

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:

Kralj Dušević, T., 2016. Toplotna izolacija pod temeljno ploščo in vpliv zmrzali. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kunič, R., somentorica Dovjak, M.): 83 str.

Datum arhiviranja: 13-07-2016

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:

Kralj Dušević, T., 2016. Toplotna izolacija pod temeljno ploščo in vpliv zmrzali. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kunič, R., co-supervisor Dovjak, M.): 83 pp.

Archiving Date: 13-07-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidatka:

TEA KRALJ DUŠEVIČ

**TOPLOTNA IZOLACIJA POD TEMELJNO PLOŠČO IN
VPLIV ZMRZALI**

Diplomska naloga št.: 3467/KS

**THERMAL INSULATION UNDER FOUNDATION SLAB
AND THE IMPACT OF FROST**

Graduation thesis No.: 3467/KS

Mentor:

doc. dr. Roman Kunič

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 30. 06. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Ta stran je namenoma prazna.

IZJAVE

Spodaj podpisana študentka Tea Kralj Dušević, vpisna številka 26104113, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »TOPLOTNA IZOLACIJA POD TEMELJNO PLOŠČO IN VPLIV ZMRZALI«

IZJAVLJAM

1) *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
- 2) da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
 - 3) da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in sem jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;
 - 4) da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
 - 5) soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
 - 6) da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
 - 7) da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V Ljubljani, 10.06.2016

Podpis študentke:

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	699.86:624.073(043.2)
Avtor:	Tea Kralj Dušević
Mentor:	doc. dr. Roman Kunič
Somentorica:	doc. dr. Mateja Dovjak
Naslov:	Toplotna izolacija pod temeljno ploščo in vpliv zmrzali
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	83 str., 5 pregl., 43 sl., 3 graf.
Ključne besede:	toplotna izolacija, temeljna plošča, zmrzal, računalniški program Therm

Izvleček

Dandanes je vse bolj v središču vpliv na okolje in temu se mora podrediti tudi gradbeni sektor. Energetska varčna gradnja bo edina možna gradnja po letu 2020. S tem ukrepom se bo zmanjšala poraba energije in razbremenilo okolje.

Toplotni mostovi predstavljajo dobršen del toplotnih izgub. V diplomskem delu je predstavljena toplotna izguba preko temeljnih tal, saj se za energetske učinkovite stavbe pojavi potreba po celovitem toplotnem ovoju stavbe, s ciljem zagotavljanja stavb brez izrazitega vpliva toplotnih mostov. V zimskih mesecih pa svoj delež doprinese tudi zmrzal, ki ob nepravilni gradnji in neprimerni uporabi zaščit povzroča poškodbe temeljnih tal. Diplomska naloga orisuje nove rešitve in materiale vezane na stik temeljne plošče z zunanjo steno. Natančnejša analiza toplotnih mostov je predstavljena z računalniškim orodjem THERM 7.4, ki temelji na analiziranju problemov z metodo končnih elementov.

Ta stran je namenoma prazna.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	699.86:624.073(043.2)
Author:	Tea Kralj Dušević
Supervisor:	Assist. Prof. Roman Kunič, Ph. D.
Co-supervisor:	Assist. Mateja Dovjak, Ph. D.
Title:	Thermal Insulation under Foundation Slab and the Impact of Frost
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	83 p., 5 tab, 43 fig., 3 graph.
Keywords:	thermal insulation, foundation slab, impact of frost, computer program Therm

Abstract

Nowadays we have increasingly important impact on the environment. That can be significantly improved by changing the way constructions are designed and built. After 2020 energy efficient constructions will be the only proper way of designing new constructions.

Thermal bridging represents significant part of heat loss in building envelope. For energy efficient construction, we need building envelope that insures thermal and energy performance. The thesis illustrates thermal loses through foundation slab due to poorly designed and executed details. Nevertheless, we cannot forget the negative impact of frost on foundation slab in winter time, which can produce serious construction damages. To that end the thesis presents findings of new solutions and materials for structural assembly of foundation slab with external wall. For more detailed calculations of thermal bridges, THERM 7.4 software was used, which is based on the finite-element and can model the complicated geometries of building products.

Ta stran je namenoma prazna.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Romanu Kuniču za usmerjanje in pomoč pri diplomski nalogi.

Ravno tako se zahvaljujem študijskim kolegom, ki so mi polepšali in olajšali premagovanje študijske poti.

Posebna zahvala pa je namenjena vsem mojim bližnjim, posebej staršema in možu Filipu, za vso podporo in potrpežljivost, ki sem je bila deležna ves čas študija. Hvala, da ste verjeli vame.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE

Izjave	III
Bibliografsko–dokumentacijska stran in izvleček	V
Bibliographic–documentalistic information and abstract	VII
Zahvala	IX
1 UVOD	1
1.1 Energijsko varčna gradnja	1
1.2 Namen in cilji	2
2 ZAKONODAJA	3
2.1 Uredba »20/20/20« in »2030«	3
2.2 PURES 2010	4
2.3 Tehnična smernica za graditev TSG–1–004:2010 Učinkovita raba energije	4
2.4 Standard ISO 13793:2001	4
3 TOPLOTNA ZAŠČITA	5
3.1 Kondukcija ali prevod toplote	5
3.2 Konvekcija ali prestop toplote	8
3.3 Radiacija ali sevanje	9
3.4 Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop	10
3.4.1 Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah v stiku s tlemi	11
4 TOPLOTNI MOST	15
4.1 Definicija toplotnega mostu	15
4.2 Vrste toplotnih mostov	15
4.2.1 Konvekcijski toplotni mostovi	15
4.2.2 Geometrijski toplotni mostovi	15
4.2.3 Konstrukcijski ali materialni toplotni mostovi	16
4.3 Križanja	17
4.4 Vpliv na kakovost bivalnega okolja	18
5 TEMELJENJE	20
5.1 Vrste temeljev	21
5.1.1 Plitvo temeljenje	21
5.1.2 Globoko temeljenje	22
5.2 Globina temeljenja	22
5.2.1 Globina zmrzovanja	22
5.2.2 Vzrok zmrzali	23
5.2.3 Občutljivost zemljin na zmrzal	24
5.3 Poškodbe zaradi zmrzali in ukrepi	25
5.3.1 Posledice poškodb zaradi zmrzali v visokogradnjah in nedokončanih objektih	26
6 VRSTE TOPLOTNIH IZOLACIJ POD TEMELJNO PLOŠČO	29
6.1 Plošče XPS	30
6.1.1 Tehnične lastnosti plošč XPS	31
6.1.2 Vpliv potresa	32
6.2 Penjeno steklo	35
6.2.1 Tehnične lastnosti penjenega stekla	37

7	UKREPI KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV ZA ODPRAVO TOPLOTNEGA MOSTU NA PODROČJU TEMELJENJA	42
7.1	Temeljna plošča, izolirana s spodnje strani, mokri estrih	42
7.2	Temeljna plošča, izolirana z zgornje strani, mokri estrih	44
8	PODATKI IN IZHODIŠČA	47
8.1	Uporabljeni programsko orodje	47
8.2	Obseg analize	47
8.3	Vhodni podatki za program THERM	48
8.4	Izhodiščni model in možne rešitve, uporabljene pri analizi obravnavanega toplotnega mostu	49
8.4.1	Stik temeljna plošča–zunanja stena	49
8.4.2	Uporaba vertikalne in horizontalne toplotne izolacije XPS po obodu temeljne plošče	51
8.4.3	Uporaba toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo	53
8.4.4	Uporaba toplotne izolacije penjenega stekla	55
9	REZULTATI ANALIZE TOPLOTNIH MOSTOV	57
9.1	Izračun stika temeljne plošče pod toplotno izolacijo in zunanje stene	57
9.1.1	Izhodiščni primer – toplotna izolacija je nad temeljno ploščo	57
9.1.2	Horizontalna in vertikalna toplotna izolacija – različna dolžina	59
9.1.3	Horizontalna in vertikalna toplotna izolacija – različna debelina	62
9.2	Izračun stika temeljne plošče nad XPS-toplotno izolacijo in zunanjo steno	65
9.2.1	Izhodiščni primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo pod temeljno ploščo	65
9.2.2	Primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo XPS pod temeljno ploščo – različna dolžina	67
9.2.3	Primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo pod temeljno ploščo – različna debelina	69
9.3	Izračun stika temeljne plošče nad penjenim steklom in zunanjo steno	72
9.3.1	Primer s toplotne izolacije penjenega stekla pod temeljno ploščo	73
9.4	Primer obravnavanih primerov z dodatno toplotno izolacijo nad temeljno ploščo	74
10	ZAKLJUČEK	77
VIRI		80

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Osnovni meteorološki podatki, ki so pomembni pri določanju toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcij v stiku z zemljino. Vir: Medved, 2010, str. 51.	11
Preglednica 2: Pregled lastnosti granulata penjenega stekla [33].	39
Preglednica 3: Vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu za posamezni detajl iz kataloga [39].	44
Preglednica 4: Vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu za posamezni detajl iz kataloga [39].	46
Preglednica 5: Materialne karakteristike konstrukcijskih sklopov.	48

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Ocena občutljivosti na zmrzal v odvisnosti glede na porazdelitev velikosti zrn v zemljini. Vir: EN ISO 13793:2001, str. 41.	25
Grafikon 2: Toplotna prevodnost kompaktnega agregata penjenega stekla kot funkcija vsebnosti vlage [33].	40
Grafikon 3: Tlačna napetost je bil merjen v skladu z EN 826. Pri 10% deformaciji je bila tlačna napetost 670 kPa [33].	41

KAZALO SLIK

Slika 1:	Prikazan je način delovanja geometrijskega toplotnega mostu na vogalu zunanje stene, kjer je označena smer toplotnega toka. Vir: Zbašnik, str. 1.	16
Slika 2:	Primer konstrukcijskega toplotnega mostu. Vir: ZRMK, str. 1.	16
Slika 3:	Primer izrazitega kombiniranega toplotnega mostu. Vir: ZRMK, str. 2.	17
Slika 4:	Vrste plitvih temeljev. Vir: Grobovšek, ZRMK.	21
Slika 5:	Posledice dvigovanja zaradi zmrzali. Vir: Grundbau, Simmer, str. 29.	26
Slika 6:	Posledica dvigovanja tal zaradi zmrzali pri nedokončanem objektu. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.	27
Slika 7:	Pravilna izvedba vhoda v klet. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.	28
Slika 8:	Pravilna izvedba vhoda oz. dovoza v garažno klet. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.	28
Slika 9:	Shematična razdelitev toplotnoizolacijskih materialov [29].	30
Slika 10:	Obnašanje (toge) stavbe na podajni podlagi (npr. XPS) (zgoraj) in napetosti v XPS-u pod temeljno ploščo tlorisnih dimenzij 8 x 14 m v odvisnosti od števila etaž pri $ag = 0,25$ g in tleh A (spodaj) [41].	33
Slika 11:	Korigirani detajl izvedbe toplotno-izolativnega ovoja zgradbe na stiku stena–tla z dodatno potresno varovalko [40].	35
Slika 12:	Izhod iz peči pri proizvodnji penjenega stekla. Ekspandiran monolit se ohlaja z 900 °C na sobno temperaturo [33].	36
Slika 13:	Primerjava konstrukcijskega sklopa tal na konvencionalen način s konvencionalnimi toplotnimi izolacijami ter s konsolidiranim agregatom penjenega stekla [33].	37
Slika 14:	(a) Granulat penjenega stekla v zunanjem skladišču takoj po proizvodnji, in (b) zrno penjenega stekla po proizvodnji. Spužvasti videz penjenega stekla je viden s prostim očesom. Penjeno steklo ima zaprto poro celično strukturo [33].	38
Slika 15:	Odvzem vzorcev penjenega stekla (a) lociran na zunanji strani hiše pod temeljno ploščo in (b) iz lukenj lociranih v centru temeljne plošče [33].	40
Slika 16:	Detajli temeljne plošče izolirane s spodnje strani iz kataloga [39].	43
Slika 17:	Detajli temeljne plošče izolirane z zgornje strani iz kataloga [39].	45
Slika 18:	Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena kot model za računalniški program THERM brez obodne toplotne izolacije.	50
Slika 19:	Širina talne toplotne izolacije po obodu temeljne plošče [11].	51
Slika 20:	Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena z obodno toplotno izolacijo.	52
Slika 21:	Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena, z enoslojno XPS-toplotno izolacijo pod temeljno ploščo. (Fibran NORD, d.o.o.)	53
Slika 22:	Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena, z dvoslojno XPS-toplotno izolacijo pod temeljno ploščo. (Fibran NORD, d.o.o.)	54
Slika 23:	Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena s toplotno izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo.	55
Slika 24:	Termografska skica izračuna za izhodiščni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	58

Slika 25: Prikaz pojava ravnine rosišča izhodiščnega primera.	58
Slika 26: Potek povečanega toplotnega toka za izhodiščni primer.	59
Slika 27: Termografska skica izračuna za obodno horizontalno izolacijo dolžin 50 cm, 100 cm, 120 cm in 140 cm, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	61
Slika 28: Prikaz pojava ravnine rosišča pri dolžini 50 cm (levo) in 100 cm (desno).	61
Slika 29: Potek povečanega toplotnega toka za horizontalne obodne toplotne izolacije različnih dolžin.	62
Slika 30: Termografska skica izračuna za obodno horizontalno izolacijo debelin 10 cm, 12 cm, 14cm in 15 cm, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	64
Slika 31: Potek povečanega toplotnega toka za obodno horizontalno izolacijo različnih debelin.	64
Slika 32: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer XPS-toplotne izolacije pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	66
Slika 33: Potek povečanega toplotnega toka za izhodiščni primer XPS-toplotne izolacije pod temeljno ploščo.	66
Slika 34: Termografska skica izračuna za enojno XPS pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	67
Slika 35: Termografska skica izračuna za dvojno XPS pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	68
Slika 36: Potek povečanega toplotnega toka za različne dolžine horizontalne obodne izolacije za primer enojne in dvojne toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo.	69
Slika 37: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	70
Slika 38: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	71
Slika 39: Potek povečanega toplotnega toka za različne debeline obodne izolacije za primer enojne in dvojne toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo.	72
Slika 40: Termografska skica izračuna izolacije s penjenim steklom pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	73
Slika 41: Potek povečanega toplotnega toka za izolacijo s penjenim steklom pod temeljno ploščo.	73
Slika 42: Termografska skica izračuna za enoslojno in dvoslojno XPS-izolacijo in izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).	75
Slika 43: Potek povečanega toplotnega toka za enoslojno in dvoslojno XPS-izolacijo in izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo.	76

1 UVOD

Dandanes se čedalje bolj soočamo s svetovnim vprašanjem okoljevarstvene problematike. Izčrpavanje energetskih virov, koriščenje naftnih derivatov tako v industriji kot v vsakdanjem življenju je namreč skozi desetletja povzročil škodljivi toplogredni učinek. Različni sektorji, med njimi tudi gradbeništvo, so se soočili s problemom ter ga pričeli reševati. Gradbeni sektor v Evropski uniji (EU) predstavlja 40 odstotkov celotne rabe energije [3]. Zato predstavlja enega večjih členov v vplivu na okolje. Nova miselnost osvaja gradbeništvo, v ospredje postavlja trajnostno in okolju prijazno gradnjo. Pri tem se odkriva materiale, ki pripomorejo k zmanjšani porabi energetskih virov, tako pri njihovi izdelavi kot pri vgradnji in opravljanju naloge v stavbi. S tem ohranjajo okolje in povečujejo ekonomičnost gradnje in vzdrževanje stavbe, skozi njeno celotno življenjsko obdobje.

