mostov

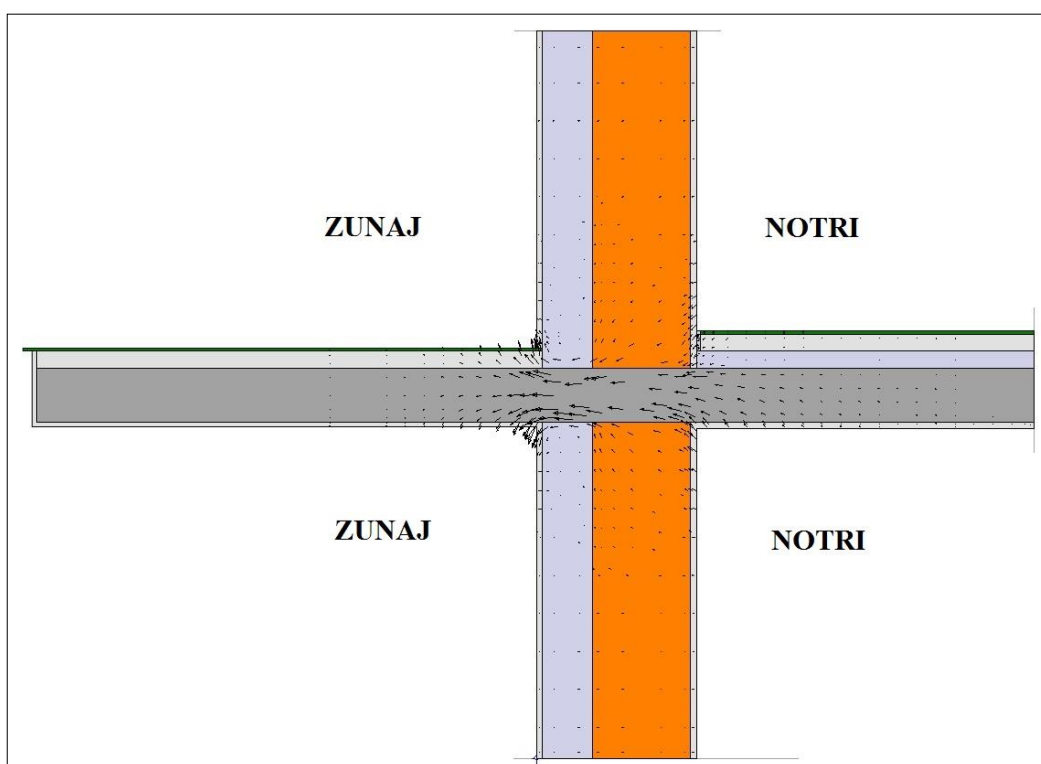
Toplotne mostove delimo glede na vzrok nastanka, ki je lahko konstrukcijski, geometrijski, kombinirani (kombinacija konstrukcijskega in geometrijskega) ali konvekcijski.

3.1.1.1 Konstrukcijski toplotni mostovi

Nastajajo zaradi različnih konstrukcijskih materialov, uporabljenih pri gradnji, in slabe izvedbe toplotne izolacije le teh. To pomeni, da so uporabljeni materiali z različnimi toplotnimi prevodnostmi. Izognemo se jim lahko z celovito zunanjo izolacijo stavbe in odebeljeno izolacijo pri materialih z večjo toplotno prevodnostjo. Zagotoviti je potrebno

kontinuirano in enakomerno toplotno zaščito celotnega ovoja, tudi izstopajočih konstrukcijskih delov, ki gledajo iz stavbnega ovoja.

Primeri križanja konstrukcijskih sklopov: dimniki in zračniki, stik medetažne plošče iz armiranega betona in zunanje zidu iz opeke, betonski venci, vogalne vertikalne protipotresne vezi, ležišča betonskih plošč, cevne napeljave v stenah, neposredno nadaljevanje plošč iz armiranega betona in zidov v balkonske plošče in stene (slika 4).

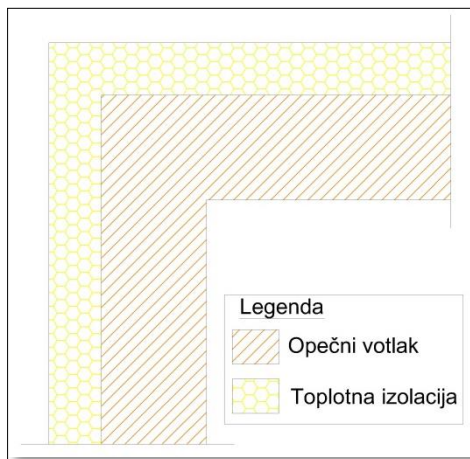


Slika 4: PrIMER konstrukcijskega toplotnega mosta na stiku balkona, medetažne plošče in zunanje stene.

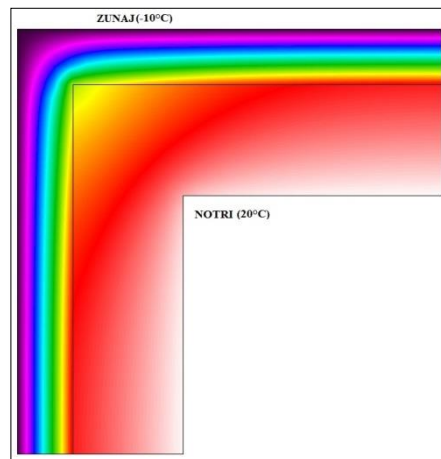
3.1.1.2 Geometrijski toplotni mostovi

Nastanejo na delu ovoja stavbe, pri katerem je na mestu, kjer toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, zunanja površina precej večja od notranje. Najpogosteje nastanejo v kombinaciji z konstrukcijskim toplotnim mostom.

Primer: okenska špaleta, zunanji vogali hiše (sliki 5 in 6) – toplotno neizoliran stik dveh zunanjih sten. V praksi se jim ne moremo izogniti; lahko jih samo omilimo z izogibanjem stikom pod kotom, manjšim od 90° , ukrivljeni elementi in sklopi pa morajo imeti čim večji radij.



Slika 5: Skica konstrukcije za primer geometrijskega toplotnega mostu

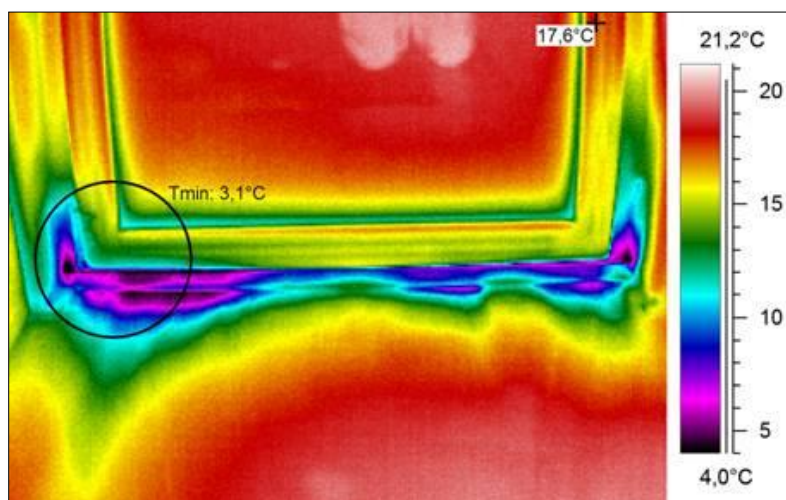


Slika 6: Primer geometrijskega toplotnega mostu na vogalu stavbe

3.1.1.3 Konvekcijski toplotni mostovi

Nastanejo v predelu ovoja stavbe, kjer je omogočen pretok notranjega, navlaženega zraka, v konstrukcijski sklop, kot posledica prekinitve ali netesnosti ovoja.

Primer: netesnost stika med oknom in špaletu (obkrožen del na sliki 7).

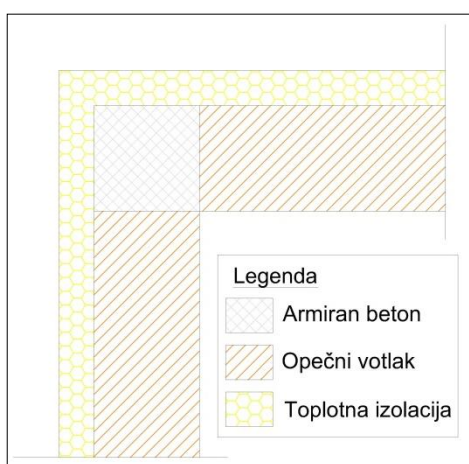


Slika 7: Primer konvekcijskega toplotnega mostu na stiku med oknom in špaletu (Grobovšek, B. 2009)

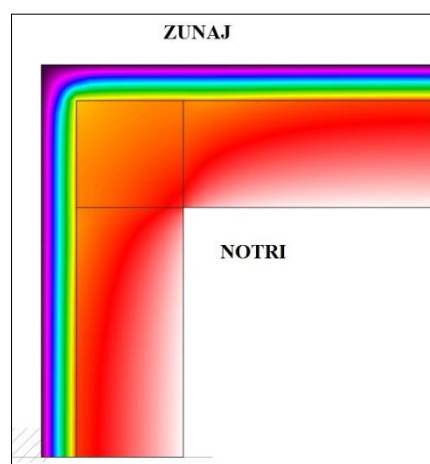
3.1.1.4 Kombinirani toplotni mostovi

To je kombinacija geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu.

Primer: armiranobetonska protipotresna vogalna vez, nosilni armiranobetonski steber v zunanji steni (sliki 8 in 9), ki sega čez zunanjo ravnino zidu, balkonska plošča in balkonska stena, neizoliran stik dveh zunanjih sten ter armiranobetonske plošče proti neogrevanemu podstrešju...



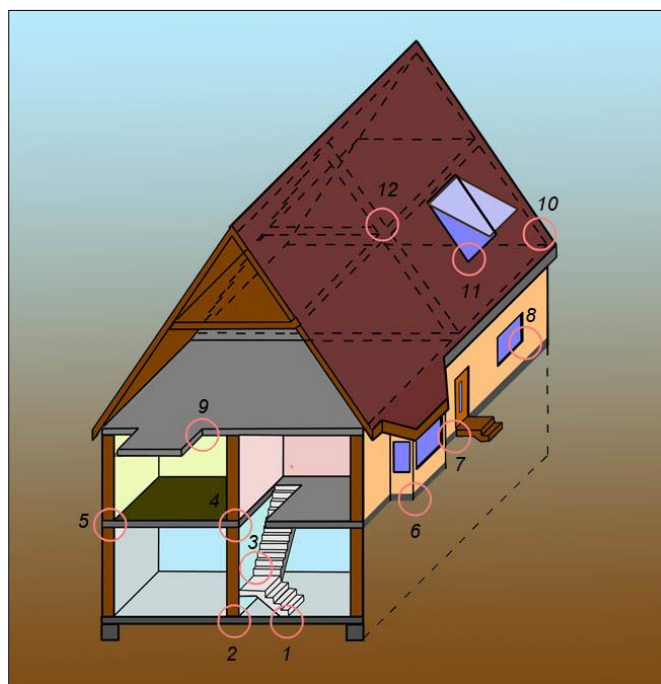
Slika 8: Skica konstrukcije za primer kombiniranega toplotnega mostu



Slika 9: Primer kombiniranega toplotnega mostu na vogalu stavbe

3.2 Najpogostejši toplotni mostovi

Najbolj pogosti toplotni mostovi na individualni stanovanjskih hišah se pojavljajo na stiku med različnimi konstrukcijskimi sklopi, kot je prikazano na sliki 10.



Slika 10: Najpogostejši toplotni mostovi (Instalater 2009)

1. Ležišče kletnih stopnic nad talno ploščo
2. Podnožje stopniščenega zidu nad dnom talne plošče
3. Stranska povezava stopnic na kletni zid
4. Povezava kletne stene s kletno ploščo – notranje predelne stene
5. Povezava kletne stene s kletno ploščo – zunanji zid
6. Izstopajoča talna plošča
7. Izstopajoči vhodni podest
8. Stik okenskega okvirja in zida
9. Izstopajoči balkon
10. Stik poševne strehe in zunanje stene
11. Obroba strešnega okna z zunanje strani
12. V hladnem podstrešju notranje pokončne stene

3.3 Obravnavani primeri

Obravnaval bom naslednje primere toplotnih mostov, ki so najbolj karakteristični in najbolj pogosti v večini stanovanjskih stavb:

- stik okenskega okvirja in zida,
- križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo,
- stik zunanje stene in medetažne plošče,
- stik poševne strehe in zunanje stene.

3.3.1 Stik okenskega okvirja in zida

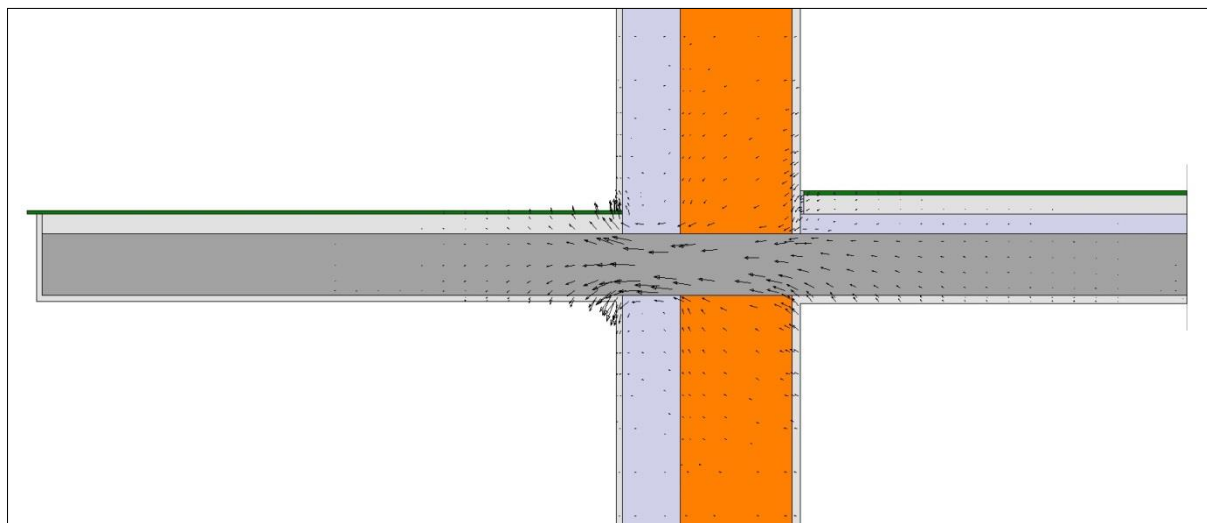
Okna imajo pri stavbah pomembno vlogo. Zagotavljajo primerno osvetljenost notranjih prostorov, nudijo možnost zračenja, zagotavljajo stik z okolico. Okna so vgrajena v zunanji ovoj stavbe; zaradi svojih lastnosti predstavljajo šibko točko pri zagotavljanju optimalnih toplotnih prevodnosti stavbnega ovoja. Nenatančna izvedba povzroči toplotne mostove in posledično pojav plesni. Površinsko predstavljajo velik delež samega ovoja. Pomembna je predvsem prevodnost steklenega dela okna, ki pa se je v zadnjih letih bistveno izboljšala. Večina študij se je osredotočila prav na toplotne in optične lastnosti oken ter na njihov vpliv na toplotno obremenitev. Veliko manj študij se je pa osredotočilo na toplotno prevodnost okvirjev, distančnikov in škatel za rolete. Bolj kot sama toplotna prevodnost novih okvirjev, distančnikov in škatel za rolete je pomembna pozicija montaže oken in stik okno-stena ter izolacija oboda okenske odprtine. Na sliki 11 je prikazana nepravilna vgradnja okna pri novogradnji.



Slika 11: Primer nepravilno montiranega okna pri novogradnji (Kokot, M. 2011)

3.3.2 Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo

Na stiku balkona in zunanjega zida nastaja povečan toplotni tok, saj na tem mestu teče skozi elemente gradbene konstrukcije večji tok kot v njihovi okolici. Poleg tega povzroča tudi lokalno znižanje temperature notranje površine zunanjega zidu in spodnje površine stropne plošče, kar vodi v pojav kondenza in plesni na objektu, pojavijo pa se lahko tudi poškodbe na površini gradbene konstrukcije (poškodbe ometa ali zaključnega sloja). Pri obnovah stavb, lahko z namestitvijo dodatne toplotne izolacije na zunanji strani povečamo vpliv toplotnega mostu balkona in toplotni tok skozi ploščo postane še izrazitejši, kot lahko vidimo na sliki 12.

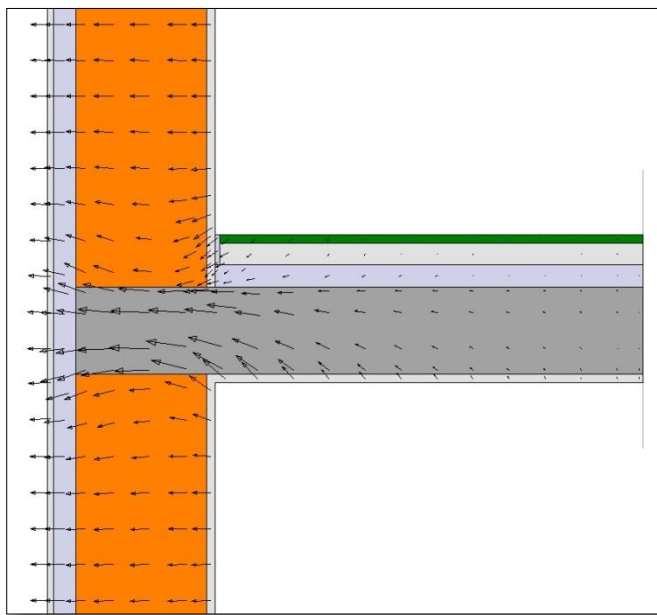


Slika 12: Primer prehajanja toplote pri toplotnem mostu balkona

Teoretično se temu lahko izognemo z zmanjšanjem toplotnega toka s toplotno izolacijo balkonske plošče zgoraj in spodaj, najmanj 50 cm od stene, ampak takšna rešitev ni funkcionalna. Samo s samostoječim balkonom, ki fizično ne sega v ovoj zgradbe, se izognemo toplotnemu mostu. Če se hočemo izogniti toplotnemu mostu, moramo tako pri novogradnjah in obnovah izvesti stik z namenskimi toplotnimi armaturnimi košarami, torej pri obnovah celoten balkon odrezati in ga napraviti ločenega z izolacijo od obstoječe konstrukcije.

3.3.3 Stik zunanje stene in medetažne plošče

Pri stiku plošče in zunanje stene gre za toplotni most v armirano-betonski plošči zaradi povečanega toplotnega toka skozi armirano betonsko ploščo (v nadaljevanju AB plošča). AB plošča ima veliko večji toplotni tok kot opečnata stena, zato nastane na stiku toplotni most (slika 13). Tak toplotni most lahko odpravimo z zamikom plošče v notranjost stene in odebeljeno izolacijo na mestu plošče ali po celotnem ovoju stavbe.



Slika 13: Primer prehajanja toplote pri toplotnem mostu križanja medetažne plošče in zunanje stene

3.3.4 Stik poševne strehe in zunanje stene

Pri stiku streha-stena gre predvsem za toplotni most v steni. Lahko gre za steno do poševne strehe ali steno, ki se dviga nad streho pri ravnih strehah. Načrtovalci največkrat načrtujejo dobro izolacijo posebej stene in strehe, vendar rešitve izolacije na stiku med streho in steno ne dodelajo najbolje.

Za doseganje izolativnosti je potrebno izolacijo med steno in streho povezati v strešnim izolacijskim sistemom, da zagotovimo kontinuirano potekanje toplotne izolacije (zagotovljen mora biti pravilen stik strešne in stenske toplotne izolacije brez prekinitve).

Pri ravnih strehah, kjer se stene dvigajo nad linijo strehe, je preučitev, kako so stki izolirani in termično povezani, bistvenega pomena. Pri nekaterih stikih je potrebno prekrivanje izolacije na nasprotnih straneh elementa. Na primer, izolacijo stene je morda lažje povezati pod streho kot nad streho. Če je tako, lahko izvedba izolacije pod streho zmanjša učinek toplotnega mostu. Torej zmanjša toplotni dobitek ali izgubo in zmanjša tveganje za nastanek kondenzacije.

4.0 PODATKI IN IZHODIŠČA

4.1 Opis uporabljenega programskega orodja

Za analizo sem uporabil program THERM 7.3, ki je namenjen modeliranju dvodimenzionalnih (2-D) toplotnih mostov. Program temelji na metodi končnih elementov. Analiza dvodimenzionalnega prevajanja toplote omogoča modeliranje gradbenih sklopov poljubnih geometrijskih oblik in materialov ter simulacijo temperatur na lokalnih mestih, kar omogoča predvidevanje težav s kondenzacijo vodne pare.

Program so razvili v laboratoriju Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) v Združenih državah Amerike z namenom olajšanja dela študentom, arhitektom, inženirjem in drugim, ki se pri svojem delu srečujejo s toplotno prevodnostjo na detajlih stavb.

Za izračunu toplotnih mostov pri oknih sem si pomagal tudi s programom WINDOW 7.3 (LBNL 2014) in sicer za izračun prenosa toplote skozi zastekljeni del okna. Program WINDOW prav tako kot THERM prihaja iz laboratorija Lawrence Berkeley National Laboratory. Programa sta med seboj kompatibilna, kar zelo olajša prenos sestavljene zasteklitve iz WINDOW-a v THERM.

4.2 Obseg analize

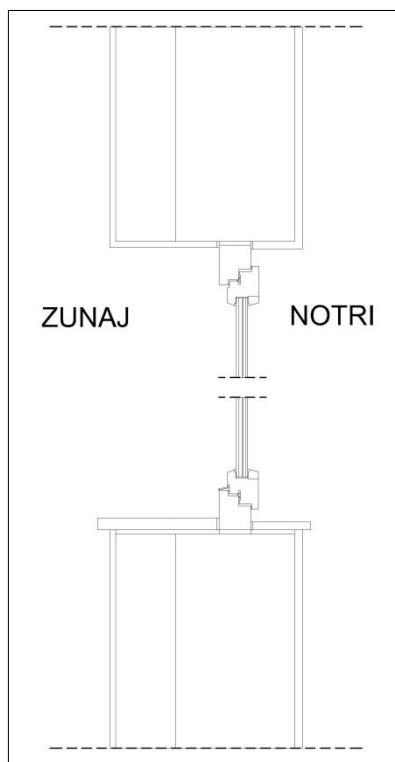
Pri analizi sem naredil 15 primerov izračuna učinkovitosti pravilne postavitve toplotne izolacije za 4 najbolj pogoste toplotne mostove, ki se pojavljajo pri gradnji tipičnega stanovanjskega objekta.

4.3 Izhodiščni modeli in možne rešitve, uporabljene pri analizi obravnavanih toplotnih mostov

Za analizo toplotnih mostov in rešitve le teh s programom THERM 7.3 sem uporabil osnovne modele, s katerimi sem ponazoril značilen toplotni most za posamezni obravnavani konstrukcijski sklop in za vsak tak toplotni most podal najmanj dve rešitvi.

4.3.1 Stik stena-okno – toplotni most (TM_O_00)

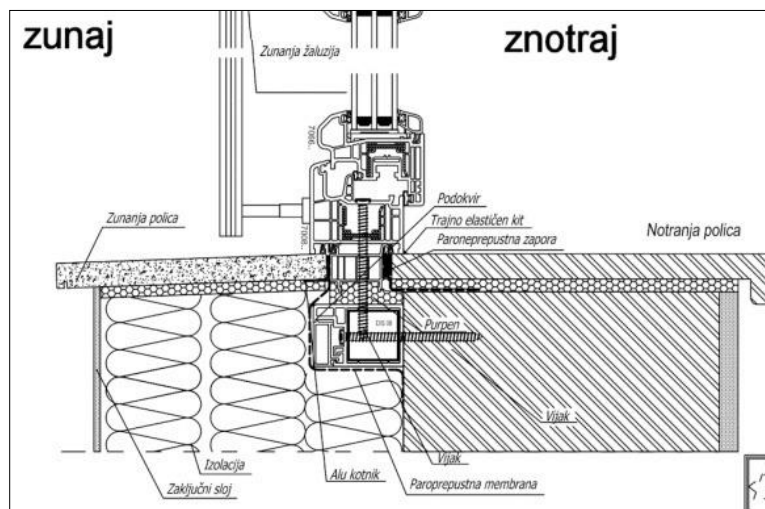
Na sliki 14 je prikazan značilen toplotni most zaradi nepravilne vgradnje okenskega okvirja. Takšne vgradnje so najpogostejše pri objektih starejše izvedbe, vendar se tudi danes lahko na terenu vidi, da uporabljajo takšno vgradnjo oken na novogradnjah. Toplotni most s slike 14 sem uporabil kot izhodiščni model pri izračunih stika okno - stena s programom THERM.



