

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:

Zavrl, E., 2014. Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop-primerjava enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 39 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

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:

Zavrl, E., 2014. Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop-primerjava enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 39 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

EVA ZAVRL

**PREHOD TOPLOTE SKOZI KONSTRUKCIJSKI
SKLOP-PRIMERJAVA ENODIMENZIONALNEGA IN
DVODIMENZIONALNEGA IZRAČUNA**

Diplomska naloga št.: 160/B-GR

**THERMAL FLUX THROUGH STRUCTURAL
COMPLEX-COMPARISON OF ONE-DIMENSIONAL
AND TWO-DIMENSIONAL CALCULATION**

Graduation thesis No.: 160/B-GR

Mentor:
doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:
dr. Živa Kristl

Ljubljana, 25. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 14. 9. 2014

Eva Zavrl

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI

UKD:	699.86(043.2)
Avtor:	Eva Zavrl
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop – primerjava izračuna enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	39 str., 14 pregl., 22 sl., 1 graf., 3 pril..
Ključne besede:	toplotna prehodnost, prehod toplote, enodimenzionalna metoda, dvodimenzionalna metoda, konstrukcijski sklop

Izvleček

Zaradi vedno strožjih zahtev po zagotovitvi nizke porabe energije v objektih, je v potrebno zagotoviti stavbne ovoje s čim boljšimi karakteristikami toplotnega prehoda. To pomeni, da morajo konstrukcijski sklopi čim bolje omejiti prehod toplote iz notranjega prostora do zunanjega in obratno. Prehod toplote skozi sklop lahko določimo z izračunom toplotne prehodnosti skozi konstrukcijski sklop. Znani sta enodimenzionalna (1D) metoda in dvodimenzionalna (2D) metoda, ki jih opisujeta standarda SIST EN ISO 6946 in SIST EN ISO 10211. V praksi sta načeloma uporabljani obe, a je zakonsko predpisana uporaba 1D metode pogostejša. V tem diplomskem delu bom predstavila primerjavo med tema metodama. Za izračun toplotne prehodnosti po 1D metodi je uporabljeno programsko orodje TEDI za izračun toplotne prehodnosti po 2D metodi pa program THERM. Z vsakim od programov je bila izračunana toplotna prehodnost sedmih izbranih konstrukcijskih sklopov. Izkazalo se je, da so si rezultati toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov izračunani po 1D metodi in 2D metodi različni. Rezultati izračunani po 2D metodi so v splošnem večji od rezultatov pridobljenih z 1D metodo. To pomeni, da 1D metoda ni najbolj zanesljiva.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UKD:	699.86(043.2)
Author:	Eva Zavrl
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Cosupervisor:	Assist. Prof. Živa Kristl, Ph.D.
Title:	Thermal flux through structural complexes – comparison of one dimensional and two dimensional calculation
Tip dokumenta:	Graduation Thesis – university studies
Notes:	39. p., 14. tab., 22 fig., 1graph., 3 ann.
Key words:	thermal transmittance, thermal flux, one dimensional method, two dimensional method, structural complex

Abstract

Due to strict governmental regulations of high energy performance buildings, sufficient thermal characteristics of building's envelope must be reached. This reflects in low U values of structural complexes. Thermal transmittance through the complex should be as low as possible. Heat transfer through the structural complex depends on the calculated U value. U value can be determined by one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) calculation method described in European standards SIST EN ISO 6946 and SIST EN ISO 10211. In practice both methods are used, although the use of 1D method is much more frequent, as it is obligatory by regulations. In this graduation thesis the comparison of 1D and 2D method is presented. For the calculation of U value by 1D method computer software TEDI is used, while for the calculation of U value by 2D method computer software THERM is used. Both listed software were used for calculation of U value of seven different structural complexes. The comparison of 1D and 2D method is based on results obtained by the above mentioned tools. The results calculated by 1D method were different from results calculated by 2D method. In general results collected by 2D method presented larger U values. This shows that 1D method is not reliable.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojim staršem Marjani in Tomažu ter sestri Lizi, ki so me skozi študij podpirali.

Zahvaljujem se tudi mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorici doc. dr. Živi Kristl za pomoč in vodenje pri diplomskem delu.

Zahvale gredo tudi sošolcem za skupinsko sodelovanje pri študiju in prijateljem za moralno podporo.

Ta stran je namenoma prazna

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČKI.....	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
ZAHVALA.....	IX
KAZALO VSEBINE.....	XI
KAZALO PREGLEDNIC	XIV
KAZALO SLIK.....	XV
KAZALO GRAFIKONOV.....	XVI
1 UVOD.....	1
1.1 Namen	1
1.2 Problem	1
1.3 Hipoteza	2
1.4 Opis poteka dela.....	3
2 ZAKONODAJA (opredelitev PURES 2010, TSG-01-004:2010 in standardov)	4
3 ORIS RAČUNSKIH METOD (1D in 2D).....	5
3.1 Oris 1D metode izračuna U faktorja po SIST EN ISO 6946 [4]	5
3.2 Oris 2D metode izračuna U faktorja po SIST EN ISO 10211 [5]	7
3.2.1 Splošno.....	7
3.2.2 Izračun U faktorja po SIST EN ISO 10211 [5].....	8
3.2.2.1 Obravnavani simboli in enote	8
3.2.2.2 Priprava modela za 2D izračun in izjeme	9
3.2.2.3 Vhodni podatki za izračun po 2D metodi	10
3.2.2.4 Izhodni rezultati izračuna.....	11
4 PREDSTAVITEV IZBRANIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV.....	12
4.1 Sklop 1: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK les	12
4.2 Sklop 2: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK les	123
4.3 Sklop 3: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK jeklo.....	13
4.4 Sklop 4: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK jeklo.....	13

4.5 Sklop 5: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK armirani beton.....	14
4.6 Sklop 6: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material NK ab s polnilom poro beton	14
4.7 Sklop 7: Eksoskeletna nosilna konstrukcija – material NK poro beton	15

5 KRATKA PREDSTAVITEV PROGRAMSKIH ORODIJ ZA IZRAČUN U FAKTORJA PO 1D IN 2D METODI

5.1 TEDI.....	16
5.2 THERM.....	16

6 IZHODIŠČNE PREDPOSTAVKE.....

6.1 TEDI izračun po 1D metodi	18
6.2 THERM izračun po 2D metodi	199
6.3 Modeli sklopov.....	20
6.3.1 Sklop 1	20
6.3.2 Sklop 2	20
6.3.3 Sklop 3	21
6.3.4 Sklop 4	21
6.3.5 Sklop 5	22
6.3.6 Sklop 6	23
6.3.7 Sklop 7	23

7 REZULTATI.....

7.1 Predstavitev rezultatov	24
7.1.1 Izhodni podatki programov	24
7.1.2 Rezultati U faktorjev po 1D in 2D metodah.....	24
7.2 Analiza rezultatov.....	24
7.2.1 Sklop 1	25
7.2.2 Sklop 2	25
7.2.3 Sklop 3	25
7.2.4 Sklop 4	26
7.2.5 Sklop 5	27
7.2.6 Sklop 6	28
7.2.7 Sklop 7	28
7.3 Komentar obdelanih rezultatov	29

7.3.1 Skupina sklopov z izolacijo v jedru	30
7.3.2 Skupina sklopov z zrakom zajetim v jedru	30
8 ZAKLJUČEK	31
VIRI.....	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Simboli, količine in enote uporabljene v SIST EN ISO 6946 (Povzeto po: [4])	5
Preglednica 2: Debeline zračnega sloja in pripadajoči zračni upor (Povzeto po: [4]).....	6
Preglednica 3: Toplotni upor na površini za pripadajočo smer toplotnega toka (Povzeto po: [4])	6
Preglednica 4: Simboli, količine in enote uporabljene v SIST EN ISO 10211 (Povzeto po: [5])	8
Preglednica 5: Indeksi z definicijami uporabljeni v SIST EN ISO 10211 (Povzeto po: [5])	8
Preglednica 6 Lokacija in predpisana robna temperatura (Povzeto po: [5]):	10
Preglednica 7: Plasti sklopa 1 od notranjega prostora proti zunanjemu	12
Preglednica 8: Plasti sklopa 2 od notranjega prostora proti zunanjemu	13
Preglednica 9: Plasti sklopa 3 od notranjega prostora proti zunanjemu	13
Preglednica 10: Plasti sklopa 4 od notranjega prostora proti zunanjemu	14
Preglednica 11: Plasti sklopa 5 od notranjega prostora proti zunanjemu	14
Preglednica 12: Plasti sklopa 6 od notranjega prostora proti zunanjemu	15
Preglednica 13: Plasti sklopa 7 od notranjega prostora proti zunanjemu	15
Preglednica 14: Rezultati izračunov U faktorja po 1D in 2D metodi za posamezni sklop.....	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz nehomogenosti v sklopu	2
Slika 2: Simetrijske ravnine, ki se lahko uporabljajo tudi kot prerezne ravnine	9
Slika 3: Primer konstrukcije z linearnim toplotnim mostom na razdalji l_w s prikazom simetrijskih ravnin, ki so lahko uporabljene kot prerezne ravnine	9
Slika 4: Zavihek za konfiguracijo računskega modela sklopa v programu TEDI [6]	16
Slika 5: Geometrija vzorca v programu THERM [7].....	17
Slika 6: : Prikaz predpisanih dolžin sklopa	19
Slika 7: Model sklopa 1 (geometrija) v programu THERM	20
Slika 8: Model sklopa 2 (geometrija) v programu THERM	21
Slika 9: Model sklopa 3 (geometrija) v programu THERM	21
Slika 10: Model sklopa 4 (geometrija) v programu THERM	22
Slika 11: Model sklopa 5 (geometrija) v programu THERM	23
Slika 12: Model sklopa 6 (geometrija) v programu THERM	23
Slika 13: Model sklopa 7 (geometrija) v programu THERM	23
Slika 14: Rezultati sklopa 1; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	25
Slika 15: Rezultati sklopa 2; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	25
Slika 16: Rezultati sklopa 3; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	26
Slika 17: Rezultati sklopa 4 ($e=0,05$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	26
Slika 18: Rezultati sklopa 4 ($e=0,82$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	27
Slika 19: Rezultati sklopa 5 ($e=0,05$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	27
Slika 20: Rezultati sklopa 5 ($e=0,82$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	28
Slika 21: Rezultati sklopa 6; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	28
Slika 22: Rezultati sklopa 7; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7].....	29

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Odstopanja med rezultati U_{1D} in U_{2D} v odstotkih glede na U_{1D}	29
---	----

1 UVOD

1.1 Namen

Dandanes je težnja po zmanjšanju porabe energentov in energetske učinkovitosti gradnje vedno večja. Pritisk se večja s strani evropskih organov skozi evropsko zakonodajo. V Sloveniji se to odseva skozi pravilnike in tehnične smernice, kot sta Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) [1] in tehnična smernica TSG-01-004:2010. Učinkovita raba energije [2]. Glede na to je merilo za kvalitetno izvedbo stavb predvsem zagotavljanje nizke rabe energije za delovanje objekta. Da bi energijsko kakovost stavbe lahko opredelili, uporabljamo računske metode. Računske metode za določitev rabe energije za delovanje celotne stavbe dopolnjujejo tudi metode za določanje toplotnih lastnosti posameznih konstrukcijskih sklopov in stavbnih elementov. Ker večino porabe energije v stavbi predstavlja ravno ogrevanje in hlajenje stavbe, je dobra zasnova stavbnega ovoja bistvenega pomena.

Stavbni ovoj predstavlja ločilni element med zunanjim in notranjim bivalnim okoljem. Sestavljen je iz različnih osnovnih delov, kot so: zunanja stena, streha in tla, okna in vrata. Vse te komponente regulirajo izmenjavo energije, snovi in informacij z okolico. Z gradnjo ustvarjamo umetno notranje okolje, ki ga definiramo glede na zahteve načina bivanja, in reguliramo s stavbnim ovojem. Kvaliteta stavbnega ovoja je določena z različnimi gradbeno fizikalnimi parametri. Eden izmed ključnih je toplotna prehodnost stavbnega ovoja.

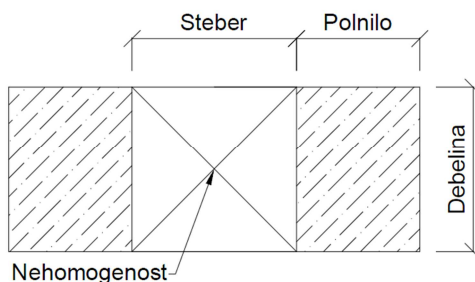
Toplotno prehodnost oziroma U faktor konstrukcijskega sklopa načeloma določimo na podlagi debeline in vrste uporabljenih materialov. Toplotno prehodnost izračunamo za posamezne dele stavbnega ovoja, t.i. konstrukcijske sklope.

Izračun lahko poteka po različnih metodah. Enostavnejša metoda je enodimenzionalna (1D), natančnejša je dvodimenzionalna (2D) metoda, obe sta opisani v odgovarjajočih standardih. Značilnosti obeh metod bom v diplomski nalogi prikazala na primerih izbranih konstrukcijskih sklopov zunanjih sten, za katere bom določila toplotno prehodnost s pomočjo programske opreme TEDI [3] za enodimenzionalni prenos toplote in THERM [7] za dvodimenzionalni prenos toplote.

1.2 Problem

Konstrukcijski sklop načeloma opravlja oziroma vsebuje sledeče osnovne funkcije: nosilna konstrukcija (NK), toplotna izolacija (TI), hidro izolacija (HI) in zvočna izolacija (ZI). Sklopi so lahko sestavljeni na osnovi dveh različnih tipov nosilne konstrukcije in sicer endoskeletne in eksoskeletne. Endoskeletna nosilna konstrukcija predstavlja vitko nosilno konstrukcijo s principom delovanja skeleta (npr: jekleni stebri, armirano betonski stebri), medtem ko eksoskeletna predstavlja masivno nosilno konstrukcijo (npr: opečna stena, betonska stena) [16]. Že zasnova nosilne konstrukcije pogojuje večjo ali manjšo termično nehomogenost dela ovoja stavbe. Nehomogenost je izrazitejša pri endoskeletno zasnovanih konstrukcijskih sklopih, kar pa predstavlja problem pri izračunu prehoda toplote, saj z enostavnejšim in najpogosteje uporabljenim izračunom na podlagi 1D metode ne

zajamemo vpliva redkeje ponavljajočih se elementov (npr. steber), pač pa upoštevamo samo večinski del komponente ovoja (npr. stena med stebroma - polnilo). Težava nastopi, ker so neupoštevani elementi iz drugačnih materialov in/ali drugačnih debelin kot večinski del sklopa, zato lokalno praviloma prehaja več toplote (slika 1). Tako so toplotne karakteristike stene izračunane s pomočjo 1D metode boljše, kot pa so v resnici.



Slika 1: Prikaz nehomogenosti v sklopu

Prehod toplote skozi steno lahko računamo z dvema prej omenjenima metodama. Glavna razlika med metodama je v tem, da enodimenzionalna metoda zajame samo izračun prehoda toplote skozi konstrukcijski sklop glede na eno os kartezijskega koordinatnega sistema, medtem ko dvodimenzionalna metoda omogoča upoštevanje prehoda toplote po dveh oseh. To pomeni, da v primeru izračuna prehoda toplote po eni osi (enodimenzionalna metoda), ne moremo ustrezno upoštevati nehomogenosti sklopa, medtem ko pri dvodimenzionalni metodi nehomogenost lahko zajamemo. To razliko lahko konkretno opazimo predvsem na primeru izračuna U faktorja pri zunanji steni, ki vsebuje stebre (endoskelet). Zaradi toplotnih lastnosti materialov, ki sestavljajo stebre, je prenos toplote skozi stebre večji kot skozi polnilo med njimi. Steber nosilne konstrukcije ima večjo toplotno prevodnost kot ostali materiali. Tako situacijo imenujemo linijski konstrukcijski toplotni most. V steni z linijskimi toplotnimi mostovi gre dejansko za dvodimenzionalni prenos toplote. Z dvodimenzionalno računsko metodo lahko hkrati zajamemo vpliv stebrov in površinsko prevladujočih delov med stebri na prehod toplote in tako določimo ekvivalentni U faktor sklopa, upoštevaje celoten toplotni tok skozi konstrukcijski sklop.

1.3 Hipoteza

Pričakujemo, da bodo rezultati izračuna U faktorja po 1D in 2D metodi pri nehomogenih konstrukcijskih sklopih (KS) različni in sicer, da bo izračun z dvodimenzionalno metodo podal višjo vrednost toplotne prehodnosti kot izračun z enodimenzionalno metodo na mestu prevladujočega homogenega dela sklopa. Pri izračunu U faktorja homogenega KS po 1D oziroma 2D metodi takšnih odstopanj ni pričakovati oziroma naj bi bila ta zanemarljiva.

