

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 izvirna različica zaključnega dela.

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

Strmec, U., 2015. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v stavbi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 85 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:

Strmec, U., 2015. Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v stavbi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 85 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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
ORGANIZACIJSKO
TEHNOLOŠKA SMER

Kandidat:

UROŠ STRMEC

**VPLIV TOPLOTNIH MOSTOV NA PORABO ENERGIJE
ZA OGREVANJE V STAVBI**

Diplomska naloga št.: 3418/OTS

**IMPACT OF THERMAL BRIDGES ON BUILDING
HEATING ENERGY CONSUMPTION**

Graduation thesis No.: 3418/OTS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

dr. Živa Kristl

Član komisije:

prof. dr. Bogdan Zgonc

Ljubljana, 28. 01. 2015

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Uroš Strmec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v stavbi«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Trebnje, 13.1.2015

Uroš Strmec

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	536.2:536.65:699.86(043.2)
Avtor:	Uroš Strmec
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentorica:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Vpliv toplotnih mostov na porabo energije za ogrevanje v stavbi
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	85 str., 56 pregl., 28 sl., 15 priv. sl.
Ključne besede:	toplotni mostovi, poraba energije za ogrevanje v stavbi, numerični izračun, SIST EN ISO 13790

Izvleček

Diplomska naloga zajema izvedbo analize vplivov toplotnih mostov v stavbah na porabo energije za ogrevanje v stavbi s pomočjo uporabe programske opreme na osnovi standarda SIST EN ISO 13790. V okviru diplomske naloge je določen kvantitativen vpliv upoštevanja določenih toplotnih mostov in kvantifikacija teh vplivov glede na celotno porabljeno energijo za ogrevanje v stavbi. Primerjava je izvedena na specifičnem primeru izbrane večnadstropne poslovne stavbe. Metode za določitev toplotnih mostov na ovoju zgradbe temeljijo na standardu SIST EN ISO 14683. Numerične simulacije toplotnih mostov so izvedene z računalniškim programom Unorm, izračun porabe energije za ogrevanje pa s programom TOST.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	536.2:536.65:699.86(043.2)
Author:	Uroš Strmec
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph. D.
Cosupervisor:	Assist. Prof. Živa Kristl, Ph. D.
Title:	Impact of thermal bridges on buildings heating energy consumption
Document type:	Graduation thesis - University studies
Scope and tools:	85 p., 56 tab., 28 fig., 15 a.fig.
Keywords:	thermal bridges, buildings heating energy consumption, numerical calculation, SIST EN ISO 13790

Abstract

The thesis includes carrying out an analysis of the impact of thermal bridges on buildings heating energy consumption through the use of software, based on standard SIST EN ISO 13790. Within the framework of this thesis the quantitative impact of specific thermal bridges and quantification of their effects on building's heating energy consumption is determined. The comparison is carried out in a specific case, the selected multi-storey office building. The methods for the determination of thermal bridges in the building envelope are based on the standard SIST EN ISO 14683. Numerical simulations of thermal bridges are carried out in computer program Unorm and the buildings heating energy consumption is calculated using TOST program.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Košir za ves naklonjen čas in strokovno pomoč.

Posebne zahvale gredo mojim staršem in sestri, ki so mi ves čas študija stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO PREGLEDNIC	IX
KAZALO SLIK	XI
KAZALO PRIVZETIH SLIK.....	XII
KRATICE	XIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN NALOGE.....	1
1.3 METODA DELA	1
2 TOPLOTNI MOSTOVI.....	2
2.1 DEFINICIJA TOPLOTNIH MOSTOV	2
2.2 TIPI TOPLOTNIH MOSTOV	2
2.2.1 Konstrukcijski toplotni mostovi	2
2.2.2 Geometrijski toplotni mostovi.....	3
2.2.3 Kombinirani toplotni mostovi	3
2.2.4 Konvekcijski toplotni most	4
2.3 OBLIKE TOPLOTNIH MOSTOV	4
2.3.1 Linijski toplotni mostovi	4
2.3.2 Točkovni toplotni mostovi	5
2.4 POSLEDICE TOPLOTNIH MOSTOV.....	5
3 ZAKONODAJA IN REGULATIVA	7
3.1 PURES 2010.....	7
3.2 TEHNIČNA SMERNICA TSG-1-004:2010	7
3.3 RELEVANTNI STANDARDI	8
4 METODE ZA DOLOČITEV VPLIVOV TOPLOTNIH MOSTOV	9
4.1 TIPI METOD ZA DOLOČITEV LINIJSKE TOPLOTNE PREHODNOSTI Ψ	9
4.1.1 Numerični izračuni.....	9
4.1.2 Katalogi toplotnih mostov.....	10
4.1.3 Privzete vrednosti.....	10
4.2 STANDARD SIST EN ISO 14683	11
4.3 STANDARD SIST EN ISO 10211	13
4.3.1 Geometrijski model.....	14
4.3.2 Poenostavitve geometrijskega modela	15
4.3.3 Vhodni podatki.....	16
4.3.4 Postopek numeričnega izračuna	17
4.3.5 Določitev toplotnega toka, koeficienta toplotne sklopitve in linijske toplotne prehodnosti.....	17
4.3.6 Določitev linijske toplotne prehodnosti za križanje stene/tal na terenu	20
4.3.7 Validacija numeričnih izračunov	21

5 IZHODIŠČNI IZRAČUN LETNE PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE STAVBE.....	22
5.1 OPIS OBJEKTA	22
5.2 PROGRAMSKO ORODJE TOST	24
5.3 SPLOŠNI PODATKI.....	24
5.4 KLIMATSKI PODATKI.....	25
5.5 RAČUNSKA PODOBDOBJA	26
5.6 PODATKI O CONAH	26
5.6.1 Osnovni podatki.....	27
5.6.2 Prezračevanje.....	28
5.6.3 Zunanja stena, streha.....	29
5.6.4 Transparentni konstrukcijski sklopi.....	30
5.6.5 Tla.....	31
5.6.6 Konstrukcijski sklopi med conami.....	31
5.7 REZULTATI.....	32
6 NUMERIČNA ANALIZA TOPLOTNIH MOSTOV	34
6.1 PROGRAMSKA OPREMA.....	34
6.2 POSTOPEK IZRAČUNA LINIJSKE TOPLOTNE PREHODNOSTI.....	36
6.2.1 Geometrijski toplotni most	36
6.2.2 Konstrukcijski toplotni most.....	38
6.3 EVIDENTIRANJE TOPLOTNIH MOSTOV OBRAVNAVANE STAVBE.....	40
6.4 SIMULACIJE TOPLOTNIH MOSTOV	42
6.4.1 Toplotni most A-1.....	43
6.4.2 Toplotni most A-2.....	44
6.4.3 Toplotni most S-1	45
6.4.4 Toplotni most S-2	46
6.4.5 Toplotni most V-1.....	47
6.4.6 Toplotni most V-2.....	48
6.4.7 Toplotni most V-3.....	49
6.4.8 Toplotni most V-4.....	50
6.4.9 Toplotni most V-5.....	51
6.4.10 Toplotni most V-6.....	52
6.4.11 Toplotni most V-7.....	53
6.4.12 Toplotni most N-1.....	54
6.4.13 Toplotni most N-2.....	55
6.4.14 Toplotni most O-1.....	56
6.4.15 Toplotni most O-2.....	57
6.4.16 Toplotni most O-3.....	58
6.4.17 Toplotni most O-4.....	59
6.4.18 Toplotni most O-5.....	60
6.4.19 Toplotni most O-6.....	61
6.4.20 Toplotni most O-7.....	62
6.4.21 Toplotni most O-8.....	63
6.4.22 Toplotni most O-9.....	64
6.4.23 Toplotni most O-10.....	65
6.4.24 Toplotni most T-1	66
6.4.25 Toplotni most T-2.....	68
6.4.26 Toplotni most T-3.....	70
6.4.27 Toplotni most P-1	71
7 PRIVZETE VREDNOSTI TOPLOTNIH MOSTOV	72
7.1 PRIVZETE VREDNOSTI OBRAVNAVANIH TOPLOTNIH MOSTOV	72
7.1.1 Privzete vrednosti – atika.....	72
7.1.2 Privzete vrednosti – streha.....	73
7.1.3 Privzete vrednosti – vogal.....	73

7.1.4 Privzete vrednosti – napušč.....	75
7.1.5 Privzete vrednosti – odprtine	75
7.1.6 Privzete vrednosti – tla.....	77
7.1.7 Privzete vrednosti – predelni.....	78
7.2 PRIMERJAVA PRIVZETIH VREDNOSTI Ψ Z NUMERIČNIM IZRAČUNOM	78
8 ANALIZA.....	80
8.1 VPLIV POSAMEZNIH METOD OBRAVNAVE TOPLOTNIH MOSTOV NA TOPLOTNO BILANCO STAVBE	80
8.2 VPLIV TOPLOTNIH MOSTOV NA TRANSMISIJSKE IZGUBE	81
8.3 VPLIV POSAMEZNIH TOPLOTNIH MOSTOV NA LETNO PORABO TOPLOTE ZA OGREVANJE	81
9 ZAKLJUČEK	84
VIRI	86

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni podatki o posameznih conah.....	27
Preglednica 2: Vhodni podatki o moči notranjih dobitkov virov	28
Preglednica 3: Podatki o mehanskem prezračevanju objekta v času zasedenosti objekta	28
Preglednica 4: Podatki o mehanskem prezračevanju objekta v času noči, vikendov in praznikov	29
Preglednica 5: Dodatni podatki o mehanskem prezračevanju objekta	29
Preglednica 6: Podatki o naravnem prezračevanju ostrešne neogrevane cone (cona NC)	29
Preglednica 7: Podatki o zunanjih stenah.....	30
Preglednica 8: Podatki o strehah	30
Preglednica 9: Podatki o zunanjih stenah kleti, ki so v stiku z zemljino.....	30
Preglednica 10: Površina transparentnih konstrukcijskih sklopov	30
Preglednica 11: Podatki o transparentnih konstrukcijskih sklopih.....	31
Preglednica 12: Tla na terenu z robno izolacijo	31
Preglednica 13: Predelni konstrukcijski sklopi med conami.....	32
Preglednica 14: Toplotna bilanca brez upoštevanja toplotnih mostov	32
Preglednica 15: Izgube in dobitki po conah, brez upoštevanja vpliva toplotnih mostov	33
Preglednica 16: Vhodni podatki geometrijskega toplotnega mostu	36
Preglednica 17: Vhodni podatki konstrukcijskega toplotnega mostu	38
Preglednica 18: Toplotni most A-1	43
Preglednica 19: Toplotni most A-2	44
Preglednica 20: Toplotni most S-1	45
Preglednica 21: Toplotni most S-2.....	46
Preglednica 22: Toplotni most V-1	47
Preglednica 23: Toplotni most V-2.....	48
Preglednica 24: Toplotni most V-3	49
Preglednica 25: Toplotni most V-4	50
Preglednica 26: Toplotni most V-5	51
Preglednica 27: Toplotni most V-6.....	52
Preglednica 28: Toplotni most V-7	53
Preglednica 29: Toplotni most N-1	54
Preglednica 30: Toplotni most N-2	55
Preglednica 31: Toplotni most O-1	56
Preglednica 32: Toplotni most O-2	57
Preglednica 33: Toplotni most O-3	58
Preglednica 34: Toplotni most O-4.....	59
Preglednica 35: Toplotni most O-5	60
Preglednica 36: Toplotni most O-6	61
Preglednica 37: Toplotni most O-7	62
Preglednica 38: Toplotni most O-8.....	63
Preglednica 39: Toplotni most O-9	64
Preglednica 40: Toplotni most O-10	65
Preglednica 41: Toplotni most T-1.....	66
Preglednica 42: Toplotni most T-1 (približan pogled).....	67
Preglednica 43: Toplotni most T-2.....	68
Preglednica 44: Toplotni most T-2 (približan pogled).....	69
Preglednica 45: Toplotni most T-3.....	70
Preglednica 46: Toplotni most P-1	71
Preglednica 47: Privzete vrednosti – atika	72
Preglednica 48: Privzete vrednosti – streha	73
Preglednica 49: Privzete vrednosti – vogal	73

Preglednica 50: Privzete vrednosti – napušč	75
Preglednica 51: Privzete vrednosti – odprtine	75
Preglednica 52: Privzete vrednosti – tla	77
Preglednica 53: Privzete vrednosti – predelni	78
Preglednica 54: Vpliv posameznih metod obravnave toplotnih mostov na toplotno bilanco stavbe	80
Preglednica 55: Vpliv toplotnih mostov na transmisijske izgube	81
Preglednica 56: Odstotkovne spremembe letne porabe toplote za ogrevanje stavbe	83

KAZALO SLIK

Slika 1: Konstrukcijski toplotni most, prikazan v računalniškem programu Kobra NL [8]	3
Slika 2: Geometrijski toplotni most, prikazan s programsko opremo KobraNL [8]	3
Slika 3: Geometrijski toplotni most, prikazan s programsko opremo KobraNL [8]	4
Slika 4: Tabela toplotnih mostov z privzetimi vrednostmi linijskih toplotnih prehodnosti [3]	12
Slika 5: Shema geometrijskega modela toplotnega mostu	14
Slika 6: Obravnavana stavba	22
Slika 7: Objekt pred (levo) in po (desno) prenovi	23
Slika 8: Vhodni podatki o sistemih za ogrevanju, hlajenju in ogrevanju sanitarne vode	25
Slika 9: Klimatski podatki	25
Slika 10: Računska podobdobja	26
Slika 11: Cone stavbe	27
Slika 12: Uporabniško okolje programa Unorm	34
Slika 13: Grafični prikaz porazdelitve temperature skozi testni primer v programu Unorm	35
Slika 14: Grafični prikaz toplotnega toka skozi testni primer v programu Unorm	35
Slika 15: Grafični prikaz testnega primera v uporabniškem vmesniku programa Unorm	35
Slika 16: Primer geometrijskega toplotnega mostu	36
Slika 17: Model geometrijskega toplotnega mostu v programu Unorm	37
Slika 18: Porazdelitev temperature (levo) in toplotni tok (desno) toplotnega mostu	37
Slika 19: Shema zunanjega (levo) in notranjega (desno) dimenzijskega sistema	38
Slika 20: Primer konstrukcijskega toplotnega mostu	38
Slika 21: Model konstrukcijskega toplotnega mostu v programu Unorm	39
Slika 22: Porazdelitev temperature (levo) in toplotni tok (desno) toplotnega mostu	39
Slika 23: Evidentirani (rdeče) toplotni mostovi obravnavane stavbe	40
Slika 24: Tipičen prerez stavbe z označenimi toplotnimi mostovi	41
Slika 25: Tipičen tloris stavbe z označenimi toplotnimi mostovi	41
Slika 26: Obrazec simuliranih toplotnih mostov	42
Slika 27: Primerjava privzetih vrednosti z numeričnim izračunom	79
Slika 28: Vpliv posameznih toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje	82

KAZALO PRIVZETIH SLIK

Privzeta slika 1: Primer linijskega toplotnega mostu, prikazan s termografskim posnetkom [9].....	4
Privzeta slika 2: Primer točkovnega toplotnega mostu [9].....	5
Privzeta slika 3: Plesen v vogalu notranjega prostora [10].....	6
Privzeta slika 4: Grafični prikaz porazdelitve temperature skozi gradbeno konstrukcijo [17].....	10
Privzeta slika 5: Primer detajla v katalogu toplotnih mostov [19]	10
Privzeta slika 6: Lokacije toplotnih mostov [3].....	11
Privzeta slika 7: Parametri za izračun standardnih vrednosti Ψ [3].....	12
Privzeta slika 8: Razdelilna ravnina za geometrijske modele, ki vključujejo sloj zemljine [4]	14
Privzeta slika 9: Poenostavitev neravne površine [4]	15
Privzeta slika 10: Poenostavitve stičišč v odvisnosti od toplotne prevodnosti materialov [4]	16
Privzeta slika 11: Primeri določitve vrednosti Ψ , ko gradbena konstrukcija ločuje dve okolji [4].....	18
Privzeta slika 12: Primeri določitve vrednosti Ψ , ko gradbena konstrukcija ločuje tri okolja [4]	19
Privzeta slika 13: Shema križanja stene/tal na terenu [4]	20
Privzeta slika 14: Testni primer za izračun porazdelitve temperature in toplotnega toka [4]	21
Privzeta slika 15: Shematičen prikaz prezračevane fasade obravnavanega objekta [25]	23

KRATICE

AB	Armiran beton
EN	Evropski standard
EU	Evropska unija
HI	Hidroizolacija
ISO	Mednarodna organizacija za standardizacijo
PURES	Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
TI	Toplotna izolacija
TSG	Tehnična smernica

1 UVOD

1.1 Opredelitev problema

Zmanjšanje rabe energije v stavbah je pomemben vidik sodobnega gradbeništva. Za kakovostno toplotno zaščito stavbe ne zadostuje le ustrezna toplotna izolacija posameznih zunanjih konstrukcijskih elementov. Pomembna je tudi pravilna izvedba vseh detajlov, kot so stiki, preboji, križanja, odprtine in podobno. Njihovo zanemarjanje ali nepravilno reševanje lahko povzroči številne neprijetne posledice. Eno od njih, ki vpliva na toplotno bilanco stavbe, toplotno ugodje v prostoru ter v skrajni obliki na higienske in zdravstvene razmere v bivalnem okolju, imenujemo toplotni most [1]. Za upoštevanje njihovega vpliva v toplotnih izgubah stavb imamo na voljo več metod, ki pa se povsem razlikujejo v količini zahtevanega znanja in časa za določitev kvantitativnih vrednosti.

1.2 Namen naloge

Namen diplomske naloge je izvedba analize vpliva toplotnih mostov v stavbah na porabo energije za ogrevanje v stavbi s pomočjo uporabe programske opreme, na osnovi standarda SIST EN ISO 13790:2008 (v nadaljevanju EN 13790) [2]. Zanima nas kvantitativni vpliv upoštevanja določenih toplotnih mostov ter kvantifikacija teh vplivov glede na celotno porabljeno energijo za ogrevanje v stavbi. Primerjava bo izvedena na poslovni stavbi zavarovalnice Tilia d. d., ki je zgrajena v središču Novega mesta.

Dokazati želimo, da imajo največji vpliv toplotni mostovi, ki potekajo na obodu odprtin, saj ima stavba velik delež transparentnih površin. Pričakujemo tudi, da bomo z natančnejšo metodo vrednotenja dobili najmanjši vpliv toplotnih mostov na toplotne izgube stavbe.

1.3 Metoda dela

Predstavil bom teoretično ozadje toplotnih mostov in spremljajočo zakonodajo. Podrobneje standarda SIST EN ISO 14683:2008 (v nadaljevanju EN 14683) [3] in SIST EN ISO 10211:2008 (v nadaljevanju EN 10211) [4], ki določata različne metode vrednotenja toplotnih mostov. Z računalniškim programom TOST [5] bom izvedel izhodiščni izračun letne porabe energije za ogrevanje obravnavane stavbe. Posamezne toplotne mostove bom simuliral v računalniškem programu Unorm [6] in rezultate primerjal s standardnimi vrednostmi iz tabel navedenih v standardu EN 14683. Kvantitativni vpliv metod in posameznih toplotnih mostov bom nato preveril na porabi energije za ogrevanje izbranega objekta.

2 TOPLOTNI MOSTOVI

2.1 Definicija toplotnih mostov

Toplotni mostovi so mesta v zunanjem ovoju stavbe, kjer je toplotni upor bistveno manjši od toplotnega upora na sosednjih mestih. Na mestih s toplotnimi mostovi je zato toplotni tok iz toplejšega notranjega prostora proti hladnejšem zunanjem okolju povečan, temperatura notranje površine pa znižana [1].

Definicija toplotnih mostov, povzeta po EN 10211: Toplotni mostovi so deli ovoja stavbe, kjer se sicer enakomerni toplotni upor spremeni zaradi:

- popolnega ali delnega preboja ovoja stavbe z materiali drugačne prevodnosti,
- spremembe v debelini gradbenega elementa,
- razlike v notranji in zunanji površini, ki nastane na stikih sten/tal/stropa.

2.2 Tipi toplotnih mostov

Glede na vzrok nastanka delimo toplotne mostove na:

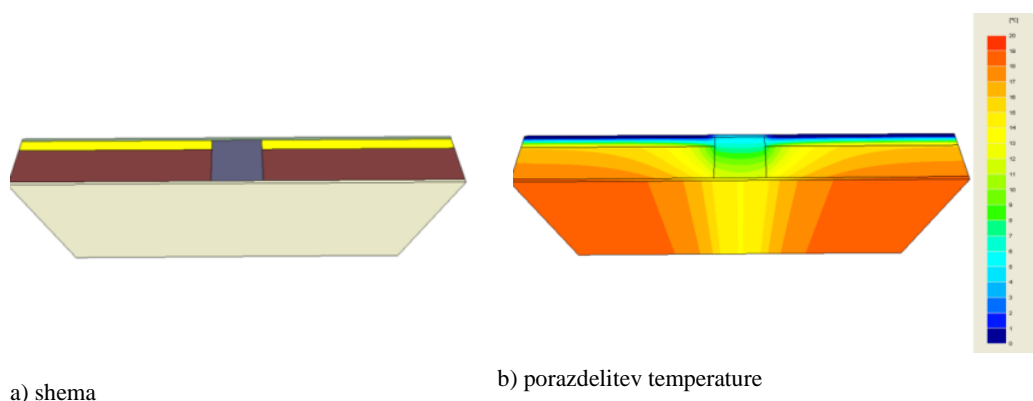
- konstrukcijske,
- geometrijske,
- kombinirane in
- konvekcijske.

Glede na prevladujočo dimenzijo (računska idealizacija) pa jih delimo na:

- točkovne in
- linijske.

2.2.1 Konstrukcijski toplotni mostovi

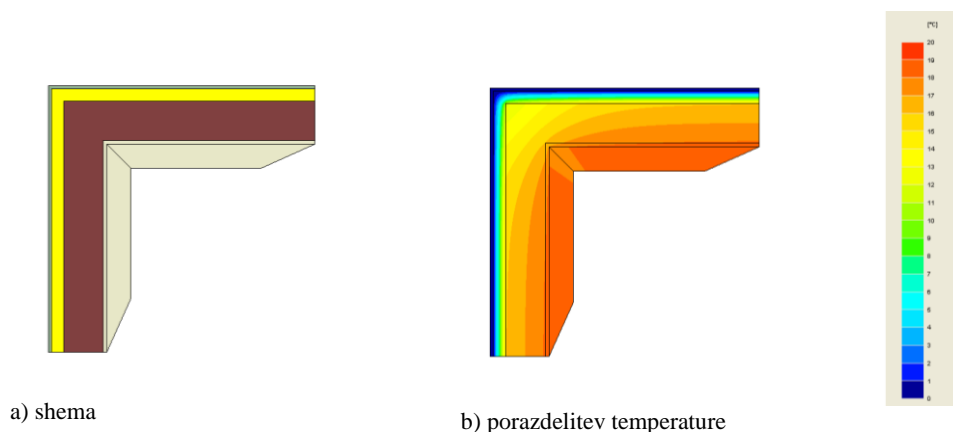
Konstrukcijski oz. materialni toplotni most (Slika 1) je posledica lokalne spremembe sicer enakomernega toplotnega upora na ovoju stavbe. Do tega pride, ko je ovoj stavbe prekinjen ali predrt z materialom, ki ima veliko toplotno prevodnost in ki ni toplotno zaščiten ne z zunanje ne z notranje strani. Poseben primer toplotnega mostu je navlažen del konstrukcije, še posebej materiala za toplotno izolacijo, saj se mu zaradi vsebnosti vlage toplotna prevodnost poveča. V fazi načrtovanja in izvedbe se jim lahko izognemo. Pogosta mesta konstrukcijskih toplotnih mostov so predvsem ob prebojih stavbnega ovoja, obodu stavbnega pohištva, vertikalnih protipotresnih vezeh, nadaljevanjih armiranobetonskih plošč v balkone, strojnih inštalacijah v ovoju in območju temelja zunanje stene [7].



Slika 1: Konstrukcijski toplotni most, prikazan v računalniškem programu Kobra NL [8]

2.2.2 Geometrijski toplotni mostovi

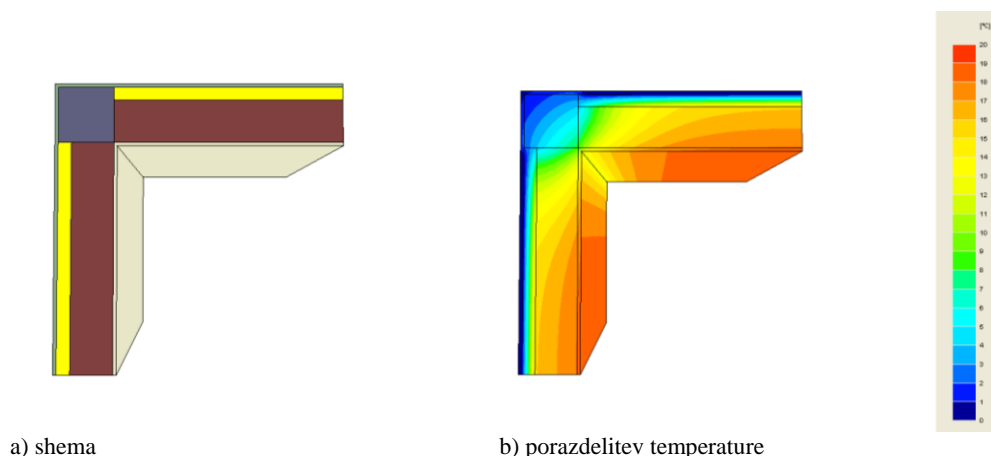
Geometrijski toplotni most nastopi na delu ovoja stavbe, pri katerem je zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precej večja od notranje. Geometrijskim toplotnim mostovom se v praksi ne moremo izogniti, lahko pa njihov vpliv močno omilimo. Kot osnovno pravilo velja, da se je potrebno izogibati stikom pod kotom, manjšim od 90° , ukrivljeni elementi ali sklopi pa naj imajo čim večji radij. Tipičen primer geometrijskega toplotnega mostu je zunanji vogal stavbe (Slika 2). Pomen geometrijskih toplotnih mostov se manjša z debelino toplotne zaščite na zunanji strani ovoja stavbe [1].



Slika 2: Geometrijski toplotni most, prikazan s programsko opremo KobraNL [8]

2.2.3 Kombinirani toplotni mostovi

Kombinirani toplotni most je kombinacija geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu. Značilni primeri so armiranobetonska vogalna vez (Slika 3), armiranobetonski stebler v zunanji steni, ki sega preko zunanje ravnine zidu, armiranobetonska balkonska plošča in podobno [1].



Slika 3: Geometrijski toplotni most, prikazan s programsko opremo KobraNL [8]

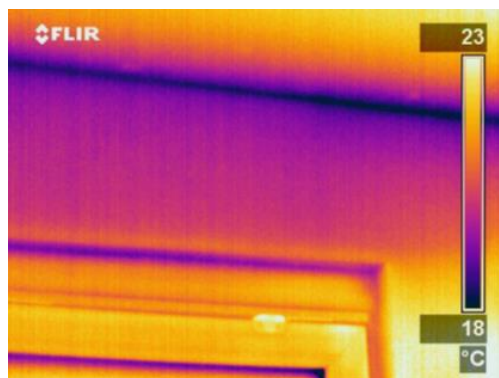
2.2.4 Konvekcijski toplotni most

Konvekcijski toplotni most nastopi na mestih, kjer je zaradi prekinitev ali netesnosti notranje opne stavbnega ovoja omogočen vdor notranjega, navlaženega zraka v konstrukcijo in navzven. Značilen primer je netesen preklon parne ovire tople strehe [7].

2.3 Oblike toplotnih mostov

2.3.1 Linijski toplotni mostovi

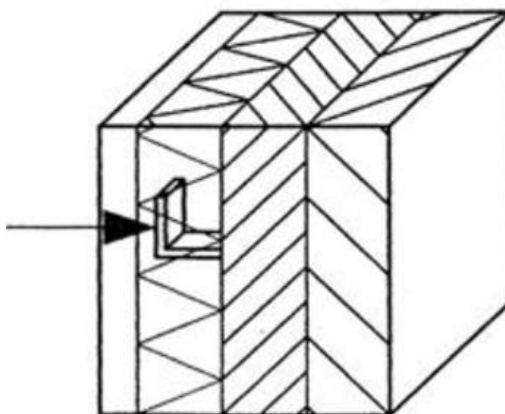
Po definiciji iz standarda EN 10211 in EN 14683 ima linijski toplotni most (Privzeta slika 1) konstanten prerez vzdolž ene izmed treh ortogonalnih osi. V gradbenem elementu se linijski toplotni mostovi raztezajo preko njegove celotne dolžine ali po dolžini, ki je večkratna debelina gradbenega elementa. Linijski toplotni most je zastopan v vseh tipih toplotnih mostov, tako geometrijskih kot materialnih (konstrukcijskih).



Privzeta slika 1: Primer linijskega toplotnega mostu, prikazan s termografskim posnetkom [9]

2.3.2 Točkovni toplotni mostovi

Standard ISO 10211 opredeli točkovne toplotne mostove (Privzeta slika 2) kot lokalizirane toplotne mostove, katerih vpliv na skupni toplotni tok je predstavljen s točkovno toplotno prehodnostjo. Najpogosteje so materialnega značaja, na primer konstrukcijski elementi s funkcijo pritrjevanja in povezovanja, kot so masivna pritrčila fasadnih oblog na masivni zid. V praksi jih v nasprotju z linijskimi pogosto zanemarimo.



Privzeta slika 2: Primer točkovnega toplotnega mostu [9]

2.4 Posledice toplotnih mostov

Skozi dele zunanje ovojne stavbe, kjer je toplotna prevodnost povečana, se poveča tudi toplotni tok. Toplotni mostovi so tako razlog za povečane transmisijske izgube, kar ima negativen vpliv na toplotno bilanco. Koliko točno vplivajo toplotni mostovi na povečanje porabe energije v stavbi, je zelo odvisno od specifičnega primera. Določeni geometrijski toplotni mostovi imajo pozitiven vpliv na toplotno bilanco, saj je toplotni tok skozi njih oslabiljen – na primer konkavni vogali, saj imajo zunaj površino manjšo od notranje.

V območju toplotnih mostov se temperatura notranje površine zniža. Kadar vlažen topel zrak naleti na hladno površino in se ohladi pod temperaturo nasičenja (rosišča), pride do površinske kondenzacije vodne pare. Če do tega pojava prihaja pogosteje, se na teh mestih pogosto razvijejo plesni (Privzeta slika 3) [10]. Temne lise plesni niso le neestetske, ampak imajo lahko pri občutljivejših ljudeh tudi zdravstvene posledice v obliki respiratornih in drugih alergij, ki jih povzročajo trosi. Na površine, ki so se z kondenzacijo vodne pare navlažile, se tudi pogosteje nabira in useda prah. Učinkovita načina za preprečevanje površinske kondenzacije sta višanje temperature zraka notranjih prostorov in/ali prezračevanje, s čimer se toplotne izgube dodatno povečajo [11].



Privzeta slika 3: Plesen v vogalu notranjega prostora [10]

Kot že opisano, lahko toplotni most povzroči nabiranje vlage. Na dolgi rok pa vlaga, ki se zadržuje v gradbenem elementu, povzroči njegove poškodbe ali celo uničenje. Večji kot je učinek delovanja toplotnega mosta, bolj se gradbeni element ohlaja, bolj se vlaži, delovanje toplotnega mostu pa se posledično še poveča. Pojavijo se lahko različni negativni pojavi, kot npr. korozija, odpadanje ometa, nastanek plesni, rast gob in celo izguba nosilnosti [12].

Nizka površinska temperatura, do katere pride zaradi toplotnih mostov, vpliva tudi na toplotno ugodje ljudi. Človeško telo seva proti ohlajeni površini intenzivneje (sevalna asimetrija), posledično nas lahko v del telesa zebe. Ta pojav stanovalci ponavadi odpravijo tako, da povečajo temperaturo notranjega zraka, s tem pa nastanejo tudi višji stroški ogrevanja [12].

3 ZAKONODAJA IN REGULATIVA

3.1 PURES 2010

Gradbeni predpis, ki za stavbe podrobneje opredeljuje bistveno zahtevo Uredbe (EU) 305/2011: »varčevanje z energijo in ohranjanje toplote« [13] je Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES 2010) [14]. V tem pravilniku so določene zahteve za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, priprave tople pitne vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanju deleža obnovljivih virov energije stavbe ter način izračuna energijskih lastnosti stavbe. Poleg energetske-tehničnih vidikov rabe energije zajema tudi področji zdravja in učinkovitosti, ki sta pomembna vidika trajnostne gradnje.

Doseganje učinkovite rabe energije v stavbah oziroma izpolnjevanje zahtev pravilnika PURES 2010 se dokazuje v elaboratu gradbene fizike za področje učinkovite rabe energije v stavbah (elaborat URE). Povzetki izračunov iz elaborata morajo biti navedeni v obrazcu »Izkaz energijskih lastnosti stavbe«, ki mora biti priložen projektu za izdajo gradbenega dokumenta.

Na temo toplotnih mostov PURES 2010 v 9. členu navaja: »Stavbe je treba projektirati in graditi tako, da je vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po energiji za ogrevanje in hlajenje čim manjši in da toplotni mostovi ne povzročajo škode stavbi ali njenim uporabnikom.« [14]

3.2 Tehnična smernica TSG-1-004:2010

Tehnično smernico za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (v nadaljevanju TSG 4) [15] določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseg zahtev pravilnika PURES 2010 in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna.

V Zakonu o graditvi objektov [16] je tehnična smernica opredeljena kot »dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta uredi natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov oziroma materialov, ki se smejo vgrajevati, ter načini njihove vgradnje in način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopke, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene.«

Na temo toplotnih mostov TSG 4 navaja:

- Vpliv toplotnih mostov na letno potrebo po toploti mora biti čim manjši. Toplotnim mostovom z linijsko toplotno prehodnostjo $\Psi > 0,2 \text{ W/mK}$ (standard EN 14683 ali EN 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 EN 10211 z upoštevanjem klimatskih pogojev kot pri prehodu vodne pare.

- V računu potrebne toplote za ogrevanje se vpliv toplotnih mostov upošteva po standardih EN 13789, EN 14683 oziroma EN 10211.
- Če imajo vsi toplotni mostovi v stavbi linijsko toplotno prehodnost $\Psi < 0,2 \text{ W/mK}$, se lahko njihov vpliv upošteva na poenostavljen način s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ [15].

Tako PURES 2010 kot tudi tehnična smernica ne določata podrobnih zahtev o projektiranju rešitev toplotnih mostov.

3.3 Relevantni standardi

Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe je potreba po toploti, ki jo je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur v obdobju ogrevanja, določena po standardu EN 13790.

Standard EN 10211 je namenjen izračunu toplotnih mostov na ovoju zgradbe. Obravnava področje toplotnih tokov in spremembe površinskih temperatur. Toplotni most običajno povzroča tro- ali dvodimenzionalni toplotni tok, ki ga lahko natančno določimo z uporabo numeričnih metod, opisanih v tem standardu. Obstajajo tudi alternativne nenumerične metode, opisane v standardu EN 14683, s katerimi je možno določiti toplotne izgube manj natančno.

4 METODE ZA DOLOČITEV VPLIVOV TOPLOTNIH MOSTOV

4.1 Tipi metod za določitev linijske toplotne prehodnosti Ψ

V splošnem lahko vplive točkovnih toplotnih mostov, v kolikor so rezultat križanja linijskih toplotnih mostov, zanemarimo. Tako bomo v nadaljevanju podrobneje obravnavali le linijske toplotne mostove. Vpliv linijskih toplotnih mostov kvantitativno opredelimo z linijsko toplotno prehodnostjo Ψ (W/mK), katere definicija se glasi: »toplotni tok, deljen z dolžino in temperaturno razliko med okoljema na vsaki strani toplotnega mostu.« [3]

Ko se odločamo za tip metode, s katero bomo določili linijsko toplotno prehodnost, moramo upoštevati, da je natančnost uporabljene metode v sorazmerju s splošno natančnostjo izračuna celotne toplotne prehodnosti, pozorni pa smo tudi na dolžino obravnavanih toplotnih mostov. Standard EN 14683 podaja možne metode za določitev Ψ in njihovo natančnost [3]:

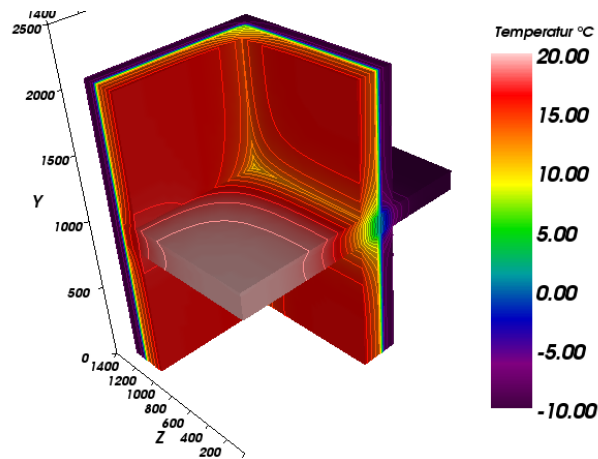
- numerični izračuni (+/- 5 %),
- katalogi toplotnih mostov (+/- 20 %),
- privzete vrednosti (od 0 do 50 %).