Slika 14: Izhodiščni primer za stik okna s steno

4.3.2 Montaža okna v toplotno izolacijo zunanjega ovoja stavbe (TM_O_01)

Najboljša rešitev, ki se jo uporablja pri sodobnih nizkoenergetskih in pasivnih stavbah, je montaža oken v toplotno izolacijski ovoj stavbe (slika 15). Okna se montira na kovinske L profile ali slepe lesene okvirje. Pri tej montaži moramo biti pozorni na to, da zagotovimo možnost pritrditve L profilov v steno. Pri večjih in težjih oknih bi bilo smiselno okoli okna narediti »okvir« iz dovolj močnega materiala, v katerega lahko pritrdimo L profile. Pri tem načinu montaže nastane točkovni toplotni most.



Slika 15: Primer montaže okna v toplotno izolacijski ovoji stavbe (Kokot, M. 2011)

4.3.3 Poravnava okna z zunanjim robom stene (TM_O_02)

Malo manj učinkovita ampak pogosto uporabljena rešitev pri montaži je poravnava okna z zunanjim robom stene (slika 16) ali pomaknjeno okno kakšen centimeter čez rob v izolacijo ovoja stavbe. Izvedba tega načina montaže je veliko lažja in hitrejša kot montaža v izolacijo stavbnega ovoja. S tem načinom montaže dobimo samo manjši linijski toplotni most.



Slika 16: Primer montaže okna na zunanji rob stene (Žnidaršič, B. 2012)

4.3.4 Obdelava špalet z ekstrudiranim polistirenom (v nadaljevanju XPS) do okenskega okvirja (TM_O_03)

Pogosta in najmanj učinkovita od navedenih rešitev je obložitev špalet z XPS izolacijo (slika 17). Najpogosteje jo zasledimo pri obnovah starejših stavb. Torej se izolacija izvede, ko so okna že montirana. Pogosto uporabijo tanko plast XPS, samo 2cm ali 3cm, kar pa je še vedno premalo, da bi preprečilo toplotni most.



Slika 17: Primer obdelave špalet z XPS do okenskega okvirja (Žnidaršič, B. 2012)

4.3.5 Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu – montaža okna na sredino špalete (TM_O_04)

Pred montažo oken lahko tudi obdelamo špalete z XPS po celotni debelini stene in tako pritrdimo okna na sredino špalete, preko izolacije v nosilno konstrukcijo (slika 18). Debelina XPS-a mora biti enaka kot izolacija fasade, torej od 10-15cm. Najpogosteje vidimo, da se uporabi debelino XPS-a do 5cm, zato sem se tudi odločil preveriti učinkovitost izvedbe z debelino izolacije špalete 5cm. S takšno montažo naj bi se tudi popolnoma izognili toplotnemu mostu okoli okna in pri okenskih policah.



Slika 18: Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu (Žnidaršič, B. 2012)

4.3.6 Obdelava špalet z XPS za celo debelino zidu – montaža okna na zunanji rob stene (TM_O_05)

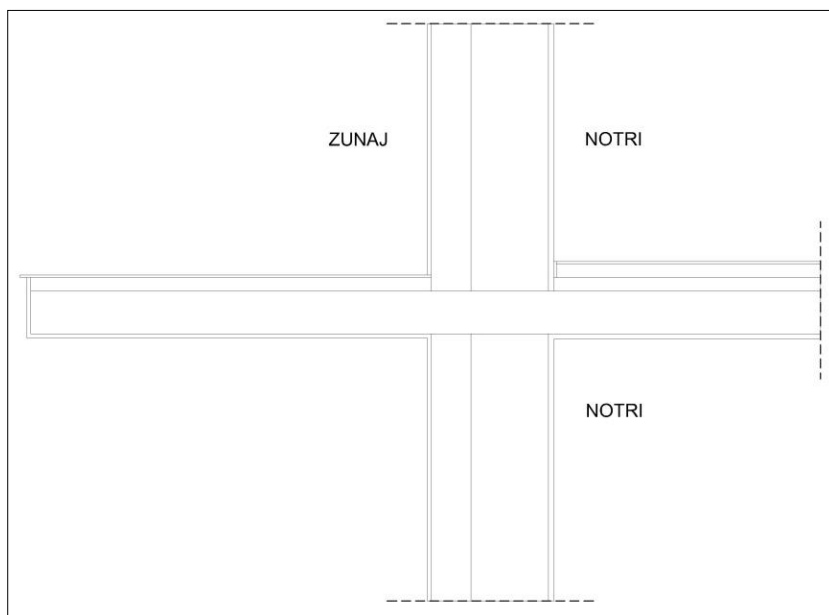
Podobno kot pri prejšnjem primeru obdelamo špalete z XPS po celotni debelini stene in pritrdimo okna na skrajni zunanji rob stene, preko izolacije v nosilno konstrukcijo (slika 19). Za popolno odpravo toplotnega mostu naj bi bila debelina XPS-a takšna kot na ostali fasadi. Vendar se pogosto pri takšni montaži ne uporablja debelejšje izolacije od 3cm, zato bom preveril učinkovitost takšnega načina montaže. S takšno montažo naj bi se izognili toplotnemu mostu okoli okna in pri okenskih policah.



Slika 19: Obdelava špalete z 3cm XPS

4.3.7 Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo – toplotni most (TM_B_00)

Najpogostejši primer (slika 20) toplotnega mostu pri križanju balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo sem uporabil kot izhodiščni model za izračun s programom THERM 7.3. Izrazitejši postane po energijski sanaciji starejših hiš.



Slika 20: Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo - toplotni most

4.3.8 Obložitev balkona s toplotno izolacijo (TM_B_01)

Če balkonsko konzolno ploščo obložimo na dolžini najmanj 50cm od stene, spodaj in zgoraj s primerno debelino toplotne izolacije se lahko izognemo toplotnemu mostu. Takšna rešitev pride v poštev predvsem v teoriji, v praksi pa se izkaže, da ni funkcionalna. Pojavijo se težave z višino tlakov na zgornji strani balkonske plošče in pritrjevanje ustrezne debeline toplotne izolacije lahko postane problematično. Če toplotno izolacijo pomaknemo v nosilno konstrukcijo, pa jo preveč oslabimo, tako da to ne pride v poštev. Torej obloga balkona je možna z veliko tanjšo plastjo toplotne izolacije (slika 21) kot drugod na ovoju stavbe, kar pa pomeni, da se nismo izognili toplotnemu mostu.



Slika 21: Obložitev balkonske plošče s toplotno izolacijo (Pod svojo streho.net, 2012)

4.3.9 Vstavitev toplotne armaturne košare (TM_B_02)

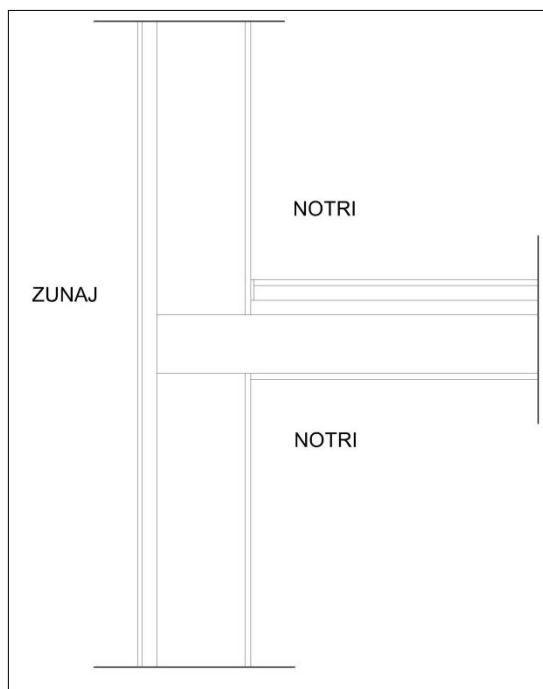
Najučinkovitejša rešitev, ki preprečuje nastanek toplotnega mostu na stiku balkona in zunanje stene, je toplotnoizolacijski in sočasno nosilni element, ki preprečuje pojav vlage in plesni v notranjosti prostorov (slika 22). Toplotno armaturno košaro namestimo v izolacijski sloj stavbe. Na trgu je že kar nekaj podjetij, ki ponujajo takšno rešitev.



Slika 22: Toplotna armaturna košara (Schöck Innovative Building Solutions 2014)

4.3.10 Križanje zunanje stene in medetažne plošče – toplotni most (TM_SP_00)

Toplotni most stika zunanje stene in medetažne plošče, ki nastane zaradi različnih materialov in posledično različnih sposobnosti toplotne prevodnosti materialov, je prikazan na sliki 23. Primer iz slike 23 sem uporabil kot izhodiščni model za izračun toplotnega mostu križanja zunanje stene in medetažne plošče.



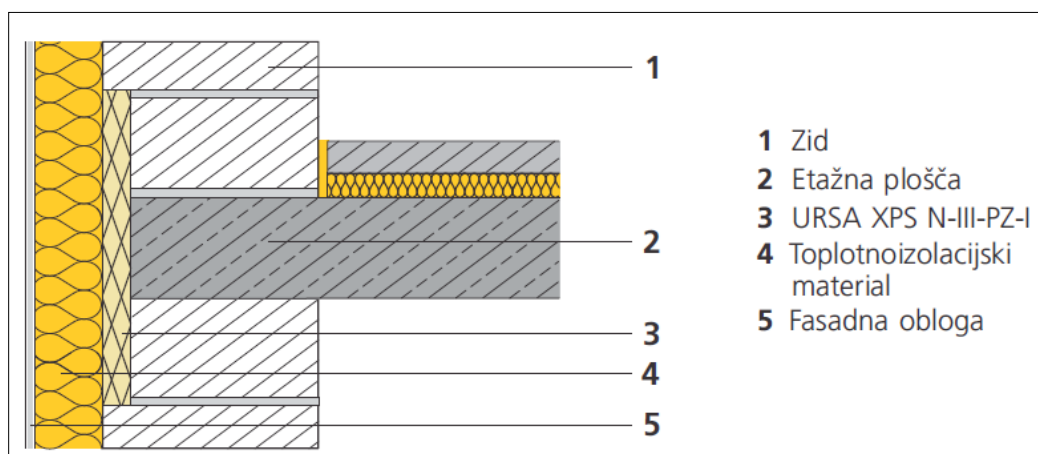
Slika 23: Križanje zunanje stene in medetažne plošče - toplotni most

4.3.11 Debelejša izolacija po celotni površini ovoja stavbe (TM_SP_01)

Vzrok za nastanek tega toplotnega mostu je v tem, da ima beton precej večjo toplotno prevodnost kot opeka. Da se izognemo neugodnim posledicam takega toplotnega mostu, lahko povečamo debelino toplotne izolacije po celotni fasadi. Če to ni izvedljivo ali finančno upravičeno, je primerna rešitev tudi, da vgradimo dodatno izolacijo ob AB plošči, stebri ali vezi že med izdelavo opaža.

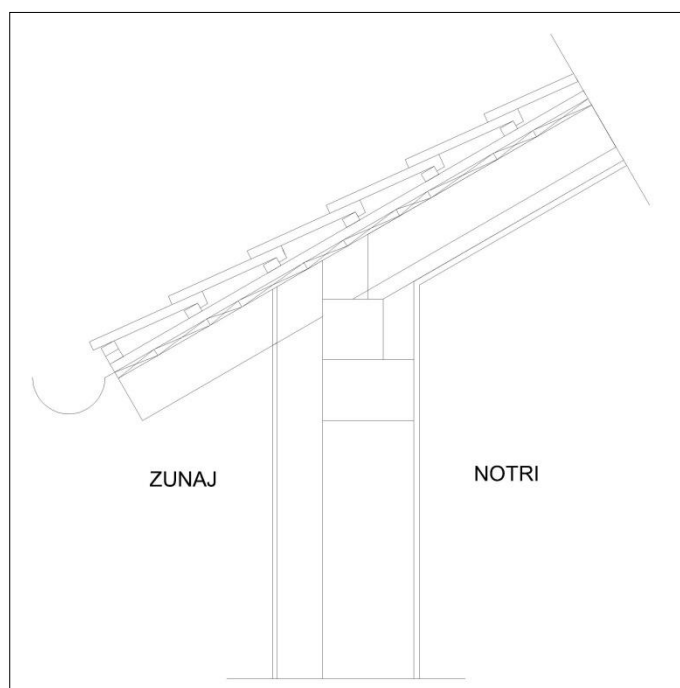
4.3.12 Zamik medetažne plošče in odebelitev izolacije na stiku (TM_SP_02)

Pri uporabi monolitnih zidov iz porozne opeke ali plinobetona predstavljajo medetažne AB plošče, betonski stebri, vogali in preklade potencialne toplotne mostove, ki jih lahko preprečimo z predhodno vgradnjo XPS-a na ustrezna mesta v opaž pred betoniranjem (slika 24). Izolacijo XPS se uporabi zato, ker ni občutljiva na vlago in pritiske.



Slika 24: Odebelitev izolacije na stiku medetažne plošče in zunanje stene (Ursa 2010)

4.3.13 Stik poševne strehe in zunanje stene – toplotni most (TM_SS_00)



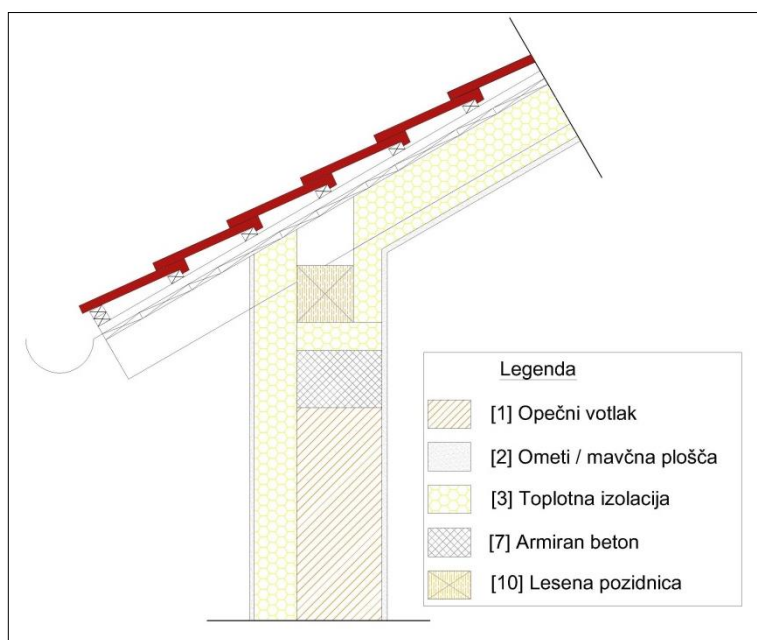
Slika 25: Stik poševne strehe in zunanje stene - toplotni most

Za rešitev tega toplotnega mostu (slika 25) nisem našel nobene primerne literature, zato sem se odločil preveriti dve smiselni rešitvi za kateri sem zasledil, da se najpogosteje uporabljata.

4.3.14 Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z notranje/spodnje strani

(TM_SS_01)

Leseno lego postavimo na betonske ali lesene podstavke, tako da med lego in vrhom zida lahko namestimo vsaj 5 cm izolacije. Z notranje strani izolacijo izpod lege povežemo z izolacijo, nameščeno med špirovci, če bomo imeli bivalno podstrešje, na zunanji strani pa s fasadno izolacijo. Če podstrešje ne bo bivalno, izolacijo namestimo na vrhu stropne plošče. V tem primeru povežemo izolacijo izpod lege z zunanjo fasadno izolacijo in notranjo izolacijo na plošči (slika 26).

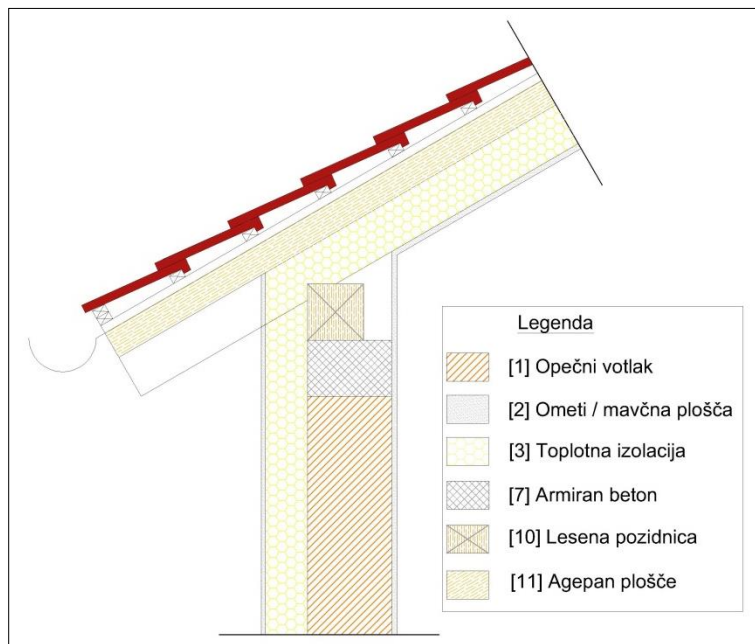


Slika 26: Obložitev lesene kapne lege z izolacijo - z notranje strani

4.3.15 Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z zunanje strani

(TM_SS_02)

Leseno lego obložimo z zunanje strani s fasadno izolacijo. Fasadno izolacijo potegnemo do vrha in spojimo skupaj z izolacijo, nameščeno med špirovci ter tako preprečimo nastanek toplotnega mostu na tem mestu (slika 27).



Slika 27: Obložitev lesene kapne lege z izolacijo – z zunanje strani

4.4 Vhodni podatki za program THERM

Zunanja temperatura: $T_1 = -10^\circ\text{C}$

Notranja temperatura: $T_2 = 20^\circ\text{C}$

Relativna vlažnost: 65%

Materialne karakteristike (povzeto po TSG 01-004:2010, razen h):

- a) Opečni votlak: $\lambda_1 = 0,53 \text{ W/mK}$;
- b) Ekspandirani polistiren: $\lambda_2 = 0,038 \text{ W/mK}$;
- c) Estrudirani polistiren (XPS): $\lambda_3 = 0,034 \text{ W/mK}$;
- d) Ometi: $\lambda_4 = 1,4 \text{ W/mK}$;
- e) Jeklo: $\lambda_5 = 53,5 \text{ W/mK}$;
- f) Granit: $\lambda_6 = 3,5 \text{ W/mK}$;
- g) Les: $\lambda_7 = 0,14 \text{ W/mK}$;
- h) Agepan THD (Ekoprodukt.si, 2011): $\lambda_8 = 0,047 \text{ W/mK}$;
- i) Steklina volna: $\lambda_9 = 0,038 \text{ W/mK}$;
- j) Armirani beton: $\lambda_{10} = 2,33 \text{ W/mK}$;
- k) Cementni estrih: $\lambda_{11} = 1,4 \text{ W/mK}$;
- l) Finalna plast tlakov: $\lambda_{12} = 1,28 \text{ W/mK}$;
- m) Toplotna armaturna košara Isokorb®: $\lambda_{13} = 0,13 \text{ W/mK}$
- n) Lesen okenski okvir: $\lambda_{14} = 0,14 \text{ W/mK}$
- o) Poliuretanska pena: $\lambda_{15} = 0,025 \text{ W/mK}$

4.4.1 Stik stena-okno (TM_O_00-05)

V preglednici 1 so navedene dimenzije v centimetrih. Oznake valjajo za skice od TM_O_00 do TM_O_05. Oznaka TM_O_00 označuje toplotni most, TM_O_01 do TM_O_05 pa obravnavane ukrepe za odpravo toplotnega mostu. Poleg materiala je napisana še pripadajoča λ . Na vsaki skici je označena površina izračuna U-faktorja. Izračunani U-faktor predstavlja

vrednost, izračunano z upoštevanjem 2D karakteristik križanja, ter tako bolj realno opiše toplotno prehodnost v okolici obravnavanih stikov.

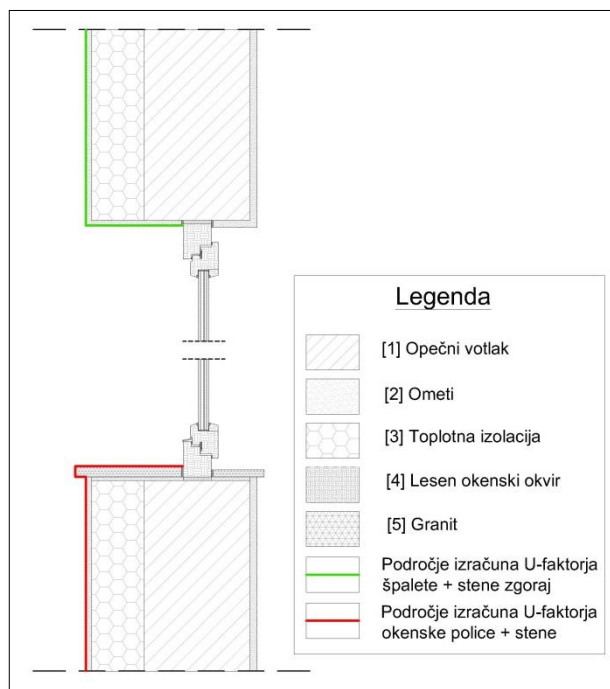
Preglednica 1: Vhodni podatki za primere stika stena-okno

Oznaka: Debelina (cm):	TM_O_00	TM_O_01	TM_O_02	TM_O_03	TM_O_04	TM_O_05
[1] opečni votlak (λ_1)	30	30	30	30	30	30
[2] ometi (zunaj/notri) (λ_4)	1,5/2	1,5/2	1,5/2	1,5/2	1,5/2	1,5/3
[3] toplotna izolacija stene (λ_2)	15	15	15	15	15	15
[3] toplotna izolacija špalete (XPS) (λ_3)	/	/	/	4	5	3
[4] lesen okenski okvir (λ_{14})	8	8	8	8	8	8
[5] granitna polica (zunaj/notri) (λ_6)	3/2	3/2	3/2	1,5/2	3/2	3/2
[6] jeklen profil (λ_5)	/	0,5	/	/	/	/

Za zasteklitev je uporabljena trojna zasteklitev polnjena z argonom. Višina okna je 1,4m, pri tem je višina samega stekla 121,46cm okvirja pa 9,27cm. Okvirji so leseni.

Skice konstrukcijskih sklopov stika stena-okno:

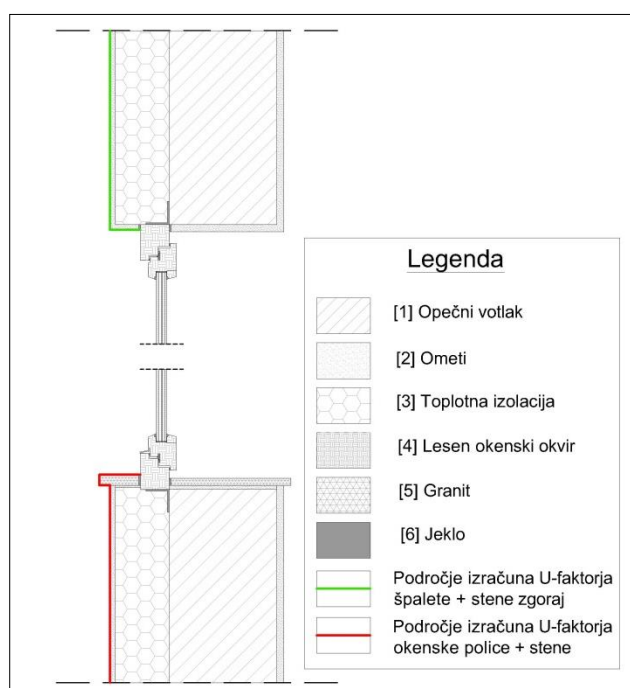
- TM_O_00 – toplotni most



Slika 28: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_00

Na sliki 28 je predstavljena najpogostejša »nepravilna« montaža okna. Okno je montirano na sredino stene, špalete niso izolirane, pod policama ni toplotne izolacije, da bi preprečila toplotni most. Če imamo tako montirana nova, dobro izolativna in zatesnjena okna se lahko plesnenju špalet na notranji strani izognemo samo s pogostim bolj intenzivnim zračenjem prostorov.