Pričakujemo, da bo glede na odstopanja pri izračunu U faktorja po obeh metodah utemeljena nujnost uporabe natančnejše, dvodimenzionalne računske metode.

1.4 Opis poteka dela

Glavna tema tega diplomskega dela je prikaz uporabe enodimenzionalne in dvodimenzionalne metode pri določitvi toplotne prehodnosti sklopa in primerjava tako dobljenih rezultatov. Po podrobnejši opredelitvi obeh metod, bo sledilo simuliranje prenosa toplote na različnih primerih konstrukcijskih sklopov s programsko opremo. Za vsako od metod je izbrana primerna programska oprema. Simulacije bodo izvedene na sedmih različnih primerih konstrukcijskih sklopov. Prvih šest sklopov je endoskeletnega tipa, medtem ko je sedmi eksoskeletni. Namen izbora endoskeletnih KS je prikaz vpliva nehomogenosti KS na izračun U faktorja. Z različnima metodama (1D in 2D) bo predstavljena razlika v izračunanih U vrednostih pri nehomogenih KS, medtem ko je homogeni KS namenjen prikazu pravilnost delovanja obeh metod. Vsi sklopi bodo najprej izračunani z enodimenzionalno metodo v programu TEDI in kasneje še z dvodimenzionalno v programu THERM. Primerjava metod pa bo izvedena skozi primerjavo rezultatov izračunov toplotne prehodnosti z obema metodama na posameznem primeru sklopa. Primerjava bo pokazana z odstopanji med rezultati dobljeni po 1D metodi in 2D metodi za vsak sklop posebej.

2 ZAKONODAJA (opredelitev PURES 2010, TSG-01-004:2010 in standardov)

Če na kratko povzamemo določila iz pravilnika PURES 2010 in tehnične smernice TSG-01-004:2010 na temo toplotne zaščite v stavbah, lahko ugotovimo, da je pomembno:

- da stavbo s toplotnim ovojem zaščitimo pred izgubo energije,
- da zmanjšamo možnost pregrevanja oziroma podhlajevanja stavbe,
- da z ustrezno zasnovo sklopa preprečimo poškodbe zaradi difuzijskega prehoda vodne pare,
- da nadzorujemo in uravnavamo zrakotesnost toplotnega ovoja stavb,
- da je vpliv toplotnih mostov na toplotne izgube stavbe čim manjši in le-ti ne povzročajo škode stavbi ali uporabnikom,
- da je treba toplotne mostove upoštevati pri računu potrebne toplote za ogrevanje stavbe.

Za to nalogo je še posebno pomembno določilo glede obvladovanja izgube energije skozi stavbni ovoj in zahteva po upoštevanju vpliva toplotnih mostov pri računu toplotnih izgub stavbe.

Toplotne izgube skozi ovoj stavbe so določene na podlagi toplotne prehodnosti elementov ovoja. Toplotna prehodnost elementov ovoja stavbe se v skladu s slovensko zakonodajo določa z metodami po standardih SIST EN ISO 6946 [4] in SIST EN ISO 10211 [5]. Predpisane so tudi največje dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti U , ki se razlikujejo glede na element stavbnega ovoja. Pregled največjih dovoljenih toplotnih prehodnosti posameznih elementov toplotnega ovoja stavbe podaja Tabela 1 v tehnični smernici TSG-01-004:2010. Za potrebe tega diplomskega dela je pomembna največja dovoljena toplotna prehodnost zunanje stene U_{\max} , ki znaša $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1], [2].

3 ORIS RAČUNSKIH METOD (1D in 2D)

3.1 Oris 1D metode izračuna U faktorja po SIST EN ISO 6946 [4]

V spodnji preglednici 1 so opisani simboli, ki so uporabljeni v standardu SIST EN ISO 6946 [4].

Preglednica 1: Simboli, količine in enote uporabljene v SIST EN ISO 6946 (Povzeto po: [4])

Simbol	Opis količine	Enota
A	Ploščina	m ²
d	Debelina	m
h	Površinski koeficient prenosa toplote	W/(m ² K)
R	Toplotna upornost	m ² K/W
R _g	Toplotni upor zračnega sloja	m ² K/W
R _{se}	Upornost zunanje površine	m ² K/W
R _{si}	Upornost notranje površine	m ² K/W
R _T	Skupni toplotni upor konstrukcijskega sklopa	m ² K/W
R _T ^{''}	Zgornja vrednost skupnega toplotnega upora k. sklopa	m ² K/W
R _T [']	Spodnja vrednost skupnega toplotnega upora k. sklopa	m ² K/W
U	Toplotna prehodnost	W/(m ² K)
λ	Toplotna prevodnost	W(m K)

Princip računske metode za določitev toplotne prehodnosti celotnega sklopa temelji na dveh delih računa toplotne upornosti sklopa, in sicer na določitvi toplotne upornosti posameznega homogenega sloja v (večplastnem) konstrukcijskem sklopu (KS) in kasneje na seštevanju teh upornosti po vseh plasteh v celotnem sklopu z upoštevanjem učinka upornosti zunanje in notranje površine sklopa.

Če je ena od plasti KS neprezračevana zračna plast, je upornost le-tega potrebno upoštevati v skladu s predpisanimi pravili. Zaprta zračna plast se za potrebe tega izračuna upošteva kot homogen sloj.

Obratna vrednost toplotne upornosti za sklop predstavlja iskano vrednost toplotne prehodnosti. Standard SIST EN ISO 4946 za primer poenostavljenega (1D) določanja toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov predvideva tudi različne popravke. Napake se pojavijo zaradi predpostavk v postopku izračuna upornosti in se jih korigira na koncu računa [4]. Pri tej računski metodi sta pomembna dva različna tipa računskih toplotnih upornosti R. Prvi tip predstavlja toplotno upornost posameznega sloja (materiala ali zaprtega zraka) v sklopu, medtem ko drugi tip upornosti predstavlja upornost na sami površini skrajnih slojev.

Toplotna upornost posameznega sloja se določi po osnovnem izrazu prikazanem v enačbi (1) s pomočjo debeline sloja deljenega s toplotno prevodnostjo materiala, kot sledi:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (1)$$

kjer je

d debelina materiala in

λ toplotna prevodnost materiala [4].

Toplotna prevodnost je lastnost materiala, ki jo v skladu z določili PURES 2010 in TSG-01-004:2010 pridobimo iz listine o skladnosti za gradbeni proizvod oziroma iz tabele 1 v 10. točki tehnične smernice TSG-01-004:2010. Toplotna prevodnost materiala je odvisna od vlažnosti le-tega [1] [2].

V izračunu skupne toplotne upornosti sklopa se upoštevajo tudi zračni sloji. Ti se v standardu delijo na prezračevane, delno prezračevane in ne prezračevane. V splošnem se pojavljajo razlike v toplotni upornosti takšnih slojev, predvsem zaradi smeri toplotnega toka v zračni plasti. V primeru neprezračevanega sloja standard SIST EN ISO 4946 podaja vrednosti toplotnih uporov v odvisnosti od debeline zračnega sloja zapisane v tabeli, ki je predstavljena v preglednici 2. Ko pa gre za prezračevane in delno prezračevane sloje, se izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa izvaja po posebni metodi opisani v istem standardu.

Za primer izbranih sklopov, ki jih bomo analizirali v nadaljevanju, so ustrezne vrednosti iz preglednice 2, saj obravnavamo le neprezračevane sklope s horizontalno smerjo toplotnega toka.

Preglednica 2: Debeline zračnega sloja in pripadajoči zračni upor (Povzeto po: [4])

Debelina zračnega sloja [mm]	Toplotni upor [$m^2 K/W$] Smer toplotnega toka		
	navzgor	horizontalno	navzdol
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Pri izračunu toplotne upornosti sklopa upoštevamo še toplotno upornosti površine na skrajnem zunanem in skrajnem notranjem sloju. Obravnavamo dve površini – površino materiala v stiku z zunanjo okolico in površino materiala v stiku z notranjostjo objekta.

Tako standard navaja upornosti zunanje površine R_{se} in upornosti notranje površine R_{si} , ki sta prikazani tudi v preglednici 3, glede na smer toplotnega toka na zunanji oziroma notranji površini sklopa.

Preglednica 3: Toplotni upor na površini za pripadajočo smer toplotnega toka (Povzeto po: [4])

Toplotni upor na površini $m^2 K/W$	Smer toplotnega toka		
	Navzgor	Horizontalno	Navzdol
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Za potrebe izračuna izbranih konstrukcijskih sklopov opisanih v poglavju 4, se uporabljajo vrednosti horizontalnega prehoda toplotnega toka. Sledi izračun skupne toplotne upornosti sklopa, po seštevku prikazanem v enačbi (2). [4]

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} , \quad (2)$$

kjer je

R_T skupna upornost sklopa, R_1 , R_2 in R_n pa toplotne upornosti posameznih slojev, R_{si} upornost na notranji površini sklopa in R_{se} upornost na zunanji površini sklopa.

S končno vrednostjo upornosti tako določimo skupno prehodnost ali t.i. prehodnost sklopa. Ta je recipročna vrednost same skupne odpornosti sklopa. Izračun je prikazan v enačbi (3). [4]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

Ker v postopku izračuna toplotne prehodnosti po 1D metodi prihaja do poenostavitev ali pa sam postopek enostavno ne zajame vseh komponent sklopa v podrobnostih, se tu standard poslužuje popravkov, prikazanih v spodnjih enačbah (4) in (5). [4]

$$U_c = U + \Delta U \quad (4)$$

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r , \quad (5)$$

kjer je ΔU_g popravek zračnih praznin, ΔU_f popravek zaradi mehanskih pritrditev (npr. sidra) in ΔU_r popravek za obrnjene strehe. Za primer izbranih sklopov analiziranih v nadaljevanju bi lahko prišel v poštev popravek zaradi sider in kovinskih profilov na toplotnih izolacijah.

3.2 Oris 2D metode izračuna U faktorja po SIST EN ISO 10211 [5]

3.2.1 Splošno

Z 2D metodo bomo simulirali prehod toplote skozi izbrani konstrukcijski sklop in na tej podlagi določili toplotno prehodnost sklopa. Simulacijo bomo izvajali s programom THERM [6], kjer izračun poteka po dvodimenzionalni metodi definirani v standardu SIST EN ISO 10211.

Toplotni most je del ovoja, kjer se pojavi opazna sprememba v sicer enakomerni toplotni upornosti sklopa, in je posledica spremembe bodisi v toplotni prevodnosti bodisi v debelini materiala. Na tem delu je gostota toplotnega toka večja. Tako se pojavijo razlike v prehodu toplote, ki pa jih z enodimenzionalno metodo ne moremo zajeti, saj s slednjo lahko izračunamo le prehod skozi eno točko sklopa pravokotno na zid. Toplotni mostovi so najpogosteje točkovni ali linijski. Točkovni se pojavijo ob manjših nepravilnostih, medtem ko linijski potekajo vzdolž sklopa in so po navadi indikatorji večjih napak, kot so neizolirani nosilci, slabi stiki izolacijskih plošč, itd.

V primeru konstrukcijskih sklopov obravnavanih v diplomski nalogi nehomogenost v sklopu predstavlja endoskeletna nosilna konstrukcija, ki se za primere teh zunanjih sten obnaša kot linijski toplotni most. V nadaljevanju se toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa imenuje tudi U faktor.

3.2.2 Izračun U faktorja po SIST EN ISO 10211 [5]

Standard SIST EN ISO 10211 obravnava izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa skozi toplotne mostove z dvodimenzionalno in tridimenzionalno metodo. V tem primeru obravnavanih konstrukcijskih sklopov uporabljamo dvodimenzionalno metodo [5].

3.2.2.1 Obravnavani simboli in enote

Standard obravnava naslednje količine, ki so skupaj s simboli in enotami prikazane v preglednici 4, medtem ko so značilni indeksi pojasnjeni v preglednici 5 [5].

Preglednica 4: Simboli, količine in enote uporabljene v SIST EN ISO 10211 (Povzeto po: [5])

Simbol	Količina	Enota
A	ploščina	m ²
b	širina	m
d	debelina	m
f _{Rsi}	temperaturni faktor na notranji površini	-
g	temperaturni utežni faktor	-
h	površinski koeficient toplotnega prenosa	W/(m ² K)
L ^{2D}	toplotna prehodnost določena z 2D simulacijo	W/(m K)
L ^{3D}	toplotna prehodnost določena s 3D simulacijo	W/K
l	dolžina	m
q	gostota toplotne toka	W/m ²
R	toplotni upor materiala	m ² K/W
R _{se}	upornost zunanje površine	m ² K/W
R _{si}	upornost notranje površine	m ² K/W
T	termodinamična temperatura	K
U	faktor toplotne prehodnosti	W/(m ² K)
V	prostornina	m ³
φ	faktor toplotnega toka	W
λ	toplotna prevodnost	W/(m K)
θ	temperatura v stopinjah Celzija	°C
Δθ	temperaturna sprememba	K
χ	točkovni prehod toplote	W/K
ψ	linijski prehod toplote	W/(m K)

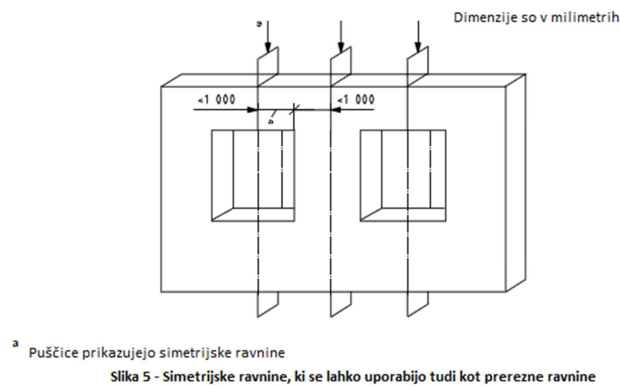
Preglednica 5: Indeksi z definicijami uporabljeni v SIST EN ISO 10211 (Povzeto po: [5])

Indeks	Definicija
e	zunanji
i	notranji
min	najmanjši
s	površinski

3.2.2.2 Priprava modela za 2D izračun in izjeme

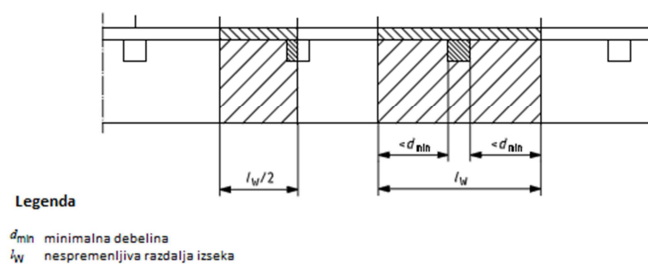
V skladu s standardom SIST EN ISO 10211 se geometrijski model pripravi iz več različnih elementov, ki predstavljajo homogen material z določeno prevodnostjo λ . Standard SIST EN ISO 10211 določa tudi, kako pripraviti model in kasneje kako določiti vrednosti toplotne prevodnosti in način določanja robnih pogojev. Zaključni pa z obravnavo določitve temperaturne porazdelitve po delih sklopa, ki jih sestavljajo različni materiali [5].

Za pripravo modelov izbranih primerov konstrukcijskih sklopov je pri 2D metodi najbolj pomembno upoštevati predpisane dimenzije in omejitve za kontinuirane ponavljajoče se toplotne mostove oz. endoskeletne motnje (t.i. stebre). Gre za pravilno oblikovane izreze vzorcev iz konstrukcijskih sklopov sten. Bistveno je upoštevanje simetrije in v pravilnih dimenzij v okviru obravnavanega sklopa, kot je to prikazano na slikah 2 in 3. [5]



[5]

Slika 2: Simetrijske ravnine, ki se lahko uporabljajo tudi kot prerezne ravnine



[5]

Slika 3: Primer konstrukcije z linearnim toplotnim mostom na razdalji l_w s prikazom simetrijskih ravnin, ki so lahko uporabljene kot prerezne ravnine

V primeru izračuna izbranih konstrukcijskih sklopov je potrebno pripraviti model obravnavane stene po zgornjem vzorcu. Vidna mora biti nehomogenost – stebel v tlorisu, ki je nameščen v sredini izseka. Preostalo nadaljevanje izseka od stebra na vsako stran pa v posamezno smer ne sme presegati skupne debeline sklopa. Navedene morajo biti vse plasti konstrukcijskega sklopa in njihove lastnosti, ki vplivajo na izračun U faktorja [5].

Pri tej metodi je pomembna določitev toplotnega toka skozi toplotni most. Na podlagi le-te poteka tudi izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.

Pomembna je poenostavitev, po kateri lahko sloj zanemarimo, kadar gre za plasti tanjše od 1 mm, na primer parne ovire in razne folije v sklopu. [5]

Prav tako je možno podajanje posameznih slojev poenostaviti. Kvazi homogene plasti in materiali se v sklopu pojavijo tam, kjer imamo več materialov v eni plasti, pri tem pa gre za minimalne količine enega materiala proti drugemu. To so na primer vijaki v mavčno kartonastih ploščah, ki v teoriji povzročajo minimalne točkovne toplotne mostove in tako spremembe toplotnega toka, pa jih po določilu o kvazi homogeni plasti lahko zanemarimo. Tak sloj se imenuje kvazi homogen sloj. Za lažji izračun lahko toplotno prevodnost kvazi homogenega sloja izračunamo po naslednji formuli – enačba (6) [5].

