

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



DIPLOMSKA NALOGA

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE STOPNJE OPERATIVNO GRADBENIŠTVO

Ljubljana, 2021

Univerza
v Ljubljani

*Fakulteta za
gradbeništvo in
geodezijo*



Kandidat/-ka:

Diplomska naloga št.:

Graduation thesis No.:

Mentor/-ica:

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

Član komisije:

Ljubljana, _____

POPRAVKI – ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Za strokovne napotke, obrazložitve in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Juretu Kokalju in somentorju asist. Luki Pajku.

Zahvalil bi se še svoji družini, prijateljem in kolegom študentom za podporo tekom študija.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	692.238:699.86(043.2)
Avtor:	Žiga Roštohar
Mentor:	doc. dr. Jure Kokalj
Somentor:	asist. Luka Pajek
Naslov:	Vpliv različnih pristopov k sanaciji toplotnega mostu pri balkonski konzoli
Tip dokumenta:	diplomsko delo
Obseg in oprema:	38 str., 15 sl., 14 pregl., 16 graf.
Ključne besede:	toplotni most, toplotna izolacija, balkonska konzola, toplotne izgube, čas povračila investicije

Izvleček

V diplomski nalogi je obravnavana sanacija toplotnih mostov, ki nastanejo pri križanju balkonske konzole z zunanjo steno. Osredotočili smo se na sanacijo tovrstnih toplotnih mostov z oblaganjem konzole s toplotno izolacijo. Pri tem je bilo toplotno izoliranje balkonske konzole izvedeno z različnimi debelinami toplotne izolacije in različnimi mesti nanosa le-te (spodaj, spodaj in zgoraj, okrog). Po pregledu primerov balkonskih konzol na terenu sta bili določeni dve tipični širini balkonske konzole, in sicer 90 cm in 130 cm, na katerih so se aplicirale različne možnosti sanacije toplotnih mostov. Za primerjavo uspešnosti sanacije zmanjšanja toplotnih izgub skozi toplotni most glede na tip podnebja so bile izbrane tri različne lokacije v Sloveniji. Poleg tega so bili preučeni tudi trije različni ogrevalni energenti, za primerjavo glede na način ogrevanja. Izračunane so bile toplotne izgube, višina investicije in strošek energije, ki bi ga prihranili v primeru toplotnega izoliranja balkonske konzole. Na koncu je bil izračunan še čas povračila investicije, ki je nakazal smiselnost določenega načina izoliranja balkonske konzole. Izkazalo se je, da je toplotno izoliranje smiselno, za določitev časa povračila investicije pa je potrebno narediti nek osnovni izračun glede na lokacijo stavbe, način ogrevanja in same dimenzije balkonske konzole. Pri novogradnji in sanaciji se investicija najhitreje povrne, če balkonsko konzolo izoliramo spodaj in zgoraj ne glede na debelino toplotne izolacije, razen v primerih, ko imamo pri sanaciji toplotno izolacijo debelejšo od 6 oziroma 8 cm. V tem primeru se najhitreje povrne investicija toplotne izolacije okrog celotne konzole.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 692.238:699.86(043.2)
Author: Žiga Roštohar
Supervisor: assist. prof. Jure Kokalj, Ph. D.
Co-supervisor: assist. Luka Pajek, M. Sc.
Title: The impact of different approaches to the thermal bridge retrofit at balcony console
Document type: graduation thesis
Notes: 38 p., 15 fig., 14 tab., 16 graph.
Keywords: thermal bridge, thermal insulation, balcony console, thermal losses, investment payback period

Abstract

The Graduation thesis deals with the retrofit of the thermal bridges at balcony console intersecting with the load-bearing wall. The emphasis of the Graduation thesis is the retrofit of thermal bridges. The thermal bridge was partly or entirely eliminated by applying thermal insulation of various thicknesses at different console locations. After the overview of different balcony consoles two typical widths were determined - 90 and 130 centimetres. Then different variants of balcony consoles retrofit were applied. Three different Slovenian locations were considered, chosen in order to compare the type of climate and three heating sources (fuels) in order to compare different types of heating. In addition, the thermal losses, the investment value and the energy savings were calculated for different solutions and cases. Furthermore the estimated investment payback period was determined, which indicated the most recommended solution. It turned out that thermal insulation is meaningful, but for the investment payback period we need to consider some critical factors, such as the location of the building, the type of heating and dimensions of the balcony console. The investment payback period of the new construction or the retrofit is the shortest if the balcony console is insulated on the lower and upper side, regardless of the thickness of thermal insulation, except when dealing with the thermal insulation which is thicker than 6 or 8 centimetres. In that case the investment payback period is the shortest if we thermally insulate the whole console.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO

POPRAVKI – ERRATA.....	I
ZAHVALA.....	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
KAZALO	IX
KAZALO SLIK.....	XI
KAZALO PREGLEDNIC.....	XIII
KAZALO GRAFOV	XV
1 UVOD	1
2 METODE	3
2.1 Pregled balkonskih konzol na terenu	3
2.2 Določitev križanja in konstrukcijskih sklopov	5
2.3 Določitev računskih primerov	6
2.4 Toplotni upor posameznega materiala.....	7
2.5 Toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa brez konzole	7
2.6 Izračun toplotnega upora posameznega materiala in toplotna prehodnost zidu	8
2.7 Dvodimenzionalna toplotna prehodnost	8
2.8 Linijska toplotna prehodnost	9
2.9 Višina investicije.....	10
2.10 Toplotne izgube	11
2.11 Strošek energije	12
2.12 Čas povračila investicije	13
3 REZULTATI	15
3.1 Rezultati pregleda balkonskih konzol na terenu	15
3.2 Izračun dvodimenzionalne toplotne prehodnosti in dolžine toplotnega mostu	15
3.3 Temperaturno polje in toplotni tok	17
3.4 Izračun linijske toplotne prehodnosti.....	20
3.5 Izračun toplotnih izgub skozi toplotni most	21
3.6 Izračun višine investicije.....	23
3.7 Izračun stroška ogrevanja	23
3.8 Izračun časa povračila investicije	25
4 RAZPRAVA.....	33
5 ZAKLJUČEK	35
VIRI.....	37

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Sestava konstrukcijskega sklopa in debeline materialov.	5
Slika 2: Uporabljeni materiali pri osnovnem križanju.	6
Slika 3: različna mesta izvedbe toplotne izolacije.....	6
Slika 4: Grafični prikaz različnih debelin toplotne izolacije (TI) v primeru izolacije spodaj in zgoraj. a) 2 cm TI, b) 4 cm TI, c) 6 cm TI, d) 8 cm TI, e) 10 cm TI.....	7
Slika 5: Detajl z vsemi tremi robnimi pogoji.	9
Slika 6: Računska ravnina za toplotni most in oznaka dimenzij.	9
Slika 7: Legenda za temperaturno polje.	17
Slika 8: Temperaturno polje za balkon brez toplotne izolacije.	17
Slika 9: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo spodaj (SP).	17
Slika 10: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo spodaj in zgoraj (SP in ZG).	18
Slika 11: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo okrog (OK).	18
Slika 12: Toplotni tok za balkon brez toplotne izolacije.....	19
Slika 13: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo spodaj (SP).	19
Slika 14: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo spodaj in zgoraj (SP in ZG).....	19
Slika 15: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo okrog (OK).	20

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primeri različnih izvedb toplotne izolacije na balkonski konzoli.	3
Preglednica 2: Uporabljeni materiali, njihove debeline in toplotne prevodnosti. Spremenljivka »X« predstavlja variabilno vrednost.	5
Preglednica 3: Izračun toplotnega upora posameznega materiala in toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.	8
Preglednica 4: Vrednosti prestopnih koeficientov uporabljenih za zunanji in notranji robni pogoj.	9
Preglednica 5: V 2020 veljavne cene izvedbe toplotne izolacije balkonske konzole za kvadratni meter površine. V ceno za EPS in XPS so vštete naslednje komponente: EPS (EPS, lepilo, armaturna mrežica, zaključni sloj, sidra, zaključni profili), XPS (XPS, hidroizolacija, estrih keramika).	10
Preglednica 6: Nadmorska višina, geografska širina in dolžina, temperaturni primanjkljaj.	11
Preglednica 7: Cene energentov za zadnjih 5 let [11] in njihova povprečna vrednost.	12
Preglednica 8: Toplotni izkoristki ogrevalnega sistema [12].	12
Preglednica 9: Izračun dvodimenzionalne toplotne prehodnosti in dolžina stika sklopa z zunanjim zrakom.	16
Preglednica 10: Izračun linijske toplotne prehodnosti.	20
Preglednica 11: Višina investicije za različne primere.	23
Preglednica 12: Strošek ogrevanja za različne primere.	24

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Primerjava dvodimenzionalnih toplotnih prehodnosti.....	16
Graf 2: Primerjava linijskih toplotnih prehodnosti.....	21
Graf 3: Toplotne izgube skozi toplotni most za balkon širine 90 cm.....	22
Graf 4: Toplotne izgube skozi toplotni most za balkon širine 130 cm.....	22
Graf 5: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 90 cm pri novogradnji.....	25
Graf 6: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 130 cm pri novogradnji.....	26
Graf 7: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 90 cm pri novogradnji.....	26
Graf 8: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 130 cm pri novogradnji.....	27
Graf 9: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 90 cm pri novogradnji.....	27
Graf 10: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 130 cm pri novogradnji.....	28
Graf 11: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 90 cm pri sanaciji.....	29
Graf 12: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 130 cm pri sanaciji.....	29
Graf 13: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 90 cm pri sanaciji.....	30
Graf 14: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 130 cm pri sanaciji.....	30
Graf 15: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 90 cm pri sanaciji.....	31
Graf 16: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 130 cm pri sanaciji.....	31

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

V gradbeništvu lahko naletimo na dva najbolj pogosta tipa gradnje: na novogradnje ter sanacije oziroma prenove. V obeh primerih se lahko dokaj hitro zgodi, da naletimo na kopico skritih težav. Pri sanacijah je velikokrat dokumentacija za starejše stavbe zelo okrnjena ali pa je sploh ni. In tudi če je, se lahko zgodi, da je stanje dejanskega objekta povsem drugačno kot stanje v dokumentaciji. V tem primeru je potrebno izvesti dodatne preiskave, da se ugotovi dejansko stanje objekta. Pogosto se pri starejših objektih izkaže, da je toplotna izolacija (TI) v zelo slabem stanju ali pa je na določenih predelih stavbe sploh ni. Tudi pri novogradnjah lahko slabo in nepremišljeno toplotno izoliramo stavbo, tako da se nam pojavljajo mesta, skozi katera izgubljam toploto – toplotni mostovi. Poleg tega je nezadostna toplotna izolacija povod za nastanek neugodnih bivalnih razmer, še posebej nastanek in razvoj plesni v kotih in na robovih konstrukcijskih elementov.

Toplotni most je mesto na ovoju zgradbe, na katerem prihaja do povečanega prehajanja toplote glede na okolico. Najpogosteje se pojavijo na stikovanju različnih materialov, na previsih, prevojih in prekinitvah toplotne izolacije. Lahko so posledica nepravilnega načrtovanja ovoja stavbe, specifične geometrije stavbe ali pa slabe izvedbe toplotne izolacije. Hitro se namreč zgodi, da se pri toplotnem izoliranju stavbe osredotočimo na izoliranje tistih predelov, pri katerih pričakujemo največje toplotne izgube (stene, streha, tla), medtem pa pozabimo na izolacijo skritih predelov stavbe in toplotne mostove. Tudi pri teh lahko pride do večje izgube energije, ali pa celo do neugodnih bivalnih razmer.

Študije Fakultet za gradbeništvo in okoljevarstveno inženirstvo iz Toronta in Vancouvra v Kanadi [1] so pokazale, da se lahko v nepritličnih delih zgradb prihrani do 30 % energije z vgradnjo dobro tesnilnih oken in visokoizolativnih zidov. Do podobnih ugotovitev je prišla tudi Fakulteta za gradbeništvo in arhitekturo iz Dnepropetrovska v Ukrajini, ko so eksperimentalno in računsko raziskovali toplotne mostove pri stiku medetažne in balkonske konzole [2]. Ugotovili so, da ima toplotna izolacija med medetažno in balkonsko konstrukcijo velik vpliv na temperature na krajnem zgornjem in spodnjem robu notranjega dela sten. Podoben učinek bi rad pokazal tudi sam na primeru izolacije oboda balkonske konzole.

Tako pri sanaciji obstoječe stavbe kot tudi pri novogradnji moramo pozornost posvetiti toplotni izolaciji. Če se gradnje lotimo premišljeno, lahko blagodejno vplivamo na bivalno okolje in na manjšo porabo ogrevalnih energentov.

Cilj te diplomske naloge se je osredotočiti na toplotni most pri stiku balkonske konzole z zunanjo steno in na čim boljše reševanje zgoraj navedenega problema ter hkrati podati nekaj najosnovnejših in enostavnejših napotkov za sanacijo. Najprej bodo s povsem računskim pristopom ovrednotene energijske izgube pri toplotnih mostovih, potem pa dobljene vrednosti pretvorjene v praktične napotke za sanacijo (npr. debelina toplotne izolacije, mesto nanosa toplotne izolacije in prihranek pri energentih za ogrevanje objekta). Na koncu bo izračunan še čas povračila investicije, ki nam bo ovrednotil smiselnost investicije v toplotno izoliranje balkonske konzole.

Za začetek so bile postavljene tri hipoteze:

Hipoteza 1:

Najboljši način izoliranja toplotnih mostov na balkonski konzoli je toplotna izolacija okrog celotne balkonske konzole (spodaj, zgoraj in na čelu balkonske konzole).

Hipoteza 2:

Učinek toplotne izolacije se s povečevanjem debeline vse bolj zmanjšuje, zato pretirana debelina izolacije ni smiselna.

Hipoteza 3:

Izoliranje balkonske konzole je bolj smiselno v začetni fazi gradnje kot pa pri sanaciji.

2 METODE

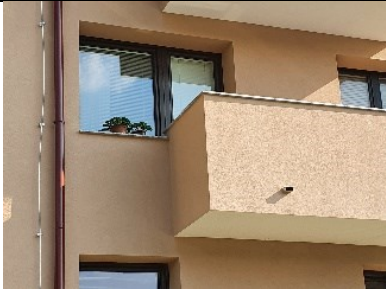
2.1 Pregled balkonskih konzol na terenu

Delo se je začelo s terenskim pregledom stanja v okolici domačega kraja, kjer je bilo fotografiranih nekaj tipičnih balkonov. Najdenih je bilo nekaj različnih rešitev oziroma izvedb toplotne izolacije na balkonski konzoli. Spodaj je navedenih nekaj tipičnih rešitev:

- balkon popolnoma brez toplotne izolacije, celo brez pohodne površine,
- v celoti brez izolacije, s pohodno površino in finalno oblogo zunanjih površin balkonske konzole,
- vmesne rešitve (toplotna izolacija samo na spodnji strani balkonske konzole in morebiti še na čelu konzole),
- primer dokaj korektne rešitve toplotnega mostu na balkonski konzoli.

Pri vseh balkonskih konzolah so bile zabeležene tipične dimenzije (dolžina, širina in debelina balkona, debelina ter položaj toplotne izolacije). Vsi navedeni podatki so združeni v preglednici za lažji pregled (preglednica 1).

Preglednica 1: Primeri različnih izvedb toplotne izolacije na balkonski konzoli.

#	Balkon	Dolžina [cm]	Širina [cm]	Debelina [cm]	Položaj in debelina toplotne izolacije
1.		680	90	20	Brez TI
2.		1270	100	25	Spodaj (5 cm)
3.		160	130	20	Spodaj (10 cm) Na strani (15 cm)

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 1

4.		1450	120	13	Brez TI
5.		540	120	15	Brez TI
6.		490	100	13	Brez TI
7.		770	570	20	Brez TI
8.		860	130	30	Spodaj (5 cm)

S pomočjo ugotovitev terenskega dela je bila določena povprečna dolžina balkona (780 cm), povprečna debelina (20 cm) in dve skrajni vrednosti širine balkonske konzole (90 cm in 130 cm). S tem sta bila pridobljena dva računska modela, na katera se bo apliciralo možnosti sanacije toplotnega mostu (konzolo širine 90 cm in 130 cm). Oba računska modela sta izdelana na enak način, razlikujeta se le v širini balkonske konzole. S tem so bili zagotovljeni enakovredni pogoji za kasnejšo primerjavo. Ker se konzoli razlikujeta le v širini, se bo lahko direktno primerjal vpliv širine na sanacijo toplotnega mostu brez katerih koli drugih robnih pogojev, ki bi lahko vplivali na rezultate.