Pri stavbah, kjer je znana velikost in splošna oblika, detajli pa še niso načrtovani, lahko le grobo ocenimo prispevek toplotnih mostov z uporabo privzetih vrednosti. Ko je razpoložljiva zadostna količina informacij, lahko točneje ocenimo Ψ za vsak toplotni most tako, da jih v katalogih primerjamo z najbolj podobnimi. Najnatančnejše vrednosti dobimo na podlagi numeričnih izračunov.

Standard ISO 14683 navaja kot metodo za določitev Ψ tudi enostavne izračune, ki se nanašajo le na specifične tipe toplotnih mostov. Primera uporabe metode v praksi in drugi strokovni literaturi nismo zasledili, zato je ne obravnavamo podrobneje.

4.1.1 Numerični izračuni

Linijska toplotna prehodnost Ψ je izračunana v skladu s standardom EN 10211, ki ga bomo podrobneje predstavili v poglavju 4.3. Omenjeni standard določa natančne geometrijske modele toplotnih mostov in postopke za izračun površinske temperature in toplotnega toka, na podlagi katerega določimo linijsko toplotno prehodnost [4]. Za numerični izračun je na voljo vrsta programske opreme, s pomočjo katere lahko v skladu z EN 10211 simuliramo pojav toplotnega mostu v gradbenih konstrukcijah. Potrebno je predznanje za pravilen vnos vhodnih podatkov o geometriji, sestavi in robnih pogojih obravnavane konstrukcije. Izhodni podatki so pogosto podani tudi grafično (Privzeta slika 4).



Privzeta slika 4: Grafični prikaz porazdelitve temperature skozi gradbeno konstrukcijo [17]

4.1.2 Katalogi toplotnih mostov

Tipi toplotnih mostov, ki so na voljo v katalogih toplotnih mostov (Privzeta slika 5), imajo pravzaprav fiksne parametre (npr. dimenzije in material), zato se ne ujemajo točno z dejanskimi, ki jih obravnavamo. Kljub temu lahko uporabimo vrednost Ψ , če je zagotovljeno, da ima detajl v katalogu podobne ali slabše toplotne lastnosti v primerjavi z obravnavanim. Numerični izračuni, s katerimi je določena vrednost Ψ primerov v katalogu, morajo biti izvedeni v skladu z standardom ISO 10211 [4]. Katalogi toplotnih mostov so hitra in enostavna metoda za določitev Ψ , katere točnost je primerljiva z numeričnim izračunom, če se obravnavani detajl popolnoma ujema s primerom iz kataloga. Vendar v katalogih ni možno zajeti vseh tipov toplotnih mostov, ki se pojavijo v praksi [18].

Backstein ungedämmt, Kompaktfassade	1.3-A2					
U-Wert Wand in $W/(m^2 \cdot K)$	U-Wert Dach in $W/(m^2 \cdot K)$				Ψ -Wert in $W/(m \cdot K)$	
	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
0.15	0.06	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07
0.20	0.06	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08
0.25	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09	0.08
0.30	0.04	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
0.35	0.03	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08
0.40	0.02	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07

Einschränkungen Zuschläge

Privzeta slika 5: Primer detajla v katalogu toplotnih mostov [19]

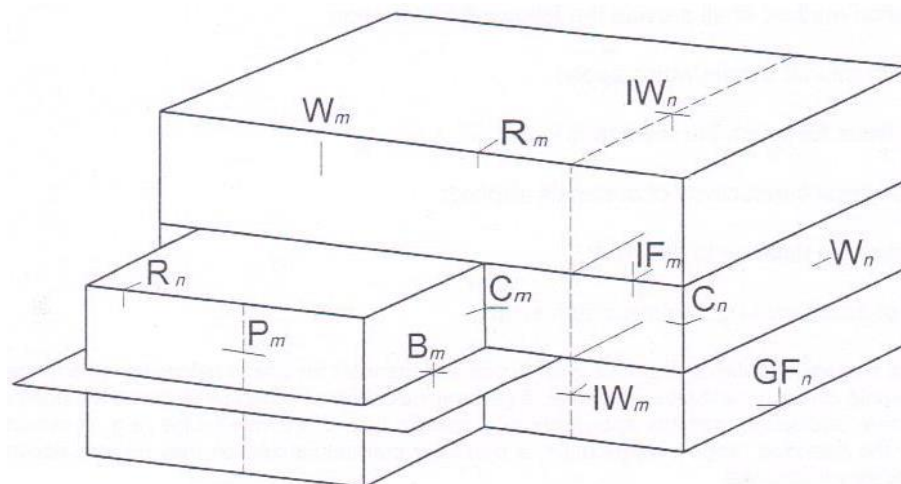
4.1.3 Privzete vrednosti

Tabele s privzetimi vrednostmi linijske toplotne prehodnosti so predstavljene v EN 14683, ki ga bomo podrobneje obravnavali v poglavju 4.2. Predlagane vrednosti so izračunane z znanimi parametri, ki zajemajo toplotno slabše zasnovane detajle in materiale. Uporabimo jih, kadar nam natančnejši detajli niso znani ali kadar potrebujemo le grobo oceno Ψ značilnih primerov toplotnih mostov.

4.2 Standard SIST EN ISO 14683

Standard EN 14683 podaja privzete vrednosti linijske toplotne prehodnosti Ψ za vrsto značilnih toplotnih mostov, izračunanih na podlagi standardnih parametrov. Privzete vrednosti Ψ uporabimo, kadar nimamo točnih vrednosti, v primeru neznanih detajlov toplotnega mostu ali kadar je groba vrednost linijske toplotne prehodnosti zadostna pri oceni skupnih toplotnih izgub.

Privzete vrednosti Ψ , ki v splošnem predstavljajo maksimalni vpliv toplotnih mostov, so izračunane za dvodimenzionalne modele v skladu z EN 10211. Upoštevamo jih samo pri obravnavi toplotne prehodnosti, ne pa pri kritičnih površinskih temperaturah, pri katerih pride do kondenzacije. Privzeta slika 9 prikazuje tipične lokacije značilnih linijskih toplotnih mostov, ki so obravnavani v standardu. Oznake se nanašajo na konstrukcijske elemente, kjer poteka posamezni toplotni most [3].



Privzeta slika 6: Lokacije toplotnih mostov [3]

Linijske toplotne prehodnosti posameznih detajlov so podane za tri dimenzijske sisteme [3] :

- Ψ_i temelji na notranjih dimenzijah, merjenih med notranjimi površinami vsake sobe v stavbi.
- Ψ_{oi} temelji na skupnih notranjih dimenzijah, merjenih med notranjimi površinami zunanjih elementov stavbe.
- Ψ_e temelji na zunanjih dimenzijah, merjenih med zunanji površinami zunanjih elementov stavbe.

Vsak od sistemov je uporaben, paziti moramo le, da isti sistem dosledno uporabljamo pri vseh toplotnih mostovih na stavbi, saj so od njega vrednosti Ψ . Pomembno pa je, da izberemo enak dimenzijski sistem, kot ga uporabimo pri določevanju površin toplotnih prehodnosti celotne stavbe.

V Sloveniji tehnična smernica TSG 4 določa zunanji sistem določanja mer.

Na privzeti sliki 7 so podani parametri, na katerih so izračunane privzete vrednosti Ψ . Ti parametri so bili izbrani tako, da so vrednosti Ψ kar najboljše maksimalnim, ki se pojavljajo v praksi.

For all details:		$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
For external walls:		$d = 300 \text{ mm}$
For internal walls:		$d = 200 \text{ mm}$
For walls with an insulation layer:	— thermal transmittance	$U = 0,343 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
For lightweight walls:		$U = 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
For ground floors:	— floor slab	$d = 200 \text{ mm}$
	— thermal conductivity of ground	$\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
For intermediate floors:		$d = 200 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
For roofs:	— thermal transmittance	$U = 0,365 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
	— thermal resistance of insulation layer	$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
For the frames in openings:		$d = 60 \text{ mm}$
For columns:		$d = 300 \text{ mm}$ $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Privzeta slika 7: Parametri za izračun standardnih vrednosti Ψ [3]

Vsi toplotni mostovi iz standarda EN 14683 so shematično prikazani v tabeli (Privzeta slika 11), kjer so razporejeni glede na konstrukcijske elemente in pozicije toplotne izolacije. Za vsak prikazan most so podane vrednosti linijskih toplotnih prehodnosti, zaokrožene na 0,05 W/mK.

Wall	Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	Insulating layer	Slab/pillar	Window frame
Pillars				
 $e = 2\ 300$ 300 $i, oi = 2\ 300$ P1 $\Psi_e = 1,30$ $\Psi_{oi} = 1,30$ $\Psi_l = 1,30$	 P2 $\Psi_e = 1,20$ $\Psi_{oi} = 1,20$ $\Psi_l = 1,20$	 P3 $\Psi_e = 1,15$ $\Psi_{oi} = 1,15$ $\Psi_l = 1,15$	 P4 $\Psi_e = 0,90$ $\Psi_{oi} = 0,90$ $\Psi_l = 0,90$	

Slika 4: Tabela toplotnih mostov z privzetimi vrednostmi linijskih toplotnih prehodnosti [3]

Standardu EN 14683 je priložen tudi praktičen primer njegove uporabe. Vpliv linijskih in točkovnih toplotnih mostov je upoštevan v koeficientu specifičnih transmisijskih toplotnih izgub, H_D , ki se ga izračuna po enačbi (1)

$$H_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j \quad (1)$$

kjer so:

- H_D količnik specifičnih transmisijskih toplotnih izgub [W/K],
- U_i toplotna prehodnost i-tega homogenega konstrukcijskega sklopa [W/m²K],
- l_k dolžina linijskega toplotnega mostu,
- Ψ_k linijska toplotna prehodnost [W/mK],
- χ_j točkovna toplotna prehodnost [W/K].

V standardu so točkovni toplotni mostovi zanemarjeni.

4.3 Standard SIST EN ISO 10211

Standard EN 10211 določa specifikacije za izdelavo geometričnih modelov toplotnih mostov za numerični izračun:

- toplotnega toka (z namenom ugotovitve vpliva toplotnih mostov na toplotno bilanco),
- najnižje površinske temperature (z namenom ocene nastanka kondenzacije).

Uporaben pa je tudi za izpeljavo natančne vrednosti linijske toplotne prehodnosti toplotnih mostov, ki so tema diplomske naloge. Celoten standard temelji na predpostavkah, da so vse fizikalne lastnosti konstrukcije neodvisne od temperature in da v konstrukcijskih elementih ni virov toplote.

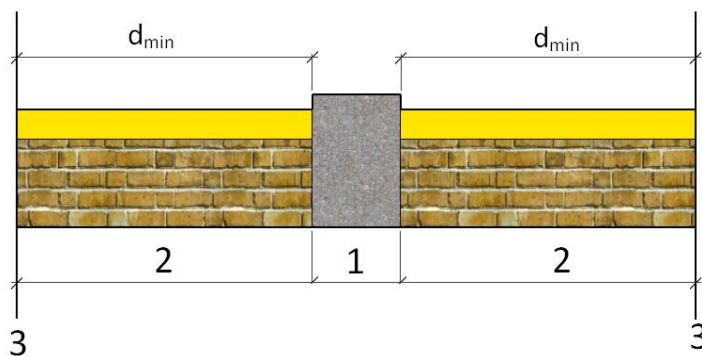
Standard EN 10211 za numerični izračun linijske toplotne prehodnosti določa:

- osnovne definicije in izraze,
- pravila za modeliranje geometrijskih modelov in njihovo poenostavitev,
- referenčne dokumente za določitev toplotne prehodnosti in robnih pogojev modelov,
- računske metode in enačbe,
- zahteve in referenčne primere za potrditev ustreznosti uporabljene numerične metode.

V sledečih podpoglavjih je povzeta vsebina standarda EN 10211, relevantna za numerični izračun linijske toplotne prehodnosti obravnavanih toplotnih mostov v okviru diplomske naloge. Pri razlagi se bomo omejili na dvodimenzionalne modele in toplotne tokove, ki so podlaga za izračun Ψ .

4.3.1 Geometrijski model

Numerični geometrijski model predstavlja vplivno območje toplotnega mosta v konstrukciji stavbe, ki ga omejimo z uporabo razdelilnih ravnin. Zajema centralni element, kjer poteka lokalna sprememba toplotnega toka, ter stranske vplivne elemente, katerih dolžina je določena (Slika 5).



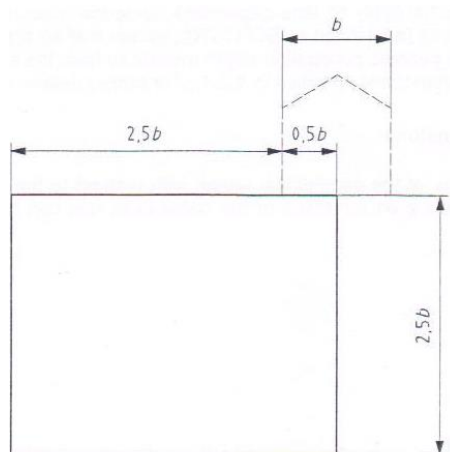
Legenda:

- 1 centralni element
- 2 stranski element
- 3 razdelilna ravnina
- d_{min} vplivna dolžina stranskega elementa

Slika 5: Shema geometrijskega modela toplotnega mostu

Upoštevati moramo pravilo, da je vplivna dolžina stranskega elementa d_{min} daljša od enega metra oziroma trikratna debelina stranskega elementa modela. V primeru, da je razdalja med posameznimi toplotnimi mostovi krajša, razdelilna ravnina poteka na sredini med njimi.

Modeli lahko vsebujejo sloj pod terenom. V tem primeru pozicioniramo razdelilno ravnino v zemljini v skladu s pravilom na privzeti sliki 8.



Privzeta slika 8: Razdelilna ravnina za geometrijske modele, ki vključujejo sloj zemljine [4]

4.3.2 Poenostavitve geometrijskega modela

Geometrijski model je razdeljen na manjše celice v skladu s sloji materialov v dejanski konstrukciji toplotnega mostu. Pri materialih s toplotno prehodnostjo manjšo od 3 W/mK lahko geometrijski model posameznega toplotnega mostu poenostavimo, in sicer na sledeče načine:

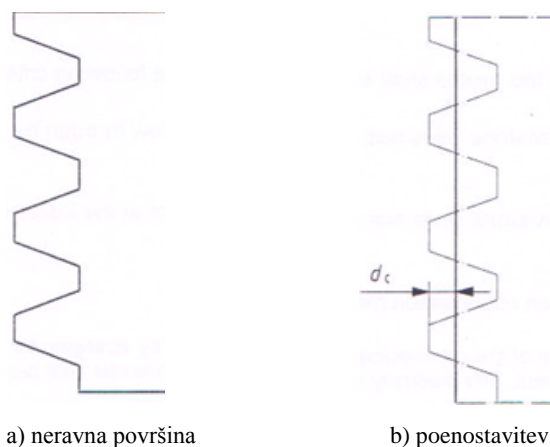
a) Neravne površine lahko lokalno izravnamo (Privzeta Slika 9), vendar faktor d_c ne sme prekoračiti:

$$d_c = R_c \times \lambda \quad (2)$$

kjer je

R_c 0,03 m²K/W,

λ toplotna prevodnost materiala.



Privzeta slika 9: Poenostavitev neravne površine [4]

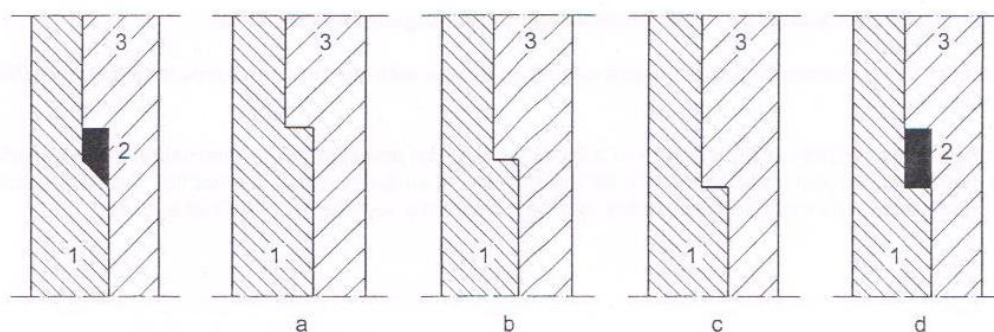
b) Zanemarimo tanke sloje:

- nekovinske sloje z debelino, manjšo od 1 mm, lahko ignoriramo (parne ovire),
- tanke kovinske sloje lahko ignoriramo, če je ugotovljeno, da imajo zanemarljiv vpliv na prenos toplote.

c) Zanemarimo elemente stavbe, ki so točkovno pritrjeni na zunanjo površino (žlebovi, izlivne cevi).

d) Poenostavimo stičišča različnih elementov (niše tesnil, stikališča, povezovalni elementi):

- spremembe stičišč morajo potekati pravokotno na notranjo površino,
- spremembe stičišč morajo biti takšne, da material z nižjo toplotno prevodnostjo nadomestimo z materialom z višjo (Privzeta slika 10).



Combination		Simplifications			
Material block	Thermal conductivity	a	b	c	d
1	λ_1	$\lambda_1 > \lambda_2$	$\lambda_1 > \lambda_3$	$\lambda_1 < \lambda_3$	$\lambda_1 < \lambda_2$
2	λ_2				
3	λ_3		$\lambda_3 > \lambda_2$	$\lambda_3 > \lambda_2$	$\lambda_3 < \lambda_2$

Privzeta slika 10: Poenostavitve stičišč v odvisnosti od toplotne prevodnosti materialov [4]

Standard določa tudi metodo poenostavitve modelov z uporabo kvazihomogenih slojev. Kvazihomogeni sloj vsebuje dva ali več različnih materialov z različnimi toplotnimi prevodnostmi, ki jih lahko nadomestimo z enim materialom z enotno toplotno prevodnostjo (vijaki v lesenih letvah). Vključitev manjših linijskih in točkovnih toplotnih mostov v kvazihomogen sloj velja samo pod določenimi pogoji:

- nehomogene plasti se nahajajo na delu konstrukcije, ki po poenostavitvi postane stranski element,
- toplotna prevodnost kvazihomogene plasti po poenostavitvi ni več kot 1,5-krat večja od najmanjše toplotne prevodnosti materialov, predstavljenih v tem sloju pred poenostavitvijo.

4.3.3 Vhodni podatki

Porazdelitev temperature in toplotni tok skozi gradbeno konstrukcijo se lahko izračuna, če poznamo robne pogoje in toplotno prevodnost posameznih homogenih celic geometrijskega modela.

Vrednosti toplotne prevodnosti materialov (λ) morajo biti ali izračunane v skladu s standardom SIST EN ISO 10456:2008 [20] ali odčitane iz tabel omenjenega standarda. Če nimamo natančnejših podatkov, lahko za toplotno prevodnost zemljine vzamemo vrednost 2,0 W/mK. Zračne votline moramo obravnavati kot homogene materiale z določeno toplotno prevodnostjo. Pri izračunu toplotnih tokov potrebujemo podatke o uporih mejnih zračnih plasti (R_{se} , R_{si}), vrednosti morajo biti v skladu s standardom SIST EN ISO 6946:2008 [21]. Robni pogoji modelov vključujejo tudi podatke o notranjih in zunanjih temperaturah. V primeru, da ne poznamo točnih temperatur neogrevanih con, jih lahko

izračunamo v skladu s standardom SIST EN ISO 13789:2008 (v nadaljevanju EN 13789) [22]. V razdelilnih ravninah upoštevamo adiabatne robne pogoje.

4.3.4 Postopek numeričnega izračuna

Geometrični model je razdeljen na manjše celice, vsaka vsebuje karakteristične točke (vozlišča). Z uporabo zakona o ohranitvi energije, zakona o prevajanju toplote (Fourierjev zakon) in z upoštevanjem robnih pogojev dobimo sistem enačb, katerih spremenljivke so temperature vozlišč. Sistem enačb rešimo z direktnim izračunom ali z metodo iteracije. Iz porazdelitve temperatur v vozliščih se toplotni tok izračuna z uporabo Fourierjevega zakona.

Porazdelitev temperature znotraj posamezne celice določimo z interpolacijo med znanimi temperaturami vozlišč. Rezultate izračunov potrebujemo za določitev linijske toplotne prehodnosti in površinskih temperatur.

4.3.5 Določitev toplotnega toka, koeficienta toplotne sklopitve in linijske toplotne prehodnosti

Toplotni tok (na meter dolžine), Φ_l , linijskega toplotnega mostu med notranjim in zunanjim okoljem:

$$\Phi_l = L_{2D} (\theta_i - \theta_e) \quad (3)$$

kjer so:

- L_{2D} koeficient toplotne sklopitve, pridobljen iz 2D-izračuna za element, ki ločuje okolji,
- θ_i temperatura notranjega okolja,
- θ_e temperatura zunanjega okolja.

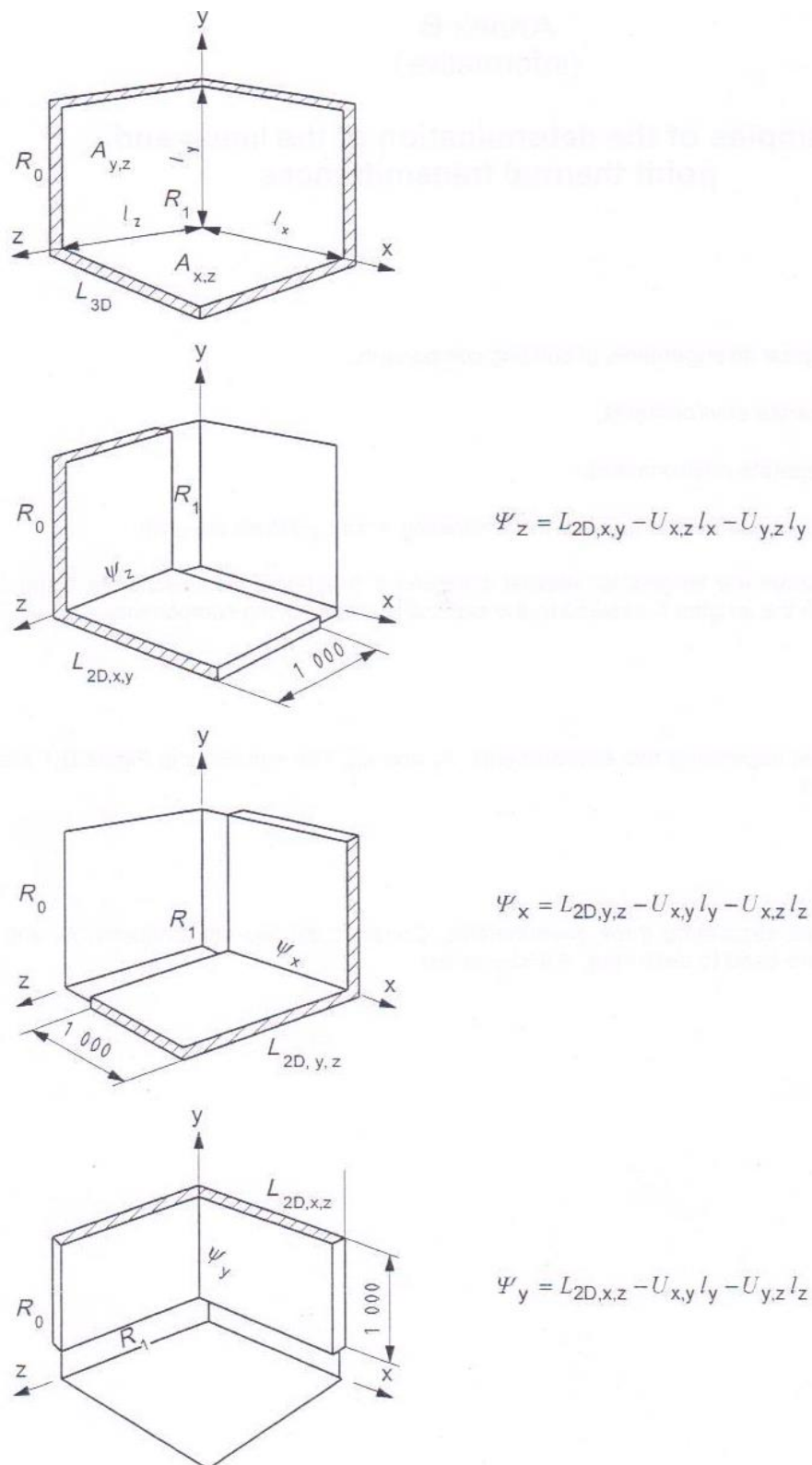
Za linijski toplotni most, ki ločuje dve okolji, je linijska toplotna prehodnost (Ψ) določena kot:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad (4)$$

kjer so:

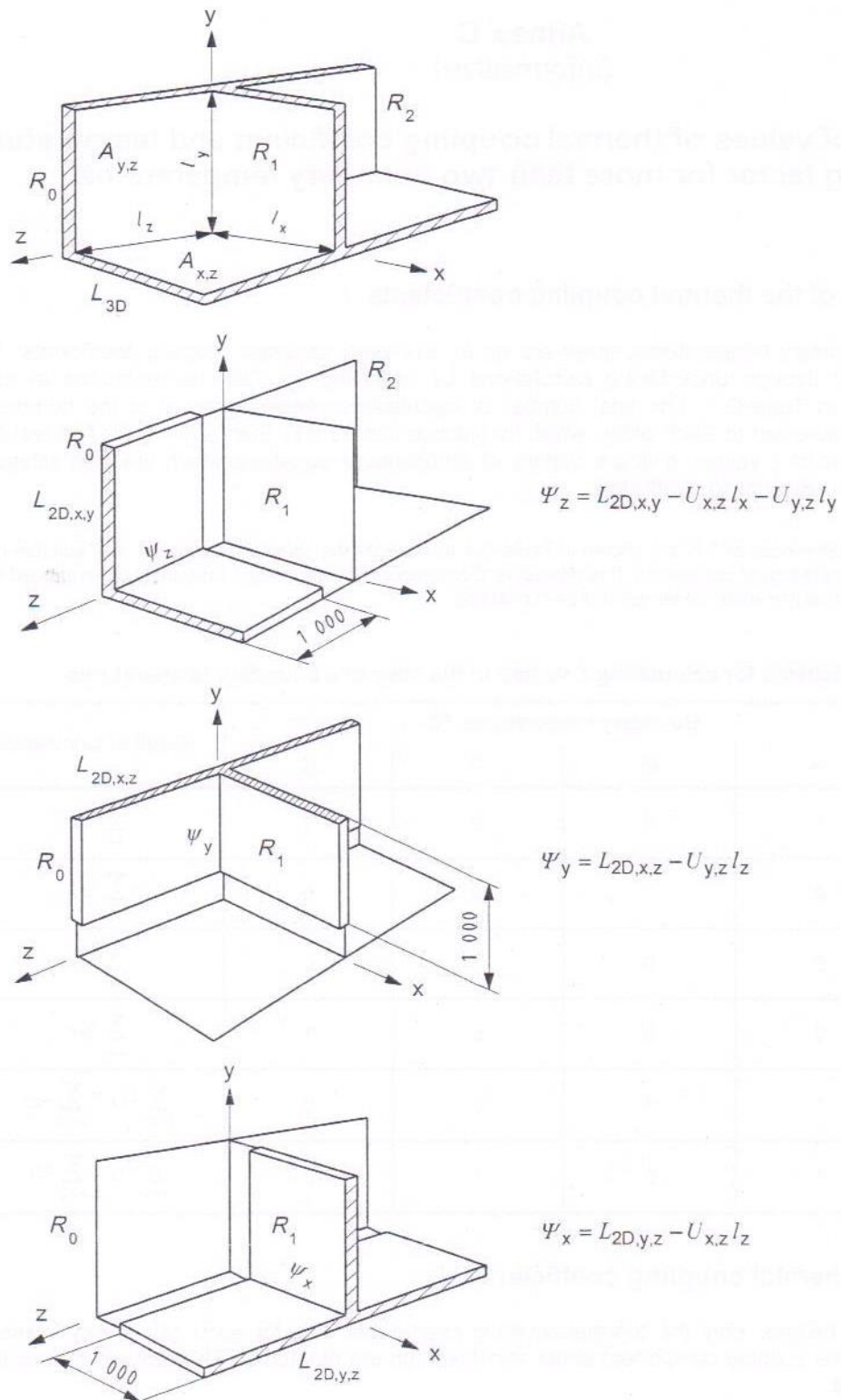
- U_j toplotna prehodnost 1-D elementa j, ki ločuje obravnavani okolji,
- l_j dolžina znotraj 2-D elementa, na katero se nanaša vrednost U_j ,
- N_j število 1D-elementov.

Vrednost Ψ posameznega toplotnega mostu se razlikuje v odvisnosti od uporabljenega dimenzijskega sistem, zato moramo poleg vrednosti Ψ navesti tudi uporabljen sistem. Standardu so priloženi primeri za določitev linijske toplotne prehodnosti, ko gradbena konstrukcija ločuje dve (Privzeta slika 11) ali tri različna okolja (Privzeta slika 12).



Privzeta slika 11: Primeri določitve vrednosti Ψ , ko gradbena konstrukcija ločuje dve okolji [4]

Enačbe na privzetih slikah 11 in 12 so izpeljane iz enačbe 4. Ponazorjene dolžine se nanašajo na notranje dimenzije, iste formule uporabimo v primeru zunanjih dimenzij.



Privzeta slika 12: Primeri določitve vrednosti Ψ , ko gradbena konstrukcija ločuje tri okolja [4]

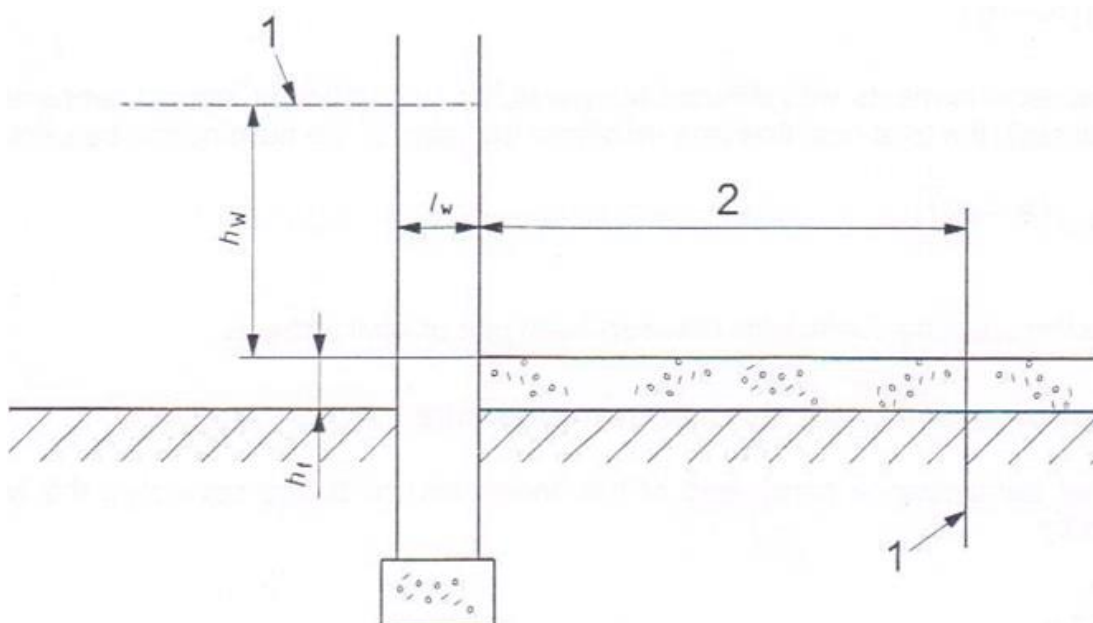
4.3.6 Določitev linijske toplotne prehodnosti za križanje stene/tal na terenu

Linijsko toplotno prehodnost za križanje stene/tal (Privzeta slika 13) na terenu določimo z uporabo dvodimenzionalnega geometrijskega modela in numeričnega izračuna. Modeliramo celoten detajl križanja, vključno s polovično širino pritličja (B') ali 4 m (kar je manjše). Odsek stene modeliramo do višine h_w , kjer je po splošnih kriterijih pozicionirana razdelilna ravnina. Dimenzije modela zunaj stavbe in pod terenom segajo $2,5 \times$ širina pritličja ali 20 m (izberemo manjšo vrednost).

Z upoštevanjem robnih pogojev določimo vrednost koeficienta toplotne sklopitve in izračunamo toplotno prehodnost tal (U_g) in stene nad terenom (U_w). Nato lahko določimo linijsko toplotno prehodnost za notranje ali zunanje dimenzije iz enačbe 5 ali enačbe 6.

$$\Psi_g = L_{2D} - h_w U_w - 0,5 \times B' U_g \quad (5)$$

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_w + h_f) U_w - 0,5 \times (B' + l_w) U_g \quad (6)$$



Legenda:

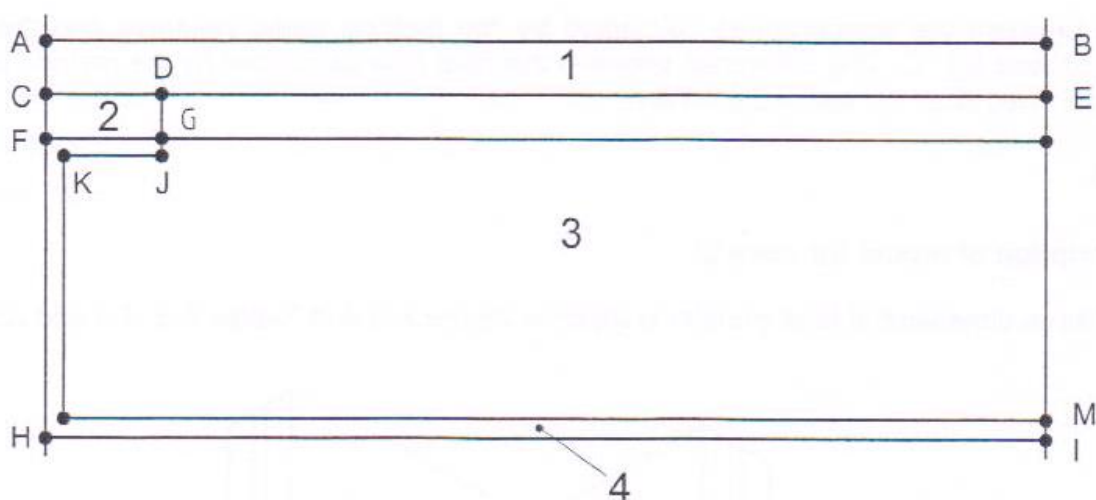
- 1 razdelilna ravnina
- 2 $0,5 \times B'$ ali 4 m
- h_f debelina talne plošče nad terenom
- h_w vplivna višina stene
- l_w debelina stene

Privzeta slika 13: Shema križanja stene/tal na terenu [4]

4.3.7 Validacija numeričnih izračunov

Numerične izračune izvedemo s programsko opremo, katere delovanje moramo preveriti na referenčnih testnih primerih, podanih v prilogi standarda. Podana sta dva dvodimenzionalna in dva tridimenzionalna testna primera. Da lahko programsko opremo uporabimo pri izračunu 3D-modelov toplotnih mostov, moramo delovanje preveriti na vseh podanih primerih.