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{A}{L} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j}}, \quad (6)$$

kjer so λ' efektivna toplotna prevodnost kvazi homogenega sloja, d debelina sloja, kjer se pojavi nehomogenost materialov, A ploščina konstrukcijskega elementa, L toplotna prehodnost stavbnega elementa določena z 2D (v našem primeru) ali 3D simulacijo, d_j debelina sloja, ki je del sklopa in λ_j toplotna prevodnost homogenega sloja [5].

3.2.2.3 Vhodni podatki za izračun po 2D metodi

- Toplotna prevodnost materialov

Toplotne prevodnosti materialov morajo biti izračunane po SIST EN ISO 10456 ali pa morajo biti privzete vrednosti navedene v SIST EN ISO 10456 [8], [5].

- Toplotni upor na površinah, ki so v kontaktu z zrakom

Za izračun toplotnega toka, mora biti toplotni upor na površini povzet po standardu SIST EN ISO 6946 [4], kjer je potrebno določiti smer toplotnega toka. Horizontalna smer toplotnega toka je lahko izbrana za vse primere sklopov, kadar smer toka ni znana ali pa je spremenljiva in kadar je celoten model modeliran z enim izračunom.

- Temperaturni robni pogoji

Preglednica 6 Lokacija in predpisana robna temperatura (Povzeto po: [5]):

Lokacija	Robna temperatura
Notranjost	suha rezultirajoča temperatura
Notranjost v neogrevanih prostorih	Izračun v poglavju 6.7 SIST EN ISO 10211
Zunanjost	Temperatura zraka
Tla na terenu (horizontalna prerezna ravnina)	adiabatni robni pogoj – na razdalji pod površino zemlje, kot je navedeno v Tabeli 1 standarda SIST EN ISO 10211

- Toplotna prevodnost kvazi homogenega sloja

Izračun zgoraj omenjene prevodnosti mora potekati po enačbi (6).

- Ekvivalentna toplotna prevodnosti zračnih praznin

Zračne praznine je treba upoštevati kot homogeni toplotno prevodni material s toplotno prevodnostjo λ_g . Če je toplotni upor zračnega sloja oziroma praznine znan, se λ_g izračuna po naslednji enačbi (7), [5]:

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g}, \quad (7)$$

kjer sta d_g debelina zračnega sloja in R_g toplotna upornost v glavni smeri toplotnega toka [5].

3.2.2.4 Izhodni rezultati izračuna

Rezultata izračuna sta L3D in L2D med sosednjima prostoroma in toplotni tok skozi konstrukcijski sklop, ki ta prostora razmejuje. Lahko se izračuna tudi gostoto toplotnega toka, podano v W/m (2D) oziroma v W (3D), za izbrana dva prostora kot tudi minimalno temperaturo na površini v stopinjah Celzija in lokacijo točke z minimalno temperaturo na površini konstrukcijskega sklopa za izbrani prostor [5].

Posebno pozornost je treba posvetiti tudi oceni napake, ki izhaja iz uporabe določenega računskega orodja, v ta namen standard podaja podlage za verifikacijo uporabljenega računskega orodja. Program THERM je po navedbah razvijalcev validiran po tem standardu.

4 PREDSTAVITEV IZBRANIH KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV

Kot je omenjeno v uvodu, stavbni ovoj ločuje umetno ustvarjeni notranji prostor od zunanjega sveta. S tem je reguliran prehod energije, zvoka, svetlobe in ostalih zunanjih vplivov iz zunanjega v notranji prostor in obratno. Konstrukcijski sklopi so deli takšnega stavbenega ovoja. Sestavljeni so iz plasti, ki opravljajo primarne in sekundarne gradbeno fizikalne funkcije.

Tako endoskeletni sklopi zaradi vmesnih prekinitev poteka materialov postanejo nehomogeni za razliko od eksoskeletnih, kjer je predviden enak potek materialov vzdolž celotnega sklopa. V sklopu diplomske naloge se bom posvetila izključno analizi izbranih konstrukcijskih sklopov zunanjih sten.

V nadaljevanju je prikazanih 7 različnih primerov konstrukcijskih sklopov. Šest od teh je endoskeletnega tipa eden pa eksoskeleten. Izbrane konstrukcijske sklope sem povzela po literaturi različnih proizvajalcev in spletnih priročnikih z rešitvami, viri so navedeni za vsak sklop posebej. Skice sklopov se nahajajo v prilogi C.

4.1 Sklop 1: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije les

Konstrukcijski sklop predstavlja zunanjo steno, ki jo je konfiguriralo podjetje Lumar.

Tip stene se imenuje Standard in je namenjen uporabi pri gradnji montažnih hiš [9].

Preglednica 7: Plasti sklopa 1 od notranjega prostora proti zunanjemu

Od N proti Z	MATERIAL	debelina [mm]	PREVODNOST λ [W/(m K)]	UPORNOST TR [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča, vijačena v sek. NK	10	0,21	0,05
2	mavčno kartonska plošča, vijačena v sek. NK	15	0,21	0,07
3	Sovprežna lesena podkonstrukcija – sekundarna NK, vijačena v primarni steber	160	0,16	1,00
4	PE folija	0,2	0,30	0,00
5	mineralna volna	160	0,04	4,00
6	lesena nosilna konstrukcija	160	0,16	1,00
7	mavčno kartonska plošča	15	0,21	0,07
8	EPS* (fasadna toplotna izolacija)	100	0,04	2,50
9	armirna malta in mrežica	2	0,70	0,00
10	končni sloj fasade	3	0,70	0,00

* EPS=ekspandirani polisteren

4.2 Sklop 2: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije les

Sklop je povzet po zunanji steni lesenih montažnih hiš podjetja Jelovica z imenom Optima plus [10].

Preglednica 8: Plasti sklopa 2 od notranjega prostora proti zunanjemu

Od N proti Z	MATERIAL	debelina [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča, vijačena v NK	12,5	0,21	0,06
2	cementno iverna plošča, vijačena v NK	12,5	0,23	0,05
3	metalna podkonstrukcija			
4	PE folija	0,2	0,3	0,00
5	lesena nosilna konstrukcija	140	0,16	0,88
6	kamena volna plošče med stebri NK	140	0,04	3,50
7	cementno iverna plošča, vijačena v NK	16	0,23	4,00
8	EPS, lepljen*	160	0,04	0,07
9	armirna malta in mrežica	2	0,70	0,00
10	končni solj fasade	3	0,70	0,00

* EPS=ekspandirani polisteren

4.3 Sklop 3: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije jeklo

Sklop je konceptualno povzet po spletnem priročniku za gradnjo jeklenih sten [11]. Sistem za nanos TI z zunanje strani pa je bil smiselno prevzet po sistemu podjetja Paroc [13].

Preglednica 9: Plasti sklopa 3 od notranjega prostora proti zunanjemu

OD N PROTI Z	MATERIAL	DEBELINA [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča	12,5	0,21	0,06
2	mavčno kartonska lošča	12,5	0,21	0,06
3	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	15	43,00	0,00
4	PE folija	0,02	0,30	0,00
5	Zrak**	50	-	0,18**
6	jekleni C profil	200	43,00	0,00
7	mineralna volna – v roli	150	0,04	3,75
8	mavčno kartonska plošča	12,5	0,21	0,06
9	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	15	43,00	0,00
10	EPS*, lepljen	150	0,04	3,75
11	armirna malta in mrežica	2	0,7	0,00
12	končni solj fasade	3	0,7	0,00

* EPS=ekspandirani polisteren

** [4]

4.4 Sklop 4: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije jeklo

Sklop je konceptualno povzet po spletnem priročniku za gradnjo sten z jekleno nosilno konstrukcijo [11]. Sistem za nanos toplotne izolacije z zunanje strani pa je bil prevzet po sistemu sendvič plošč iz aluminija in mineralne volne podjetja Paroc [12].

Preglednica 10: Plasti sklopa 4 od notranjega prostora proti zunanjemu

OD N PROTI Z	MATERIAL	DEBELINA [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča – vijačena	12,5	0,21	0,06
2	mavčno kartonska plošča - vijačena	12,5	0,21	0,06
3	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	25	43,00	0,00
4	PE folija	0,2	0,3	0,00
5	mineralna volna	100	0,04	2,50
6	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	100	43,00	0,00
7	Jekleni I profil	200	43,00	0,00
8	Zrak**	200	-	0,18**
9	aluminijasta plošča, vijačena v I NK	1	230,00	0,00
10	mineralna volna	200	0,04	5,00
11	aluminijasta plošča	1	230,00	0,00

** [4]

4.5 Sklop 5: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije armirani beton

Sklop je sestavljen iz nosilnih armiranobetonskih stebrov, med katerimi je ujet zrak. Sistem pritrditve toplotne izolacije na notranji strani je povzet po sistemu pritrjevanja Paroc [12]. Zunanja fasadna toplotna izolacija pa je sendvič panel prav tako povzet po podjetju Paroc [13].

Preglednica 11: Plasti sklopa 5 od notranjega prostora proti zunanjemu

OD N PROTI Z	MATERIAL	DEBELINA [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča	12,5	0,21	0,06
2	mavčno kartonska plošča	12,5	0,21	0,06
3	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	25	43,00	0,00
4	PE folija	0,2	0,30	0,00
5	mineralna volna	100	0,04	2,50
6	Železni C profil, vijačen (sekundarna NK)	112,5	43,00	0,00
7	mavčno kartonska plošča	12,5	0,21	0,06
8	AB* steber	200	2,00	0,10
9	zrak**	200	-	0,18**
10	aluminijasta plošča, vijačena	1	230,00	0,00
11	mineralna volna	200	0,04	5,00
12	aluminijasta plošča	1	230,00	0,00

* AB = armirani beton

** [4]

4.6 Sklop 6: Endoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije armirani beton s polnilom poro beton

Sklop je sestavljen iz nosilnih armiranobetonskih stebrov, med katerimi je porobetonsko polnilo. Na zunanji strani je izolacija povzeta po sistemu Weber Therm plus 20 [14].

Preglednica 12: Plasti sklopa 6 od notranjega prostora proti zunanjemu

OD N PROTI Z	MATERIAL	DEBELINA [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	mavčno kartonska plošča vijaka v NK	12,5	0,21	0,06
2	mavčno kartonska plošča vijaka v NK	12,5	0,21	0,06
3	PE folija	0,2	0,30	0,00
4	porobeton	200	0,14	1,43
5	AB* steber	200	2,00	0,10
6	EPS* sidran, lepljen	200	0,04	5,00
7	armirna malta in mrežica	2	0,7	0,00
8	končni sloj fasade	3	0,7	0,00

* AB = armirani beton

* EPS=ekspandirani polisteren

4.7 Sklop 7: Eksoskeletna nosilna konstrukcija – material nosilne konstrukcije poro beton

Gre za konstrukcijski sklop porobetonske eksoskeletne nosilne konstrukcije. Povzeta je po sklopu iz kataloga podjetja YTONG [15]. Ker sklop po dolžini nima nehomogenosti (stebrov), pričakujemo enak U faktor ne glede na metodo izračuna.

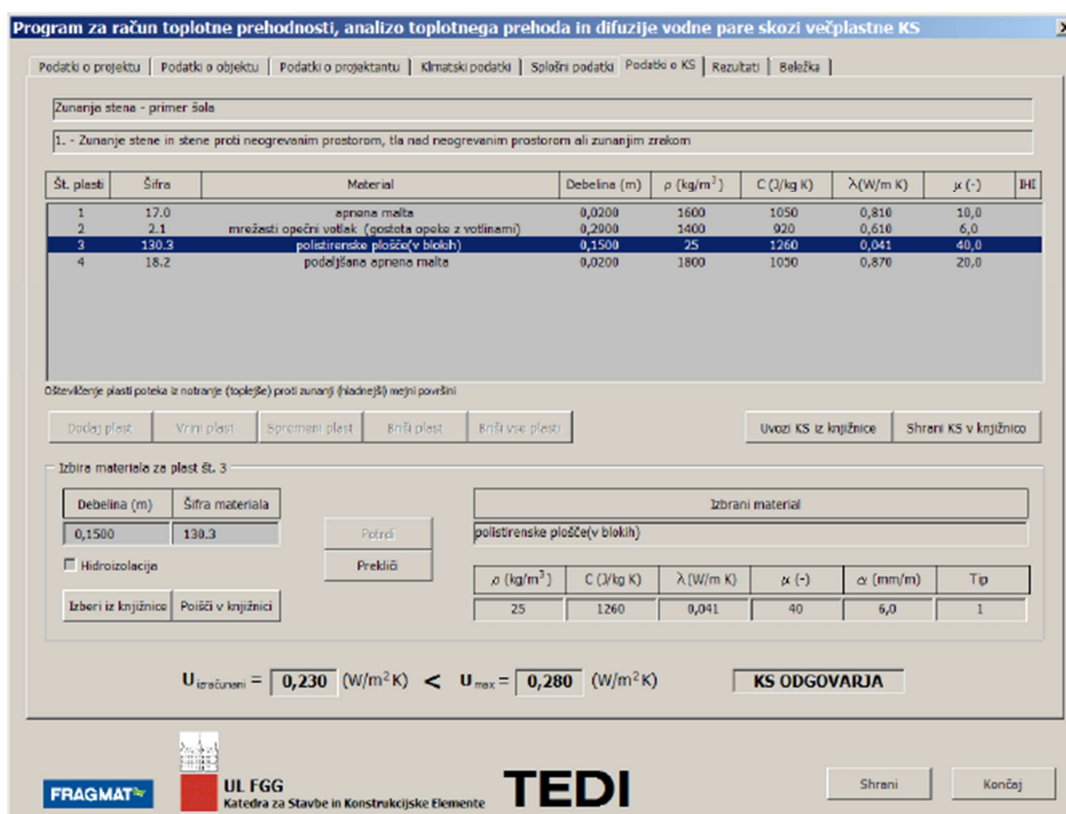
Preglednica 13: Plasti sklopa 7 od notranjega prostora proti zunanjemu

OD N PROTI Z	MATERIAL	DEBELINA [mm]	PREVODNOST λ [w/(m K)]	UPORNOST R [(m ² K)/W]
1	notranji omet YTONG	10	0,70	0,01
2	termoblok tb 40 YTONG	400	0,14	2,86
3	lepilna malta za kameno volno	5	0,70	0,01
4	kamena volna Rockwool RP-PL	100	0,04	2,50
5	lepilna malta za kameno volno	5	0,90	0,01
6	zaključni sloj	3	0,7	0,00

5 KRATKA PREDSTAVITEV PROGRAMSKIH ORODIJ ZA IZRAČUN U FAKTORJA PO 1D IN 2D METODI

5.1 TEDI

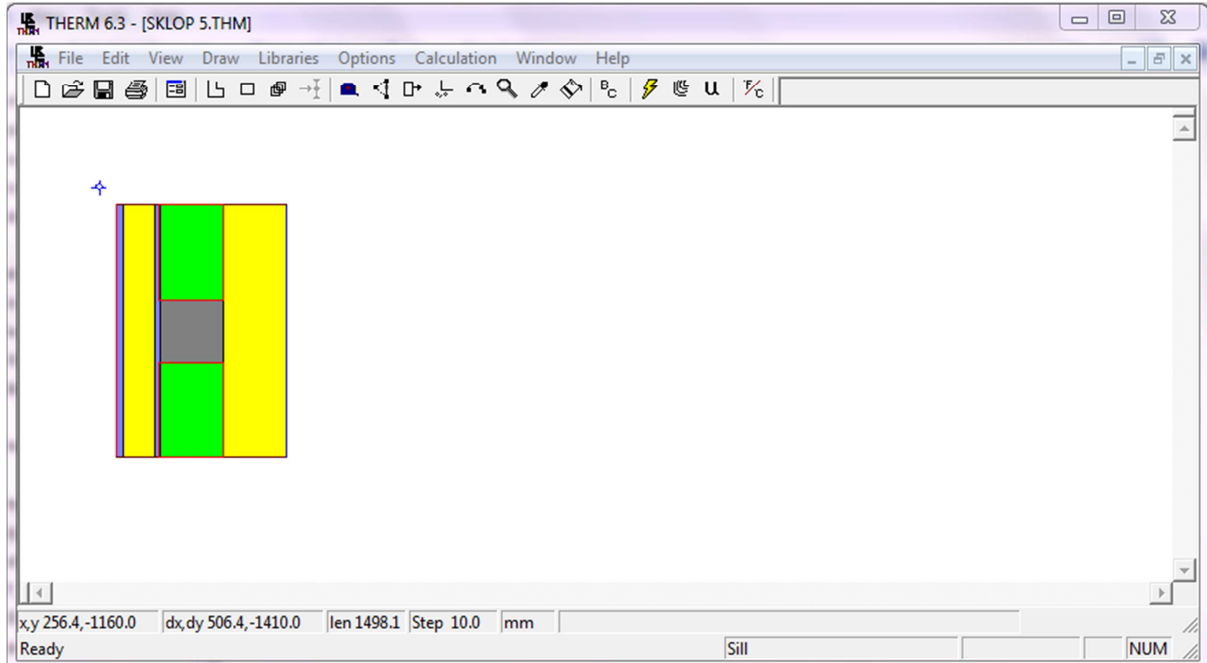
Program TEDI je bil narejen na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente UL FGG. Avtorja sta Rudi Perdan in prof. dr. Aleš Krainer. Osnovni namen programa je izračun in analiza toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope. Izračun poteka v skladu s Pravilnikom o zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah, SIST EN ISO 6946, SIST EN ISO 10211-1 in SIST EN 1025:2002 [17]. V samem programu sta vgrajeni dve knjižnici, iz katerih je možno črpanje podatkov za izračune. Prva je knjižnica materialov in konstrukcijskih sklopov, druga pa knjižnica z meteorološkimi podatki RS-MOP [6] (Slika 4). [4], [5]



Slika 4: Zavihek za konfiguracijo računskega modela sklopa v programu TEDI [6]

5.2 THERM

Računalniški program THERM [7] je bil razvit v Lawrence Berkely Nationaly Laboratory (LBNL). Je brezplačen program, dostopen na internetu, in uporablja metodo končnih elementov in modeliranje po 2D metodi za izračun prehoda toplote skozi elemente stavbnega ovoja(npr.: stene, okna, vrata). Programsko orodje je primerno za prikaz prisotnosti in vpliva toplotnih mostov. S pomočjo programa THERM lahko ovrednotimo toplotne lastnosti stavbnih elementov in lokalni potek temperature [7] (Slika 5).