2.2 Določitev križanja in konstrukcijskih sklopov

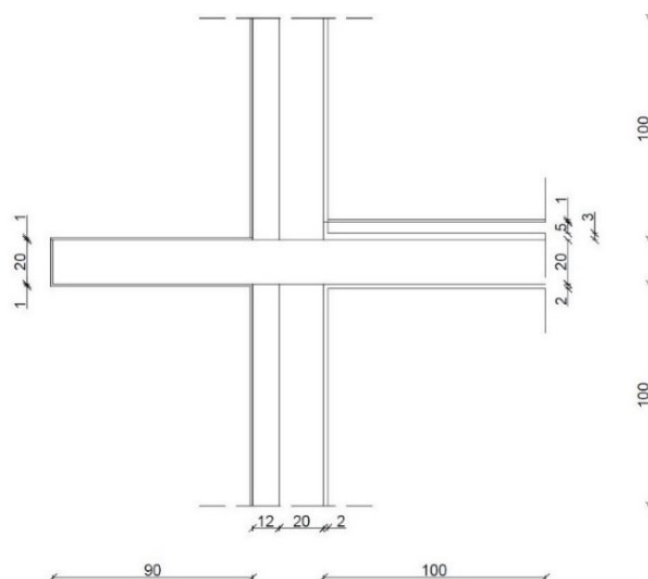
Za križanje je bil izbran najbolj pogost način izvedbe balkonske konzole. Za elemente konstrukcijskih sklopov so bili izbrani naslednji materiali:

- medetažna konstrukcija, ki se nadaljuje v balkonsko konzolo – armiran beton,
- nosilni element spodnje in zgornje etaže – zid iz votlih opečnih zidakov,
- toplotna izolacija pri zidovih in pri balkonski konzoli – ekspanziran polistiren (EPS),
- pod pohodno površino na zgornji strani balkonske konzole – ekstrudiran polistiren (XPS),
- zvočna izolacija pod pohodno površino znotraj objekta – kamena volna,
- pohodna površina znotraj objekta – cementni estrih in parket,
- pohodna površina na balkonski konzoli – keramične ploščice,
- finalna obloga sten – cementna malta.

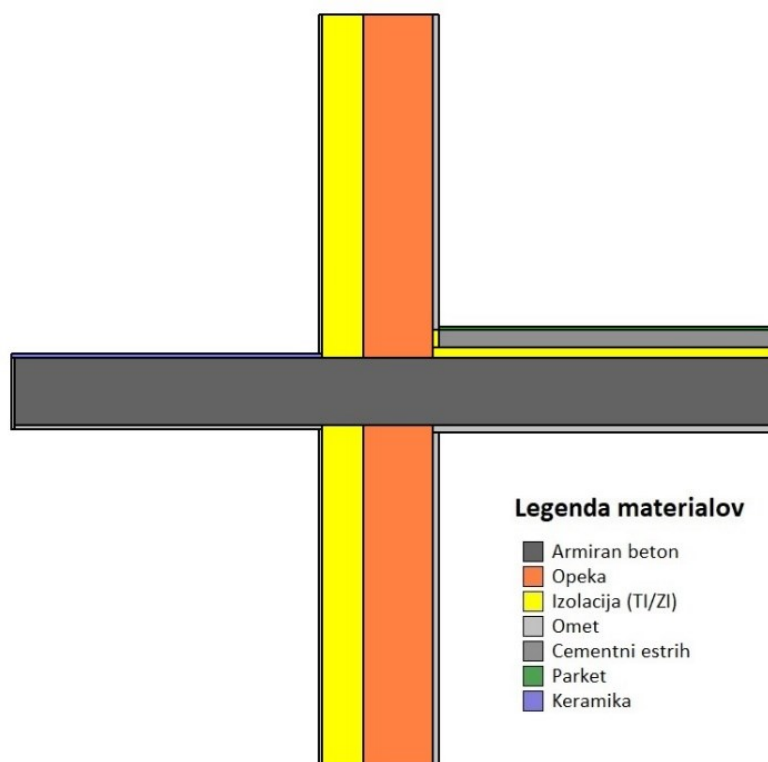
Debeline materialov ovoja stavbe (zunanjih sten) so bile določene glede na maksimalno vrednost toplotne prehodnosti skozi ovoj stavbe, ki je predpisana s stani Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah [3] in znaša $U_{\max} = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. V preglednici 2 so navedene uporabljene dimenzije materialov in njihove toplotne prevodnosti [4]. Pri debelini za toplotno izolacijo balkonske konzole ni zapisana številčna vrednost, saj je tukaj debelina variabilen parameter. Na sliki 1 je prikazan konstrukcijski sklop in tipične dimenzije, na sliki 2 pa uporabljeni materiali.

Preglednica 2: Uporabljeni materiali, njihove debeline in toplotne prevodnosti. Spremenljivka »X« predstavlja variabilno vrednost.

Balkonska konzola	d [cm]	λ [W/mK]	Zunanja stena	d [cm]	λ [W/mK]	Medetažna konstrukcija	d [cm]	λ [W/mK]
Omet	1,00	1,400	Omet - zunaj	1,00	1,400	Parket	1,00	0,045
TI	X	0,038	TI	12,00	0,038	TI	5,00	0,038
Armiran beton	20,00	2,040	Votla opeka	20,00	0,610	Zvočna izolacija	3,00	0,038
TI	X	0,038	Omet - znotraj	2,00	1,400	Armiran beton	20,00	2,040
Omet	1,00	1,400				Omet	2,00	1,400



Slika 1: Sestava konstrukcijskega sklopa in debeline materialov.

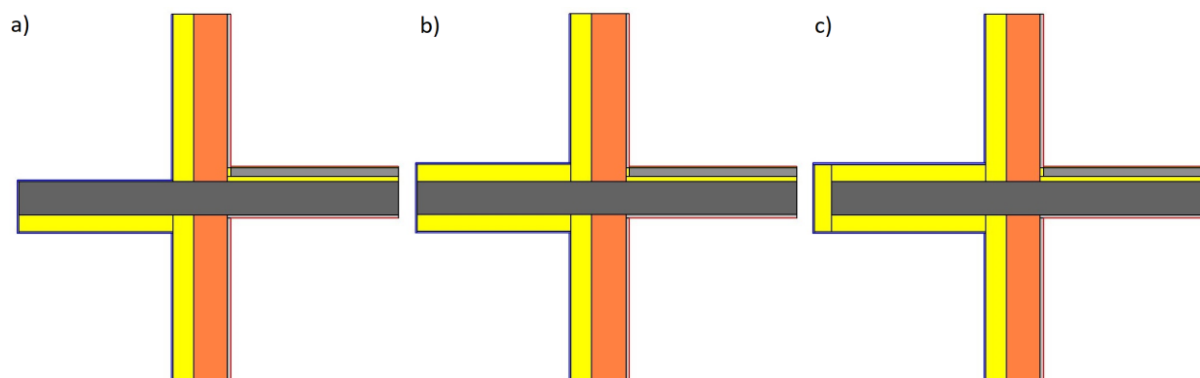


Slika 2: Uporabljeni materiali pri osnovnem križanju.

2.3 Določitev računskih primerov

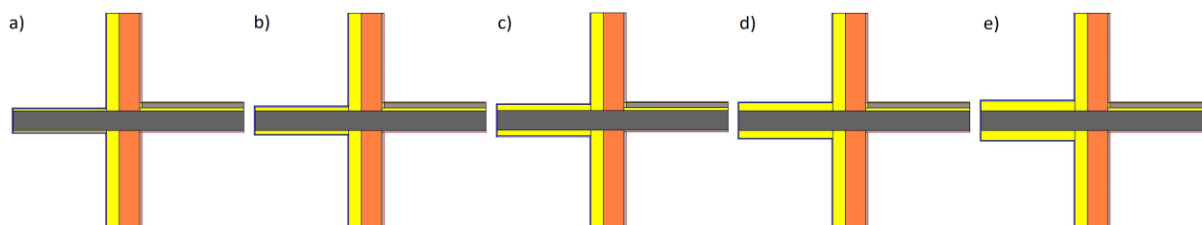
Poleg različnih širin balkonskih konzol (90 cm in 130 cm) so se določila še različna mesta izvedbe toplotne izolacije. Iz terenskega dela je bilo ugotovljeno, da ima veliko balkonov izolacijo samo na spodnji strani konzole, zato je bila to prva izbira za položaj izolacije. Za drugi položaj je bila glede na pričakovanja izbrana najbolj toplotno izolativna možnost, torej izolacija po celotnem obodu balkonske konzole. Tretji položaj pa je bila vmesna rešitev, torej izolacija na zgornji in spodnji strani konzole, brez čelnega dela izolacije. Položaji so se nato razvrstili po pričakovani toplotni izolativnosti (več površin kot je izoliranih, manjše bodo toplotne izgube):

- toplotna izolacija na spodnji strani balkonske konzole (slika 3a),
- toplotna izolacija na spodnji in zgornji strani balkonske konzole (slika 3b),
- toplotna izolacija okrog balkonske konzole (slika 3c).



Slika 3: različna mesta izvedbe toplotne izolacije.

Študija je bila izvedena za različne debeline toplotne izolacije. Izbrane so bile debeline od 2 do 10 cm, z intervali po 2 cm. Te vrednosti se najpogosteje pojavljajo v praksi in so dostopne v večini trgovin z gradbenim materialom. Tako je bilo določenih 5 različnih debelin izolacije, ki se linearno povečujejo. Različne debeline toplotne izolacije so prikazane na sliki 4.



Slika 4: Grafični prikaz različnih debelin toplotne izolacije (TI) v primeru izolacije spodaj in zgoraj. a) 2 cm TI, b) 4 cm TI, c) 6 cm TI, d) 8 cm TI, e) 10 cm TI.

Za vsako od treh postavitev toplotne izolacije so se izbrale še debeline izolacije od 2 do 10 cm, tako da je skupno število znašalo 15 različnih kombinacij. Poleg tega je bil izračunan tudi primer brez izolacije. Različni položaji in debeline so bili aplicirani na obe širini balkonskih konzol (90 cm in 130 cm).

2.4 Toplotni upor posameznega materiala

Za izračun toplotnih izgub pri križanju balkonske konzole in nosilnih zidov je bila izračunana vrednost toplotnega upora (R) posameznega materiala oziroma plasti konstrukcijskega sklopa. Podatki za toplotno prevodnost materiala so bili pridobljeni iz Tehnične smernice TSG-1-004:2010, Učinkovita raba energije [4] in so podani v preglednici 3.

Toplotni upor (R) izračunamo po enačbi:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}. \quad (1)$$

Kjer je:

R_i – toplotni upor posameznega materiala [$\text{m}^2\text{K/W}$]

d_i – debelina posameznega materiala [m]

λ_i – toplotna prevodnost materiala [W/mK]

2.5 Toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa brez konzole

Pri izračunu toplotnih izgub zaradi toplotnega mostu so bile najprej izračunane toplotne izgube, če toplotnega mostu (konzole) ne bi bilo. V ta namen moramo izračunati toplotno prehodnost (U) konstrukcijskega sklopa nad in pod balkonsko konzolo. Pri tem izračunu so poleg vrednosti za toplotni upor posameznega materiala oziroma plasti upoštevane še vrednosti uporov mejnih zračnih plasti, to je zunanje (R_{se}) in notranje (R_{si}) zračne plasti. Ti dve vrednosti sta določeni glede na tip in lego končnega zunanjega in notranjega elementa in v našem primeru znašata za zunanjo zračno plast $R_{se} = 0,043 \text{ m}^2\text{K/W}$ in za notranjo zračno plast $R_{si} = 0,125 \text{ m}^2\text{K/W}$ [5]. Sledil je izračun toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa za primer brez konzole.

Toplotno prehodnost (U) izračunamo po enačbi:

$$U = \frac{1}{R_z + \Sigma R_i + R_n} \quad (2)$$

Kjer je:

U – toplotna prehodnost zidu [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

R_z – toplotni upor zunanje mejne zračne plasti [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_n – toplotni upor notranje mejne zračne plasti [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

ΣR_i – vsota toplotnih uporov vseh plasti stene [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

2.6 Izračun toplotnega upora posameznega materiala in toplotna prehodnost zidu

Za vsak material posebej je najprej izračunan toplotni upor (R), nato pa še skupna toplotna prehodnost zidu (U) [4], [5]. Toplotna prehodnost zgornjega in spodnjega zidu je enaka. Rezultati so prikazani v preglednici 3.

Preglednica 3: Izračun toplotnega upora posameznega materiala in toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa.

Material (zunaj → znotraj)	d [m]	λ [W/mK]	R [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
Prestopna mejna zračna plast (zunaj)			0,043
Omet - cementna malta	0,01	1,400	0,007
Ekspandiral polistiren (EPS)	0,12	0,038	3,158
Votla opeka	0,20	0,610	0,328
Omet - cementna malta	0,02	1,400	0,014
Prestopna mejna zračna plast (znotraj)			0,125
		Σ	3,676
		U [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	0,272

Toplotna prehodnost za tak primer zidu ne sme presegati vrednosti $0,28 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, ki je predpisana v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah [3] oziroma Tehnični smernici za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije. Izračunana vrednost je pod dovoljeno, tako da je lahko uporabljena v naslednjih izračunih. To je bilo zagotovljeno z ustrezno izbiro debeline EPS plasti.

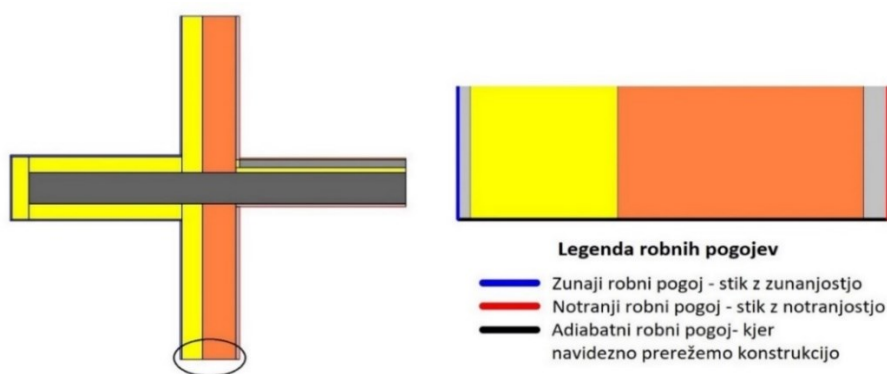
2.7 Dvodimenzionalna toplotna prehodnost

Za izračun dvodimenzionalne toplotne prehodnosti oziroma prehodnosti sklopa s konzolo je bilo uporabljeno programsko orodje Therm [6]. Celotno križanje konstrukcijskih sklopov je bilo izrisano v programu Therm, ustvarjena je bila knjižnica uporabljenih materialov in vsakemu posebej pripisana vrednost za toplotno prevodnost. Pri robnih pogojih sta bila uporabljena še dva prestopna koeficienta za zunanjo in notranjo mejno zračno plast (preglednica 4). Kjer se je konstrukcija navidežno prerezala (spodnji, zgornji in skrajno desni rob), pa ja bil uporabljen adiabatni robni pogoj. Z adiabatnim robnim pogojem je bilo predpostavljeno, da je toplotni tok na 1 m višine zidu že pravokoten na zid po celotnem prerezu in bi bil tudi v primeru višje stene toplotni tok preko prereza zanemarljiv. Glede na dimenzije je ta približek upravičen, saj je višina zidu precej večja kot širina. S tem je bila storjena manjša napaka, vendar se je s tem omogočila enostavnejša numerična obravnava sklopa s programom Therm. Na zunanji strani zidov in po celotnem obodu balkonske konzole je bil stik z zunanjim hladnim zrakom, za katerega

se je uporabil robni pogoj z zunanjo mejno zračno plastjo. Na notranji strani zidov in na medetažni konstrukciji je bil stik z notranjim toplim zrakom, za katera se je uporabil robni pogoj z notranjo zračno mejno plastjo (slika 5) [5].

Preglednica 4: Vrednosti prestopnih koeficientov uporabljenih za zunanji in notranji robni pogoj.

Robni pogoj	Temperatura [°C]	Prestopni koeficienti [W/m ² K]
Zunanji	-10	23
Notranji	20	8

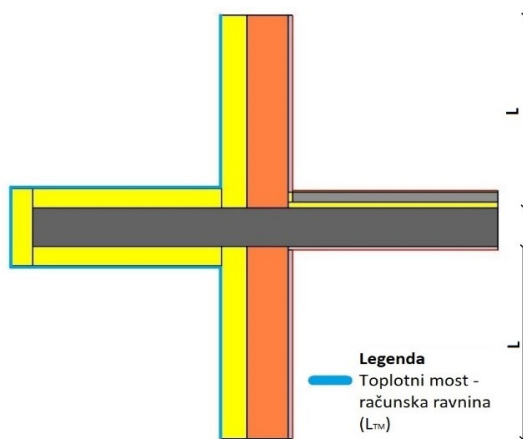


Slika 5: Detajl z vsemi tremi robnimi pogoji.

2.8 Linijska toplotna prehodnost

S pomočjo izračunane dvodimenzionalne toplotne prehodnosti je bila izračunana linijska toplotna prehodnost (Ψ) za celotno konstrukcijo. Poleg podatkov za toplotno prehodnost zidov (U), dvodimenzionalno toplotno prehodnost sklopa s konzolo (U_{2D}) in višini obeh zidov je bila potrebna še dolžina stika sklopa z zunanjim zrakom (slika 6). Ta dolžina je bila v programskem orodju Therm pripisana vsakemu izračunu dvodimenzionalne toplotne prehodnosti. Linijska toplotna prehodnost je določena po standardu SIST ISO 10211 [7]. Sestavljena je iz treh delov:

- izgube skozi balkonsko konzolo,
- izgube skozi zgornji zid,
- izgube skozi spodnji zid.



Slika 6: Računska ravnina za toplotni most in oznaka dimenzij.