Programsko opremo za izračun 2D-modelov gradbenih konstrukcij pa preverimo le na dveh dvodimenzionalnih testnih primerih. S prvim preverimo točnost izračuna porazdelitve temperature, z drugim (Privzeta slika 14) pa tudi dvodimenzionalni toplotni tok. Določene so točne dimenzije modela, toplotna prevodnost materialov in robni pogoji. Razlike med rezultati temperatur numeričnega izračuna in referenčnimi rezultati testnega primera ne smejo presegati $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri toplotnem toku razlika ne sme presegati $0,1\text{ W/m}$.



Legenda:

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | beton |
| 2 | les |
| 3 | toplotna izolacija |
| 4 | aluminij |

Privzeta slika 14: Testni primer za izračun porazdelitve temperature in toplotnega toka [4]

Validacija programske opreme v skladu s testnimi primeri nam da prvi indikator kakovosti izračuna. Vendar testni primeri ne zadostujejo za zagotovilo pravilnega izračuna vseh primerov, ki jih srečujemo v praksi. Vsi štirje testni primeri temeljijo na pravokotni geometriji, ne vsebujejo slojev zraka in ne obravnavajo izgub skozi tla ter kompleksnejših robnih pogojev [18].

5 IZHODIŠČNI IZRAČUN LETNE PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE STAVBE

5.1 Opis objekta



Slika 6: Obravnavana stavba

Poslovni objekt (Slika 6) v središču Novega mesta, ki služi kot upravna stavba zavarovalniške družbe, je bil zgrajen leta 1980. V več fazah je bil objekt popolnoma prenovljen, nedotaknjena je ostala le endoskeletna nosilna konstrukcija (Slika 7). Zasnovana je na armirano betonskih (v nadaljevanju AB) okvirjih, ki imajo v obeh glavnih smereh raster stebrov 6,4 m. Stebri so povezani z nosilci, vmesna polja pa zapolnjujejo AB-plošče, debeline 16 cm. Klet in jedro zgradbe (stopnišče ter jašek dvigala) sta izvedena kot AB-eksoskeletna konstrukcija. Konstruktivne višine etaž v trinadstropnem objektu so različne, odvisne od funkcionalnosti prostorov [23].

Prvotna fasada objekta je imela toplotno prehodnost od $U = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (AB-zid s toplotno izolacijo debeline 5 cm) do $U = 4,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (AB-zid brez toplotne izolacije). Okna z aluminijastim okvirjem in dvoslojno zasteklitvijo z vmesno polnitvijo iz zraka so imela toplotno prehodnost 2,9–3,0 $\text{W/m}^2\text{K}$. Zaradi neprimerne toplotne izolativnosti in dotrajanosti zunanjega ovoja objekta je leta 2013 sledila obnova. Fasadni plašč v nadstropjih objekta sedaj predstavlja prezračevana fasada s toplotno izolacijo v debelini 20 cm, tako je toplotna prehodnost zunanje stene zmanjšana na

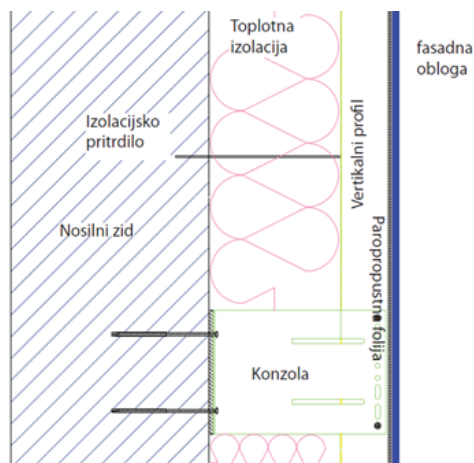
0,160 W/m²K. Nova PVC okna s troslojno zasteklitvijo pa imajo skupno toplotno prehodnost 1 W/m²K [24].



Slika 7: Objekt pred (levo) in po (desno) prenovi

Velik delež zunanega ovoja pritličja je transparenten s toplotno prehodnostjo 1,3 W/m²K. Ravna streha in terase so bile pri prenovi dodatno toplotno izolirane, prekrte z bitumensko hidroizolacijo in zaščitene s plastjo proda. V objekt so vključene vse energetske naprave za samostojno obratovanje, prezračevanje je mehansko z rekuperacijo toplote [24].

Prezračevane fasade (Privzeta slika 15) se od običajnih kontaktnih fasad razlikujejo po tem, da imajo med zaključno fasadno oblogo in toplotno izolacijo prezračevan zračni sloj. Namen prezračevalne plasti zraka je izsuševanje eventualne vlage, ki je posledica kondenzacije vodne pare, ki difuzijsko prehaja skozi konstrukcijo. Vlaga, ki se ne izsuši, namreč poslabša izolativne lastnosti izolacije. Poleti pa prezračevalni kanal preprečuje prekomerno segrevanje stavbe [25].



Privzeta slika 15: Shematičen prikaz prezračevane fasade obravnavanega objekta [25]

5.2 Programsko orodje TOST

Za izračun letne porabe toplote za ogrevanje smo uporabili program TOST, ki je zasnovan na letni energijski bilanci stavbe po standardu EN 13790. Izračun temelji na nizu enačb, v katerih so upoštevani vsi vplivni faktorji za izračun izgub Q_i , dobitkov Q_g in njihovih izkoristkov η ter končne porabe toplote za ogrevanje objekta za vsako računsko obdobje Q_h .

$$Q_h = Q_i - \eta Q_g \quad (7)$$

Delovanje programa je zasnovano na naslednjih predpostavkah, ki imajo vpliv na upoštevanje toplotnih mostov:

- točkovne toplotne mostove se zanemari v celoti,
- od toplotnih mostov med posameznimi conami se upošteva le tiste pri tleh med ogrevanimi in neogrevanimi conami,
- treba je upoštevati zunanji sistem določanja mer, v skladu s standardom EN 13789.

Pri upoštevanju posameznih linijski toplotnih mostov je treba podati linijsko toplotno prehodnost Ψ in dolžino, na katero se most nanaša. Program omogoča tudi poenostavljen račun toplotnih mostov s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

V nadaljnjih poglavjih bomo predstavili vhodne podatke, potrebne za izračun energetske bilance stavbe.

Vhodni podatki zajemajo:

- splošne podatke
- klimatske podatke,
- računsko časovna podobdobja,
- podrobnejše podatke o posameznih conah objekta.

5.3 Splošni podatki

Objekt uvrščamo med nestanovanjske stavbe. Pri izhodiščnem izračunu letne toplote za ogrevanje zgradbe ne bomo upoštevali vpliva toplotnih mostov. Prevodnost zemljine λ_g znaša 2 W/mK . Za ogrevanje, hlajenje in ogrevanje sanitarne vode so na sliki 8 prikazani vrsta energenta, učinkovitost in emisije posameznih sistemov. Točne lastnosti niso znane, zato smo uporabili predpostavljene vrednosti iz uporabniškega priročnika programske opreme TOST [26].

Ogrevanje
 Energent: Zemeljski plin
 Učinkovitost sistemov:
 Generacija: 0,90 Distribucija: 0,95 Emisija: 0,96

Hlajenje
 Energent: Električna energija
 Učinkovitost sistemov:
 Generacija: 3,50 Distribucija: 0,95 Emisija: 0,96

Topla voda
 Energent: Zemeljski plin
 Učinkovitost sistemov:
 Generacija: 0,90 Distribucija: 0,95 Emisija: 0,96

Slika 8: Vhodni podatki o sistemih za ogrevanju, hlajenju in ogrevanju sanitarne vode

5.4 Klimatski podatki

Program TOST na osnovi izbranih koordinat stavbe, ki je zgrajena v središču Novega mesta, upošteva ustrezne klimatski podatke (Slika 9).

Temperaturni primanjkljaj DD (dan K)		Izbrani kvadrat	
Projektna temperatura (°C)	3100	Point ID	16541
Povprečna letna temperatura (°C)	-13	X	513500
Letna sončna energija (kWh/m ²)	1160	Y	73500
Trajanje ogrevalne sezone (dnevi)	230		
Začetek ogrevalne sezone (dan)	270		
Konec ogrevalne sezone (dan)	135		

Mesec	Povprečna temperatura (°C)	Globalno sončno sevanje po orientacijah (MJ/m ² , 90°)					Ogrevanje (dnevi)
		Horizont.	S	V	J	Z	
JAN	0,0	117	32	63	178	82	31
FEB	2,0	191	45	94	236	128	28
MAR	6,0	312	71	155	264	177	31
APR	10,0	446	113	222	256	221	30
MAJ	15,0	541	132	262	235	242	15
JUN	18,0	584	156	260	224	269	0
JUL	20,0	637	147	279	250	292	0
AVG	19,0	530	115	243	269	256	0
SEPT	15,0	370	87	174	264	185	3
OKT	10,0	229	63	114	217	122	31
NOV	5,0	120	39	67	137	64	30
DEC	1,0	93	30	55	133	56	31
Ogrev.sezona	5,7	1809	471	918	1564	990	230

Slika 9: Klimatski podatki

5.5 Računska podobdobja

Obravnavan poslovni objekt je ogrevan na temperaturo 22 °C le v času prisotnosti zaposlenih. V času nezasedenosti je ogrevan na nižje temperature in manj prezračevan, kar prispeva k prihranku energije. Poleg normalnega obratovanja smo tako upoštevali računsko časovna podobdobja za čas noči, vikendov in nezasedenosti v času praznikov. Režim noči je med osemnajsto uro popoldan in peto uro zjutraj vse dni v letu. Točna trajanja posameznih podobdobj prikazuje slika 10.

Mesec	Trajanje časovnega podobdobja t_{sub} (h)			Dni _{nezas}
	Normalno	Noč	Vikend	Nezasedeno
JAN	276	348	96	1
FEB	252	324	96	0
MAR	264	360	120	0
APR	264	336	96	1
MAJ	264	336	96	2
JUN	252	336	108	1
JUL	288	360	96	0
AVG	252	348	120	1
SEP	276	348	96	0
OKT	276	348	96	1
NOV	252	348	120	0
DEC	264	336	96	2
V ogrevalni sezoni	5520	0	0	

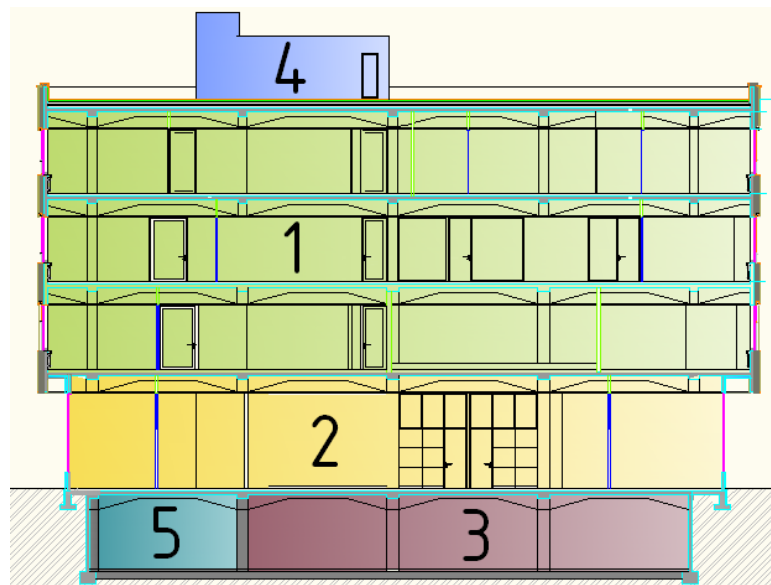
Slika 10: Računska podobdobja

5.6 Podatki o conah

Pred izvedbo analize smo obravnavani objekt razčlenili na pet temperaturnih con. To so prostori, ki nastanejo zaradi različnih dejavnosti, pri katerih so potrebne različne temperature. Posamezna cona obsega prostore oziroma delež tlorisa stavbe. PURES 2010 omogoča, da se, kadar prostornina neogrevanih in manj ogrevanih prostorov (na primer stopnišča, hodniki, avle) ne presega 20 % ogrevane površine stavbe, lahko privzame ena toplotna cona, ki vključuje omenjene manj ogrevane in neogrevane prostore.

Obravnavani objekt smo glede na režime ogrevanja razdelili na pet con (Slika 11):

1. kondicionirana cona (pisarniški prostori) - 1. KC
2. kondicionirana cona (pritličje) - 2. KC
3. kondicionirana cona z kondic. kletjo (kletni prostori) - KC z KK
4. nekondicionirana cona (ostrešni prostori) - NC
5. nekondicionirana cona z nekondicionirano kletjo (zaklonišče) - NC z NK



Slika 11: Cone stavbe

5.6.1 Osnovni podatki

Osnovni podatki za obravnavano stavbo so prikazani v preglednici 1. Prostornina posamezne cone je določena z upoštevanjem zunanjih dimenzij (bruto prostornina), program pa avtomatično izračuna neto prostornino ogrevanega prostora. V določenih časovnih podobdobjih je upoštevana nižja notranja temperatura prostorov. Skladno z EN 13790 smo izbrali vrsto stavbe glede na toplotno kapaciteto, na osnovi katere program izračuna efektivno toplotno kapaciteto posamezne cone.

Preglednica 1: Osnovni podatki o posameznih conah

	1. KC	2. KC	KC z KK	NC	NC z NK
Prostornina cone V_e [m^3]	7667,8	2804,5	1247,2	139,43	431,6
Uporabna površina cone A_u [m^2]	1925,5	536,1	352,9	50,7	88,1
Efektivna toplotna kapaciteta C [MJ/K]	317,7	88,5	91,8	/	/
Projektna notranja temperatura θ [$^{\circ}C$]					
Normalno	22	22	22	/	/
Noč	16	16	16	/	/
Vikend	16	16	16	/	/
Nezasedeno	16	16	16	/	/

Povprečne moči notranjih dobitkov virov (Preglednica 2) so določene na podlagi Dodatka G standarda EN 13790. V posamezni conah smo v času zasednosti na 60 % uporabne površine upoštevali 20 W/m^2 , na 40 % pa 8 W/m^2 . V ostalih podobdobjih so vrednosti zmanjšane na 2 W/m^2 in 1 W/m^2 .

Preglednica 2: Vhodni podatki o moči notranjih dobitkov virov

Povprečna moč notranjih dobitkov virov ϕ [W]	1. KC	2. KC	KC z KK	NC	NC z NK
Normalno	31349	8526	5495	/	/
Noč	3305	897	578	/	/
Vikend	3305	897	578	/	/
Nezasedeno	3305	897	578	/	/

5.6.2 Prezračevanje

Lastnosti prezračevalnega sistema so predstavljene v preglednicah 3, 4, 5 in 6. Vse cone objekta, razen ostrešnih prostorov, so mehansko prezračevane z rekuperacijo toplote. Pri prezračevanju rekuperator vrača toploto odpadnega zraka zraku, ki vstopa v stavbo. Točni podatki glede prezračevanja niso na voljo, zato smo jih inženirsko ocenili na podlagi 8. člena Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb [27] in ogleda objekta.

Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem v času zasedenosti stavbe v 1. in 2. kondicionirani coni znaša 1 h^{-1} , v ostalih dveh $0,7 \text{ h}^{-1}$. V ostalih časovnih podobdobjih je urna izmenjava zraka v mehansko prezračevanih conah zmanjšana na $0,25 \text{ h}^{-1}$. Ustvarjen je manjši nadtlak (vtok večji kot iztok).

Preglednica 3: Podatki o mehanskem prezračevanju objekta v času zasedenosti objekta

	1. KC	2. KC	KC z OK	NC z NK
Količina odtoka zraka V_{ex} [m^3/s]	2,02	0,74	0,23	0,08
Količina dotoka zraka V_{su} [m^3/s]	2,13	0,78	0,24	0,09
Količina pretoka pri naravnem pre. V_o [m^3/s]	0,00	0,00	0,00	0,00
Projektna vrednost količine pretoka zraka prezračevalnega sistema $V_{\text{t,d}}$ [m^3/s]	2,13	0,78	0,24	0,09

Preglednica 4: Podatki o mehanskem prezračevanju objekta v času noči, vikendov in praznikov

	1. KC	2. KC	KC z OK	NC z NK
Količina odtoka zraka V_{ex} [m^3/s]	0,51	0,19	0,08	0,03
Količina dotoka zraka V_{su} [m^3/s]	0,53	0,20	0,09	0,03
Količina pretoka pri naravnem pre. V_o [m^3/s]	0,00	0,00	0,00	0,00
Projektna vrednost količine pretoka zraka prezračevalnega sistema $V_{t,d}$ [m^3/s]	0,53	0,20	0,09	0,03

Preglednica 5: Dodatni podatki o mehanskem prezračevanju objekta

Del časovnega obdobja, ko so ventilatorji izključeni β [-]	0,75
Učinkovitost rekuperacijskega sistema η_v [-]	0,85
Urna izmenjava zraka pri tlačni razliki 50 Pa: n_{50} [h^{-1}]	4,00
Koeficient zaščite proti vetru e [-]	0,07
Koeficient izpostavljenosti vetru f [-]	15,00

Preglednica 6: Podatki o naravnem prezračevanju ostrešne neogrevane cone (cona NC)

	Normalno	Noč, vikend, noč
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem n [h^{-1}]	0,5	0,3
Minimalna izmenjava zraka n_{min} [h^{-1}]	0,2	0,2

5.6.3 Zunanja stena, streha

Po obodu posameznih con se konstrukcijski sklopi sten spreminjajo, s tem pa tudi toplotna prehodnost. Program ne omogoča dodajanja več različnih tipov zunanje stene pri posamezni toplotni coni, zato smo upoštevali povprečne vrednosti njihovih karakteristik v sorazmerju s površino. Toplotno prehodnost posameznega konstrukcijskega sklopa smo določili na podlagi standarda SIST EN ISO 6946 [28]. Podatki so prikazani v preglednicah 7, 8 in 9.

Preglednica 7: Podatki o zunanjih stenah

	1. KC	2. KC	KC z OK	NC	NC z NK
Površina A [m^2]	859,5	161,8	/	79,07	/
Toplotna prehodnost U [W/m^2K]	0,160	0,318	/	0,335	/

Preglednica 8: Podatki o strehah

	1. KC	2. KC	KC z OK	NC	NC z NK
Površina A [m^2]	692,2	/	/	50,7	/
Toplotna prehodnost U [W/m^2K]	0,153	/	/	0,398	/

Preglednica 9: Podatki o zunanjih stenah kleti, ki so v stiku z zemljinjo

	KC z OK	NC z NK
Skupni toplotni upor $R_{b,w,t}$ [m^2K/W]	1,724	1,911

5.6.4 Transparentni konstrukcijski sklopi

Podatki o posameznih transparentnih konstrukcijskih sklopih so povzeti po projektni dokumentaciji prenove objekta [24]. Prikazani so v preglednici 10 in 11.

Preglednica 10: Površina transparentnih konstrukcijskih sklopov

Površina elementov A_w [m^2]	J	S	V	Z
1. KC	144,2	142,1	131,8	140,9
2. KC	75,3	74,2	67,0	36,5
KC z OK	/	/	/	/
NC	/	/	2,9	/
NC z NK	/	/	/	/

Preglednica 11: Podatki o transparentnih konstrukcijskih sklopih

	1. KC	2. KC	NC
Toplotna prehodnost U_w [W/m^2K]	1,00	1,3	1,50
Prehod celotnega sončnega sevanja	0,53	0,58	0,58
Faktor okvirja F_F	0,85	0,85	0,80
Faktor osenčenosti F_S in zaves F_C	1	1	1

5.6.5 Tla

Vrednosti toplotne prehodnosti tal na terenu in ostali relevantni podatki so prikazani v preglednici 12. Pri izpostavljenem obsegu tal smo upoštevali le dolžino oboda posamezne cone, ki je izpostavljena vplivu zemljine. V izračunu je upoštevan tudi vpliv robne izolacije ob temelju pritličja.

Preglednica 12: Tla na terenu z robno izolacijo

	1. KC	2. KC	KC z OK	NC	NC z NK
Površina tal A_f [m^2]	/	74,3	361,50	/	125,10
Izpostavljeni obseg tal P [m]	/	95,75	62,15	/	26,0
Skupni toplotni upor tal $R_{f,t}$ [m^2K/W]	/	1,89	0,465	/	0,597
Deb. zunanje stene nad nivojem terena d_w [m]	/	0,22	0,22	/	0,22
Globina tal kleti pod nivojem terena z [m]	/	/	3,45	/	3,45
Debelina sloja robne izolacije $d_{ins,n}$ [m]	/	0,05	/	/	/
Globina vertikalne robne izolacije D_v [m]	/	0,65	/	/	/
Širina horizontalne robne izolacije D_h [m]	/	0,15	/	/	/

5.6.6 Konstrukcijski sklopi med conami

Površine in toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov med posameznimi conami so predstavljene v preglednici 13.

Preglednica 13: Predelni konstrukcijski sklopi med conami

A [m^2] / U [W/m^2K]	1. KC	2. KC	KC z OK	NC	NC z NK
1. KC	/	560,9 / 1,134	/	43,0 / 0,438	/
2. KC	560,9 / 1,134	/	361,5 / 0,534	/	125,1 / 0,483
KC z OK	/	361,5 / 0,534	/	/	87,9 / 1,664
NC	43,0 / 0,438	/	/	/	/
NC z NK	/	125,1 / 0,483	87,9 / 1,664	/	/

5.7 REZULTATI

Program TOST nam samodejno poda glavne rezultate skladno s PURES-om 2010 in diagnozo o energetske ustreznosti objekta (Preglednica 14). Mejne vrednosti maksimalne dovoljene rabe energije se nanašajo na 21. člen PURES-a 2010.

Preglednica 14: Toplotna bilanca brez upoštevanja toplotnih mostov

Površina toplotnega ovoja stavbe A [m^2]	3217,3	
Kondencionirana prostornina stavbe V_e [m^3]	11719,5	
Oblikovni faktor $f_0 = A / V_e$ [m^{-1}]	0,27	
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_T' [W/m^2K]	Izračunano	Največ dovoljeno
	0,48	0,52
Letna raba primarne energije Q_P [kWh]	396,228	/
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} [kWh]	79,381	101,337
Specifična letna toplota za ogrevanje na enoto kondicionirane prostornine Q_{NH}/V_e [kWh/m^3a]	6,77	8,65

Objekt ustreza podanim pogojem za doseganje energetske učinkovitosti stavbe, vendar pri izhodiščnem izračunu nismo še upoštevali vpliva toplotnih mostov.

Program poda tudi vrednosti letnih specifičnih izgub, dobitkov in potrebne toplote za ogrevanje po posameznih conah in celotne stavbe. Podatki so prikazani v tabeli 15.

Preglednica 15: Izgube in dobitki po conah, brez upoštevanja vpliva toplotnih mostov

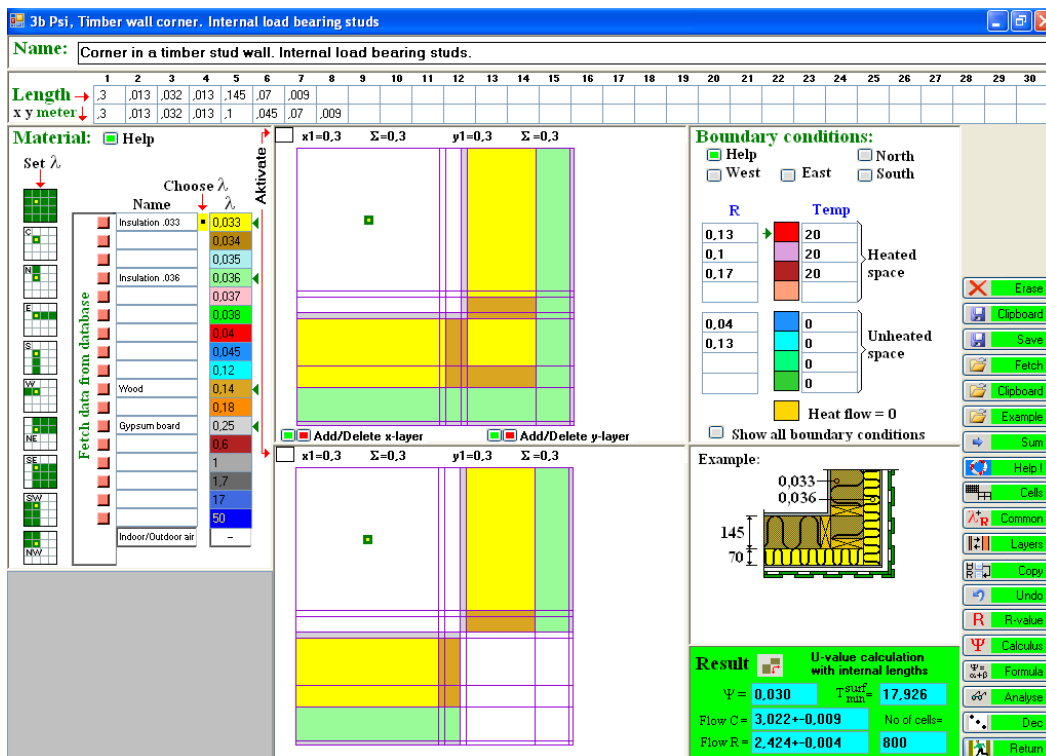
kWh/m ³	1. KC	2. KC	KC z OK	STAVBA
Transmisijske izgube	5,92	11,47	7,37	7,41
Ventilacijske izgube	5,10	6,32	4,04	5,28
Skupne izgube	11,03	17,80	11,40	12,69
Notranji dobitki	5,47	6,43	5,49	5,70
Solarni dobitki	0,99	1,77	/	1,07
Skupni dobitki	6,47	8,20	5,49	6,78
Potrebna toplota za ogrevanje	5,41	10,55	6,65	6,77

Iz stališča transmisijskih izgub je problematična predvsem 2. kondicionirana cona (pritličje), saj ima velik delež transparentnih površin in višjo toplotno prehodnost zunanjih konstrukcijskih sklopov. Toplotni mostovi imajo neposreden vpliv na količnik specifičnih transmisijskih toplotnih izgub in letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe. Kolikšen je ta vpliv, bomo preverili v nadaljevanju diplomske naloge.

6 NUMERICNA ANALIZA TOPLOTNIH MOSTOV

6.1 PROGRAMSKA OPREMA

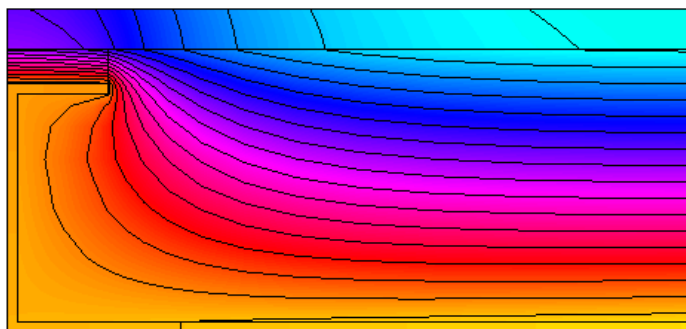
Unorm je zmogljiv program (Slika 12), izdelan v okolju Visual Basic. Omogoča izračun toplotnega toka in porazdelitev temperature v tri- ali dvodimenzionalnih modelih gradbenih konstrukcij.



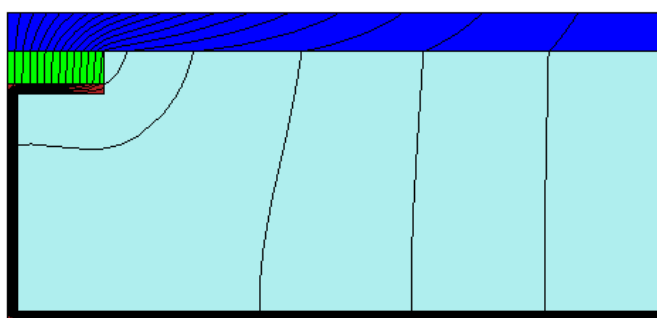
Slika 12: Uporabniško okolje programa Unorm

Primeren je za analizo detajlov gradbenih konstrukcij (križanja, okenski okvirji, fasadne konstrukcije ...). Razvit je za izračun elementov, katerih meje so vzporedne ravninam kartezičnega koordinatnega sistema. Vhodne podatke lahko vnesemo poljubno ali s spreminjanjem podanih primerov. Podani so demonstracijski modeli, na katerih je natančno pojasnjeno upravljanje programa. Vključene so podatkovne baze toplotnih prevodnosti materialov in robnih pogojev. Poleg toplotnega toka in najnižje površinske temperature omogoča tudi grafičen prikaz porazdelitve temperature (Slika 13) in toplotnih tokov (Slika 14). Natančnost delovanja programa je potrjena na vseh štirih referenčnih testnih primerih, podanih v prilogi standarda EN 10211. Na sliki 14 je v grafičnem okolju programa prikazan drugi od testnih primerov.

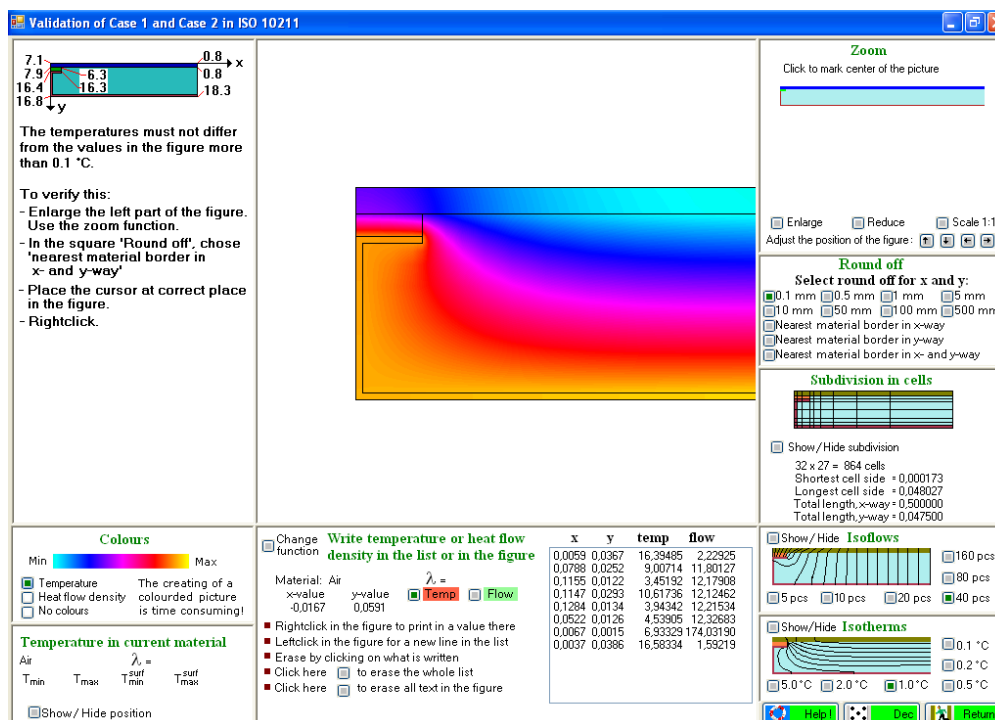
Pri numerični analizi toplotnih mostov bomo program uporabili samo za izračun toplotnega toka. Program sicer izračuna tudi linijsko toplotno prehodnost mostov, a bomo podatek zanemarili, saj postopek izračuna ni v skladu s standardom EN 10211.



Slika 13: Grafični prikaz porazdelitve temperature skozi testni primer v programu Unorm



Slika 14: Grafični prikaz toplotnega toka skozi testni primer v programu Unorm



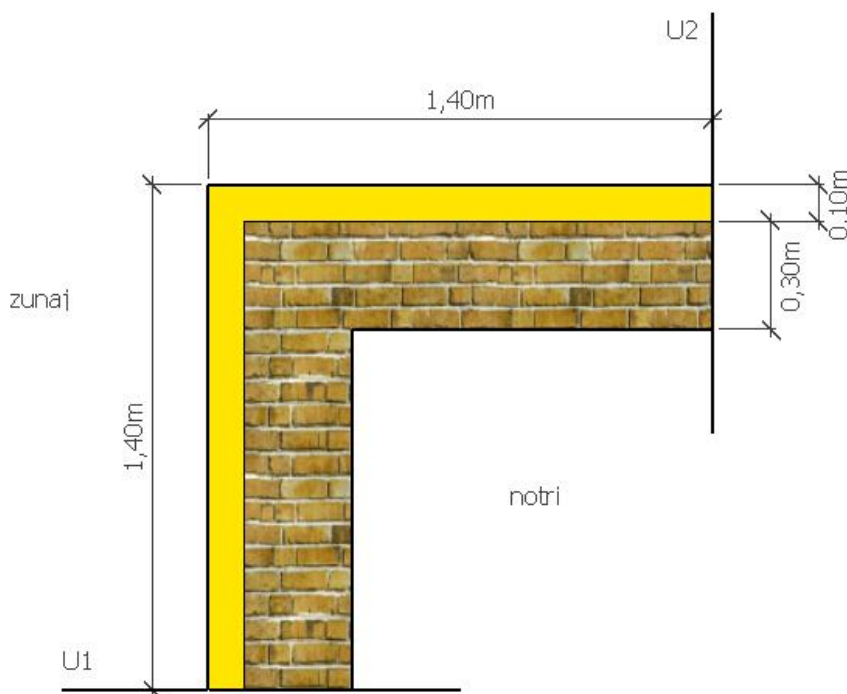
Slika 15: Grafični prikaz testnega primera v uporabniškem vmesniku programa Unorm

6.2 POSTOPEK IZRAČUNA LINIJSKE TOPLOTNE PREHODNOSTI

V skladu s standardom EN 10211 bomo izračunali linijsko toplotno prehodnost dveh enostavnih primerov geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu. Izračun temelji na sistemu zunanjih mer, ki ga predpisuje tehnična smernica TSG 4.

6.2.1 Geometrijski toplotni most

Obravnavamo tipičen geometrijski toplotni most na primeru vogala zunanje stene (Slika 16). Podatki so prikazani v preglednici 16, v nadaljevanju pa je podan postopek izračuna in grafični prikaz poteka temperature in toplotnega toka skozi detajl (Slika 18).