Direktiva (z dne 19. maja 2010) 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Evropskega sveta o energetski učinkovitosti stavb v 15. členu pravi, da »stavbe vplivajo na dolgoročno porabo energije. Zaradi dolgega časovnega obdobja med prenovami obstoječih stavb bi morale nove stavbe in obstoječe stavbe, na katerih poteka večja prenova, izpolnjevati minimalne zahteve glede energetske učinkovitosti, prilagojene klimatskih razmeram.«

Pri tem je v ospredje stopila vloga toplotne izolacije, saj z minimalnim začetnim vložkom pri novogradnjah in sanacijah starejših objektov, močno vpliva na zmanjševanje stroškov pri ogrevanju oz. hlajenju stavb. Tako je investicija v toplotno izolacijo pri čedalje višjih cenah energentov smotrna [7].

1.1 Energijsko varčna gradnja

Velik potencial k razbremenjevanju okolja v prihodnosti predstavlja gradbeni sektor. Zato se je pokazala potreba po stavbah, ki imajo zmanjšan odtis toplogrednih plinov v okolje na račun manjše letne porabe energentov (npr. kurilnega olja) na kvadratni meter ogrevalne površine ali celo na račun izkoriščanja obnovljivih virov energije.

Dandanes se na trgu pojavljajo ponudbe ali celo končni proizvodi, za katere se neupravičeno koristi samo izraz pasivna hiša. Zato je smotrno razjasniti definicije različnih konceptov energijsko varčne gradnje, ki so se razvila skozi zadnja desetletja.

1.2 Namen in cilji

Predstavila bom problem toplotnih izgub skozi temeljno ploščo nepodkletenega nizkoenergijskega objekta in dvig temeljev zaradi zmrzali. S toplotno izolacijo temeljev želimo zagotoviti neprekinjen ovoj zgradbe in posledično boljše bivalne pogoje, saj s tem izboljšamo lastnosti nizkoenergijskega objekta in posledično zminimaliziramo vplive na okolje, ki jih povzročata ogrevanje in ohlajevanje zgradbe skozi leto.

Z namenom, da bi proučili vpliv zmrzali na temelje, sem si zadala naslednje cilje:

- sistematično pregledati literaturo v iskalnih bibliografskih bazah Science Direkt in COBISS,
- pregledati veljavne zakonske in podzakonske pravne akte ter ustrezne evropske standarde,
- predstaviti teoretsko ozadje toplotne zaščite, toplotnega mostu ter vpliva zmrzali na temelje za boljše razumevanje obravnavanega problema,
- ugotoviti, kako položaj in tip toplotne izolacije vplivata na preprečevanje toplotnih mostov,
- pregledati in predstaviti razpoložljive toplotnoizolacijske materiale, ki se trenutno ponujajo na slovenskem trgu za primer izolacije temeljne plošče,
- na osnovi ugotovitev poiskati najboljšo rešitev izolacije temeljev za doseg neprekinjenega ovoja nizkoenergijske stavbe.

Hipoteze

Za celovit energijski ovoj nizkoenergijske stavbe je nujna toplotna izolacija temelja, da bi v čim večji meri zmanjšali toplotne mostove, hkrati pa rešitev ne sme negativno vplivati na potresno varnost stavbe, saj se Slovenija nahaja na potresno ogroženem področju.

Vpliv zmrzali povzroča dvig temeljev. Za preprečitev dviga je potrebna pravilna izbira toplotne izolacije in priprava temeljev.

2 ZAKONODAJA

Pri diplomski nalogi sem se opirala na direktive in uredbe Evropske unije ter sprejete standarde s področja gradbeništva in energetike, saj morajo biti do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj ničenergijske. Po 31. decembru 2018 morajo ista merila izpolnjevati nove stavbe, ki jih javni organi uporabljajo kot lastniki [1].

Pri načrtovanju tako nizkoenergijskih stavb kot tudi pri sanacijah obstoječih stavb moramo slediti Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah, Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30. 6. 2010, ali v PURES-u, ki je stopil v veljavo leta 2010, in v Tehnični smernici za graditev TSG-1-004:2010, saj s tem zagotovimo cilje, ki jih določa Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Evropskega sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev) – EPBD-r. Uradni list Evropske unije, 18. 6. 2010 ali cilj »20/20/20« [3].

2.1 Uredba »20/20/20« in »2030«

Države članice Evropske unije (EU) so marca 2007 sprejele integriran pristop do podnebne in energetske politike s ciljem omejiti podnebne spremembe in povečati energetske varnost ob hkratnem povečanju konkurenčnosti EU. Zavezali so se k prehodu EU v visoko energetske učinkovito in nizkoogljično gospodarstvo. Junija 2009 je Evropska komisija sprejela t. i. podnebno energetske zakonodajni paket ali uredbo »20/20/20« z dosego spodaj omenjenih ciljev, ki naj bi jih dosegli do leta 2020:

- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za vsaj 20 % do leta 2020 glede na leto 1990,
- delež obnovljivih virov v končni rabi energije do leta 2020 mora znašati 20 %,
- zmanjšanje rabe primarne energije za 20 % do leta 2020 glede na pričakovano raven skozi izboljšanje energetske učinkovitosti (Služba vlade RS za podnebne spremembe, 2010) [3] in [21].

Oktober 2014 pa je bil dodan Okvir podnebne in energetske politike do leta 2030, v katerem so povečali energetske prihranke na 27 % ali več. Sprejeli so dosego ciljev do leta 2030:

- zmanjšanje emisij toplogrednih plinov za vsaj 40 % do leta 2030 glede na leto 1990,
- delež obnovljivih virov v končni rabi energije do leta 2030 mora znašati 27 %,
- zmanjšanje rabe primarne energije za 27 % do leta 2030 glede na pričakovano raven, skozi izboljšanje energetske učinkovitosti [22].

2.2 PURES 2010

Gradbeni predpis, ki za stavbe podrobneje opredeljuje bistveno zahtevo, t. j. varčevanje z energijo in ohranjanje toplotne, je Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah.

1. člen, ki govori o vsebini pravilnika, pravi, da »določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (točka 1 prvega odstavka 1. člena)« [5].

Dokument moramo v obravnavati skupaj s Tehnično smernico za graditev TSG–1–004:2010.

2.3 Tehnična smernica za graditev TSG–1–004:2010 Učinkovita raba energije

V Zakonu o graditvi objektov je v točki 3.2 prvega odstavka 2. člena tehnična smernica za graditev opredeljena kot »dokument, s katerim se za določeno vrsto objekta uredijo natančnejša opredelitev bistvenih zahtev, pogoji za projektiranje, izbrane ravni oziroma razredi gradbenih proizvodov oziroma materialov, ki se smejo vgrajevati, ter načini njihove vgradnje in način izvajanja gradnje z namenom, da se zagotovi zanesljivost objekta ves čas njegove življenjske dobe, kadar je to primerno, pa tudi postopki, po katerih je mogoče ugotoviti, ali so takšne zahteve izpolnjene« [19].

V PURES-u je v poglavju pravilnika, ki določa način izpolnjevanja predpisanih zahtev, o tehnični smernici opredeljeno, da določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za dosego zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna [5].

2.4 Standard ISO 13793:2001

Problem, ki je predstavljen v diplomski nalogi, zadeva temo zmrzovanja zemljine in posledično dvigovanja temeljev nepodkletenega objekta. Ta problem je predstavljen v standardu ISO 13793:2001.

3 TOPLOTNA ZAŠČITA

Da bi razumeli, kako toplota prehaja skozi ovoj zgradbe, to je v našem primeru skozi temelje, moramo naprej razložiti fizikalne procese, ki so pri tem prisotni.

Fizikalni procesi, ki omogočajo prevajanje (kondukcijo) toplote v snovi, so trki med molekulami in atomi snovi. Pri prenosu toplote, pri katerem je prevajanje samo eden od mehanizmov, moramo to ugotovitev dopolniti še s spoznanjem, da se toplota v kapljevinah in plinih lahko prenaša z enega mesta na drugo tudi z makroskopskim gibanjem snovi. Takrat govorimo o naravni ali prisilni (vsiljeni) konvekciji. Pomemben način prenosa toplote je tudi sevanje segretyh teles, pri katerem se toplota prenaša z elektromagnetnim valovanjem (sevanjem ali radiacijo). V praksi vsi trije načini prenosa toplote velikokrat nastopajo hkrati [10].

Za boljše razumevanje prehoda toplote skozi konstrukcijske sklope in zemljino sem to temo predstavila v tem poglavju in s tem ustvarila podlago za obrazložitev in primerjavo različnih toplotnih materialov za izolacijo na nivoju temelja.

Toplota prehaja skozi konstrukcijske sklope s kondukcijo, konvekcijo in radiacijo.

9. člen Tehnične smernice pravi, da s toplotno zaščito površine toplotnega ovoja stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja je treba:

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

Toplotna prehodnost elementov zunanje površine stavbe in ločilnih elementov delov stavbe z različnimi režimi notranjega toplotnega ugodja ne sme presegati vrednosti, ki so podane smernici. Tako pravi, da za tla na terenu, kar ne zajema industrijske stavbe, ne sme presegati $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ [19].

3.1 Kondukcija ali prevod toplote

Prevod toplote je pojav oziroma mehanizem prenosa energije med mikroskopskimi gradniki snovi, atomi in molekulami. Proces ni kemijska ali jedrska reakcija, temveč je odvisen od agregatnega stanja in mikroskopske strukture snovi. Njihova notranja energija je merilo za količino energije, ki se prenese

med mikroskopskimi delci snovi. Odvisna je od temperature in povprečne razdalje med molekulami oz. gostote snovi [9].

Osnovno značilnost prevajanja toplote vsebuje drugi zakon termodinamike, ki ga opišemo: toplota teče sama od sebe od mesta z višjo temperaturo k mestu z nižjo temperaturo v vseh prostorskih smereh [10]. Porazdelitev temperature v snovi opredelimo tako, da za vsako točko r povemo vrednost temperature in njeno odvisnost od časa (t). Poenostavimo in vzemimo, da je temperatura odvisna le od koordinate x in časa t , to je $T = T(x,t)$.

Toplotni tok $P(x,t)$ je definiran kot množina toplote, ki se v časovni enoti prenese skozi prečni presek palice v oddaljenosti x v trenutku t . Toplota je označena s črko Q .

$$P(x,t) = \frac{dQ}{dt} \quad (1)$$

Zakon o prevajanju toplote nam pove, da je toplotni tok tem večji, čim večji je prečni presek palice in čim večji je temperaturni gradient $\delta T / \delta x$ na izbranem mestu. Temperaturno razliko na določeni razdalji in določeni smeri v snovi imenujemo temperaturni gradient.

Prenos toplote s prevodom v snovi ovrednotimo s toplotno prevodnostjo λ snovi. Toplotna prevodnost je definirana s toplotnim tokom Q (W), ki prehaja skozi 1 m debel sloj pri temperaturni razliki na mejah sloja 1 K. Pove nam, kako dobro določena snov prevaja toploto. Enota toplotne prevodnosti je W/mK. Če temperaturne razlike niso prevelike, lahko temperaturno odvisnost toplotne prevodnosti zanemarimo in jo obravnavamo kot konstanto.

$$P = -\lambda S \frac{\delta T}{\delta x} \quad (2)$$

Negativni predznak opozarja, da toplota teče v smeri pojemanja temperature. Koristna količina je tudi gostota toplotnega toka q , ki ga merimo v enoti W/m².

$$q_x = \frac{P}{S} = -\lambda \frac{\delta T}{\delta x} \quad (3)$$

Da določimo toplotni tok pri stacionarnem stanju, vzamemo homogeno palico dolžine l in s stalnim prečnim presekom S . Temperatura na obeh koncih palice je stalna, in sicer naj velja, da je temperatura na enem koncu T_1 , na drugem pa $T_2 < T_1$. Toplotna prevodnost je v splošnem odvisna od temperature, a če razlika med temperaturama ni prevelika, potem lahko rečemo, da je λ konstantna vzdolž palice [10].

Koordinatno os x usmerimo vzdolž palice, koordinatno izhodišče pa postavimo na konec palice s temperaturo T_1 . Zaradi stalnih temperatur na koncih palice, se v palici sčasoma ustvari stacionarno stanje, za katerega je značilno, da je temperatura v palici odvisna le od koordinate x , ne pa od časa t , tako da velja $T = T(x)$, $T(0) = T_1$, $T(l) = T_2$ [10]. Toplotni tok, ki teče skozi palico, zapišemo z enačbo (2) in je neodvisen od koordinate x .

$$P \equiv q S = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

To sledi iz predpostavke, da je temperatura v palici neodvisna od časa, kar pomeni, da se toplota nikjer ne kopiči niti ne izgublja.