Linijsko toplotno prehodnost izračunamo po enačbi:

$$\Psi = L_{2D} - \sum U_i * L_i = U_{2D} * L_{TM} - 2 * U * L. \quad (3)$$

Kjer je:

Ψ – linijska toplotna prehodnost [W/mK]

L_{2D} – linijska toplotna prehodnost celotnega sklopa [W/mK]

U_{2D} – dvodimenzionalna toplotna prehodnost [W/m²K]

L_{TM} – dolžina stika sklopa z zunanjim zrakom [m]

U – toplotna prehodnost zidu [W/m²K]

L – višina zidu [m]

2.9 Višina investicije

Pri vsaki gradnji in sanaciji nas zanima tudi višina investicije. Za izračun skupnih cen je bilo potrebno določiti cene toplotne izolacije z vsemi dodatnimi komponentami, ki sodijo zraven, in pa tudi vrednost same izvedbe izoliranja objekta. Cene izvedbe toplotne izolacije na balkonski konzoli so prikazane v preglednici 5.

Preglednica 5: V 2020 veljavne cene izvedbe toplotne izolacije balkonske konzole za kvadratni meter površine.

V ceno za EPS in XPS so vštete naslednje komponente: EPS (EPS, lepilo, armaturna mrežica, zaključni sloj, sidra, zaključni profili), XPS (XPS, hidroizolacija, estrih keramika).

Debelina TI [cm]	Cena [€/m ²]	
	EPS	XPS
0	20	57
2	32	72
4	34	75
6	36	78
8	38	81
10	40	84

Cena je podana tudi za debelino TI enako 0 cm. V tem primeru v ceno ni všteta toplotna izolacija, ampak samo ostali material (lepilo, končni sloj, sidra...) in delo, torej je balkonska konzola obdelana brez nanosa TI. EPS bo upoštevan pri izolaciji na spodnji in čelni strani balkonske konzole, XPS pa pri izolaciji na zgornji strani balkonske konzole. XPS se je uporabil za pohodno površino, za kar EPS ni primeren. V letu 2020 veljavne cene materiala in izvedbe toplotne izolacije so bile pridobljene na podlagi telefonskega pogovora s podjetnikom, ki se ukvarja z izvedbo toplotne izolacije [8]. Iz dimenzij, ki so bile rezultat terenskega dela, so se izračunale površine, ki jih je bilo potrebno izolirati. Površine se razlikujejo glede na širino balkonske konzole, mesto nanosa, debelino toplotne izolacije in uporabljen material in sistem izvedbe (EPS oz. XPS). Pri višini investicije sta upoštevani dve različni možnosti, primer novogradnje in primer sanacije obstoječega stanja. Pri sanaciji obstoječega stanja je potrebno vse morebitne obstoječe sloje odstraniti in na novo izvesti (npr. keramika, ometi...). Zato je pri višini investicije upoštevana celotna vrednost investicije, saj morajo biti vsi zaključni sloji ponovno izvedeni, čeprav so že bili na obstoječi konstrukciji. Ponovno bo potrebno položiti keramiko in izvesti zaključne sloje na zidovih. V primeru novogradnje pa se je pri določanju višine investicije od skupne vrednosti investicije odštela vrednost zaključnih slojev. V tem primeru zaključni sloj in keramika še nista bila

izvedena. Nanešena pa bosta morala biti v vsakem primeru, ne glede na izbiro debeline toplotne izolacije. Tako bodo v tem primeru upoštevani samo dodatni stroški, ki nastanejo zaradi izvedbe toplotne izolacije, saj je strošek izvedbe preostalih slojev pričakovan.

Cene investicije so bile izračunane s pomočjo naslednjih enačb:

- toplotna izolacije spodaj (SP)

$$C_1 = A_1 * C_{EPS}, \quad (4)$$

- toplotna izolacije spodaj in zgoraj (SP in ZG)

$$C_2 = A_1 * C_{EPS} + A_2 * C_{XPS}, \quad (5)$$

- toplotna izolacije okrog (OK) (6)

$$C_3 = A_1 * C_{EPS} + A_2 * C_{XPS} + A_3 * C_{EPS}. \quad (6)$$

Kjer je:

C_1 – skupna cena izvedbe toplotne izolacije na spodnji strani balkonske konzole [€]

C_2 – skupna cena izvedbe toplotne izolacije na spodnji in zgornji strani balkonske konzole [€]

C_3 – skupna cena izvedbe toplotne izolacije okrog balkonske konzole [€]

A_1 – površina izolacije na spodnji strani balkonske konzole (EPS) [m²]

A_2 – površina izolacije na zgornji strani balkonske konzole (XPS) [m²]

A_3 – površina izolacije na čelu balkonske konzole (EPS) [m²]

C_{EPS} – cena izvedbe EPS-a z vsemi komponentami po kvadratnem metru [€/m²]

C_{XPS} – cena izvedbe XPS-a z vsemi komponentami po kvadratnem metru [€/m²]

2.10 Toplotne izgube

Za izračun toplotnih izgub je bil potreben še podatek o temperaturnem primanjkljaju [9]. Z njim so bile na poenostavljen način izračunane toplotne izgube zaradi prisotnega toplotnega mostu. Temperaturni letni primanjkljaj opisuje klimatske pogoje, v katerih se stavba nahaja v času kurilne sezone. Definiran je kot vsota produktov časa (en dan) in povprečne razlike med notranjo in zunanjo temperaturo za tisti dan. Vsota zajema vse dni v času kurilne sezone in je odvisen tudi od geografske lokacije, na kateri je stavba postavljena. Za primerjavo so bili izbrani trije kraji iz različnih koncev Slovenije, ki imajo znatno drugačne temperature preko leta. Za izhodišče je bila obravnavana Ljubljana (LJ), dodatno pa še Koper (KP) kot toplejše okolje in Jesenice (JE) kot hladnejše okolje. Osnovni geografski podatki za navedene kraje so podani v preglednici 6 [10]. S podatki za toplotne izgube so bile izračune razlike toplotnih izgub med 0 in X cm toplotne izolacije, ki predstavljajo prihranjeno energijo, če balkonsko konzolo toplotno izoliramo. Te razlike so bile uporabljene v enačbi (9) za izračun časa povračila investicije.

Preglednica 6: Nadmorska višina, geografska širina in dolžina, temperaturni primanjkljaj.

Lokacija	Nadmorska višina [m]	Geografska širina	Geografska dolžina	Letni temperaturni primanjkljaj - LTP [K dan]
Ljubljana	296	46° 05'	14° 48'	3300
Koper	33	45° 54'	13° 72'	2100
Jesenice	600	46° 40'	14° 01'	4100

Toplotne izgube v enem letu oz. v času kurilne sezone so bile izračunane po enačbi:

$$Q = l * \Psi * LTP. \quad (7)$$

Kjer je:

Q – toplotne izgube [kWh]

l – dolžina balkona [m]

Ψ – linijska toplotna prehodnost toplotnega mostu [W/mK]

LTP – letni temperaturni primanjkljaj [K dan]

2.11 Strošek energije

S podatki o toplotnih izgubah so bili ocenjeni stroški ogrevanja, ki bi nastali prav zaradi toplotnih izgub. Za vsak energent je bilo izračunano petletno povprečje cen na trgu, z namenom čim večje verodostojnosti cen. V zadnjem letu cene energentov pospešeno nihanje, zato trenutna vrednost cen ne bi predstavljala realnega stanja pri končnih izračunih. Podatki za povprečno vrednost cen energentov so prikazani v preglednici 7. Upoštevani so še izkoristki posameznega sistema ogrevanja, ki so prikazani v preglednici 8. S temi podatki je bilo izračunano, koliko bi prihranili pri ogrevanju, če bi balkonsko konzolo toplotno izolirali. To je bilo izračunano za različne načine izolacije in za različne debeline izolacije. Določeni so bili trije ogrevalni energenti za primerjavo med cenovno ugodnim in neugodnim energentom ter še vmesna različica (kurilno olje, toplotna črpalka in zemeljski plin). Cene energentov [11] in izkoristki [12] predstavljajo le okvirne vrednosti.

Preglednica 7: Cene energentov za zadnjih 5 let [11] in njihova povprečna vrednost.

Cene energentov	2016	2017	2018	2019	2020	Povprečna vrednost
Kurilno olje [€/kWh]	0,072	0,080	0,093	0,095	0,080	0,084
Zemeljski plin [€/kWh]	0,058	0,054	0,055	0,057	0,057	0,056
Električna energija [€/kWh]	0,160	0,158	0,159	0,160	0,152	0,158

Preglednica 8: Toplotni izkoristki ogrevalnega sistema [12].

Energent	Toplotni izkoristek
Kurilno olje [/]	0,85
Zemeljski plin [/]	0,98
Toplotna črpalka [/]	3,40

Strošek energije, ki jo izgubimo skozi toplotni most balkonske konzole, je bil pri različnih scenarijih toplotne izolacije izračunan po enačbi:

$$C = \frac{Q * C_i}{\eta_i}. \quad (8)$$

Kjer je:

C – strošek energije [€]

Q – toplotne izgube [kWh]

C_i – cena energenta glede na njegovo energijsko vrednost [€/kWh]

η_i – toplotni izkoristek sistema, ki je odvisen od energenta [/]

2.12 Čas povračila investicije

Celotna sanacija toplotnega mostu na balkonski konzoli iz finančnega zornega kota nima smisla, če nimamo konkretnega prihranka pri ogrevanju. Zato je bil izračunan čas, v katerem se povrne celotna investicija pri sanaciji balkonske konzole. Ta čas je bil izračunan tako, da se je negativnemu strošku sanacije vsako leto prištel prihranek pri ogrevanju, za katerega pa je bila dodatno upoštevana okvirna letna rast cen. Investicija se bo povrnila takrat, ko bo celoten strošek sanacije pokrit s prihrankom. Če se investicija povrne v dobi 80 let, kolikor znaša ekonomska življenjska doba za hiše, potem je bila investicija iz finančnega vidika smiselna. Ekonomska življenjska doba je navedena v Uradnem listu Republike Slovenije, uredba o določitvi modelov vrednotenja nepremičnin, Priloga 2: model vrednotenja za hiše [13].

Čas povračila investicije izračunamo z enačbo za finančno bilanco [14]:

$$FB = -C + \sum_{t=1}^T DT_0(1+r)^{t-1}. \quad (9)$$

Kjer je:

- FB – finančna bilanca po T letih [€]
- C – cena investicije [€]
- DT_0 – denarni tok oz. prihranek v prvem letu [€]
- r – previdena letna rast cen energenta [%]
- t – tekoče leto [leta]

Finančna bilanca predstavlja vsoto vsakoletnega denarnega toka oziroma prihranka, od katerega odštejemo vrednost investicije. Denarni tok predstavlja prihranek pri ogrevanju. Izračunan je bil kot produkt toplotnih izgub in cene posameznega energenta na energijsko vrednost. Finančna bilanca ima na začetku negativno vrednost in se z vsakim letom približuje vrednosti nič. Ko doseže vrednost nič oziroma pozitivno vrednost, se je investicija v celoti povrnila in imamo dobiček glede na začetno stanje (v celoti brez toplotne izolacije). Ta čas predstavlja čas povračila investicije. Upoštevana je tudi previdena letna rast cen v višini $r = 1 \%$ [15].

»Ta stran je namenoma prazna.«

3 REZULTATI

3.1 Rezultati pregleda balkonskih konzol na terenu

Pri terenskem delu so bile zabeležene tipične dimenzije posameznega balkona in s pomočjo le-tega določena dva splošna primera balkonov, ki sta bila uporabljena v kasnejših izračunih. Izračunani sta bili dve skrajni širini in povprečne vrednosti za dolžino in debelino balkonske konzole.

Za obravnavo sta bili izbrani dve širini balkonske konzole, saj sta se pri pregledu terena pojavljali dve tipični širini, poleg tega pa to omogoča primerjavo vplivov širine na končni rezultat.

- Izbrani širini balkonske konzole:

$$\check{s}_1 = 90 \text{ cm}$$

$$\check{s}_2 = 130 \text{ cm}$$

- Dolžina balkonske konzole:

$$l = \frac{l_i}{n} = \frac{680 + 1270 + 160 + 1450 + 540 + 490 + 770 + 860}{8} = 777,5 \text{ cm} \approx 780 \text{ cm}$$

Kjer je:

l_i – dolžina posameznega balkona [cm]

n – število balkonov [/]

Vrednost je zaokrožena navzgor z natančnostjo na 10 cm. V vseh nadaljnjih izračunih je upoštevana dolžina balkona $l = 780 \text{ cm}$.

- Debelina balkonske konzole:

$$d = \frac{d_i}{n} = \frac{20 + 25 + 20 + 13 + 15 + 13 + 20 + 30}{8} = 19,5 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Kjer je:

d_i – debelina posameznega balkona [cm]

n – število balkonov [/]

Vrednost je zaokrožena navzgor na 1 cm natančno. V vseh nadaljnjih izračunih je upoštevana debelina balkonske konzole $d = 20 \text{ cm}$.

OPOMBA: V poglavjih od 3.2 do 3.8 so prikazani samo rezultati izračunov brez zapisanih enačb in vstavljenih podatkov. Vse uporabljene enačbe so navedene in obrazložene v poglavjih od 2.4 do 2.12.

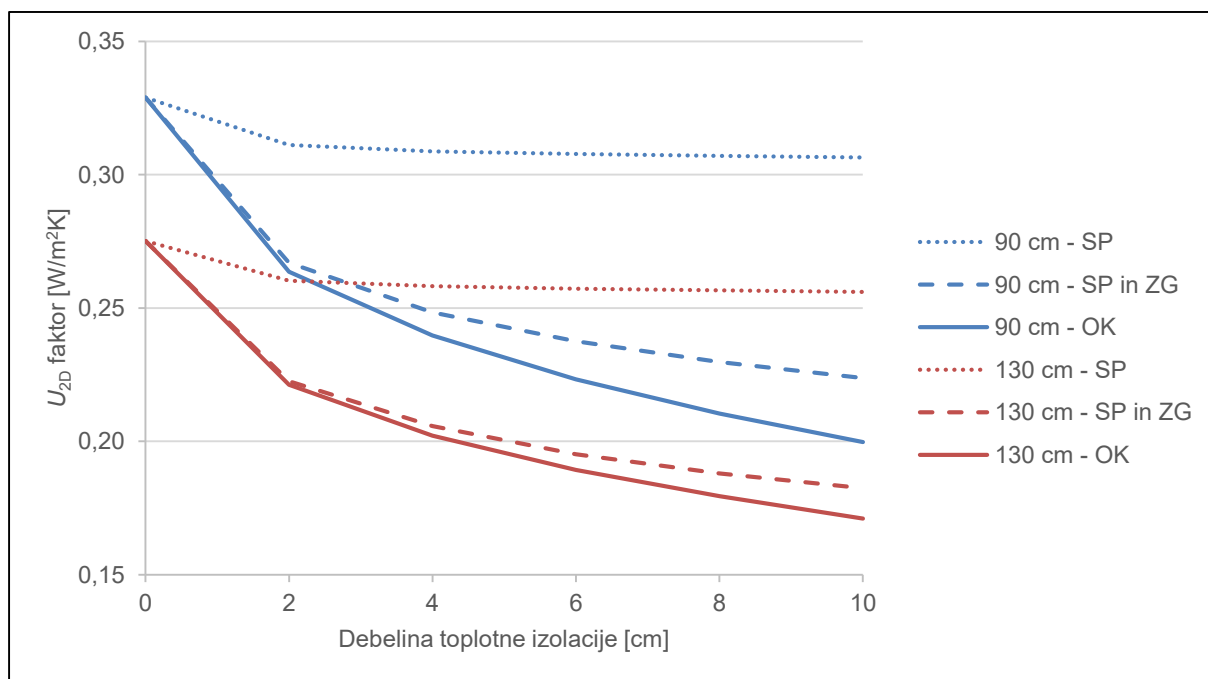
3.2 Izračun dvodimenzionalne toplotne prehodnosti in dolžine toplotnega mostu

S pomočjo programskega orodja Therm je bil izračunan U_{2D} faktor za vsak posamezni računski primer. Poleg tega je bila določena tudi dolžina stika sklopa z zunanjim zrakom (L_{TM}), ki je bila potrebna za izračun. Rezultati so prikazani v preglednici 9.

Preglednica 9: Izračun dvodimenzionalne toplotne prehodnosti in dolžina stika sklopa z zunanjim zrakom.

Debelina izolacije [cm]	SP		SP in ZG		OK	
	U_{2D} [W/m ² K]	L_{TM} [m]	U_{2D} [W/m ² K]	L_{TM} [m]	U_{2D} [W/m ² K]	L_{TM} [m]
Balkon 90 cm						
0	0,329	4,00	0,329	4,00	0,329	4,00
2	0,311	4,00	0,267	4,00	0,264	4,04
4	0,309	4,00	0,248	4,00	0,240	4,08
6	0,308	4,00	0,238	4,00	0,223	4,12
8	0,307	4,00	0,230	4,00	0,210	4,16
10	0,307	4,00	0,224	4,00	0,200	4,20
Balkon 130 cm						
0	0,275	4,80	0,275	4,80	0,275	4,80
2	0,260	4,80	0,223	4,80	0,221	4,84
4	0,258	4,80	0,206	4,80	0,202	4,88
6	0,257	4,80	0,195	4,80	0,189	4,92
8	0,257	4,80	0,188	4,80	0,179	4,96
10	0,256	4,80	0,182	4,80	0,171	5,00

Dvodimenzionalna toplotna prehodnost (U_{2D}) se z večanjem debeline toplotne izolacije pričakovano zmanjšuje. Ravno tako se zmanjšuje z večjo površino izolacije ali pokritostjo z izolacijo. Pri toplotni izolaciji spodaj (SP) je razlika glede na 0 cm izolacije občutno manjša kot pri izolaciji spodaj in zgoraj (SP in ZG) ter okrog (OK). Pri toplotni izolaciji okrog je razlika še nekoliko večja kot pri izolaciji spodaj in zgoraj. Vrednosti so pri širini balkona 130 cm manjše kot pri širini 90 cm.