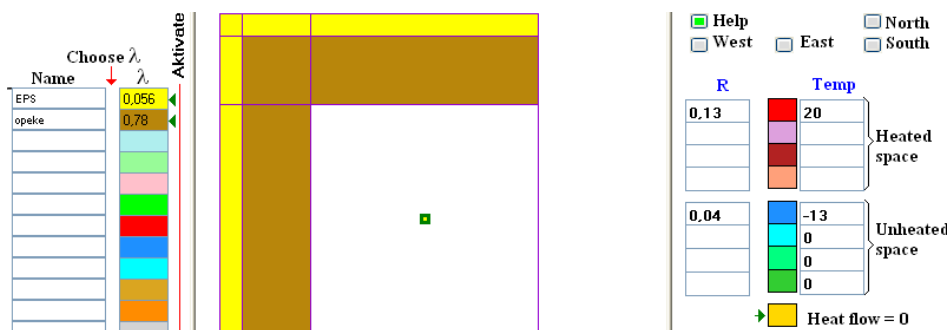
Slika 16: Primer geometrijskega toplotnega mostu

Preglednica 16: Vhodni podatki geometrijskega toplotnega mostu

Temperatura notranjega okolja θ_i [°C]	20	Debelina izolacije d_2 [m]	0,05
Temperatura zunanjega okolja θ_e [°C]	-13	Dolžina l_1 [m]	1,40
Toplotna prevodnost opeke λ_1 [W/mK]	0,78	Dolžina l_2 [m]	1,40
Toplotna prevodnost izolacije λ_2 [W/mK]	0,056	Mejni zračni upor R_{si} [m ² K/W]	0,13
Debelina opeke d_1 [m]	0,3	Mejni zračni upor R_{se} [m ² K/W]	0,04

1. V program vnesemo geometrijo, toplotno prevodnost materialov in robne pogoje ter izberemo število celic (slika 17). Program izračuna vrednost toplotnega toka (na meter dolžine):

$$\Phi_l = 34,495 \text{ W/m}$$



Slika 17: Model geometrijskega toplotnega mostu v programu Unorm

2. Izračun koeficienta toplotne sklopitve

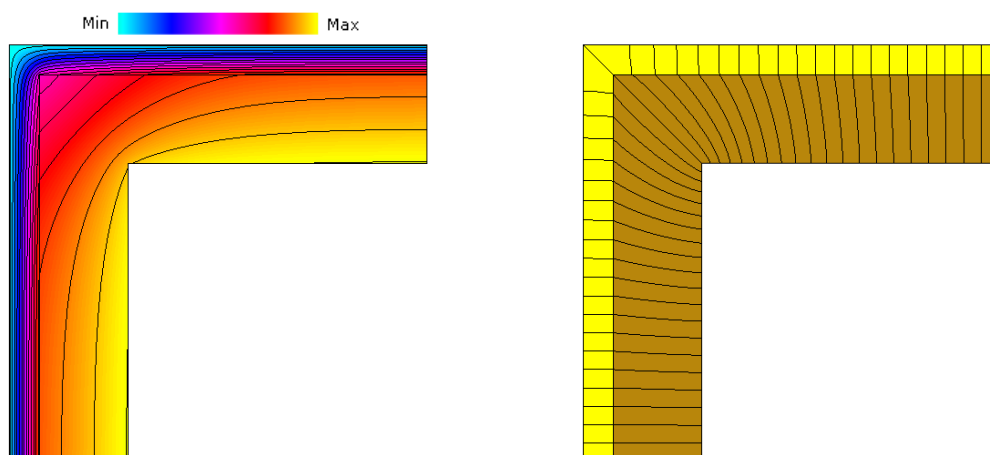
$$L_{2D} = \frac{\Phi_l}{(\theta_i - \theta_e)} = \frac{34,495}{(20+13)} = 1,045 \frac{W}{mK}$$

3. Izračun toplotne prehodnosti zidu

$$U_1 = U_2 = 1 / \left(R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_{si} \right) = 1 / \left(0,04 + \frac{0,3}{0,78} + \frac{0,10}{0,056} + 0,13 \right) = 0,427 \frac{W}{m^2K}$$

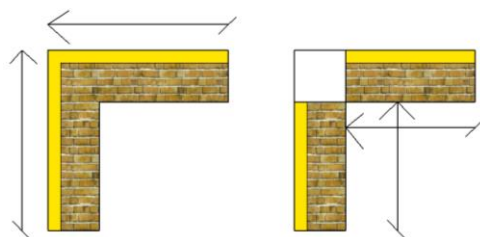
4. Izračun linijske toplotne prehodnosti

$$\Psi = L_{2D} - \sum U_j l_j = 1,045 - 0,427 \times 1,40 - 0,427 \times 1,40 = -0,15 \frac{W}{mK}$$



Slika 18: Porazdelitev temperature (levo) in toplotni tok (desno) toplotnega mostu

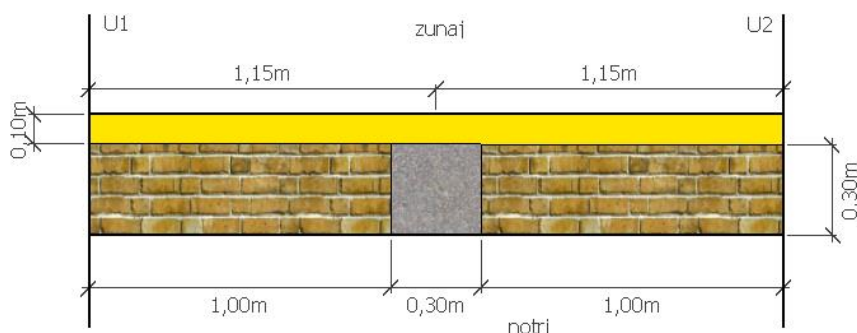
Na vrednost linijske toplotne prehodnosti Ψ vpliva tudi izbira dimenzijskega sistema, na podlagi katerega računamo transmisijske izgube celotnega objekta. Ob uporabi zunanjskega dimenzijskega sistema je površina v vogalu zunanje stene (Slika 19), preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precenjena. Posledično je vrednost linijske toplotne prehodnosti negativna. Ob uporabi notranjega dimenzijskega sistema pa je površina podcenjena, vrednost linijske toplotne prehodnosti pa je zato pozitivna.



Slika 19: Shema zunanjskega (levo) in notranjega (desno) dimenzijskega sistema

6.2.2 Konstrukcijski toplotni most

Obravnavamo primer konstrukcijskega toplotnega mostu (Slika 20). Vhodni podatki so prikazani v preglednici 17, grafični izhodni podatki pa na sliki 22.



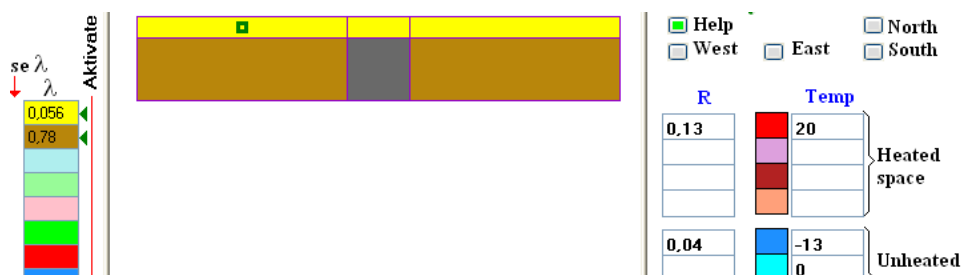
Slika 20: Primer konstrukcijskega toplotnega mostu

Preglednica 17: Vhodni podatki konstrukcijskega toplotnega mostu

Temperatura notranjega okolja θ_i [°C]	20	Debelina izolacije d_2 [m]	0,1
Temperatura zunanjskega okolja θ_e [°C]	-13	Dolžina l_1 [m]	1,15
Toplotna prevodnost opeke λ_1 [W/mK]	0,78	Dolžina l_2 [m]	1,15
Toplotna prevodnost izolacije λ_2 [W/mK]	0,056	Mejni zračni upor R_{si} [m^2K/W]	0,13
Toplotna prevodnost betona λ_3 [W/mK]	1,7	Mejni zračni upor R_{se} [m^2K/W]	0,04

1. V program vnesemo geometrijo, toplotno prevodnost materialov in robne pogoje ter izberemo število celic (Slika 21). Program izračuna vrednost toplotnega toka (na meter dolžine):

$$\Phi_l = 32,933 \text{ W/m}$$



Slika 21: Model konstrukcijskega toplotnega mostu v programu Unorm

2. Izračun koeficienta toplotne sklopitve

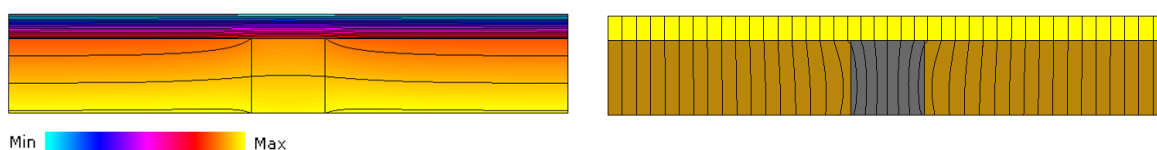
$$L_{2D} = \frac{\Phi_l}{(\theta_i - \theta_e)} = \frac{32,933}{(20+13)} = 0,997 \frac{W}{mK}$$

3. Izračun toplotne prehodnosti zidu

$$U_1 = U_2 = 1 / \left(R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + R_{si} \right) = 1 / \left(0,04 + \frac{0,3}{0,78} + \frac{0,10}{0,056} + 0,13 \right) = 0,427 \frac{W}{m^2K}$$

4. Izračun linijske toplotne prehodnosti

$$\Psi = L_{2D} - \sum U_j l_j = 0,997 - 0,427 \times 1,15 - 0,427 \times 1,15 = 0,015 \frac{W}{mK}$$

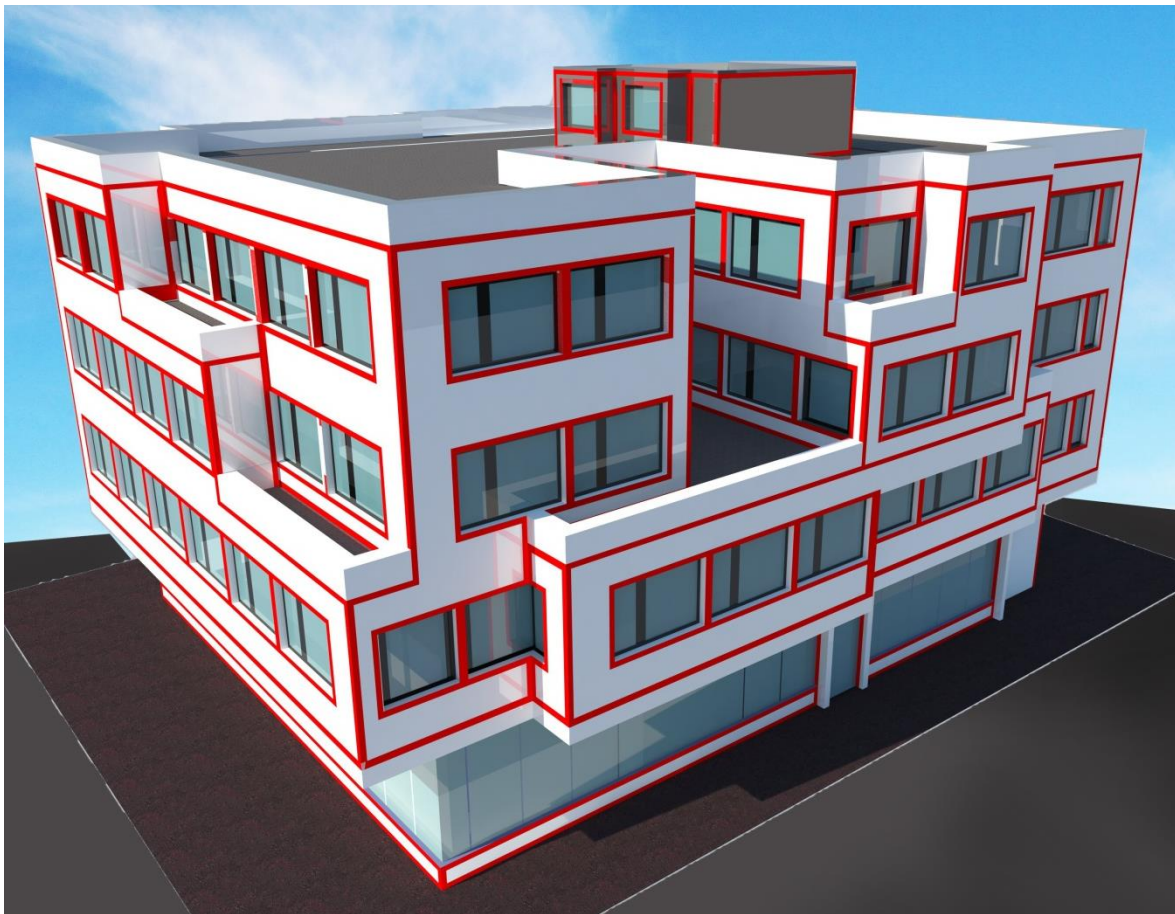


Slika 22: Porazdelitev temperature (levo) in toplotni tok (desno) toplotnega mostu

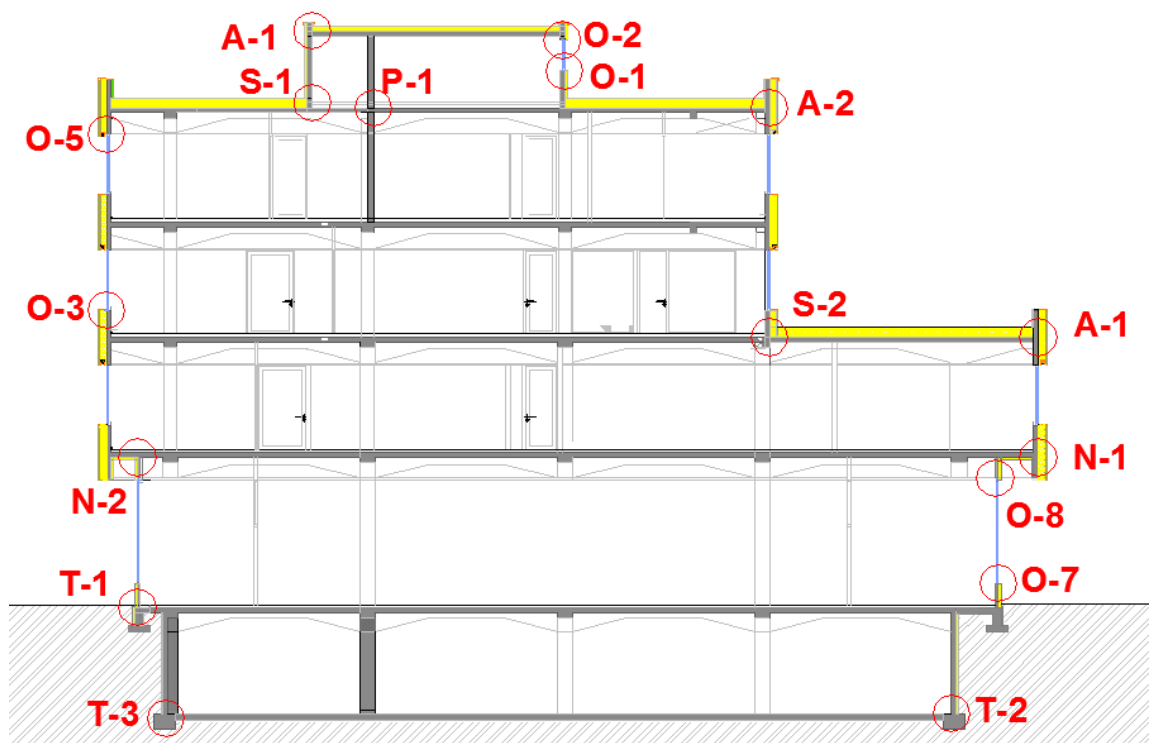
6.3 EVIDENTIRANJE TOPLOTNIH MOSTOV OBRAVNAVANE STAVBE

Na obravnavanem objektu smo locirali toplotne mostove (Slika 23). Poleg geometrijskih so prisotni tudi konstrukcijski toplotni mostovi, saj je toplotnoizolacijski ovoj kljub prenovi na več mestih prekinjen. Večina toplotnih mostov je kombinacija obeh. Prikazan je tipičen prerez (Slika 24) in tloris (Slika 25) stavbe, na katerih so označeni toplotni mostovi. Poimenovali smo jih glede na konstrukcijski detajl, v katerem se pojavijo:

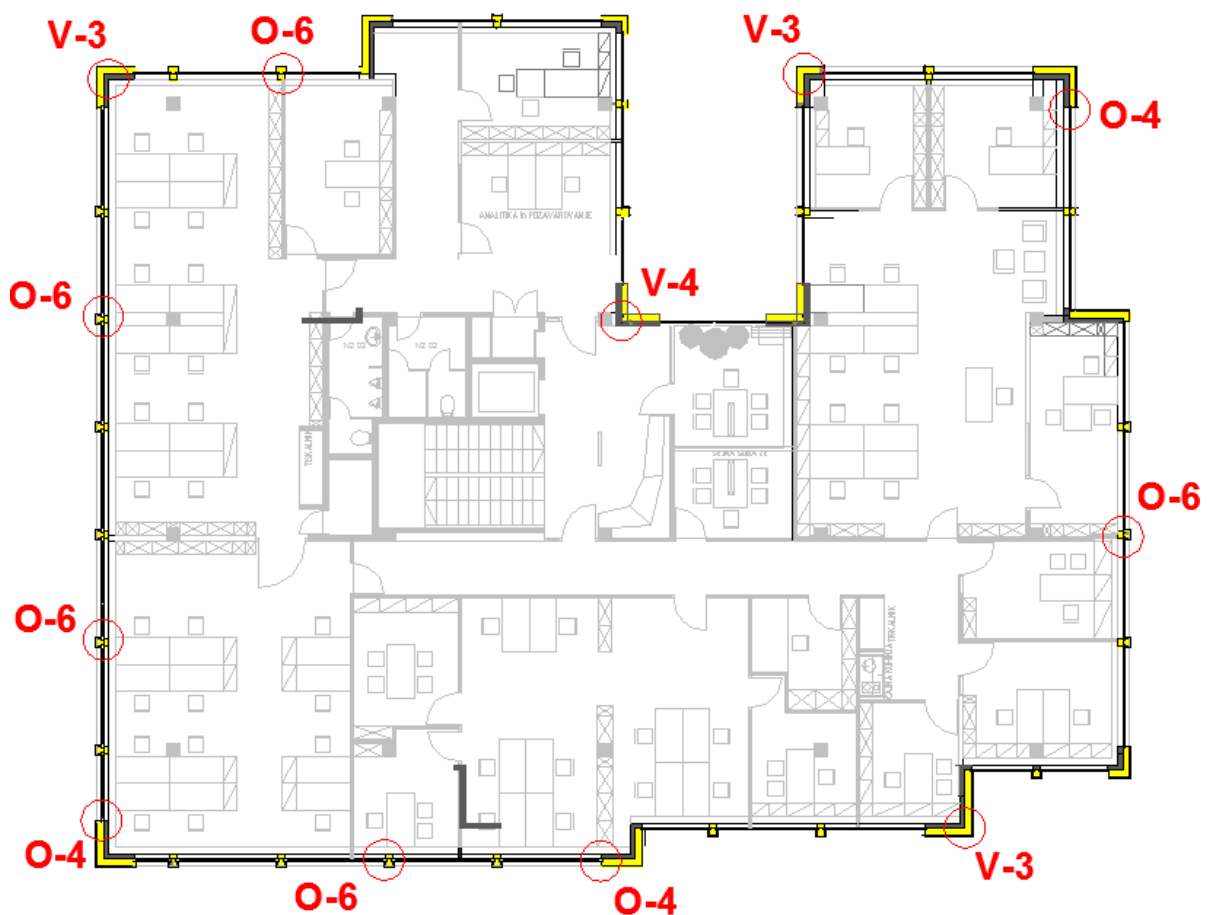
- A – atika
- S – streha
- V – vogal
- N – napušč
- O – odprtina
- T – tla
- P – predelni



Slika 23: Evidentirani (rdeče) toplotni mostovi obravnavane stavbe



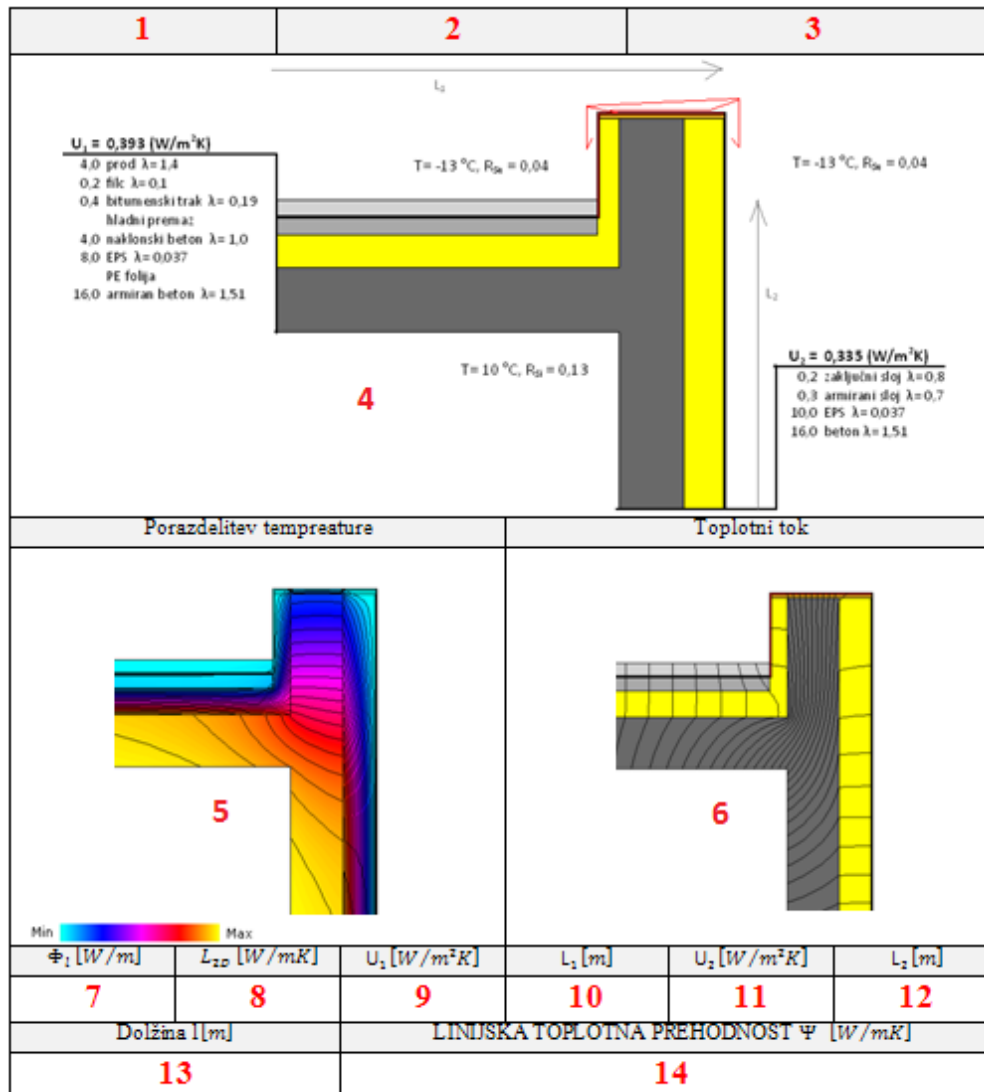
Slika 24: Tipičen prerez stavbe z označenimi toplotnimi mostovi



Slika 25: Tipičen tloris stavbe z označenimi toplotnimi mostovi

6.4 SIMULACIJE TOPLOTNIH MOSTOV

Izhodni podatki simulacije posameznega toplotnega mostu so prikazani v obrazcu, ki je predstavljen na sliki 26.



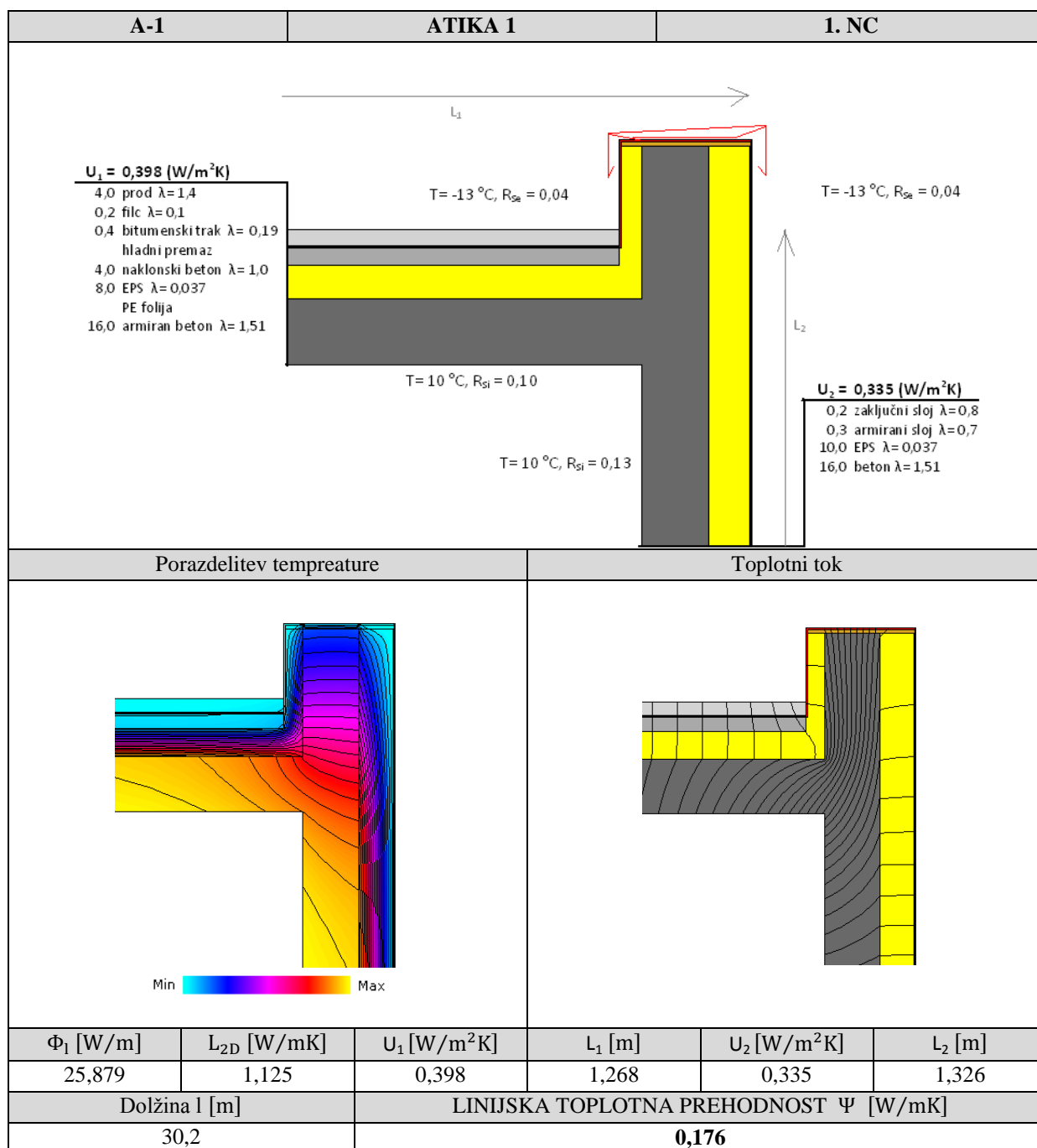
LEGENDA:

- | | | | |
|---|--|----|------------------------------------|
| 1 | oznaka toplotnega mostu | 8 | koeficient toplotne sklopitve |
| 2 | polno ime toplotnega mostu | 9 | toplotna prehodnost elementa 1 |
| 3 | cona, v kateri toplotni most poteka | 10 | vplivna dolžina elementa 1 |
| 4 | skica modela z označenimi robnimi pogoji, toplotno prehodnostjo 1D-elementov, njihovo sestavo in vplivnimi dolžinami | 11 | toplotna prehodnost elementa 2 |
| 5 | grafični prikaz porazdelitev temperature | 12 | vplivna dolžina elementa 2 |
| 6 | grafični prikaz toplotnega toka | 13 | dolžina toplotnega mostu |
| 7 | toplotni tok | 14 | linijska toplotna prehodnost mostu |

Slika 26: Obrazec simuliranih toplotnih mostov

6.4.1 Toplotni most A-1

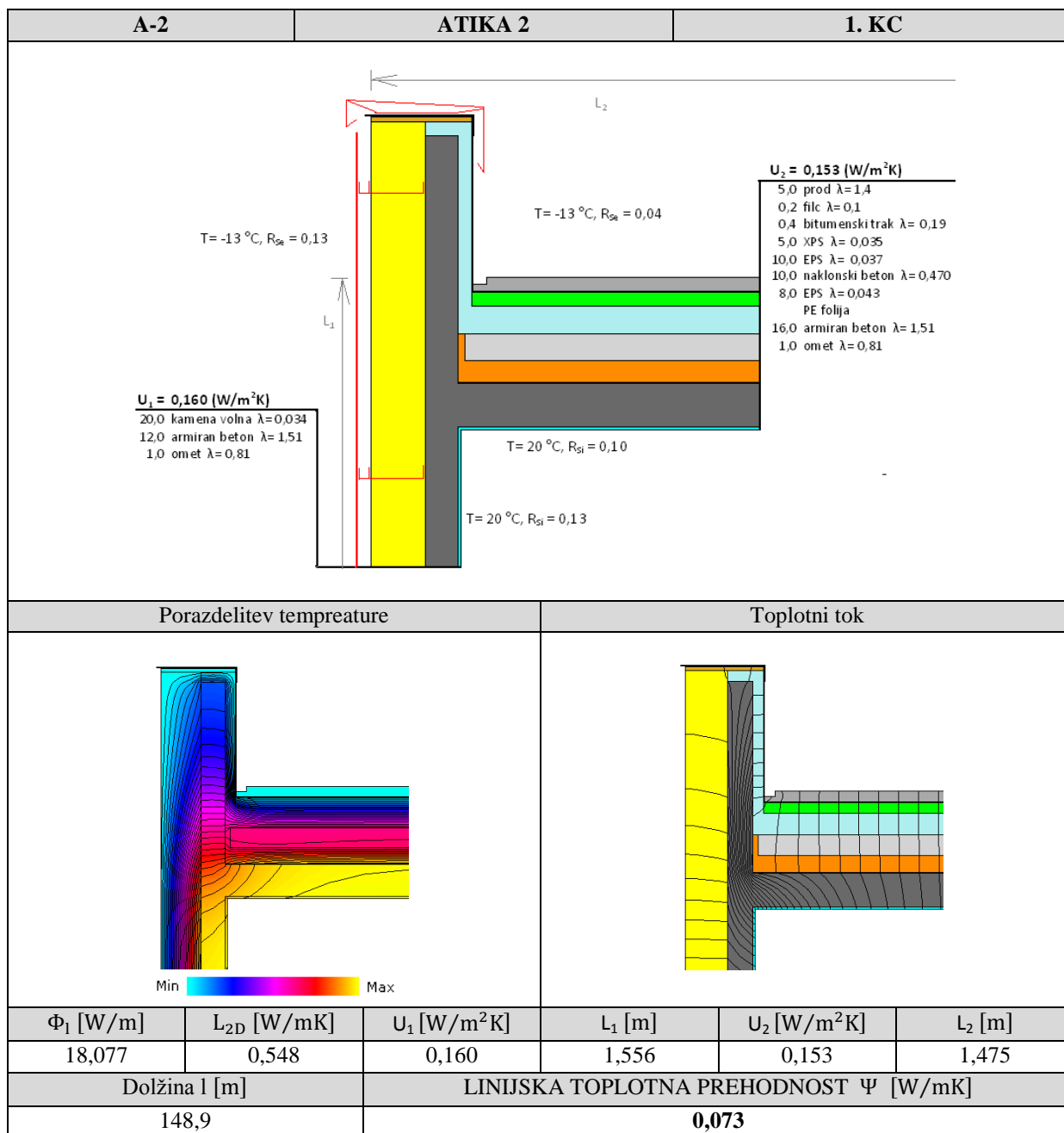
Preglednica 18: Toplotni most A-1



Po zunanjem obodu neogrevane cone ostrešja poteka križanje strešne plošče in zunanje stene v območju atike (Preglednica 18). Vrh atike je zaščiten s pločevino, ki sem jo v simulaciji zanemaril. To je v skladu s standardom EN 10211, ki dovoljuje ignoriranje tankih kovinskih slojev, če imajo zanemarljiv vpliv na prenos toplote. Vrh atike ni toplotno izoliran, le prekrit z OSB ploščo in hidroizolacijo (v nadaljevanju HI), kar je razlog za povečan toplotni tok. Negativen vpliv ima tudi pretanka debelina toplotne izolacije (v nadaljevanju TI) na notranji strani parapeta atike.

6.4.2 Toplotni most A-2

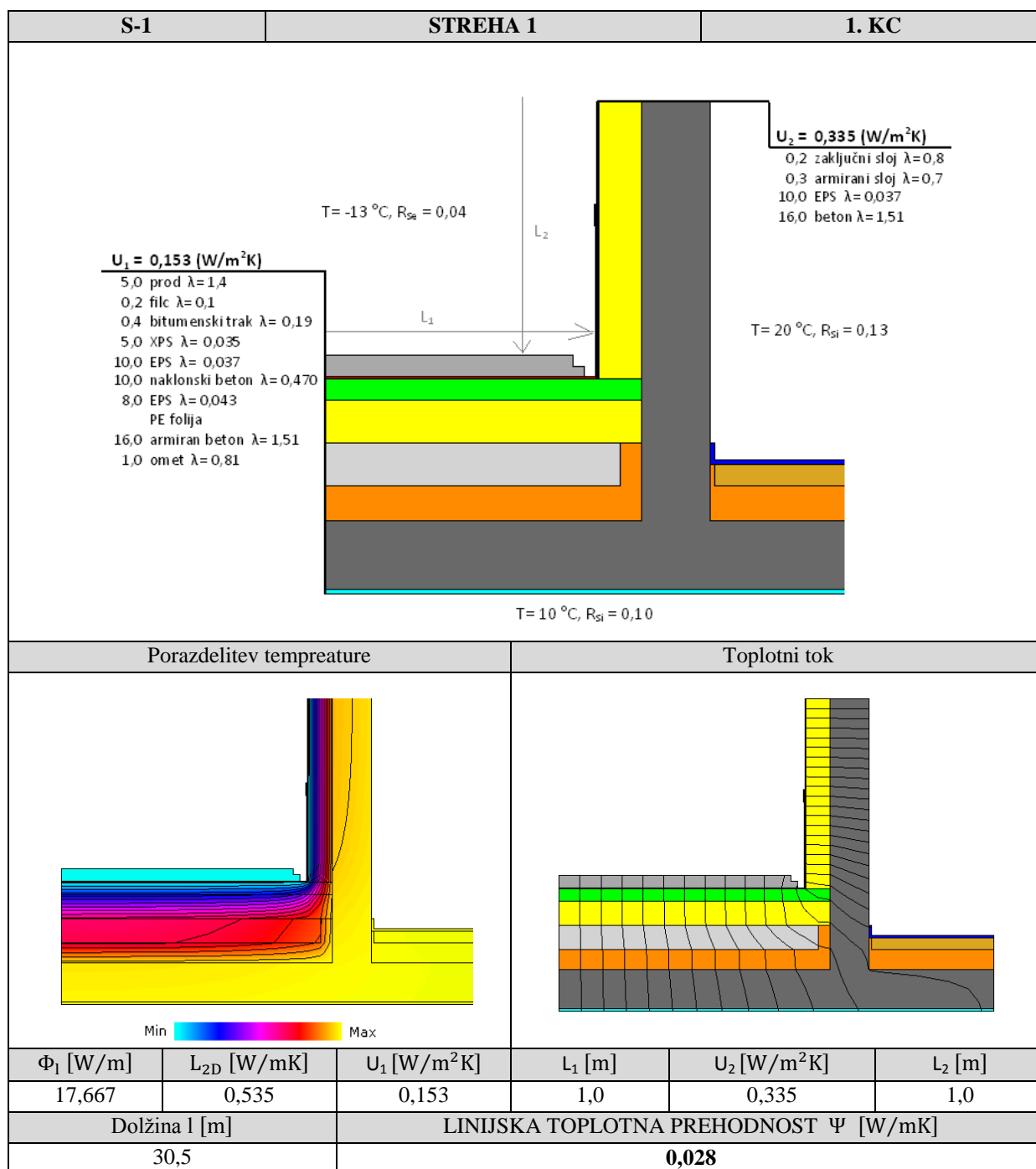
Preglednica 19: Toplotni most A-2



Toplotni most v območju atike poteka tudi v 1. kondicionirani coni. Na AB-zid zunanje stene je točkovno pričvrščena podkonstrukcija prezračevane fasade, ki sem jo v simulaciji ignoriral, kot tudi zunanjo oblogo (Preglednica 19). Ignorirani elementi so prikazani rdeče. Točkovni elementi spadajo v kategorijo točkovnih toplotnih mostov, ki jih v skladu z zakonodajo zanemarimo, zunanja obloga pa nima toplotnega vpliva na notranje elemente stene. V prezračevanem zračnem sloju fasade je upor mejne zračne plasti $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. Pretanka debelina TI na notranji strani atike je razlog za povečan toplotni tok skozi AB-parapet, zato je najnižja površinska temperatura $17,1 \text{ }^\circ\text{C}$ v kotu stropa.