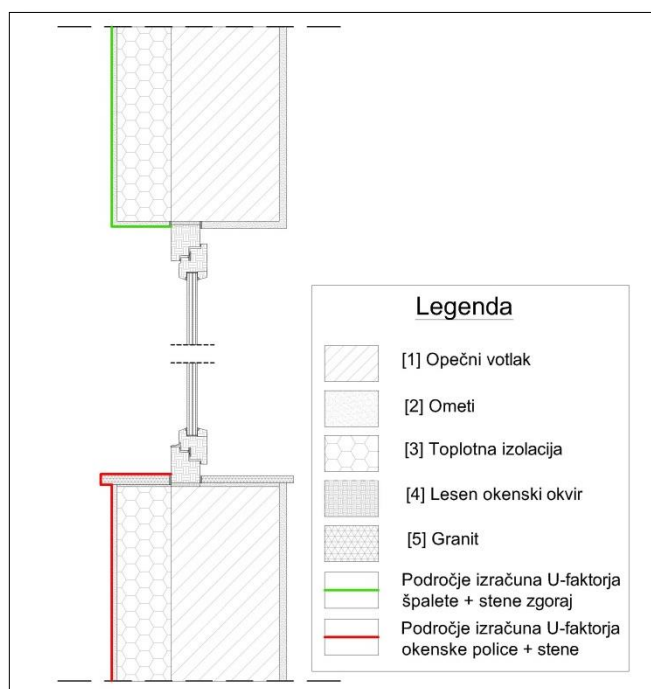
- TM_O_01



Slika 29: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_01

Na sliki 29 je okenski okvir v celoti montiran v toplotno izolacijo. Pritrjen je na jeklene točkovne profile. Debelina in velikost jeklenih profilov je odvisna od velikosti okna in posledično njegove teže. Če se odločimo za takšno montažo oken, je potrebno predhodno predvideti težo oken in zagotoviti dovolj močno podlago na steni za privijačenje jeklenih profilov. Pri tem nastanejo samo manjši točkovni toplotni mostovi na stiku profila in pritrdilnih vijakov s steno. Pri izračunu s programom THERM nisem upošteval jeklenih točkovnih pritrdilnih profilov (na skici so narisani zaradi lažje predstave), ker gre za pritrdilni material, ki je le točkoven ter tako bistveno ne vpliva na celoten računani toplotni most.

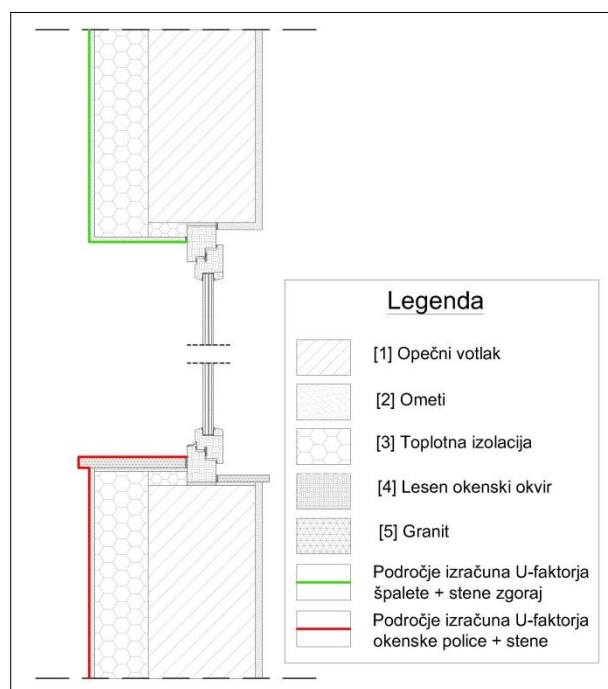
- TM_O_02



Slika 30: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_02

Slika 30 prikazuje montažo okna na skrajni zunanji rob stene. Takšna montaža je primerna tudi za večja in težja okna. Toplotna izolacija zunanjega ovoja stavbe prekrije okenski okvir zgoraj 4cm, spodaj pa od 3 do 4cm, odvisno od višine okvirja. Če gremo s toplotno izolacijo previsoko, lahko pride do zamakanja v notranjost in zaprtja zračnih lukenj (pri plastičnih in aluminijastih okvirjih) na spodnjem horizontalnem delu okenskega profila. Pri tem načinu montaže nastane linijski toplotni most.

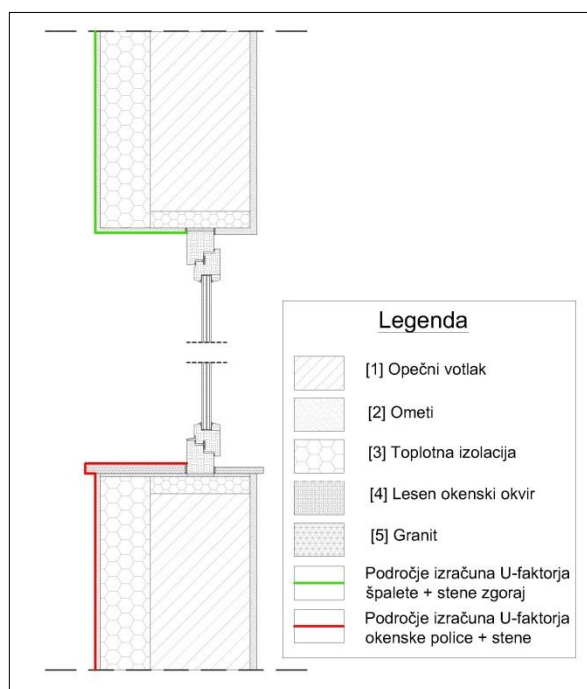
- TM_O_03



Slika 31: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_03

Slika 31 prikazuje odpravo oziroma omilitve toplotnega mostu z izolacijo špalet. Rešitev je predvsem primerna pri sanacijah objektov. Pri takšni rešitvi se pojavi problem primerne debeline izolacije na špaleti in pod okensko polico, ker standardna višina okenskega okvirja ne dopušča več kot 4 cm izolacije. Večjo debelino izolacije na špaleti in pod okensko polico lahko dosežemo samo z odebeljenim (dvojnimi) okenskim okvirjem ali sodobnimi VIP izolacijami (vakuumski izolacijski paneli). Problem je še najbolj očiten pri izolaciji pod zunanjo okensko polico; standardna debelina zunanjih granitnih polic je namreč 3 cm in ko jo podložimo s 4 cm izolacije lahko pride do zamakanja, ker nam ostane samo 1 cm roba okenskega okvirja, prostora za zračni odprtine okvirja pa sploh ni. Zato sem v mojem primeru debelino police zmanjšal na 1,5 cm, debelino izolacije pa omejil na 4 cm. V tem primeru bi bila tudi primerna zamenjava materiala zunanjih polic z tanjšimi materiali – granit bi zamenjal z ALU ali PVC policami. Pri takšnem načinu montaže nastane geometrijski toplotni most.

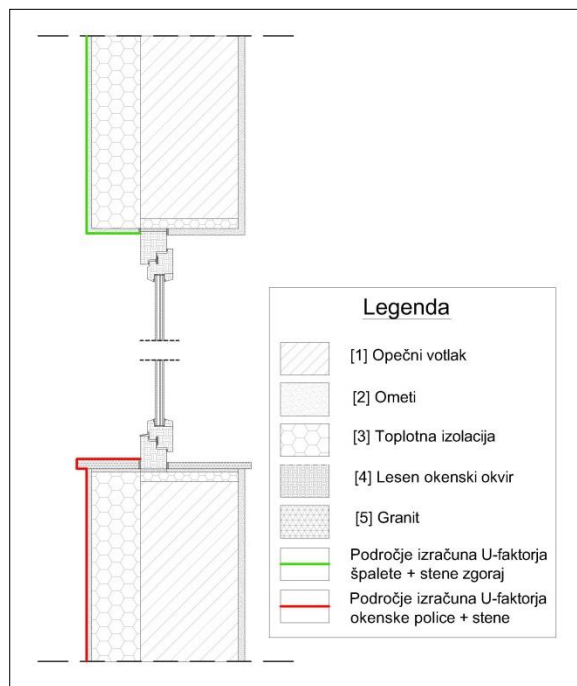
- TM_O_04



Slika 32: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_04

Na sliki 32 je prikazana rešitev odprave toplotnega mostu s toplotno izolacijo špalete po celotni debelini zidu. Rešitev je primerna tako za novogradnje kot za sanacije starejših objektov. Pri sanacijah je ta rešitev pogojena z zmanjšanjem odprtine – posledično manj svetlobe, zato lahko zasledimo, da se pogosteje odločajo za izolacijo samo do špalet z manjšo debelino izolacije. Pri tej rešitvi nastane samo geometrijski toplotni most.

- TM_O_05



Slika 33: Skica konstrukcijskega sklopa TM_O_05

Na sliki 33 je prikazana podobna rešitev odprave toplotnega mostu s toplotno izolacijo po celotni debelini zidu kot v primeru TM_O_04, vendar z montažo okna na zunanji rob stene. Rešitev je primerna tako za novogradnje kot za sanacije starejših objektov. Pri sanacijah je ta rešitev pogojena z zmanjšanjem odprtine – posledično manj svetlobe. Pri tej rešitvi nastane samo geometrijski toplotni most.

4.4.2 Križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo (TM_B_00 - 02)

V preglednici 2 so navedene dimenzije v centimetrih. Oznake valjajo za skice od TM_B_00 do TM_B_02. Oznaka TM_B_00 označuje toplotni most, TM_B_01 in TM_B_02 pa obravnavani rešitvi toplotnega mostu. Poleg materiala je napisana še pripadajoča λ . Na vsaki skici je označena površina izračuna U-faktorja. Izračunani U-faktor predstavlja vrednost,

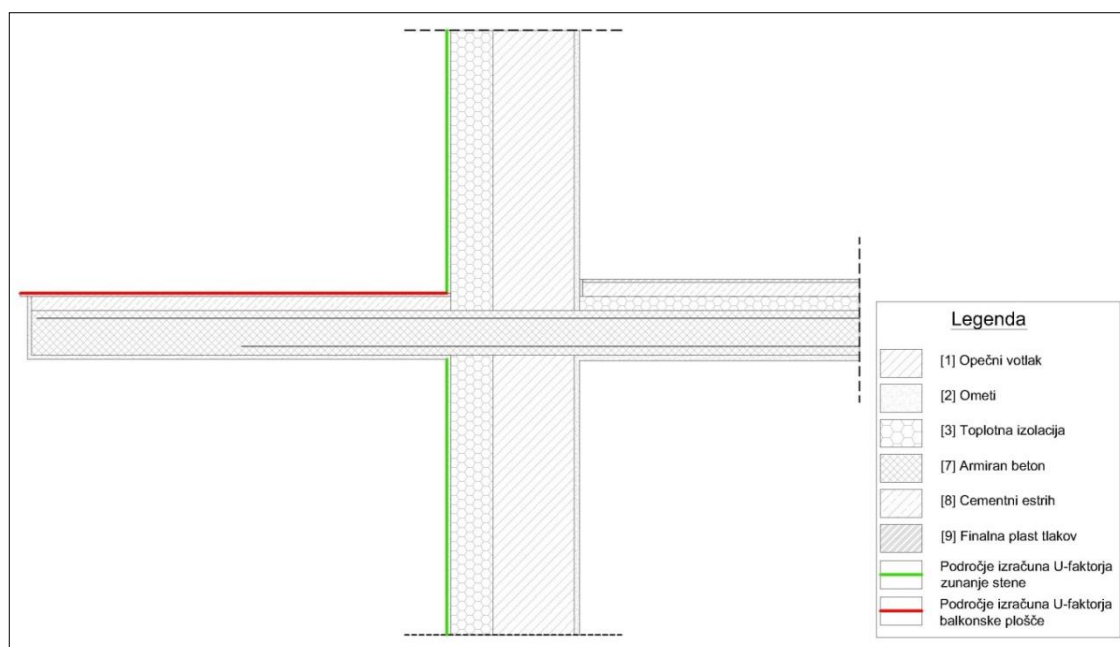
izračunano z upoštevanjem 2D karakteristik križanja, ter tako bolj realno opiše toplotno prehodnost v okolici obravnavanih stikov.

Preglednica 2: Vhodni podatki za primere križanja balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo

Oznaka:	TM_B_00	TM_B_01	TM_B_02
Debelina (cm):			
[1] opečni votlak (λ_1)	30	30	30
[2] ometi (zunaj/notri) (λ_4)	1,5/2	1,5/2	1,5/2
[3] toplotna izolacija stene (λ_2)	15	15	15
[3] toplotna izolacija (estrih) (λ_2)	5	5	5
[3] toplotna izolacija balkona (λ_2)	/	5	/
[7] AB plošča (λ_{10})	16	16	16
[8] cementni estrih (λ_{11})	5	5	5
[9] finalna plast tlakov (λ_{12})	1	1	1
[12] toplotna armaturna košara (λ_{13})	/	/	7

Skice konstrukcijskih sklopov križanja balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo:

- TM_B_00 – toplotni most

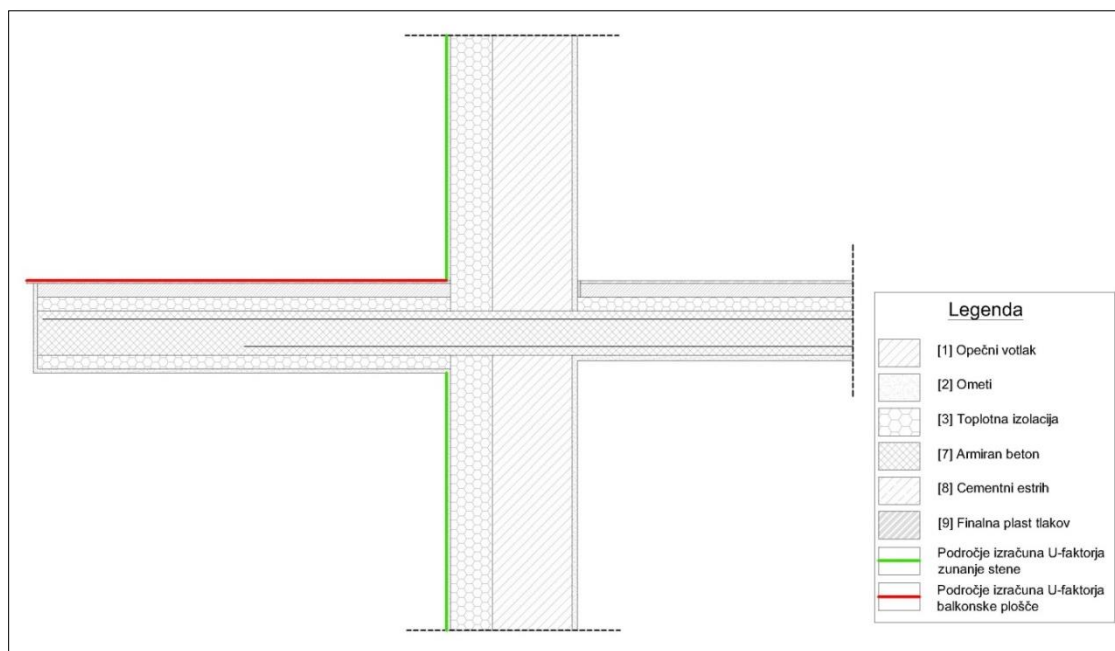


Slika 34: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_00

Na sliki 34 je predstavljen tipičen linijski toplotni most – balkon. Takšna izvedba je zelo pogosta predvsem pri starejših objektih. Kot vidimo se AB plošča iz notranjosti objekta

kontinuirano nadaljuje skozi zunanjo steno ven. Takšna izvedba balkona deluje na hišo kot hladilno rebro, kar povzroča velike toplotne izgube in poveča možnost nastanka plesni v notranjosti objekta.

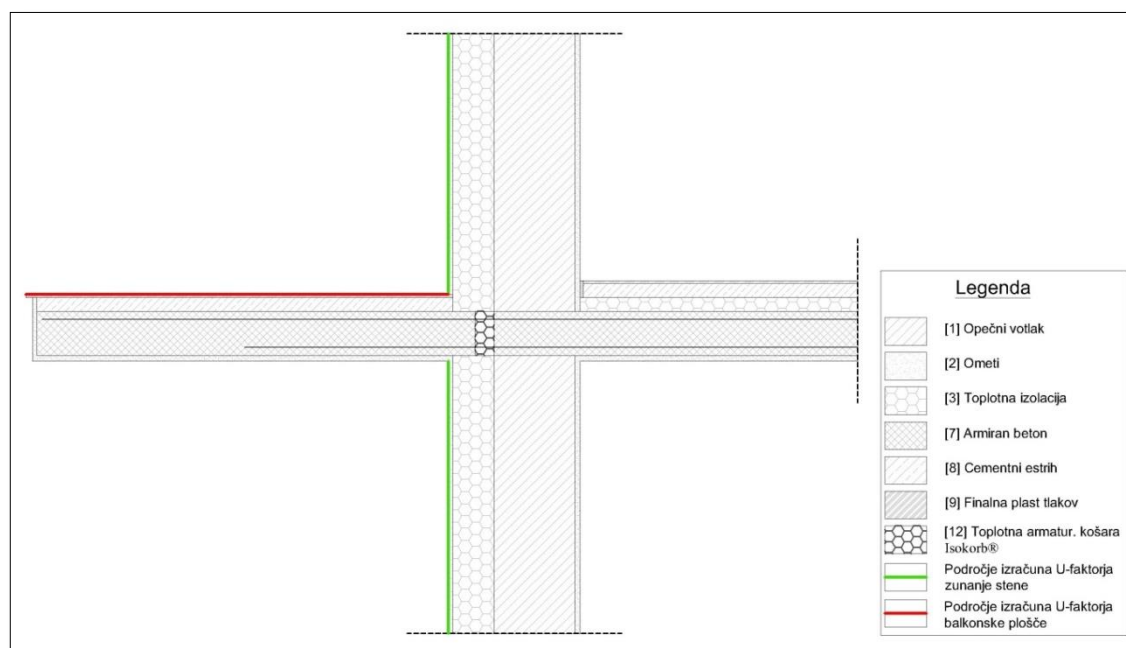
- TM_B_01



Slika 35: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_01

Najpogostejšo in zadovoljivo rešitev pri sanaciji tega toplotnega mostu lahko vidimo na sliki 35. Takšno izvedbo naredimo pri sanacijah stavb, ko ne želimo odstraniti obstoječega balkona. Za dosežek optimalne toplotne izolacije plošče jo moramo obleči minimalno 50 cm od stika s steno proti koncu konzole, vendar takoj naletimo na težavo zaradi debeline toplotne izolacije. Debelina toplotne izolacije v mojem primeru je 5 cm, vendar se lahko pojavljajo težave zaradi previsokih tlakov na zgornji strani balkonske plošče, ker lahko posledično pride tudi do zamakanja v notranjost (pri uporabi debelejšje toplotne izolacije dobimo višje zunanje tlake od notranjih).

- TM_B_02



Slika 36: Skica konstrukcijskega sklopa TM_B_02

Primer rešitve, ki je prikazan na sliki 36, je s stališča kontinuitete toplotno izolacijskega ovoja najboljši, saj na ta način skoraj popolnoma ločimo balkonsko ploščo od notranjosti objekta. Plošča ostane povezana z objektom samo z armaturnimi palicami. Zaradi stika armaturnih palic z notranjo konstrukcijo nastanejo samo točkovni toplotni mostovi. V mojem primeru je uporabljena rešitev toplotne armaturne košare Isokorb®, višine 16 cm in debeline 7 cm (Isokorb®, 2014). Višina toplotne armaturne košare je odvisna od višine AB plošče. Armatura v območju izolacije je pocinkana ali iz nerjavečega jekla, da zaradi kondenzacije ne pride do oksidacije in posledično oslabitve nosilnosti jekla. Toplotno armaturno košaro montiramo v sloj toplotne izolacije objekta. Takšna izvedba je primerna pri novogradnjah.

4.4.3 Stik zunanje stene in medetažne plošče (TM_SP_00 – 02)

V preglednici 3 so navedene dimenzije v centimetrih. Oznake veljajo za skice od TM_SP_00 do TM_SP_02. Oznaka TM_SP_00 označuje toplotni most, TM_SP_01 in TM_SP_02 pa obravnavani rešitvi toplotnega mostu. Poleg materiala je napisana še pripadajoča λ . Na vsaki skici je označena površina izračuna U-faktorja. Izračunani U-faktor predstavlja vrednost,

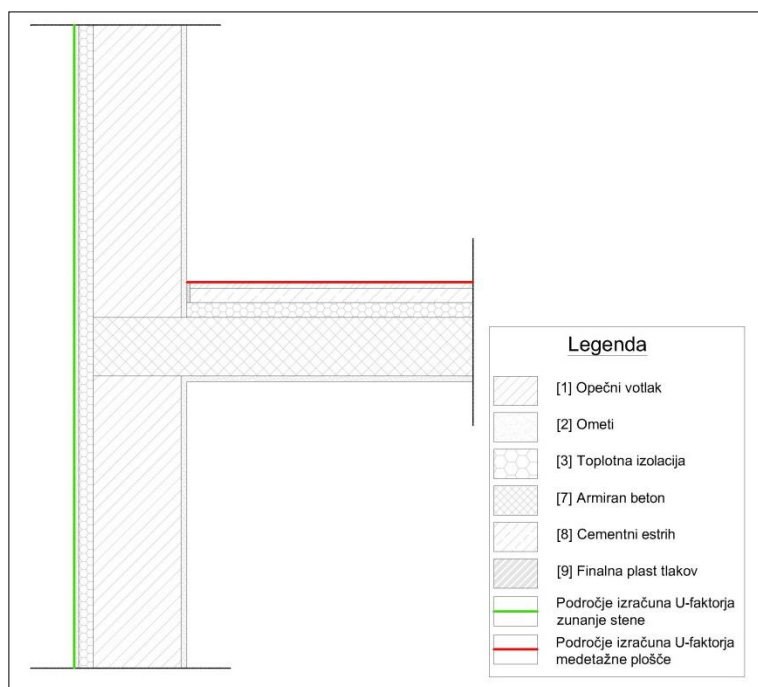
izračunano z upoštevanjem 2D karakteristik, ter tako bolj realno opiše toplotno prehodnost v okolici obravnavanih stikov.

Preglednica 3: Vhodni podatki za stik zunanje stene in medetažne plošče

Oznaka: Debelina (cm):	TM_SP_00	TM_SP_01	TM_SP_02
	[1] opečni votlak (λ_1)	30	30
[2] ometi (zunaj/notri) (λ_4)	1,5/2	1,5/2	1,5/2
[3] toplotna izolacija stene (λ_2)	5	15	15
[3] toplotna izolacija (estrih) (λ_2)	5	5	5
[3] odebeljena izolacija (XPS) AB plošče (λ_3)	/	/	10
[7] AB plošča (λ_{10})	20	20	20
[8] cementni estrih (λ_{11})	5	5	5
[9] finalna plast tlakov (λ_{12})	2	2	2

Skice konstrukcijskih sklopov križanja zunanje stene in medetažne plošče:

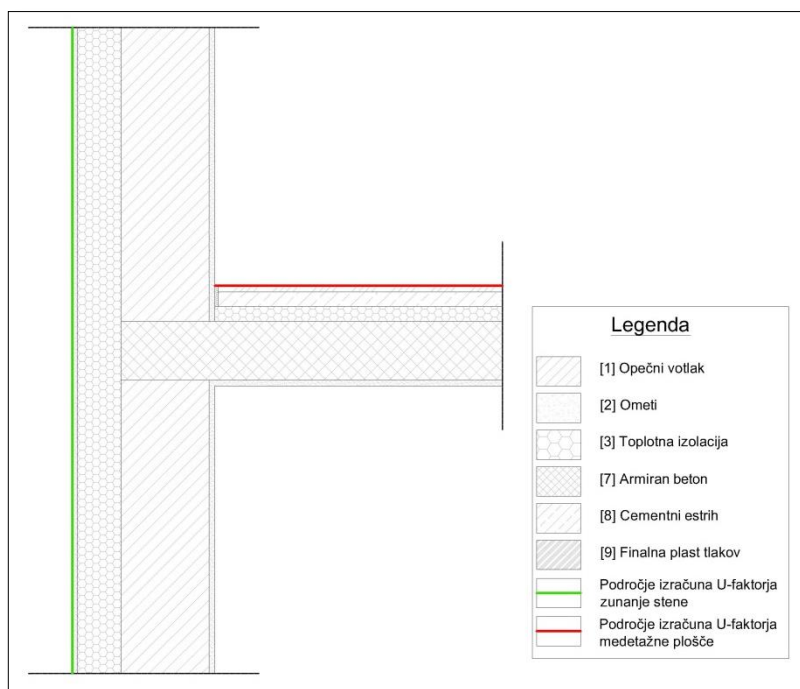
- TM_SP_00 – toplotni most, 5cm toplotne izolacije stavbnega ovoja



Slika 37: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_00

Za primer toplotnega mostu (slika 37) sem uporabil debelino toplotne izolacije ovoja stavbe 5 cm. Pri tej debelini toplotne izolacije nastane očiten toplotni most.