Če vzamemo, da se temperatura v palici spreminja s časom, enačbo (4) integriramo ter upoštevamo robni pogoj $T(x = 0) \equiv T(0) = T_1$.

$$T(x) = T_1 - \frac{P}{\lambda S} x \quad (5)$$

Rezultat nam pove, da temperatura v palici v stacionarnem stanju pojenja linearno v smeri toplotnega toka. Toplotni tok skozi palico lahko zapišemo, pri upoštevanju drugega robnega pogoja $T(x = l) \equiv T(l) = T_2$, kot

$$P = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{l} \quad \text{ali} \quad (6)$$
$$P = S U (T_1 - T_2) = \frac{T_1 - T_2}{\frac{l}{\lambda S}} \equiv \frac{T_1 - T_2}{R}$$

Enačba gostote toplotnega toka, se lahko še dodatno poenostavi ob predpostavki da je telo homogeno in izotropno. Izotropno pomeni, da material prevaja toploto v vse smeri enako.

$$q_{\text{kondukcije}} = \lambda \frac{\Delta T}{l} \quad [\text{W/m}^2] \quad (7)$$

Toplotno upornost palice smo definirali kot

$$R = \frac{l}{\lambda S} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (8)$$

in njeno toplotno prepustnost

$$U = \frac{\lambda}{l} = \frac{1}{R S}. \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9)$$

Običajna enota za toplotno prepustnost U sledi iz definicije in je $\text{W/m}^2\text{K}$, kar pomeni, da če je toplotna prepustnost palice $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, da skozi vsak m^2 prečnega preseka teče toplotni tok $2,5 \text{ W}$, kadar je med njenima koncema temperaturna razlika 1 K . Podobno sledi enota za toplotno upornost iz definicije in je K/W . Torej, če imamo toplotno upornost palice npr. 15 K/W , pomeni, da teče skozi palico toplotni tok 1 W , če je med njenima koncema temperaturna razlika 15 K [10].

3.2 Konvekcija ali prestop toplote

Prestop toplote je mehanizem prenosa energije, ki združuje dva pojava: prenos energije z naključnimi trki molekul in prenos energije s skupnim gibanjem velikih skupin molekul, ki predstavljajo delce homogene snovi. Gibanje delcev snovi je mogoče le v tekočinah, zato je prestop toplote možen le med trdnim telesom in tekočino ali kapljevino in plinom. Učinka obeh mehanizmov, to je naključnega trka molekul na mikroskopskem nivoju in gibanja snovi na makroskopskem nivoju, se seštevata ter nosita skupni naziv konvekcija, celotni mehanizem pa se imenuje prestop toplote.

Imamo dve vrsti konvekcije: naravno in prisilno.

O naravni konvekciji govorimo, ko je gibanje tekočine le posledica temperaturnega gradienta, torej je gibanje tekočine posledica toplotnega ali naravnega vzgona. Za večino tekočin velja, da se njihova gostota spreminja s temperaturo, torej imajo pri višji temperaturi nižjo gostoto. Delček snovi z višjo temperaturo je od svoje okolice lažji in se tako v tekočini dviguje vzgonsko. Ko pa je gibanje tekočine posledica zunanjega vpliva (veter, ventilator, črpalka), pa govorimo o prisilni konvekciji [9].

Toplotna prestopnost α se vpelje zaradi nezmožnosti izračuna toplotnega upora pri konvekciji in radiaciji, kjer vzamemo na notranji steni prosto konvekcijo, na zunanji pa prisilno.

Toplotni tok, ki prestopa s konvekcijo na prenosni površini, zapišemo z Newtonovim zakonom hlajenja. Predpostavimo, da infinitezimalno majhen delček tekočine tik ob prenosni površini miruje in se zato toplota prenaša vanj le s prevodom, a v vsaki točki prenosne površine drugače. Njegova enota je W/m^2 . Njegovo smer opredeljuje razlika temperatur, torej če je $\Theta_{se} > \Theta_0$, toplotni tok prehaja s prenosne površine v tekočino in obratno.

$$q_{konvekcije} = \alpha_k (T_{se} - T_{n,z}) \quad [\text{W/m}^2] \quad (10)$$

kjer je

α_k povprečna konvektivna toplotna prestopnost v [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]

T_{se} temperatura stene v [K]

$T_{n,z}$ temperatura notri/zunaj v [K].

Koeficient toplotne prestopnosti je odvisen od veliko dejavnikov in se je zaradi njene kompleksnosti določa z eksperimenti in numeričnimi metodami. Iz njih dobimo Nusseltovo brezdimenzijsko število N_u , s katerim lahko določimo koeficient toplotne prestopnosti pri naravni in prisilni konvekciji.

3.3 Radiacija ali sevanje

Termično (radiacijsko) sevanje je pojav, pri katerem vsa segreta telesa nad nič stopinj Kelvina, zaradi termičnega gibanja v sami snovi oddajajo energijo v obliki elektromagnetnega valovanja.

Gostota energijskega toka za realna telesa je zapisana kot

$$q_r = \alpha_{radiacije} (T_{si} - T_{z,n}) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (11)$$

kjer so

α_r koeficient sevalne toplotne prestopnosti v [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]

T_{si} temperatura stene v [K]

$T_{z,n}$ temperatura zunaj/notri v [K].

Toplotna prestopnost radiacije pa je podana kot

$$\alpha_r = 4 \varepsilon \sigma T_m^3 \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (12)$$

kjer so

ε emisivnost stene

σ Štefanova konstanta; $5,67 \times 10^{-8}$ v [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$],

T_m povprečje zunanje/notranje temperature in površinske temperature stene v [K].

3.4 Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop

Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah je posledica različnih mehanizmov prenosa toplote, ki smo jih opisali v zgornjih poglavjih. Toplotna prevodnost snovi pa je odvisna tudi od emisivnosti površine vlaken. Poleg snovnih lastnosti gradbenih snovi na prenos toplote v gradbeni konstrukciji vplivata stanji zunanega in notranjega okolja, ki ju opredeljujemo s fizikalnimi veličinami. V zunanjem okolju sta to temperatura in vlažnost zraka, smer in jakost vetra, kratkovalovno sevanje na površino gradbene konstrukcije, dolgovalovno sevanje, ki ga zunanja površina gradbene konstrukcije izmenjuje z okoljem. V notranjem okolju pa temperatura, vlažnost in hitrost gibanja zraka ter dolgovalovno sevanje med gradbenimi konstrukcijami in toplotni viri v prostoru.

V večini primerov lahko privzamemo, da se snovne lastnosti gradbenih snovi ne spreminjajo s časom, razen snovi, ki se jim pri dovodu in odvodu toplote spreminja agregatno stanje, to ne velja za stanji zunanega in notranjega okolja. Zato pri vrednotenju prenosa toplote v gradbenih konstrukcijah ločimo:

- stacionaren ali časovno neodvisen prenos toplote, ki se pojavi ob nespremenjenem stanju notranjega in zunanega okolja s časom, pri tem se toplotni tok, ki prehaja na gradbeno konstrukcijo in temperature v kateremkoli delu gradbene konstrukcije časovno ne spreminjajo, nastane teoretično stanje, kateremu se lahko v laboratoriju le približamo,
- prenos toplote pri kvazistacionarnih ali navidezno stalnih parametrih zunanega in notranjega okolja predstavlja sprejemljiv približek stacionarnemu stanju, fizikalne veličine stanja razvrstimo glede na njihov vpliv na prehod toplote in za najvplivnejše opredelimo spremenljivo odstopanje od povprečne vrednosti v izbranem časovnem obdobju,
- nestacionarni ali časovno odvisni prenos toplote je posledica stalnega spreminjanja stanja zunanega in notranjega okolja, pri analizah prehoda toplote časovno odvisne vrednosti fizikalnih spremenljivk zunanega in notranjega okolja aproksimiramo z analitično funkcijo.

Ker se toplota v gradbenih konstrukcijah spreminja s časom, pravimo da je zato prenos nestacionaren. Da bi preverili toplotno izolativnost konstrukcij je dovolj, če preverimo prehod toplote v časovno stacionarnem stanju. V tem primeru je najpomembnejša lastnost gradbene konstrukcije njena toplotna prepustnost U [W/m^2K] [9].

Glede na posebnosti pri prenosu toplote na gradbenih konstrukcijah te delimo na:

- homogene,
- enostavno homogene,

- konstrukcije z zaprto rego z zrakom ali plinom,
- konstrukcije z odprto ali prezračevano rego,
- ozelenele gradbene konstrukcije,
- konstrukcije v stiku s tlemi.

Pobljže si bomo ogledali konstrukcije v stiku s tlemi, saj le-te zadeva tema diplomske naloge. Enostavne metode so povzete po standardu SIST EN ISO 6946:2008.

3.4.1 Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah v stiku s tlemi

Temperatura tal se preko leta spreminja mnogo manj kakor temperatura ozračja. V suhih tleh zaznamo časovno spreminjanje temperature tal do globine nekaj deset metrov (v večini primerov do 20 m pod površjem). Vpliv temperature do teh globin je posledica absorpciranja sončnega sevanja na površini tal in periodičnega spreminjanja temperature zraka. Predpostavimo lahko, da sta periodični s periodo enega leta. V globini pod 50 m se temperatura zemljine zvišuje zaradi geotermalnega toka, ki prehaja iz jedra Zemlje proti površju. Tu se temperatura tal s časom praktično ne spreminja. Stavbe so zgrajene bodisi na površini tal ali vkopane do nekaj 10 m pod površjem.

Uporabimo računski model, ki temelji na treh meteoroloških podatkih:

- povprečni letni temperaturi okoliškega zraka c ,
- amplitudi spreminjanja temperature zraka prek leta A_e ($^{\circ}\text{C}$), amplituda je polovična razlika med najvišjo in najnižjo temperaturo okoliškega zraka v letu, ki so prikazane v preglednici 1,
- število dni Δn od 1. januarja do dneva, ko je izmerjena najnižja letna temperatura zraka.

Preglednica 1: Osnovni meteorološki podatki, ki so pomembni pri določanju toplotne prehodnosti gradbenih konstrukcij v stiku z zemljino. Vir: Medved, 2010, str. 51.

Podnebje	TP	Te,p	Te	Ae	Te,p
	[Kdan]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[$^{\circ}\text{C}$]	[dni]
	Temperaturni primanjkljaj	Projektna zimska temperatura	Povprečna letna temperatura	Amplituda spreminjanja temp. okolice	Št.dni najnižje izmerjene temp. zraka
Mediteransko	1880	-6	13,8	9,0	37
	2700	-12	10,8	9,5	37
Celinsko	2980	-18	9,7	10,5	35
	3200	-21	9,2	11,0	35
Alpsko	3500	-24	8,2	11,0	32

Snovne lastnosti zemljine, ki vplivajo na prenos toplote konstrukcijskega sklopa v stiku z zemljino, združuje toplotna difuznost a_z . Opredeljuje razmerje med toplotno prevodnostjo zemljine λ_z in zmožnostjo shranjevanja toplote, ki je odvisna od gostote ρ_z in specifične toplote $c_{p,z}$ zemlje.

$$a_z = \frac{\lambda_z}{\rho_z c_{p,z}} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (13)$$

Povprečno dnevno temperaturo zemljine na globini Z (m) v poljubnem dnevu n določimo kot periodično funkcijo z izrazom:

$$T_{(Z,n)} = T_e - A_e e^K \quad [^\circ\text{C}] \quad (14)$$

$$K = -Z \left(\frac{\pi}{365 a_z^*} \right)^{\frac{1}{2}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} (n - \Delta n) - \frac{Z}{2} \left(\frac{365}{\pi a_z^*} \right)^{1/2} \right] \quad (15)$$

$$a_z^* = a_z \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \quad [\text{m}^2/\text{dan}] \quad (16)$$

kjer je

- T_e povprečna letna temperatura,
- A_e amplituda temperature zraka v okolici,
- K periodično spreminjanje amplitude A_e v periodi enega leta,
- a_z difuzivnost zemlje.

Toplotne izgube stavbe določamo na podlagi razlike temperature zraka v stavbi in okolici. Zato moramo pri izračunu toplotnih izgub gradbenih konstrukcij, ki so v stiku z zemljino upoštevati dodaten upor prevoda toplote iz stavbe skozi zemljino na zrak v okolici. To velja za konstrukcije na tleh ter vkopana tla in vkopane zidove, ki so del ogrevanega dela stavbe. Velik vpliv na toplotni tok, ki prehaja skozi gradbeno konstrukcijo v stiku z zemljino, ima velikost konstrukcije. Pri večjem objektu je vplivno področje (prostornina tal, v kateri se temperature spreminjajo in zato izoterme niso vzporedne) relativno manjše in so zato tudi toplotne izgube manjše.

Zato sta površina gradbene konstrukcije v stiku z zemljino A_p in obseg temeljev stavbe P pri vrednotenju prehoda toplote pomembna. Faktor oblike B' gradbene konstrukcije je enaka:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 P} \quad [\text{m}] \quad (17)$$

Za gradbene konstrukcije v stiku z zemljino je značilen nestacionaren prenos toplote, zato toplotne prehodnosti teh gradbenih konstrukcij nadomestimo s specifičnimi toplotnimi izgubami L_S [9].

3.4.1.1 Toplotna prehodnost U_p in koeficient specifičnih toplotnih izgub L_S konstrukcij v stiku s tlemi

$$d_p = w + \lambda_z (R_i + R_k + R_e) \quad (18)$$

kjer je

w debelina talne plošče v [m],

λ_z toplotna prevodnost zemlje v [W/mK],

R_i konvekcijski prestopnostni koeficient prehoda toplote na notranji strani v [m²K/W],

R_e konvekcijski prestopnostni koeficient prehoda toplote na zunanji strani v [m²K/W],

R_k toplotna izolacija gradbene konstrukcije v [m²K/W].