6.4.3 Toplotni most S-1

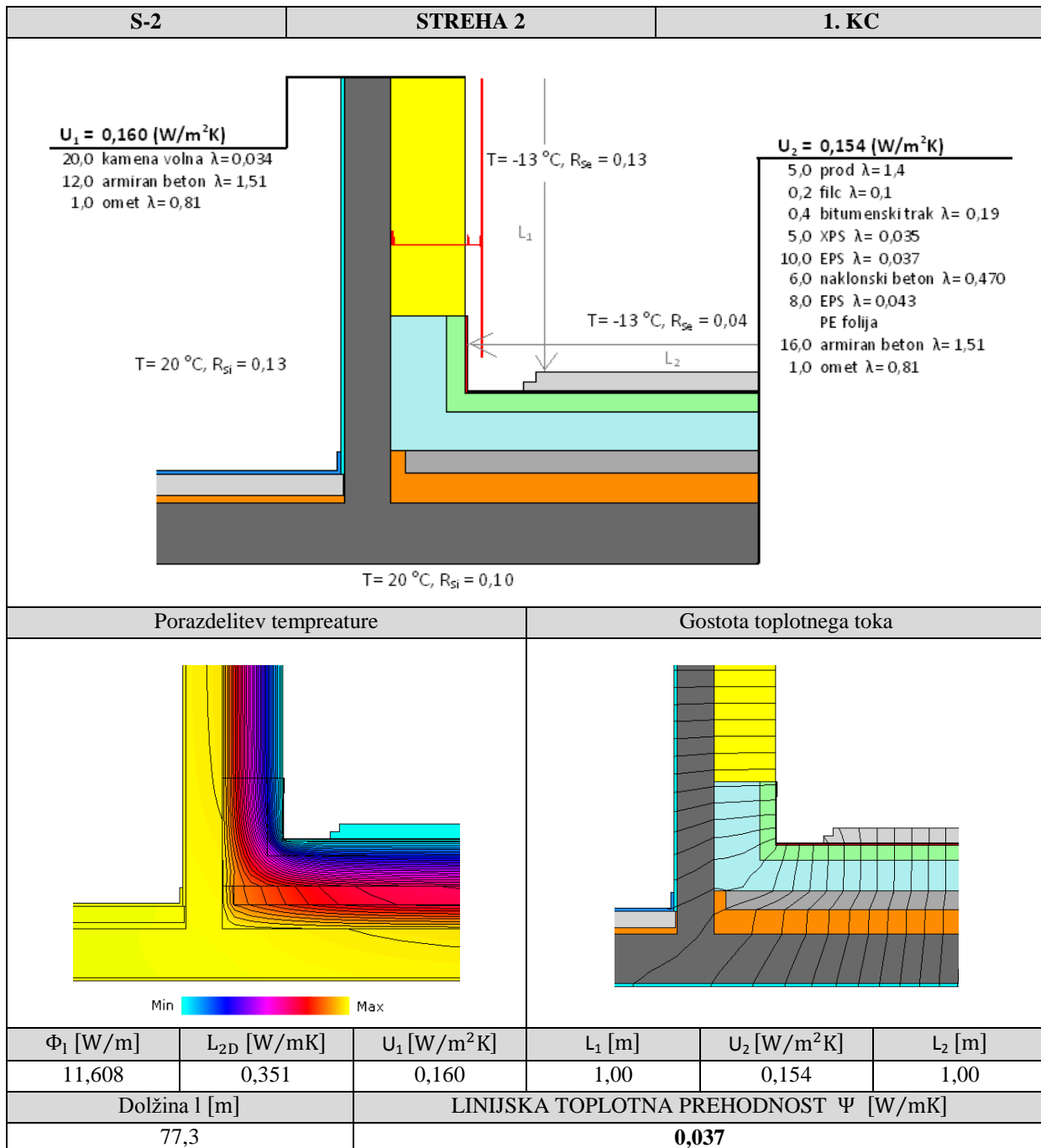
Preglednica 20: Toplotni most S-1



Na križanju strešne konstrukcije in stene ostrešne cone poteka kombinacija geometrijskega in konstrukcijskega toplotnega mostu (Preglednica 20). Prostor zgoraj desno spada v neogrevano cono, spodnji pa v 1. kondicionirano cono, vendar nam postopek izračuna linijske toplotne prehodnosti ne omogoča uporabe treh različnih robnih pogojev (temperatur). Toplotne mostove predelnih križanj med kondicionirano in neogrevano cono bomo obravnavali ločeno.

6.4.4 Toplotni most S-2

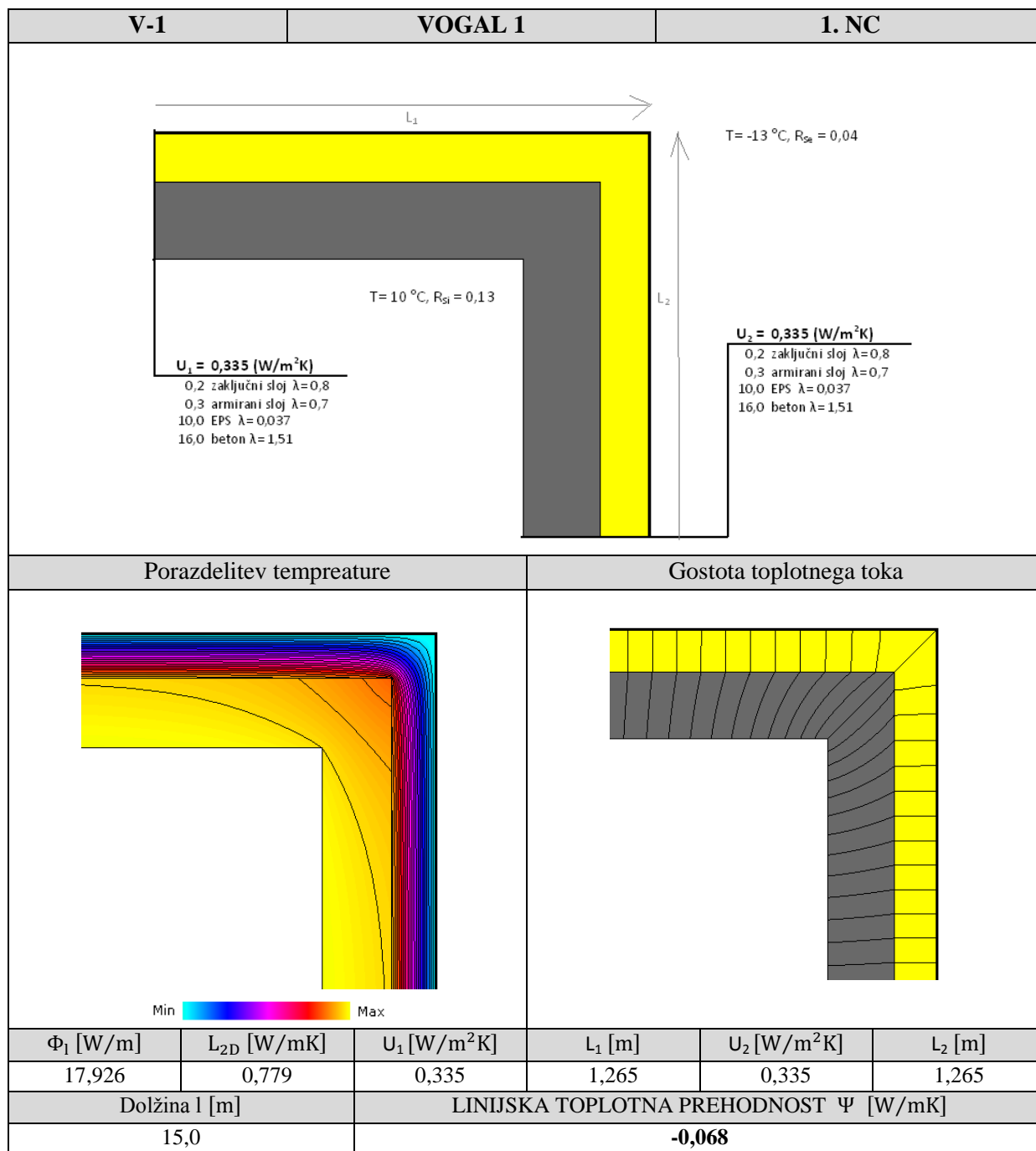
Preglednica 21: Toplotni most S-2



V posameznih etažah obravnavanega objekta potekajo terase, pri katerih se pojavlja kombinirani toplotni most na križanju strešne plošče in zunanje stene (Preglednica 21). TI in HI strehe poteka tudi vertikalno ob parapetu stene, s čimer je zagotovljen kvaliteten stik z elementni prezračevane fasade. Elemente prezračevane fasade smo v simulaciji zanemarili (rdeče), kot v primeru A-2. Upor mejne zračne plasti v prezračevanem zračnem sloju je $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. V skladu s standardom EN 10211 zanemarimo tudi nekovinske sloje z debelino, manjšo od 1 mm (parne ovire).

6.4.5 Toplotni most V-1

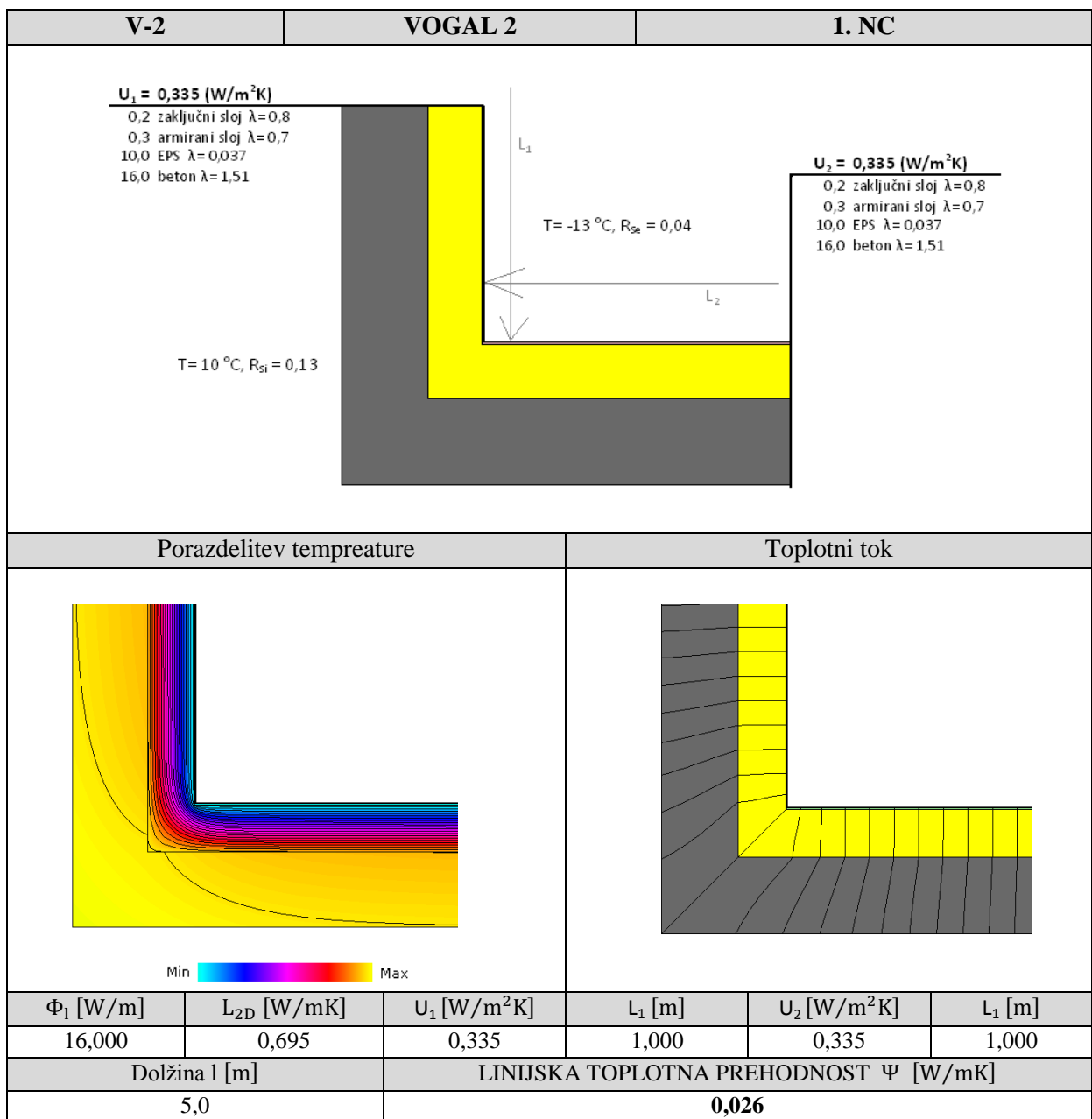
Preglednica 22: Toplotni most V-1



Zunanji vogal stene je tipičen primer geometrijskega toplotnega mostu, ki nastopi na delu ovoja stavbe, pri katerem je zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precej večja od notranje (Preglednica 22). Vpliv se manjša s povečanjem debeline TI na zunanji strani ovoja stavbe. Pri izračunu toplotnih transmisijskih izgub celotnega objekta smo uporabili zunanji dimenzijski sistem, kar vpliva na negativno vrednost linijske toplotne prehodnosti vogalnega toplotnega mostu (obrazložitev v poglavju 6.2.1).

6.4.6 Toplotni most V-2

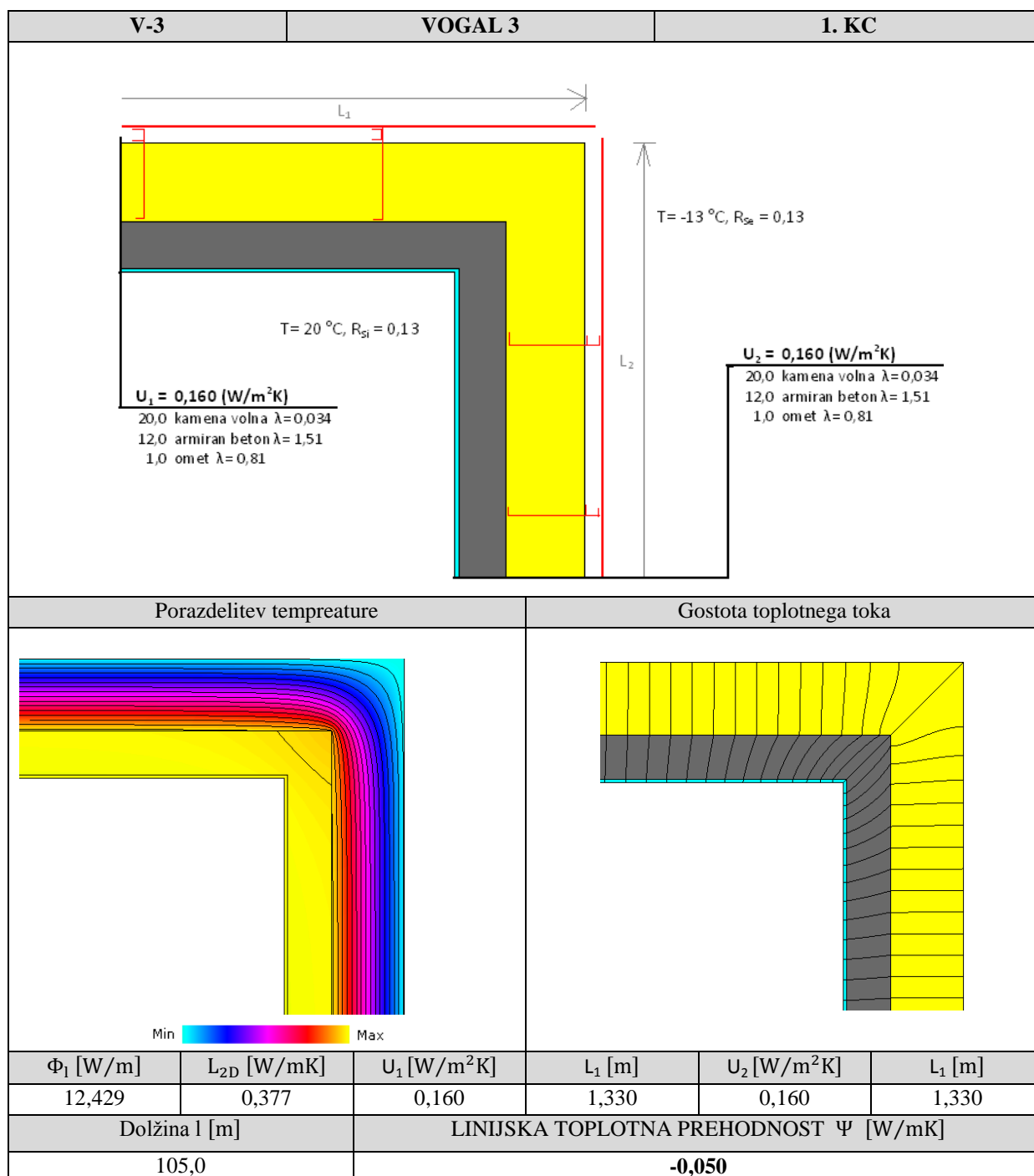
Preglednica 23: Toplotni most V-2



Notranji vogal zunanje stene neogrevane cone ostrešja spada med geometrijske toplotne mostove. Geometrijski vpliv 180° notranjega stika ima pozitiven vpliv na porazdelitev temperature v notranjem vogalu nosilne stene. Geometrija pa vpliva tudi na minimalno povečanje toplotnega toka v zunanjem vogalu, kar je razvidno v preglednici 23.

6.4.7 Toplotni most V-3

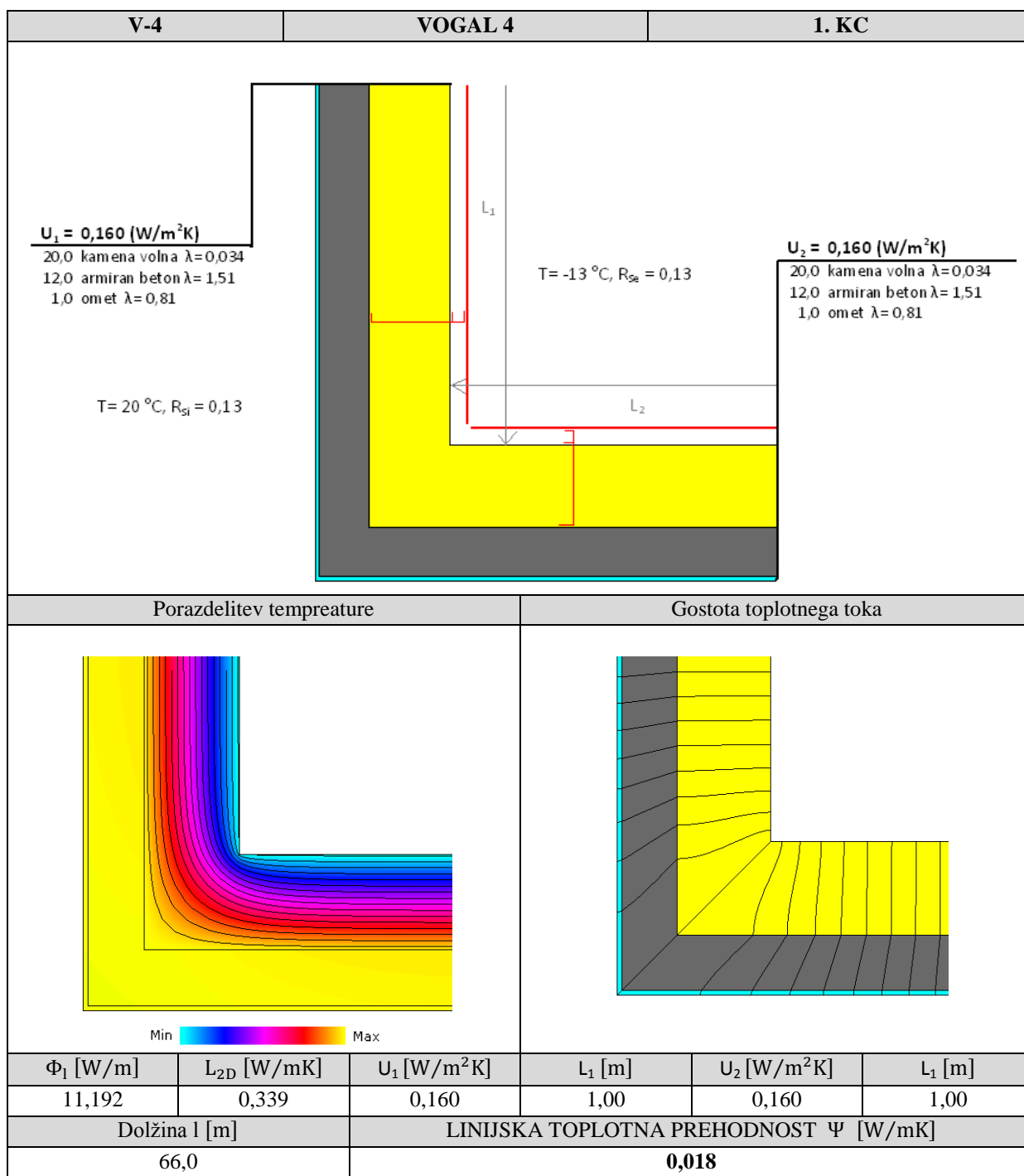
Preglednica 24: Toplotni most V-3



Vzdolž vogalov zunanjih sten 1. kondicionirane cone poteka geometrijski toplotni most (Preglednica 24). Kovinske elemente podkonstrukcij prezračevane fasade, ki je točkovno pritrjena na AB-zid, smo ignorirali. Vrednost zunanjega upora mejne zračne plasti je zaradi vpliva zračnega sloja fasade 0,13 m²K/W. Opazen je povečan toplotni tok in znižana notranja površinska temperatura v vogalu, ki znaša 18.6 °C.

6.4.8 Toplotni most V-4

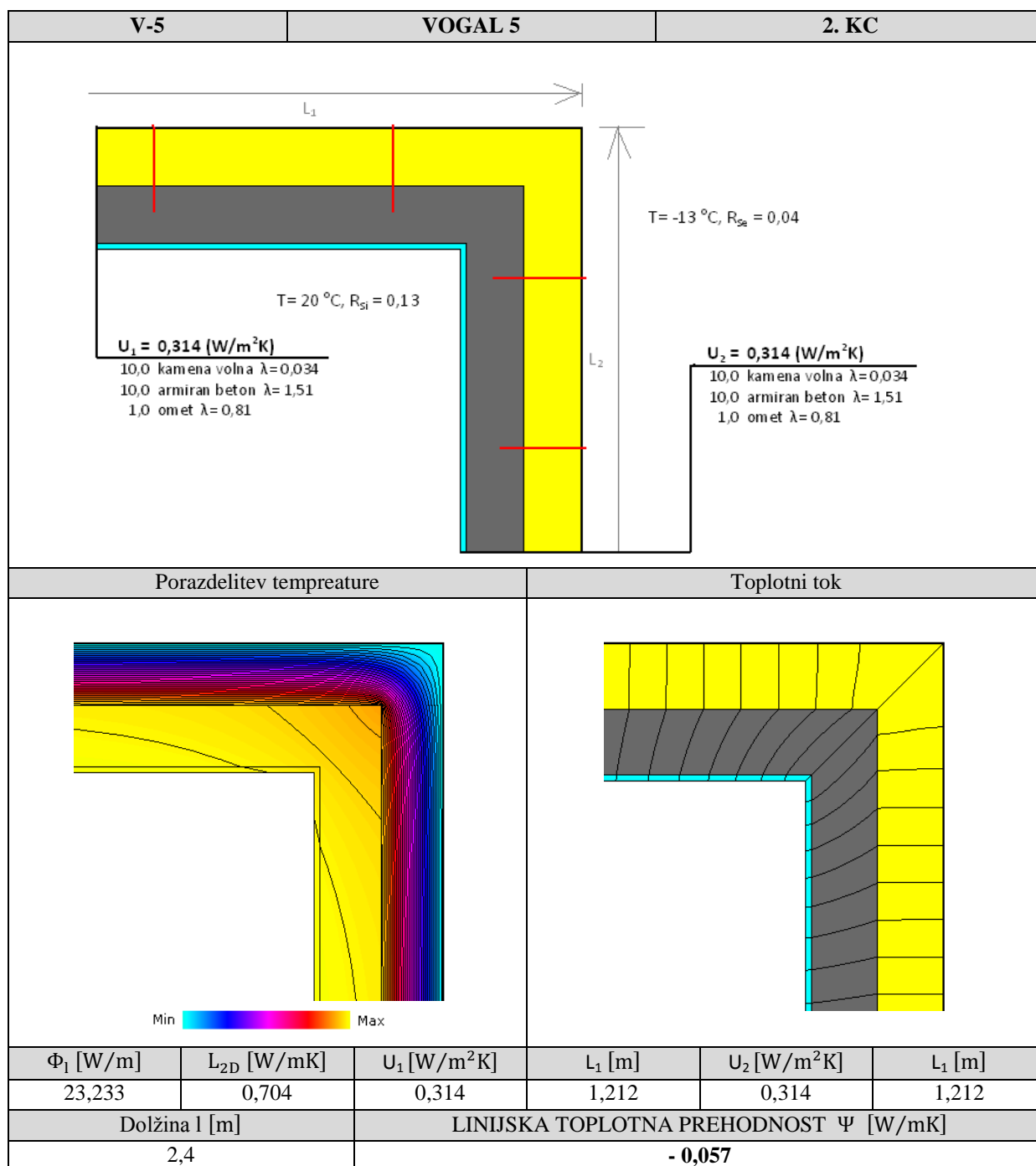
Preglednica 25: Toplotni most V-4



Obravnavamo isti konstrukcijski sklop kot v primeru V-3, le da gre tu za notranji vogal stavbe (Preglednica 25). V primerjavi z geometrijsko podobnim toplotnim mostom V-2 je razvidno, da s še enkrat debelejšo toplotno izolacijo vplivamo na opazno zmanjšanje vrednosti linijske toplotne prehodnosti.

6.4.9 Toplotni most V-5

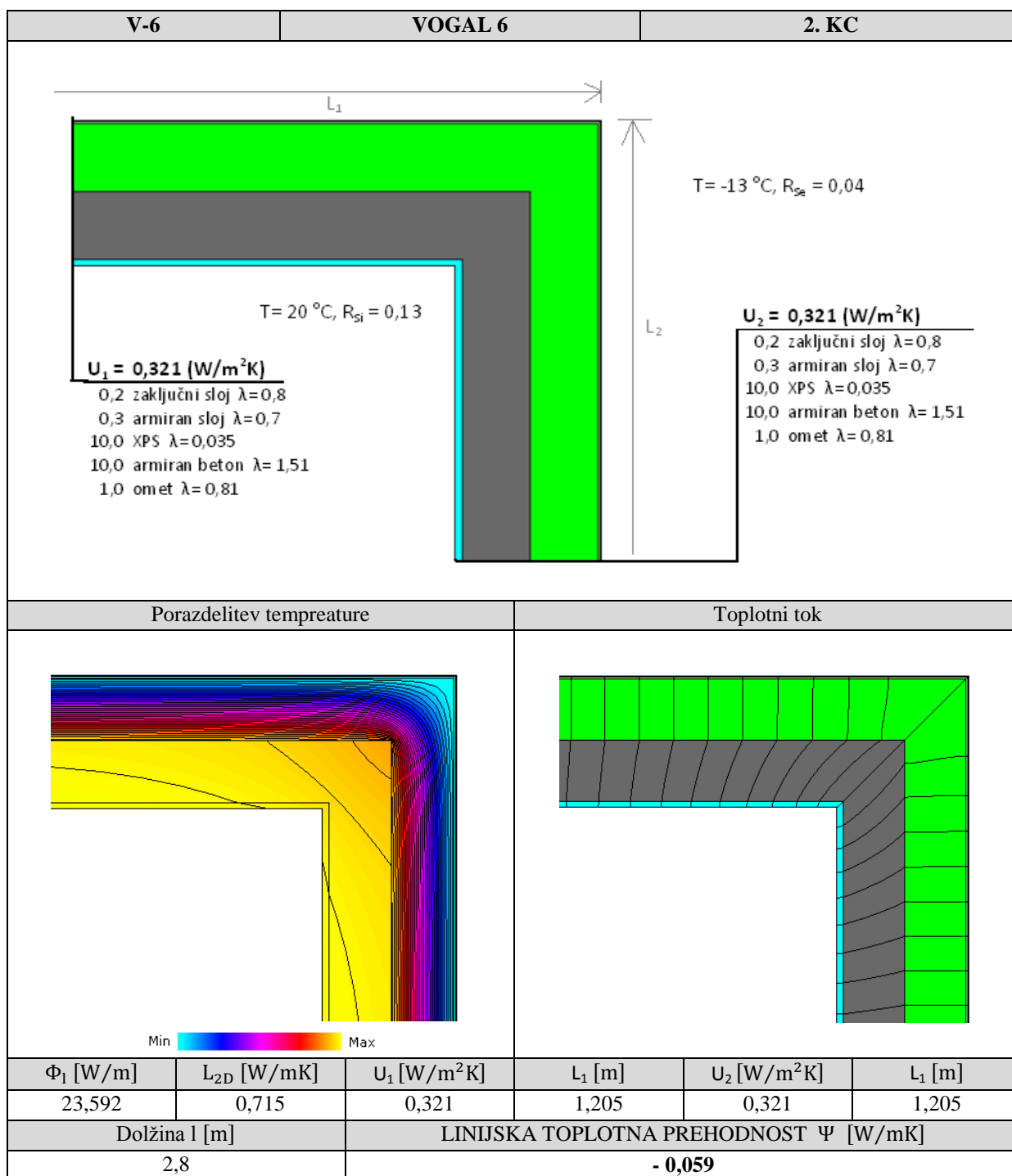
Preglednica 26: Toplotni most V-5



Na nosilno AB-steno je pričvrščen fasadni »sendvič« panel, ki je sestavljen iz profilirane jeklene pločevine (debeline 0,5 mm) in izolacije iz kamene volne (Preglednica 26). Točkovne toplotne mostove nosilnih elementov panela ne obravnavamo, tanki kovinski sloj pa ignoriramo, saj ima zanemarljiv vpliv na prenos toplote.

6.4.10 Toplotni most V-6

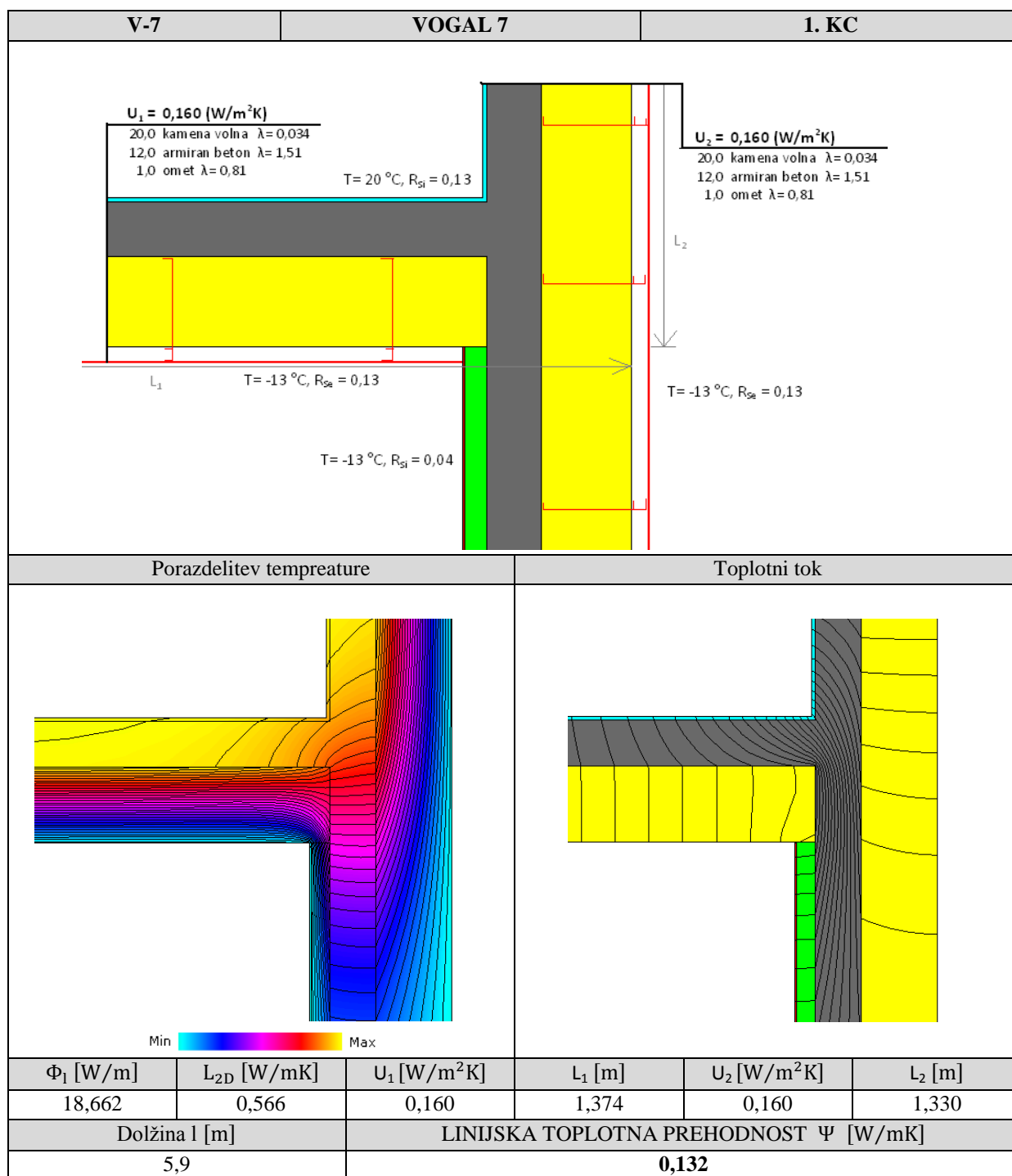
Preglednica 27: Toplotni most V-6



V vogalih parapeta pritlične cone poteka geometrijski toplotni most (Preglednica 27). Toplotna izolacija se nadaljuje pod nivo terena, zato je uporabljen ekstrudiran polistiren, ki ga lahko vgradimo v vlažnem okolju terena. V primerjavi z geometrijsko podobnim primerom V-5 ima ekstrudiran polistiren za 0,001 W/mK višjo toplotno prevodnost kot kamena volna. Posledično je vrednost Ψ obravnavanega toplotnega mostu V-6 prav tako višja, točneje za 0,002 W/mK.

6.4.11 Toplotni most V-7

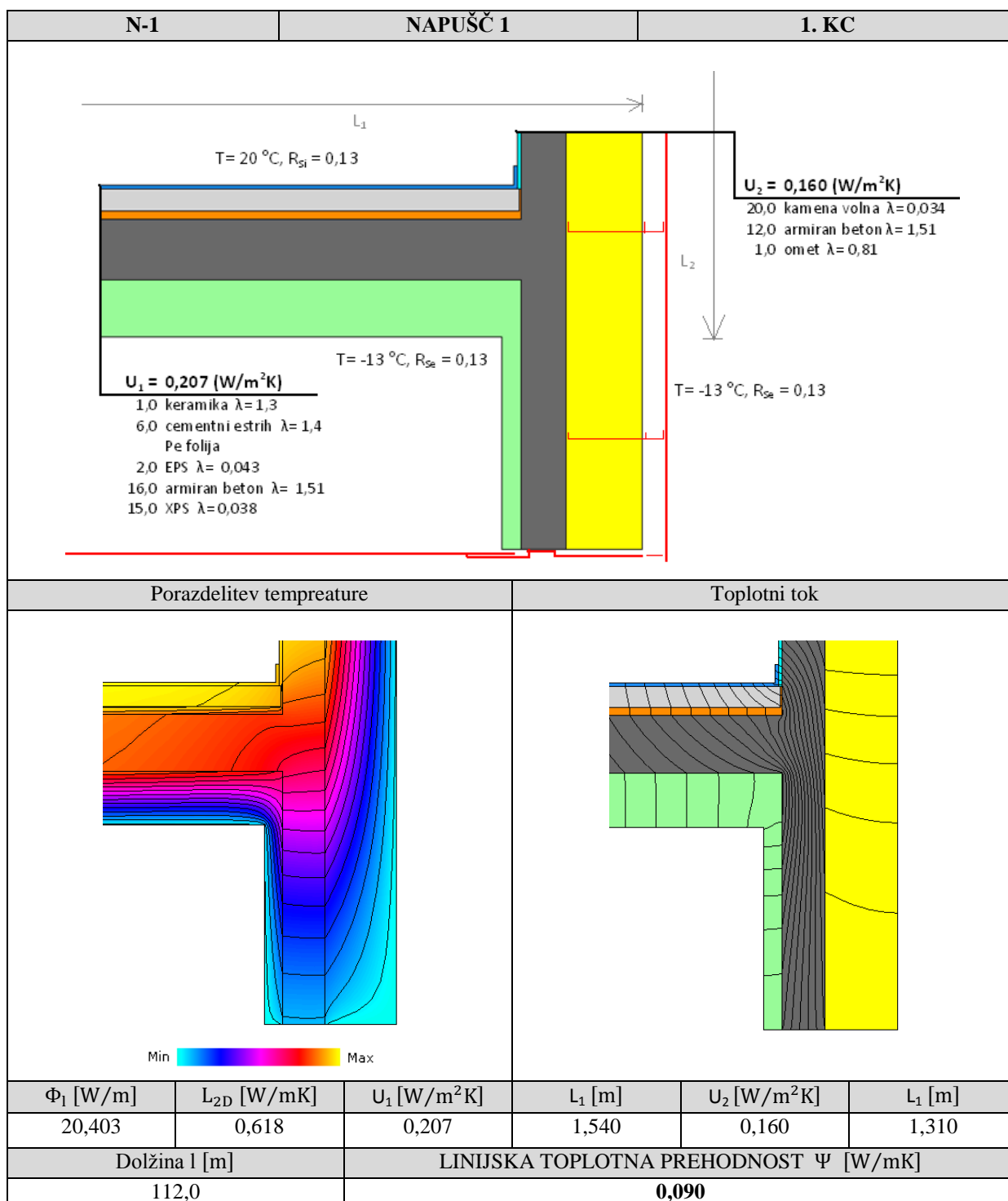
Preglednica 28: Toplotni most V-7



Krajši toplotni mostovi potekajo na križanju zunanje stene in parapeta atike (Preglednica 28). Toplotni tok je povečan skozi AB-konstrukcijo, kjer toplotna izolacija ni sklenjena. Linijska toplotna prehodnost bi bila manjša v primeru debelejše XPS-plošče na notranji strani parapeta.