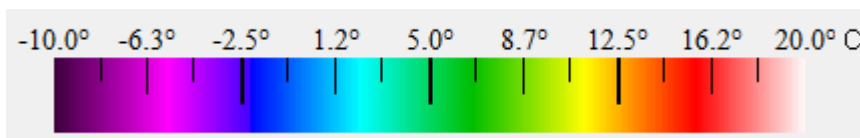


Graf 1: Primerjava dvodimenzionalnih toplotnih prehodnosti.

Iz grafa 1 je razvidno, da pri enakih robnih pogojih (notranja in zunanja temperatura) za določeno debelino toplotne izolacije in lego izolacije več energije na površinsko enoto prehaja pri balkonu širine 90 cm. Do tega pride, ker se praktično enaka količina energije sprosti skozi manjšo površino konzole.

3.3 Temperaturno polje in toplotni tok

S programskim orodjem Therm so bili izrisani tudi slikovni prikazi za temperaturno polje in toplotni tok za izbrano računsko notranjo temperaturo 20 °C in zunanjo – 10 °C. Prikazani so samo rezultati za širino balkona 90 cm in debelino izolacije 10 cm. Rezultati za temperaturno polje so prikazani na slikah 7 do 11, za toplotni tok pa na slikah 12 do 15.



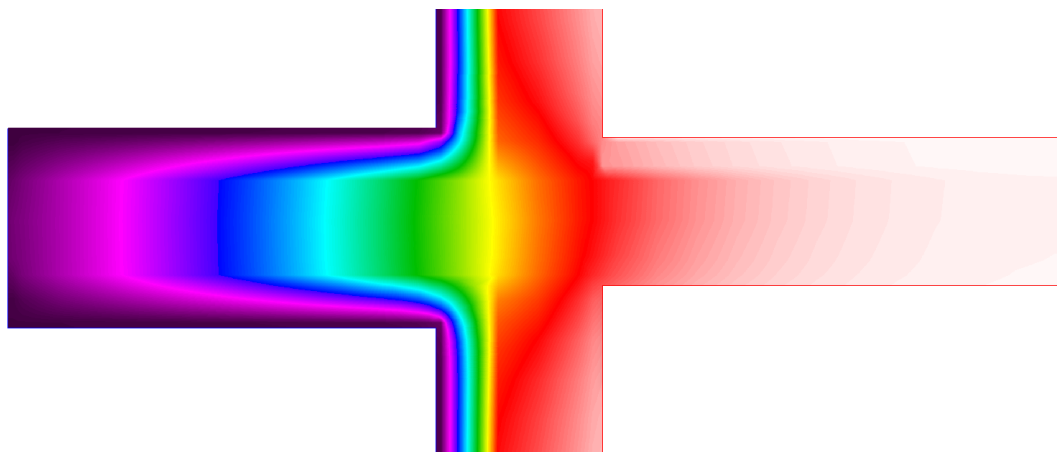
Slika 7: Legenda za temperaturno polje.



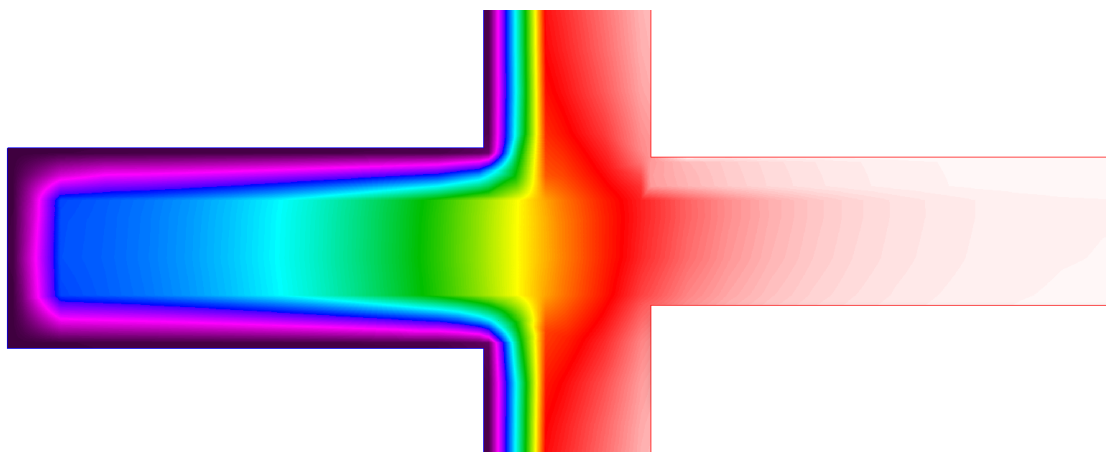
Slika 8: Temperaturno polje za balkon brez toplotne izolacije.



Slika 9: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo spodaj (SP).

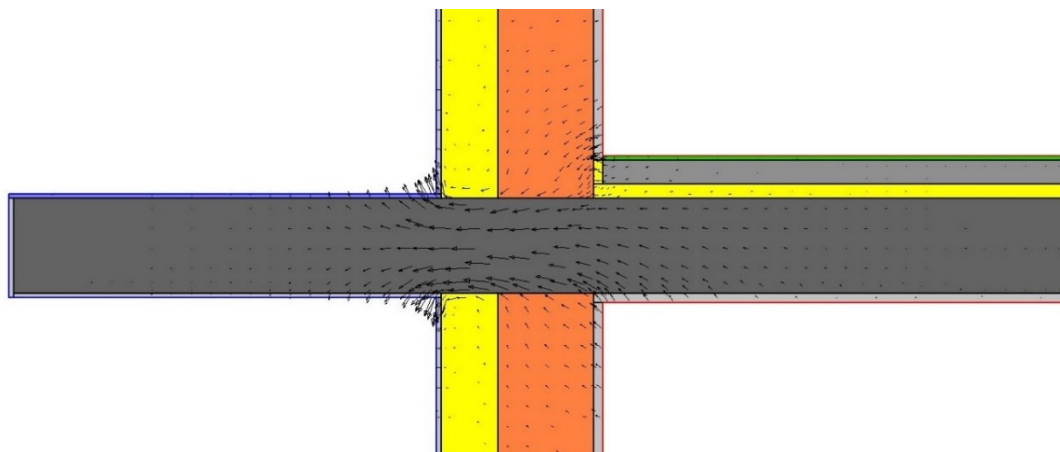


Slika 10: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo spodaj in zgoraj (SP in ZG).

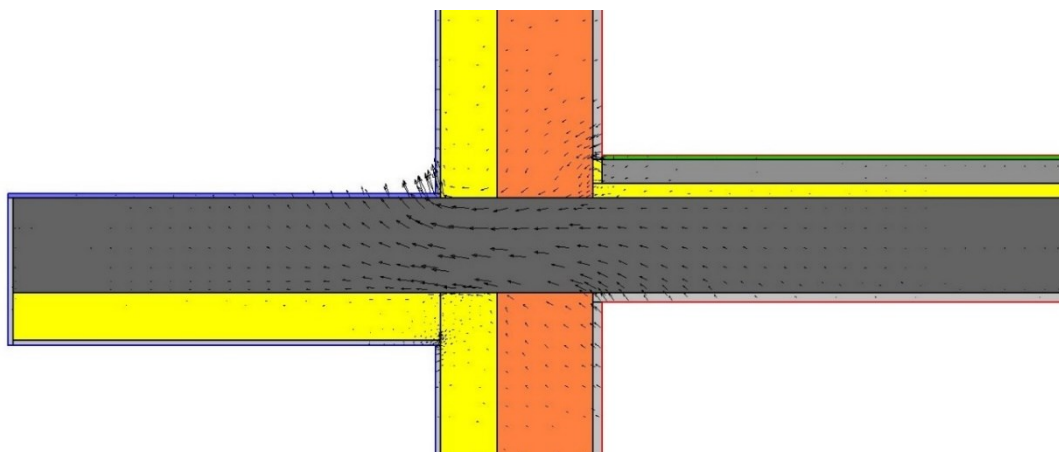


Slika 11: Temperaturno polje za balkon s toplotno izolacijo okrog (OK).

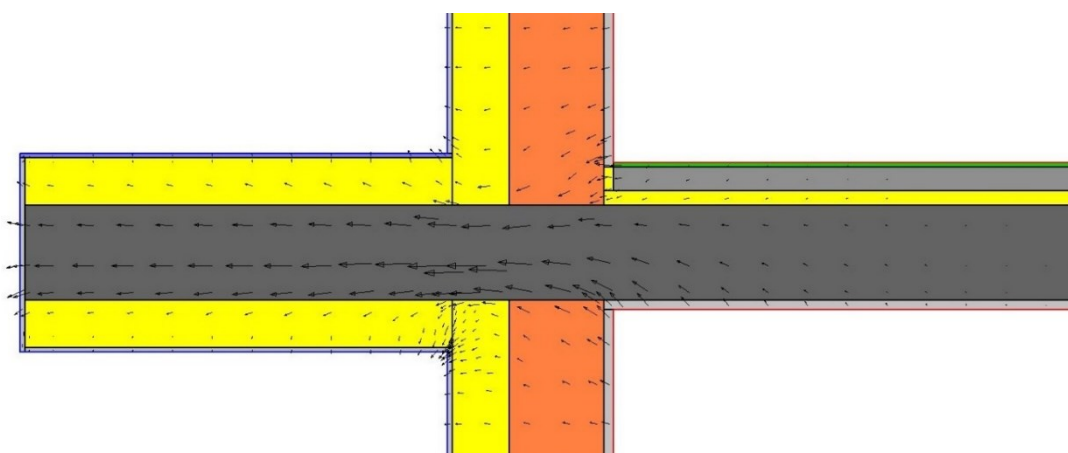
Iz primerjave slik za temperaturno polje je razvidno, da se konzola brez toplotne izolacije ali z izolacijo samo na spodnji strani veliko bolj ohladi kot v primeru, ko je izolirana zgoraj in spodaj ali okoli. Temperatura v primeru konzole brez toplotne izolacije ali z izolacijo samo na spodnji strani je na skrajnem desnem robu konzole (ob stiku konzole s steno) pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 8 in 9). Precej višje temperature so dosežene v primeru, ko je izolirana spodaj in zgoraj ali okrog. Temperatura na skrajnem desnem robu konzole je takrat nad $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 10 in 11). V primeru, ko imamo izolacijo okrog celotne konzole, ostane njena temperatura po celotni konzoli nad $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (slika 11).



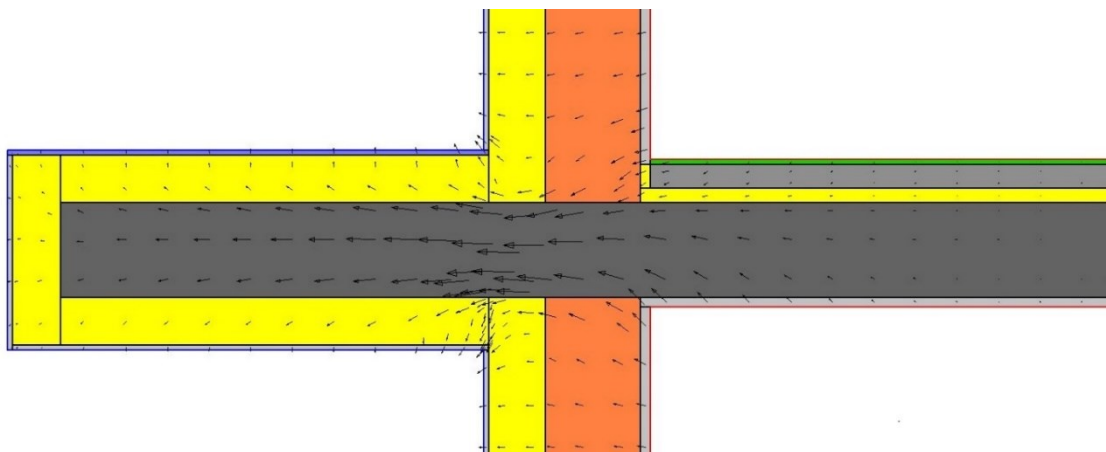
Slika 12: Toplotni tok za balkon brez toplotne izolacije.



Slika 13: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo spodaj (SP).



Slika 14: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo spodaj in zgoraj (SP in ZG).



Slika 15: Toplotni tok za balkon s toplotno izolacijo okrog (OK).

Iz primerjave slik 12 do 15 za toplotni tok je razvidno, da pri balkonih brez toplotne izolacije in s toplotno izolacijo samo na spodnji strani, velik toplotni tok teče tik ob stiku z zgornjo oziroma spodnjo steno. Zaradi tega so tam toplotne izgube največje. Na skrajnem levem robu balkonske konzole toplotnega toka skoraj ni več, kar pomeni, da je tam temperatura konzole skoraj enaka zunanji temperaturi. Pri balkonskih konzolah z izolacijo spodaj in zgoraj ter okrog pa je uhajanje toplotnega toka ob stiku s steno skoraj preprečeno in zato toplotni tok na začetku konzole teče bolj vzporedno s konzolo, nekaj pa ga teče praktično povsem do konca konzole. Zaradi tega je toplotnih izgub manj in je konzola segreta bistveno bolj do njenega desnega roba.

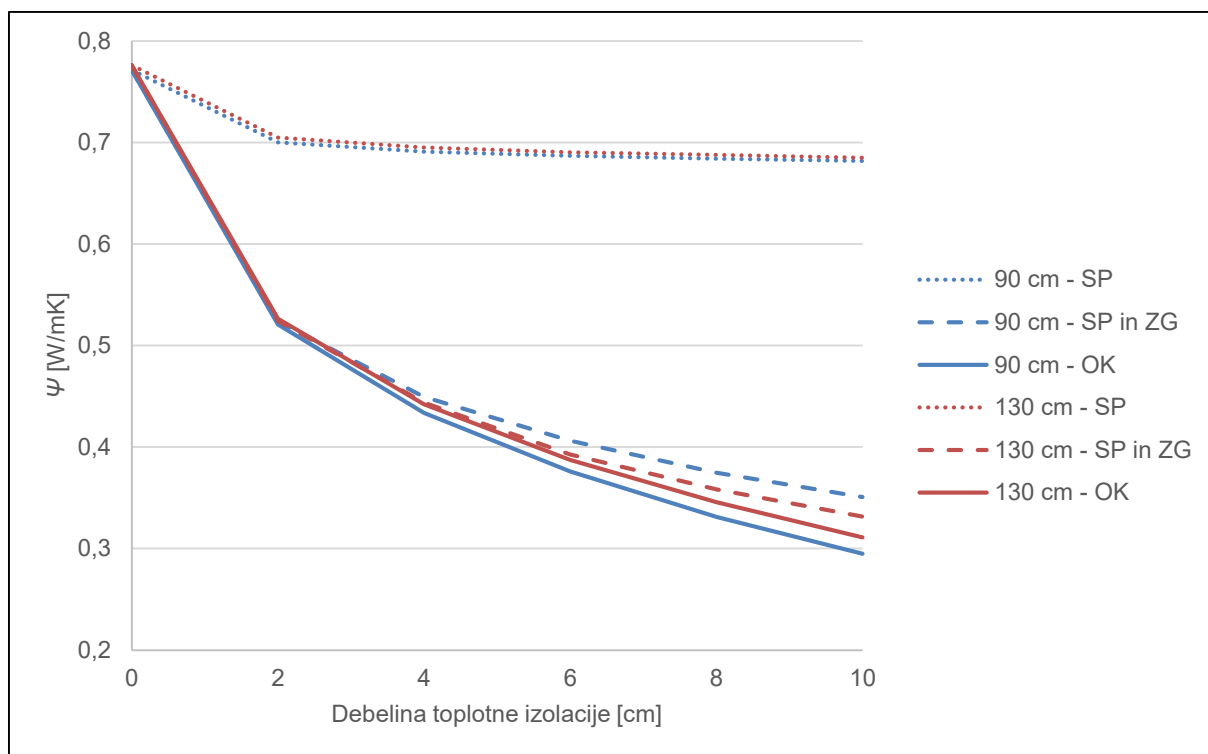
3.4 Izračun linijske toplotne prehodnosti

Za izračun linijske toplotne prehodnosti [5] so bili potrebni podatki o toplotni prehodnosti sklopa (U), dvodimenzionalni toplotni prehodnosti toplotnega mostu (U_{2D}) in dolžini stika sklopa z zunanjim trakom (L_{TM}). Potreben je bil tudi podatek o višini zidu nad in pod balkonom $H_{zid} = 1,0$ m, definiran na podlagi standarda SIST EN 10211 [7]. Rezultati so prikazani v preglednici 10.

Preglednica 10: Izračun linijske toplotne prehodnosti.