Pri izračunu R_k upoštevamo sloj toplotne izolacije, medtem ko lahko (ni pa nujno) betonsko ploščo in oblogo poda izpustimo. Torej imajo talne konstrukcije brez toplotne izolacije lahko R_k enako 0 m²K/W.

Toplotno prehodnost U_p določimo

$$U_p = \frac{2 \lambda_z}{\pi B' + d_p} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_p} + 1 \right) \quad \text{za } d_p < B' \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (19)$$

$$U_p = \frac{\lambda_z}{0,457 B' + d_p} \quad \text{za } d_p \geq B' \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (20)$$

Gradbene konstrukcije na zemljini imajo lahko toplotno zaščito položeno na delu površine, na primer vodoravno ob zunanjem robu talne plošče ali navpično ob temeljih. Za prehod toplote sta pomembni debelina d_n in širina D toplotne izolacije. Toplotno prehodnost gradbene konstrukcije U_p določimo z upoštevanjem korekcijskega faktorja linijskih toplotnih izgub ob robu plošče $\Delta \Psi$.

$$U_p^* = U_p + 2 \frac{\Delta \Psi}{B'} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (21)$$

Vidimo, da je primerna širina deljene toplotne izolacije D približno 2 m pri debelini toplotne izolacije d_n do 100 mm in do 3 m pri debelinah toplotne izolacije d_n 200 mm. Razumljivo je, da ima deljena

toplotna izolacija ob robu ali na temeljih večji vpliv, če talna plošča ni toplotno izolirana z enovitim slojem toplotne izolacije, torej je d_n enak 0.

Koeficient specifičnih transmisijских izgub L_s gradbenih konstrukcij na zemlji določimo:

$$L_s = A_p U_p + P \Delta\psi \quad [\text{W/K}] \quad (22)$$

Pri preverjanju dovoljenih specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe L_s prištejemo specifičnim transmisijским izgubam preostalih gradbenih konstrukcij na ovoju stavbe, ki mejijo na zrak [9].

4 TOPLOTNI MOST

Za zagotovitev celovitega zunanega ovoja stavbe se je potrebno posvetiti toplotnim mostovom, za katere se v tuji literaturi uporablja tudi izraz hladni mostovi. Toplotne mostove predstavljajo šibka mesta konstrukcijskega ovoja, kjer je toplotni upor sklopa znatno manjši od toplotnega upora sosednjih mest. Zato je pravilna zasnova celovitega ovoja in izbira ustreznega toplotno izolacijskega materiala strateškega pomena, kot tudi pravilna in strokovna izvedba s strani izvajalca. Namreč neupoštevanje tega privede do negativnih posledic, ki se izražajo tako na propadanju konstrukcijskega materiala, kot na slabem počutju v notranjosti prostora in posledično na zdravju ljudi, ki prebivajo v tem prostoru.

Opis toplotnih mostov sem povzela po 3. poglavju diplomske naloge Toplotni mostovi, avtorice Petre Durini pod mentorstvom prof. dr. Krainerja in somentorstvom doc. dr. Kuniča, KSKE.

4.1 Definicija toplotnega mostu

Definicija toplotnih mostov je povzeta po SIST EN ISO 10211:2008 Toplotni mostovi v stavbah, in pravi, da so toplotni mostovi deli ovoja stavbe, kjer se sicer enakomerni toplotni upor spremeni zaradi:

- popolnega ali delnega preboja ovoja stavbe za materiale drugačne prevodnosti,
- spremembe v debelini gradbenega elementa,
- razlike v notranji in zunanji površini, ki nastanejo na stikih sten/tal/stropa [8].

4.2 Vrste toplotnih mostov

4.2.1 Konvekcijski toplotni mostovi

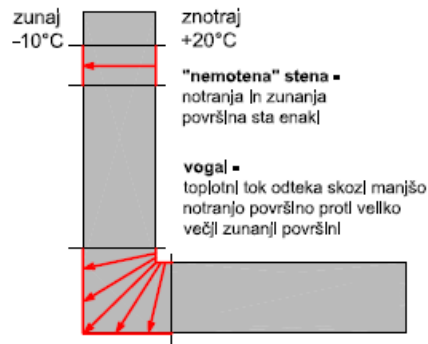
Konvekcijski toplotni mostovi nastanejo na mestih prekinitev in netesnosti, kot so špranje ali odprtine, zaradi česar se omogoči pretok notranjega, navlaženega zraka v konstrukcijski sklop. Slaba zrakotesnost tako poveča nabiranje vodne pare in nastanek kondenzacije znotraj konstrukcijskega sklopa. Slednje predstavlja večji problem kot pa je ovirana difuzija vodne pare [8]. Pri nizkoenergijskih hišah, ki imajo zrakotesen ovoj, teh toplotnih mostov praviloma ni.

4.2.2 Geometrijski toplotni mostovi

Nastanek geometrijskih toplotnih mostov narekujejo mesta z notranjo površino, skozi katero uhaja toplota, ki je manjša od zunanje. Toplotni most je mogoč na vsakem stiku stene pod določenim kotom, in sicer ostrejši je kot med dvema elementoma stavbe, tem večji učinek ima toplotni most. Takrat je

notranja, topla površina stene manjša od zunanje, hladne. Osnovno pravilo se glasi, naj se stikom s kotom manjšim od 90° raje izogibamo, ukrivljenim elementom ali sklopom pa podamo čim večji radij. Poznamo dvodimenzionalne (linijske), trodimenzionalne (točkovne), konkavne in konveksne [8].

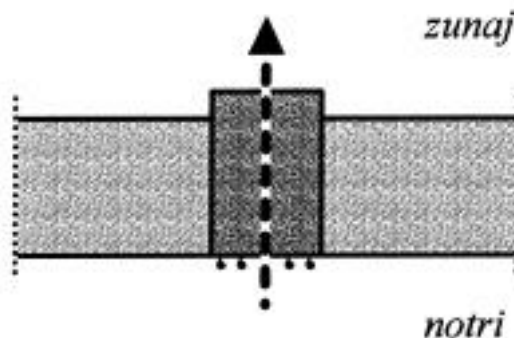
Zaradi pogostosti geometrijskih toplotnih mostov, se le teh ne da izogniti. Dobra novica je, da se pri uporabi debele plasti izolacije toplotni most izniči [24].



Slika 1: Prikazan je način delovanja geometrijskega toplotnega mostu na vogalu zunanje stene, kjer je označena smer toplotnega toka. Vir: Zbašnik, str. 1.

4.2.3 Konstrukcijski ali materialni toplotni mostovi

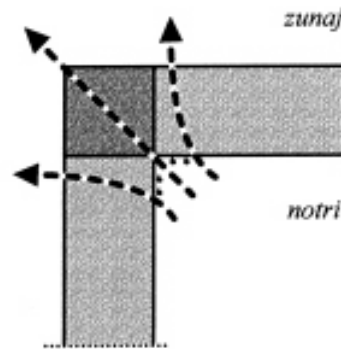
Najbolj problematičen toplotni most pri nizkoenergijskih hišah predstavlja konstrukcijski toplotni most, ki nastane na prekinitvah toplotnega ovoja stavbe, kot posledica slabo načrtovanih in izvedenih detajlov. Poseben primer predstavlja navlaženi del konstrukcije, še posebej materiala toplotne izolacije, saj se zaradi prisotnosti vlage, t.j. vode, poveča vrednost toplotne prevodnosti, kar povzroči nastanek toplotnega mostu [8]. Takšnih konstrukcijskih napak si pri nizkoenergijskih hišah ne moremo privoščiti, saj moramo zgraditi toplotni ovoj brez vpliva toplotnih mostov [24]. Kar je cilj in predmet obravnave te diplomske naloge.



Slika 2: Primer konstrukcijskega toplotnega mostu. Vir: ZRMK, str. 1.

4.2.3.1 Kombinirani toplotni most

Kombinirani toplotni mostovi se v praksi pojavijo kot kombinacija konstrukcijskih in geometrijskih mostov.



Slika 3: Primer izrazitega kombiniranega toplotnega mostu. Vir: ZRMK, str. 2.

4.3 Križanja

Križanja konstrukcijskih sklopov, kjer se združi več konstrukcijskih elementov, predstavlja možne toplotne mostove, zato moramo le ta izvesti natančno. Za pravilno izvedbo križanja so nam v pomoč matrike križanj, katere najdemo v različni literaturi. Ravno tako, pa nas pri tem usmerjajo razni standardi in smernice, katerim pogojem moramo zadostiti v izogib vpliva toplotnih mostov. Namreč Pravilnik o učinkoviti rabi energije od nas zahteva, da se je toplotnim mostovom z linijsko toplotno prehodnostjo $\Psi_e > 0,2 \text{ W/mK}$ z ukrepi v skladu z zadnjim stanjem gradbene tehnike potrebno izogniti s popravki načrtovanih detajlov. V nasprotnem primeru je potrebno dokazati kondenzacijo vodne pare na področju toplotnega mostu [5]. Tehnična smernica pa pravi, »če imajo vsi toplotni mostovi v stavbi linijsko prehodnost $\Psi_e < 0,2 \text{ W/mK}$, se lahko njihov vpliv upošteva na poenostavljen način, s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ « [19]. V praksi se je potrebno izogibati raznim predvidevanjem, s katerimi nam ne bi bilo treba upoštevati vpliva toplotnega mostu. Namreč zgodi se lahko, da dobra zrakotesnost in dobra toplotna izolacija ob nepravilni zasnovi in vgradnji močno poveča vpliv toplotnih mostov napram starim stavbam, kjer se vlaga lahko oddaja v ozračje na račun slabe zrakotesnosti, ki jo izsušuje. Pri nizkoenergijskih stavbah je dobra toplotna bilanca stavba izrazitega pomena, katero pojav toplotnih mostov močno poslabšajo. Zato pravilna zasnova pomeni tudi relativne prihranke energije [8].

4.4 Vpliv na kakovost bivalnega okolja

Prekomerna vlažnost notranjega okolja v stavbah vključuje prekomerno vlažnost notranjega zraka in/ali prekomerno vlažnost konstrukcijskih sklopov. O prekomerni vlažnosti notranjega zraka govorimo takrat, ko je presežena predpisana in/ali priporočena vrednost za toplotno udobne razmere. Številne študije v bivalnem in delovnem okolju so dokazale povezavo med prekomerno vlažnostjo zraka v stavbah in učinki na zdravje ljudi. V poročilu inštituta za medicino so avtorji dokazali, da izpostavljenost prekomerni vlažnosti v stavbah vodi do poslabšanja zdravja obolelih za astmo, vpliva na zgornje dihalne poti ter povzroča kašelj in težko dihanje. Med glavne vzroke takšnega stanja prištevamo neustrezno prezračevanje, nepravilno zasnovano ovojo stavbe, napake na konstrukcijskih sklopih in sistemih, neustrezne ali pomanjkljivo izdelane hidroizolacije – zaščite pred vlago in vodo, poškodbe vodovodne ali druge napeljave, poplave ter tudi neprimerne bivalne navade in razporeditev opreme. Posledice teh vzrokov se največkrat kažejo v obliki rasti plesni na stenah, ki so vidne kot madeži ali jih zaznamo z vonjem [26].

Človek se mora v bivalnem okolju počutiti ugodno. Da bi bilo temu tako, morajo biti človekovi subjektivni parametri, katere predstavlja fizična aktivnost, obleka, ipd., kot splošni mikroklimatski parametri, med katere spadajo temperatura zraka v prostoru, temperatura obodnih površin, relativna vlažnost prostora ter hitrost gibanja zraka v prostoru, v ravnovesju. To ravnovesje rušijo toplotni mostovi in posledično povečan toplotni tok iz toplega prostora, zaradi katerih je potrebna večja energija ogrevanja, da bi se zagotovila prijetna in stalna temperatura v prostoru. To povzroči tako večje stroške ogrevanja, kot povečano onesnaževanje okolja zaradi stranskih produktov pri izgorevanju energetskih virov [8].

Posledica toplotnih mostov povzroča nižanje notranjih, toplih temperatur in povečevanje zunanjih, hladnih. Neravnovesje temperatur pa povzroča kondenzacijo, saj nanjo najbolj vpliva ravno temperatura zraka in zasičenost zraka z vlago. Namreč ozračje lahko sprejeme le določeno količino vlage pri dani temperaturi. Ko je le to polno, govorimo o nasičeni vlažnosti. Relativna vlažnost pomeni, razmerje med dejansko količino vlage v zraku in največje možne količine vlage v zraku pri dani temperaturi. Do kondenzacije pa pride pri presežku vodne pare v zraku, kar jo prisili, da se prične izločati iz zraka v obliki tekoče vode [8]. O kondenzaciji vodne pare na notranji površini ovoja stavbe govori Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb Ur. l. RS, št. 42/2002, ki v 12. členu določa, da mora biti v prostorih zagotovljena takšna vlažnost zraka, da s svojim neposrednim oz. posrednim učinkom ne vpliva na ugodje in zdravje ljudi ter ne povzroči nastanka površinske kondenzacije na stenah. Pri temperaturi zraka med 20 °C in 26 °C je območje dopustne relativne vlažnosti med 30 % in 70 %. [45].

Neučinkovito in nepravilno zračenje, neprimerni gradbeni in toplo izolacijski materiali, kot njihova neprofesionalna vgradnja in ovirano gibanje ob konstrukciji, so parametri, ki povzročijo nastanek kondenza. Ta nastane ob dodatnem navlaženju in dovolj nizki notranji temperaturi stene, kar povzroči ohladitev mejne plasti pod temperaturo rosišča. Le ta je odvisna od temperature zraka in relativne vlažnosti prostora, kar nam grafično ponazori Mollierov diagram. S faktorjem padca površinske temperature f_{Rsi} , lahko ocenimo nastanek plesni, ki negativno vpliva na zdravje ljudi. Nastanek plesni ne pogojuje le kondenzacija, temveč tudi daljša relativna zračna vlaga, ki mora biti najmanj 80 %, da se plesen pojavi že pri temperaturi nad rosiščem [8].