Slika 5: Geometrija vzorca v programu THERM [7]

6 IZHODIŠČNE PREDPOSTAVKE

6.1 TEDI izračun po 1D metodi

Vhodni podatki so:

- Tip konstrukcijskega sklopa (Zunanja stena).
- Temperaturi zunanjega in notranjega prostora (-13°C in 21°C).
- Upornost na zunanji in notranji površini sklopa ($R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ in $R_{si}=0,13\text{m}^2\text{K/W}$).
- Sloji konstrukcijskega sklopa, ki si sledijo od notri navzven.
- Materiali slojev in njihove karakteristike, kot so debelina d [m], gostota ρ [kg/m^3], specifična toplota C [$\text{J}/(\text{kg K})$], toplotna prevodnost λ [$\text{W}/(\text{m K})$] in emisivnost[-].

Program računa po metodah opisanih v SIS EN ISO 6946 in SIST EN ISO 10211 [6].

Prvi korak uporabe programa je izpolnjevanje glav z informacijami administrativne narave o projektu. Določijo se tudi klimatski podatki. Slednji se na podlagi lokacijskih koordinat objekta naložijo v program s pomočjo podatkovne baze »RS MOP« [6].

Tako so fiksirani stacionarni pogoji enaki za vseh sedem primerov konstrukcijskih sklopov v obdobju najhladnejšega meseca, ko je razlika med zunanjo in notranjo temperaturo največja. V tem primeru gre za najhladnejši mesec, ko je projektna temperatura zunaj -13°C in notri v objektu 21°C [6]. Program na podlagi projektne zunanje temperature avtomatsko določi t.i. računsko temperaturo zunanjega zraka.

Sledi urejanje splošnih podatkov o konstrukcijskem sklopu, kjer se definira tip konstrukcijskega sklopa in predpisane vrednosti, ki jih mora izpolnjevati sklop, na podlagi tehnične smernice TSG-01-004:2010 [2].

Najpomembnejši pa je zavihek za vnos podrobnejših podatkov o konstrukcijskem sklopu – Podatki o KS. Tu se navaja sestava konstrukcijskega sklopa z dodajanjem plasti od notranje do zunanje. Nove tipe materialov lahko poljubno dodamo v knjižnico ali pa iz nje izberemo že obstoječe. V primeru simulacij so bili uporabljeni materiali iz knjižnice. U faktor za celoten sklop se izračunava sprotno, kjer je prisotna tudi informacija o primernosti sklopa. Primerjava teče s faktorjem sklopa določenim za zunanje stene podanem v tehnični smernici TSG-01-004:2010 [2], [6].

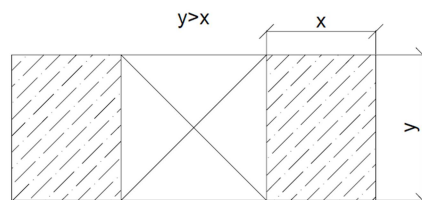
6.2 THERM izračun po 2D metodi

Vhodni podatki so:

- 2D geometrija modelov.
- Materiali modela s karakteristikami, kot so gostota ρ [kg/m^3], toplotna prevodnost λ [$\text{W}/(\text{m K})$] in emisivnost [-].
- Določitev robnih pogojev: Upornosti na zunanji in notranji površini sklopa ($R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ in $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$) in temperature na zunanji in notranji površini sklopa (za vsak sklop po glede na robne pogoje definirane v programu TEDI [3]) ter adiabatnega roba.
- Rob vzdolž katerega se izračuna U faktorj (rob v stiku z zunanjim hladnim prostorom).

S pomočjo funkcij v programu zrišemo geometrijo konstrukcijskega sklopa v horizontalnem prerezu z upoštevanjem prejšnjih predpostavk navedenih v opisu 2D metode.

Sam vzorec za izračun U faktorja je bil tako pripravljen v skladu s SIST EN ISO 10211. Paziti je potrebno, da je v vzorcu motnja (nehomogenost) postavljena simetrično, kar pomeni, da je oddaljenost od robov motnje do kraja modela na obeh straneh enaka. Pomembno je tudi, da zgornji in spodnji rob nista predolga, kar pomeni, da je razdalja od roba nehomogenosti do končnega roba manjša od same debeline konstrukcijskega sklopa (Slika 6). Vzorci so modelirani s tlorisa, kar pomeni, da prerez poteka pravokotno na steber oziroma vzporedno s tlemi [5], [7].



Slika 6: : Prikaz predpisanih dolžin sklopa

Geometrijske vzorce definiramo z materiali. Lastnosti materialov so bile privzete iz programa TEDI [3]. Vzpostavljeni so bili enaki pogoji simuliranja. Materiali ustvarjeni v THERM [7] s svojimi lastnostmi so v programskih maskah v prilogi B.

Nato sledi definiranje robnih pogojev. Robni pogoji se v tej simulaciji nanašajo na vse štiri zunanje robove modela sklopa. Potrebni so trije različni tipi robnih pogojev robov in sicer adiabatni, notranji in zunanji. Prizadevamo si zagotoviti čim bolj identično situacijo, kot pri simuliranju sklopov s programom TEDI. Zato je zopet uporabljena notranja temperatura na površini sklopa, ki je izračunana s programom TEDI $20,5^\circ\text{C}$ in zunanja $-4,9^\circ\text{C}$. Določiti je potrebno tudi toplotno upornost zunanje in notranje skrajne površine, kar znaša po SIST EN ISO 6946 $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ in $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$. V program je vnesena toplotna prestopnost, ki predstavlja recipročno vrednost in znaša na notranji strani sklopa $8,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ in $23,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ na zunanji površini. Slednji vrednosti sta s temperaturama

upoštevani pri zunanjem in notranjem robnem pogoju. Adijatni robni pogoj pa predstavlja ničnost toka skozi rob. Dejansko predstavlja neskončno nadaljevanje sklopa na vsako stran [3], [4], [7].

Da bi bilo mogoče določiti U faktor, je potrebno najprej definirati rob, na katerem bo izračunan. V tem primeru rob opredeljujeta skrajna zgornja in skrajna spodnja točka roba v stiku z zunanjim hladnim prostorom. Na slikah simuliranih modelov je viden modro obarvani zunanji rob, vzdolž katerega je izračunan U faktor konstrukcijskega sklopa.

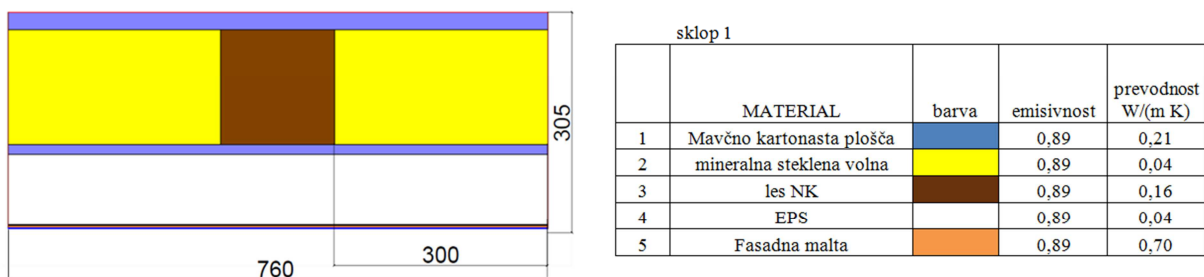
6.3 Modeli sklopov

V spodnjih poglavjih so predstavljeni vhodni podatki. Po zgornjem opisu so v programu TEDI privzeti temperatura, navajanje materialov in robni pogoji. Enako velja za program THERM. Priprava modelov poteka po opisu v poglavjih 6.1 in 6.2 [3], [7].

Tabele z dejanskimi vhodnimi podatki v programu TEDI za posamezen sklop so podane v prilogi A. V spodnjih sklopih je opisana individualna priprava modelov. [3]

6.3.1 Sklop 1

- 1D: Pri navajanju plasti zanemarimo leseno sekundarno nosilno konstrukcijo mavčno kartonastih plošč in toplotne izolacije in leseno nosilno konstrukcijo – vertikalni leseni steber.
- 2D: Debelina vzorca je 305 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 300 mm. (Slika 7).



Slika 7: Model sklopa 1 (geometrija) v programu THERM

6.3.2 Sklop 2

- 1D: Cementno iverna plošča se v programu TEDI simulira kot mavčno kartonasta plošča debeline do 18mm, saj je tu bistvena toplotna prevodnost, ki pa je enaka za oba materiala [3]. Pri navajanju plasti zanemarimo leseno nosilno konstrukcijo – vertikalni leseni steber in kovinsko sekundarno nosilno konstrukcijo za nošenje plošč in kamene volne.
- 2D: Debelina vzorca je 350 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 300 mm. (Slika 8)

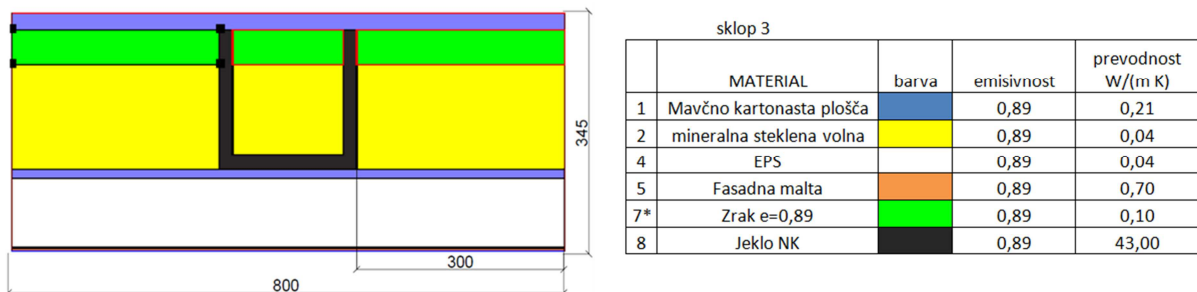


Slika 8: Model sklopa 2 (geometrija) v programu THERM

6.3.3 Sklop 3

V tretjem sklopu se pojavi nova posebnost in sicer ujeti zrak v prostoru med izolacijsko peno in mavčno kartonasto ploščo na notranji strani stene. Upoštewane so toplotne lastnosti zaprtega zraka pri emisivnosti površin $e=0,82$ v obeh primerih simuliranja.

- 1D: Zrak je izbran iz knjižnice materialov v TEDI kot dodaten sloj z emisivnostjo $e=0,82$ [3]. Pri navajanju plasti zanemarimo nosilno konstrukcijo – jekleni steber C profil in kovinski sekundarni nosilni konstrukciji z obeh strani primarne nosilne konstrukcije
- 2D: Podatki za model zračnega sloja so podani v maski v prilogi B, sicer pa se zračne karakteristike nanašajo na v knjižnici izbran standard ISO 15099, kjer je bil za plin določen zrak ujet v okvirju z emisivnostjo na obeh straneh materialov $e=0,82$. Debelina vzorca je 345 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 300 mm (Slika 9).

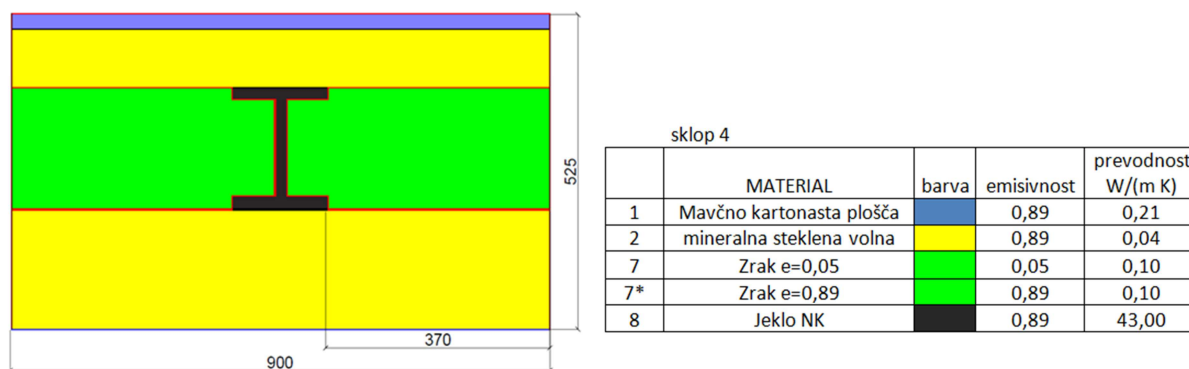


Slika 9: Model sklopa 3 (geometrija) v programu THERM

6.3.4 Sklop 4

Specifika tega sklopa je spet zrak ujet v notranjosti med dvema plastema z različnima emisivnostima. Aluminijaste konstrukcije imajo zaradi velikega razpona možnih vrednosti emisivnosti lahko zelo velik vpliv na prenos toplote s sevanjem. Tako se pri sijočih površinah aluminija in mat površinah emisivnost razlikuje in in sicer variira od $e=0,05$ do $e=0,82$. V realnosti je emisivnost na površini mineralne volne $e=0,82$ in na površini aluminija od $e=0,05$ do $e=0,82$. Ker programska oprema TEDI tovrstnega simuliranja ne omogoča, so bile simulacije prilagojene. Prva simulacija je potekala za zračno plast z emisivnostjo sosednjih materialov $e=0,05$ in druga za plast z emisivnostjo $e=0,82$ [3].

- 1D: V obeh primerih je v navajanju plasti zanemarjena nosilna konstrukcija – jekleni steber I profil in metalna sekundarna nosilna konstrukcija na notranji strani nosilne konstrukcije. V primeru prve simulacije je emisivnost zračnega sloja $e=0,05$. V primeru druge simulacije pa je emisivnost zračnega sloja $e=0,82$.
- 2D: Gre za dve različni simulaciji, a v principu je model videti enako. V prvem primeru ima zeleno obarvan material zrak lastnosti emisivnosti na stičnih površinah, $e=0,05$ in v drugem $e=0,82$. V drugem primeru simuliranja ima zrak enake karakteristike kot zrak v primeru sklopa 3. V prvem primeru simuliranja pa se spremeni le emisivnost zračne plasti iz $e=0,05$ v $e=0,82$. Debelina vzorca je 525 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 370 mm. (Slika 10)

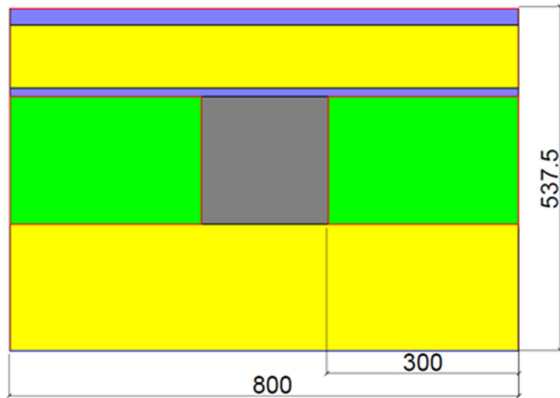


Slika 10: Model sklopa 4 (geometrija) v programu THERM

6.3.5 Sklop 5

Tudi v sklopu 5 je uporabljen enak sendvič panel kot v sklopu 4. Ta je prav tako v stiku z zračno plastjo, zato se tudi pri obravnavi sklopa 5 pojavi enak problem pri obravnavanju zračne plasti. Za vsako metodo je potrebno narediti dve simulaciji za različni upoštevani emisivnosti zračne plasti.