Debelina izolacije [cm]	Ψ [W/mK]		
	SP	SP in ZG	OK
Balkon 90 cm			
0	0,771	0,771	0,771
2	0,700	0,524	0,521
4	0,691	0,449	0,434
6	0,687	0,406	0,376
8	0,684	0,375	0,331
10	0,682	0,351	0,295
Balkon 130 cm			
0	0,776	0,776	0,776
2	0,705	0,524	0,526
4	0,695	0,444	0,442
6	0,690	0,393	0,387
8	0,688	0,358	0,346
10	0,685	0,331	0,311

Podobno kot pri dvodimenzionalni toplotni prehodnosti lahko iz preglednice 10 razberemo, da se linijska toplotna prehodnost zmanjšuje z večanjem debeline toplotne izolacije. Ravno tako se več energije na tekoči meter izgubi pri toplotni izolaciji samo na spodnji strani konzole, kot pa pri izolaciji tudi zgoraj ali okrog. Najmanjše toplotne izgube so pričakovane pri izolaciji okrog celotne konzole.

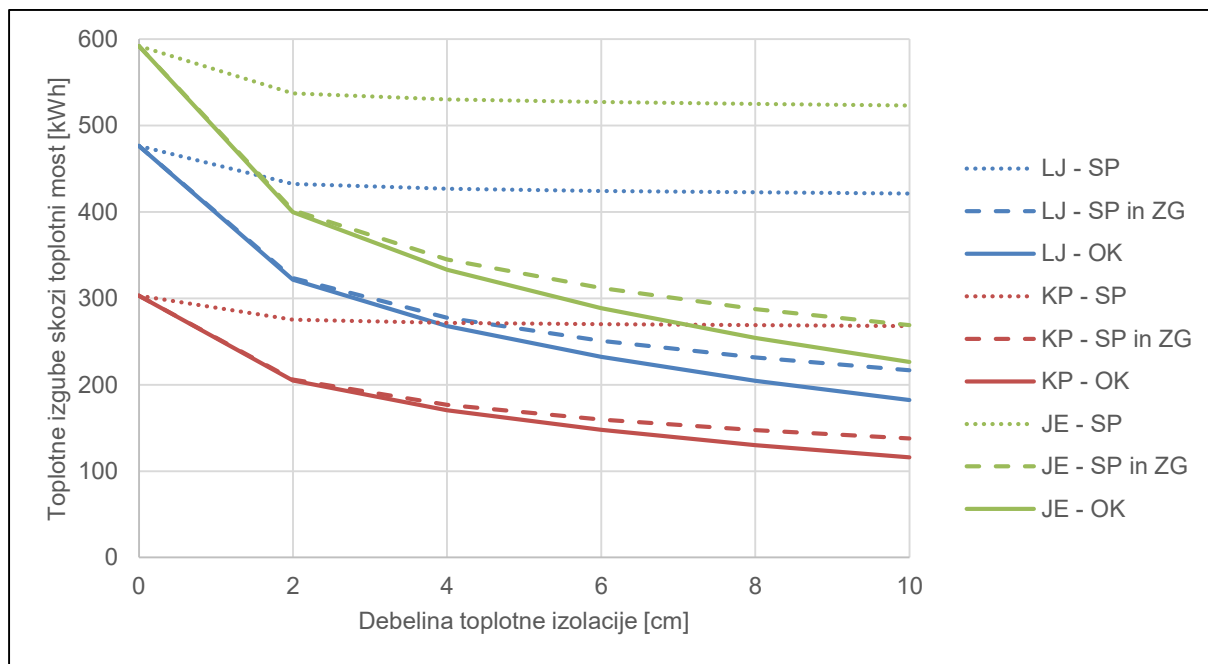


Graf 2: Primerjava linijskih toplotnih prehodnosti.

Iz grafa 2 je razvidno, da prihaja do zelo majhnih razlik glede na širino balkonske konzole. Opazi se razlika glede na učinkovitost toplotne izolacije na čelu balkonske konzole. Pri širini balkona 130 cm sta vrednosti za linijsko toplotno prehodnost pri toplotni izolaciji spodaj in zgoraj ter okrog precej bolj skupaj kot pri širini 90 cm. Pri širših konzolah ima toplotna izolacija na čelu konzole precej manjši učinek. Pri širini balkona 130 cm in izolaciji spodaj in zgoraj je linijska toplotna prehodnost manjša kot pri širini 90 cm. V tem primeru toplotne izolacije balkonske konzole ostaja čelo konzole neizolirano in znaten delež toplotni izgub odteče preko celotne širine balkona in skozi čelo. Zaradi tega je linijska toplotna prehodnost pri konzoli širine 130 cm manjša kot pri konzoli širine 90 cm. Obratna situacija pa nastane v primeru izoliranega čela. Tukaj večji delež toplote izgubimo preko zgornje in spodnje površine balkona in z večanjem te površine povečamo tudi izgube. Tako je v primeru izolacije okoli konzole linijska toplotna prehodnost večja pri konzoli širine 130 cm kot pa pri konzoli širine 90 cm.

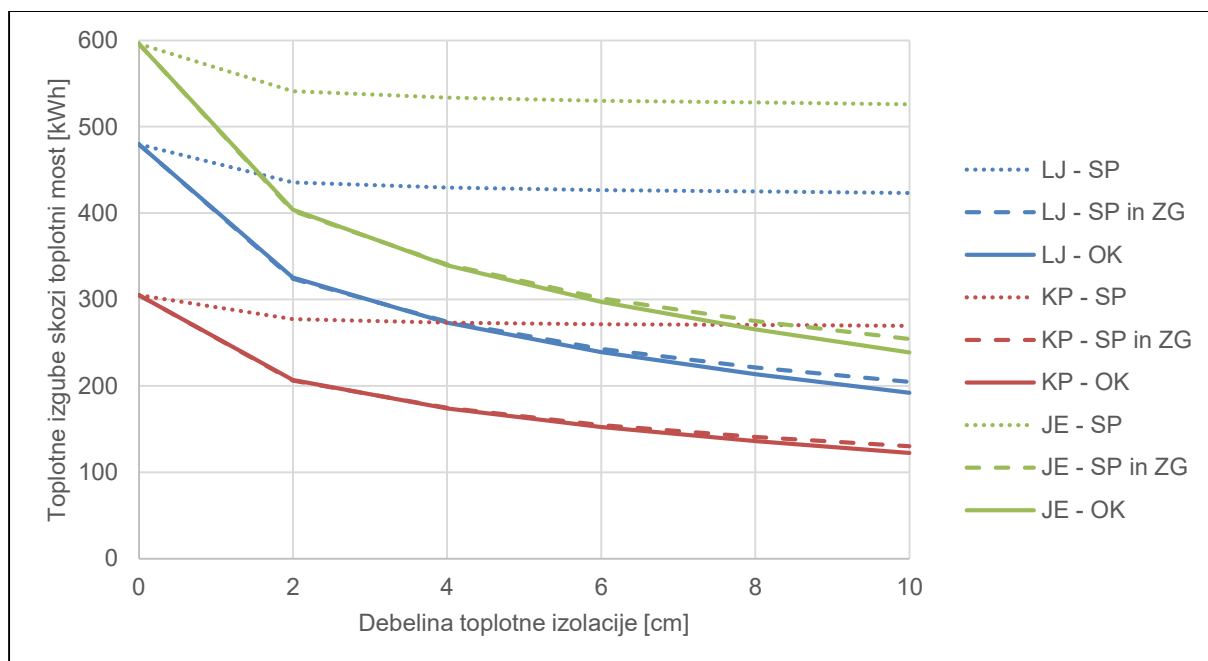
3.5 Izračun toplotnih izgub skozi toplotni most

S podatki za linijsko toplotno prehodnost so izračunane toplotne izgube skozi toplotni most po enačbi (7). Toplotne izgube so odvisne tudi od podnebja oziroma okolja, v katerem se stavba nahaja. Zato so izbrane tri različne lokacije v Sloveniji, ki imajo znatno drugačne temperature preko leta (Ljubljana, Koper in Jesenice). S tem so pridobljeni podatki za kasnejšo primerjavo, v primeru da je balkonska konzola toplotno izolirana na povsem enak način. Osnovni podatki za posamezno lokacijo so prikazani v preglednici 6. Izračunane toplotne izgube so prikazane na grafih 3 in 4.



Graf 3: Toplotne izgube skozi toplotni most za balkon širine 90 cm.

Iz grafa 3 lahko razberemo, da se toplotne izgube skozi toplotni most pri širini balkona 90 cm pričakovano zmanjšujejo s povečevanjem debeline toplotne izolacije. Največje izgube so pri toplotni izolaciji samo na spodnji strani, najmanjše pa pri toplotni izolaciji okrog celotne konzole. V Kopru so izgube najmanjše, največje so na Jesenicah, Ljubljana pa je nekje vmes.



Graf 4: Toplotne izgube skozi toplotni most za balkon širine 130 cm.

Tudi pri širini balkona 130 cm so največje toplotne izgube pri toplotni izolaciji samo na spodnji strani balkonske konzole, najmanjše pa pri toplotni izolaciji okrog celotne konzole. Tudi glede lokacije pridemo do podobnih rezultatov. Največje toplotne izgube skozi toplotni most so na Jesenicah, najmanjše pa v Kopru.

3.6 Izračun višine investicije

Na končno vrednotenje učinkovitosti toplotne izolacije ima vpliv tudi višina investicije, ki bi bila potrebna za izolacijo posamezne balkonske konzole. Končne cene posamezne investicije so bile izračunane po enačbah (4), (5) in (6). Kot že omenjeno sta bili upoštevani dve možnosti, primer novogradnje in primer sanacije obstoječega stanja. Pri sanaciji je upoštevana celotna vrednost investicije, pri novogradnji pa je bila odšteta vrednost zaključnih slojev. Višine končnih investicij za posamezno mesto nanosa so prikazane v preglednici 11.

Preglednica 11: Višina investicije za različne primere.

Debelina izolacije [cm]	Višina investicije [€]					
	Novogradnja			Sanacija		
	SP	SP in ZG	OK	SP	SP in ZG	OK
Balkon 90 cm						
2	84,2	190	213	225	730	785
4	98,3	225	257	239	765	829
6	112	260	302	253	800	873
8	126	295	347	267	835	918
10	140	330	392	281	870	964
Balkon 130 cm						
2	122	274	320	324	1055	1189
4	142	324	399	345	1105	1269
6	162	375	481	365	1156	1351
8	183	426	564	385	1207	1434
10	203	477	650	406	1257	1519

Iz preglednice 11 lahko razberemo, da se višina investicije pričakovano zvišuje s povečevanjem debeline toplotne izolacije, prav tako je višina investicije odvisna od mesta nanosa toplotne izolacije. Najdražja je izvedba okrog celotne balkonske konzole, najcenejša pa samo na spodnji strani balkonske konzole. Tudi širina vpliva na vrednost investicije, saj se zaradi večje širine balkonske konzole povečuje površina, ki je izolirana.

3.7 Izračun stroška ogrevanja

S pomočjo rezultatov o toplotnih izgubah so bili izračunani stroški ogrevanja za tri različne energente (kurilno olje, zemeljski plin in električno energijo (toplotna črpalka)). Za vsako širino balkona, mesto nanosa toplotne izolacije in lokacijo objekta je bil izračunan strošek ogrevanja s tremi energenti. Tako sem prišel do primerjave med cenovno ugodnim in neugodnim energentom. Stroški ogrevanja so prikazani v preglednici 12.

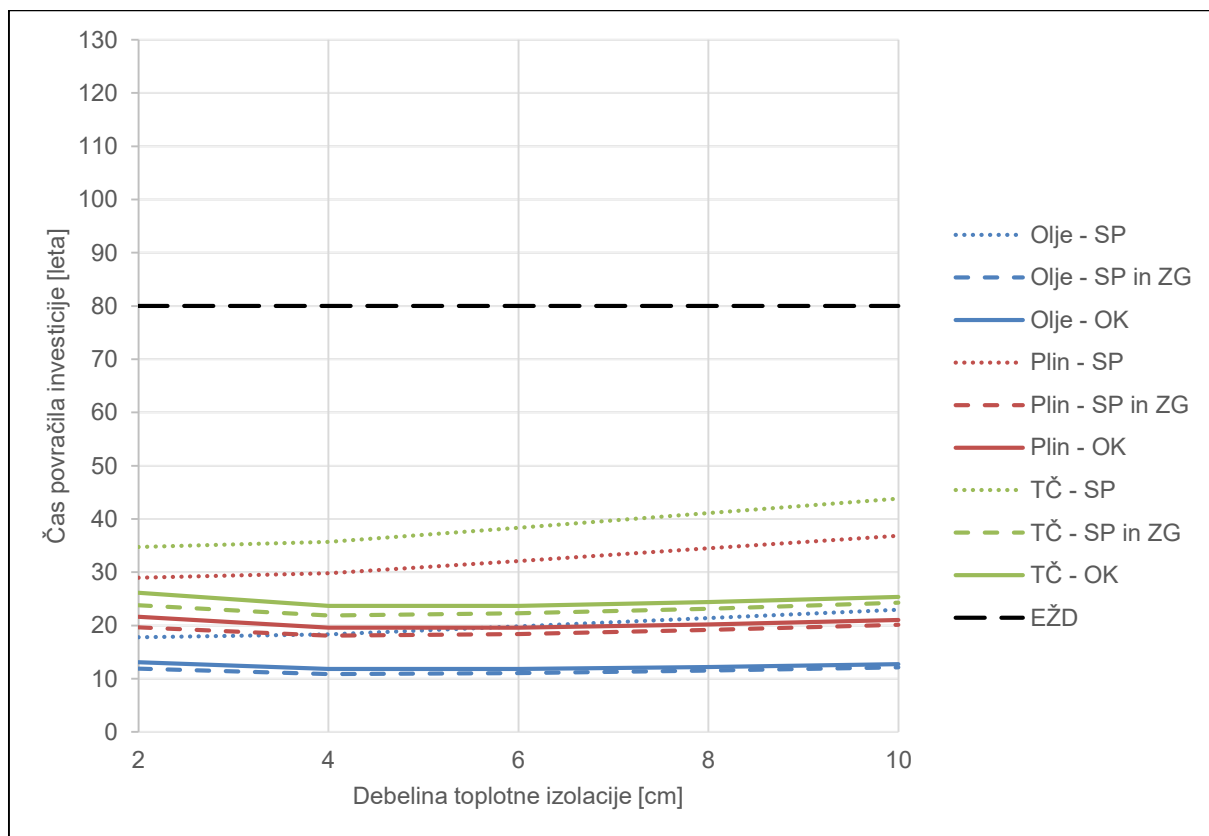
Preglednica 12: Strošek ogrevanja za različne primere.

Debelina izolacije [cm]	Strošek ogrevanja [€]								
	SP			SP in ZG			OK		
	Olje	Plin	TČ	Olje	Plin	TČ	Olje	Plin	TČ
Ljubljana									
Balkon 90 cm									
0	47,1	27,3	22,1	47,1	27,3	22,1	47,1	27,3	22,1
2	42,7	24,8	20,1	32,0	18,5	15,0	31,8	18,4	14,9
4	42,2	24,5	19,8	27,4	15,9	12,9	26,5	15,4	12,4
6	41,9	24,3	19,7	24,8	14,4	11,6	22,9	13,3	10,8
8	41,8	24,2	19,6	22,9	13,3	10,7	20,2	11,7	9,49
10	41,6	24,1	19,5	21,4	12,4	10,1	18,0	10,4	8,46
Balkon 130 cm									
0	47,4	27,5	22,3	47,4	27,5	22,3	47,4	27,5	22,3
2	43,0	24,9	20,2	32,0	18,6	15,0	32,1	18,6	15,1
4	42,4	24,6	19,9	27,1	15,7	12,7	27,0	15,6	12,7
6	42,1	24,4	19,8	24,0	13,9	11,3	23,6	13,7	11,1
8	42,0	24,3	19,7	21,9	12,7	10,3	21,1	12,2	9,91
10	41,8	24,2	19,6	20,2	11,7	9,50	19,0	11,0	8,91
Koper									
Balkon 90 cm									
0	30,0	17,4	14,1	30,0	17,4	14,1	30,0	17,4	14,1
2	27,2	15,8	12,8	20,3	11,8	9,56	20,2	11,7	9,50
4	26,8	15,6	12,6	17,5	10,1	8,20	16,9	9,77	7,91
6	26,7	15,5	12,5	15,8	9,15	7,41	14,6	8,46	6,86
8	26,6	15,4	12,5	14,6	8,44	6,84	12,9	7,46	6,04
10	26,5	15,4	12,4	13,6	7,90	6,40	11,5	6,64	5,38
Balkon 130 cm									
0	30,2	17,5	14,2	30,2	17,5	14,2	30,2	17,5	14,2
2	27,4	15,9	12,9	20,4	11,8	9,57	20,4	11,9	9,60
4	27,0	15,7	12,7	17,2	10,0	8,09	17,2	10,0	8,07
6	26,8	15,5	12,6	15,3	8,8	7,17	15,0	8,72	7,06
8	26,7	15,5	12,6	13,9	8,1	6,54	13,4	7,79	6,31
10	26,6	15,4	12,5	12,9	7,46	6,05	12,1	7,00	5,67
Jesenice									
Balkon 90 cm									
0	58,5	33,9	27,5	58,5	33,9	27,5	58,5	33,9	27,5
2	53,1	30,8	24,9	39,7	23,0	18,7	39,5	22,9	18,6
4	52,4	30,4	24,6	34,1	19,8	16,0	32,9	19,1	15,5
6	52,1	30,2	24,5	30,8	17,9	14,5	28,5	16,5	13,4
8	51,9	30,1	24,4	28,4	16,5	13,3	25,1	14,6	11,8
10	51,7	30,0	24,3	26,6	15,4	12,5	22,4	13,0	10,5
Balkon 130 cm									
0	58,9	34,1	27,7	58,9	34,1	27,7	58,9	34,1	27,7
2	53,4	31,0	25,1	39,8	23,1	18,7	39,9	23,1	18,8
4	52,7	30,6	24,8	33,6	19,5	15,8	33,5	19,4	15,7
6	52,4	30,4	24,6	29,8	17,3	14,0	29,4	17,0	13,8
8	52,2	30,3	24,5	27,2	15,8	12,8	26,2	15,2	12,3
10	52,0	30,1	24,4	25,1	14,6	11,8	23,6	13,7	11,1