Omeniti pa je potrebno tudi difuzijo vodne pare, ali drugače kondenzacijo vodne pare v konstrukcijskem sklopu. Gre za pojav, kjer zaradi razlike parcialnih tlakov vodne pare na obeh straneh stene, vodna para v gradbeni konstrukciji prehaja iz plasti z večjo nasičenostjo z vlago k plastem z manjšo nasičenostjo. Ravno tako je tudi za vodno paro značilno prehajanje s toplejših na hladnejše plasti konstrukcijskega sklopa. [8] Razlikujemo dva prehoda vodne pare skozi konstrukcijski sklop, in sicer ko vodna para prehaja skozi vse plasti konstrukcije in ne prihaja do kondenzacije, ter ko se vodna para kondenzira v enem ali več slojih materialov konstrukcije [44].

V izogib kondenzacije v konstrukcijskem sklopu je zelo pomembno, kje se kakšen sloj nahaja, kot tudi njegove materialne karakteristike, kot so debelina sloja (d) in koeficient paroprepustnosti (μ). Namreč če ne preprečimo kondenzacije konstrukcijskega sklopa, le ta povzroči povečanje toplotne prevodnosti materiala zaradi večje vlažnosti materiala. Velika toplotna prevodnost pa je zelo negativna lastnost, še posebej za toplotnoizolacijski material [8].

5 TEMELJENJE

»Temelj je konstrukcijski element, ki nosi obtežbo in jo prenaša na temeljna tla. Pri prenašanju vplivov na temeljna tla mora temelj zagotoviti varnost glede na nosilnost tal; preprečiti večje neenakomerno posedanje posameznih delov objekta; zagotoviti, da usedki in pomiki objekta ostanejo v dovoljenih mejah; in preprečiti poškodbe na sosednjih, že zgrajenih objektih.« je definicija, zapisana v Gradbeniškem priročniku.

Pri izbiri temeljev moramo upoštevati več faktorjev, in sicer vrsto in lastnosti temeljnih tal, konstrukcijsko zasnovo objekta, deformacije temeljnih tal ter položaj in nihanje talne vode. Od globine nosilnih tal je odvisno, ali bo temeljenje plitvo ali globoko.

Če iz podatkov o terenu ugotovimo, da objekta ne moremo plitvo temeljiti, se odločimo za globoko temeljenje ali pa nosilna tla izboljšamo. Za izboljšanje nosilnih tal poznamo metode, s katerimi povečamo nosilnost tal za toliko, da lahko uporabimo plitvo temeljenje. Med te metode štejemo [16]:

- odstranitev slabo nosilnih tal; je najenostavnejši način: odstranimo humus, pesek, umetno nasutje, organska tla itd., torej tla, ki nimajo nosilnosti; tak način uporabimo, če so nosilna tla blizu površine terena,
- mehansko komprimiranje tal; nosilnost tal povečamo, če zgornje plasti zemlje zgostimo, saj se tlaki razširjajo tudi v globino zemljišča; ti tlaki z naraščajočo globino razmeroma hitro padajo, zato včasih zadošča, da komprimiramo samo zgornje sloje zemljišča; ta metoda je uspešna predvsem v rahlo zbitih in nekoherentnih, malo zasičenih tleh,
- znižanje globine podtalnice; za to se odločimo pri peščenem materialu; v območju podtalne vode je struktura materiala redkejša, ker na vsako zrnce deluje vzgon; ko znižamo nivo podtalnice, vzgona ni več in material se zgosti
- injiciranje; cementno mleko ali cementno malto pod tlakom vbrizgavamo v zemljišče; pri tem zapolnimo pore, cement veže posamezne delce med seboj in spremeni zemljišče v betonu podoben material; uspeh injiciranja je torej v glavnem odvisen od poroznosti zemljišča, zato pri ilovnatih tleh ni posebno uspešno,
- zavarovanje proti izrivanju v stran; tla ogradimo z zagatnimi stenami; s tem material zgostimo in povečamo nosilnost,
- prehodne obremenitve; stavbišče obremenimo in čakamo, da se material konsolidira, kar zahteva veliko časa.

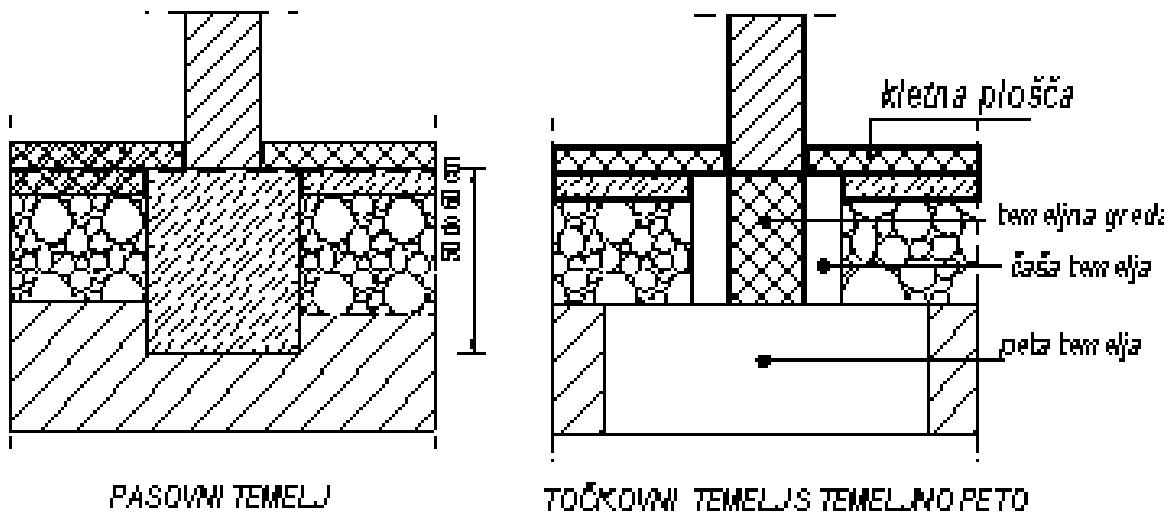
5.1 Vrste temeljev

5.1.1 Plitvo temeljenje

Plitvo temeljenje je enostavnejše, izdelava pa je hitrejša in cenejša. Uporablja se, kadar blizu površja tal ležijo plasti, ki so dovolj nosilne. Tako lahko temeljimo neposredno na njih, pri tem pa izberemo globino temeljenja glede na prej omenjene dejavnike.

Plitvo temeljenje delimo na:

- posamezne (točkaste) temelje,
- pasovne (trakaste) temelje,
- temeljne nosilce,
- temeljne plošče,
- temelje lahkih konstrukcij.



Slika 4: Vrste plitvih temeljev. Vir: Grobovšek, ZRMK.

Vrsto plitvega temeljenja izbiramo glede na:

- element, preko katerega se teža objekta prenaša na temelj, torej pri stebrih izberemo točkovne temelje, temeljne nosilce ali temeljne plošče, pri zidovih pa obvezno pasovne temelje ali temeljno ploščo;
- nosilnost zemljine, kar pomeni, da na dobro nosilnih tleh uporabljamo točkovni ali pasovni temelj, na slabše nosilnih tleh pa temeljne plošče in temeljne nosilce;

- vrsto objekta, in sicer kadar pričakujemo neenakomerno posedanje objekta, je treba izbrati bolj tog način temeljenja, npr. temeljno ploščo.

Pri individualnih gradnjah so objekti v večini primerov manjšega obsega, zato izvajamo plitvo temeljenje, če seveda gradimo na tleh z dobro nosilnostjo [16].

5.1.2 Globoko temeljenje

Globoko temeljenje je potrebno, kadar so vrhnje plasti terena premalo nosilne ali pa so posedki preveliki oz. preveč neenakomerni, ter kadar želimo preprečiti erozijo ob temelju ali pod njimi, zaradi česar plitvi temelji ne ustrezajo. Pri globokem temeljenju težo objekta prenesemo na globlje ležečo nosilno plast. Pri tem je običajno razmerje med globino temeljenja in širino temelja večje od 4, globina temeljenja pa je minimalno 5 m [16].

5.2 Globina temeljenja

Globina temeljenja je določena glede na karakteristike zemljišča, karakteristike objekta in na način gradnje. Najmanjšo globino temeljenja določamo glede na:

- nevarnost drsenja površinskih slojev, ki ga preprečimo s povečano globino in dovolj širokimi temelji, kar seveda velja le za posamezne sloje; nevarnost drsenja se poveča, če se poveča vlažnost tal,
- nevarnost zmrzovanja.

Najmanjša globina temeljenja je odvisna od zmrzovanja temeljnih tal, osuševanja temeljnih tal in nevarnosti izpiranja temeljnih tal [16].

5.2.1 Globina zmrzovanja

Globina zmrzovanja je tista globina pod nivojem terena, do katere lahko prodre zmrzal v prostem terenu. To je teren, ki ni zaščiten s stavbami, pokrit s snegom ali vegetacijo. Za površino terena računamo površino po končani gradnji. Pri določanju globine zmrzovanja so zelo pomembne izkušnje ter pomoč podatkov z meteoroloških postaj, saj je globina zmrzovanja odvisna predvsem od klimatskega podnebja, v katerem se objekt nahaja. Torej je pomemben indeks zmrzovanja in povprečne letne temperature ter toplotne karakteristike terena.

Zaradi nevarnosti zmrzovanja določimo globino temeljev takole [16]:

- v skalnatih tleh (za manj pomembne objekte) ni omejitve, če preprečimo dotok vode pod dno temelja,
- v prodcu in debelejšem pesku je globina temeljenja najmanj 50 cm, če je nivo vode pod to talno točko,
- pri drugih zemljinah je globina temeljenja odvisna od nivoja podzemne vode ob zmrzovanju,
- če globino zmrzovanja ne moremo zanesljivo določiti, vzamemo 70 do 100 cm, odvisno od področja Slovenije, v katerem se objekt nahaja.

Pri slednjem si pomagamo na podlagi [25]:

- priporočil, ki pravijo: $z = z_{min} + 10$ do 20 cm
- če je nadmorska višina manjša od 500 m:
sredozemska klima: $z_{min} = 40$ cm
kontinentalna klima: $z_{min} = 80$ cm
- v gorskem svetu:
neodvisno od klime: $z_{min} = 80$ cm do 120 cm

5.2.2 Vzrok zmrzali

Temperatura vrhnje plasti zemeljske površine je odvisna od temperature zraka. Ko se temperatura zraka spusti pod 0 °C, takrat v zemeljsko površje prodre zmrzal. Globina prodiranja zmrzali v tla je odvisna od nizkih zunanjih temperatur, njihovega trajanja ter od toplotne prevodnosti tal. Kadar je v tleh prisotna voda, le-to pripomore k hitrejšemu zmrzovanju in povečanju volumna za 9 % [17].

Poznamo dva primera zmrzovanja tal.

5.2.2.1 Homogeno zmrzovanje tal

V homogenih tleh je vsebnost vode konstantna. V to skupino spadajo prod in peski. Pri zamrznitvi vlažnega peska so zrna v celoti obdana s skorjo ledu, podobno kot bi bila zacementirana. Ponavljajoča volumenska sprememba je odvisna izključno od ekspanzije vode v zemljini. V zemljini, ki je z vodo zasičena in v kateri ni povezave s podtalnico, po Beskowu ne pride do povečanja volumna tal. V tem primeru je odvečna voda stisnjena [17].

5.2.2.2 Nehomogeno (večslojno) zmrzovanje tal

Voda se v tem primeru dviguje skozi zemljino s kapilarnim dvigom. Pri zamrznitvi se na mestih, kjer je prišlo do shranjevanja vode, ti žepi spremenijo v ledene leče. Voda se tako lahko sesa iz okolice (zaprt sistem) ali iz vodnega rezervoarja (odprt sistem). Ta voda je posledica podtalnice ali pa površinskih vod, ki pronicajo v zemljino in se ujamejo na nepropustni plasti zemljine.

Debelina ledenih sveč je lahko od nekaj mm do nekaj dm, saj je odvisna od količine vode v zemljini. Maksimalna debelina je lahko po Beskowu do 35 cm [17].

5.2.3 Občutljivost zemljin na zmrzal

Globina zmrzovanja ali cona zmrzovanja je deformacija stavbe zaradi pojava ledenih leč pri zmrzovanju zemljine pod temelji ali kakšnih drugih strukturnih elementov, ki so v stiku z zemljino. V klimah, kjer globina zmrzovanja presega minimum globine temeljenja, potrebna zaradi strukturnih razlogov, je zelo pomembno upoštevati cono zmrzovanja.

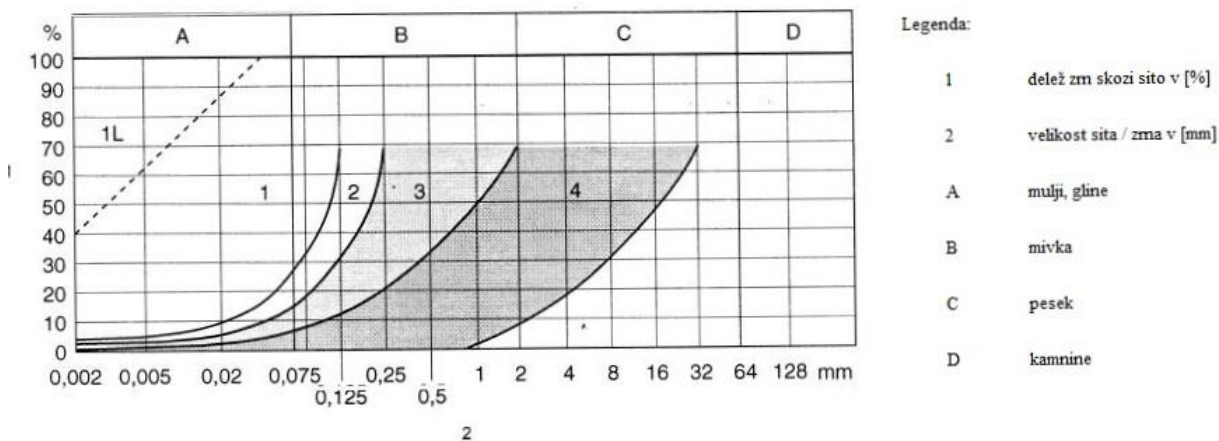
A na zmrzovanje niso občutljive vse zemljine, zato je pomemben podatek o vrsti le-te. Zemljine, ki so prepustne, so manj ali sploh nič občutljive na zmrzovanje. Občutljivost je odvisna od lastnosti zemljin in lokalnih pogojev, kot je slojevitost zemljine in nivoja podtalnice. Po navadi visoka podtalnica, sloji z veliko vsebnostjo vode ali zemljina, ki je sestavljena iz debelih in finih delcev, povečujejo možnost dvigovanja temeljev zaradi zmrzovanja zemljine.