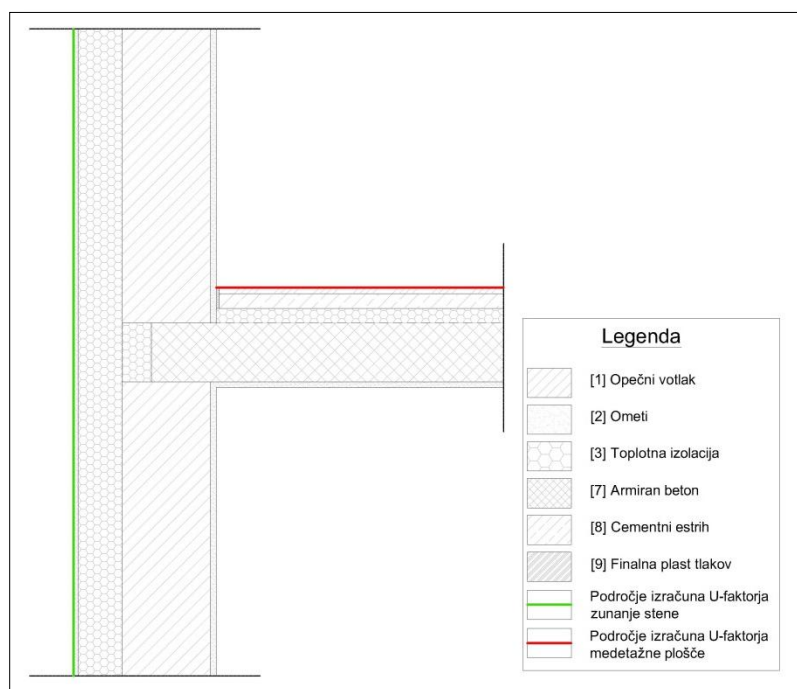
-TM_SP_01



Slika 38: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_01

Primer preprečitve nastanka toplotnega mostu na stiku AB plošče in zunanje stene (slika 38) z odebelitvijo toplotne izolacije na 15cm po celotni površini ovoja stavbe. Rešitev je izvedljiva tako pri energetskih sanacijah objektov kot tudi pri novogradnjah.

- TM_SP_02



Slika 39: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SP_02

Pri predlagani rešitvi (slika 39) sem pomaknil AB ploščo za 10 cm v notranjost zunanje stene objekta in na tem mestu odebelil toplotno izolacijo. Tak način je izvedljiv pri novogradnjah, ker se toplotno izolacijo vstavi v opaž že pred betoniranjem medetažne plošče.

4.4.4 Stik poševne strehe in stene (TM_SS_00 – 02)

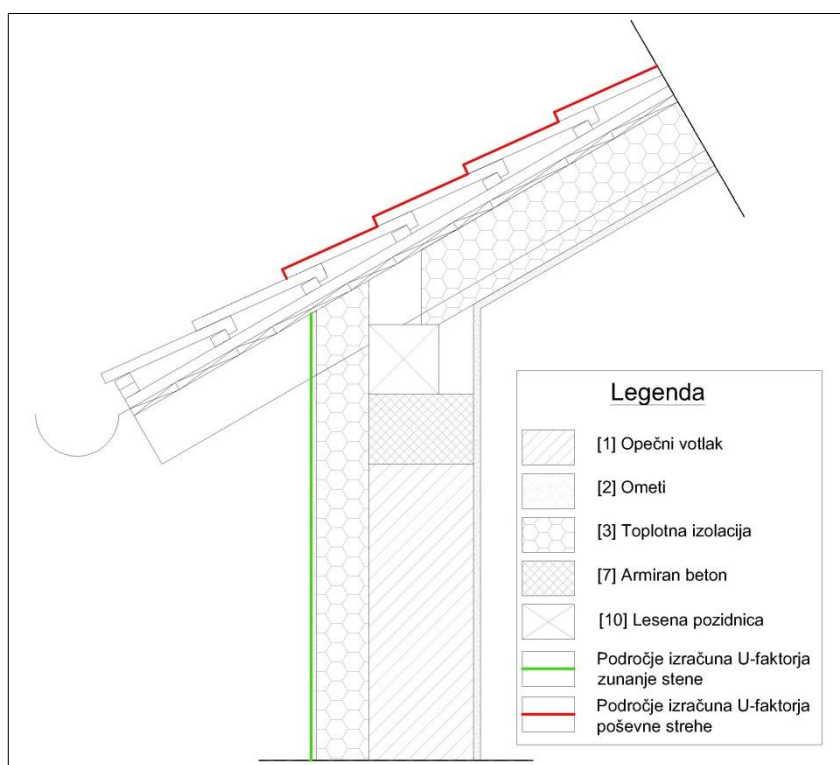
V preglednici 4 so navedene dimenzije v centimetrih. Oznake veljajo za skice od TM_SS_00 do TM_SS_02. Oznaka TM_SS_00 označuje toplotni most, TM_SS_01 in TM_SS_02 pa obravnavani rešitvi toplotnega mostu. Poleg materiala je napisana še pripadajoča λ . Na vsaki skici je označena površina izračuna U-faktorja. Izračunani U-faktor predstavlja vrednost, izračunano z upoštevanjem 2D karakteristik križanja, ter tako bolj realno opiše toplotno prehodnost v okolici obravnavanih stikov.

Preglednica 4: Vhodni podatki za stik poševne strehe in stene

Oznaka:	TM_SS_00	TM_SS_01	TM_SS_02
Debelina (cm):			
[1] opečnati votlak (λ_1)	30	30	30
[2] ometi (zunaj/notri) (λ_4)	1,5/2	1,5/2	1,5/2
[3] toplotna izolacija stene (λ_2)	15	15	15
[3] toplotna izolacija med špirovci (λ_9)	16	16	16
[3] toplotna izolacija pod špirovci (λ_9)	5	5	/
[3] toplotna izolacija pod pozidnico (λ_3)	/	10	/
[10] lesena pozidnica (λ_7)	20x20	20x20x	20x20
[11] Agepan plošče THD (toplotna izolacija) (λ_8)	/	/	10

Skice konstrukcijskih sklopov križanja poševne strehe z zunanjo steno:

- TM_SS_00 – toplotni most

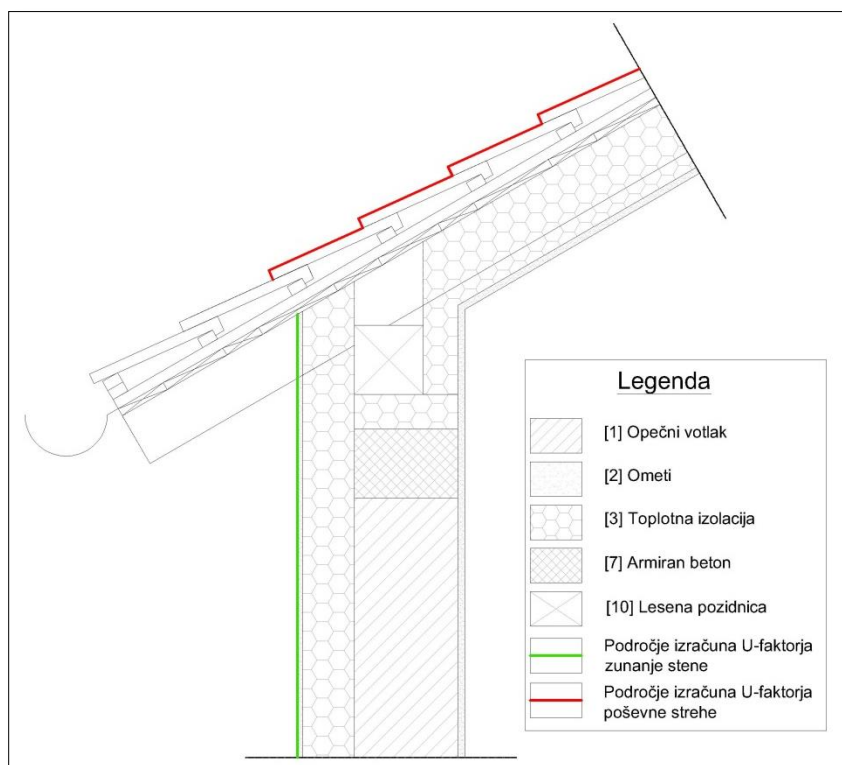


Slika 40: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_00

Na sliki 40 je prikazana nepravilna montaža toplotne izolacije na stiku tipične poševne strehe in stene. V praksi se pogosto pri izvedbi del pozabi na dober stik toplotnih izolacij stene in

poševne strehe, zato sem na sliki prikazal nepravilno izvedbo in toplotni most, ki nastane zaradi tega, kljub ustreznim debelinam izolacij fasadnega ovoja stavbe in strehe.

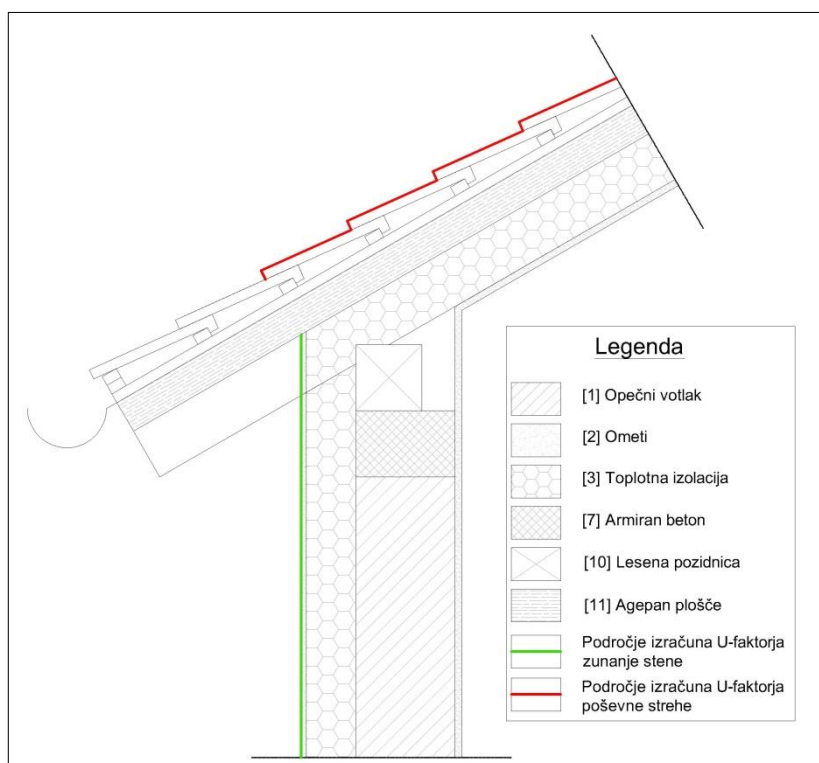
- TM_SS_01



Slika 41: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_01

Ena izmed možnih rešitev (slika 41) je, da toplotno izolacijo stavbnega ovoja in poševne strehe spojimo pod leseno pozidnico. Pri tem nastanejo zaradi betonskih distančnikov oziroma podstavkov točkovni toplotni mostovi. Pod pozidnico sem uporabil 10 cm toplotne izolacije in jo spojil z 10cm vertikalne izolacije ob pozidnici, ki se stika z izolacijo med in pod špirovci skupne debeline 20 cm. Takšen način izvedbe je mogoč pri novogradnjah in pogojno sanacijah, kadar se zamenja celotno ostrešje.

- TM_SS_02



Slika 42: Skica konstrukcijskega sklopa TM_SS_02

Druga možnost (slika 42) je, da se toplotni izolaciji fasade in poševne strehe stikata nad leseno pozidnico. Za doseg boljših rezultatov sem nad špirovce namestil Agepan THD plošče debeline 10 cm (Ekoprodukt.si, 2011), ki služijo tudi kot sekundarna kritina. Tak način izoliranja je primeren tako za novogradnje kot tudi pri sanacijah, kadar ne želimo zamenjati ostrešja. Ne moremo se pa izogniti točkovnim toplotnim mostovom, ki nastanejo na stiku špirovca in pozidnice.

5.0 REZULTATI

Rezultate sem podal grafično v obliki termografskih skic in numerično z 2D U-faktorji, katerih pozicije izračuna so prikazane v prejšnjih poglavjih.

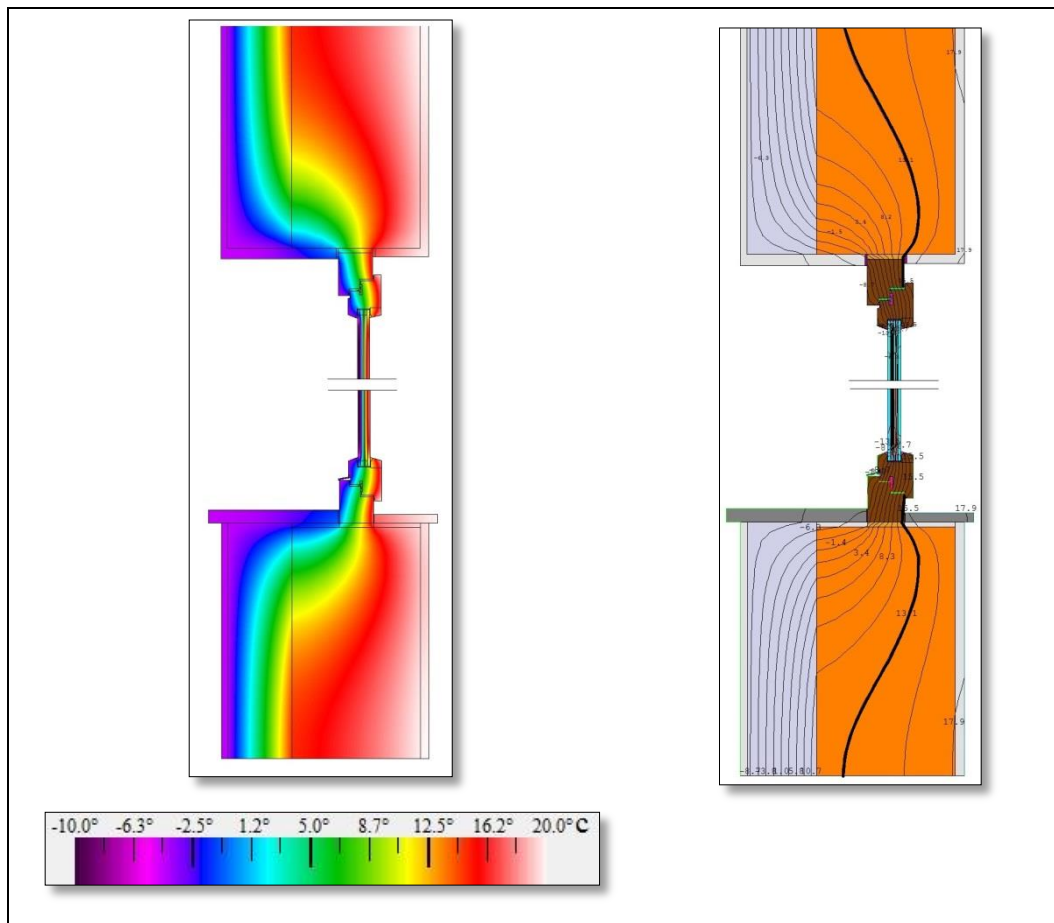
5.1 Termografska skica izračuna programa THERM

Izračunane rezultate s programom THERM sem prikazal grafično s termografsko skico. Termografska skica je prikazana z izotermami in barvnim prikazom. Na slikah z izotermami je odebeljena ravnina rosišča, ki pri notranji temperaturi 20° C in notranji relativni vlažnosti 65 % nastopi pri: 13,2° C.

5.1.1 Izračun stika okna in stene (TM_O_00 – TM_O_05)

Izračunani rezultati za stik okna in stene so pričakovano zelo različni. Izkazalo se je, da ima pozicija montaže okna ključno vlogo in čeprav špalete dobro obložimo z XPS izolacijo, dosežemo slabše rezultate pri odpravljanju ravnine rosišča iz stene, kot bi pričakovali. Vrednosti U-faktorjev so pri primerih TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05 relativno majhne, ker se U-faktor računa na m² kar pomeni, da sta ključnega pomena pri izračunu tudi površina, za katero se računa, in dodatna izolacija, ki zmanjša toplotno prehodnost. Torej, če imamo večjo površino izračuna, se posledično toplotni tok bolj porazdeli in dobimo nižjo vrednost U-faktorja. Če imamo nižjo vrednost U-faktorja, to še ne pomeni, da je rešitev boljša, kajti pomembnejše so izoterme, ki pokažejo realno temperaturo in pozicijo ravnine rosišča v steni. Nižja temperatura v steni pomeni tudi večjo nevarnost pojava kondenza in plesni v notranjosti objekta.

5.1.1.1 TM_O_00



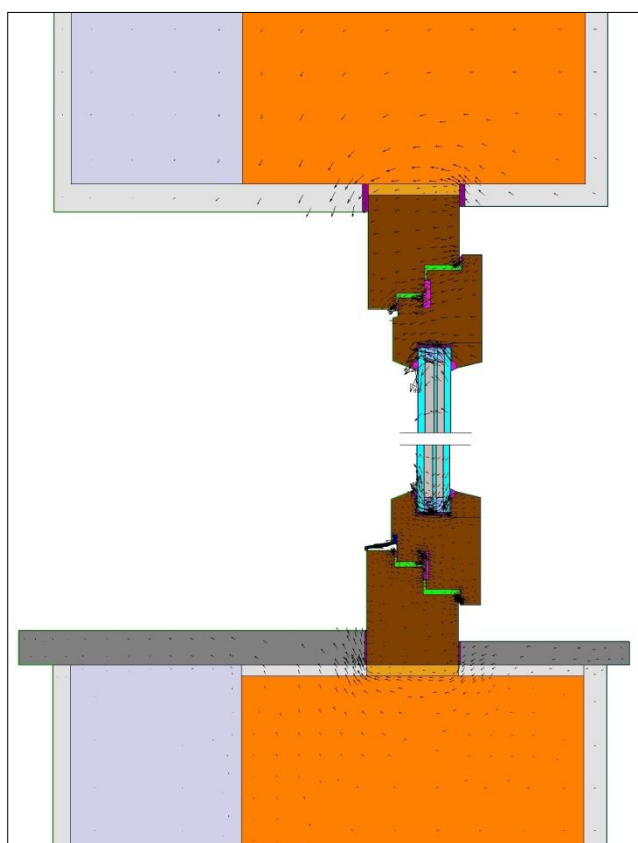
Slika 43: Termografska skica izračuna za primer TM_O_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun najpogostejše nepravilne montaže oken v steno (slika 43) pokaže, da smo s takšno montažo pomaknili ravnino rosišča konkretno čez polovico opečnate stene, kar pomeni možnost nastanka kondenza ter plesni v notranjosti objekta in posledično bistveno poslabšane bivalne pogoje. Zaradi prekinjene toplotne izolacije lahko pričakujemo tudi povečane toplotne izgube.

Preglednica 5: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_00

TM_O_00	U _{dej} [W/(m ² ·K)]	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.37	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.37	0,21

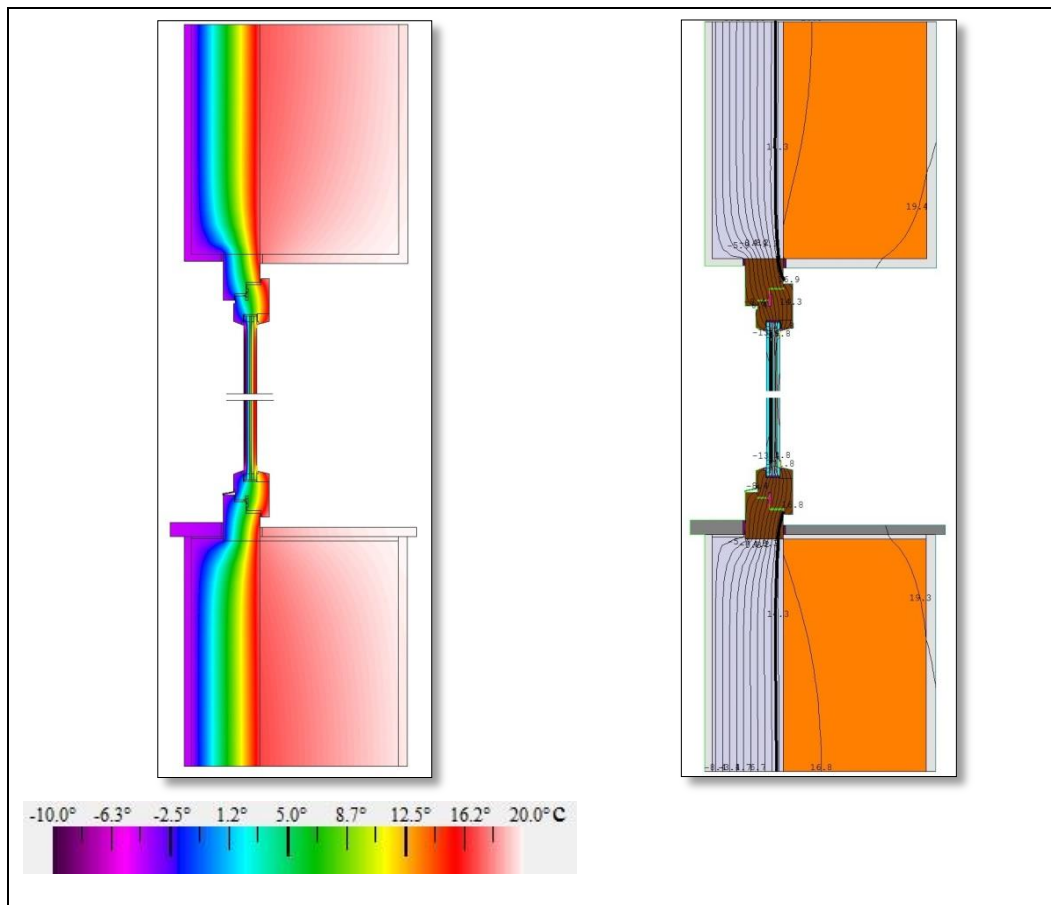
V preglednici 5 sta podani vrednosti U-faktorjev spodnjega (okenska polica s steno) in zgornjega dela (špaleta s steno) je $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Vrednosti U-faktorjev presegata predpisane vrednosti po TSG-01-004 za zunanjo steno. Lahko vidimo, da je razlika med 2D in 1D U-faktorjem stene kar za $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ v spodnjem in zgornjem delu. Do takšne razlike pride zaradi neizoliranosti špalet.



Slika 44: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_00

Na sliki 44 lahko vidimo vektorje, ki prikazujejo smer ter intenzivnost toplotnega toka pod in nad okenskim okvirjem. Področja zgojitve toplotnega toka so tudi »šibke« točke analiziranega križanja.

5.1.1.1 TM_O_01



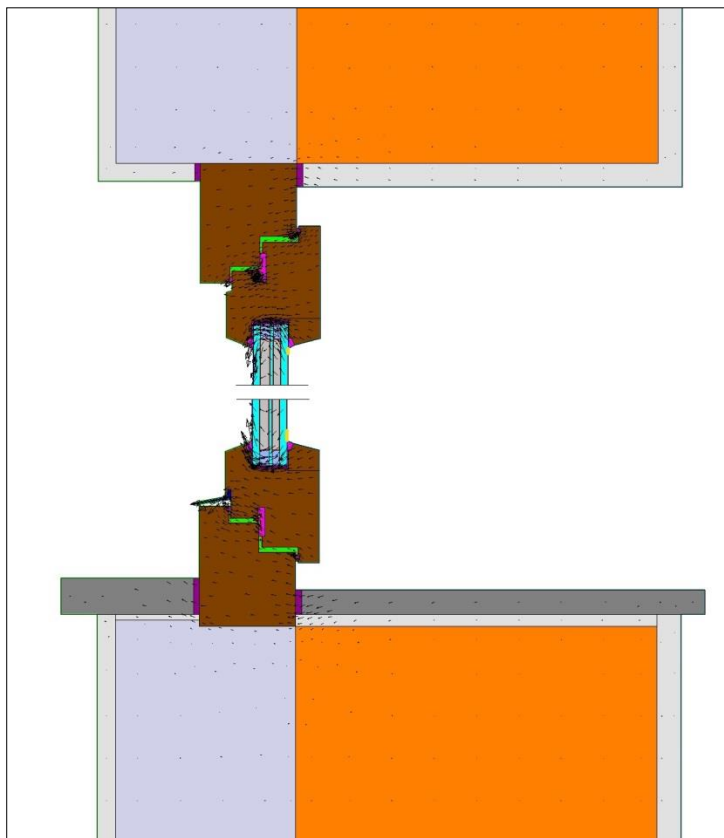
Slika 45: Termografska skica izračuna za primer TM_O_01, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Kot lahko vidimo na grafičnem prikazu izračuna (slika 45) smo z montažo okna v toplotno izolacijski ovoj stavbe ravnino rosišča premaknili v celoti na zunanjo stran stene (v območje toplotne izolacije). Pri takšni montaži se popolnoma izognemo toplotnim izgubam, ki so posledica stika okna s steno in možnosti nastanka plesni v notranjosti objekta. Na stiku jeklenega profila s steno nastane manjši točkovni toplotni most, ki pa je skoraj zanemarljiv.