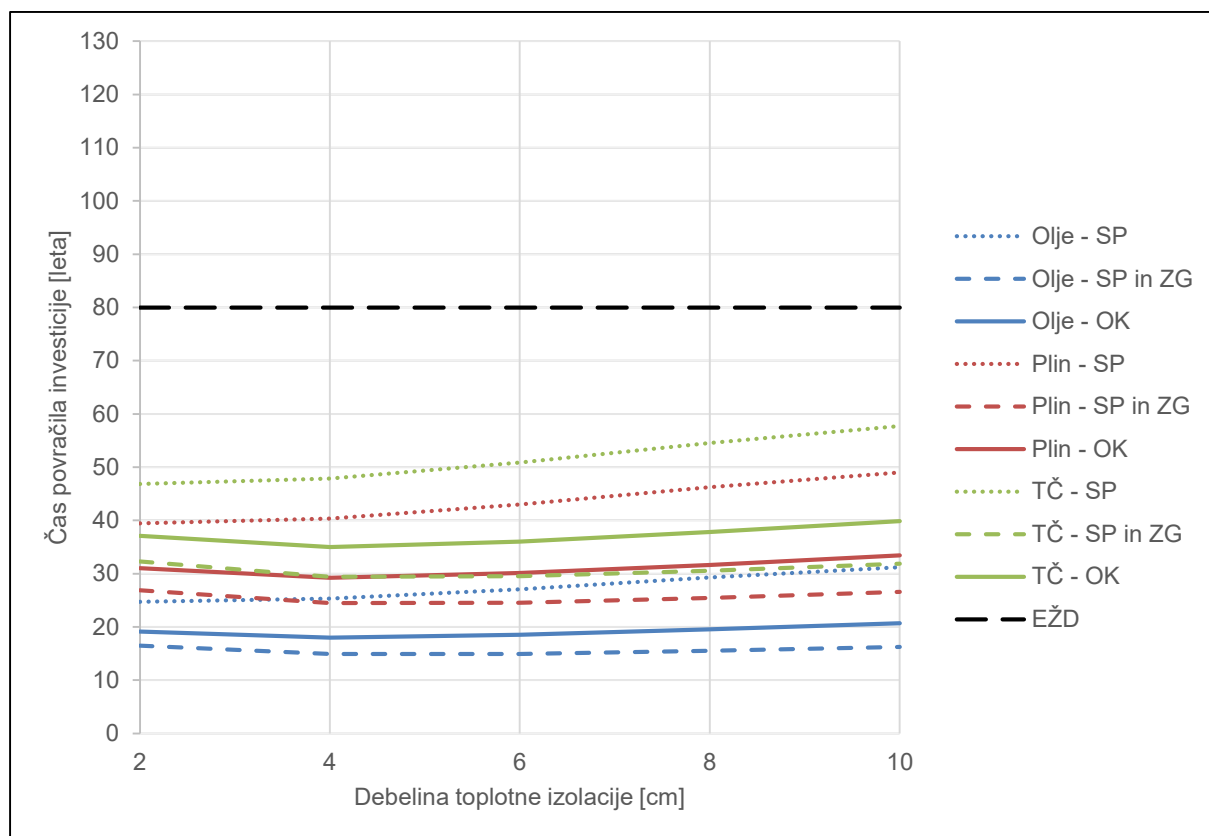
Iz preglednice 12 lahko razberemo, da je najdražje ogrevanje v primeru brez izolacije. Če pa balkonsko konzolo toplotno izoliramo, potem je najdražje ogrevanje v primeru izvedbe toplotne izolacije samo na spodnji strani balkonske konzole, najcenejše pa pri izolaciji okrog celotne balkonske konzole. Do pričakovanih rezultatov pridemo tudi pri primerjavi glede na lokacijo objekta. Cena ogrevanja je najvišja na Jesenicah, najnižja pa v Kopru. V skladu s pričakovanji so tudi rezultati glede na energent. Najdražje je ogrevanje s kurilnim oljem, najcenejše pa z električno energijo s toplotno črpalko.

3.8 Izračun časa povračila investicije

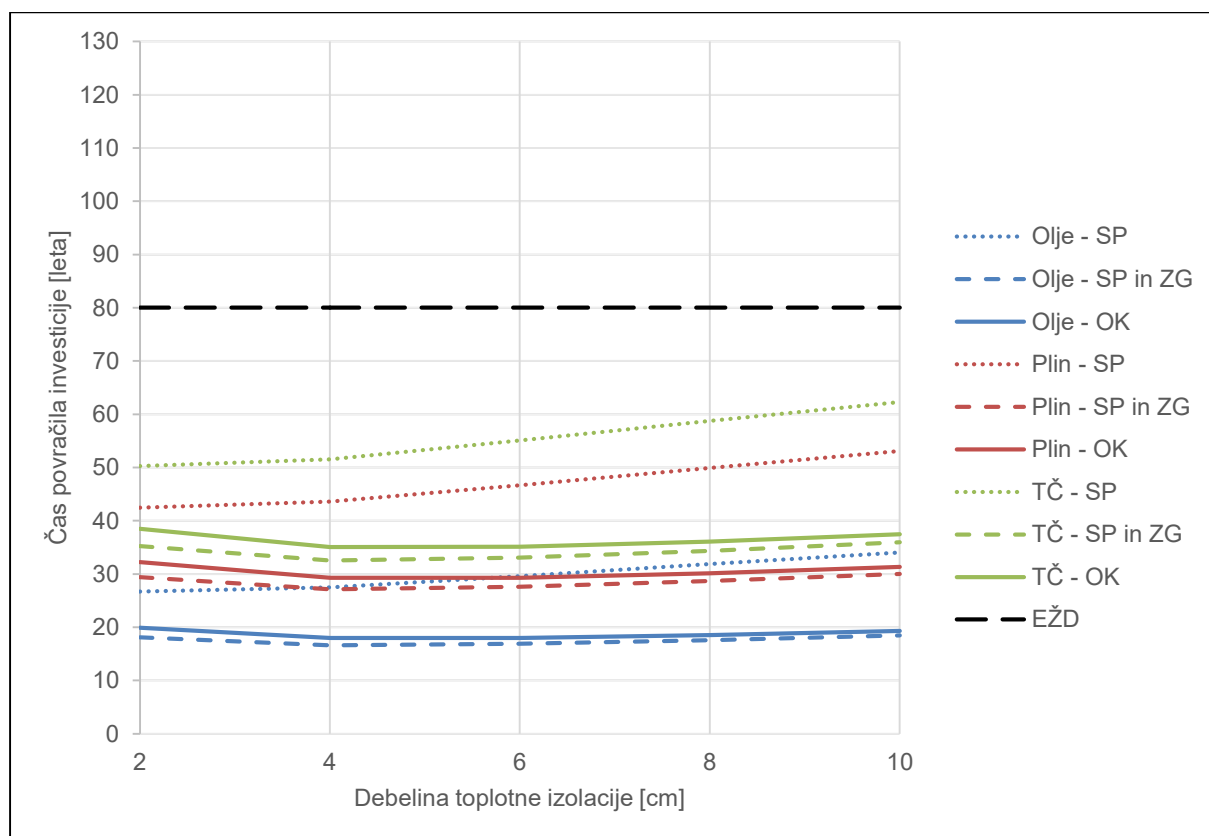
S podatki o višinah investicij in prihrankih (razlikah) pri stroških ogrevanja je bil izračunan čas povračila posamezne investicije. Ekonomska življenjska doba za hiše znaša 80 let [12], kar je tudi označeno na grafih 5 do 16 za čas povračila investicije. Če se investicijska vrednost povrne prej kot v 80 letih, potem je bil vložek iz ekonomskega vidika upravičen, v nasprotnem primeru pa ekonomsko ni smiseln. Upoštevani sta dve možnosti: novogradnja in sanacija. Rezultati za novogradnjo so prikazani na grafih 5 do 10, za sanacijo pa na grafih 11 do 16.



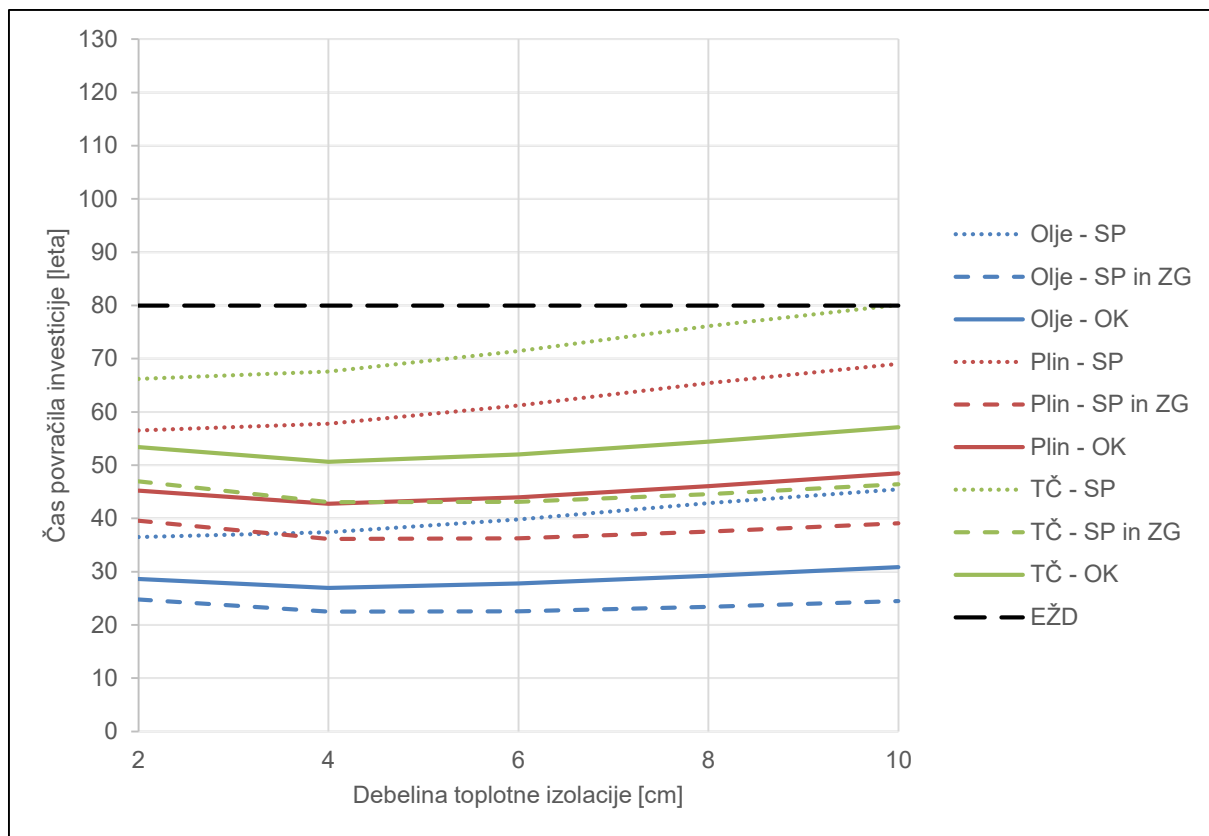
Graf 5: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 90 cm pri novogradnji.



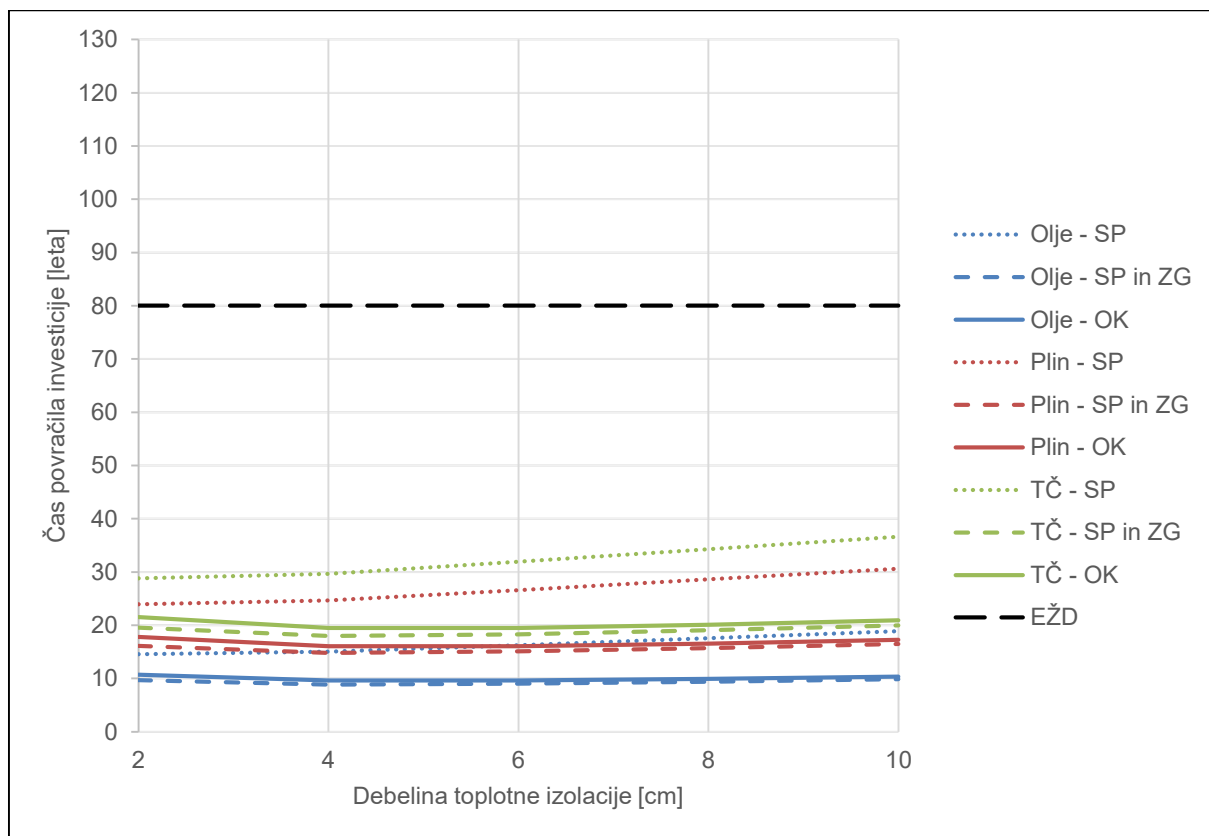
Graf 6: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 130 cm pri novogradnji.



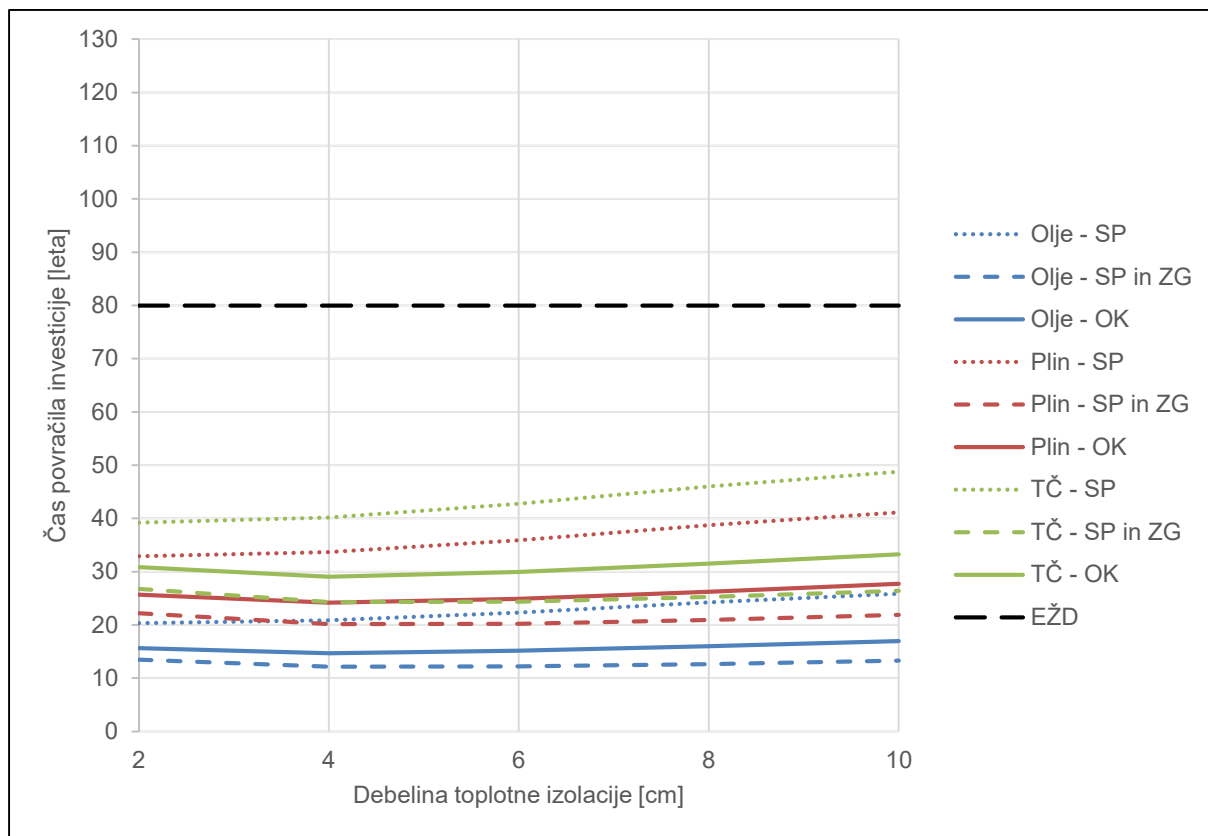
Graf 7: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 90 cm pri novogradnji.