- 1D: V obeh primerih pri podajanju plasti zanemarimo nosilno konstrukcijo – armiranobetonski steber in sovprežni metalni sekundarni nosilni konstrukciji na notranji strani nosilne konstrukcije za nošenje mavčno kartonastih plošč in toplotne izolacije V primeru prve simulacije je emisivnost zračnega sloja $e=0,05$. V primeru druge simulacije pa je emisivnost zračnega sloja $e=0,82$.
- 2D: Gre za dve različni simulaciji, a v principu je model videti enako. V prvem primeru ima zeleno obarvan material zrak emisivnost $e=0,05$ in v drugem $e=0,82$. V drugem primeru simuliranja ima zrak enake karakteristike kot zrak v primeru sklopa 3. V prvem primeru simuliranja pa se spremeni le emisivnost zračne plasti iz $e=0,05$ v $e=0,82$. Debelina vzorca je 537,5 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 300 mm. (Slika 11)

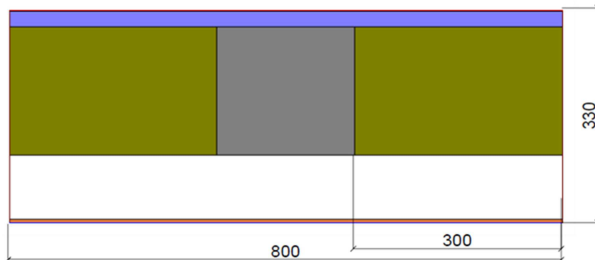


	MATERIAL	barva	emisivnost	prevodnost W/(m K)
1	Mavčno kartonasta plošča	blue	0,89	0,21
2	mineralna steklena volna	yellow	0,89	0,04
7	Zrak e=0,05	green	0,05	0,10
7*	Zrak e=0,89	green	0,89	0,10
9	AB NK	grey	0,89	2,00

Slika 11: Model sklopa 5 (geometrija) v programu THERM

6.3.6 Sklop 6

- 1D: V naštevanju plasti zanemarimo nosilno konstrukcijo – armiranobetonski steber.
- 2D: Debelina vzorca je 330 mm in dolžina krakov od nehomogenosti do roba 300 mm. (Slika 12)

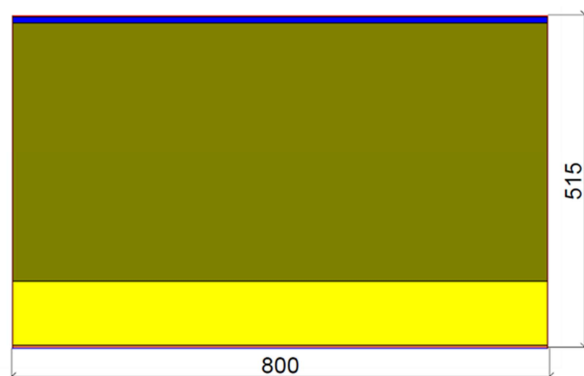


	MATERIAL	barva	emisivnost	prevodnost W/(m K)
1	Mavčno kartonasta plošča	blue	0,89	0,21
4	EPS	dark green	0,89	0,04
5	Fasadna malta	orange	0,89	0,70
9	AB NK	grey	0,89	2,00
10	POROBRTON NK, polnilo	dark green	0,89	0,14

Slika 12: Model sklopa 6 (geometrija) v programu THERM

6.3.7 Sklop 7

- 1D: V temu sklopu plasti ne zanemarjamo, saj gre za eksoskeletni sklop in vzdolž poteka sklopa (stene) nimamo nehomogenih elementov (stebri).
- 2D: Debelina vzorca je 515 mm in dolžina do roba 800 mm. Nehomogenosti ni (Slika 13).



	MATERIAL	barva	emisivnost	prevodnost W/(m K)
2	mineralna steklena volna	yellow	0,89	0,04
10	POROBRTON NK, polnilo	dark green	0,89	0,14
11	apneno mavčna malta	blue	0,89	0,70

Slika 13: Model sklopa 7 (geometrija) v programu THERM

7 REZULTATI

7.1 Predstavitev rezultatov

7.1.1 Izhodni podatki programov

1D:

- Izračunani U faktor skozi sklop po 1D metodi.
- Potek temperature skozi sklop v grafu (T-d diagram).

2D:

- Izračunani U faktor na določenem robu vzorca (v stiku z zunanjim prostorom) po 2D metodi.
- Potek temperature in toplotnega toka skozi model z izrisanimi izotermami in prikazom lažnih barv (2D toplotno polje).

7.1.2 Rezultati U faktorjev po 1D in 2D metodah

V preglednici 14 so predstavljeni rezultati izračuna U faktorja po 1D in 2D metodi.

Preglednica 14: Rezultati izračunov U faktorja po 1D in 2D metodi za posamezni sklop

Sklopi	TOPLOTNA PREHODNOST U		Odstopanje
	W/m ² K		%
	1D	2D	$\Delta_{U1D,U2D}$
SKLOP 1	0,1430	0,1727	20,77
SKLOP 2	0,1230	0,1398	13,66
SKLOP 3	0,1450	0,2277	57,03
SKLOP 4 (e=0,05)	0,1230	0,1287	4,63
SKLOP 4 (e=0,82)	0,1290	0,1287	-0,23
SKLOP 5 (e=0,05)	min0,1150	min0,1274	10,78
SKLOP 5 (e=0,82)	0,1250	0,1275	2,00
SKLOP 6	0,1400	max0,2639	max88,50
SKLOP 7	max0,1820	0,1821	min0,05

S krepkim tiskom so označene skrajne vrednosti rezultatov v posameznem stolpcu.

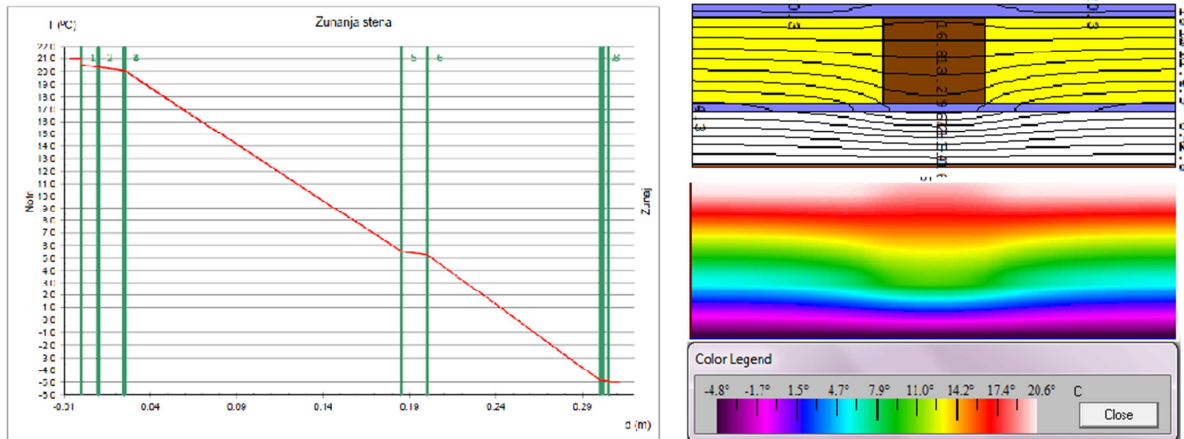
7.2 Analiza rezultatov

V splošnem bi morali biti rezultati izračunanega U faktorja po uporabljenih dveh računskih metodah za posamezni sklop med seboj različni. U faktor izračunan po metodi 1D bi moral biti manjši od izračunane toplotne prehodnosti določene po 2D metodi.

Toplotni tok je pri vseh sklopih največji skozi nosilno konstrukcijo, ki predstavlja toplotni most. To je lepo vidno pri 2D metodi pri poteku izoterm v modelu. Temperaturne izolinije se vijejo okoli elementa z višjo toplotno prevodnostjo, temperaturna sprememba v njegovi okolici pa je zelo velika. Prav ta pojav pa vpliva na največje odstopanje med rezultati metod. 2D metoda za izračun U faktorja ta pojav zajame, medtem ko 1D ne.

7.2.1 Sklop 1

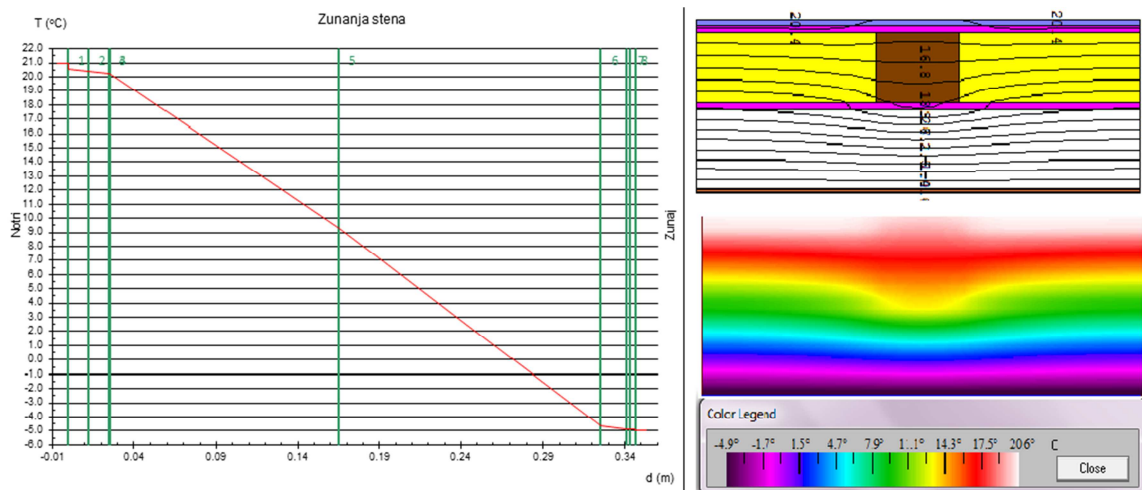
Pri sklopu 1 izračunana U faktorja znašata $U_{1D}=0,1430 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}=0,1727 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (odstopanje $\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=20,77 \%$). Kot predpostavljeno je U_{1D} manjši od U_{2D} . Izoterme kažejo, da prihaja do večjih temperaturnih razlik na mestu lesenega stebra, kar pa pomeni, da skozenj steče več toplotnega toka. (Slika 14)



Slika 14: Rezultati sklopa 1; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.2 Sklop 2

Za sklop 2 sta U faktorja enaka $U_{1D}=0,1230 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}=0,1398 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (odstopanje $\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=13,66 \%$). Zanj velja enaka interpretacija rezultatov, kot pri sklopu 1. (Slika 15)

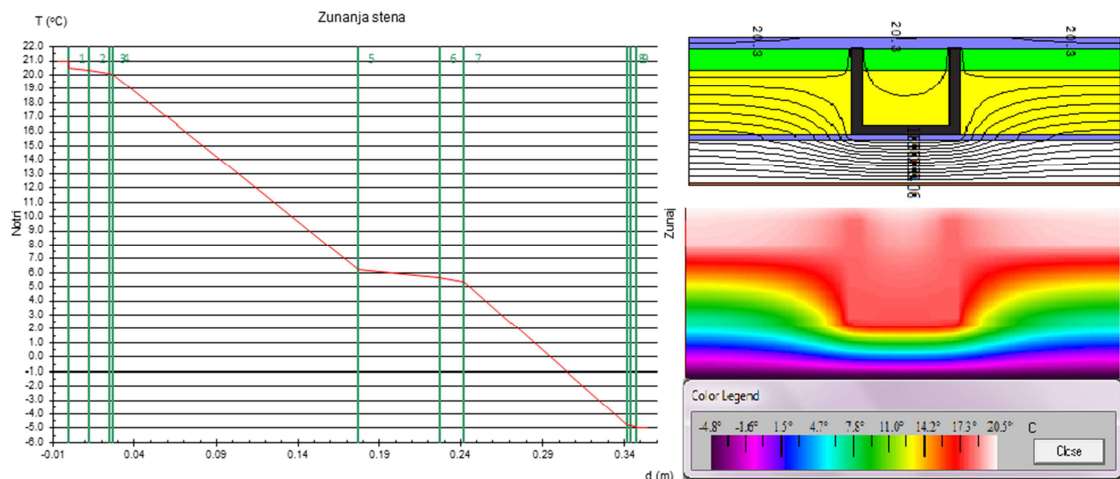


Slika 15: Rezultati sklopa 2; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.3 Sklop 3

Za sklop 3 sta U faktorja enaka $U_{1D}=0,1450 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}=0,2277 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (odstopanje $\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=57,03 \%$). Posebnost tega sklopa je ujet zrak, ki je pri U_{1D} vštet v račun kot dodatna plast, ki prispeva k zmanjšanju toplotne prehodnosti U. Pri izračunu U_{2D} zrak igra minimalno vlogo, saj je iz razporeda izoterm možno opaziti, da krivulja v okolici jeklenega stebra na mestu zraka le rahlo

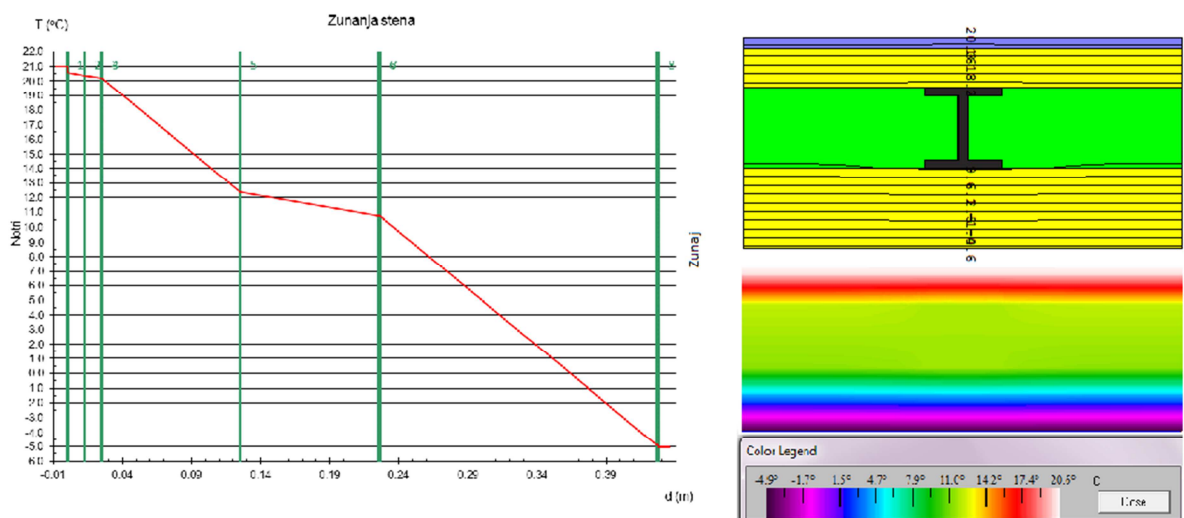
zaokroži v obliki stebnega profila. Ker pa je toplotna prevodnost jekla v primerjavi s toplotnimi prevodnostmi drugih uporabljenih materialov v sklopu toliko večja, se večina toka prevede kar čez jekleni steber. (Slika 16)



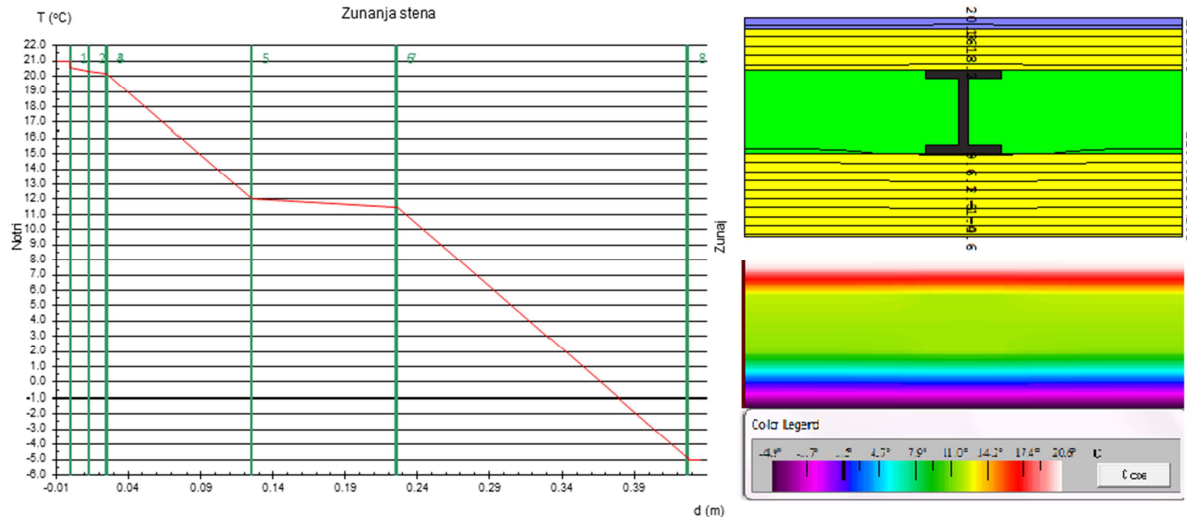
Slika 16: Rezultati sklopa 3; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.4 Sklop 4