Preglednica 6: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_01

TM_O_01	$U_{dej} [W/(m^2 \cdot K)]$	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.19	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.17	0,21

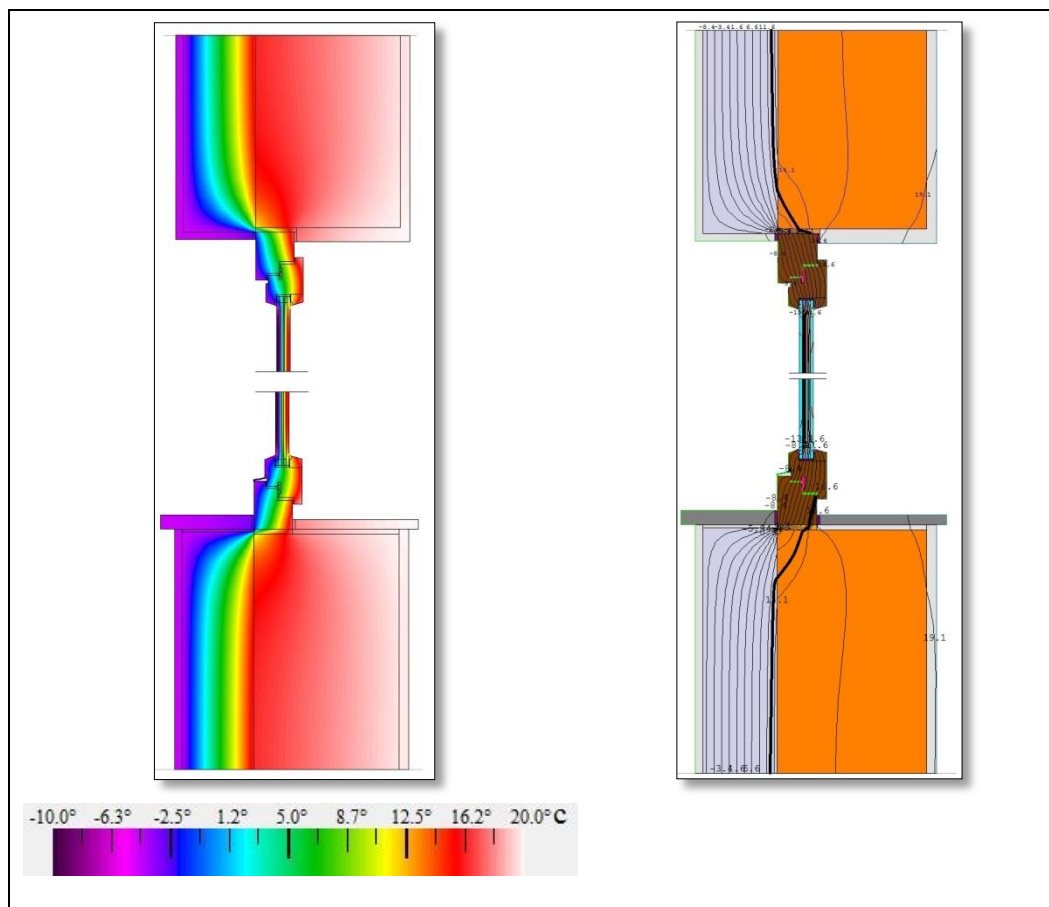
U-faktor (preglednica 6) okenske police in stene spodaj je $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, špalete in stene zgoraj pa $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Spodaj je vrednost U-faktorja v primerjavi z zgornjo malenkost višja zaradi vpliva okenske police. Razlika med 2D in 1D U-faktorjem stene spodaj in zgoraj je minimalna. Spodaj za $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ in zgoraj za $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.



Slika 46: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_01

S prikazom na sliki 46 lahko vidimo neintenzivnosti toplotnega toka okoli okenskega okvirja, kar tudi pojasni nizke vrednosti U-faktorjev. Najbolj intenziven toplotni tok se pojavi v sklopu okna in sicer v območju medstekelnih distančnikov in pa pripiri

5.1.1.2 TM_O_02



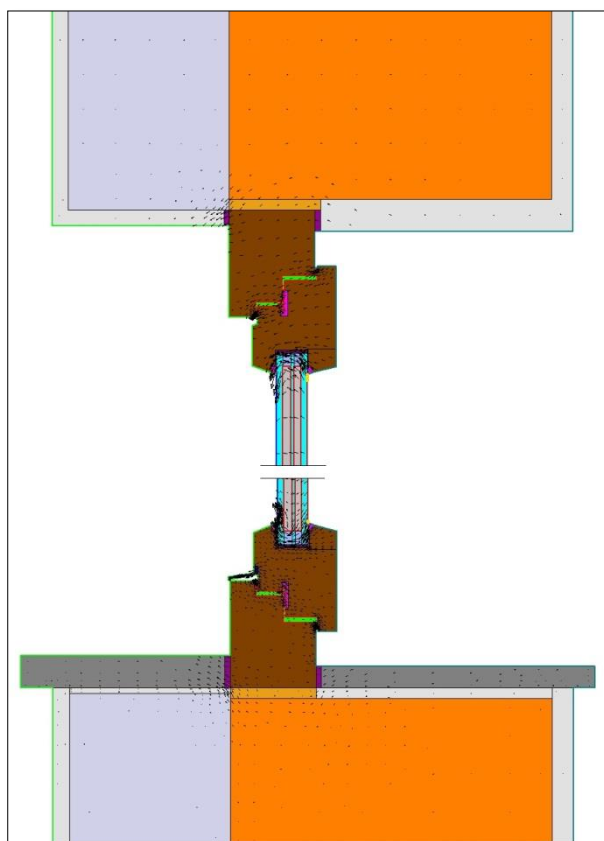
Slika 47: Termografska skica izračuna za primer TM_O_02, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun primera montaže okna na skrajni zunanji rob stene (slika 47) se izkaže za zelo dobrega. Kot lahko vidimo na grafičnem prikazu izračuna je ravnina rosišča pomaknjena skoraj v celoti iz stene. S takšno montažo dobimo samo manjši linijski toplotni most za širino okenskega okvirja.

Preglednica 7: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_02

TM_O_02	U _{dej} [W/(m ² ·K)]	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.21	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.20	0,21

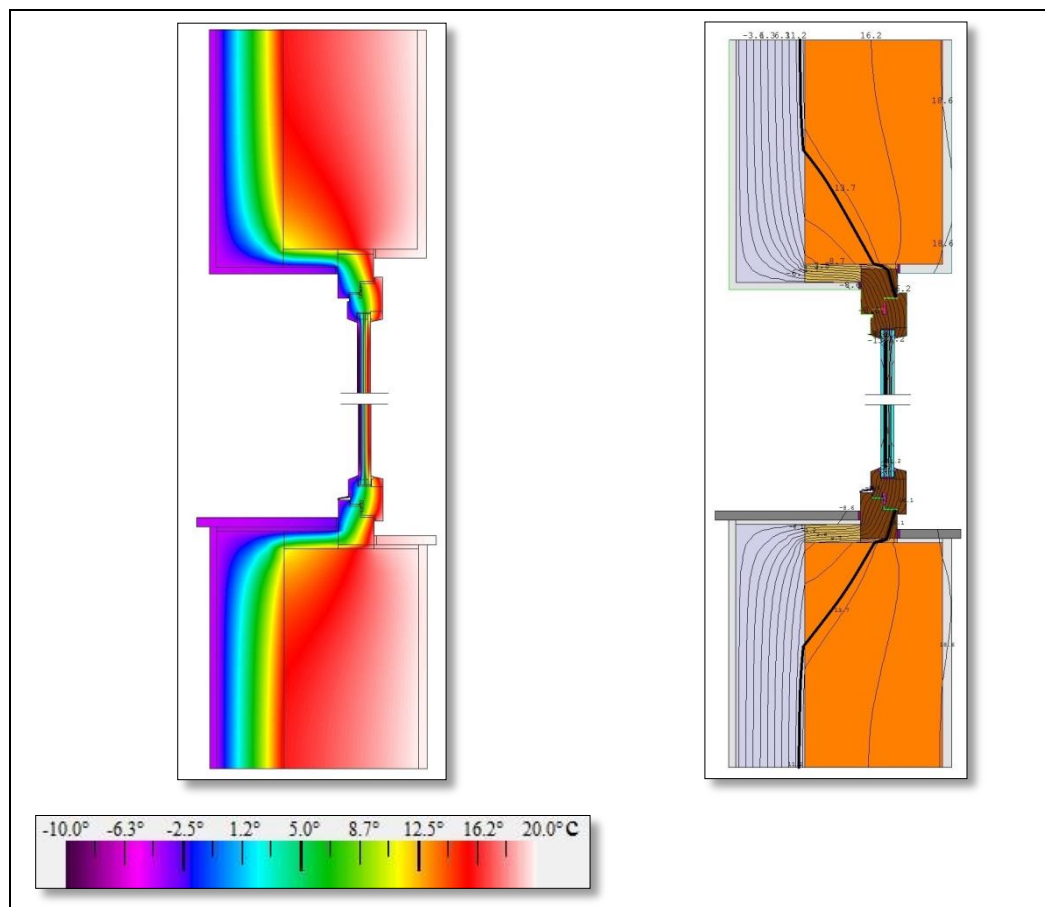
Vrednosti 2D U-faktorja spodnjega in zgornjega dela (preglednica 7) dobimo relativno nizke, vendar imamo še vedno del ravnine rosišča v steni. To pomeni prisotnost nižje temperatura v steni in posledično vpliv na temperaturo v prostoru, pa čeprav minimalen. Razlike med 2D in 1D U-faktorjem skoraj ni.



Slika 48: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_02

Iz slike 48 lahko vidimo intenzivnost toplotnega toka med okenskim okvirjem in steno. Vektorji so najbolj zgoščeni ob stiku okenskega okvirja in stene.

5.1.1.3 TM_O_03



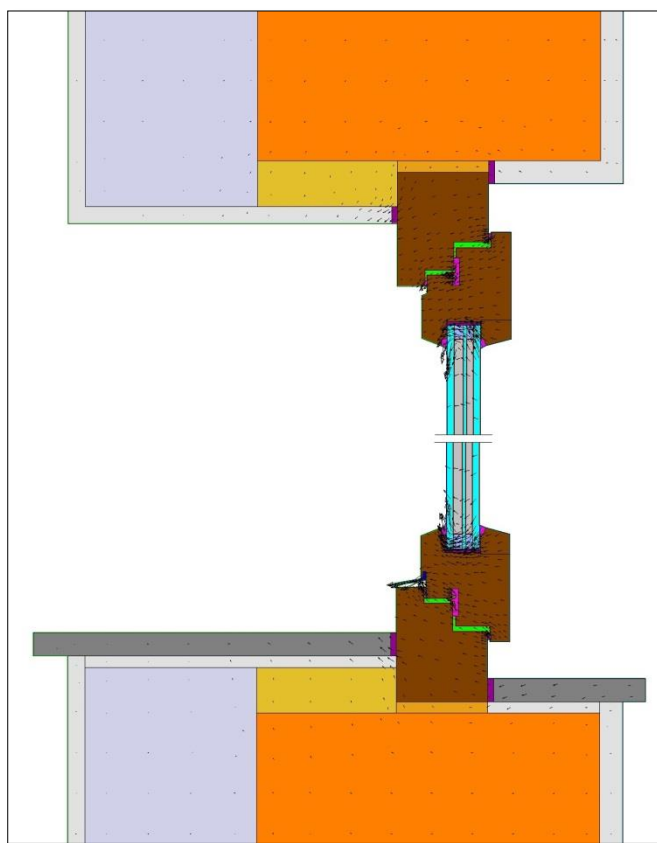
Slika 49: Termografska skica izračuna za primer TM_O_03, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Kot lahko vidimo iz primera (slika 49), ki je najpogosteje uporabljen za sanacije toplotnega mostu, z dodajanjem izolacije na špalete toplotni most samo omilimo in ne odpravimo. Ravnina rosišča še vedno sega skoraj do polovice opečnate stene. Pri zadostnem prezračevanju stavbe plesni in kondenza verjetno ne bomo imeli v notranjosti, še vedno pa ostane vpliv na energetske izgube.

Preglednica 8: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_03

TM_O_03	$U_{dej} [W/(m^2 \cdot K)]$	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.21	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.20	0,21

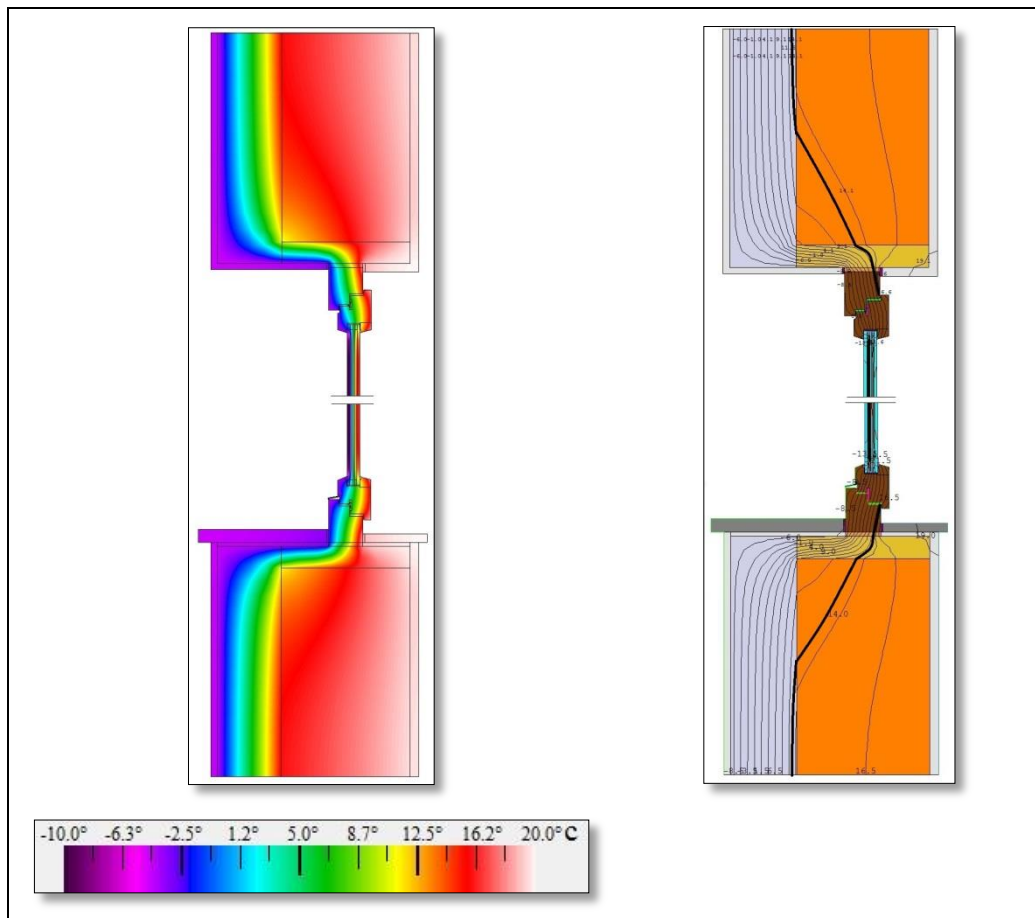
U-faktorja iz preglednice 8 sta kljub slabim rezultatom glede položaja ravnine rosišča nižja od pričakovanih. Razlog za takšne vrednosti je večja površina izračuna U-faktorja in dodatna XPS izolacija na špaleti, ki omejuje prehod toplotnega toka. Razlike med 2D in 1D U-faktorjem skoraj ni.



Slika 50: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_03

Na sliki 50 lahko vidimo, kako z dodano XPS toplotno izolacijo na špaleti omejimo prehod toplotnega toka. Intenzivnost toplotnega toka je enakomerno porazdeljena po steni in tudi na stiku okenskega okvirja s steno.

5.1.1.4 TM_O_04



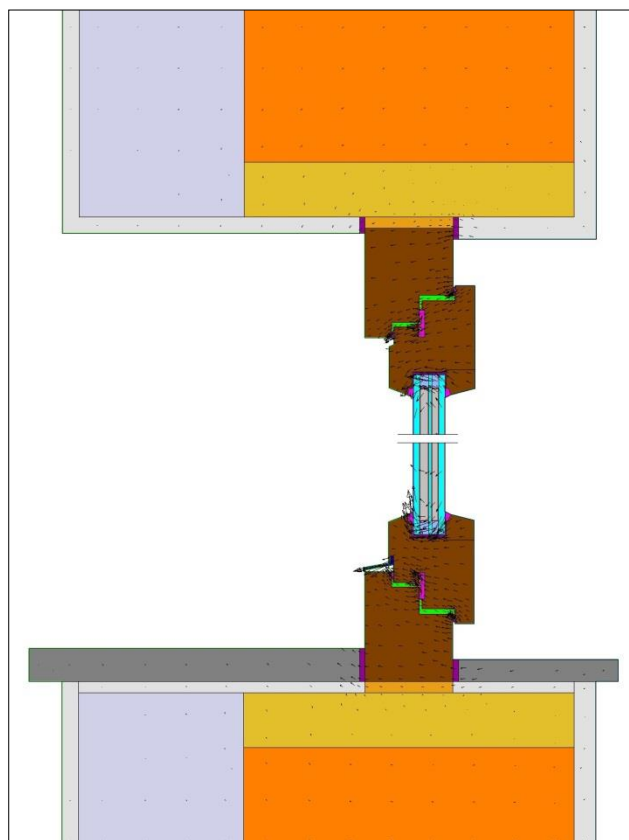
Slika 51: Termografska skica izračuna za primer TM_O_04, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Obložitev špalet po celi debelini stene s 5 cm XPS-a se presenetljivo ne izkaže tako učinkovita kot bi pričakovali; zaradi posledice geometrijskega toplotnega mostu nam namreč ravnina rosišča še vedno sega skoraj do sredine opečnate stene (slika 51). Nevarnost za nastanek kondenza in plesni je majhna.

Preglednica 9: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_04

TM_O_04	U _{dej} [W/(m ² ·K)]	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.19	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.17	0,21

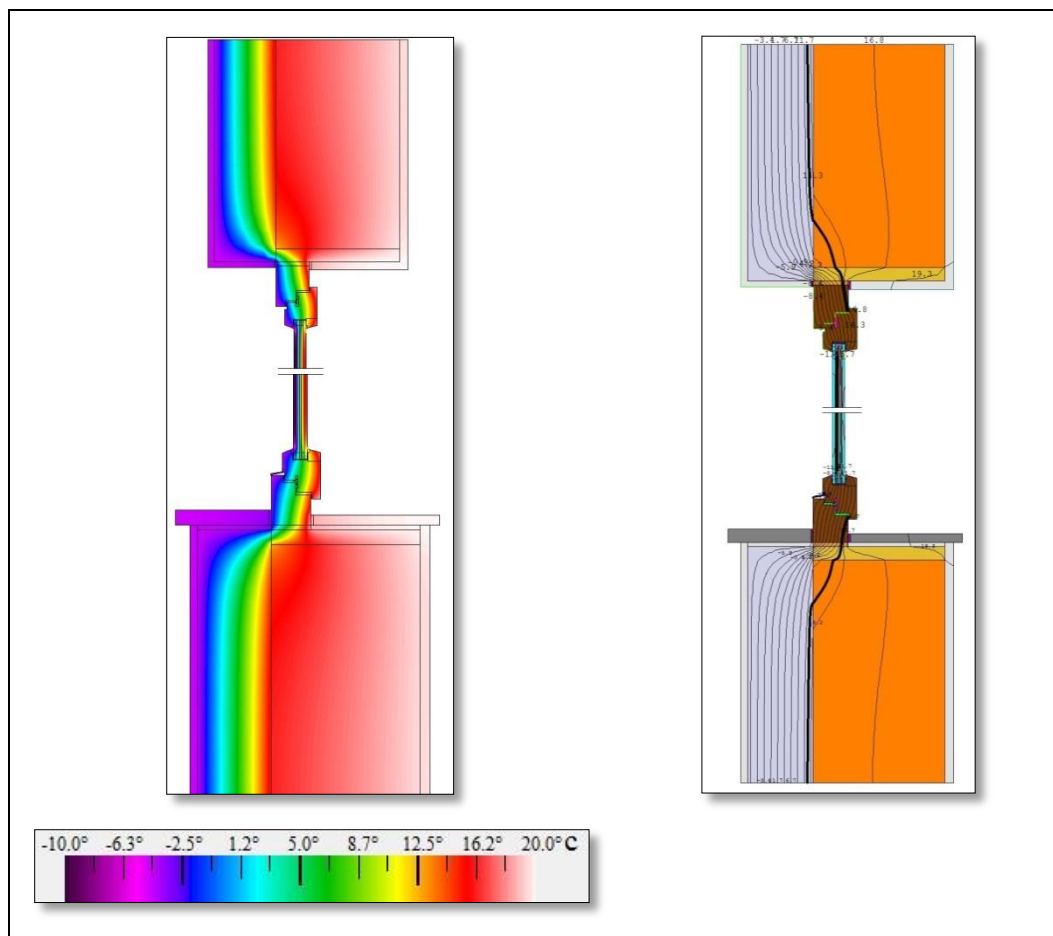
Lahko vidimo, da so U-faktorji iz preglednice 9 relativno nizki, čeprav nam ravnina rosišča še vedno sega skoraj do polovice stene, kar pa je pretežno posledica pozicije vgradnje okna. Razlika med 1D in 2D U-faktorjem je spodaj za $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, zgoraj pa za $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Relativno nizke vrednosti 2D U-faktorja smo dobili zaradi večje površine zajema za izračun 2D U-faktorja in učinka omejitve prehoda toplotnemu toku s 5 cm XPS toplotne izolacije po celotni širini špalete.



Slika 52: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_04

Na sliki 52 je z vektorji prikazana intenzivnost toplotnega toka; kot lahko vidimo je intenzivnost toplotnega toka relativno majhna na območju stika okenskega okvirja in stene.

5.1.1.5 TM_O_05



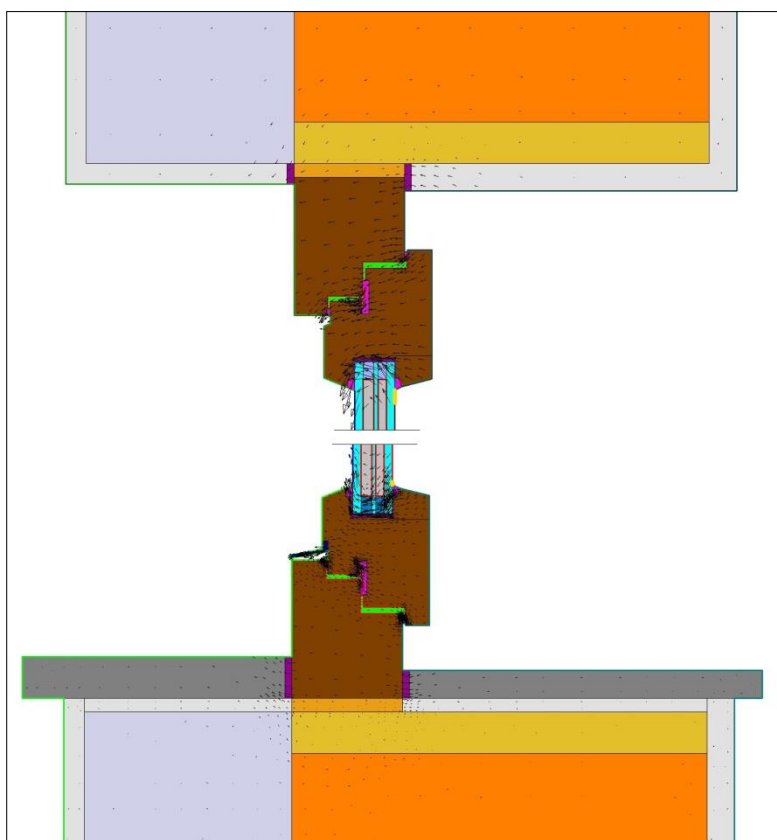
Slika 53: Termografska skica izračuna za primer TM_O_05, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun primera, ko špalete obložimo s 3 cm debelim slojem XPS-a se izkaže kot dobra rešitev za zmanjševanje potenciala nastanka kondenzacije in plesni, vendar če ta primer primerjamo s primerom, ko smo okno pomaknili do skrajnega roba stene (brez dodatne izolacije špalete) se izkaže, da z lepljenjem 3 cm debelega sloja XPS-a na špalete nismo dosegli nikakršnega dodatnega pozitivnega učinka, razen nižjega U-faktorja.

Preglednica 10: U-faktorji (2D in 1D) za TM_O_05

TM_O_05	U _{dej} [W/(m ² ·K)]	
	2D	1D (samo stena)
okenska polica + stena spodaj	0.18	0,21
špaleta + stena zgoraj	0.16	0,21

Vrednosti 2D U-faktorjev iz preglednice 10 sta nizki zaradi vpliva pozitivnega položaja montaže okna in dodatni 3 cm debeli XPS toplotni izolaciji, ki še dodatno zmanjša toplotni tok na stiku. Posledično sta spodaj tudi razliki med 1D in 2D U-faktorjem majhni. Spodaj je razlike za $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, zgoraj pa $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ker ni vpliva okenske police.