Graf 8: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 130 cm pri novogradnji.

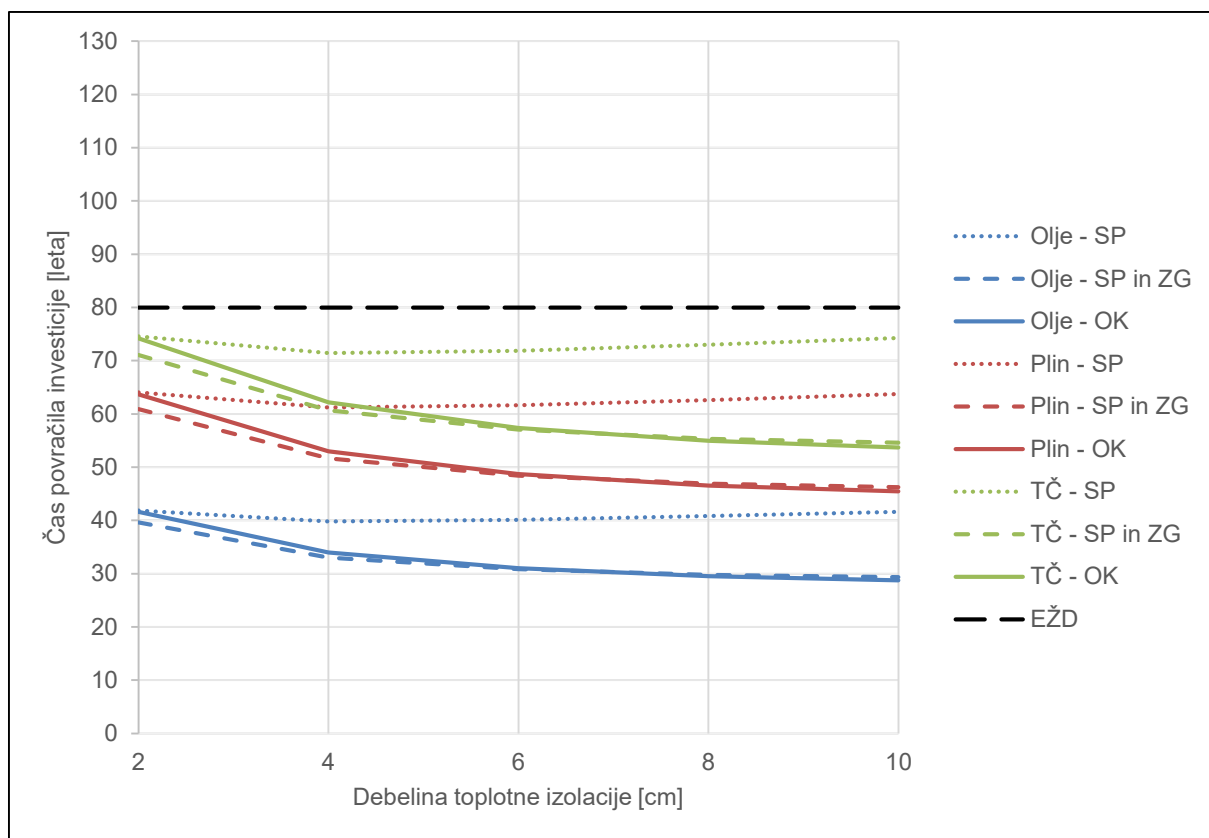


Graf 9: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 90 cm pri novogradnji.

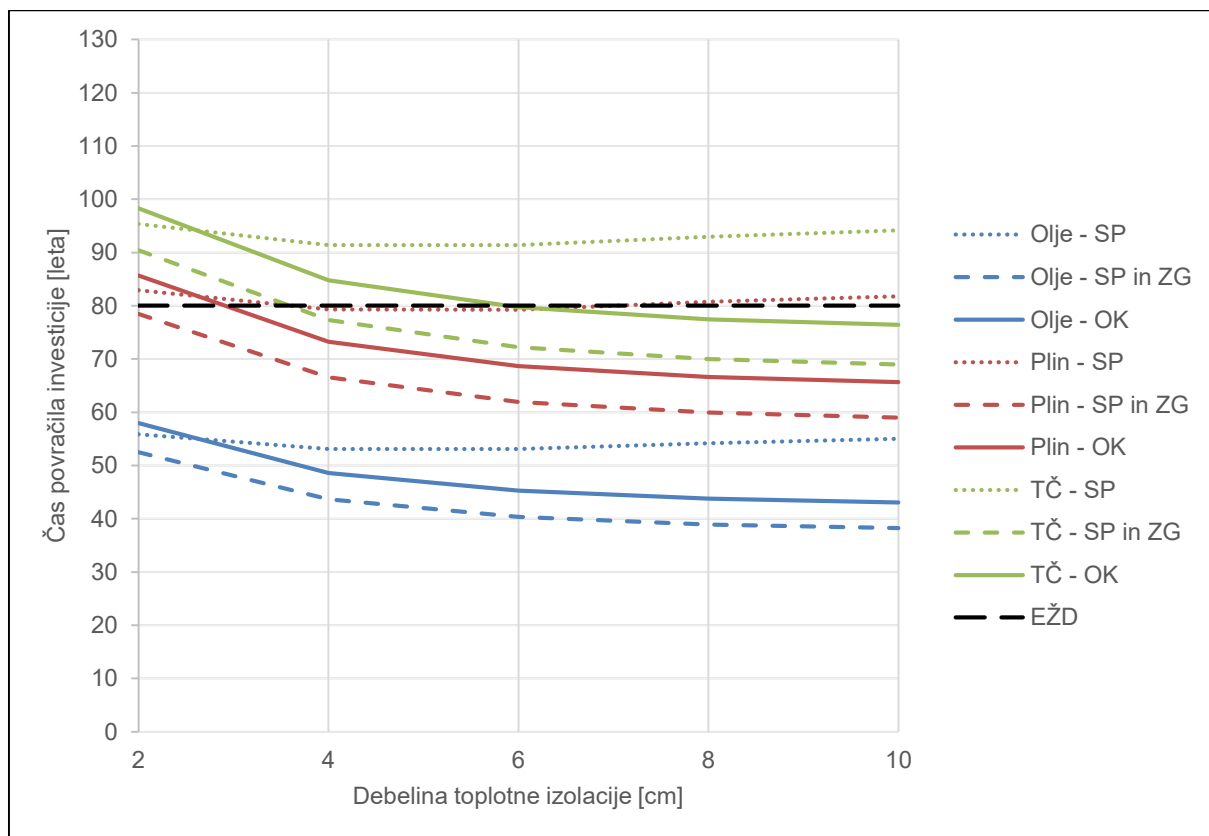


Graf 10: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 130 cm pri novogradnji.

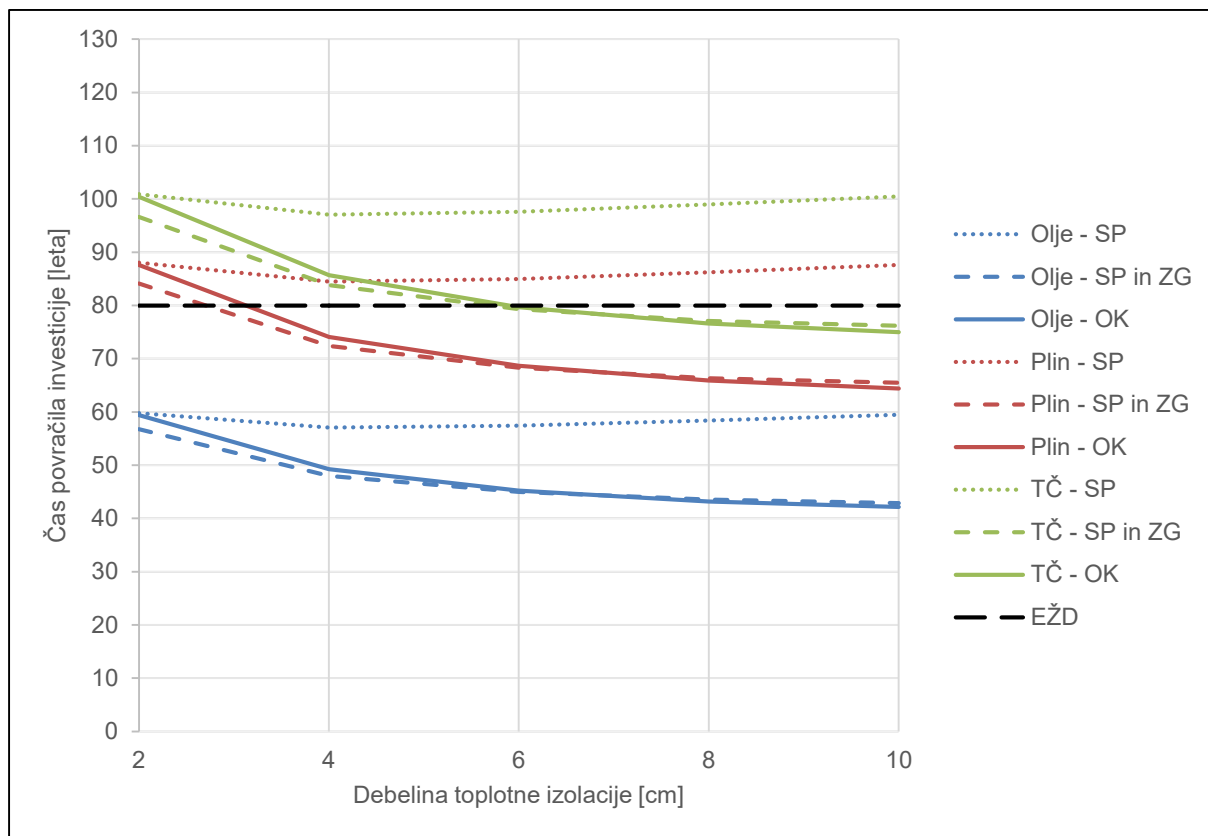
Iz primerjave grafov je razvidno, da je sanacija iz ekonomskega vidika v vseh primerih novogradnje upravičena. S tem se potrjuje, da je nesmiselno zanemariti načrtovanje toplotne izolacije pri načrtovanju objekta. Najhitreje se investicija povrne na Jesenicah, saj je cena ogrevanja zaradi daljše in bolj intenzivne kurilne sezone večja. Najkasneje pa se investicija povrne v Kopru, saj je tam krajša kurilna sezona, pa tudi temperature skozi kurilno sezono so precej višje kot na Jesenicah. Najhitreje se investicija povrne pri ogrevanju s kurilnim oljem, kar je pričakovano, saj je ogrevanje s kurilnim oljem najdražje. Ravno obratno pa je pri ogrevanju s toplotno črpalko. Ker je cena ogrevanja precej nizka, je potrebnega več časa, da se povrnejo sredstva, ki so bila vložena v toplotno izoliranje balkonske konzole. Čas povračila pri ogrevanju z zemeljskim plinom in toplotno črpalko sta precej tesno skupaj. Opazno je tudi to, da se investicija najhitreje povrne pri toplotni izolaciji zgoraj in spodaj, prej kot pa pri izolaciji okrog celotne konzole. Pri toplotni izolaciji okrog celotne konzole imamo večjo površino izolacije, učinek, ki ga ta dodatna izolacija ustvari, pa ni tako znoten. Zaradi tega se investicija pri toplotni izolaciji spodaj in zgoraj povrne prej kot pri izolaciji okrog celotne konzole. Najkasneje se povrne investicija samo na spodnji strani konzole, saj je višina investicije nesorazmerna z učinkom nanešene toplotne izolacije. Opaziti je mogoče tudi to, da doba povračila kaže minimum (čeprav plitek) v odvisnosti od debeline toplotne izolacije, kar bi lahko uporabili, da bi iz finančnega vidika določili optimalno debelino izolacije.



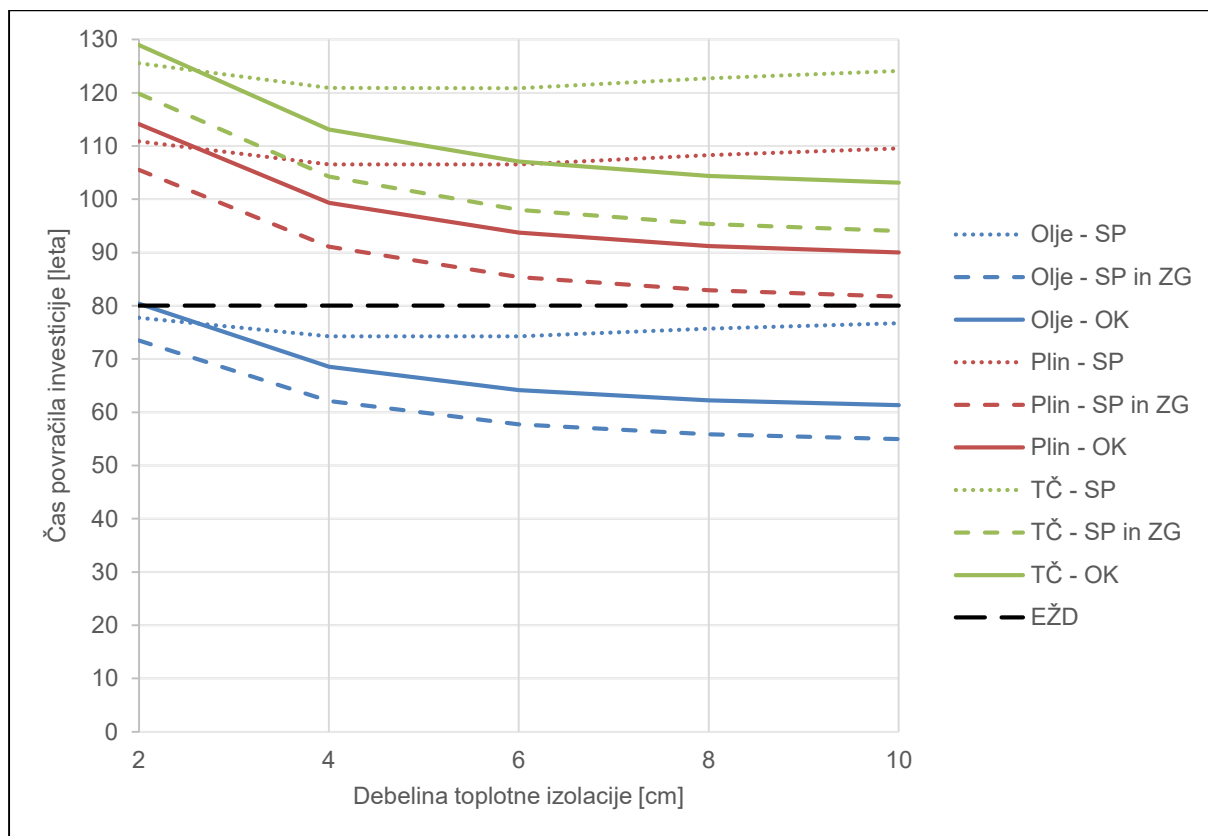
Graf 11: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 90 cm pri sanaciji.