6.4.12 Toplotni most N-1

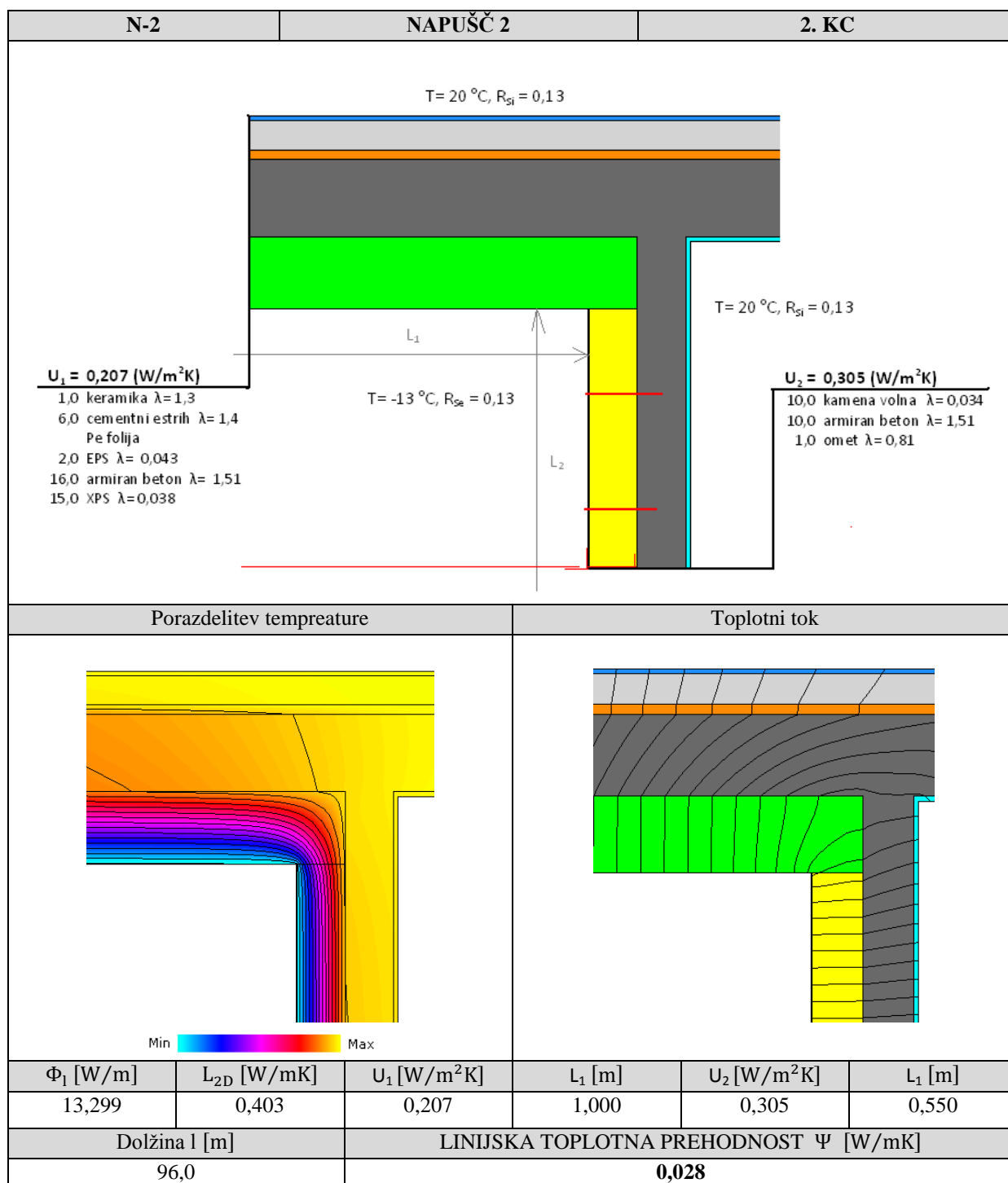
Preglednica 29: Toplotni most N-1



Linijski toplotni most N-1 poteka po obodu napušča v pritličju stavbe. Težava je v neskljenjeni toplotni izolaciji in pretanki debelini XPS-plošče na vertikalnem delu napušča (Preglednica 29). Opazen je povečan toplotni tok skozi AB-steno z visoko toplotno prevodnostjo. Podkonstrukcijo in oblogo prezračevane fasade smo zanemarili, kot tudi horizontalne pločevinaste elemente napušča.

6.4.13 Toplotni most N-2

Preglednica 30: Toplotni most N-2

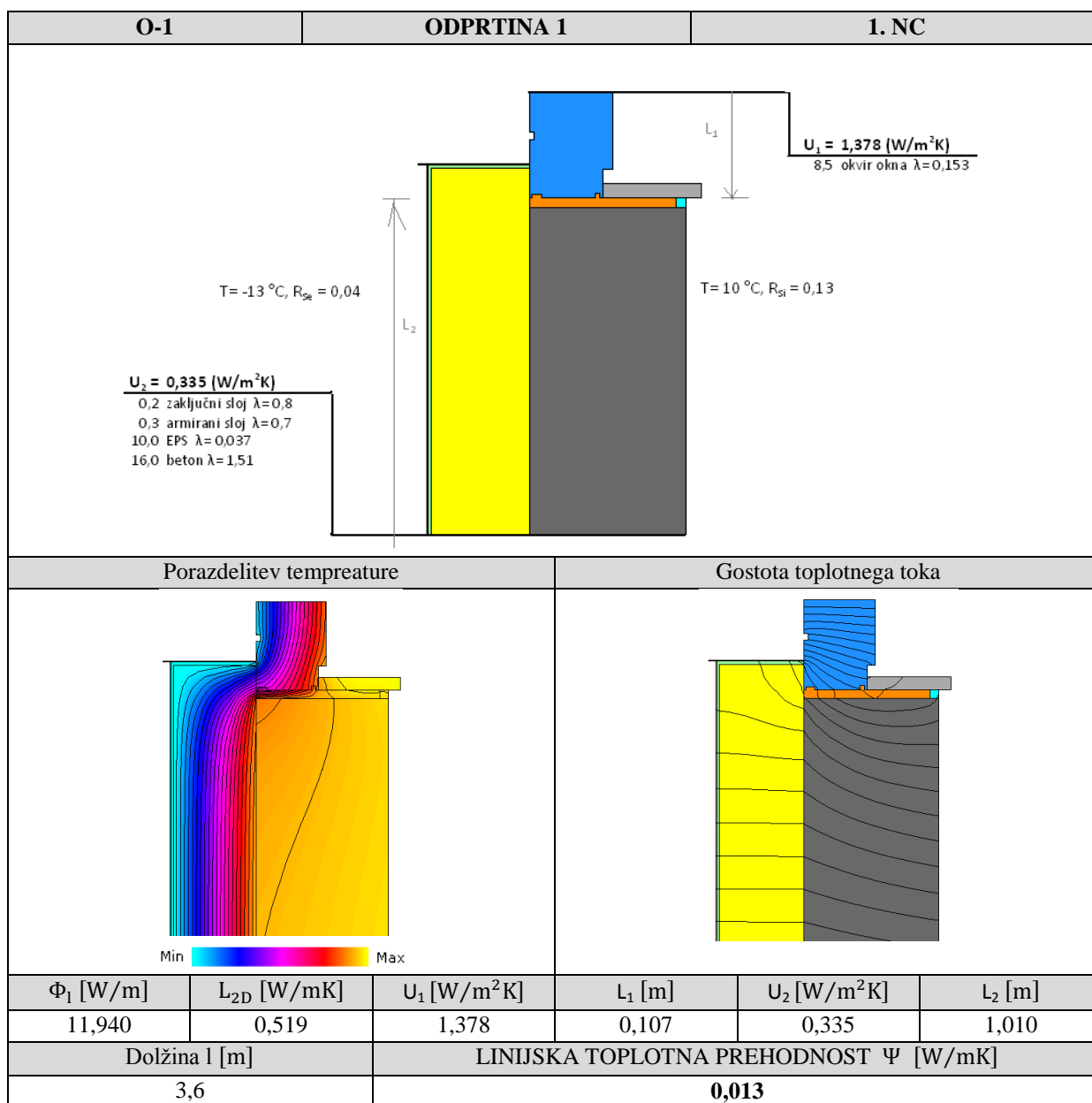


Obravnavamo notranji vogal napušča, kjer poteka geometrijski toplotni most N-2 (Preglednica 30).

Kot v primeru V-5 smo ignorirali tanki pločevinasti sloj in nosilne elemente fasadnega panela.

6.4.14 Toplotni most O-1

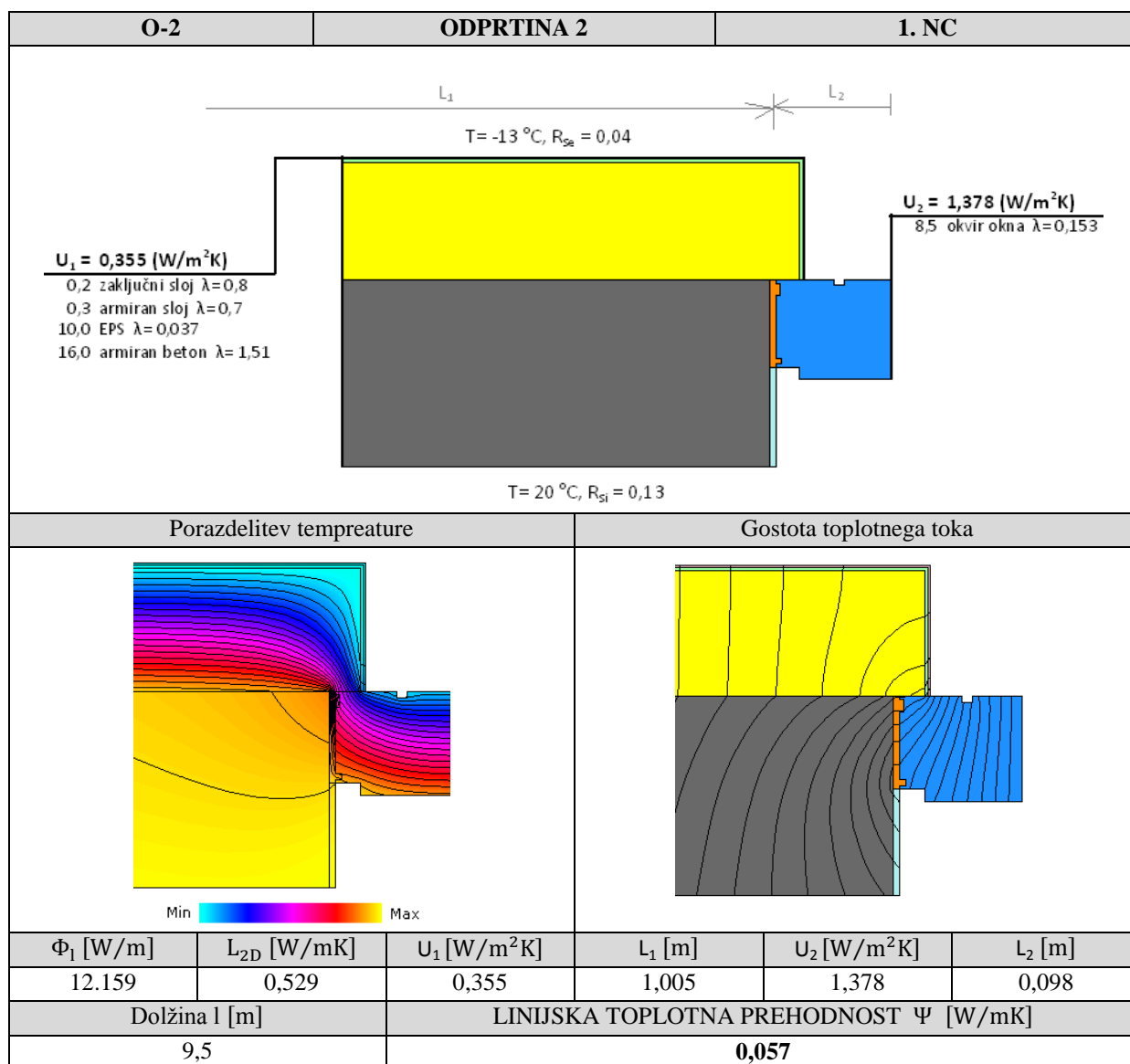
Preglednica 31: Toplotni most O-1



Po obodu vseh odprtin v zunanjem ovoju stavbe potekajo linijski toplotni mostovi (Preglednica 31). Profil PVC-okvira oken je sestavljen iz posameznih komor, tako da porazdelitev temperature skozi profil ni linearna. V simulaciji pa smo jih poenostavljeno obravnavali kot homogene elemente, upoštevajoč le zunanjo geometrijo profila, saj program ne omogoča podrobnejše obravnave geometrije. Toplotno prevodnost smo izračunali iz podatka toplotne prehodnosti okvira. Predpostavljamo, da ima porazdelitev temperature skozi okvir minimalen vpliv na ostale stikajoče elemente. Simulacija O-1 obravnava stik okvira na nosilni AB-steni z zunanjo pločevinasto in notranjo PVC-polico. Prostor med okvirjem in AB-zidom je zapolnjen s poliuretansko peno.

6.4.15 Toplotni most O-2

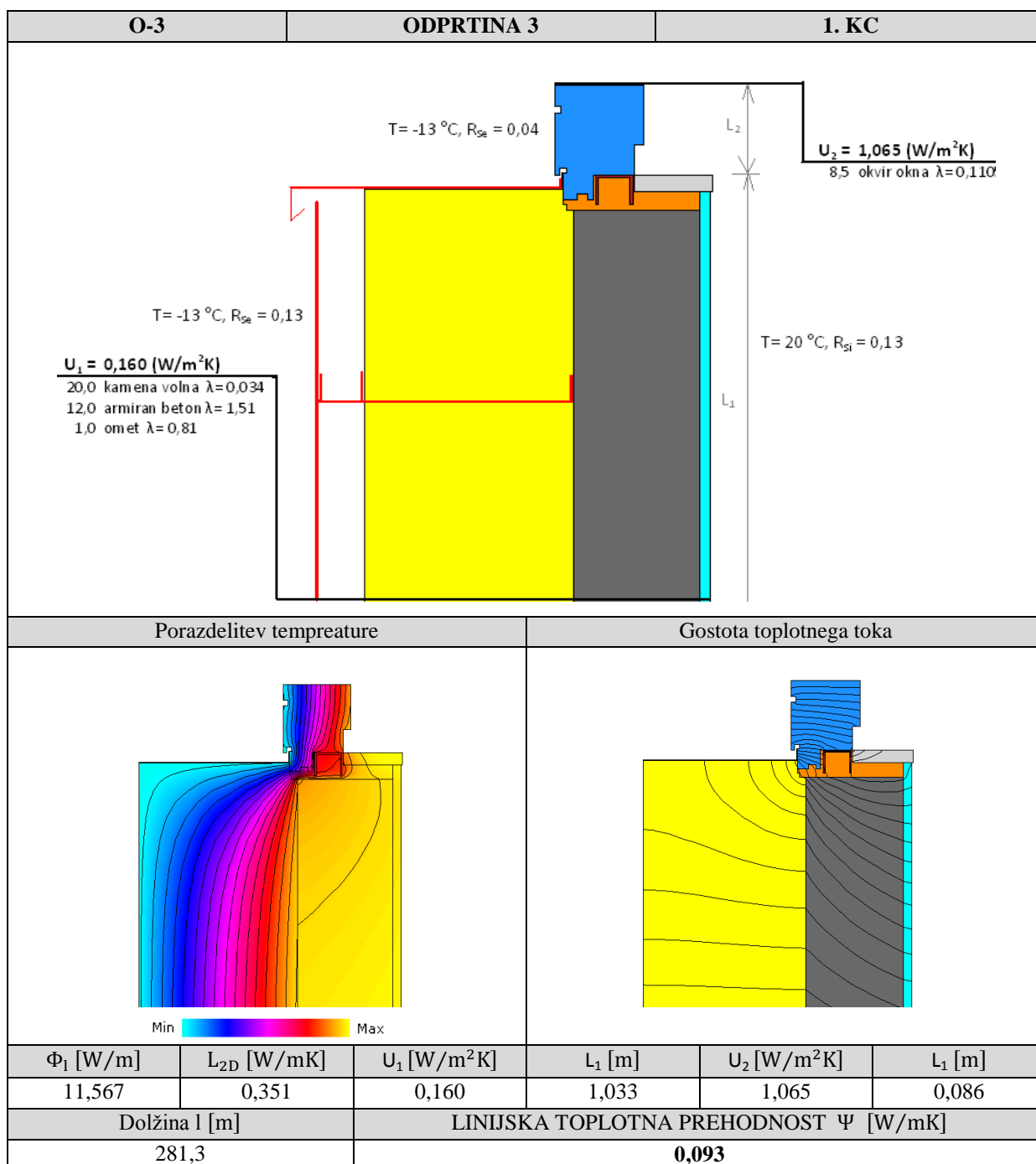
Preglednica 32: Toplotni most O-2



Linijski toplotni most poteka ob stranskih profilih okna iz simulacije O-1 (Preglednica 32). Dolžina zunanje toplotne izolacije ob zunanji strani profila je 1,1 cm krajša kot v primeru O-1, manjša je tudi višina poliuretanske pene, ki je le pod profilom. Vrednost linijske toplotne prehodnosti je v primerjavi s simulacijo O-1 zato kar trikrat višja.

6.4.16 Toplotni most O-3

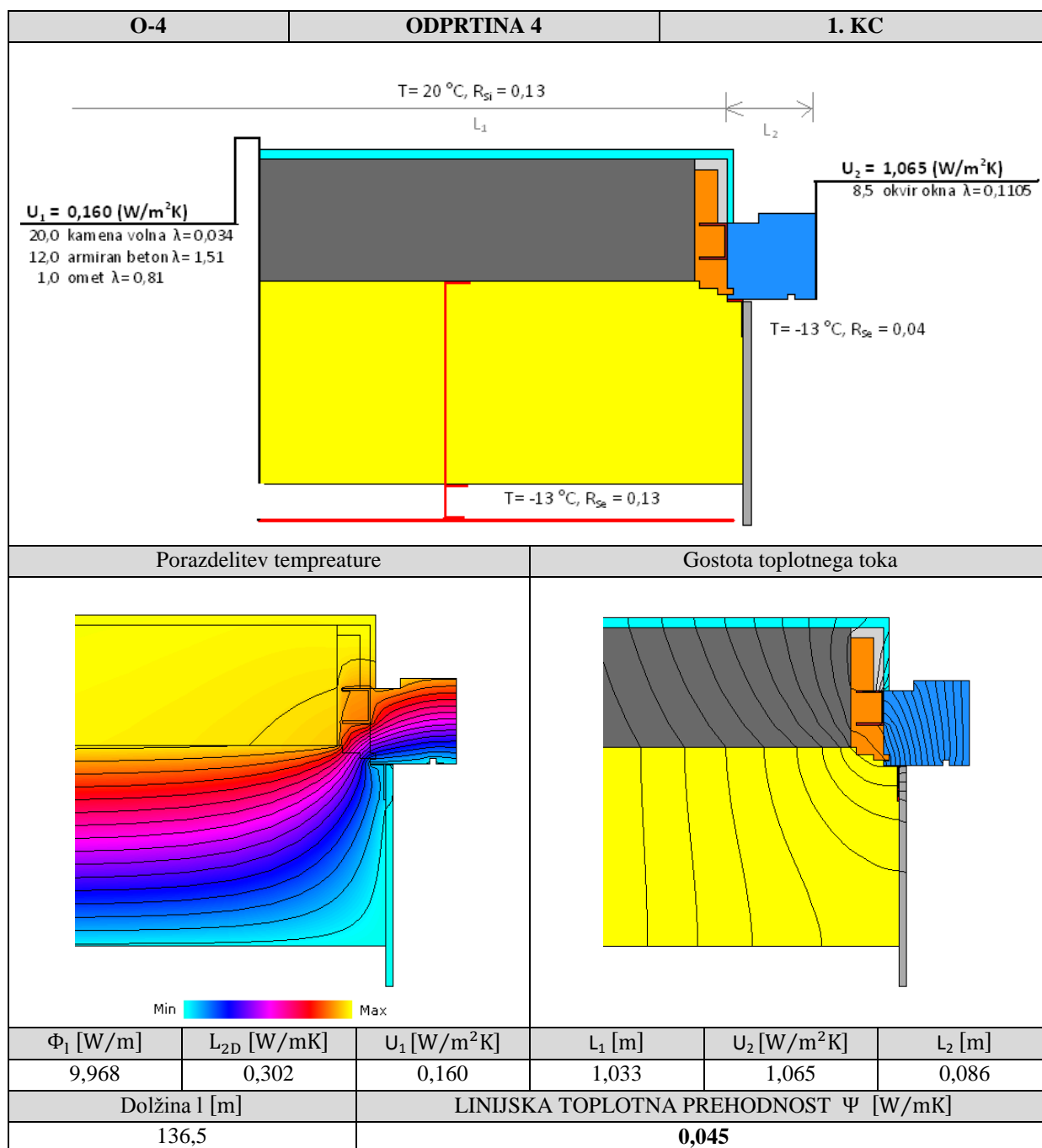
Preglednica 33: Toplotni most O-3



V primeru toplotnega mostu O-3 je okvir okna pričvrščen na jekleni profil, vmesni prostor pa je zapolnjen s poliuretansko peno (Preglednica 33). Na notranji strani je nameščena PVC-polica, zunanjo pločevinasto pa lahko v simulaciji zanemarimo. Šibek člen detajla je okolica jeklenega profila, kjer je zaznana najnižja površinska temperatura na notranji strani, in sicer 13,6 °C. Na visoko vrednost linijske toplotne prehodnosti vpliva tudi dodaten PVC-profil, nameščen pod okvir okna.

6.4.17 Toplotni most O-4

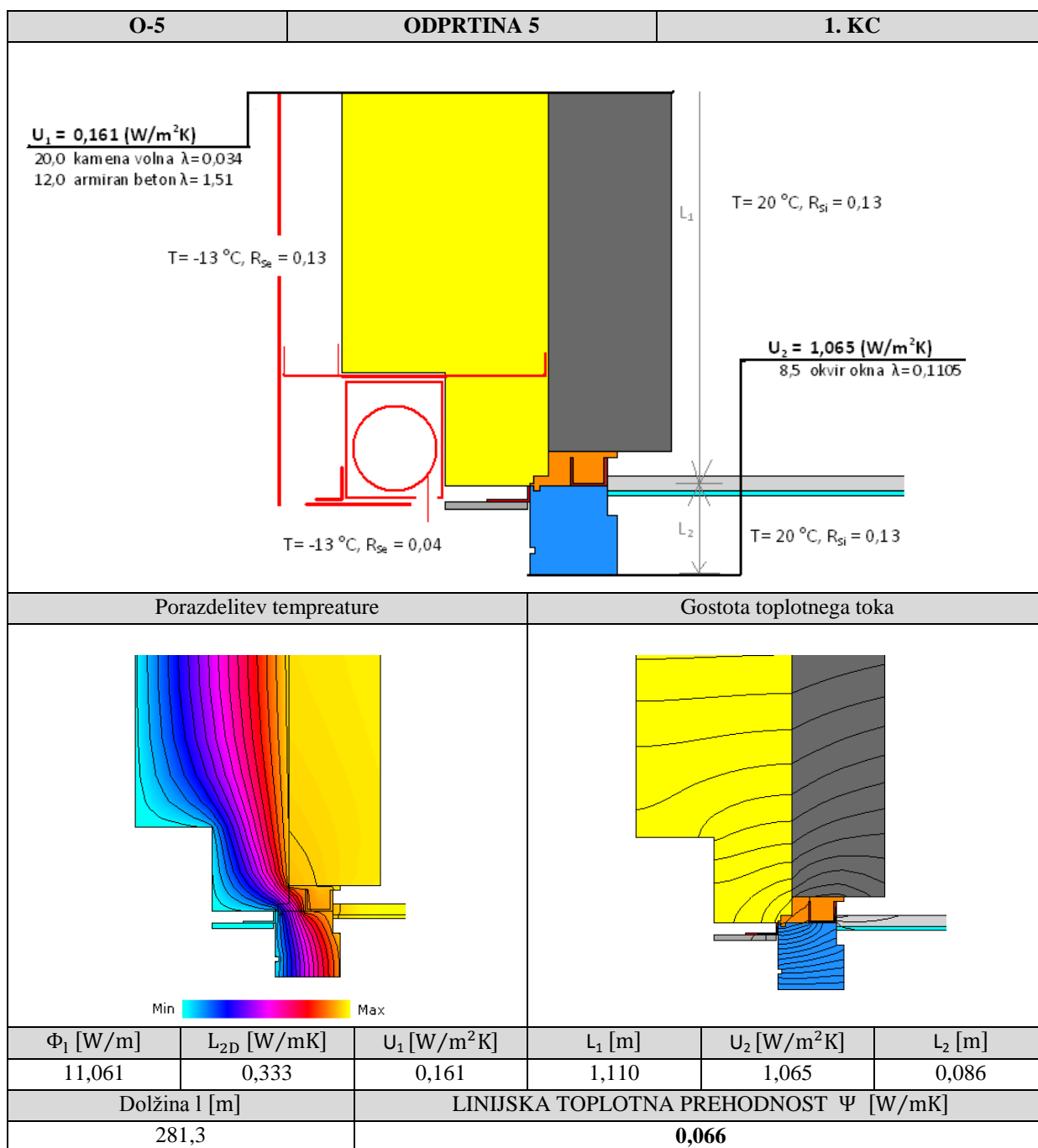
Preglednica 34: Toplotni most O-4



Toplotni most (Preglednica 34) poteka ob stranskem profilu okna iz primera O-3. Ob zunanji špaleti je na aluminijski L-profil nameščen PVC-element, notranja špaleta pa je zaprta z mavčno ploščo in ometom. V prejšnjem primeru O-3 je šibki člen predstavljal dodaten PVC-profil pod okvirjem, tu je vmesni prostor v celoti zapolnjen s poliuretansko peno. Tudi zunanja toplotna izolacija poteka v daljšem stiku s profilom okvirja. Tako se je vrednost linijske toplotne prehodnosti znižala za več kot polovico v primerjavi s primerom O-3.

6.4.18 Toplotni most O-5

Preglednica 35: Toplotni most O-5

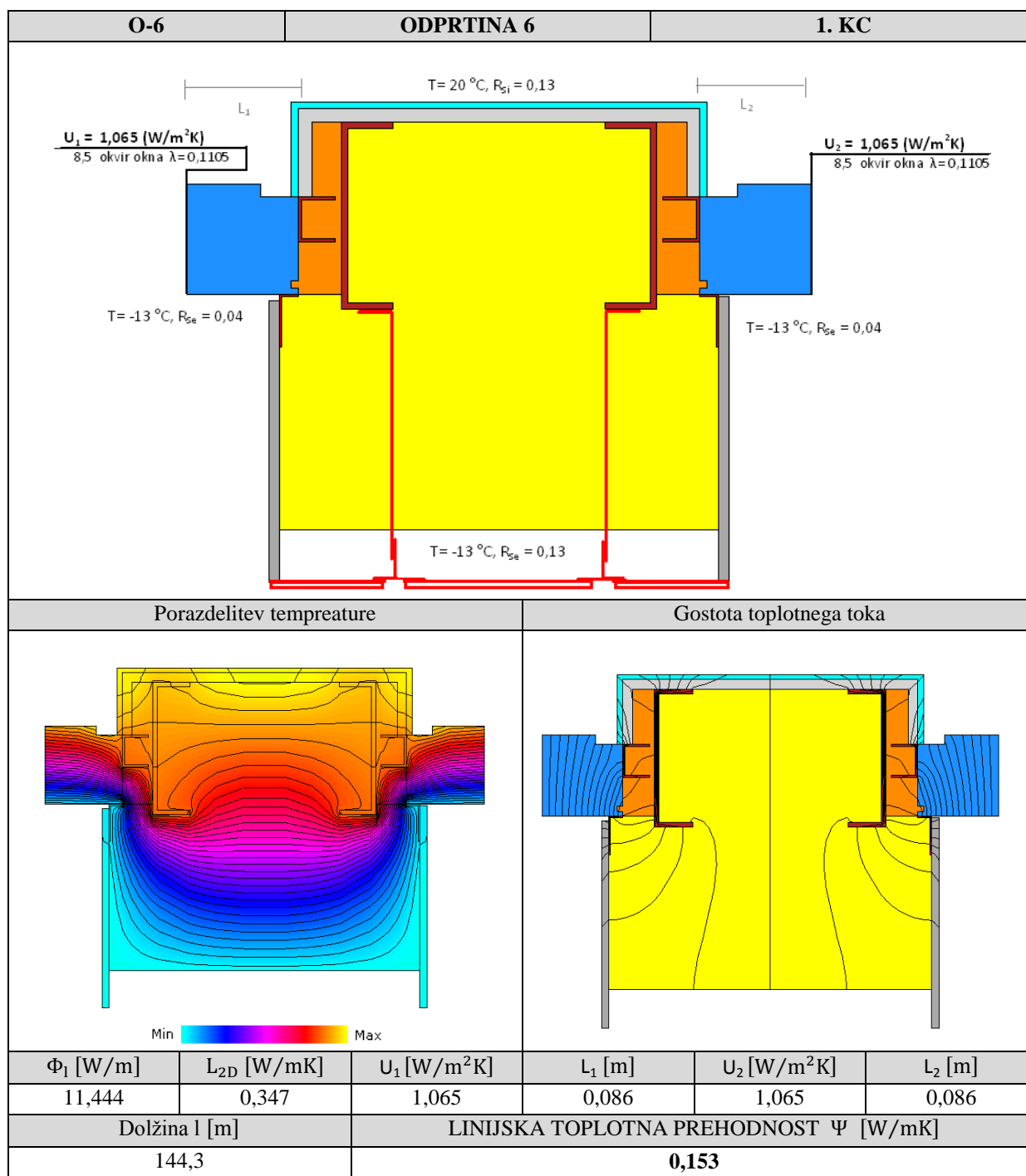


Simulirani toplotni most O-5 se nahaja ob zgornjem profilu okna, kjer je nameščeno tudi senčilo (Preglednica 35). Mehanizem in točkovna podkonstrukcija sta v analizi ignorirana, kot tudi elementi prezračevane fasade. Na notranji strani viseči mavčni kartonski strop nalega na okvir okna.

V primeru, da senčila ne namestimo in posledično ne stanjšamo debeline TI, se vrednost linijske toplotne prehodnosti zniža na 0,053 W/mK.

6.4.19 Toplotni most O-6

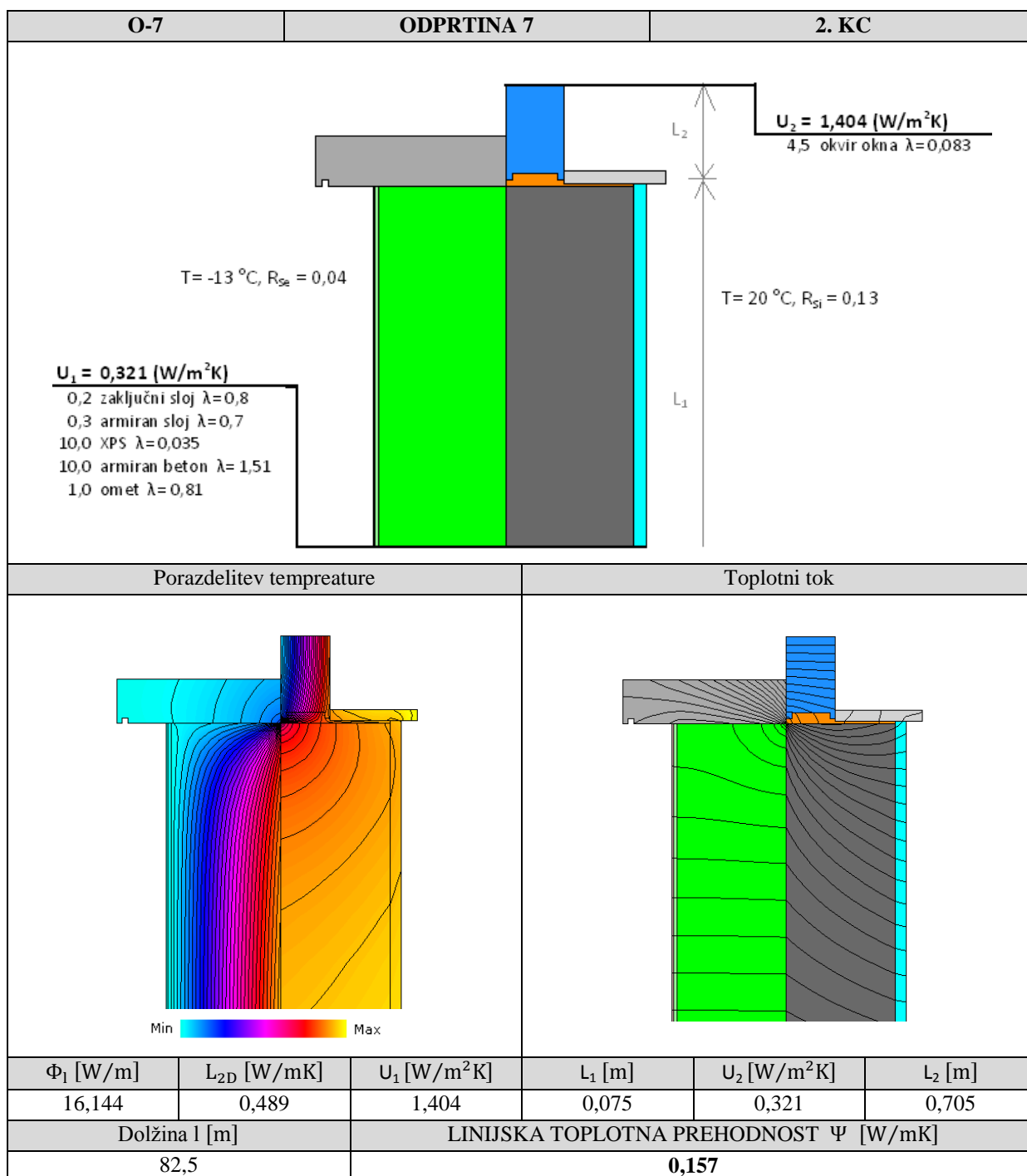
Preglednica 36: Toplotni most O-6



Steber med posameznimi okni je pogost element v zunanjem plašču obravnavane stavbe (Preglednica 36). Če bi simulirali le polovico stebra in okvir okna, bi s tem zanemarili geometrijski vpliv na toplotni tok in s tem na linijsko toplotno prehodnost. Zato v izračunu toplotne bilance stavbe nismo upoštevali površine stebrov, temveč bomo transmisijske izgube skozi stebre prišteli kot linijske toplotne mostove. Tako je zajet tudi vpliv jeklenih C-profilov na povečan toplotni tok skozi stebre.