Dvigovanje temeljev zaradi zmrzali se pojavi ob pojavu ledenih sveč zaradi zmrzovanja zemljine pod temelji. Za ta pojav je potrebno zadostno zalogo podzemne vode in zadostno visok kapilarni dvig in propustnost zemljine. Največji rizik tega pojava predstavljajo zemljine z visokim deležem mulja in gline in se smatrajo dovzetne za zmrzal. Debele plasti gline (vsebnost gline je nad 40 %) so zaradi nizkega hidravličnega prevajanja manj dovzetne za zmrzal.

Običajno je geotehnični pregled tal gradbišča pomemben, saj le s pregledom ugotovimo sestavo tal in obnašanje na zmrzal.

Grobo oceno občutljivosti zemljine na zmrzal lahko določimo na podlagi porazdelitve velikosti zrn, kot je prikazano na grafikonu 1, ki ponazarja delež zrn, ki ostane na določenem situ s specifično velikostjo lukenj v situ.

Grafikon 1: Ocena občutljivosti na zmrzal v odvisnosti glede na porazdelitev velikosti zrn v zemljini. Vir: EN ISO 13793:2001, str. 41.



Iz grafikona 1 je razvidno, da je pri:

- distribuciji zrn z velikostjo 0,02 mm v zemljini manjši od 3 % celotne zemljine, takrat je običajno zemljina neobčutljiva na zmrzal,
- ko je krivulja velikosti zrn v celoti v območju 1, je zemljina vedno občutljiva na zmrzal (razen za »debele gline«, ki so prikazane v območju 1L, kjer velja nizka občutljivost na zmrzal),
- ko je krivulja velikosti zrn v celoti prisotna v območjih 2, 3 ali 4, potem takšno zemljino smatramo neobčutljivo na zmrzal, vendar je za območje 2 potrebno preveriti kapilarni dvig in mora biti manjši od 1 m,
- zemljina je občutljiva na zmrzal, če spodnji del krivulje velikosti zrn trajno križa mejo sosednjega finejšega območja,
- nujno je preveriti meje krivulj z uporabo natančnejših metod.

Po klasifikaciji distribucije zemljine glede na velikost zrn lahko zemljino opredelimo kot občutljivo ali neobčutljivo na zmrzal. Primeri zemljin, ki ne padejo natančno v razdeljena območja, prikazana na grafikonu 1, moramo za namen projektiranja obravnavati kot občutljiva na zmrzal ali pa občutljivost na zmrzal opredelimo z laboratorijskimi preiskavami ali pa z reprezentativnimi *in-situ* opazovanji zmrzali [11].

5.3 Poškodbe zaradi zmrzali in ukrepi

Med hladnim obdobjem, se pojavi zmrzal, ki v zemljino prodira približno vzporedno s tlemi. V zmrzlino občutljivih zemljinah se tvorijo ledene leče. Le-te večinoma ležijo vzporedno z izotermo, t.

j. vzporedno s terenom. Prisotnost ledenih leč povzroči dvig tal, ki poteka pravokotno na teren in je enak vsoti debelini ledenih leč.

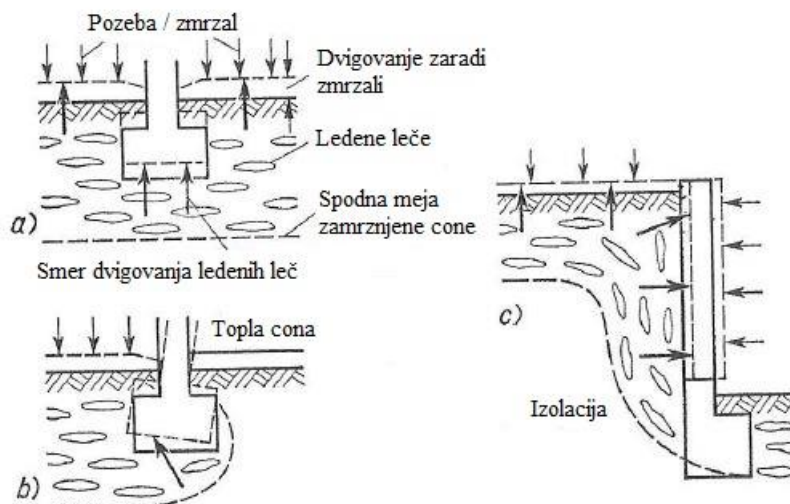
Z vsebnostjo ledenih leč se je vsebnost vode v tleh močno povečala. Z otoplitvijo se tla zmeščajo in ledene leče se otopijo. Razlikovati moramo dve vrsti vzroka poškodb zaradi zmrzali [17]:

- dvig tal zaradi zmrzali,
- pojav plazju kot posledica povečanja vsebnosti vode v tleh zaradi odtajanja ledenih leč.

V diplomski nalogi sem se omejila na vzroke poškodb zaradi dviga temeljnih tal zaradi zmrzali, kar sem opisala v sledečem poglavju.

5.3.1 Posledice poškodb zaradi zmrzali v visokogradnjah in nedokončanih objektih

V splošnem je vzrok poškodb na objektu zaradi zmrzali tal posledica neprimerne globine temeljenja pod nivojem zmrzali. Zelo pogosto pa so temeljna tla izpostavljena zmrzali zaradi naknadne ureditve okolice okoli objekta, bodisi znižanja terena, gradnje kleti ali pa vgradnje garaže. Glede na lego ledenih leč, ki se tvorijo v zemljini, napram objektu lahko pride do dviga objekta (slika 5.a), rotacije (slika 5.b) ali pa stranskega pomika (slika 5.c).

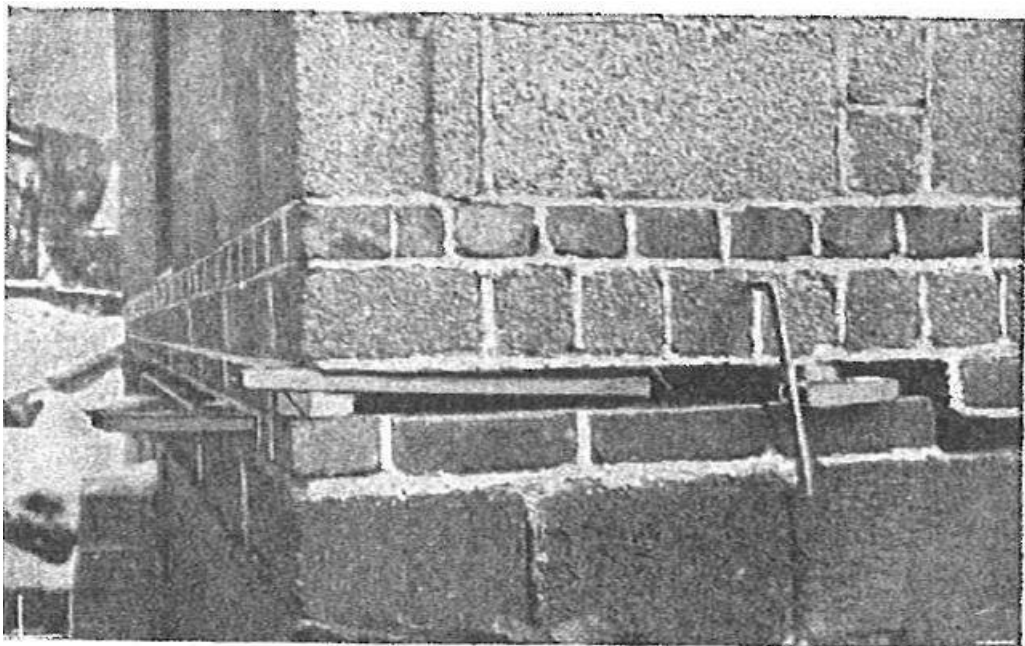


Slika 5: Posledice dvigovanja zaradi zmrzali. Vir: Grundbau, Simmer, str. 29.

Še posebej so ogroženi nedokončani objekti. Le-te je potrebno pred pričetkom mrzlega obdobja primerno zaščititi, tako da je zagotovljena globina temeljenja pod globino zmrzali. Ravno tako je

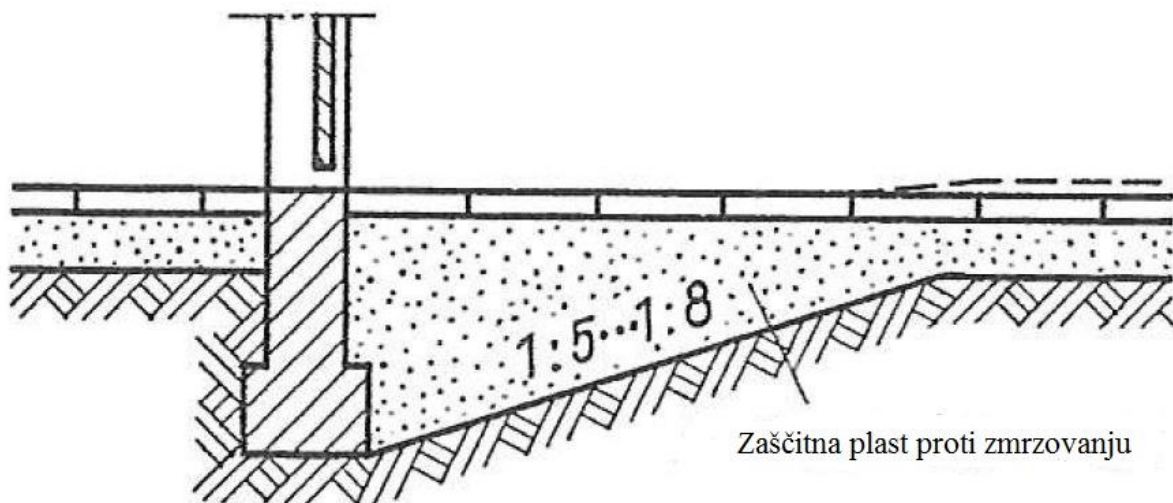
potrebno zaščititi okna in vrata v kletih ter s tem preprečiti prenizke temperature v podkletenih prostorih. V primeru padca temperatur v teh prostorih lahko zmrznejo tla pod temeljno ploščo in v večini primerov tudi tla pod plitvim temeljenjem pod kletnimi stenami. Posledica so dvigi temeljne plošče in sten, ki se v večini primerov prenašajo naprej v stropno ploščo in v naslednje nadstropje.

Slika 6 prikazuje zamrznitev tal pod notranjimi kletnimi stenami pri nedokončanem objektu. Zaradi tega je prišlo do dviga notranjih kletnih sten napram zunanjim. Za sabo so potegnile stropno ploščo kar 8 cm visoko.

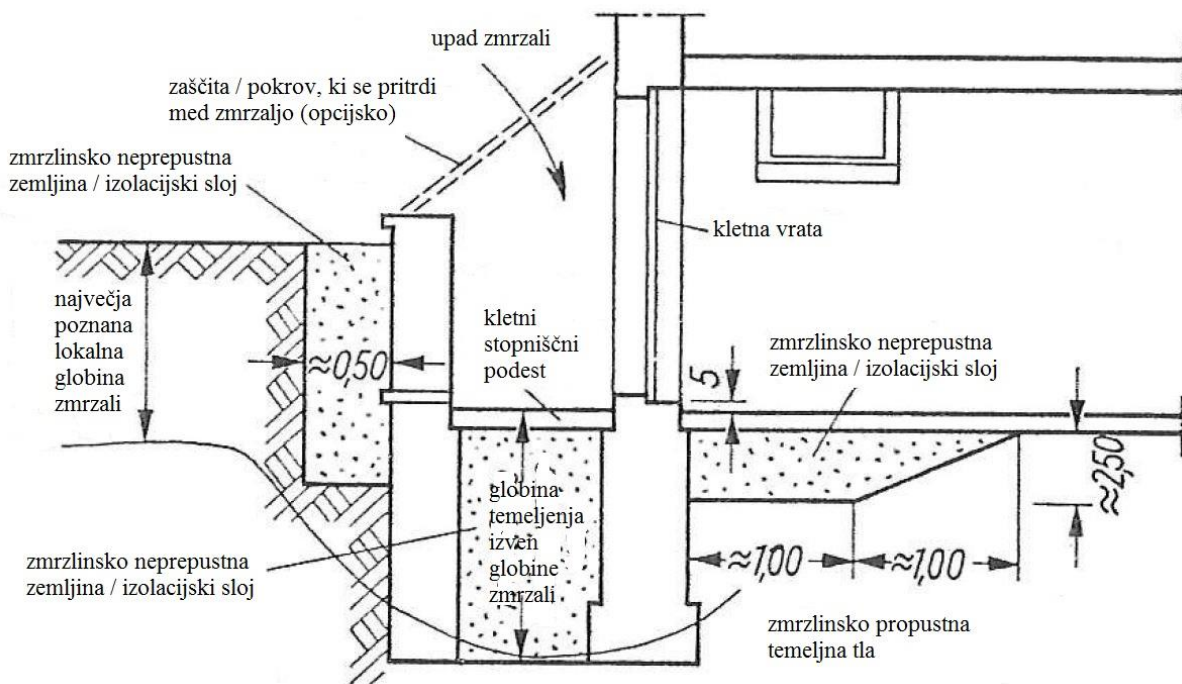


Slika 6: Posledica dvigovanja tal zaradi zmrzali pri nedokončanem objektu. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.