Za sklop 4 sta U faktorja v primeru emisivnosti $e=0,05$ enaka $U_{1D,0,05}=0,1230 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D,0,05}=0,1287 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in v primeru emisivnosti $e=0,82$ enaka $U_{1D,0,82}=0,1287 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D,0,82}=0,1287 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Primerjava U faktorjev izračunanih pri emisivnosti površin v zračni plasti $e=0,05$ pokaže, da je razlika med rezultati $U_{1D,0,05}$ in $U_{2D,0,05}$ zelo majhna (odstopanje $\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=4,63 \%$), a je $U_{1D,0,05}$ še vedno manjši od $U_{2D,0,05}$. U faktorja izračunana emisivnosti površin v zračni plasti $e=0,82$ pokažeta praktično enak rezultat (odstopanje je $\Delta_{U_{1D},U_{2D}}= -0,23 \%$). Do tega verjetno pride, ker ima zračni sloj visoko emisivnost in tok skoraj enakomerno steče tako skozenj kot tudi skozi jekleni steber. Opaziti je možno, da sta si rezultata različnih emisivnosti pri 1D metodi zelo podobna, medtem ko sta pri 2D identična. (Sliki 17 in 18)



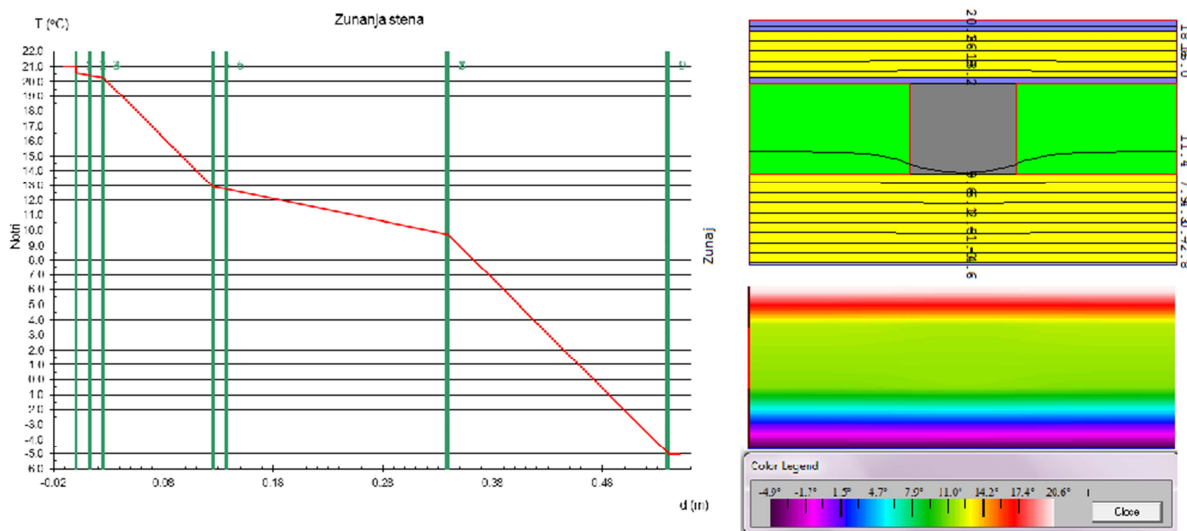
Slika 17: Rezultati sklopa 4 ($e=0,05$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]



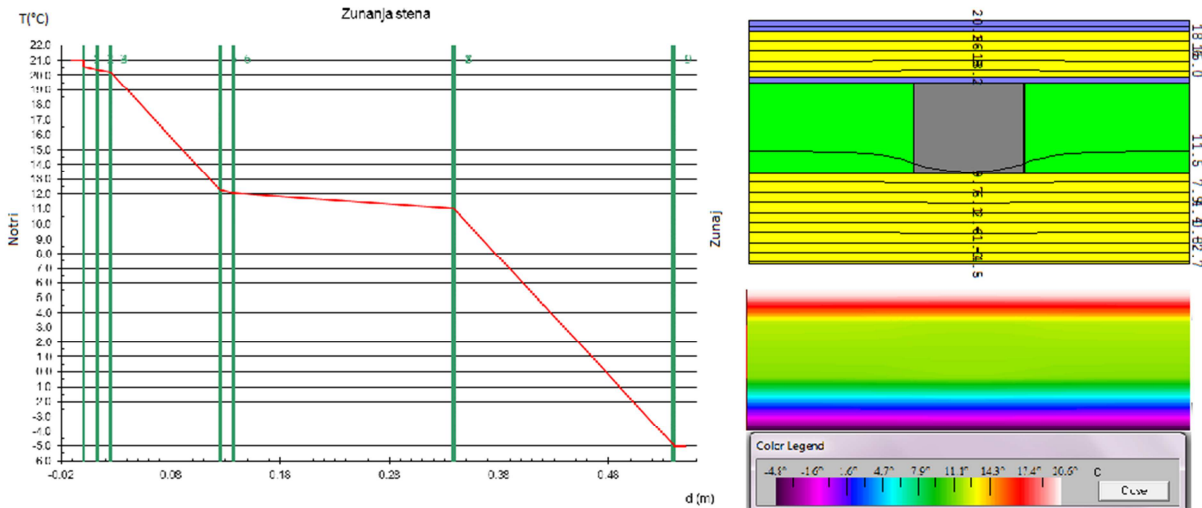
Slika 18: Rezultati sklopa 4 ($e=0,82$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.5 Sklop 5

Za sklop 5 sta U faktorja v primeru emisivnosti $e=0,05$ na splošno najmanjši vrednosti med rezultati vseh vzorcev in enaka $U_{1D,0,05}=0,1150 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D,0,05}=0,1274 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ($\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=10,78\%$) in v primeru emisivnosti $e=0,82$ enaka $U_{1D,0,82}=0,1250 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D,0,82}=0,1275 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ($\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=2,00\%$). Odstopanjji sta zopet majhni tako med izračunoma za emisivnost $e=0,05$ in emisivnost $e=0,82$. Velja enak komentar kot pri sklopu 4. (Sliki 19 in 20)



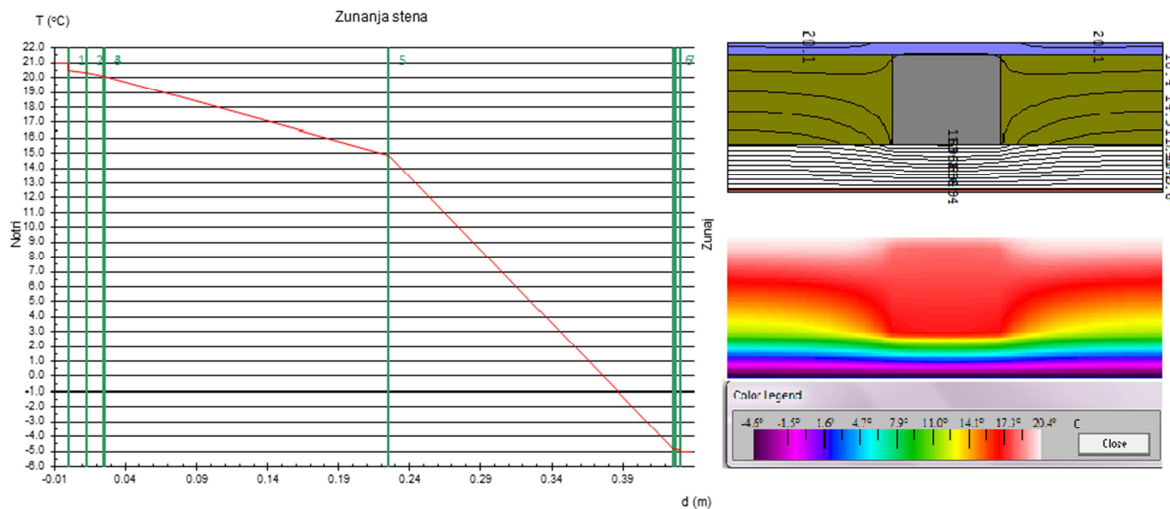
Slika 19: Rezultati sklopa 5 ($e=0,05$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]



Slika 20: Rezultati sklopa 5 ($e=0,82$); na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.6 Sklop 6

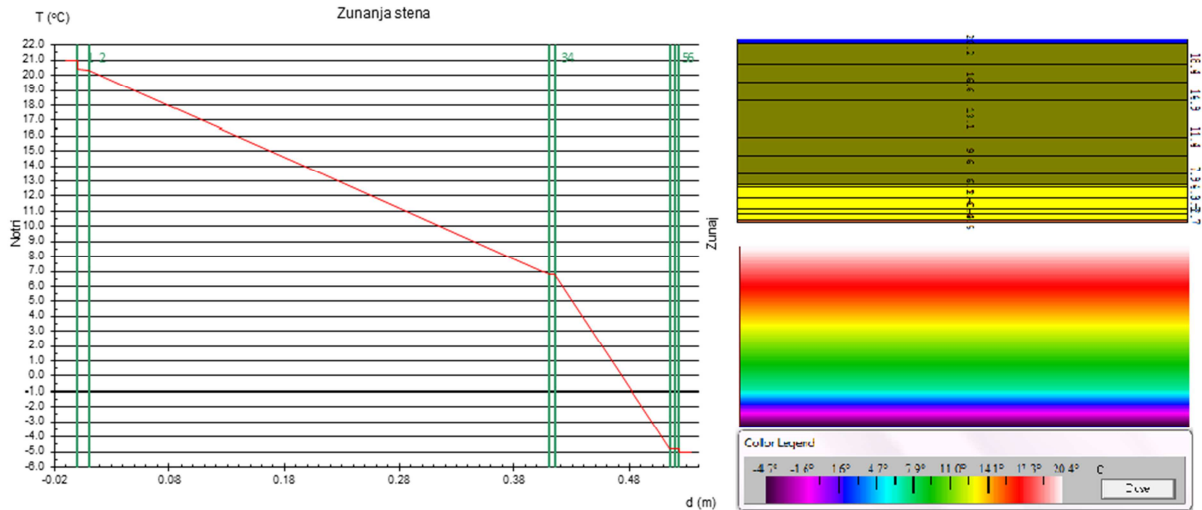
Za sklop 6 sta U faktorja enaka $U_{1D}=0,1400 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}=0,2639 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Gre za klasičen primer rezultata, ki mu ustreza razlaga za sklop 1. Pri tem sklopu se pojavi največje odstopanje med U_{1D} in U_{2D} ($\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=88,50 \%$). (Slika 21)



Slika 21: Rezultati sklopa 6; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.2.7 Sklop 7

Za sklop 7 sta U faktorja enaka $U_{1D}=0,1280 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}=0,1281 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in odstopanja skoraj ni ($\Delta_{U_{1D},U_{2D}}=0,05 \%$). Tak rezultat je bil pričakovan in zaželen, saj to potrjuje pravilnost računa po 1D in 2D metodah. V imenovanem eksoskeletnem sklopu ni nehomogenih elementov ali t.i. toplotnih mostov, ki bi jih povzročil npr. steber. Tako poteka izračun po dveh različnih metodah, kjer so zajeti vsi sloji. Toplotni tok teče prečno na model enakomerno. (Slika 22).

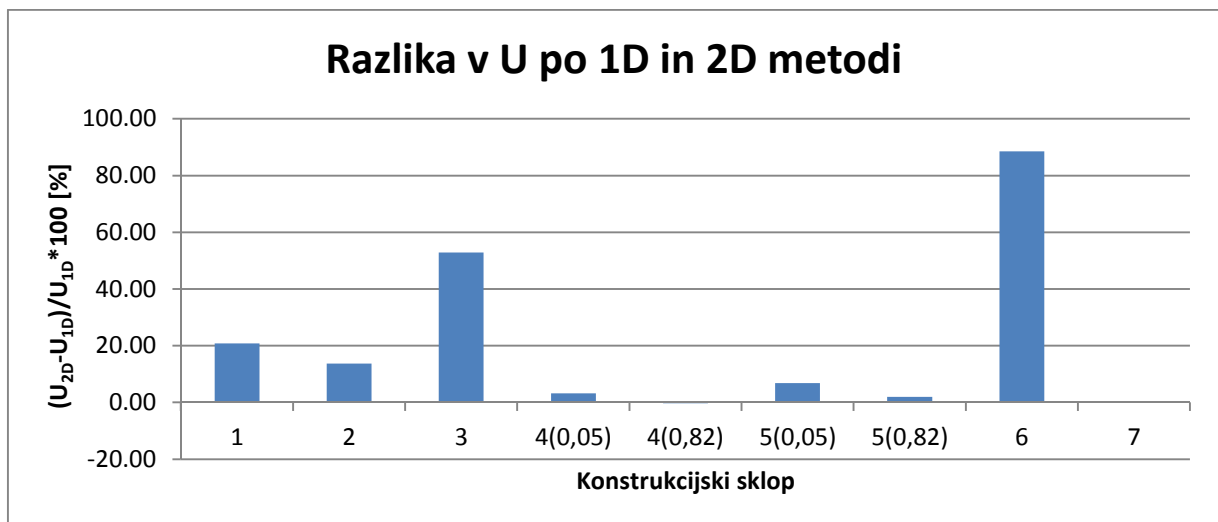


Slika 22: Rezultati sklopa 7; na levi iz TEDI in na desni iz THERM (rezultati prikazani s pomočjo izoterm in lažnih barv) [3] [7]

7.3 Komentar obdelanih rezultatov

Odstopanja toplotne prehodnosti določene po 1D in 2D metodi so si med seboj zelo različna. Pri skoraj vseh primerih lahko ugotovimo, da so U faktorji izračunani po 2D metodi (U_{2D}) večji kot tisti izračunani po 1D metodi (U_{1D}). Izjema se pojavi le sklopu 4 ($e=0,82$), kjer je U faktor določen po 2D metodi nekoliko manjši od U faktorja določenega po 1D postopku, vendar je razlika majhna v primerjavi z ostalimi.

Obravnavo obdelanih rezultatov v nadaljevanju poteka v dveh skupinah, sklopi z izolacijo v jedru in sklopi z zrakom v jedru. Odstopanja so prikazana v spodnjem grafikonu 1.



Grafikon 1: Odstopanja med rezultati U_{1D} in U_{2D} v odstotkih glede na U_{1D}

7.3.1 Skupina sklopov z izolacijo v jedru

Sklopa 1 in 2 imata podobni odstopanji ($\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 1 = 20,77\%$ in $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 2 = 13,66\%$), medtem ko imata sklopa 3 in 6 višje ($\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 3 = 57,03\%$ in $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 6 = 88,50\%$). Sklopa 1 in 2 imata leseno NK, ki ima veliko nižjo toplotno prevodnost kot jeklena NK sklopa 3 ali betonska sklopa 6. Ko zajame 2D metoda slednjo nehomogenost, so razlike pri sklopu 3 in 6 veliko višje. To je pričakovano, saj je prevodnost lesa opazno nižja od prevodnosti betona in jekla.

Prevodnost betona je sicer veliko nižja od prevodnosti jekla, a pri prenosu toplote igrajo pomembno vlogo tudi dimenzije prereza NK. Večje kot so dimenzije prereza NK in višja kot je prevodnost materiala, večji je prenos toplote skozi element NK. V primeru sklopa 3 in 6 je ploščina prereza jeklenega C profila manjša za 72% od ploščine prereza betonskega stebra. Iz rezultatov analize U faktorja sklopa 3 je možno sklepati, da je prekinjena toplotna izolacija v jedru nesmiselna, saj se skozi NK prenese večino toka. Enako velja za sklop 6, kjer vlogo polnila in izolacije predstavlja prekinjeni porobeton. Nasprotno je možno razbrati iz poteka izoterm v sklopih, kjer je izolacija nameščena na zunanji in notranji strani nosilne konstrukcije, da toplotna izolacija opravlja svojo vlogo.