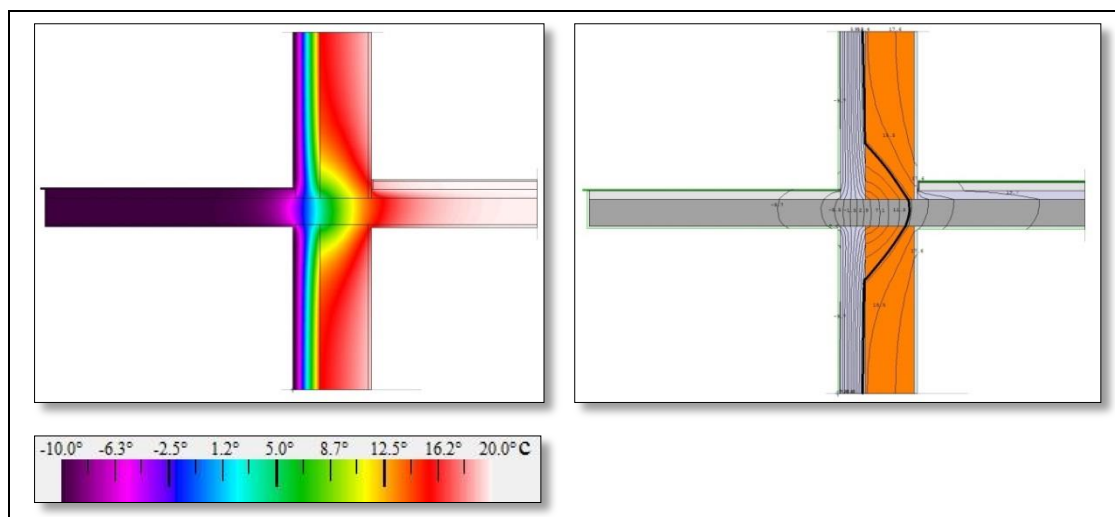
Slika 54: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_O_05

Na sliki 54 je prikaz intenzivnosti toplotnega toka okoli stika okenskega okvirja s steno. Lahko vidimo, da je zaradi XPS izolacije toplotni tok manj intenziven v območju kritičnega mesta, ki nastopi na stiku okvir-stena.

5.1.2 Izračun križanja balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo (TM_B_00 – TM_B_02)

Izračuni za križanje balkonske plošče z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo so dali pričakovane rezultate. Ravnina rosišča je pomaknjena skoraj do notranjega roba stene, kar bi lahko že predstavljalo težavo s kondenzom in pojavljanjem plesni v notranjem vogalu med steno in medetažno konstrukcijo. U-faktorji so pri TM_B_00 pričakovano najvišji, čeprav zaradi debelega sloja toplotne izolacije na zunanji steni ne presegajo maksimalnih predpisanih vrednosti iz TSG-01-004 (2010).

5.1.2.1 TM_B_00



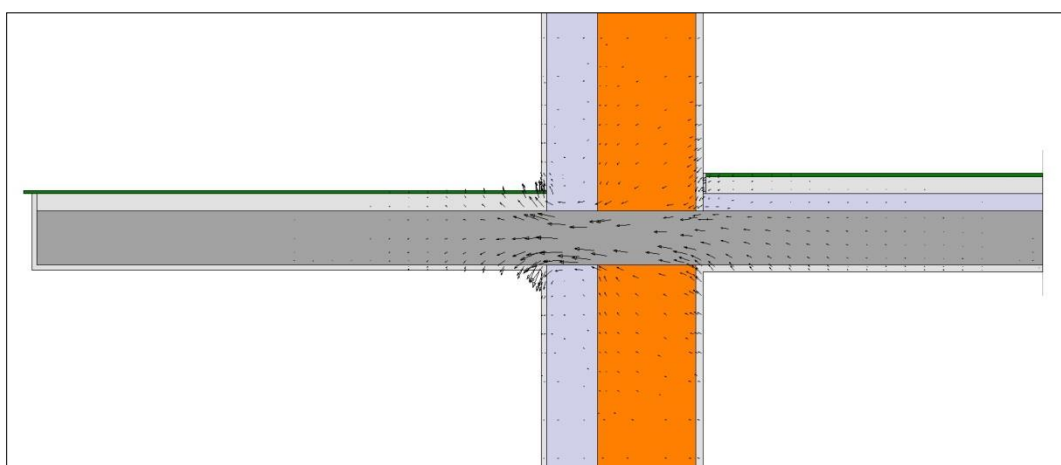
Slika 55: Termografska skica izračuna za primer TM_B_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Kot lahko vidim na sliki 55, kljub dobri izolaciji zunanje stene nastane velik toplotni most, kar pomeni, da se pomakne ravnina rosišča v notranjo polovico stene. Velika verjetnost je, da se bosta v notranjih prostorih pojavljala kondenz in plesen. Pojavita se lahko na zgornji strani medetažne plošče v vogalu stika plošče in zunanje stene ter v spodnjem prostoru v vogalu na stropu, kjer se stika medetažna plošča z zunanjo steno. Tudi če se nam uspe izogniti plesni in kondenzu, bo ojačen toplotni tok skozi AB ploščo vplival na toplotno bilanco stavbe.

Preglednica 11: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_00

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_B_00	0.25

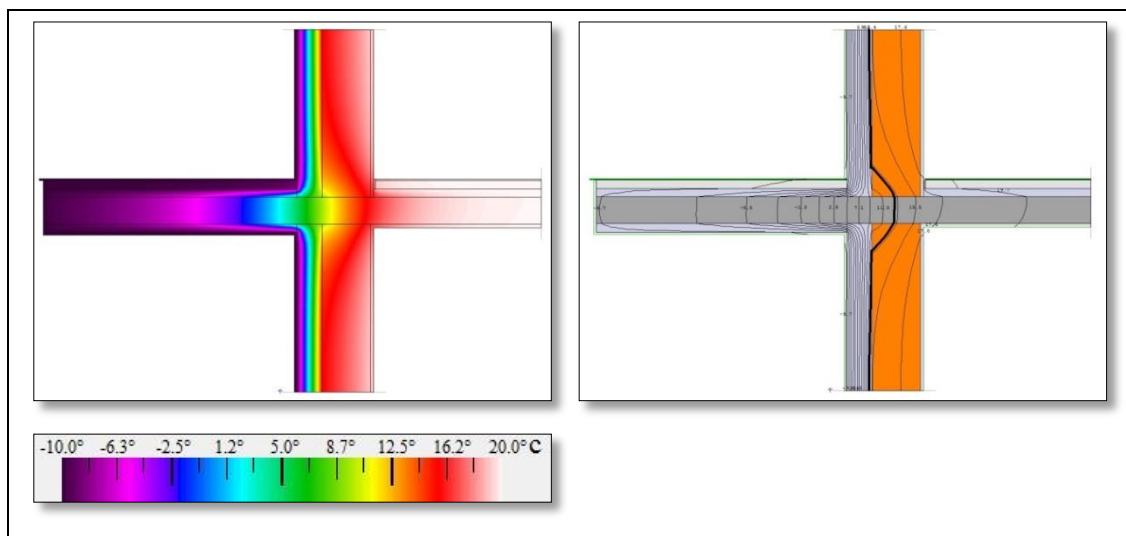
U-faktor zunanje stene (preglednica 11) je še vedno pod zahtevano vrednostjo zaradi majhne površine, ki »prebada« toplotno izolacijski ovoj. Izgube se porazdelijo po celotni računski površini.



Slika 56: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_00

Na sliki 56 lahko vidimo intenzivnost in smer toplotnega toka skozi AB ploščo.

5.1.2.2 TM_B_01



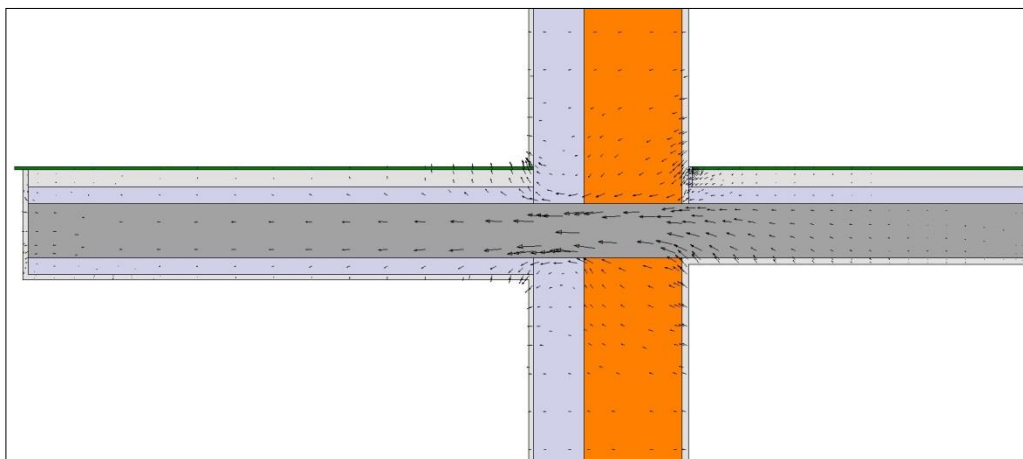
Slika 57: Termografska skica izračuna za primer TM_B_01, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun primera rešitve toplotnega mostu (slika 57), ko balkonsko ploščo obdamo s spodnje in zgornje strani s toplotno izolacijo, pokaže, da s tem ne odpravimo v celoti toplotnega mostu. Ravnina rosišča ostaja v sredini stene, vendar se pomakne bolj proti zunanosti stene, kar zmanjša verjetnost nastanka kondenzacije na notranji strani stika med steno in ploščo.

Preglednica 12: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_01

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_B_01	0.22

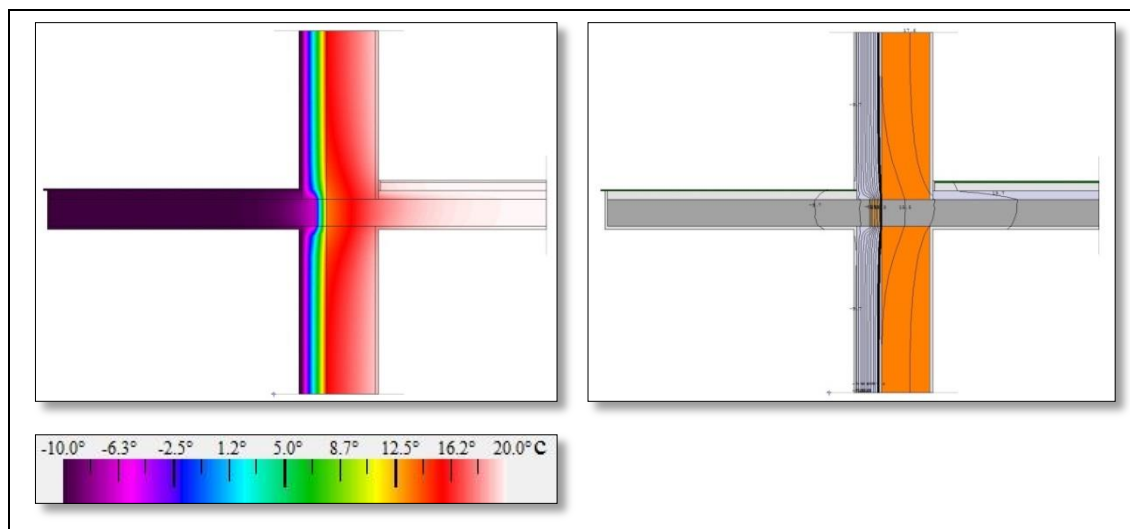
Vrednost U-faktorja zunanje stene ustreza predpisanim vrednostnim iz TSG-01-004:2010, vpliv na energijske izgube pa bo še vedno prisoten, vendar veliko manjši kot v izhodiščnem primeru.



Slika 58: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_01

Slika 58 prikazuje smer in intenzivnost toplotnega toka. Lahko vidimo, da se intenzivnost toka raztegne po celotni balkonski plošči do skrajne zunanje točke AB plošče. Takšna razporeditev je rezultat dodatne toplotne izolacije na zgornji in spodnji strani balkonske plošče.

5.1.2.3 TM_B_02



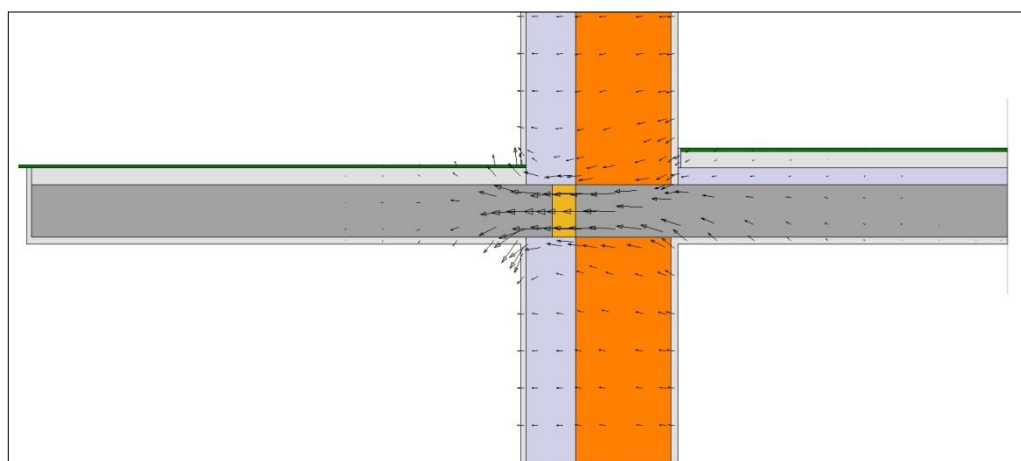
Slika 59: Termografska skica izračuna za primer TM_B_02, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračuni pokažejo (slika 59), da z uporabo toplotne armature košare ravnino rosišča pomaknemo v celoti iz stene na zunanjo stran. Nastanka kondenza in plesni smo se v celoti znebili. Iz razporeditve izoterm opazimo, da smo s to rešitvijo izničili tudi geometrijske vplive obravnavanega toplotnega mostu.

Preglednica 13: U-faktor zunanje stene, primer TM_B_02

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_B_02	0.22

Čeprav bi pričakovali nižjo vrednost U-faktorja (preglednica 13) kot pri primeru TM_B_01, to ni tako, ker je še vedno toplotni tok najintenzivnejši v obravnavanem območju.



Slika 60: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_B_02

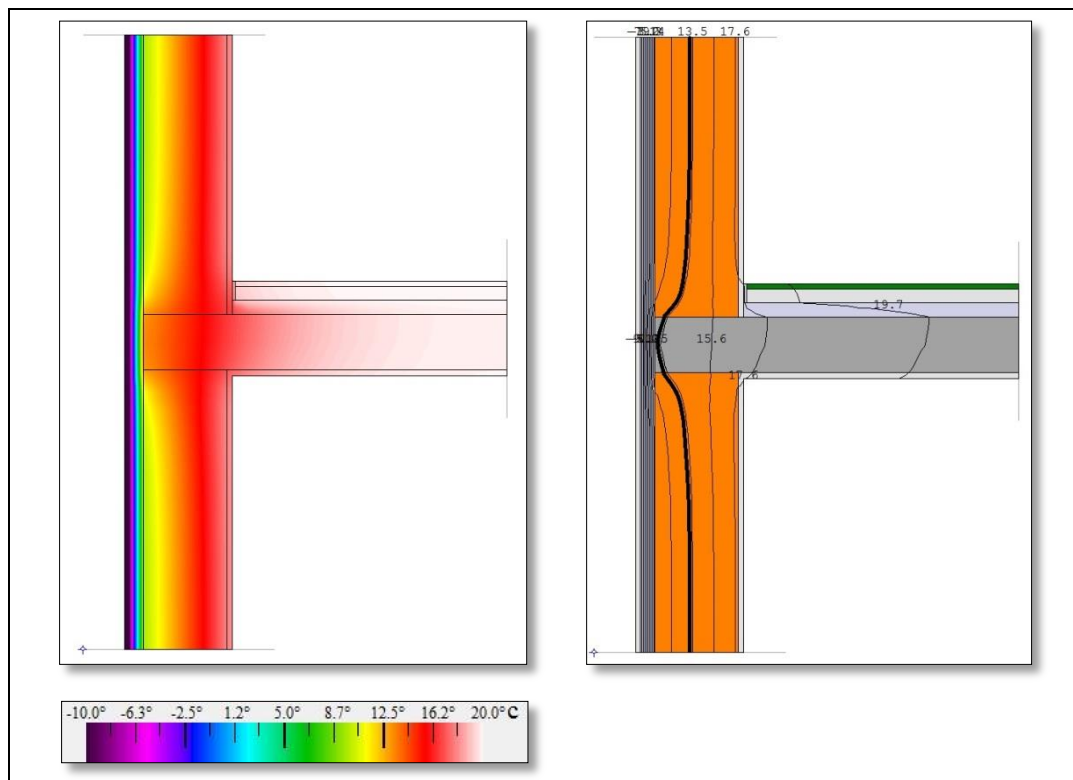
Slika 60 prikaže skoncentriranost intenzivnosti toplotnega toka na območje toplotne armature košare, ki je še vedno najšibkejši člen v toplotni izolaciji ovoja stavbe.

5.1.3 Izračun stika zunanje stene in medetažne plošče (TM_SP_00 – TM_SP_02)

Pri izračunu stika zunanje stene in medetažne plošče preseneti dejstvo, da kljub odebeljeni toplotni izolaciji na stiku plošče s steno niso rezultati nič drugačni od tistih pri primeru, ko

odebelimo toplotno izolacijo po celotni površini stavbnega ovoja. Tudi U-faktorji podanih rešitev se samo malenkostno razlikujejo.

5.1.3.1 TM_SP_00



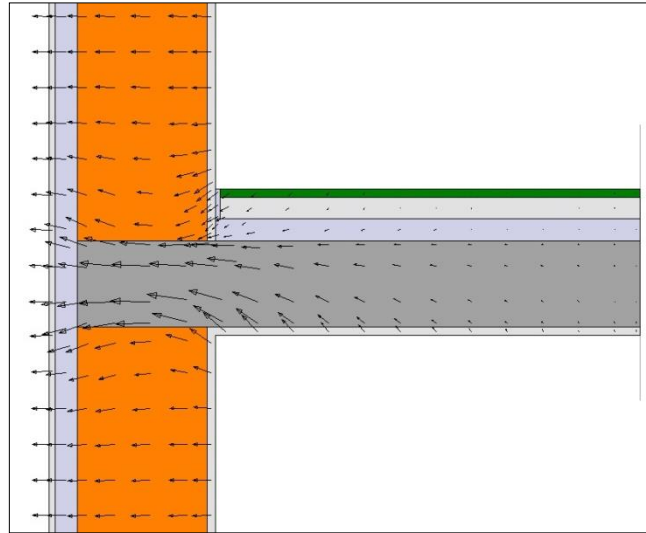
Slika 61: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Na sliki 61 lahko vidimo, kako pomembna je toplotna izolacija zunanega ovoja stavbe. Zaradi tanke plasti izolacije so energijske izgube na stiku medetažne plošče in zunanje stene večje kot na ostalem predelu zunanje stene. Ravnina rosišča poteka po sredini stene. V območju stika plošče in stene se ravnina rosišča pomakne proti zunanjemu robu, ker je AB plošča boljši prevodnik toplote kot opečnati votlak iz katerega je zgrajena stena.

Preglednica 14: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_00

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_SP_00	0.50

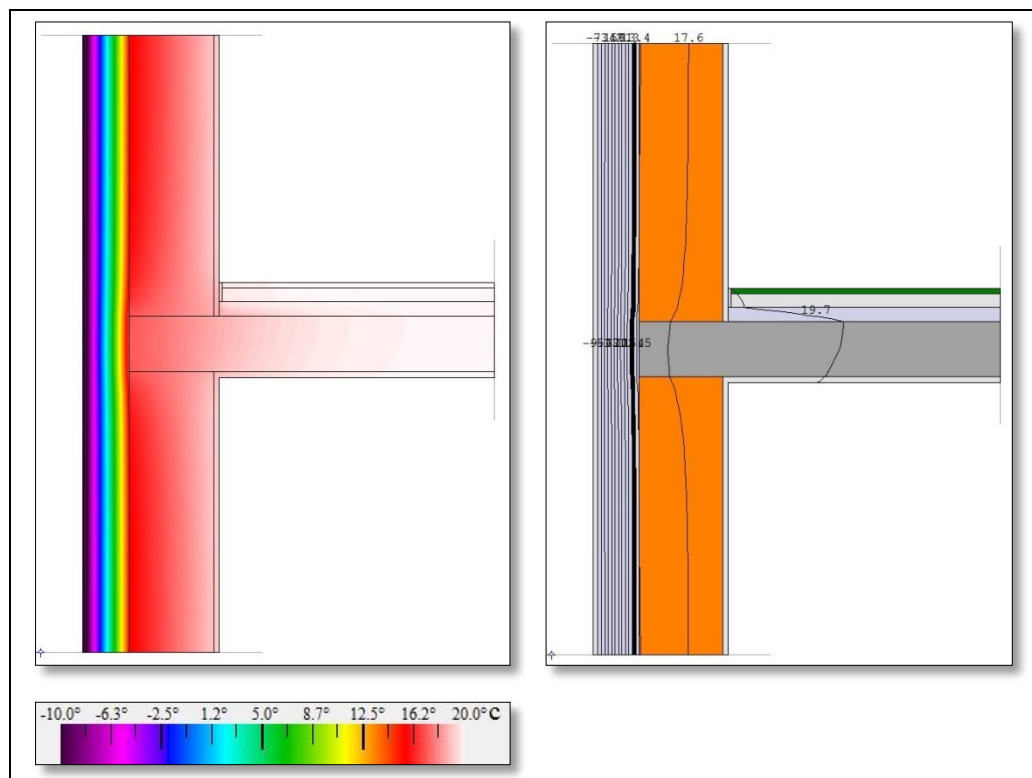
U-faktor (preglednica 14) zunanje stene je $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, kar je dosti več od zahtevanega v TSG-01-004:2010. Za takšno vrednost U-faktorja sta krivi tanka toplotna izolacija ovoja stavbe in toplotni most na stiku.



Slika 62: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_00

Na sliki 62 lahko vidimo povečano intenziteto toplotnega toka v območju toplotnega mostu. Do višje intenzivnosti pride zaradi dobre prevodnosti AB plošče.

5.1.3.2 TM_SP_01



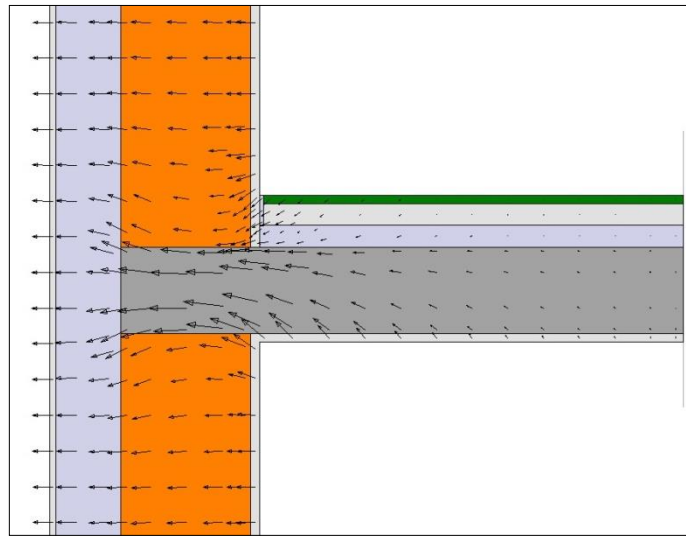
Slika 63: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_01, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Primer odprave toplotnega mosta z odebelitvijo toplotne izolacije po celotni površini ovoja se izkaže za učinkovito, čeprav lahko vidimo, da je na stiku plošče s steno ravnina rosišča zaradi boljše prevodnosti plošče še vedno pomaknjena bolj iz stene kot na preostalem delu.