Poškodbe lahko nastanejo tudi pri zamrznitvi tal okoli zunanjih sten. V tem primeru lahko pride do dviga stene oziroma do stranskega pomika. Pravilno zmrzlinško odporno izvedbo vhoda v klet prikazujeta sliki 7 in 8, kjer je prikazan vhod oziroma dovoz v garažo ali podzemno halo.



Slika 7: Pravilna izvedba vhoda v klet. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.



Slika 8: Pravilna izvedba vhoda oz. dovoza v garažno klet. Vir: Grundbau, Simmer, str. 295.

Problemi posebne vrste se lahko pojavijo v hladilnicah, kjer lahko mraz iz ohlajenih prostorov doseže temeljna tla, pri čemer lahko pride do dvigov temeljnih tal do 70 cm (Kögler/Scheidig). Problem lahko preprečimo s toplotno izolacijo tal. Po potrebi pa tudi z zamenjavo tal pod objektom z zmrzlinško odpornimi materiali [17].

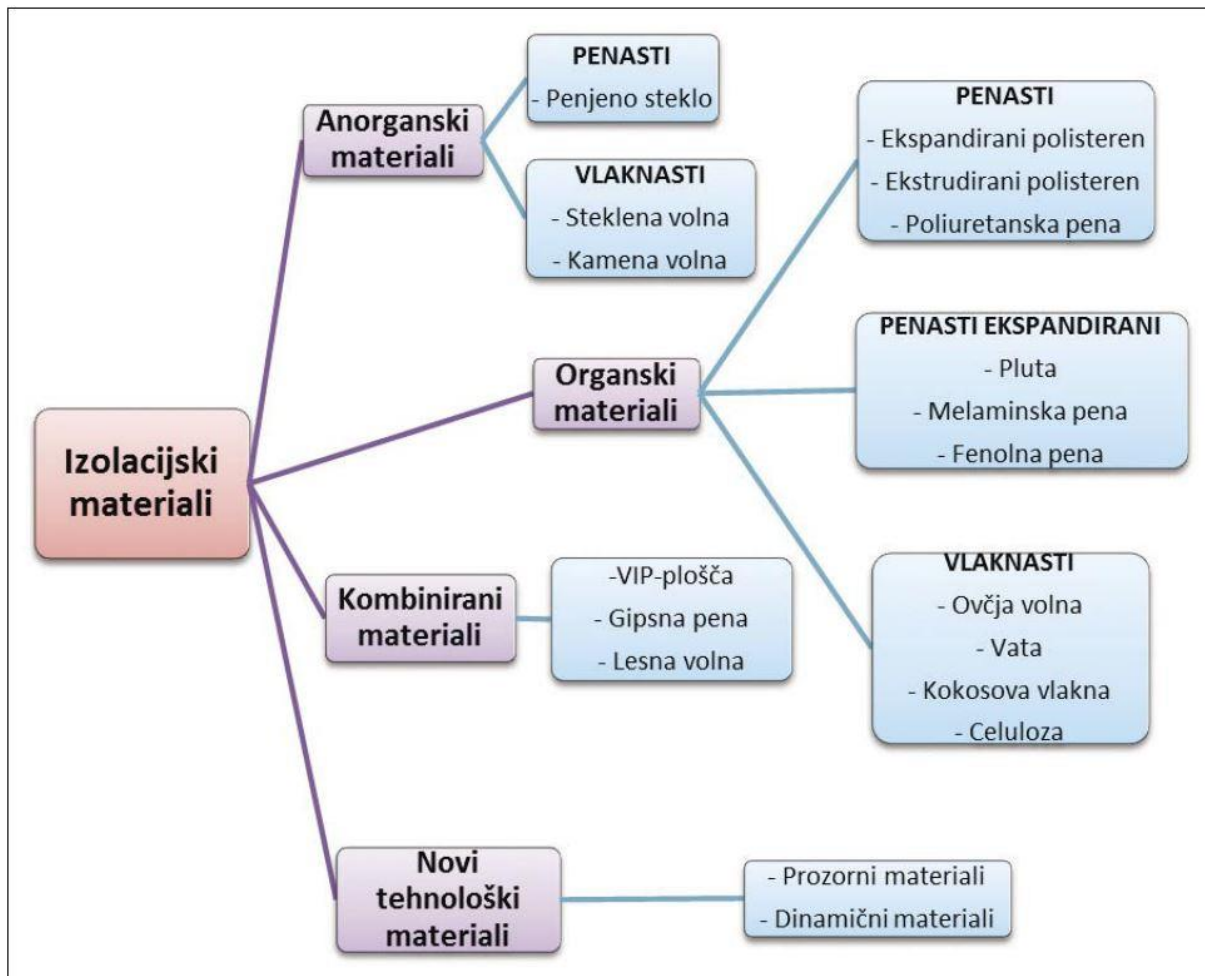
6 VRSTE TOPLOTNIH IZOLACIJ POD TEMELJNO PLOŠČO

Temelji nepodkletenega objekta lahko predstavljajo velik toplotni most in s tem velike toplotne izgube objekta, ocena se giblje od 20 do 30 % vseh toplotnih izgub. Cilj zmanjšanja ali celo izničenja toplotnih mostov, se skriva v neprekinjeni izvedbi toplotne izolacije okoli celotnega ovoja stavbe. Prvih 80 do 100 cm globine od nivoja terena zaradi možnosti zmrzali pri temelju poveča prehod toplotnih mostov v stavbo. Zato pomembno vlogo predstavlja robna izolacija, predvsem kadar zaradi vpliva zmrzali ne moremo zagotoviti varne globine temeljenja. Z robno izolacijo tako navidezno povečamo globino. S tem zmanjšamo toplotno prehodnost zemljine ter se izognemo nevarni točki zmrzovanja pod temelji.

Zadnja leta je v Sloveniji tudi ponudba toplotnoizolacijskih materialov na tržišču bogatejša. Namreč na trg se prebijajo novi toplotno izolativni materiali, za katere trdijo, da so ekološki [27]. Tako lahko izbiramo med velikim razponom možnosti uporabe pri zaščiti ovoja stavbe. Mesto in način vgradnje določata izbiro materiala, zato je še posebej smotrna presoja tehničnih značilnosti toplotnoizolacijskega materiala. Pomemben faktor pri odločanju pa predstavlja tudi cena materiala.

Ena glavnih lastnosti materiala je prav gotovo toplotna prevodnost λ [W/mK]. Z manjšanjem vrednosti toplotne prevodnosti raste večja izolativnost materiala. Na doseženo toplotno zaščito stavbe, pa poleg toplotne prevodnosti vpliva tudi debelina toplotnoizolacijskega materiala. Toplotna prehodnost nam pove, koliko toplote se je izgubilo skozi ovoj stavbe, zato pričakujemo za dobro izolacijo njeno čim manjšo vrednosti. Vendar se moramo za pravilno izbiro materiala osredotočiti tudi na protipožarno odpornost, difuzijsko prepustnost, tlačno trdnost, stisljivost, trajnost, občutljivost na navlaženje in okoljske kriterije [27].

Na spodnji sliki 9 je predstavljena razporeditev izolacijskih materialov. Le te razdelimo na anorganske, organske, kombinirane in nove tehnološke materiale. V tem poglavju sta predstavljena organski penasti izolacijski material ekstrudirani polisteren in anorganski penjeni izolacijski material penjeno steklo.



Slika 9: Shematična razdelitev toplotnoizolacijskih materialov [29].

6.1 Plošče XPS

Izdelava in uporaba ekspandiranih plošč se je v zadnjih desetletjih močno razmahnilo. V preteklosti je bil ekspandirani polistiren poznan pod imenom stiropor in to ime se je razmahnilo na vse polistirenske izdelke. Vendar polistirenu ne smemo kar tako zlahka posplošiti ime, saj ponujajo široko paleto različnih izdelkov z različnimi izboljšanimi lastnostmi in možnostmi. Kar se gre zahvaliti povečanim raziskavam na področju ekspandiranega in ekstrudiranega polistirena in s tem tudi izboljšanim proizvodnim procesom.

Zaradi možnosti uporabe in tehničnih lastnosti, ki pozitivno zajezi problematiko na nivoju temelja, sem se odločila za ekstrudiran polistiren, ki nosi kratico XPS. Ker je trdne snovi izredno malo in večino proizvoda predstavlja zrak, ki je pred vlago zaprt v celicah, so XPS-izdelki izredno lahki in izredno toplotno izolativni. Poleg tega pa se ponašajo z minimalno vodovpojnostjo, veliko tlačno in natezno trdnostjo, dolgoletno obstojnostjo pod trajno obtežbo tudi v vlažnem okolju in v zemljini. Zaskrbljenost

glede požarne odpornosti je tu odveč, namreč XPS-plošče spadajo v skupino E po EN 13501-1 ter v skupino B1 po DIN 4102, ki predstavlja težko vnetljiv material [31].

Med izbiro različnih proizvajalcev je potrebno biti pozoren, kateri od njih ima primerne raziskave obnašanja XPS-plošč pod temeljno ploščo pod stalno obremenitvijo (t. i. leženje plošč) in v primeru potresa, saj se Slovenija nahaja v potresnem območju in to predstavlja pomembno informacijo.

Pri gradnji nizkoenergijskih objektov se pri izbiri med pasovnimi temelji in temeljno ploščo kljub večji finančni obremenitvi in manj ekološki izbiri betona raje odločimo za temeljno ploščo, saj omogoča izvedbo odličnega, neprekinjeno izvedenega ščita pod objektom. Prednosti takega temeljenja so plitvejši izkop, opazovanje le ob robu temeljne plošče, enostavne armature in hitrejše gradnje. S toplotno izolirano temeljno ploščo zmanjšamo možnost nastanka toplotnih mostov, hkrati pa dobimo masiven element, ki služi akumulaciji notranje toplote in s tem ohranjanju stabilne temperature prostora. Odvisno od zelene energijske učinkovitosti vgradimo toplotno izolacijo debeline od 12 do 30 cm [30].

Poleg izbire vrste temelja, je pomembna tudi pravilna izbira XPS-plošč, tako njihovih lastnosti kot tudi debeline.

Najboljša izbira so XPS-plošče z robom na preklap v obliki črke L. Le-ta je zelo pomemben iz dveh razlogov: drobnemu drenažnemu pesku je onemogočeno, da bi skozi reže plošč lahko poškodoval hidroizolacijo, ter preklap zmanjša vpliv toplotnih mostov med stiki plošč.

Pri podjetju Fragmat TIM, d.o.o., opozarjajo na pomembnost postavljanja nosilnih zidanih sten vsaj cca. 10 cm od roba temeljne plošče. To gre pripisati statičnim obremenitvam, saj se na ta način omogoči enakomeren raznos obtežbe. Zidanje na rob temeljne plošče je mogoče le v primeru montažnih hiš ali pri zidanih hišah, ko statik na robovih dodatno ojača temeljno ploščo. Priporoča se, da nastali rob plošče obložimo z EPS-kotno letvijo 10/10 cm, ki služi kot opora hidroizolaciji.

Opis postopka vgradnje toplotnoizolacijskih plošč XPS je natančno opisan na internetni strani proizvajalca Fibran NORD, d.o.o. [30].

6.1.1 Tehnične lastnosti plošč XPS

Toplotna izolacija pod temeljno ploščo mora imeti zadostno deklarirano tlačno trdnost. Le ta mora po dolgotrajni obremenitvi ohraniti začrtane tehnične karakteristike. Predvideti jo mora statik. Za nepodkletene zidane stanovanjske hiše (pritličje z mansardo) se je izkazalo, da bi v večini primerov lahko zadostovala že toplotna izolacija s tlačno trdnostjo malo pod 200 kPa (upoštevani so vsi varnostni

faktorji). Skoraj zagotovo smo na varni strani, če v takih primerih za enodružinsko hišo uporabimo toplotno izolacijo XPS s tlačno trdnostjo 300 kPa, ta tip plošč se tudi sicer največ uporablja pri temeljnih ploščah enodružinskih hiš.

6.1.2 Vpliv potresa

Glavni kriterij za zagotovitev preprečevanja toplotnih izgub pri pasivnih ali nizkoenergijskih hišah predstavlja toplotni ovoj, ki neprekinjeno poteka okrog in okrog stavbe – tudi pod temeljno ploščo stavbe ali njenimi temelji. V severnih državah Evrope ta kriterij ni tako vprašljiv, saj se tam ne srečujejo s problemom potresa, kot se v južnem delu Evrope. Tako moramo v Sloveniji tudi laboratorijsko preveriti možnost zdrsa na področju stika plošče na toplotni izolaciji.