7.3.2 Skupina sklopov z zrakom zajetim v jedru

Sklopa 4 in 5 pokažeta naslednja odstopanja: $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 4; 0,05 = 4,63\%$, $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 4; 0,082 = -0,23\%$, $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 5; 0,05 = 10,78\%$, $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 5; 0,82 = 2,0\%$, pri čemer je povprečno odstopanje navedenih $\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 4 \text{ in } 5 = 4,30\%$. Nizka emisivnost na površini sloja materiala pomeni majhen radiacijski prenos toplote. Zato je razlika med U_{1D} in U_{2D} majhna, a smiselna ($\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 4 \text{ in } 5; 0,05 = 4,63\%$ in $10,78\%$). Visoka emisivnost pomeni velik radiacijski prenos toplote, zato je razlika med U_{1D} in U_{2D} zelo majhna oziroma sta rezultata izračunana po 1D in 2D metodi praktično enaka, kar lahko opazimo na primeru sklopa 4 ($\Delta_{U_{1D}, U_{2D}}\text{-sklop } 4 \text{ in } 5; 0,82 = -0,23\%$ in $2,0\%$). Odstopanje pri sklopu 4 je v tem primeru celo negativno, kar kaže na vprašljivost upoštevanja emisivnosti v programu THERM, saj vemo, da je tak rezultat nerealen. Z upoštevanjem NK bi logično pričakovali, da bo U_{2D} večji.

To, da THERM podcenjuje upoštevanje emisivnosti površin v računu, pa je vidno tudi po samih rezultatih U_{2D} . V obeh primerih sklopov 4 in 5 je možno opaziti, da sta vrednosti U_{2D} skoraj popolnoma enaki ne glede na višino emisivnosti ($U_{2D}\text{-sklop } 4; 0,05 = U_{2D}\text{-sklop } 4; 0,82 = 0,1287 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ in $U_{2D}\text{-sklop } 5; 0,05 = 0,1274 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) = U_{2D}\text{-sklop } 5; 0,82 = 0,1275 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$). A kljub pokazanemu se ne da neizpodbitno trditi, da THERM ne upošteva emisivnosti dovolj, saj morda program TEDI njen vpliv precenjuje.

8 ZAKLJUČEK

V splošnem so analizirani primeri pokazali, da je U faktor izračunan po 1D metodi manjši od U faktorja izračunanega po 2D metodi, s čimer je potrjen prvi del hipoteze.

To pomeni, da poenostavljeni izračun toplotne prehodnosti po 1D metodi, kjer zanemarimo vpliv nehomogenosti sklopa oz. toplotnih mostov, posledično prikaže boljše rezultate U faktorja za izbrani sklop. Zato bi ob uporabi tovrstnih rezultatov lahko zmotno zaključili, da je obravnavani sklop energijsko bolj učinkovit, kot je dejansko oz. kot se izkaže pri natančnejši 2D metodi simulacije prehoda toplote in določitve pripadajočega U faktorja. Večja toplotna prehodnost U, ki je izračunana po 2D metodi z upoštevanjem nehomogenih elementov NK (stebrov) pokaže realnejšo sliko.

U faktorji so ključni vhodni podatki za nadaljnje energetske analize celotne stavbe. Če se pojavi napaka že na nivoju U faktorja, se le ta prenaša v vse nadaljnje izračune ter s tem podaja zmotno sliko dejanskega stanja. V inženirski praksi se navadno poenostavitve izvajajo na varno stran. Poenostavitev, ki je izvedena pri izračunu U faktorja pri nehomogenih konstrukcijskih sklopih, pa je lahko izrazito na nevarni strani.

Primerjava toplotne prehodnosti homogenega sklopa določena z 1D in z 2D metodo pokaže zanemarljiva odstopanja, s čimer je potrjena pravilnost delovanje uporabljenih metod. S tem je možno spregledati slabosti poenostavljenega izračuna po 1D metodi v primeru konstrukcijskih sklopov zasnovanih po načelu endoskeleta, kjer se pojavljajo nehomogenosti. Pri endoskeletnih konstrukcijah tako stanje velikokrat prikazujemo boljše, kot pa v resnici je, zato je v takih primerih za določanje toplotne prehodnosti smiselno in priporočljivo uporabiti 2D metodo računa prenosa toplote.

S tem je hipoteza v celoti potrjena.

V praksi proizvajalci materialov in konstrukcijskih sklopov ter načrtovalci konstrukcijskih sklopov za izračun prehodnosti sklopa uporabljajo večinoma 1D metodo. Ta prikazuje boljše rezultate, čeprav kot prikazano pogosto ni dovolj natančna in realna. Proizvajalcem izračun po 2D metodi vzame veliko več časa, hkrati pa tovrstnega izračuna od njih ne zahteva nihče, saj zakonodaja vodi k poenostavljeni uporabi 1D metode.

Tako so lahko predlagane različne rešitve za izboljšanje stanja v praksi.

Prva rešitev bi bila obvezna uvedba izračuna vseh konstrukcijskih sklopov po 2D metodi s strani zakonodajalca. Tako bi bili rezultati vedno natančni in realnejši.

Dokazano je bilo, da pri eksoskeletih tako 1D kot 2D metoda prikažeta enak rezultat U faktorja. Tako bi bila možna druga rešitev, ki je alternativa prve. Uvedba izračuna U faktorja za eksoskelete po 1D in za endoskelete izračuna po 2D metodi. Tako ne bi bilo po nepotrebnem časovno in finančno obremenjevati proizvajalcev, hkrati pa bi dosegali še vedno kvalitetne in optimalne rezultate.

Tretja rešitev pa je predpisati nižjo vrednost za največjo dovoljeno toplotno prehodnost endoskeletnih konstrukcijskih sklopov pri poenostavljenem izračunu po 1D metodi. Tako bi proizvajalci še vedno lahko uporabljali hitrejšo in bolj praktično metodo, a bi za dokaz ustreznosti endoskeletni sklopi morali izpolnjevati strožje pogoje – nižje vrednosti U faktorja (od sedaj predpisane mejne vrednosti $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ za primer zunanje stene).

VIRI

- [1] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), Uradni list št. 52/2010.
- [2] Tehnična smernica TSG-01-004:2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor.
- [3] Krainer, A, Perdan R., 2012, Računalniški program TEDI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [4] Standard SIST EN ISO 6946:2008. Gradbene komponente in gradbeni elementi - Toplotna upornost in toplotna prehodnost - Računska metoda (ISO 6946:2007)
- [5] Standard SIST EN ISO 10211:2008. Toplotni mostovi v stavbah - toplotni tok in površinske temperature – Podrobni izračuni
- [6] Krainer, A, Perdan R., Uporabniški priročnik TEDI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
- [7] Računalniški program THERM. 2014. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)
<http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html> (Pridobljeno 20. 5. 2014)
- [8] Standard SIST EN ISO 10456:2008. Gradbeni materiali in proizvodi - Higrotermalne lastnosti – Tabelirane računske vrednosti in postopki za določevanje nazivnih in računskih vrednosti toplotnih vrednosti.
- [9] Lumar. 2014.
http://www.lumar.si/konstrukcijski-sistemi_standard.html (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [10] Jelovica. 2014.
<http://www.jelovica-hise.si/konstrukcijske-resitve.html> (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [11] Tipi jeklenih zidov. 2014.
http://www.steelconstruction.info/Acoustic_performance_of_walls#External_walls (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [12] Sendvič paneli. 2014. Paroc.
<http://www.paroc.com/solutions-and-products/solutions/walls/metal-sandwich-panels> (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [13] Kovinska podkonstrukcija za toplotno izolacijo vpeta na eksoskeletno steno. 2014. Paroc.
<http://www.paroc.com/solutions-and-products/solutions/walls/thick-rendering> (Pridobljeno 20. 5. 2014.)

- [14] Tip konstrukcije Weber (plus 20). 2014. Weber.
<http://www.weber-terranova.si/fasade-in-fasadni-sistemi/weber-proizvodi/proizvodi/fasade-in-fasadni-sistemi/fasada-webertherm-plus-ultra-020.html> (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [15] Černjak, M., Nizko energijski tipski hiši YTONG. Ravago
http://www.ravago.si/documents/Nizkoenergijski_tipski_hisi.pdf (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [16] Katedra za Stavbe in Konstrukcijske Elemente. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 2014. Materiali uporabljeni v sklopih.
<http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 20. 5. 2014.)
- [17] Standard SIST EN ISO 1025:2002. Toplotna tehnika v gradbeništvu - Metoda izračuna difuzije vodne pare v stavbah

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: VHODNI PODATKI V PROGRAM TEDI

- PRILOGA A.1: Konstrukcijski sklop 1
- PRILOGA A.2: Konstrukcijski sklop 2
- PRILOGA A.3: Konstrukcijski sklop 3
- PRILOGA A.4: Konstrukcijski sklop 4, $e=0,05$
- PRILOGA A.5: Konstrukcijski sklop 4, $e=0,82$
- PRILOGA A.6: Konstrukcijski sklop 5, $e=0,05$
- PRILOGA A.7: Konstrukcijski sklop 5, $e=0,82$
- PRILOGA A.8: Konstrukcijski sklop 6
- PRILOGA A.9: Konstrukcijski sklop 7

PRILOGA B: MATERIALI DODANI V KNJIŽNICO THERM – PRIKAZ LASTNOSTI

PRILOGA C: SKICE SKLOPOV

- PRILOGA C.1: Skica konstrukcijskega sklopa 1
- PRILOGA C.2: Skica konstrukcijskega sklopa 2
- PRILOGA C.3: Skica konstrukcijskega sklopa 3
- PRILOGA C.4: Skica konstrukcijskega sklopa 4
- PRILOGA C.5: Skica konstrukcijskega sklopa 5
- PRILOGA C.6: Skica konstrukcijskega sklopa 6
- PRILOGA C.7: Skica konstrukcijskega sklopa 7

Ta stran je namenoma prazna.

PRILOGA A: VHODNI PODATKI V PROGRAM TEDI**PRILOGA A.1: Konstrukcijski sklop 1**

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0100	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0150	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0002	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1600	200	840	0.041	1.0		1
5	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0150	900	840	0.210	12.0		1
6	124.3	FRAGMAT EPS 100	0.1000	20	1,260	0.037	35.0		3
7	21.0	cementna malta + lateks (sintetični dodatki)	0.0020	1,900	1,050	0.700	30.0		1
8	20.0	plemenita fasadna malta	0.0030	1,850	1,050	0.700	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.2: Konstrukcijski sklop 2

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.2	mavčno kartonaste plošče - do 18 mm	0.0125	900	840	0.230	8.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0002	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1400	200	840	0.041	1.0		1
5	124.3	FRAGMAT EPS 100	0.1600	20	1,260	0.037	35.0		3
6	46.2	mavčno kartonaste plošče - do 18 mm	0.0160	900	840	0.230	8.0		1
7	21.0	cementna malta + lateks (sintetični dodatki)	0.0020	1,900	1,050	0.700	30.0		1
8	20.0	plemenita fasadna malta	0.0030	1,850	1,050	0.700	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.3: Konstrukcijski sklop 3

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0020	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1500	200	840	0.041	1.0		1
5	160.5	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.82, d = 0.05 m	0.0500	1	1,000	0.313	1.0		2
6	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0150	900	840	0.210	12.0		1
7	124.3	FRAGMAT EPS 100	0.1000	20	1,260	0.037	35.0		3
8	21.0	cementna malta + lateks (sintetični dodatki)	0.0020	1,900	1,050	0.700	30.0		1
9	20.0	plemenita fasadna malta	0.0030	1,850	1,050	0.700	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.4: Konstrukcijski sklop 4, e=0,05

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0002	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1000	200	840	0.041	1.0		1
5	157.10	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.05, d = 0.10 m	0.1000	1	1,000	0.200	1.0		2
6	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1
7	113.0	mineralna in steklena volna	0.2000	200	840	0.041	1.0		1
8	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.5: Konstrukcijski sklop 4, e=0,82

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0002	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1000	200	840	0.041	1.0		1
5	160.10	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.82, d = 0.10 m	0.1000	1	1,000	0.625	1.0		2
6	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1
7	113.0	mineralna in steklena volna	0.2000	200	840	0.041	1.0		1
8	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.6: Konstrukcijski sklop 5, e=0,05

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0001	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1000	200	840	0.041	1.0		1
5	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
6	157.10	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.05, d = 0.10 m	0.2000	1	1,000	0.200	1.0		2
7	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1
8	113.0	mineralna in steklena volna	0.2000	200	840	0.041	1.0		1
9	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.7: Konstrukcijski sklop 5, e=0,82

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0001	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1000	200	840	0.041	1.0		1
5	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
6	160.10	vertikalna zračna plast višine do 3 m, e = 0.82, d = 0.10 m	0.2000	1	1,000	0.625	1.0		2
7	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1
8	113.0	mineralna in steklena volna	0.2000	200	840	0.041	1.0		1
9	109.1	aluminij (0.10mm)	0.0010	2,700	940	203.000	600000.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.8: Konstrukcijski sklop 6

Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
2	46.1	mavčno kartonaste plošče - do 15 mm	0.0125	900	840	0.210	12.0		1
3	104.0	EPDM (etilen - propilen -kavčuk) trak	0.0002	1,200	1,040	0.300	100000.0		1
4	16.1	bloki iz celičastega betona, porobetona	0.2000	450	860	0.140	3.5		1
5	124.3	FRAGMAT EPS 100	0.2000	20	1,260	0.037	35.0		3
6	21.0	cementna malta + lateks (sintetični dodatki)	0.0020	1,900	1,050	0.700	30.0		1
7	20.0	plemenita fasadna malta	0.0030	1,850	1,050	0.700	15.0		1

Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA A.9: Konstrukcijski sklop 6

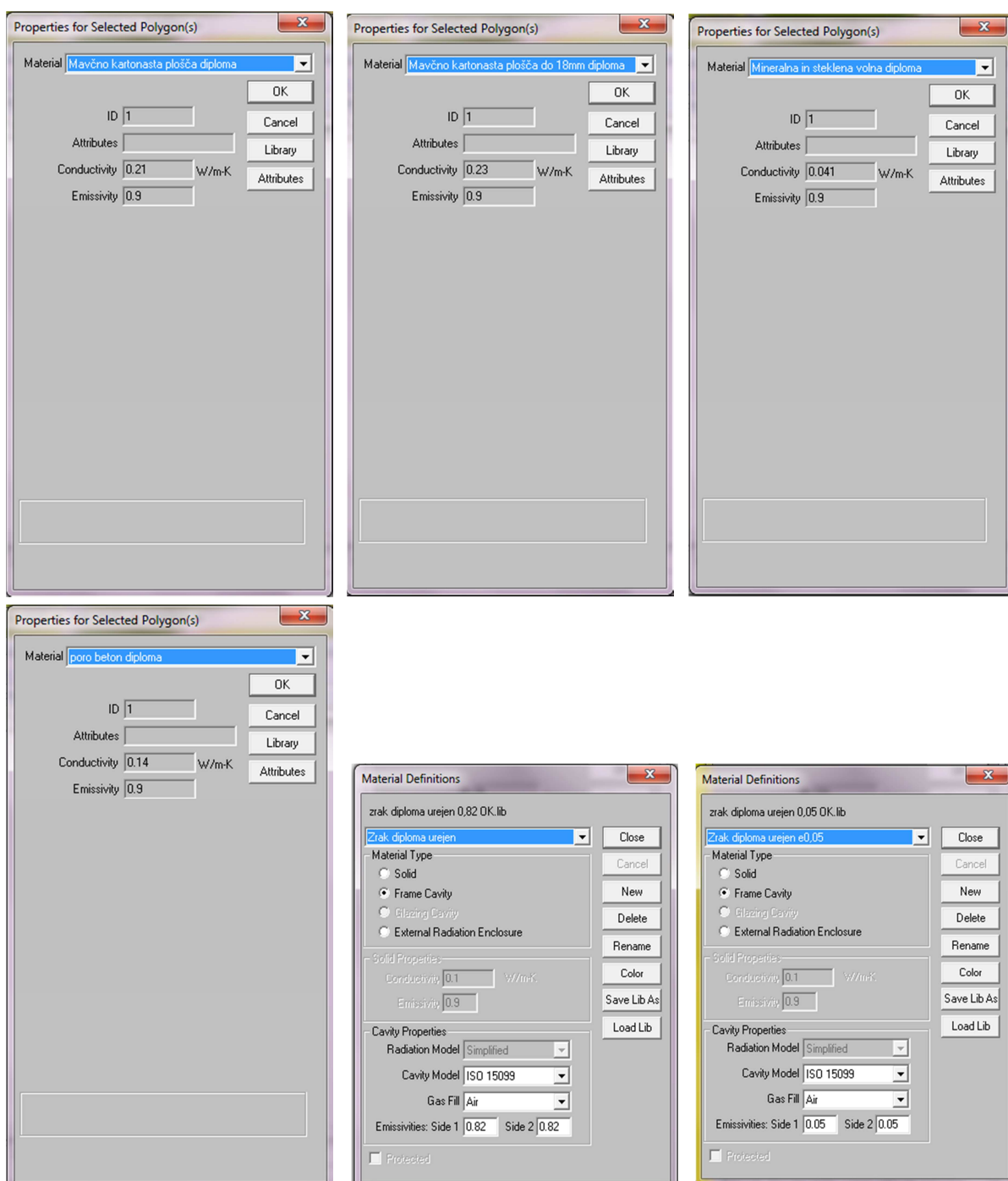
Št. plasti	Šifra	Material	Debelina	Gostota	Specifična toplota	Toplotna prevodnost	Difuzijska upornost vodni pari	HI	Tip
				ρ	C	λ	μ		
			m	kg/m ³	J/kg K	W/m K	-		
1	22.1	mavčna in apneno mavčna malta	0.0100	1,500	920	0.700	9.0		1
2	16.1	bloki iz celičastega betona, porobetona	0.4000	450	860	0.140	3.5		1
3	23.2	STIROLIM LEPILO	0.0050	1,800	1,000	0.700	36.0		4
4	113.0	mineralna in steklena volna	0.1000	200	840	0.041	1.0		1
5	23.2	STIROLIM LEPILO	0.0050	1,800	1,000	0.700	36.0		4
6	20.0	plemenita fasadna malta	0.0030	1,850	1,050	0.700	15.0		1