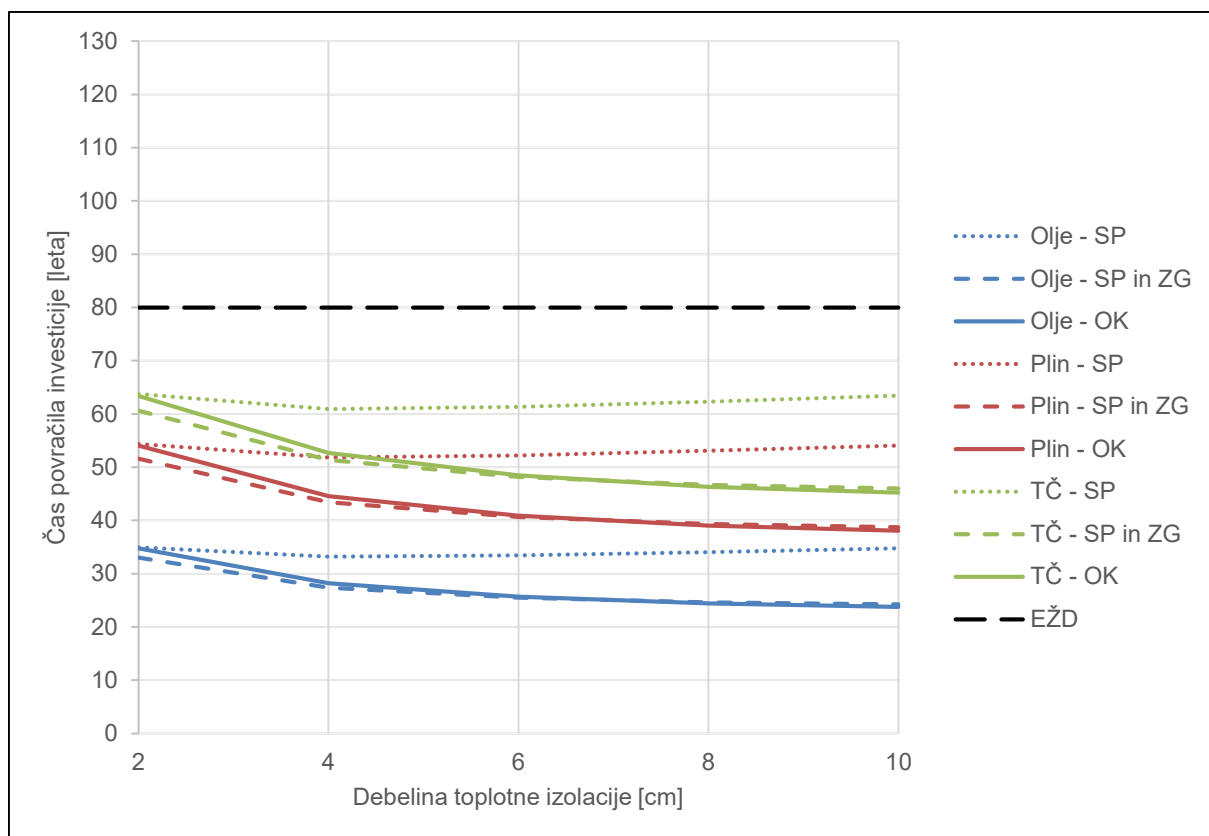
Graf 12: Čas povračila investicije v Ljubljani za balkon širine 130 cm pri sanaciji.



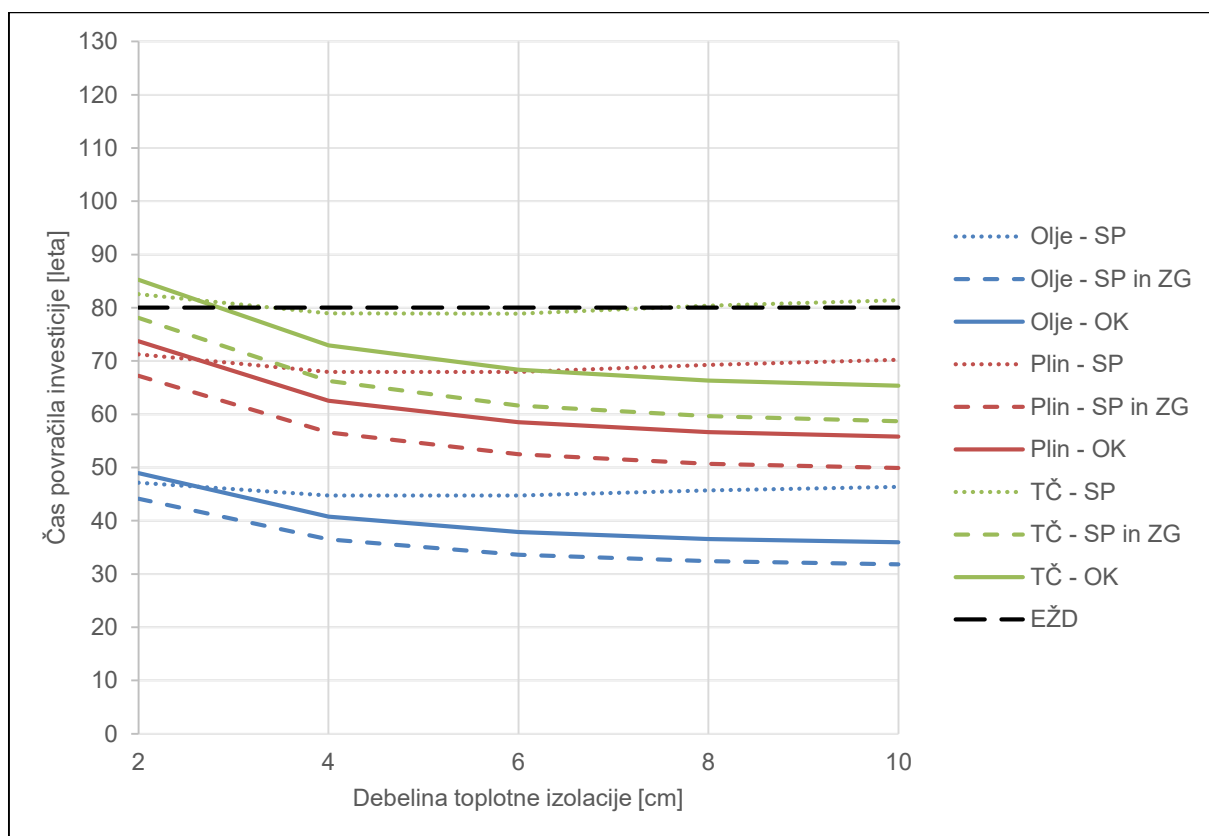
Graf 13: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 90 cm pri sanaciji.



Graf 14: Čas povračila investicije v Kopru za balkon širine 130 cm pri sanaciji.



Graf 15: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 90 cm pri sanaciji.



Graf 16: Čas povračila investicije na Jesenicah za balkon širine 130 cm pri sanaciji.

Pri sanaciji balkonske konzole pri obstoječi stavbi pa je zgodba nekoliko drugačna. Okvirno so dobe povračila investicije 35 let daljše kot pri novogradnji. Investicije se v vseh primerih ne povrnejo v roku 80 let, zato niso vse ekonomsko upravičene. Investicija v Kopru za balkon širine 130 cm ni ekonomsko upravičena, razen v primeru ogrevanja s kurilnim oljem. Na Jesenicah pa je upravičena praktično v vseh primerih, razen pri debelini toplotne izolacije 2 cm za nanos okrog celotne konzole in pri širini balkonske konzole 130 cm. Glede lokacije objekta je podobno kot pri novogradnji. Najbolj ekonomsko upravičena je investicija na Jesenicah, najmanj pa v Kopru. Pri nanosu izolacije spodaj in zgoraj ter okrog balkonske konzole je investicija najhitreje povrnjena pri debelini toplotne izolacije 10 cm. Ponovno se najhitreje povrne investicija pri ogrevanju s kurilnim oljem, najpočasneje pa s toplotno črpalko. Če ogrevamo s kurilnim oljem, je investicija v vseh primerih ekonomsko upravičena.

4 RAZPRAVA

Hipoteza 1:

Najboljši način izoliranja toplotnih mostov na balkonski konzoli je toplotna izolacija okrog celotne balkonske konzole (spodaj, zgoraj in na čelu balkonske konzole).

Gledano z vidika porabe toplote in stroška ogrevanja ta hipoteza drži. Iz grafov 3 in 4 je razvidno, da so najmanjše toplotne izgube mostu prav na balkonih, ki imajo toplotno izolacijo okrog celotne konzole. Posledično so na istem tipu balkonov najnižji stroški ogrevanja, kar je razvidno iz preglednice 12.

Gledano z vidika višine investicije in povračila investicije pa je stvar nekoliko drugačna. Iz primerjave grafov 5 do 16 je razvidno, da investicija v toplotno izolacijo okrog celotne balkonske konzole pri novogradnji ni najbolj smiselna. Pri obeh širinah balkonske konzole, 90 cm in 130 cm, se prej povrne investicija v primeru nanosa toplotne izolacije samo na spodnji in zgornji strani balkonske konzole. Razberemo lahko tudi to, da je pri sanaciji smiselnost nanosa izolacije odvisna od širine balkonske konzole in debeline toplotne izolacije. Pri širini balkonske konzole 90 cm in debelini 10 cm je bolj smiselna izolacija okrog celotne konzole, pri širini 130 cm pa samo na spodnji in zgornji strani. Pri vseh primerih sanacije balkonske konzole širine 130 cm je razlika glede na mesto nanosa izolacije minimalna, zato lahko poenostavimo, da je najbolj učinkovito mesto nanosa toplotne izolacije glede na čas povračila investicije na spodnji in zgornji strani balkonske konzole.

Hipoteza 2:

Učinek toplotne izolacije se s povečevanjem debeline vse bolj zmanjšuje, zato pretirana debelina izolacije ni smiselna.

Iz grafov 3 in 4 je razvidno, da se toplotne izgube močno zmanjšujejo s povečevanjem debeline izolacije. Pri debelini toplotne izolacije 10 cm se toplotne izgube prepolovijo glede na primer brez izolacije. Podobno je razvidno tudi iz preglednice 12, ki prikazuje strošek ogrevanja. Tudi stroški ogrevanja se pri debelini toplotne izolacije 10 cm glede na primer brez izolacije prepolovijo. V obeh primerih, tako za toplotne izgube kot tudi za strošek ogrevanja, so razlike pri debelini toplotne izolacije med 8 in 10 cm veliko manjše kot pri debelini med 0 in 2 cm. Iz tega sledi, da se učinek toplotne izolacije z debelino ne povečuje linearno, ampak vedno počasneje. Večja kot je debelina izolacije, manjša je razlika med sosednjima vrednostima debeline toplotne izolacije. Iz grafov 5 do 10 je razvidno, da se čas povračila investicije pri novogradnji zvišuje z naraščanjem debeline izolacije. Iz grafov 11 do 16 pa lahko razberemo, da se čas povračila investicije pri sanaciji z debelino toplotne izolacije zmanjšuje. Celostno gledano je smiselna debelina toplotne izolacije odvisna od tega, ali gre za novogradnjo ali sanacijo. V nekem splošnem primeru je smiselna neka vmesna debelina izolacije.

Hipoteza 3:

Izoliranje balkonske konzole je bolj smiselno v začetni fazi gradnje kot pa pri sanaciji.

Iz primerjave grafov 5 do 16 je razvidno, da je v vseh primerih veliko bolj smiselna toplotna izolacija balkonske konzole v začetni fazi gradnje oziroma pri novogradnji. Toplotna izolacija balkonske konzole v začetni fazi gradnje oziroma pri novogradnji je smiselna tudi glede višine investicije, saj nam ni potrebno končnih slojev nanašati dvakrat. Smiselno je tudi zaradi vmesnega časa, ko so stroški ogrevanja zaradi neizolirane balkonske konzole višji, kot bi bili v primeru, če bi bila konzola izolirana.

V vseh zgoraj navedenih izračunih je bil poudarek na problemu toplotnega mostu pri križanju balkonske konzole z nosilnimi zidovi in različnimi pristopi reševanja le-tega. V ospredju sta bila predvsem mesto nanosa toplotne izolacije in debelina same toplotne izolacije, ne pa drugačni načini izvedbe same balkonske konzole, kot je na primer reševanje toplotnih mostov s toplotno izolacijsko armaturno košaro. Kot posledica izoliranja toplotnih mostov so bile zmanjšane toplotne izgube, ki pa so povezane tudi s temperaturami na notranji strani balkonske konzole in nosilnih zidov (slika 7 do 11). Razvidno je tudi to, da se notranje temperature na konstrukciji zaradi toplotne izolacije ne spustijo tako nizko, kar ima blagodejen učinek na bivalne razmere. Višje površinske temperature zmanjšujejo možnosti za nastajanje in zadrževanje vlage na mestu konstrukcijskega križanja, kar vpliva na boljše počutje v samem prostoru, poleg tega pa zmanjšuje možnosti za nastanek in razvoj plesni v kotih in na robovih konstrukcijskih elementov. Toplotna izolacija torej nima vpliva samo na manjše energijske izgube stavbnega elementa ali stavbe, pač pa posredno vpliva tudi na samo počutje v bivalnem prostoru, kar seveda ni zanemarljivo.

5 ZAKLJUČEK

Toplotno izoliranje balkonske konzole je najbolj smiselno v začetni fazi načrtovanja oziroma pri novogradnji. Če to zanemarimo ali rešujemo v kasnejših fazah, s tem le izgubljammo finančna sredstva.

Pomembo vlogo pri toplotnem izoliranju balkonske konzole ima tudi pravo mesto nanosa toplotne izolacije. V primeru, da imamo zelo kratek balkon, ga moramo toplotno izolirati okrog celotne konzole, saj bi v nasprotnem primeru imeli zelo velike izgube, nanešena toplotna izolacija pa bi bila brez prave funkcije. Če pa je balkon zelo širok, je smiselno razmisliti o mestu nanosa toplotne izolacije. Izkaže se, da je pri večjih širinah balkonske konzole smiselno mesto nanosa toplotne izolacije na spodnji in zgornji strani. Pri zelo dolgih balkonih oziroma terasah bi lahko razmislili tudi o določenem pasu izolacije z neko vplivno širino tik ob zunanjih stenah.

Velik vpliv na čas povračila investicij ima tudi sama debelina toplotne izolacije. Pretirana debelina izolacije je lahko nesmiselna, zato je potreben nek osnovni izračun, da pridemo do potrebne debeline izolacije.

Na investicijo v toplotno izolacijo balkonske konzole vpliva tudi energent ogrevanja. V primeru da imamo zelo drag energent, je toplotna izolacija zelo smiselna. V tem primeru je smiselna tudi večja debelina izolacije. Če pa imamo zelo ugoden energent za kurjavo, je ponovno treba premisliti o smiselnosti določene investicije.

Velik vpliv na toplotno izoliranje stavbe ima tudi lokacija stavbe. Če imamo objekt v kraju, ki ima daljše in hladnejše zime, potem je toplotna izolacija vsekakor priporočljiva. Če pa imamo objekt v toplejšem kraju, je treba premisliti glede mesta nanosa in debeline izolacije.

Dobro se je zavedati tudi, da je bil v tej diplomski nalogi obravnavan samo finančni vidik izoliranja balkonske konzole, ki je temeljil na trenutnih cenah materiala in energentov. V primeru, da se cene materiala in energentov drastično spremenijo, bi to vplivalo na višino investicije in prihranke pri ogrevanju in s tem tudi na čas povračila investicije. Same linijske toplotne prehodnosti se pri tem ne spremenijo. Potrebno je poudariti tudi druge vidike izvedbe toplotne izolacije na balkonski konzoli, ne samo finančnega. Med temi so ugodje bivanja (npr. višje površinske temperature na notranjih strani sten), vpliv na zdravje (npr. preprečevanje plesni), vpliv na okolje (npr. manj izpustov CO₂) in trajnostna naravnost (npr. zmanjšanje rabe energije, morebitna daljša življenjska doba).

»Ta stran je namenoma prazna.«

VIRI

- [1] Ge, H., McClung, V. R., Zhang, S. 2013. Energy and Buildings. Impact of balcony thermal bridges on the overall thermal performance of multi-unit residential buildings: A case study: 163-173.
- [2] Dikarev. K., Berezyuk. A., Kuzmenko. O., Skokova. A. 2016. Energy Procedia. Experimental and numerical thermal analysis of joint connection «floor slab – balcony slabe» with integrated thermal break: 184-192.
- [3] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 0071-101/2009.
- [4] Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Uradni list RS št. 0071-101/2009.
- [5] SIST EN ISO 6946:2017. Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods (ISO 6946:2017).
- [6] THERM. Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling. University of California. Lawrence Berkeley National Laboratory.
<https://windows.lbl.gov/software/therm> (Pridobljeno 1. 10. 2020.)
- [7] SIST EN ISO 10211:2017. Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations (ISO 10211:2017).
- [8] Pajek, B. 2020. Cene materiala in izvedbe toplotne izolacije. Osebna komunikacija. (7. 12. 2020)
- [9] Temperaturni primanjkljaj in presežek ter kurilna sezona 1961-2021.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_variable/cooling-heating-degree-days.txt (Pridobljeno 3. 3. 2021.)
- [10] Temperaturni primanjkljaj.
<http://www.energetska-izkaznica.si/energetska-ucinkovitost/temperaturni-primanjkljaj/>
(Pridobljeno 19. 3. 2021.)
- [11] Ministerstvo za infrastrukturo. Portal energetika. Cene energentov.
<https://www.energetika-portal.si/statistika/> (Pridobljeno 19. 3. 2021.)
- [12] Toplotni izkoristki ogrevalnih sistemov
<https://deloindom.delo.si/viri-energije/ogrevanje-gibanje-cen-energentov-ogrevalnih-sistemov>
(Pridobljeno 19. 3. 2021.)
- [13] Uredba o določitvi modelov vrednotenja nepremičnin. Priloga 2: MODEL VREDNOTENJA ZA HIŠE (HIS). Uradni list RS št. 00719-7/2020.

- [14] Šošo, L. 2011. Primerjalna analiza pristopov ocenjevanja učinkovitosti javno-zasebnih partnerstev. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta (samozaložba L. Šošo)

- [15] Košir. M., Potočnik. J., Pajek. L. 2018. International Journal of Sustainable Development and Planning. Impact of RCP4.5 climate change scenario on the bioclimatic potential of six selected European locations: 1090-1102