6.4.20 Toplotni most O-7

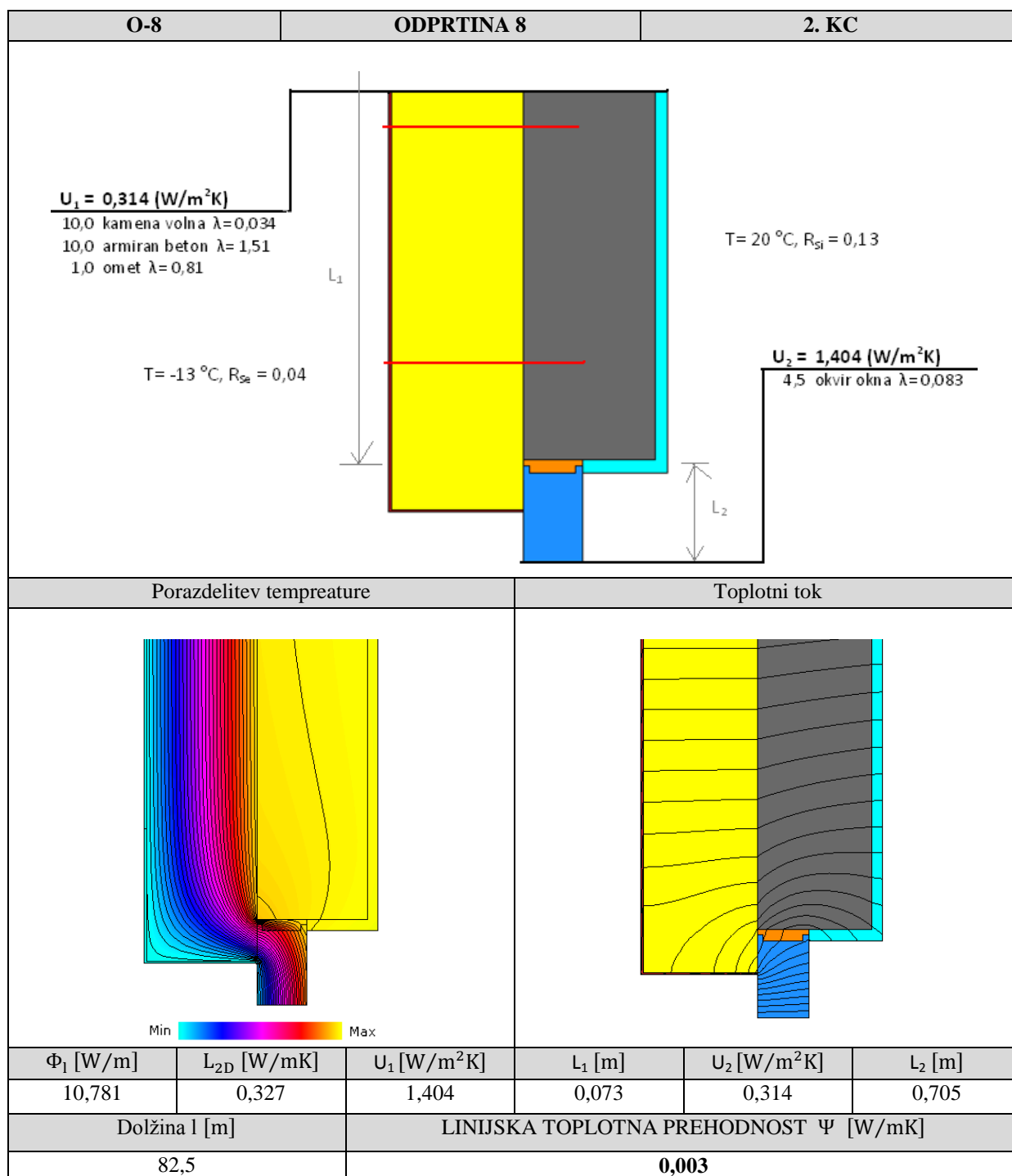
Preglednica 37: Toplotni most O-7



V pritlični coni poteka linijski toplotni tok ob polici steklene stene (Preglednica 37). Zunanja granitna polica s toplotno prevodnostjo 2,8 W/mK neugodno vpliva na porazdelitev temperature skozi prerez detajla. Zunanja toplotna izolacija ni v stiku s profilom okvira okna. Vse to vpliva na visoko vrednost linijske toplotne prehodnosti.

6.4.21 Toplotni most O-8

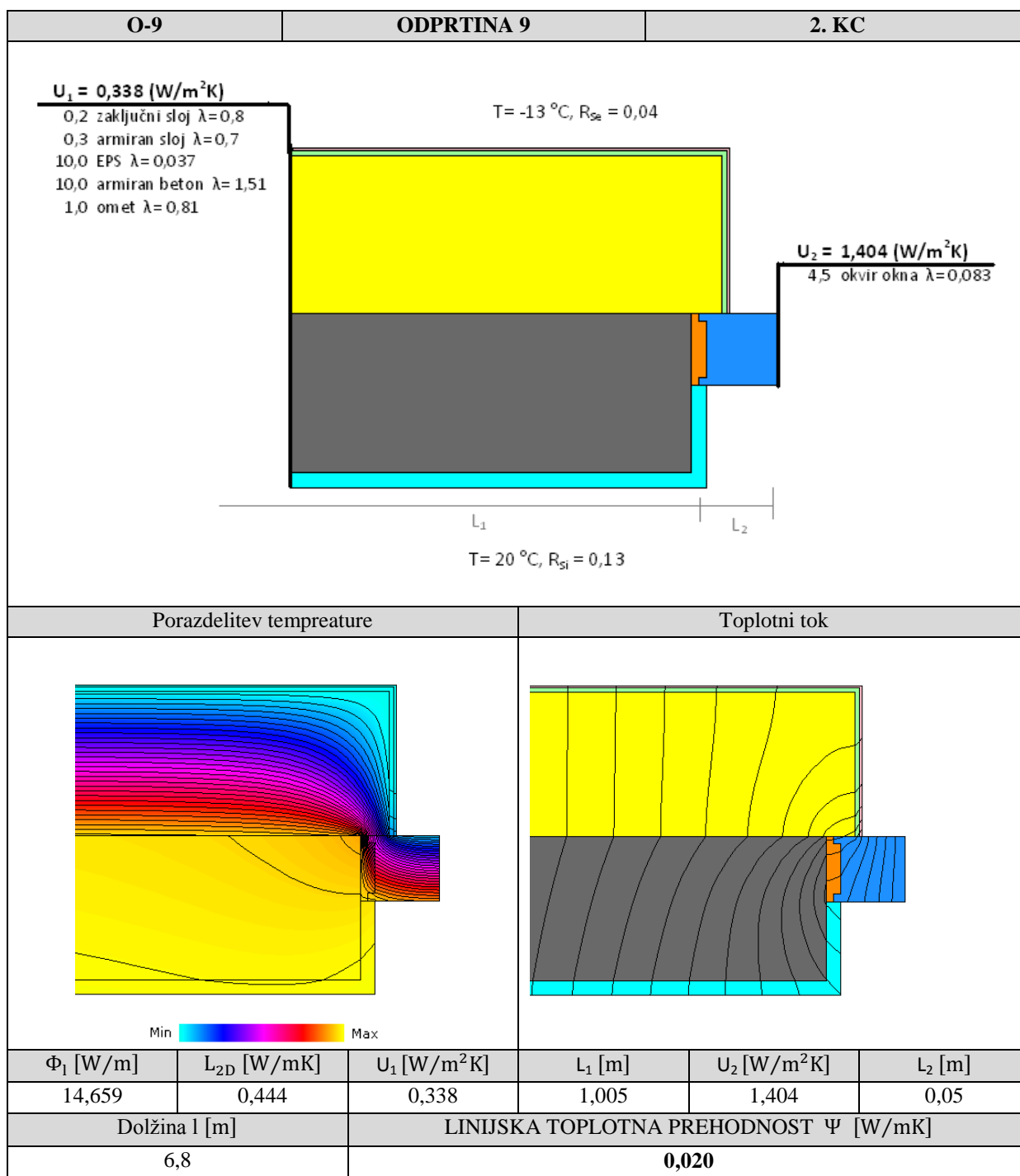
Preglednica 38: Toplotni most O-8



Obravnavamo stik steklene stene s preklado v pritlični coni (Preglednica 38). Toplotno izolacijo preklade predstavlja »sendvič« panel, pri katerem zanemarimo tanek kovinski sloj in točkovno podkonstrukcijo. Dolžina stika izolacije z okvirjem je kar 3 cm, kar vpliva na zanemarljivo majhno vrednost linijske toplotne prehodnosti.

6.4.22 Toplotni most O-9

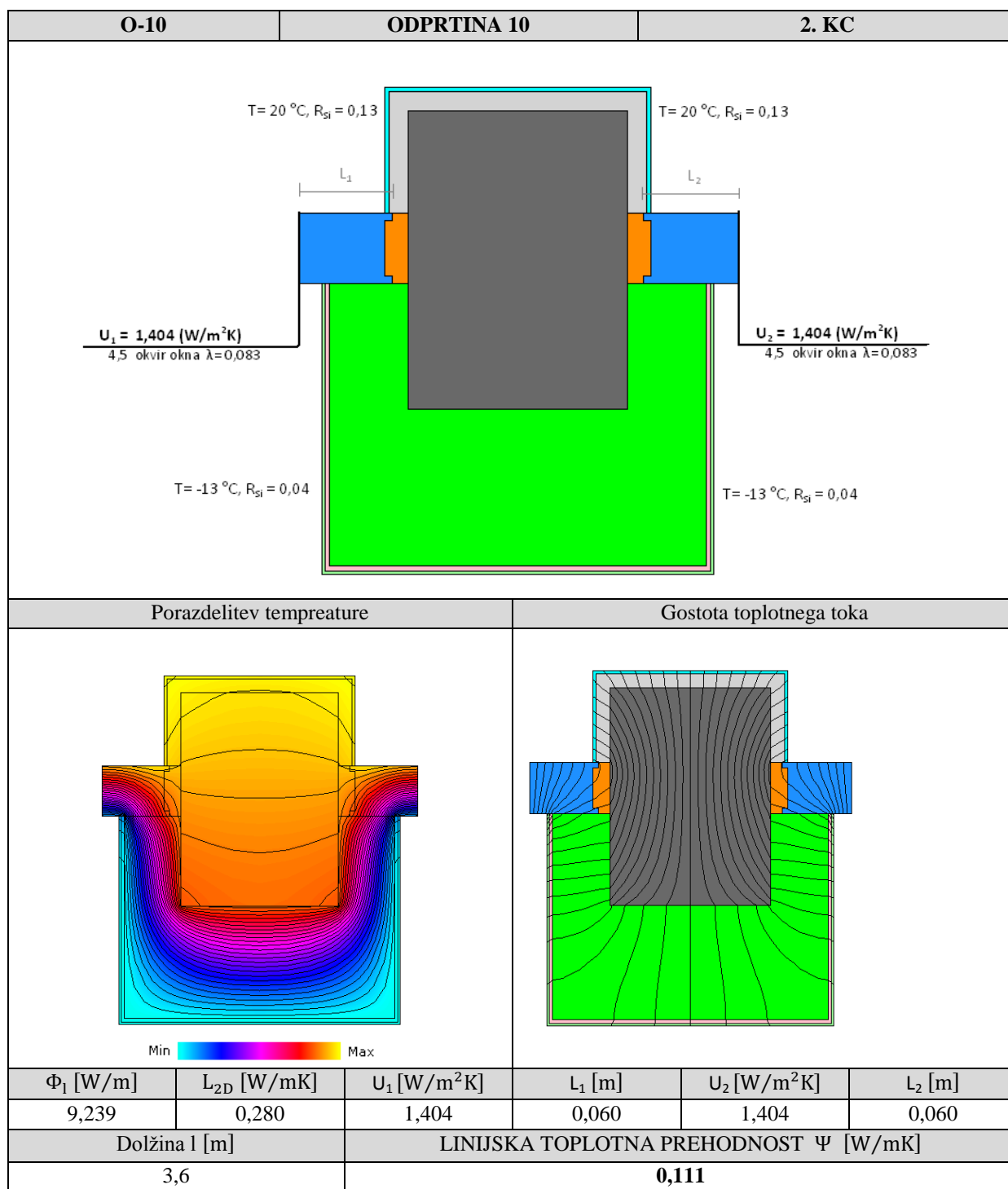
Preglednica 39: Toplotni most O-9



Linijski toplotni most O-9 poteka ob špaleti steklene stene (Preglednica 39). V območju poliuretanske pene z nizko toplotno prevodnostjo $0,024 \text{ W/mK}$ poteka opazen padec temperature. Zaradi stika TI s profilom steklene stene je vrednost linijske toplotne prehodnosti relativno nizka.

6.4.23 Toplotni most O-10

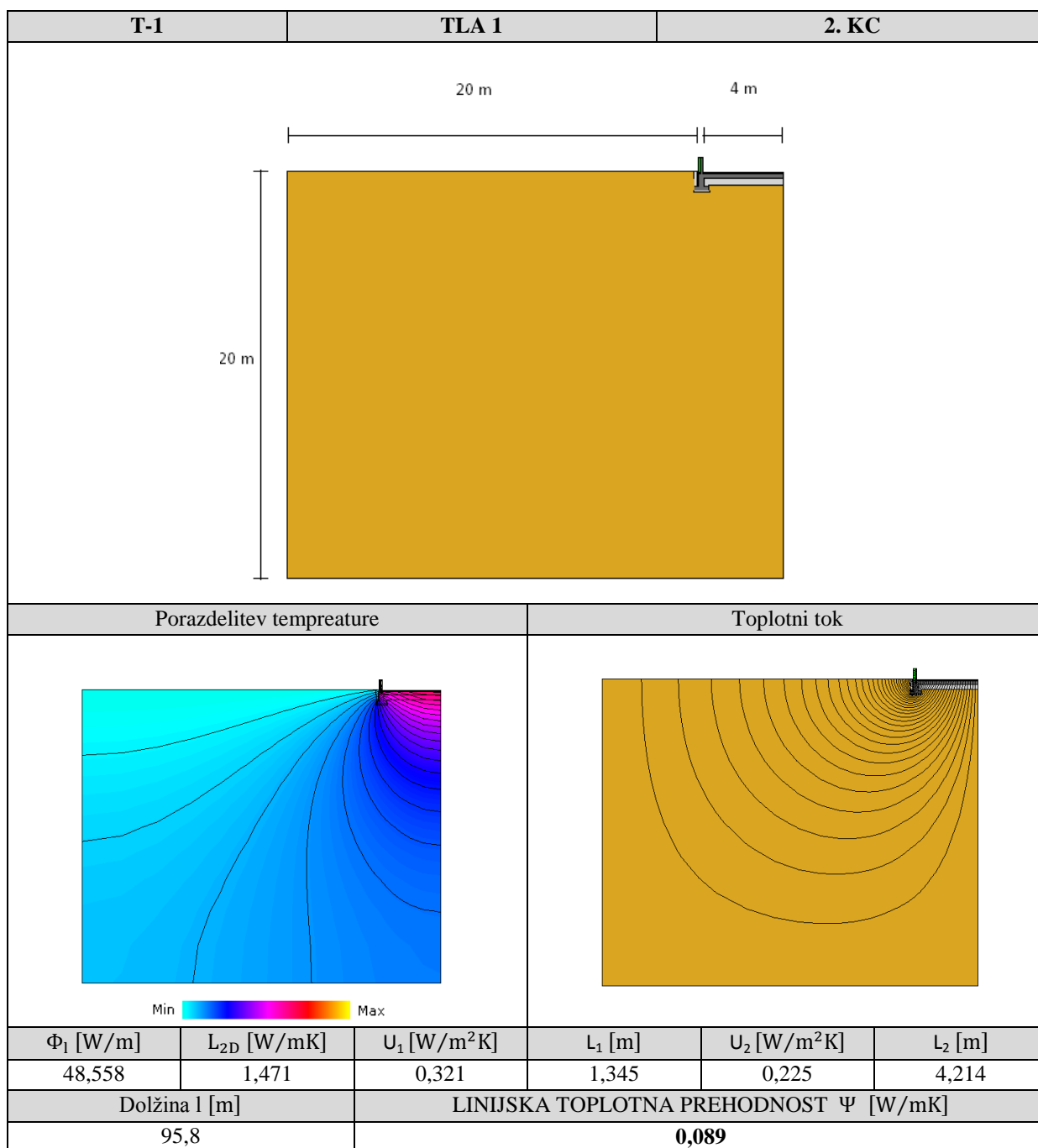
Preglednica 40: Toplotni most O-10



V primeru O-10 simuliramo steber med transparentnima površinama pritličja (Preglednica 40). Kot v primeru O-6 v izračunu transmisijskih izgub stavbe nismo upoštevali prehoda toplote skozi površino stebrov, temveč jih bomo prišteli kot linijske toplotne mostove. Tako natančneje zajamemo geometrijski vpliv stebra na povečan toplotni tok in porazdelitev temperature.

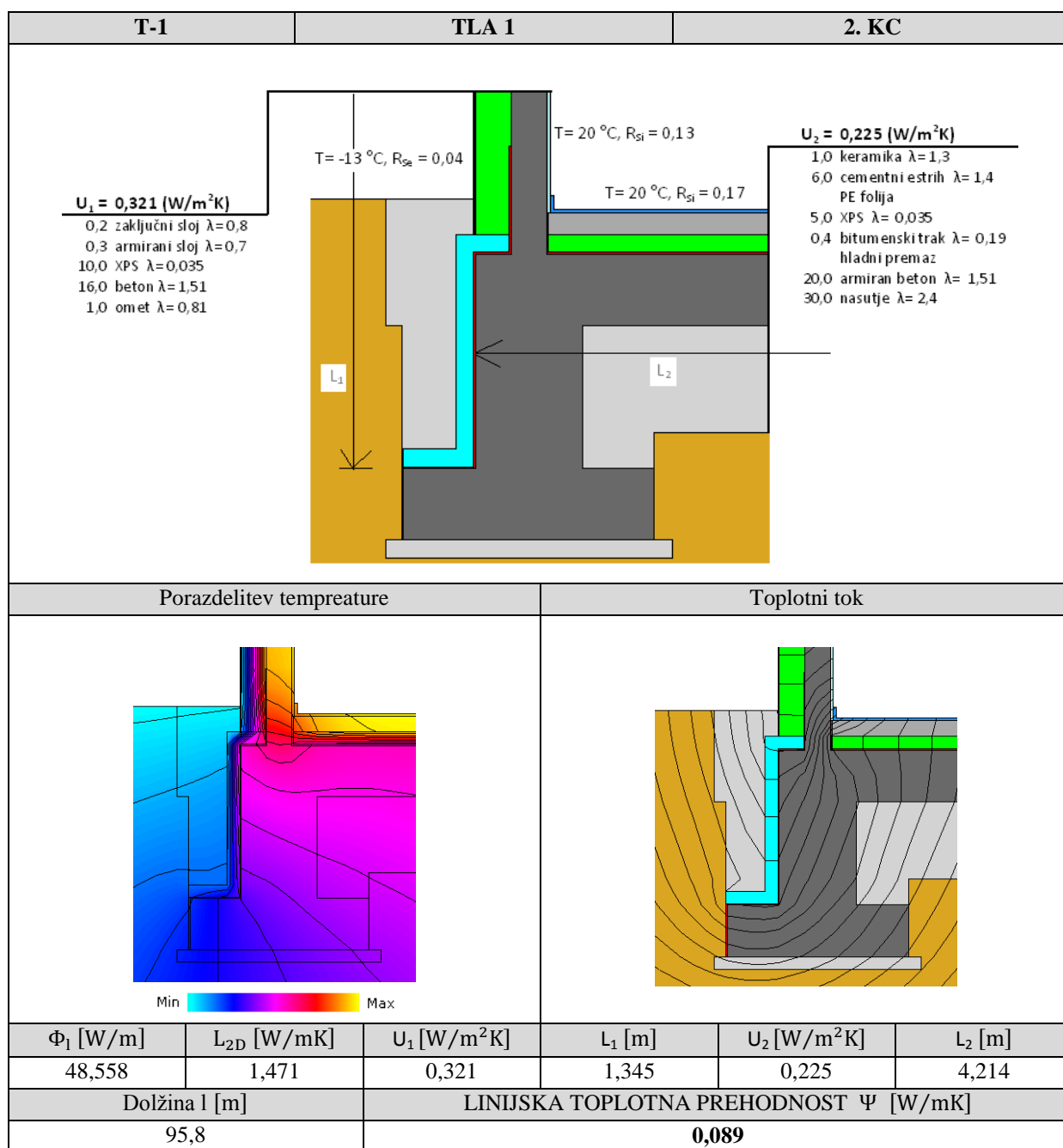
6.4.24 Toplotni most T-1

Preglednica 41: Toplotni most T-1



Toplotni most T-1 poteka na križanju talne konstrukcije in zunanje stene (Preglednica 41). Dimenzije modela zunaj stavbe in pod terenom so v skladu z določili standarda EN 10211. Vplivna dolžina, na katero se nanaša toplotna prehodnost stene, sega pod nivo zemljine, kar pozitivno vpliva na transmissijske izgube skozi simulirano križanje. Upoštevana je toplotna prehodnost zemljine 2 W/mK. Temelj je toplotno izoliran z XPS-ploščami debeline 5 cm. Opazen je povečan toplotni tok na stiku AB parapeta s talno AB-ploščo (Preglednica 42), kjer toplotna izolacija ni sklenjena.

Preglednica 42: Toplotni most T-1 (približan pogled)



Toplotna prehodnost talne konstrukcije U₂ je izračunana (enačba 8) v skladu s standardom SIST EN ISO 13370 [27].

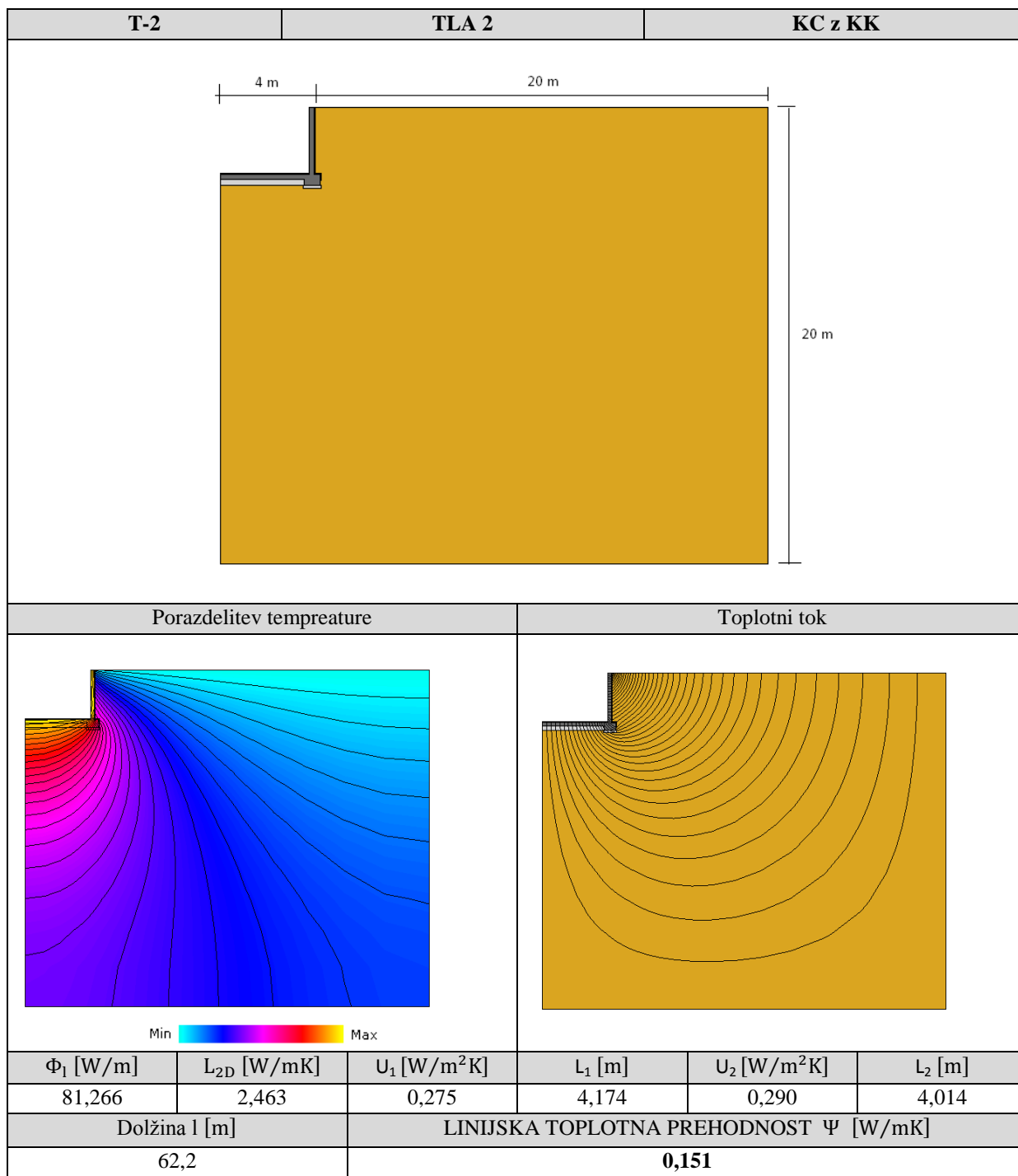
$$U_2 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (8)$$

Kjer so:

- λ toplotna prevodnost zemljine,
- B' karakterističen parameter tal,
- d_t skupna ekvivalentna dolžina talne konstrukcije.

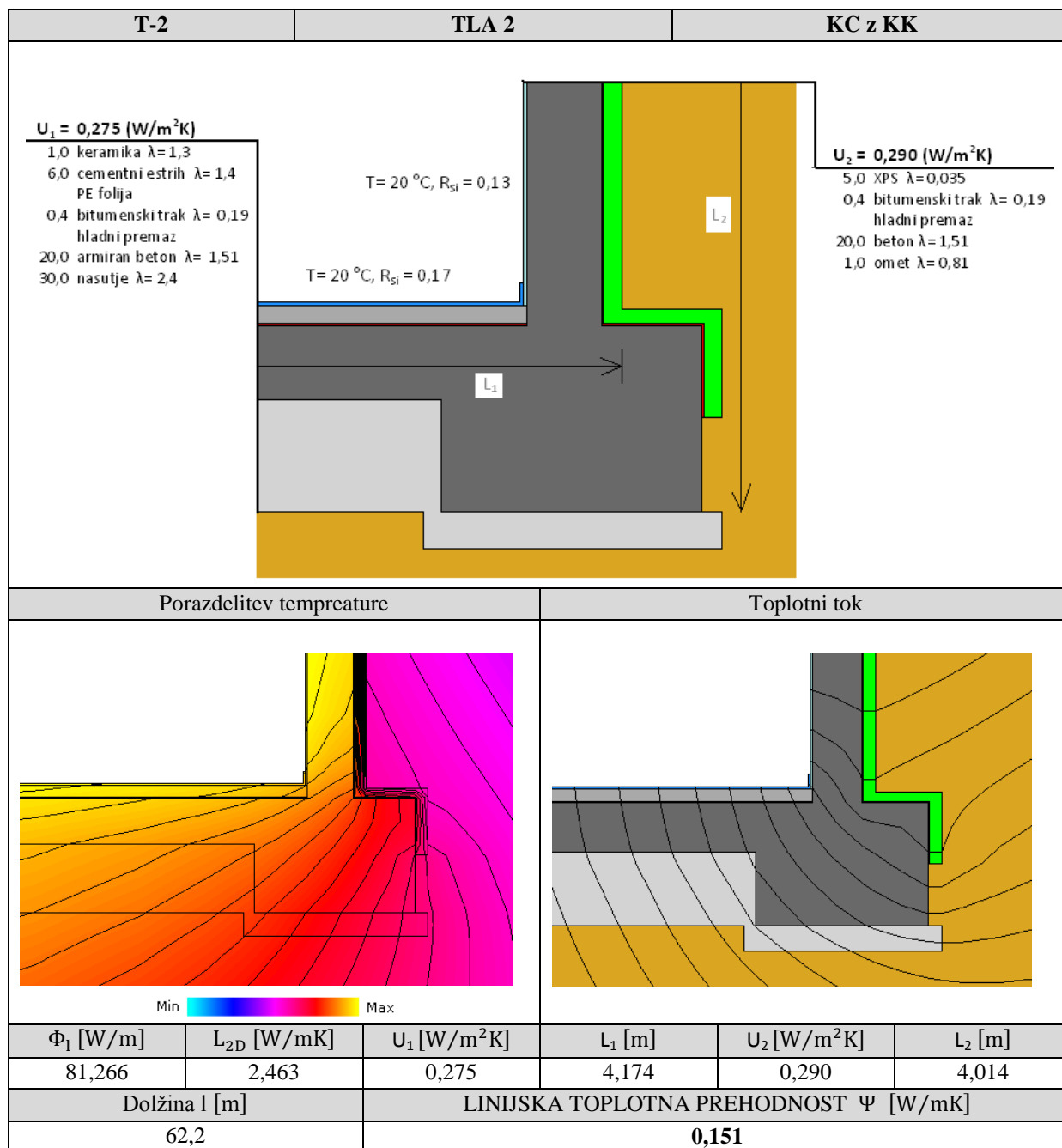
6.4.25 Toplotni most T-2

Preglednica 43: Toplotni most T-2



Na križanju talne konstrukcije kondicionirane kleti in vkopanega zidu poteka toplotni most T-2 (Preglednica 43). Talna plošča ni toploto izolirana, kar posredno vpliva na visoko vrednost linijske toplotne prehodnosti. V preglednici 44 je prikazan približan detajl. Enačbe 9, 10 in 11, ki smo jih uporabili za izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov pod površino zemljine, so v skladu s standardom SIST EN ISO 13370.

Preglednica 44: Toplotni most T-2 (približan pogled)



$$U_1 = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right) \quad (9)$$

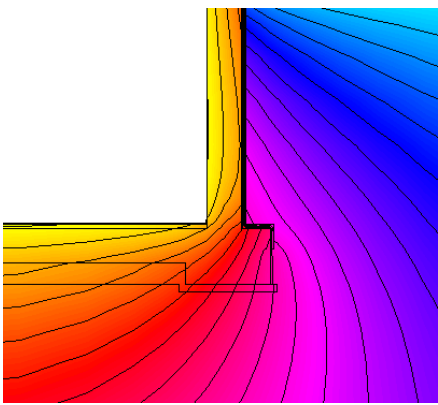
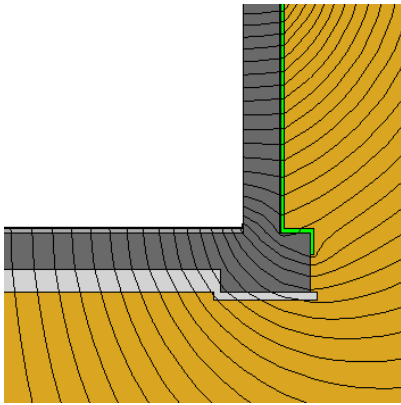
$$U_2 = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (10)$$

Kjer so:

- λ toplotna prevodnost zemljine,
- B' karakterističen parameter tal,
- d_t skupna ekvivalentna debelina talne konstrukcije,
- d_w skupna ekvivalentna debelina zidu,
- z višina nivoja zunanjih tal nad kletno konstrukcijo tal.

6.4.26 Toplotni most T-3

Preglednica 45: Toplotni most T-3

T-3		TLA 3		NC z NK	
$U_1 = 0,290 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ 1,0 keramika $\lambda = 1,3$ 6,0 cementni estrih $\lambda = 1,4$ 0,4 bitumenski trak $\lambda = 0,19$ hladni premaz 50,0 armiran beton $\lambda = 1,51$ 30,0 nasutje $\lambda = 2,4$		$T = 20 \text{ }^\circ\text{C, } R_{si} = 0,13$ $T = 20 \text{ }^\circ\text{C, } R_{si} = 0,17$		$U_2 = 0,276 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ 5,0 XPS $\lambda = 0,035$ 0,4 bitumenski trak $\lambda = 0,19$ hladni premaz 50,0 beton $\lambda = 1,51$	
Porazdelitev temperature			Toplotni tok		
					
$\Phi_1 \text{ [W/m]}$	$L_{2D} \text{ [W/mK]}$	$U_1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$	$L_1 \text{ [m]}$	$U_2 \text{ [W/m}^2\text{K]}$	$L_2 \text{ [m]}$
54,264	2,369	0,290	4,554	0,276	4,342
Dolžina l [m]		LINIJSKA TOPLOTNA PREHODNOST $\Psi \text{ [W/mK]}$			
26,0		-0,155			

Toplotni most T-3 poteka na križanju talne konstrukcije in vkopanega zidu neogrevanega zaklonišča (Preglednica 45). Simulacija je podobna primeru T-2, debelejša pa je debelina nosilne AB- konstrukcije (50 cm). Vrednost toplotne prehodnosti talne konstrukcije U_1 je višja kot v primeru T-2, predvsem zaradi nižje vrednosti karakterističnega parametra tal zaklonišča B' .

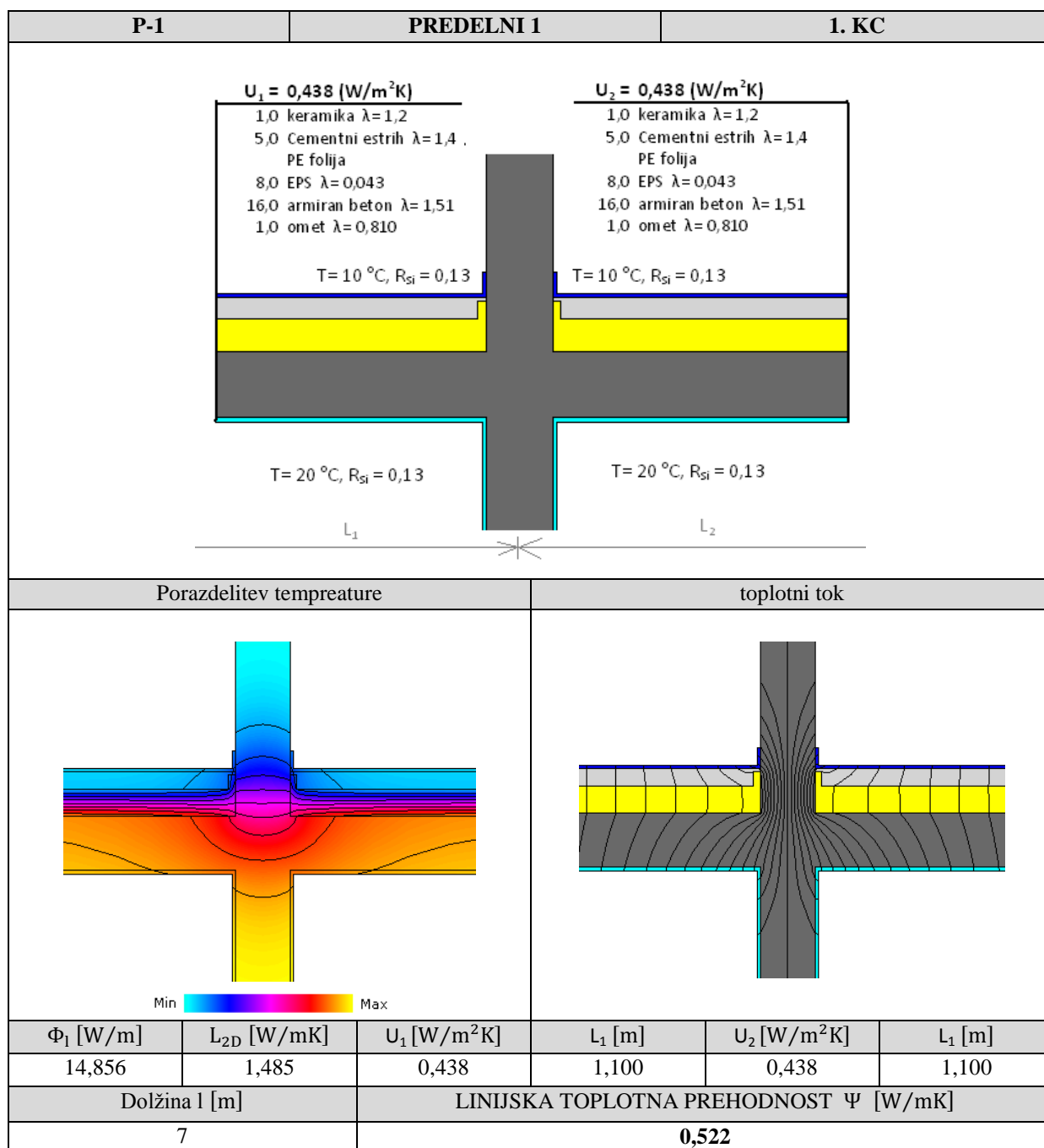
$$B' = \frac{A_g}{0,5 \times P} \quad (11)$$

Kjer so:

- A_g površina tlorisa talne konstrukcije,
- P obseg obravnavanega tlorisa.