Preglednica 15: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_01

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_SP_01	0.22

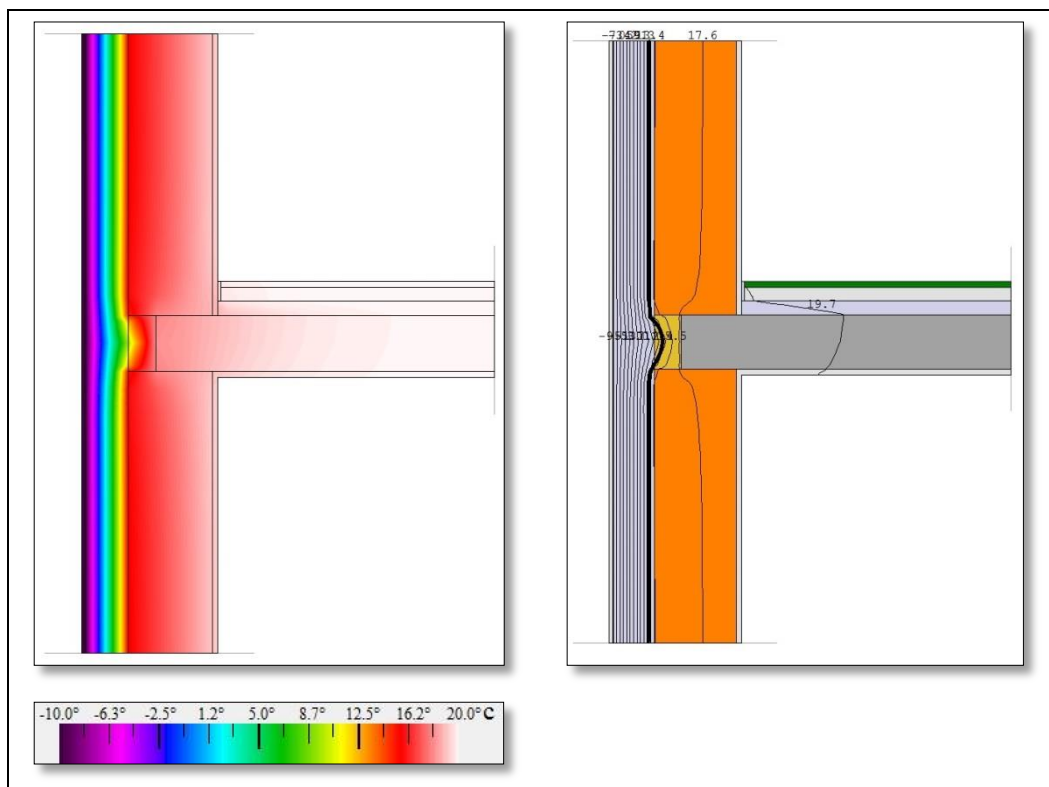
Z odebelitvijo toplotne izolacije po celotnem ovoju stavbe smo z U-faktorjem (preglednica 15) prišli pod zahtevano vrednost 0,28 W/(m²·K) iz TSG-01-004:2010. Vpliv toplotnega mostu je minimalen.



Slika 64: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_01

Na sliki 64 lahko vidimo, da v območju stika zunanje stene in medetažne plošče še vedno poteka višja intenzivnost toplotnega toka kot drugje v steni. Razlog je boljša prevodnost armiranega betona v primerjavi z opečnatim votlakom.

5.1.3.3 TM_SP_02



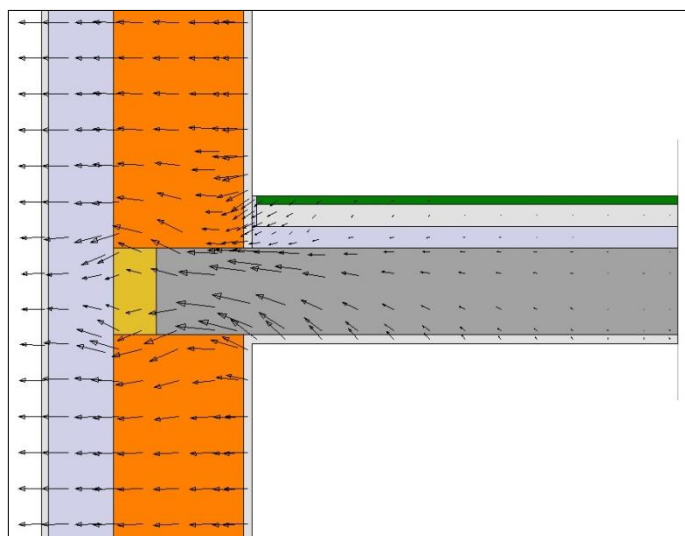
Slika 65: Termografska skica izračuna za primer TM_SP_02, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Odebelitev toplotne izolacije v območju stika medetažne plošče in stene je učinkovita pri odpravi toplotnega mostu. Ravnina rosišča je pomaknjena iz konstrukcije v toplotno izolacijo. Za teoretično popolno odpravo vpliva toplotnega mostu bi morali izolirati tudi vplivno območje AB plošče, torej odebeliti izolacijo nad in pod stikom AB plošče s steno, kar se lepo vidi na sliki 66. Vpliv na energijske izgube je zanemarljivo majhen, zato tudi takšna izvedba ne bi bila smiselna.

Preglednica 16: U-faktor zunanje stene, primer TM_SP_02

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_SP_02	0.21

U-faktor (preglednica 16) je pričakovano nižji; z dodatno toplotno izolacijo na stiku smo prehod toplotnega toka še bolj omejili.



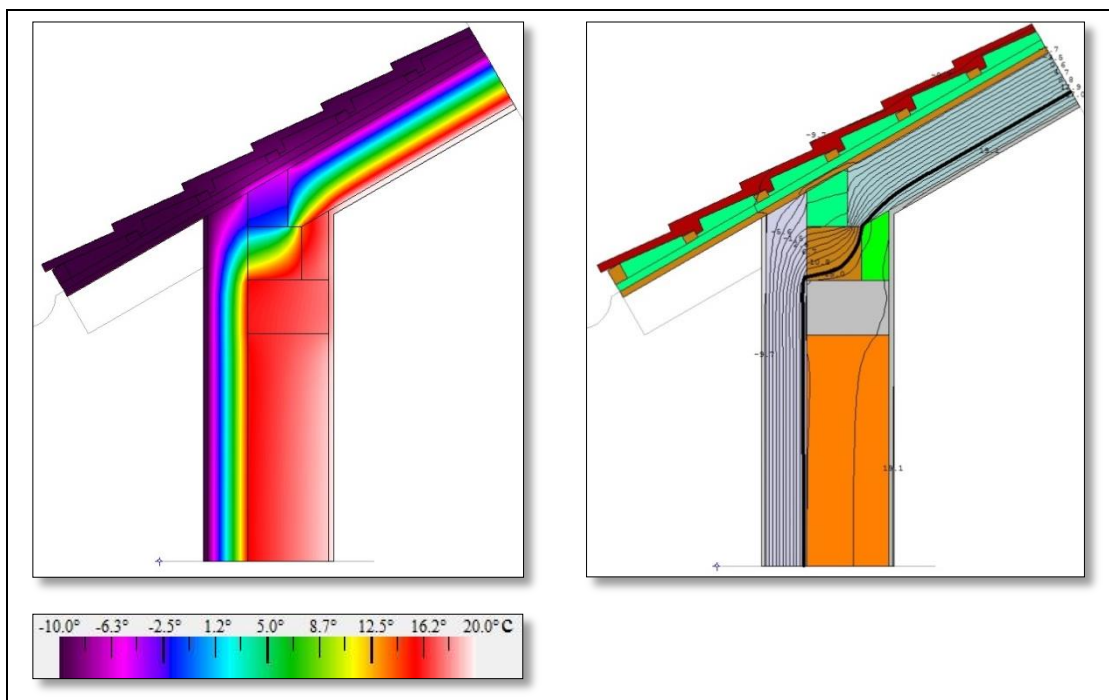
Slika 66: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SP_02

Na sliki 66 lahko vidimo kako se toplotni tok zaradi dodatne toplotne izolacije na mestu stika AB plošče in zunanje stene preusmeri mimo izolacije s spodnje in zgornje strani po opeki. Razlog je višja toplotna prevodnost opeke v primerjavi z XPS toplotno izolacijo.

5.1.4 Izračun stika poševne strehe in zunanje stene (TM_SS_00 – TM_SS_02)

Izračuni nam pokažejo, da z nepravilno pozicijo postavitve toplotne izolacije še dodatno povečamo možnost nastanka kondenza in plesni na notranji strani konstrukcijskih sklopov. Pomembna je tudi ugotovitev, da lahko zaradi takšnega toplotnega mostu pride do kondenzacije v leseni pozidnici, torej v nosilni konstrukciji ostrešja. U-faktorji poševne strehe se nižajo glede na izboljšave. Vrednost U-faktorja zunanje stene se v primeru TM_SS_02 malenkostno dvigne zaradi vpliva AB vezi.

5.1.4.1 TM_SS_00



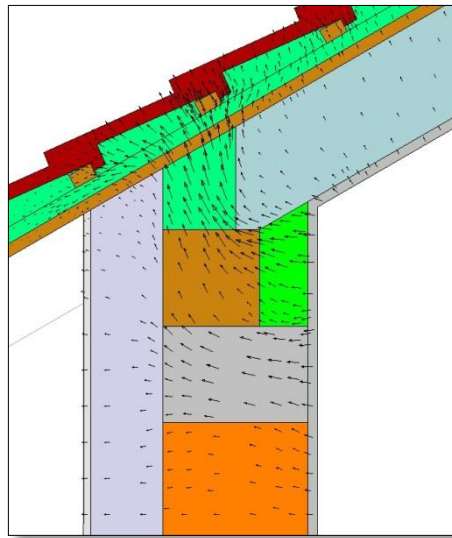
Slika 67: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_00, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun toplotnega mostu na stiku zunanje stene in poševne strehe pokaže (slika 67), da v notranjosti ne bodo bivalni pogoji poslabšani zaradi kondenza in plesni. Zaradi prekinitve toplotne izolacije bodo energijske izgube v območju toplotnega mostu povečane. Problem se pojavi, ker poteka ravnina rosišča čez leseno pozidnico, kar pa bi lahko pomenilo kljub parni zapori propadanje in gnitje nosilnega elementa strešne konstrukcije.

Preglednica 17: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_00

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena	streha
TM_SS_00	0.19	0.19

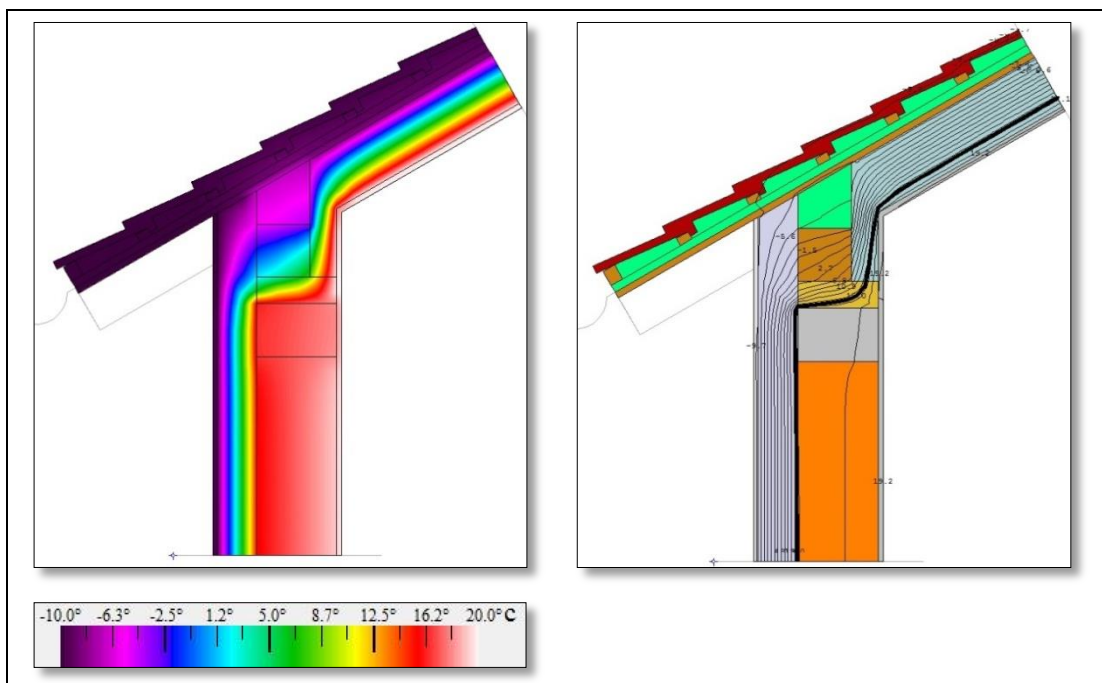
U-faktor zunanje strehe (preglednica 17) ustreza zahtevam TSG-01-004:2010, vendar kljub temu zaradi neprimerno izvedenega stika med toplotno izolacijo strehe in stene prihaja do povečanih toplotnih izgub, kar je razvidno iz slike vektorjev toplotnega toka (slika 68).



Slika 68: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_00

Na sliki 68 lahko vidimo povečano intenzivnost toplotnega toka na območju toplotnega mostu.

5.1.4.2 TM_SS_01



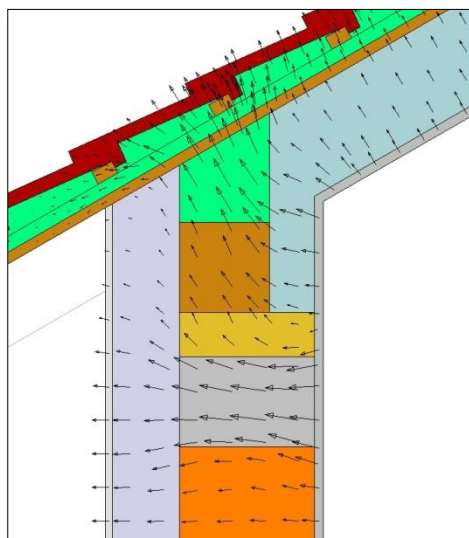
Slika 69: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_01, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Kot lahko vidimo na sliki 69, je rešitev toplotnega izoliranja pozidnice z notranje strani »na papirju« zelo lepo izvedena, dokler je ne izračunamo. V praksi bi s takšno »rešitvijo« potencialno pridobili kvečjemu še večji problem v notranjosti objekta, kot če bi ohranili izhodiščno varianto brez izolacije. Problematično je, ker peljemo toplotno izolacijo po notranji strani konstrukcije in posledično pomaknemo ravnino rosišča tik do parne zapore. Ker je ravnina rosišča tako blizu parni zapori je zelo velika verjetnost, da se le ta ob spremembi notranjih robnih pogojev (temperatura in/ali relativna vlažnost zraka) premakne na notranjo stran parne zapore. Posledica je potencialni nastanek kondenza in pleseni na notranji strani v vogalu. Čeprav ravnina rosišča ne poteka čez leseno pozidnico, se lahko navlaževanje pojavlja v širšem pasu, ter tako sega tudi do kapne lege.

Preglednica 18: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_01

U_{dej} [$W/(m^2 \cdot K)$]	zunanja stena	streha
TM_SS_01	0.18	0.16

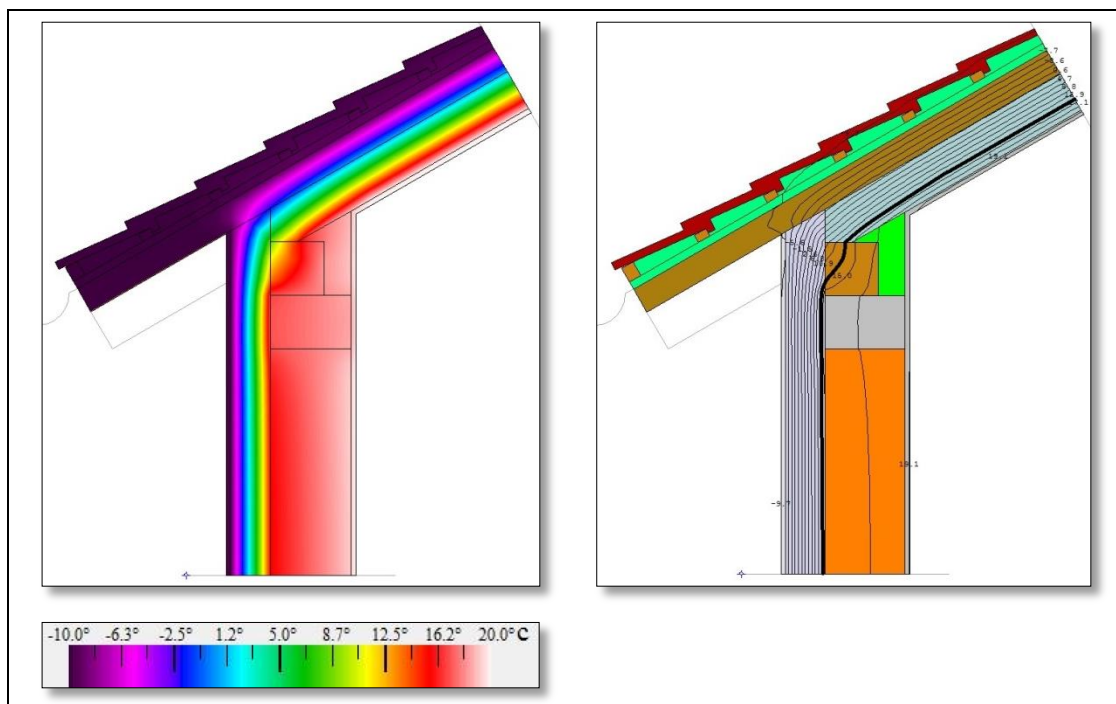
U-faktor pri primeru TM_SS_01 (preglednica 18) se je pričakovano zmanjšal, ker smo namestili toplotno izolacijo na mesto, kjer je prej lahko toplotni tok lažje prehajal.



Slika 70: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_01

Intenziteta toplotnega toka iz slike 70 prikazuje njegovo zmanjšanje in bolj enakomerni pretok čez vse zgornje sloje izolacije. Lahko tudi vidimo, da se je z namestitvijo toplotne izolacije nad AB vezi povečal toplotni tok v sami AB vezi.

5.1.4.3 TM_SS_02



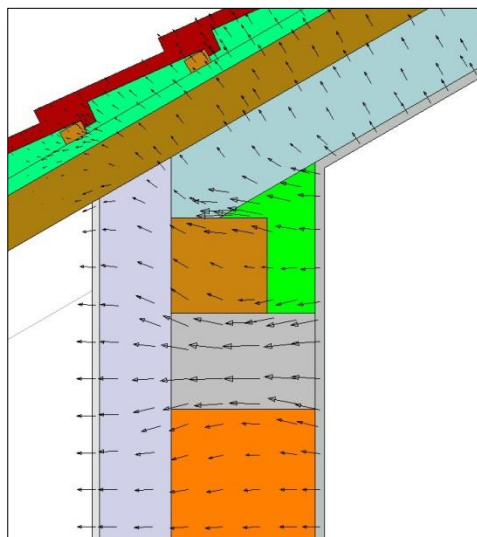
Slika 71: Termografska skica izračuna za primer TM_SS_02, barvni prikaz s pripadajočo legendo (levo) in izoterme z odebeljeno ravnino rosišča (desno)

Izračun primera toplotne izolacije stika poševne strehe in stene z zunanje strani (slika 71) pokaže, da smo s tem načinom izolacije ravnino rosišča pomaknili dovolj stran od notranjosti objekta, da ne bomo imeli težav s premikom le-te na notranjo stran parne ovire. Tudi iz energetskega vidika je takšna rešitev najbolj učinkovita, saj lahko namestimo največje debeline toplotne izolacije.

Preglednica 19: U-faktorja zunanje stene in strehe, primer TM_SS_02

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena	streha
TM_SS_02	0.21	0.12

Oba izračunana U-faktorja iz preglednice 19 ustrezata predpisanim U-faktorjem iz TSG-01-004:2010. U-faktor zunanje stene je malo višji od pričakovanj, kajti z dobro izvedeno izolacijo na stiku zunanje stene in poševne strehe smo povečali intenzivnost toplotnega toka v AB vezi, ki vpliva na U-faktor stene.



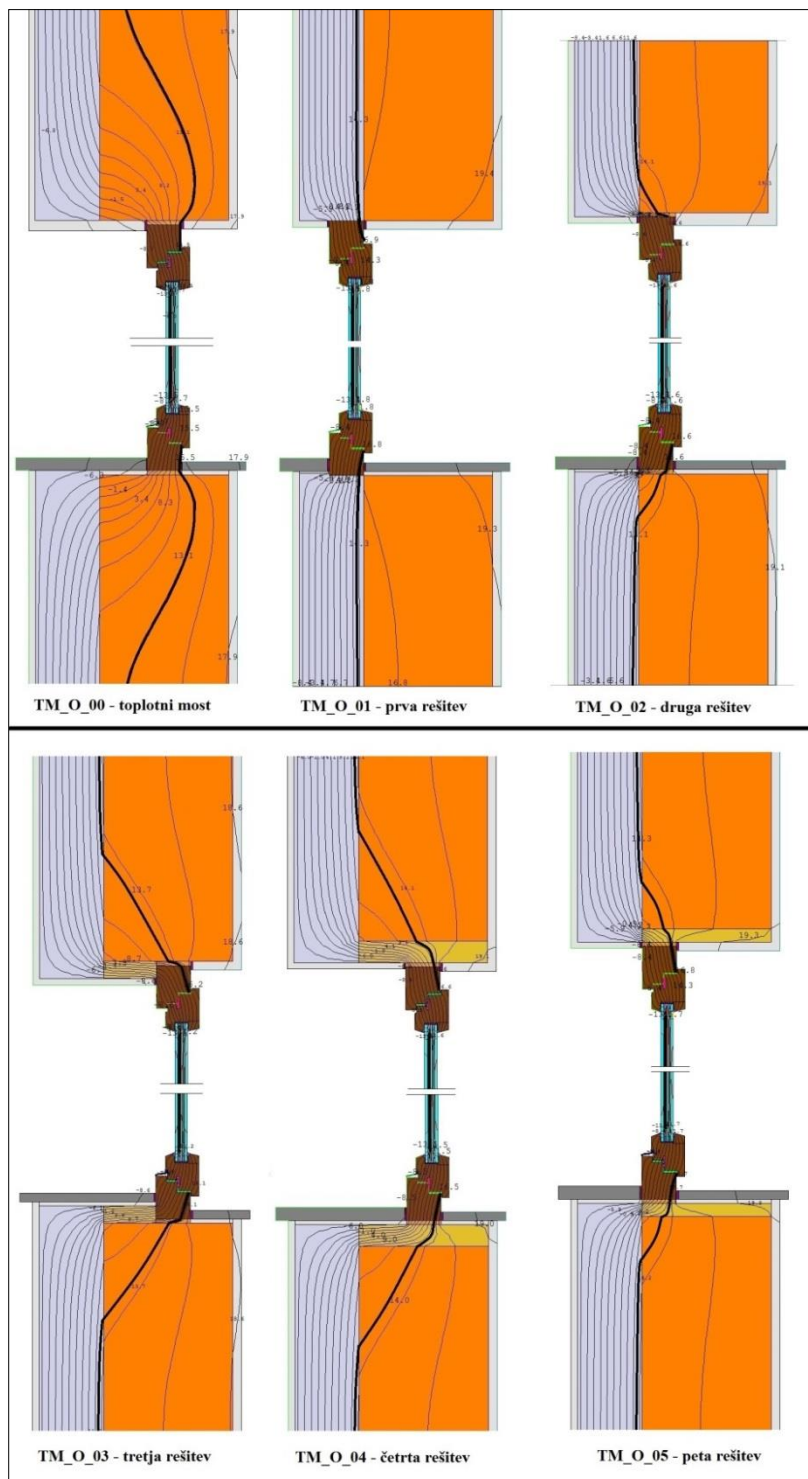
Slika 72: Prikaz intenzivnosti toplotnega toka za primer TM_SS_02

Iz slike 72 je razvidna povečana intenzivnost toplotnega toka na območju AB vezi.

6.0 PRIMERJAVA ANALIZIRANIH UKREPOV ZA ODPRAVO TOPLOTNEGA MOSTU

V tem poglavju bom primerjal analizirane ukrepe med seboj in podal ugotovitve, kateri ukrep je najučinkovitejši pri odpravi posameznega toplotnega mostu.

6.1 Primerjava za stik okna s steno



Slika 73: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_O_01, TM_O_02, TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05 s toplotnim mostom TM_O_00 in med seboj

Iz primerjave izračunov primerov rešitev toplotnega mostu na stiku okenskega okvirja in stene (slika 73), lahko ugotovimo, da s pravilno pozicijo montaže okna dosežemo največji učinek za odpravo toplotnega mostu. Najugodnejšo kombinacijo najmanjše toplotne prehodnosti in pozicijo ravnine rosišča izven stene imamo pri primeru TM_O_01, kjer smo okno namestili v toplotnoizolacijski ovoj stavbe. V primeru TM_O_02 smo okenski okvir pomaknili na skrajni zunanji rob stene in lahko vidimo, da je ravnina rosišča skoraj popolnoma pomaknjena iz stene, pa tudi vrednost toplotne prehodnosti je znatno boljša kot pri toplotnem mostu TM_O_00. V primerih TM_O_03 in TM_O_04 se izkaže, da čeprav dodamo izolacijo po celotni širini špaleta v debelini 5 cm ali pa samo do okenskega okvirja v debelini 4cm in dobimo nizki vrednosti U-faktorjev, nam grafični rezultati kažejo, da ravnina rosišča ostaja skoraj na polovici stene zaradi geometrijskega toplotnega mostu. V obeh primerih je težava v poziciji vgradnje okna. Primerjava primera TM_O_05 s primerom TM_O_02 nam pokaže, da dodatna toplotna izolacija špaleta, ki smo jo izvedli v primeru TM_O_05 doprinese zanemarljiv učinek k izboljšanju položaja ravnine rosišča, dobimo pa najmanjšo toplotno prehodnost v primerjavi z ostalimi obravnavanimi rešitvami. Razlog je montaža okna na zunanji rob stene, ki je že sama po sebi ugodna, ter dodatna 3 cm XPS izolacija na celotni širini špalet.