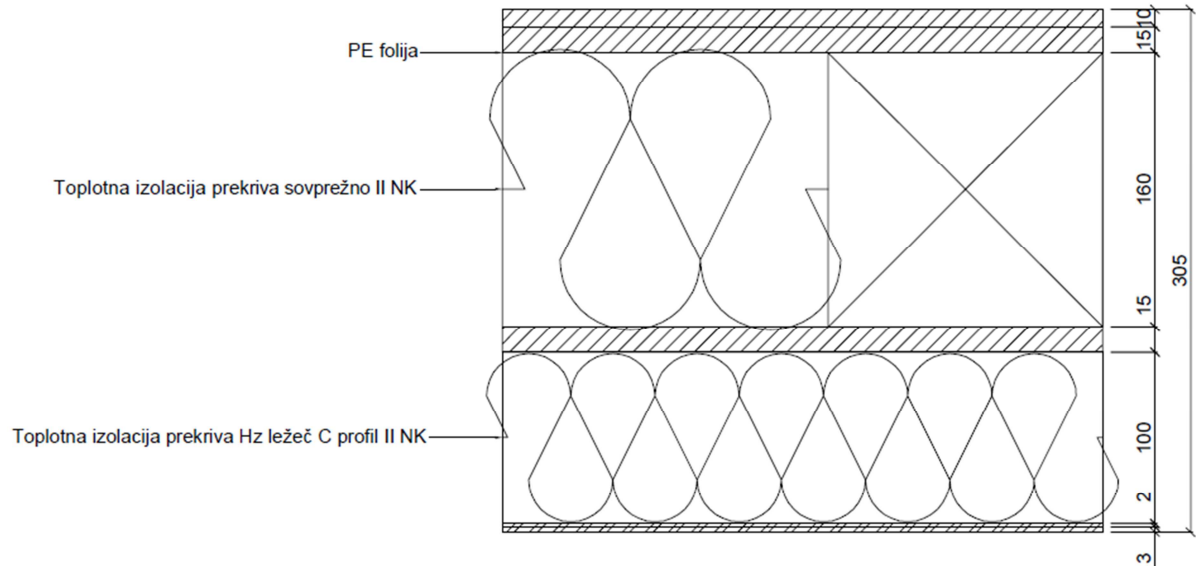
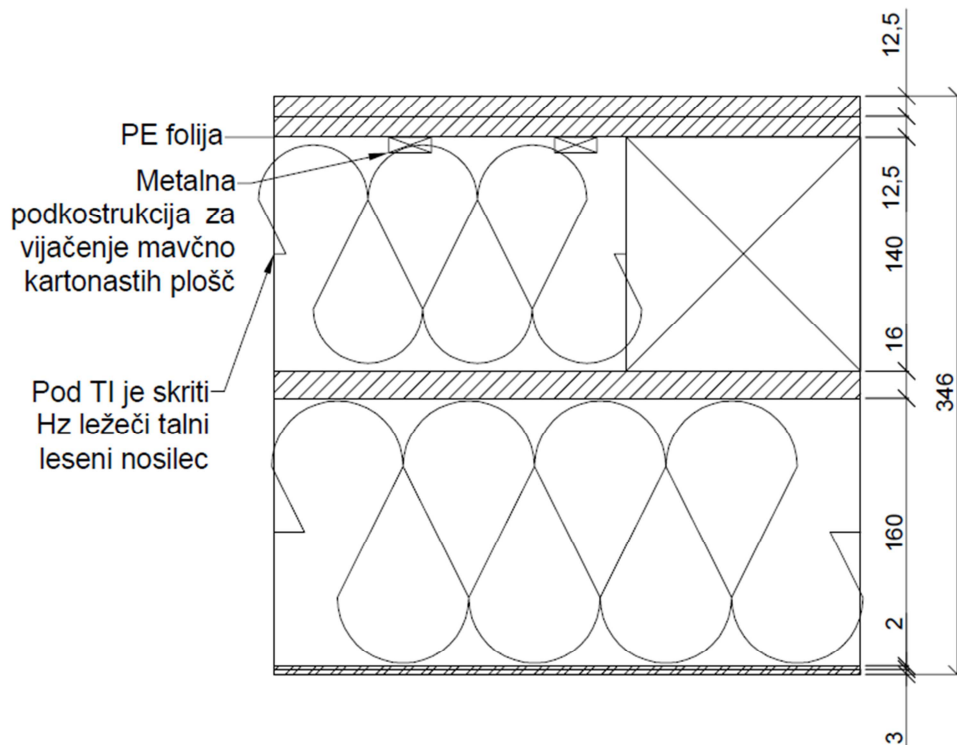
Tip: 1 - material po pravilniku, 2 - material po standardu, 3 - material z izjavo o skladnosti, 4 - material s sistemskim certifikatom ETA, 5 - material brez 1-4

PRILOGA B: MATERIALNI DODANI V KNJIŽNICO THERM – PRIKAZ LASTNOSTI

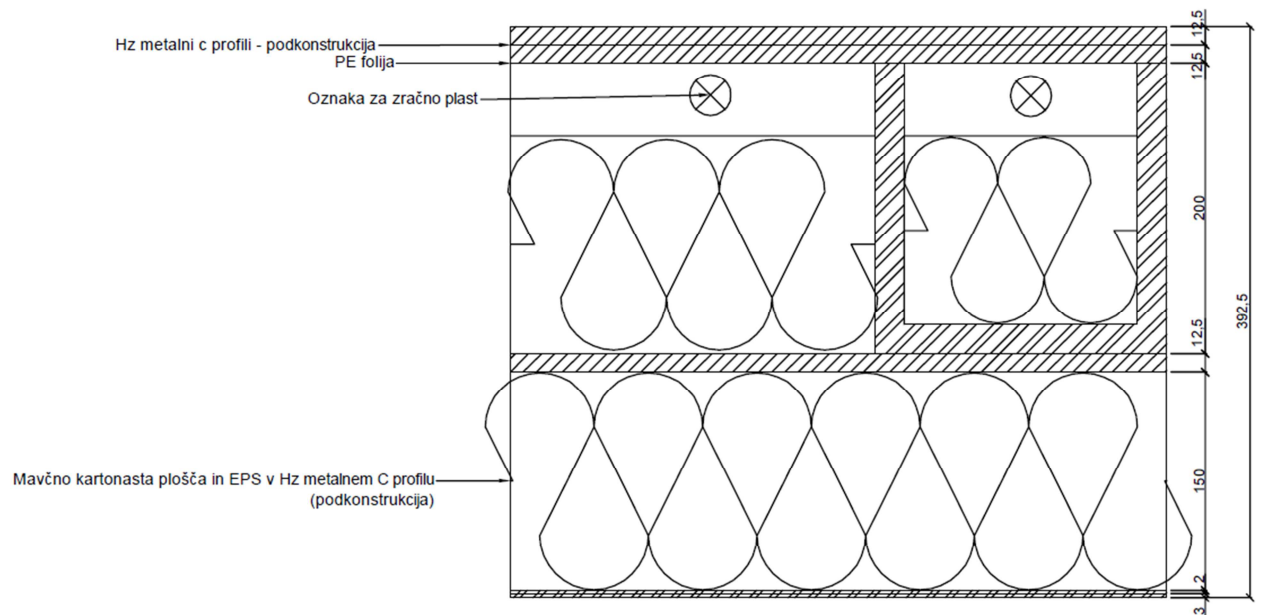
The image displays six screenshots of the 'Properties for Selected Polygon(s)' dialog box in the THERM software, arranged in two rows of three. Each dialog box shows the material name, ID, and thermal properties (Conductivity and Emissivity).

Material	ID	Conductivity (W/m-K)	Emissivity
aprena mavčna malta diploma	1	0.7	0.9
Beton diploma	1	2	0.9
EPS diploma	1	0.037	0.9
Fasadna malta diploma 1	1	0.7	0.9
Jeklo diploma	1	43	0.9
Les diploma	1	0.16	0.9

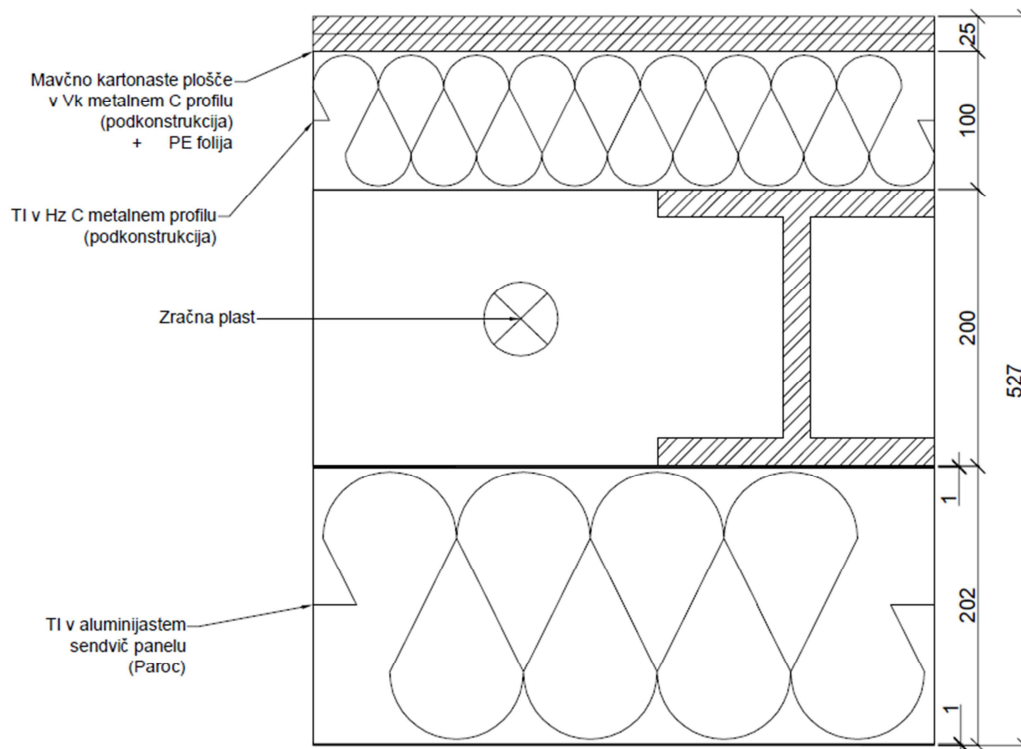


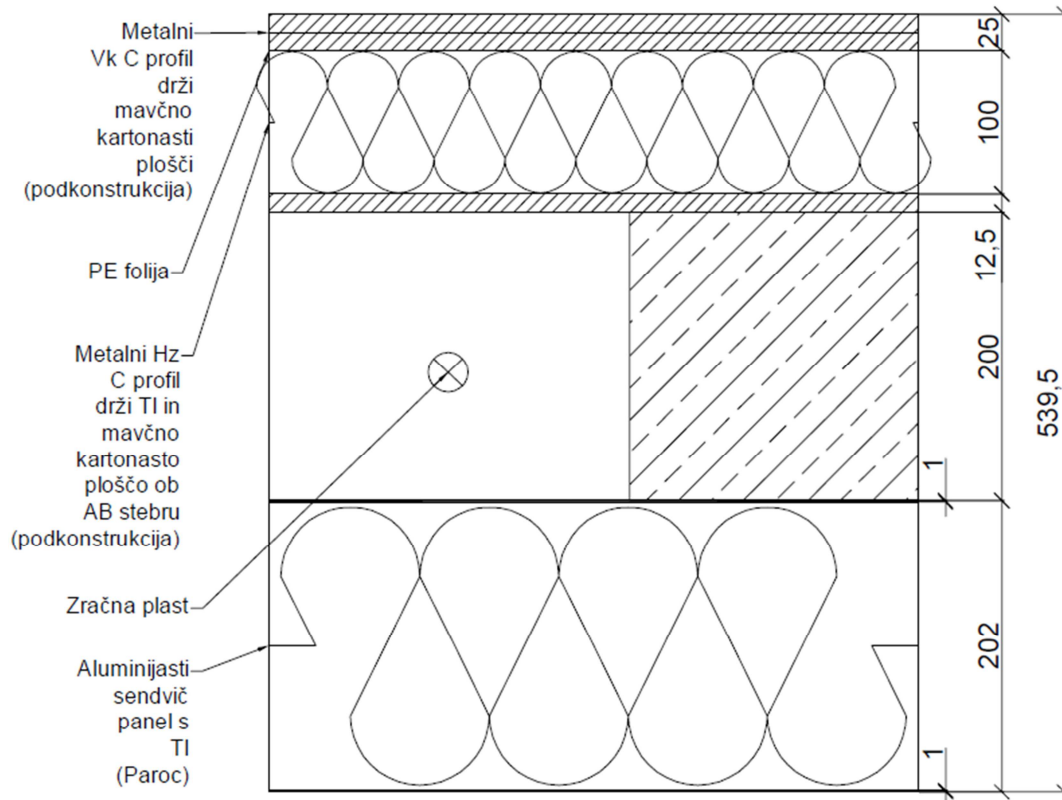
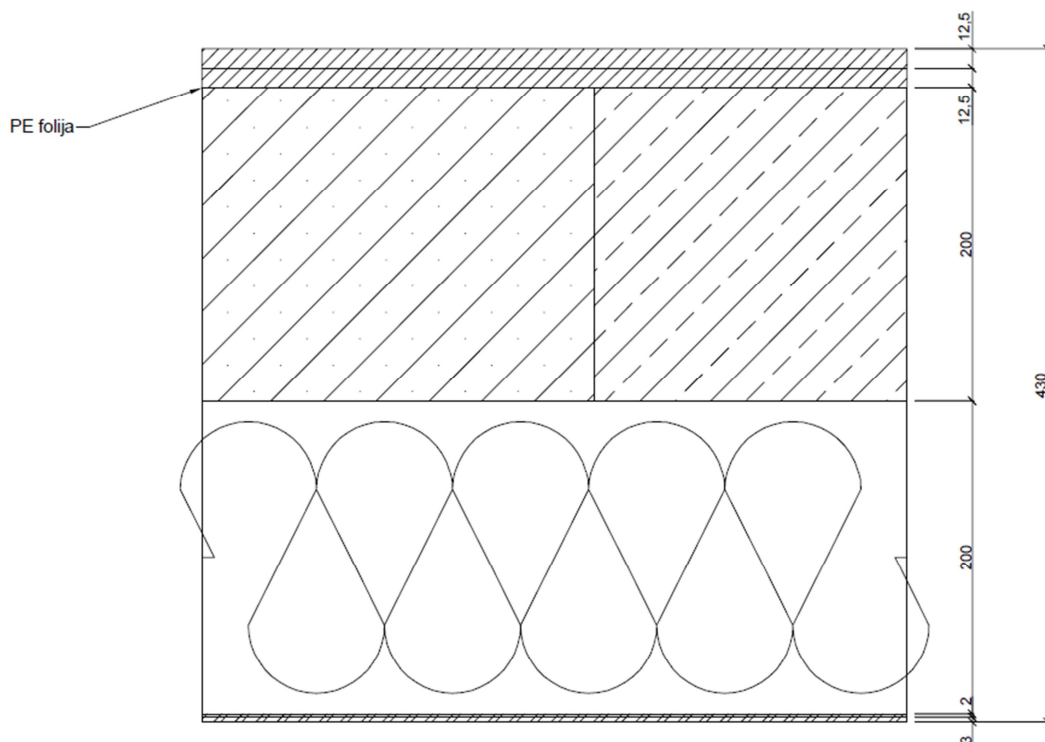
PRILOGA C: SKICE SKLOPOV**PRILOGA C.1: Skica konstrukcijskega sklopa 1****PRILOGA C.2: Skica konstrukcijskega sklopa 2**

PRILOGA C.3: Skica konstrukcijskega sklopa 3



PRILOGA C.4: Skica konstrukcijskega sklopa 4



PRILOGA C.5: Skica konstrukcijskega sklopa 5**PRILOGA C.6: Skica konstrukcijskega sklopa 6**

PRILOGA C.7: Skica konstrukcijskega sklopa 7