6.4.27 Toplotni most P-1

Preglednica 46: Toplotni most P-1



Toplotni mostovi potekajo tudi v notranjosti stavbe. Med neogrevanim ostrešjem in 1. kondicionirano cono poteka na križanju nosilne stene in stropa linijski toplotni most P-2 (Preglednica 46). Opazen je povečan toplotni tok skozi AB-steno z visoko toplotno prevodnostjo. Presežena je linijska toplotna prehodnost $\Psi > 0,2 \text{ W/mK}$, čemur bi se morali v ovoju stavbe izogniti.

7 PRIVZETE VREDNOSTI TOPLOTNIH MOSTOV

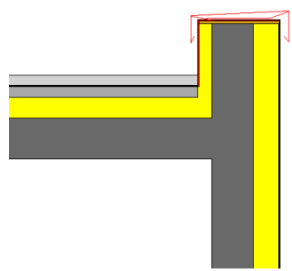
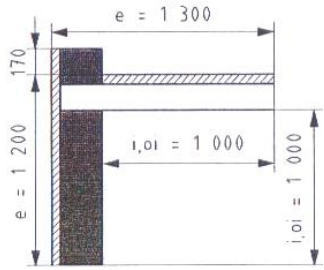
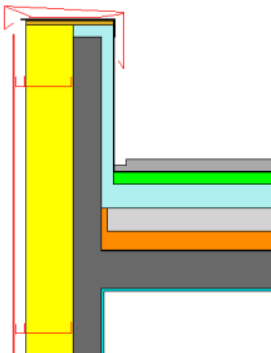
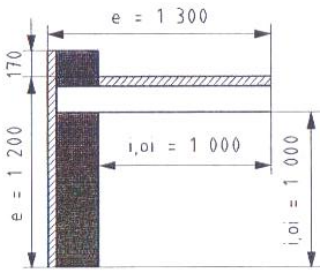
Za identificirane toplotne mostove obravnavanega objekta smo na podlagi simulacij izračunali točne vrednosti linijske toplotne prehodnosti. V nadaljevanju nas zanima primerjava s privzetimi vrednostmi, ki so navedene v standardu EN 14683 [3] v tabeli A.2.

7.1 Privzete vrednosti obravnavanih toplotnih mostov

Obravnavane toplotne mostove smo razporedili v preglednice od 47 do 53 glede na geometrijo in specifične konstrukcijske detajle, v katerem potekajo. Za vsak toplotni most identificiran na stavbi je za primerjavo predstavljen rezultat Ψ numerične simulacije in privzeta standardna vrednost, podana v standardu EN 14683.

7.1.1 Privzete vrednosti – atika

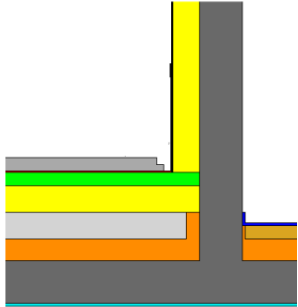
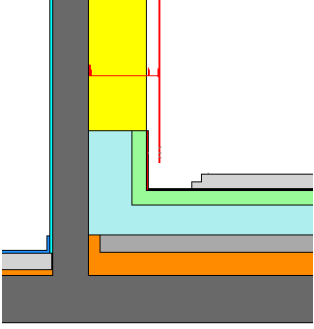
Preglednica 47: Privzete vrednosti – atika

Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	model	Ψ [W/mK]	shema	Ψ [W/mK]
A-1		0,176		0,5
A-2		0,073		0,5

V obravnavanih primerih atike (Preglednica 47), so privzete vrednosti iz tabele veliko višje, kot sta dejanski numerični vrednosti Ψ . Razlog je v slabše zasnovanem standardnem detajlu, saj TI na vrhu in ob parapetu atike ne poteka.

7.1.2 Privzete vrednosti – streha

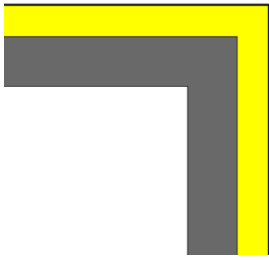
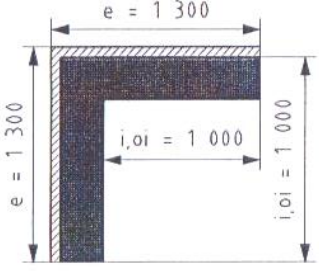
Preglednica 48: Privzete vrednosti – streha

Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	Model	Ψ [W/mK]	Shema	Ψ [W/mK]
S-1		0,028	/	/
S-2		0,037	/	/

Geometrijsko podobno zasnovanih detajlov križanja strešne konstrukcije in zidu v tabeli privzetih vrednosti ni (Preglednica 48).

7.1.3 Privzete vrednosti – vogal

Preglednica 49: Privzete vrednosti – vogal

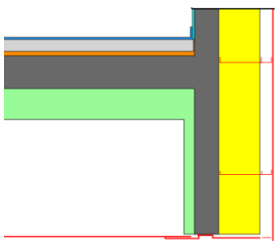
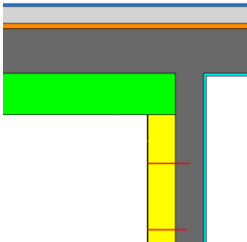
Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	model	Ψ [W/mK]	shema	Ψ [W/mK]
V-1		-0,068		-0,05

V-2		0,026		0,05
V-3		-0,050		-0,05
V-4		0,018		0,05
V-5		-0,057		-0,05
V-6		-0,059		-0,05
V-7		0,132	/	/

Privzete vrednosti Ψ so izračunane za dvodimenzionalne modele v skladu z ISO 10211, nato pa so podane v tabeli A.2, zaokrožene na 0,05 W/mK. Menim, da je to razlog, da imajo določeni toplotni mostovi v preglednici 49 nižje privzete vrednosti Ψ v primerjavi z izračunanimi. Primerljiv tip vogala V-7 v tabeli privzetih vrednosti ni podan.

7.1.4 Privzete vrednosti – napušč

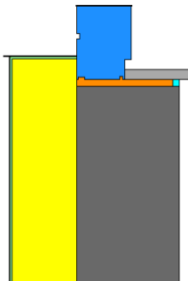
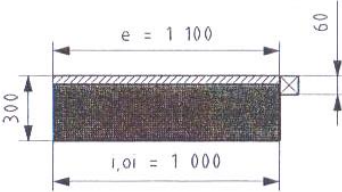
Preglednica 50: Privzete vrednosti – napušč


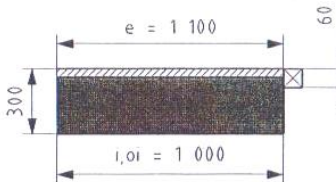
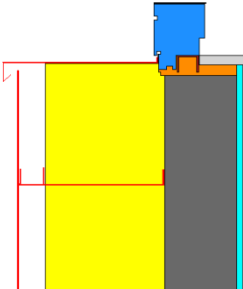
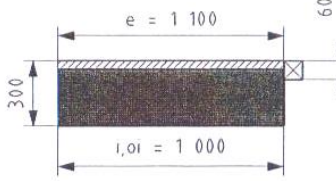
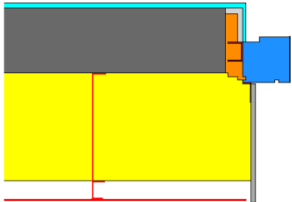
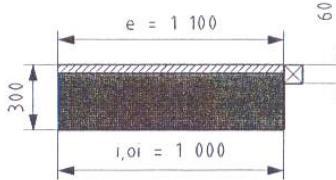
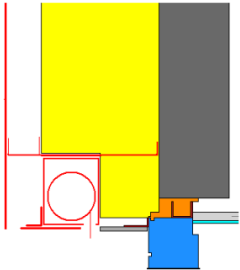
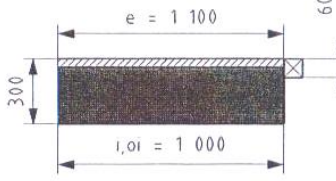
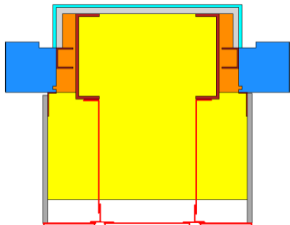
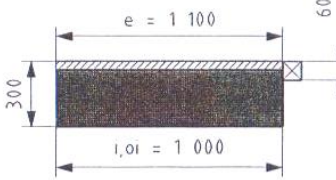
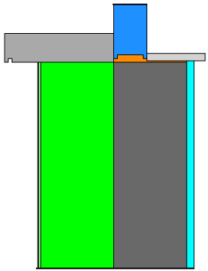
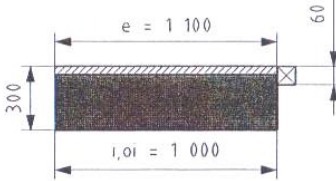
Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	model	Ψ [W/mK]	shema	Ψ [W/mK]
N-1		0,090	/	/
N-2		0,028	/	/

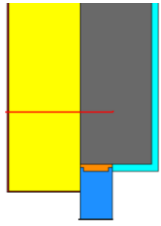
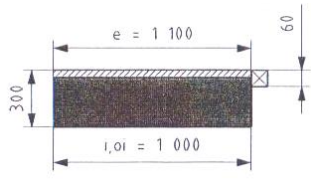

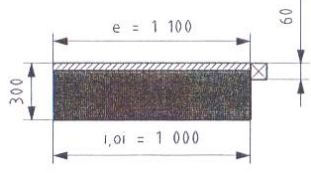
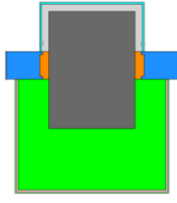
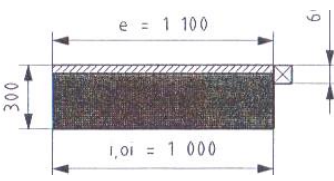
V tabelah privetih vrednosti ni podan tip toplotnega mostu, ki obravnava specifično konstrukcijo napušča (Preglednica 50).

7.1.5 Privzete vrednosti – odprtine

Preglednica 51: Privzete vrednosti – odprtine

Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	model	Ψ [W/mK]	shema	Ψ [W/mK]
O-1		0,013		0,00

O-2		0,057		0,00
O-3		0,093		0,00
O-4		0,045		0,00
O-5		0,066		0,00
O-6		0,153	2x 	0,00
O-7		0,157		0,00

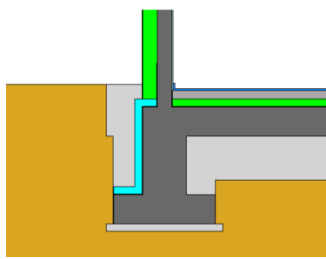
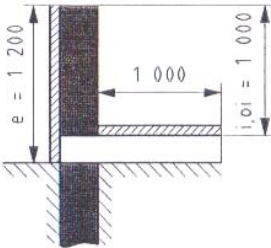
O-8		0,003		0,00
O-9		0,020		0,00
O-10		0,111	2× 	0,00

Glede na pozicijo okvira odprtine in potek TI je v tabelah podan le en tip toplotnega mostu, ki je primerljiv z dejanskimi detajli odprtine (Preglednica 51). Vendar ima zaradi poenostavljenega modela in zaokrožitve ničelno vrednost Ψ , kar je v nasprotju z realnim stanjem pri obravnavanih modelih. Tako bi z uporabo privzetih vrednosti iz tabele pravzaprav zanemarili linijske toplotne mostove, ki potekajo na obodu odprtin obravnavanega objekta.

V primeru modelov O-6 in O-10 smo v numerično simulacijo vključili konstrukcijo stebra, kar v tabeli A.2 ni predvideno. V primeru upoštevanja privzeti vrednosti Ψ bi morali v izračunu toplotne bilance stavbe upoštevati linijska toplotna mostova, ki potekata ob odprtinah na obeh straneh stebra.

7.1.6 Privzete vrednosti – tla

Preglednica 52: Privzete vrednosti – tla

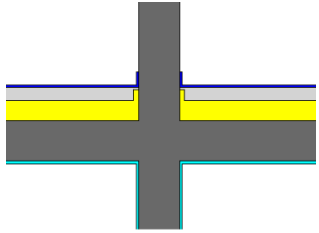
Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	Model	Ψ [W/mK]	Shema	Ψ [W/mK]
T-1		0,089		0,60

T-2		0,151	/	/
T-3		-0,155	/	/

Za simuliran model T-1 je v preglednici 52 podana primerljiva konstrukcija, vendar brez sloja robne izolacije pod nivojem terena. Kar vsekakor vsaj delno vpliva na skoraj šestkrat višjo privzeto vrednost Ψ . Križanja globlje pod terenom v tabeli privzetih vrednosti niso obravnavana.

7.1.7 Privzete vrednosti – predelni

Preglednica 53: Privzete vrednosti – predelni

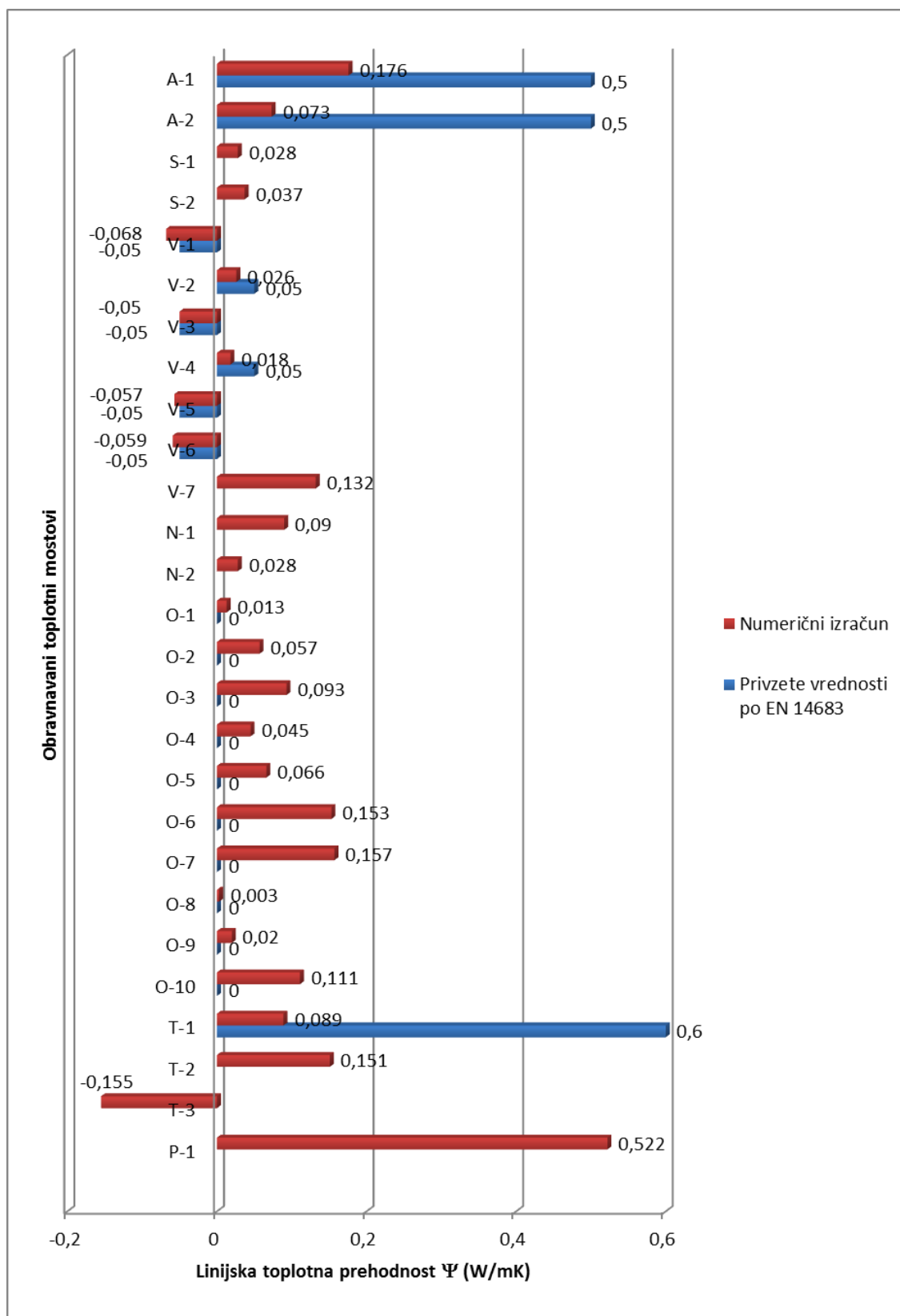
Oznaka	NUMERIČNI IZRAČUN		PRIVZETE VREDNOSTI	
	Model	Ψ [W/mK]	Shema	Ψ [W/mK]
P-1		0,533	/	/

Toplotni mostovi pri notranjih delitvah med temperaturnimi conami v stavbi v tabeli privzetih vrednosti v standardu EN 14683 niso zastopani (Preglednica 53).

7.2 Primerjava privzetih vrednosti Ψ z numeričnim izračunom

Z uporabo privzetih vrednosti v izračunu toplotnih izgub stavbe zanemarimo določene toplotne mostove, saj so v tabeli standarda EN 14683 zajeti le značilni. Podane privzete vrednosti pri večini primerov odstopajo od realnega stanja na dejanski obravnavani stavbi, pričakovali pa smo, da bodo vrednosti pri vseh toplotnih mostovih precenjene, a to ni tako (Slika 27). Edini primerljiv sklop

odprtin je v tabelah oblikovan tako, da je privzeta vrednost Ψ nižja od realnega stanja. Če bi v tabeli izbrali manj optimalen detajl, pa bi bila Ψ veliko previsoka.



Slika 27: Primerjava privzetih vrednosti z numeričnim izračunom

8 ANALIZA

Zanima nas kvantitativen vpliv metod in posameznih toplotnih mostov na toplotno bilanco obravnavane stavbe. Programska oprema TOST omogoča upoštevanje toplotnih mostov v skladu z metodami, ki jih določa TSG 4.

8.1 Vpliv posameznih metod obravnave toplotnih mostov na toplotno bilanco stavbe

V preglednici 54 so predstavljeni rezultati izračuna toplotne bilance obravnavane stavbe, kjer smo upoštevali različne metode obravnave toplotnih mostov. V izhodiščnem izračunu so toplotni mostovi zanemarjeni. Najrealnejše vrednosti smo določili z numeričnim izračunom, kjer se letna potrebna toplota za ogrevanje v primerjavi z izhodiščnim izračunom poveča za kar 9,3 % oziroma 7,37 kWh.

Z uporabo privzetih vrednosti dobimo najvišje vrednosti toplotnih izgub, izkaže pa se, da so malenkost višje od rezultatov numerične analize (Tabela 54). Letna potrebna toplota za ogrevanje se v primerjavi z izhodiščnim izračunom poveča za 9,9 % oziroma 7,83 kWh. Tako smo z upoštevanjem vrednosti iz standarda EN 14683 pravzaprav dobili primerljive rezultate realnemu stanju, a menim, da je to le naključje, ki je vezano na naš specifičen primer stavbe, saj imajo največji vpliv v izračunu toplotne bilance stavbe le trije toplotni mostovi (Slika 35), katerih privzeta vrednost linijske toplotne prehodnosti je precenjena.

Preglednica 54: Vpliv posameznih metod obravnave toplotnih mostov na toplotno bilanco stavbe

	Izhodiščni izračun	Poenostavljen način	Numerični izračun	Privzete vrednosti	Mejne vrednosti
H_T' [W/m^2K]	0,48	0,51	0,52	0,52	0,52
Q_P [kWh]	396,228	401,900	404,515	405,406	/
Q_{NH} [kWh]	79,381	84,479	86,749	87,212	101,337
Q_{NH}/V_e [kWh/m^3a]	6,77	7,21	7,40	7,44	8,65

Kjer so:

- H_T' koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe,
- Q_P letna raba primarne energije,
- Q_{NH} letna potrebna toplota za ogrevanje,
- Q_{NH}/V_e specifična letna toplota za ogrevanje na enoto kondicionirane prostornine.

Ob predpostavki, da imajo vsi toplotni mostovi v stavbi linijsko toplotno prehodnost manjšo od 0,2 W/mK, smo določili toplotno bilanco s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za 0,06 W/m²K. Letna potrebna toplota za ogrevanje je v tem primeru nižja od natančnejšega numeričnega izračuna, od izhodiščne vrednosti se poveča za 6,3 %. Ne glede na izbiro metode pa smo v obravnanem primeru vedno izpolnili minimalne zahteve maksimalne dovoljene rabe energije, ki se nanašajo na 21. člen PURES-a 2010.

8.2 Vpliv toplotnih mostov na transmisijske izgube

Povečanje transmisijskih izgub zaradi toplotnih mostov, upoštevanih na podlagi numeričnega izračuna, prikazuje preglednica 55. Vplivi toplotnih mostov se razlikujejo po posameznih conah, na nivoju celotne stavbe pa se transmisijske izgube povečajo za 0,83 kWh/m³ oziroma 11 %.

Preglednica 55: Vpliv toplotnih mostov na transmisijske izgube

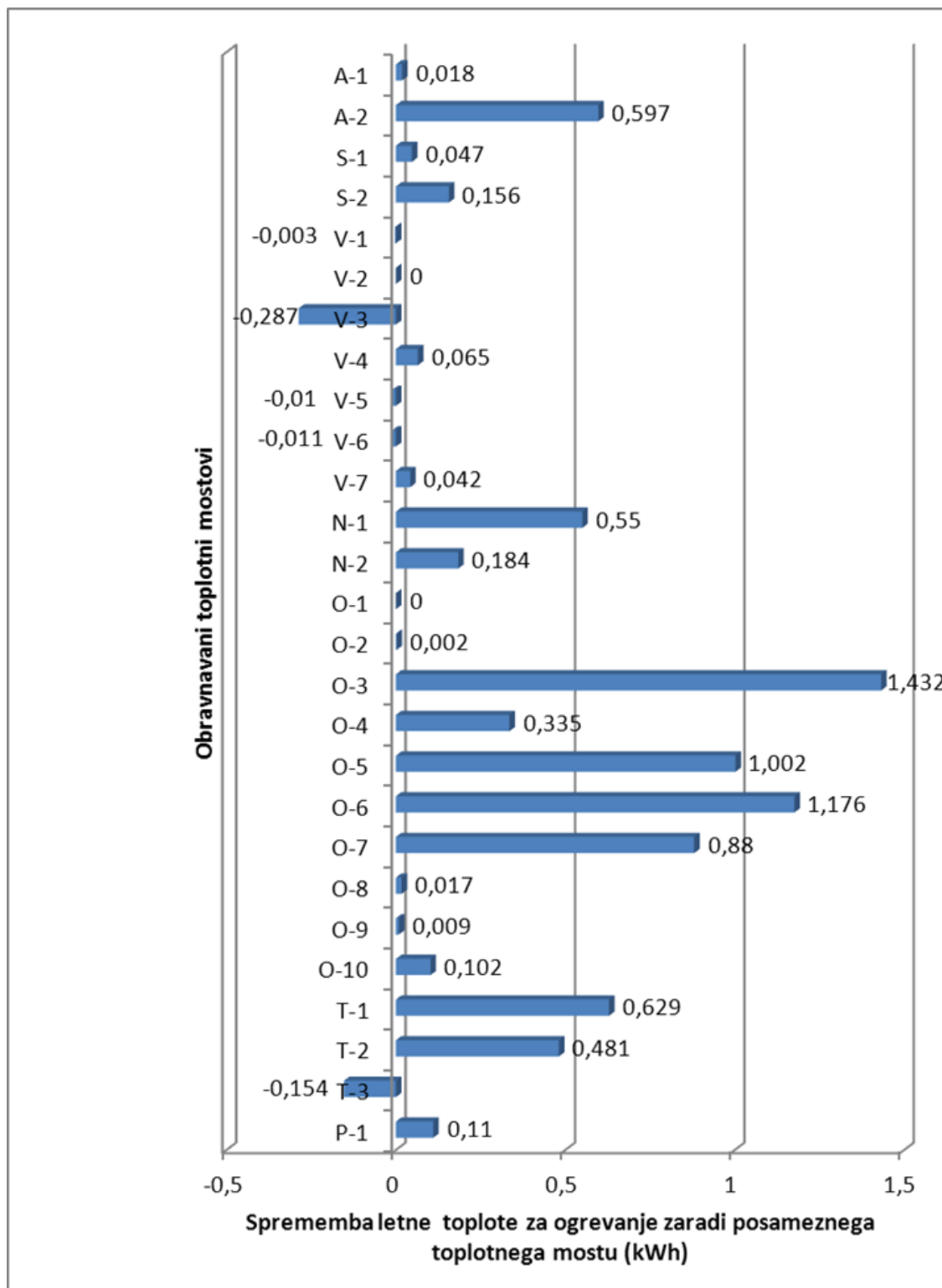
kWh/m ³	1. KC	2. KC	KC z OK	STAVBA
Izhodiščni izračun	5,92	11,47	7,37	7,41
Numerični izračun	6,84	12,16	8,01	8,24

8.3 Vpliv posameznih toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje

Kvantitativen vpliv posameznih toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje prikazuje slika 28. Uporabili smo rezultate numeričnega izračuna, da bi bile vrednosti kar najbolj realne.

Največji vpliv na porabo toplote ima toplotni most O-3, ki poteka ob spodnjem profilu oken 1. kondicionirane cone. K temu prispeva relativno visoka vrednost linijske toplotne prehodnosti, ki znaša 0,093 W/mK, in predvsem dolžina poteka toplotnega mostu. Dolžina je daljša kot pri vseh ostalih obravnavanih toplotnih mostovih, meri kar 281,3 m. O-3 predstavlja 18 % delež vpliva toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje.

Z grafa (Slika 42) je razvidno, da imajo v splošnem največji vpliv na toplotne izgube toplotni mostovi, ki potekajo ob odprtinah. Razlog je v visokem deležu transparentnih površin. Nekateri toplotni mostovi pa imajo tudi pozitiven vpliv na toplotno bilanco, med njimi izstopa vogal zunanje stene V-3.



Slika 28: Vpliv posameznih toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje

Preglednica 56 poleg dolžine in linijske toplotne prehodnosti posameznih obravnavanih toplotnih mostov prikazuje tudi odstotkovne spremembe letne porabe toplote za ogrevanje v primerjavi z izhodišnim stanjem.

Preglednica 56: Odstotkovne spremembe letne porabe toplote za ogrevanje stavbe

	l [m]	Ψ [W/mK]	ΔQ_{NH} [%]
A-1	30,2	0,176	0,2
A-2	148,9	0,073	7,5
S-1	30,5	0,28	0,6
S-2	77,3	0,037	2,0
V-1	15,0	-0,068	0,0
V-2	5,0	0,026	0,0
V-3	105,0	-0,05	-3,6
V-4	66,0	0,018	0,8
V-5	2,4	-0,057	-0,1
V-6	2,8	-0,059	-0,1
V-7	5,9	0,132	0,5
N-1	112,1	0,09	6,9
N-2	96,1	0,28	2,3
O-1	3,6	0,013	0,0
O-2	9,5	0,057	0,0
O-3	281,3	0,093	18,0
O-4	136,5	0,045	4,2
O-5	281,3	0,066	12,6
O-6	144,3	0,153	14,8
O-7	82,5	0,157	11,1
O-8	82,5	0,003	0,2
O-9	6,8	0,02	0,1
O-10	13,6	0,111	1,3
T-1	95,8	0,089	7,9
T-2	62,2	0,151	6,1
T-3	26,0	-0,155	-1,9
P-1	7,0	0,522	1,4

9 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge smo preverili dejanski vpliv toplotnih mostov na toplotne izgube energetske sanirane poslovne stavbe v središču Novega mesta. Primerjali smo več različnih metod in vplive posameznih toplotnih mostov. Poleg toplotne bilance toplotni mostovi vplivajo tudi na materiale v ovoju stavbe, nižje površinske temperature, povzročajo nastanek kondenza in razvoj plesni, kar je z vidika bivalnega ugodja za človeka nesprejemljivo.

Pri izdelavi diplomske naloge smo se najprej podrobneje seznanili z aktualno zakonodajo in projektno dokumentacijo razgibanega objekta, kjer nam je bil izziv doumeti točne detajle posameznih križanj in konstrukcijskih sklopov. Izračunali smo izhodiščno toplotno bilanco stavbe, kjer toplotnih mostov nismo zajeli. Nato pa smo jih obravnavali na podlagi treh različnih metod, ki so v skladu s PURES 2010 in TSG 4. Metoda numeričnega izračuna zahteva podrobno razumevanje standarda EN 10211 in uporabo programske opreme za izračun točne vrednosti linijske toplotne prehodnosti. Z uporabo privzetih vrednosti ali poenostavljene metode pa smo enostavneje zajeli vpliv toplotnih mostov v energetske bilanci stavbe.

Ugotovili smo, da z uporabo različnih metod pri specifičnem primeru dobimo povsem različne vplive toplotnih mostov na vrednost toplotnih izgub stavbe. Na specifičnem primeru obravnavane stavbe smo z uporabo natančnejše numerične analize izračunali, da se zaradi vpliva toplotnih mostov letna potreba energije za ogrevanje poveča za 9,3 %, transmisijske izgube pa so se povečale za 11 %. S tem smo ovrgli hipotezo, da bomo z natančnejšo metodo vrednotenja dobili najmanjši vpliv toplotnih mostov na toplotne izgube stavbe. Z uporabo poenostavljene metode je namreč vrednost letne potrebne toplote za ogrevanje nižja, v primerjavi z izhodiščnim stanjem se je povečala le za 6,3 %. Numerični izračun je dolgotrajna metoda obravnave toplotnih mostov, ki zahteva podrobno simulacijo posameznih detajlov z uporabo programske opreme, vendar uporaba ni smotrna, če ni v sorazmerju tudi splošna natančnost izračuna celotne toplotne bilance objekta. Poenostavljeno metodo s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja lahko načeloma uporabimo le, če imajo vsi toplotni mostovi linijsko toplotno prehodnost manjšo od 0,2 W/mK, kar pa lahko natančno ugotovimo le z zamudnim numeričnim izračunom. S povečanjem toplotne prehodnosti ovoja stavbe v izračunu transmisijskih izgub ni zajet geometrijski vpliv objekta, kar je prišlo do izraza v obravnavanem primeru razgibane poslovne stavbe. Z uporabo privzetih vrednosti toplotnih mostov smo dobili najvišje 9,9 % povečanje letne potrebne toplote za ogrevanje specifične stavbe. Vrednosti iz standarda EN 14683 so točne, vendar za večino toplotnih mostov obravnavanega objekta ni zajetih primerljivih detajlov. Potrdimo pa lahko hipotezo, da imajo največji vpliv na energetske izgube toplotni mostovi, ki potekajo na obodu odprtin, saj ima stavba velik delež transparentnih površin, s tem pa je dolžina teh toplotnih mostov izredno velika.

Povečanje toplotnega toka ob odprtinah predstavlja kar 67 % delež vpliva vseh toplotnih mostov na letno porabo toplote za ogrevanje.

Menim, da je možno vpliv toplotnih mostov pri novogradnji s pravilnim načrtovanjem in natančno izvedbo detajlov zmanjšati na minimum. V primeru energetske sanacije obravnavanega objekta, kjer so okna nepremišljeno ostala na prvotnem mestu, pa pride do občutnega povečanja toplotnega toka ob obodu odprtin. V praksi je treba vpliv toplotnih mostov upoštevati pri izračunu elaborata gradbene fizike kot pri izdelavi energetskih izkaznic, iz katerih je razvidna energetska učinkovitost stavbe. Pri tem se poraja vprašanje, ali se v projektantski praksi vpliv toplotnih mostov na izračun potrebne energije pravilno in primerno upošteva. Ugotovili smo, da lahko že z izbiro metode obravnave toplotnih mostov pridemo do velikih odstopanj pri rezultatih porabe energije za delovanje stavbe, od katerega pa je odvisna celo pridobitev gradbenega dovoljenja. Ti podatki o energetske učinkovitosti pa imajo imajo vse večji pomen tudi pri nakupu ali najemu nepremičnine.

VIRI

- [1] Šijanec Zavrl, M. Malovrh, M., Oberžan, D. 1999. Za učinkovito rabo energije: zbirka informativnih listov – Toplotni mostovi. Ljubljana, Agencija RS za učinkovito rabo energije.
http://www.aure.gov.si/eknjiznica/IL_2-11.PDF (Pridobljeno 4. 5. 2014.)
- [2] SIST EN ISO 13790:2008. Energijske lastnosti stavb – Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov (ISO 13790:2008).
- [3] SIST EN ISO 14683:2008 – Toplotni mostovi v stavbah – Linearna toplotna prehodnost – Poenostavljena metoda in privzete vrednosti (ISO 14683:2007).
- [4] SIST EN ISO 10211:2008 – Toplotni mostovi v stavbah – Toplotni tokovi in površinske temperature - Podrobni izračuni (ISO 10211:2007).
- [5] Krainer, A., Perdan, R. 2009. Računalniški program (TOST) za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ljubljana, UL FGG.
- [6] Anderlind, G. Računalniški program (Unorm) za analizo toplotnega toka skozi gradbene konstrukcije. Rydebäck, GAD Byggnadsfysik.
- [7] Toplotni mostovi v ovoju stavbe. 2013.
<http://energetskaizkaznica.si/nasveti/toplotni-mostovi-v-ovoju-stavb/> (Pridobljeno 15. 5. 2014.)
- [8] EUROKOBRA DATABASE. 2002.
<http://sts.bwk.tue.nl/bps/onderwijs/software/KOBRA/koudebruggen.htm> (Pridobljeno 21. 5. 2014.)
- [9] Durini, P. 2011. Toplotni mostovi. Diplomsko delo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Durini): 85 str.
- [10] Plesen najraje v vogalih. 2011.
<http://www.deloindom.si/plesen-najraje-v-vogalih> (Pridobljeno 18. 5. 2014.)
- [11] Čič, M. 2011. Celotna toplotna prevodnost in delež toplotnih mostov ovoja stavbe izračunana s programskim paketom. Diplomsko delo. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo (samozaložba M. Čič): 72 str.

[12] Toplotni mostovi. 2014.

<http://www.mojmojster.net/clanek/141> (Pridobljeno 10. 11. 2014.)

[13] UREDBA (EU) št. 305/2011 EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 4. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS.

[14] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 52/2010.

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

[16] Zakon o graditvi objektov. Uradni list RS št. 102/2004.

[17] Grafični prikaz porazdelitve temperature skozi gradbeno konstrukcijo.

http://www.antherm.at/antherm/Beispielberichte/Beispiel_1_TemperaturIsothermen.png

(Pridobljeno 15. 11. 2014.)

[18] Software and atlases for evaluating thermal bridges. 2010.

http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/P198_Software_and_atlases_for_evaluating_thermal_bridges_0.pdf (Pridobljeno 8. 5. 2014.)

[19] Wärmebrückenkatalog. 2002. Zürich, Bundesamt für Energie BFE.

[20] SIST EN ISO 10456:2008. Gradbeni materiali in proizvodi - Higrotermalne lastnosti – Tabelirane računске vrednosti in postopki za določevanje nazivnih in računskih vrednosti toplotnih vrednosti (ISO 10456:2007).

[21] SIST EN ISO 6946:2008. Gradbene komponente in gradbeni elementi – Toplotna upornost in toplotna prehodnost – Računska metoda (ISO 6946:2007).

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

[23] Tehnično poročilo, objekt: upravna stavba. 1979. TOZD projektivni biro.

[24] Načrt arhitekture – PZI, objekt: upravna stavba zavarovalnice Tilia. 2012. SPINA d.o.o.

[25] Prezračevalna Kerrock Fasada.

<http://www.kerrock.si/on-line-katalogi/prezracevalna-kerrock-fasada> (Pridobljeno 3. 5. 2014.)

[26] Krainer, A., Perdan, R. 2012. Uporabniški priročnik računalniškega programa TOST. Ljubljana, UL FGG.

[27] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS št. 42/02 in 105/02.

[28] SIST EN ISO 6946:2008 – Gradbene komponente in gradbeni elementi – Toplotna upornost in toplotna prehodnost – Računska metoda (ISO 6946:2007).

[29] Development of limits for the linear thermal transmittance of thermal bridges in buildings. 2007.

http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/2007%20B10%20papers/182_Janssens.pdf

(Pridobljeno 7. 12. 2014.)

[30] SIST EN ISO 13370:2008 – Toplotne karakteristike stavb – Prenos toplote skozi zemljo – Računske metode (ISO 13370:2007).

SEZNAM PRILOG