Preglednica 20: 2D U-faktorji analiziranih ukrepov TM_O_00, TM_O_01, TM_O_02, TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05

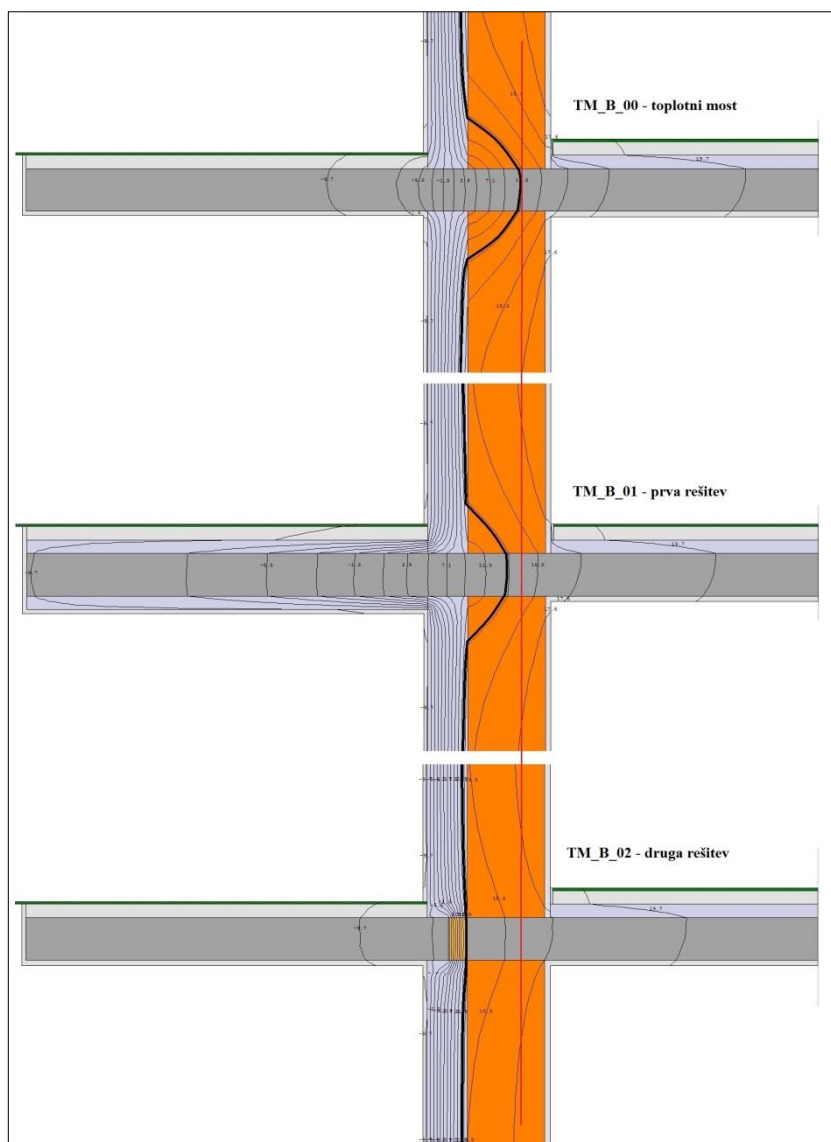
U_{dej} [W/(m ² ·K)]	okenska polica + stena spodaj	špaleta + stena zgoraj
TM_O_00	0.37	0.37
TM_O_01	0,19	0,17
TM_O_02	0.21	0.20
TM_O_03	0.21	0.20
TM_O_04	0.19	0.17
TM_O_05	0.18	0.16

Primerjava U-faktorjev (preglednica 20) za stik okenskega okvirja in stene nam iz vidika odpravljanja toplotnega mostu ne poda celotne slike problema, saj iz nje ni razvidna geometrijska razporeditev toplote v območju toplotnega mostu. Dodatno zmanjšujejo vrednost rezultatov v preglednici 20 tudi različne površine zajema (različne pozicije montaže

okna) in dodajanje XPS toplotne izolacije na špalete, ki zmanjša intenzivnost toplotnega toka. Če bi hoteli dobiti primerljive rezultate bi morali pri primeru TM_O_01 in TM_O_02 odebeliti toplotno izolacijo stene na takšno debelino, da bi imeli razdaljo od okenskega okvira do konca police enako kot jo imamo pri primerih TM_O_03 in TM_O_04.

Za dosego učinkovitih rezultatov pri primerih TM_O_03, TM_O_04 in TM_O_05 bi morali izolacijo špalet toliko odebeliti, da bi preprečili nastanek geometrijskega toplotnega mostu, ki je glavni vzrok, da ostaja ravnina rosišča v steni.

6.2 Primerjava za križanje balkona z zunanjo steno in medetažno konstrukcijo



Slika 74: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_B_01, TM_B_02 s toplotnim mostom TM_B_00 in med seboj

Primerjavo ukrepov rešitev za odpravo toplotnega mostu na stiku balkonske plošče z zunanjo steno in medetažno ploščo lahko vidimo na sliki 74. Ravnina rosišča pri toplotnem mostu TM_B_00 seže proti notranjosti čez polovico stene. Kot je razvidno iz slike 74, smo z

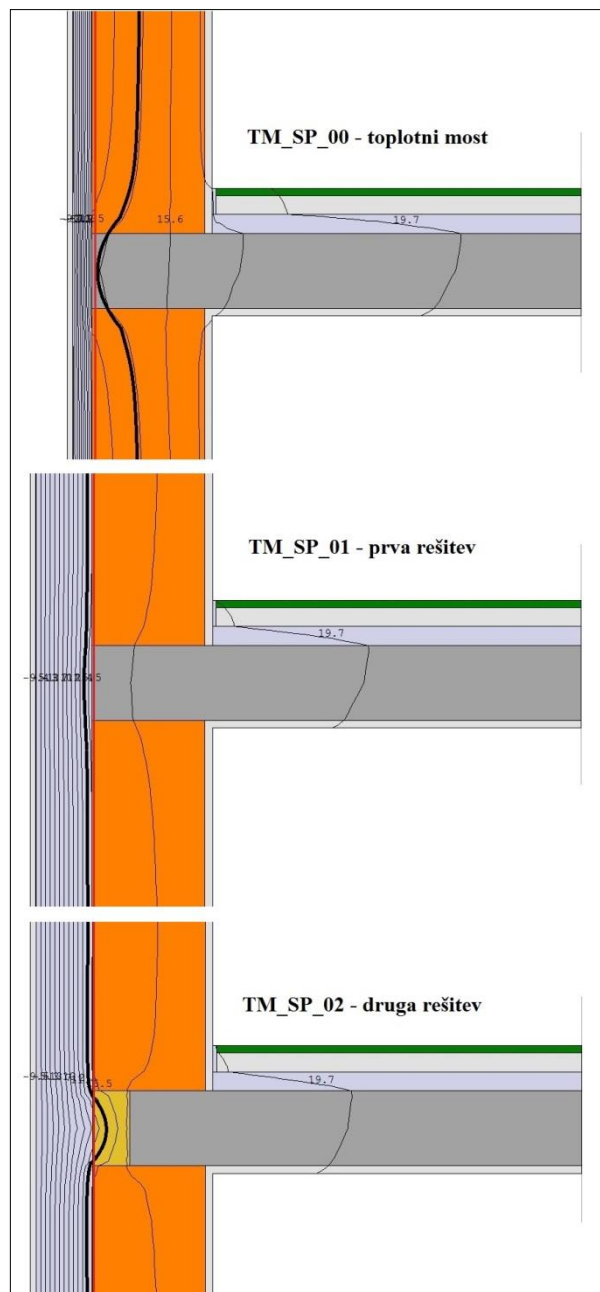
ukrepom TM_B_01 z obložitvijo balkonske plošče s toplotno izolacijo ukrep samo delno sanirali. Ravnina rosišča se ni premaknila niti čez polovico stene proti zunanosti. Najprimernejši je ukrep za odpravo toplotnega mostu TM_B_02, kjer smo uporabili toplotno armaturno košaro. S toplotno armaturno košaro smo prekinili prehajanje toplote in s tem premaknili ravnino rosišča iz notranjosti stene na zunanjo stran. Smatramo lahko, da bodo toplotne izgube z ukrepom TM_B_02 najmanjše, hkrati pa je popolnoma izničena možnost nastanka kondenza na notranji strani križanja

Preglednica 21: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_B_00, TM_B_01 in TM_B_02

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena	balkonska plošča
TM_B_00	0.25	0.16
TM_B_01	0.22	0.12
TM_B_02	0.22	0.06

U-faktorji zunanje stene (preglednica 21) pokažejo, da se pri obeh obravnavanih rešitvah računске vrednosti malenkostno znižajo. Pri primeru TM_B_01 vrednost U-faktorja zunanje stene ni merodajna za oceno o odpravljenem toplotnem mostu, ker ravnina rosišča še vedno sega do polovice stene. Merodajna je vrednost U-faktorja balkonske plošče, ki se med primeroma TM_B_00 in TM_B_01 ne razlikuje znatno, torej z obložitvijo balkonske plošče s toplotno izolacijo res nismo dosegli večjega učinka. Pri primeru TM_B_02 se U-faktor balkonske plošče zmanjša za več kot polovico glede na izhodiščni primer TM_B_00. Obravnavani primer TM_B_02 je tudi najboljša rešitev toplotnega mostu.

6.3 Primerjava za stik zunanje stene in medetažne plošče



Slika 75: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_SP_01, TM_SP_02 s toplotnim mostom TM_SP_00 in med seboj

S primerjavo rešitev za toplotni most na stiku medetažne plošče in zunanje stene lahko na sliki 75 vidimo, da sta rešitvi TM_SP_01 in TM_SP_02 učinkoviti, saj smo ravnino rosišča pomaknili iz območja nosilne konstrukcije v področje toplotne izolacije. Če primerjamo

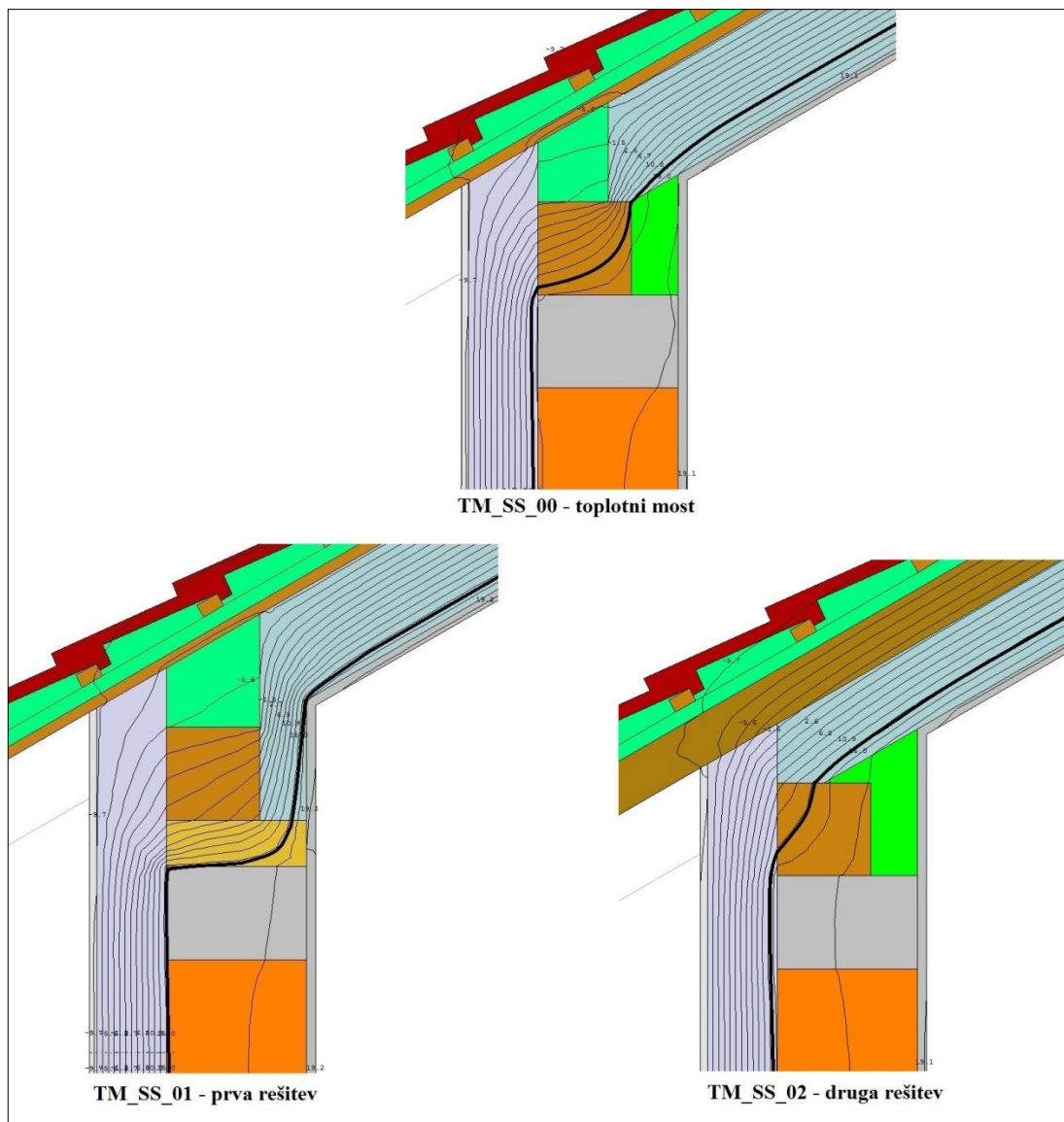
izotermo 17,6° C v primeru TM_SP_01 z isto izotermo v primeru TM_SP_02 lahko vidimo, da dejansko potekata po enaki plasti stene in ni razlike med njima. Torej odebelitev toplotne izolacije v območju stika medetažne plošče in zunanje stene ni smiselna.

Preglednica 22: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_SP_00, TM_SP_01 in TM_SP_02

U_{dej} [W/(m ² ·K)]	zunanja stena
TM_SP_00	0.50
TM_SP_01	0.22
TM_SP_02	0.21

Iz vrednosti U-faktorjev (preglednica 22) pri TM_SP_01 in TM_SP_02 je razvidno, da že samo z odebelitvijo celotnega toplotnega ovoja stavbe odpravimo toplotni most. Razlika med U-faktorjema primerov TM_SP_01 in TM_SP_02 je minimalna. Torej je dodatna odebelitev na mestu stika zunanje stene in medetažne plošče nesmiselna.

6.4 Primerjava za stik poševne strehe in zunanje stene



Slika 76: Primerjava rešitev analiziranih ukrepov TM_SS_01, TM_SS_02 s toplotnim mostom TM_SS_00 in med seboj

Za stik poševne strehe in zunanje stene sem preverjal učinkovitost dveh rešitev TM_SS_01 in TM_SS_02 (slika 76). Prvi primer TM_SS_01 se je izkazal za neučinkovitega oziroma potencialno problematičnega; izvedba toplotne izolacije lesene pozidnice s spodnje in notranje strani namreč premakne ravnino rosišča tik ob parno zaporo. Ker je ravnina rosišča blizu parne zapore je zelo velika verjetnost, da preskoči na notranjo stran. Tak preskok v

notranjost bivalnega prostora bi pomenil, da se začneta v vogalu stene in strehe nabirati kondenz in plesen. Drugi primer (TM_SS_02) se je izkazal za učinkovitega, kajti s toplotno izolacijo lesene pozidnice iz zunanje strani smo tudi ravnino rosišča pomaknili skoraj popolnoma v izolacijo. Ravnina rosišča delno poteka skozi zgornji zunanji vogal pozidnice.

Preglednica 23: U-faktorji analiziranih ukrepov TM_SS_00, TM_SS_01 in TM_SS_02

U_{dej} [$W/(m^2 \cdot K)$]	zunanja stena	streha
TM_SS_00	0.19	0.19
TM_SS_01	0.18	0.16
TM_SS_02	0.21	0.12

U-faktor (preglednica 23) zunanje stene za primer TM_SS_00 (toplotni most) ima nižjo vrednost od primera rešitve TM_SS_02, ker gre več toplotnega toka skozi slabo izolirano streho, oziroma slabo izveden stik strehe in zunanje stene. V primeru TM_SS_01 sta vrednosti U-faktorjev zunanje stene in strehe ugodni, čeprav lahko iz grafičnega prikaza izoterm (slika 76) vidimo, da bi si s takšno »rešitvijo« lahko potencialno poslabšali bivalne pogoje zaradi nastanka kondenza in plesni v notranjosti objekta. Najbolj primerna je rešitev TM_SS_02, ki ima tudi najmanjši U-faktor strehe. U-faktor zunanje stene pri primeru TM_SS_02 malenkost naraste zaradi dobre izvedbe stika strehe in stene in boljše izolacije strehe, posledično se poveča prehod toplotnega toka skozi armiranobetonsko vez.

7.0 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem obravnaval štiri najpogostejše tipične toplotne mostove, ki se pojavljajo na stanovanjskih objektih, in ukrepe za odpravo le teh. Pri treh primerih sem obravnaval po dva ukrepa za odpravo toplotnega mostu, pri enem pa pet različnih primerov odprave.

Pri toplotnem mostu na stiku okna in stene lahko kot najboljši ukrep ocenim montažo okna v toplotnoizolacijski ovoj stavbe (TM_O_01), čeprav je U-faktor vzdolž stene višji, kot bi pričakovali, oziroma višji kot pri nekaterih drugih obravnavanih primerih (TM_O_02 do TM_O_05). Takšen rezultat je posledica tega, da je v teh primerih vzdolž oboda stene vgrajene več toplotne izolacije, kar pozitivno vpliva na zmanjšanje U-faktorja.

Pri odpravi toplotnega mostu na križanju medetažne plošče in zunanje stene sem ugotovil, da z dodatno toplotno izolacijo na stiku plošče in stene dosežemo zanemarljivo majhen učinek. U-faktorja ukrepov se med seboj razlikujeta samo za 0,01 W/(m²·K), ravnina rosišča pa je pri obeh ukrepah izven območja nosilne konstrukcije. Za odpravo toplotnega mostu zadostuje že uporaba predpisane debeline toplotno izolacijskega ovoja po TSG-01-004 za doseganje vrednosti U-faktorja 0,28 W/(m²·K).

Na stiku balkonske plošče, stene in medetažne plošče je edina učinkovita rešitev uporaba toplotnih armaturnih košar. Pri obložitvi balkonske plošče s toplotno izolacijo sicer dosežemo zadovoljivo vrednost U-faktorja, vendar je ravnina rosišča še vedno v območju nosilne konstrukcije, kar kaže na to, da geometrijskega vpliva toplotnega mostu nismo popolnoma odpravili.

Pri stiku strehe in zunanje stene se izkaže, da toplotni most lahko potencialno povzroči nastanek kondenzacije v lesenem nosilnem elementu strešne konstrukcije, kar bi lahko povzročilo gnitje lesa. Prvi ukrep (TM_SS_01) pa zaradi toplotne izolacije na notranji strani pomakne ravnino rosišča tik ob mavčne plošče, kar pomeni, da bi ob neprimerni, slabi ali poškodovani parni oviri prišlo do nastanka kondenzacije na notranji strani konstrukcijskega

sklopa. Tretji primer (TM_SS_02) se izkaže za najučinkovitejšega, ker smo ravnino rosišča pomaknili na zunanji rob pozidnice, U-faktorja stene in strehe pa tudi ustrezata predpisanim v TSG-01-004. Sicer v tem primeru nismo popolnoma odpravili geometrijskega vpliva toplotnega mostu, saj je ravnina rosišča še vedno delno v območju kapne lege, vendar kljub temu lahko ob primerni izvedbi parne ovire v konstrukcijskem sklopu strehe takšno rešitev ocenimo kot naj primernejšo.

Na podlagi izračunov U-faktorjev in grafičnih prikazov izoterm sem ugotovil, da nam samo upoštevanje U-faktorjev ne da realnih končnih rezultatov, ampak je za objektivne končne rezultate potrebno upoštevati tudi rezultate izoterm. Ta ugotovitev je prišla do izraza pri ukrepih za odpravo toplotnega mostu na stiku okenskega okvirja in stene. Do tega pride, ker toplotna izolacija umiri intenzivnost toplotnega toka, ne odpravi pa toplotnega mostu.

Še vedno se tudi pri novogradnjah posveča premalo pozornosti pravim rešitvam toplotnih mostov in pravilnim izvedbam teh rešitev. Pomembno je, da smo pri načrtovanju stavb pozorni tudi na to, kako se bomo lotili reševanja eventualnih toplotnih mostov. Popolnoma se jim namreč ne moremo nikoli izogniti. V diplomski nalogi sem ugotovil, da moramo za objektivno rešitev vedno upoštevati poleg vrednosti U-faktorjev tudi pozicijo ravnine rosišča, ker si samo z upoštevanjem vrednosti U-faktorjev lahko še poslabšamo bivalne prostore (kondenz, plesni). V večini primerov se je izkazalo, da, kjer je ravnina rosišča na ugodnem mestu, je tudi vrednost U-faktorja ugodna in ustreza zahtevanim vrednostim.

V praksi dostikrat vidimo, kako postavljajo toplotno izolacijo kar »na pamet«. Iz obravnavanih primerov se pa lepo vidi, da moramo konstrukcijski sklop izračunati. Z nepravilno postavitvijo si namreč lahko razmere še poslabšamo (premaknemo ravnino rosišča v notranjost stavbe) oziroma povzročimo nepotrebne stroške, ko postavljamo toplotno izolacijo na mesta, kjer nima zelenega učinka. Sanacije napačnih postavitvev toplotne izolacije nam predstavljajo dodatne nepotrebne stroške in nevšečnosti.

VIRI

Uporabljeni viri

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 7. 6. 2014).

Grobovšek, B. 2006. Izvedba stika balkona z objektom brez toplotnega mosta. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT132.htm> (Pridobljeno 10. 8. 2014).

Grobovšek, B. 2008. Toplotna zaščita ovoja stavbe. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT47.htm> (Pridobljeno 15. 3. 2014).

Grobovšek, B. 2009. Tehnične zahteve za gradbeno fiziko oken. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT379.htm> (Pridobljeno 15. 7. 2014).

Janssens, A., Van Londersele, E., Vandermarcke, B., Roels, S., Standaert, P., Wouters, P. 2007. Določitev robnih vrednosti za linearno toplotno prehodnost toplotnih mostov v stavbah = Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings. http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/2007%20B10%20papers/182_Janssens.pdf (Pridobljeno 20. 9. 2014).

Kokot, M. 2011. Blog, Stoji pasivna zidana. http://pasivna-zidana.blogspot.com/2011_12_01_archive.html (Pridobljeno 30. 4. 2014).

Pod svojo streho.net 2012. <http://www.podsvojestreho.net/vsebina/spletniki/vincent/fasada-izolacija-hise/10560> (Pridobljeno 20. 4. 2014).

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

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

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

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

Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: 2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor. Št. 0071-101/2009: 114 str.
http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/gragradi/TSG-01-004_2010.pdf (Pridobljeno 30. 5. 2014).

THERM, Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. University of California. Lawrence Berkeley National Laboratory. <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html> (Pridobljeno 2. 10. 2014).

Toplotni mostovi 2009. Instalater. <http://www.instalater.si/prispevek/145/Toplotni-mostovi> (Pridobljeno 15. 3. 2014).

Toplotno ločeni balkoni, Schöck Innovative Building Solutions.
<http://www.schoeck.si/sl/proizvodi/horizontalno-izstopajo-e-komponente-7> (Pridobljeno 20. 4. 2014).

Totten, Paul E., O'Brien, Sean M., Pazera, Marcin 2008. Vpliv toplotnih mostov na stikih konstrukcijskih elementov = The Effects of Thermal Bridging at Interface Conditions.
http://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/BEST/BEST1_034.pdf (Pridobljeno 5. 9. 2014).

URSA, Toplotna izolacija iz ekstrudiranega polistirena. <http://www.ursa.si/si-si/izdelki/Documents/Ursa-Tehn-informacije-XPS-2010-skupni.pdf> (Pridobljeno 9. 7. 2014).

WINDOW, University of California. Lawrence Berkeley National Laboratory, <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html> (Pridobljeno 2. 10. 2014).

Zbašnik-Senegačnik M. 2011. Okna v pasivni hiši. http://www.fa.uni-lj.si/filelib/8_konzorcijph/okna_ph_1.pdf (Pridobljeno 2. 8. 2014).

Žnidaršič, B. 2012. Nacionalna energetska pot Slovenija. <http://nep.vitra.si/index.php?pohvalno=1&pod=17> (Pridobljeno 2. 8. 2014)

Ostali viri

Eko produkt, Na svoji strehi.net. <http://www.nastrehi.net/strokovni-prispevki/eko-gradnja-in-izolacije-mainmenu-83/144-lesno-vlakenne-ploe-agepan.html> (Pridobljeno 23. 9. 2014)

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 20. 5. 2014)