»Pri manjših (enodružinskih) hišah tak ukrep ni konstrukcijsko vprašljiv, drugače pa je pri višjih/težjih/ožjih objektih, grajenih na potresnih območjih, na katere ima potres lahko večji vpliv. Pri uporabi toplotne izolacije pod temeljno ploščo je treba paziti predvsem na naslednje:

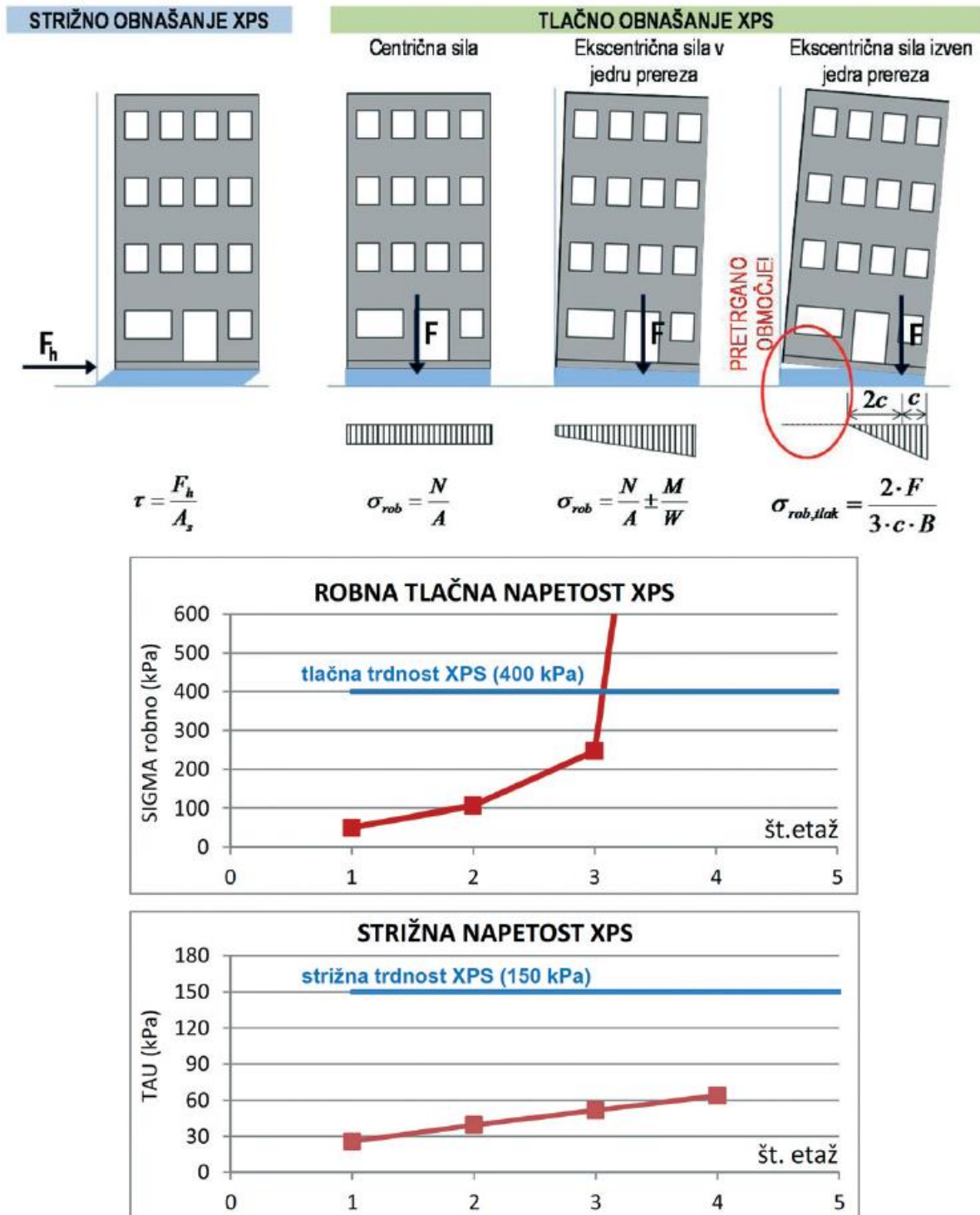
- da zaradi nihanja stavbe med potresom niso prekoračene projektne strižne in projektne tlačne napetosti in/ali deformacije v izolaciji pod temeljno ploščo in
- da zaradi drugačnega nihanja stavbe na mehki toplotnoizolacijski podlagi ne pride do nekontroliranega povečanja potresnih vplivov na zgornjo konstrukcijo.

Potrebno se je namreč zavedati, da z vstavljanjem mehkejših slojev, kot je npr. ekstrudirani polistiren (XPS), med temeljno ploščo in podložni beton podaljšamo nihajni čas stavbe, kar lahko rezultira v povečanju potresnih sil na zgornjo konstrukcijo in posledično v potencialnih poškodbah zgornje konstrukcije ali njene vsebine.

Nihajni čas konstrukcije se z vgradnjo XPS-podlage pod temeljno ploščo podaljša in lahko v nekaterih primerih pade tudi v plato spektra, kjer so potresne sile večje. Problematično je lahko tudi povečanje tlačnih napetosti pod robom plošče, še posebej pri vitkejših objektih z večjo maso. Izkazalo se je, da je največje dopustno število etaž pri majhnih tlorsih omejeno na 2 do 3 etaže, pri večjih tlorsih pa na 4 do 5 etaž, odvisno od dimenzij, mase in materiala nosilne konstrukcije« [41].

Potrebno se je osredotočiti na pomike in morebitne zdrse med sloji, ki lahko povzročijo poškodbe na vertikalnih inštalacijskih vodih, ki potekajo skozi konstrukcijski sklop toplotne izolacije. Protipotresna rešitev predstavlja namestitev cevi v cevi, fleksibilne cevi; ipd. V diplomski nalogi Zdrs toplotne izolacije pod temeljno ploščo v primeru potresne obtežbe avtorja Janeza Mikca, so predstavljene laboratorijske raziskave, izvedene v laboratoriju Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, kjer so

analizirali različne tipe konstrukcijskih sklopov, ki so vsebovali toplotno izolacijo z gladko površino ter toplotno izolacijo z utori na zgornji strani.



Slika 10: Obnašanje (toge) stavbe na podajni podlagi (npr. XPS) (zgoraj) in napetosti v XPS-u pod temeljno ploščo tlorisnih dimenzij 8 x 14 m v odvisnosti od števila etaž pri $a_g = 0,25$ g in tleh A (spodaj) [41].

Predstavljene so sledeče ugotovitve [7]:

- Ko pri izračunanih vrednostih koeficienta zdrsa presežemo mejne vrednosti koeficienta lepenja posameznega konstrukcijskega sklopa, pride do zdrsa.
- Toplotna izolacija z utori v kombinaciji z obojestransko samolepilno hidroizolacijo pomembno pripomore k zvišanju koeficienta lepenja v konstrukcijskem sklopu. Mesto morebitnega zdrsa se v tem primeru vedno nahaja pod spodnjim slojem XPS-a.
- Zdrs na nivoju toplotne izolacije se lahko pričakuje predvsem pri stavbah, pri katerih je predpostavljeno elastično obnašanje.
- Ker je obravnavan zgolj pritlični tip konstrukcij, so vertikalne napetosti majhne in strižne napetosti v XPS-u posledično niso problematične, saj imamo zagotovljeno dovolj veliko togost, da ne pride do deformacij same izolacije.
- V kolikor bi se namesto podložnega betona uporabila peščena podlaga, se koeficient zdrsa za tak konstrukcijski sklop spremeni. Koeficient zdrsa med XPS ploščo in drobnim peskom je verjetno manjši kot v primeru XPS plošče in podložnega betona. Kljub vsemu se nivo zdrsa ohrani – pod spodnjim slojem izolacije, vendar pa je mejna vrednost zdrsa neznatna.

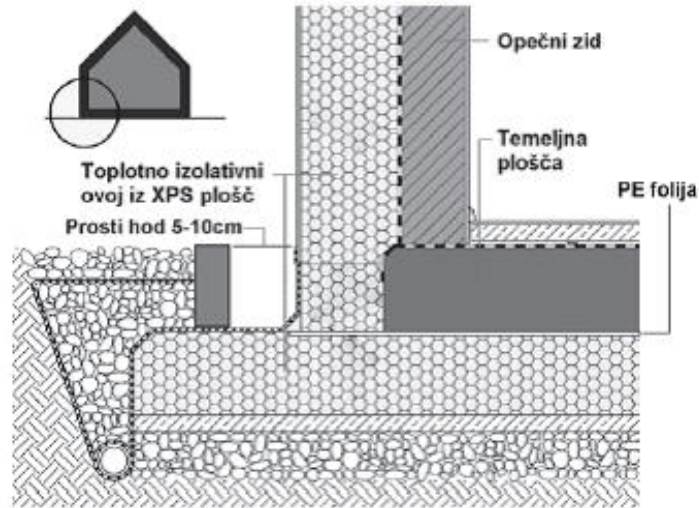
Do zdrsa toplotne izolacije lahko pride v omejenem številu primerov, predvsem so kritične pritlične stavbe, katerih nihajni čas se nahaja v resonančnem območju spektra in katerih odziv je pri potresni obtežbi elastičen. To zajema konstrukcije, v katerih z minimalno armaturo zagotovimo veliko nosilnost, da ni smotrna redukcija potresnih sil. Zdrs toplotne izolacije lahko pričakujemo predvsem v stavbah z gladko toplotno izolacijo. V primeru toplotne izolacije z utori do zdrsa pride le pri pospešku temeljnih tal 0,25 g in tleh kvalitete E. Pri gladki toplotni izolaciji je možnost zdrsa večja [7].

Raziskave Wallnerja [40] kažejo, da vgradnja potresnih izolatorjev danes ni tako velik strošek in lahko elegantno rešimo vprašanje varnosti pri potresu. Namreč gradnja pasivnih hiš je danes že realnost in ker se koncepta potresne izolacije in toplotne izolacije vgrajene pod objektom podvajata, je tako smiselno koncepta združiti, da dosežemo sinergijski učinek.

Trenutno je pri manjših objektih, med katere spadajo individualne stanovanjske hiše, smiselno izbrati koncept zasnove potresne izolacije po principu varovalke, ki v primeru preobremenitve deluje kot varovalna zračna blazina v avtomobilu in katere bistvena vloga je, da v primeru zelo močnega potresa, lahko varno zapustimo zgradbo brez poškodb [40].

Dandanes je smiselno zasnovati konstrukcijo tako, da omogoča takojšnjo ali pa naknadno vgradnjo oziroma servisno vgradnjo elementov potresne izolacije, saj je življenjska doba zidanih objektov zelo

dolga. Tako s tem dopustimo možnost raznih posodabljanj, saj se s tem izognemo, da stavba prehitro zastara in izgubi svojo vrednost [40].



Slika 11: Korigirani detajl izvedbe toplotno-izolativnega ovoja zgradbe na stiku stena-tla z dodatno potresno varovalko [40].

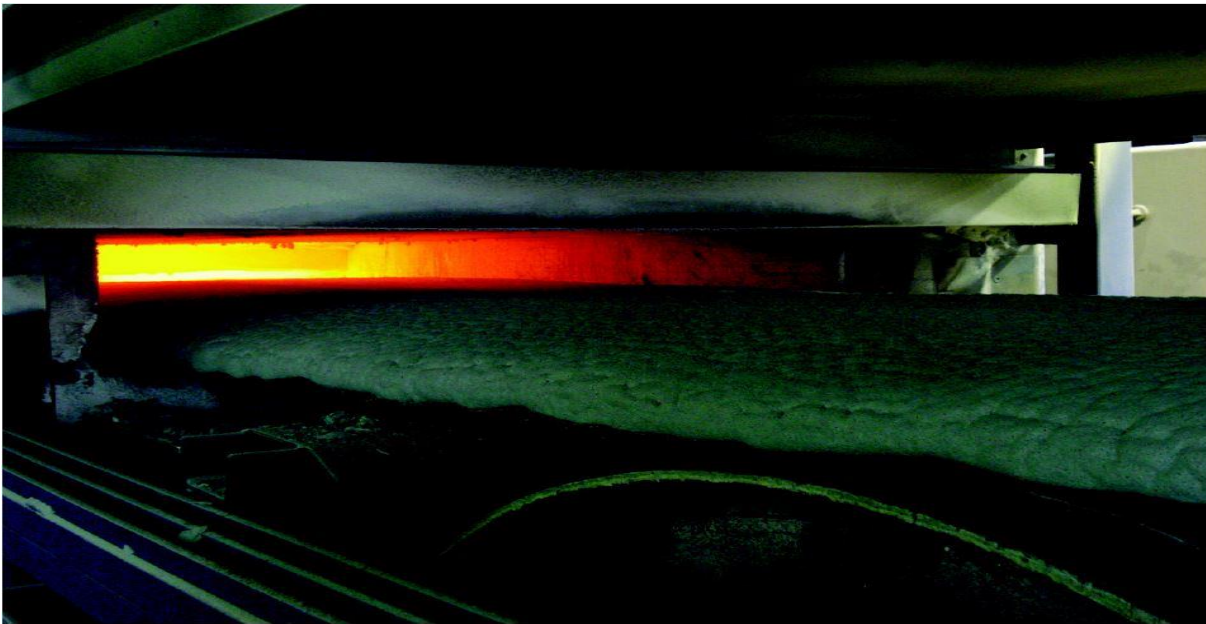
»V primeru elastičnih deformacij v podlagi se objekt po potresu povrne v prvotno lego. Kadar pride do drsenja ali do plastičnih deformacij v podlagi, pa objekt ob koncu potresa običajno obstane z nekim zamikom glede na začetni položaj. Potresna izolacija, pri kateri pride do trajnega zamika zato, da bi pred hujšimi posledicami potresa obvarovali zgornjo konstrukcijo, lahko imenujemo potresna varovalka. Trajna deformacija je običajna slabost pasivnih sistemov, ki pa so prav zaradi preprostosti sistema relativno poceni« [40].

6.2 Penjeno steklo

Penjeno steklo je nov material z zelo dobrimi karakteristikami za vgradnjo na vlažnih mestih, kot so temelji stavbe. Vendar kljub dobrim lastnostim težje prodira na trg, saj ima še vedno relativno visoko ceno. Dobi se ga v ploščah in v razsutem stanju v obliki granulata. Za potrebe izolacije temelja sem se opredelila na gramoz iz penjenega stekla. Veliko prednost pred izolacijskimi ploščami, ki pred njihovo postavitvijo na željeno mesto potrebujejo utrjeno in ravno podlago, ima gramoz iz penjenega stekla, saj za njihovo vgradnjo ni potrebna povsem ravna podlaga in premikanje cevi v izolacijski plasti, kar pomeni velik prihranek časa in s tem denarja.

Za proizvodnjo penjenega stekla poznamo dve tehnologiji, ki pa sta si med seboj zelo podobni, in sicer mokro penjeni postopek in suho penjeni postopek. Pri obeh postopkih se uporabi reciklirano steklo kot osnova. Uporabi se lahko tako industrijsko odpadno steklo kot odpadno steklo iz sortiranih

gospodinjskih odpadkov. Edina omejitev je, da steklo ne vsebuje težkih metalov in drugih substanc, rizičnih za zdravje. Steklo se drobi in čisti, dokler ni povsem zdrobljen v prah. Nato prah mešajo z mineralnimi aditivi in začasno shranijo v silose. Iz silosov se preko tekočih trakov transportira skozi več zaporednih industrijskih peči. Debelina plasti prahu na tekočem traku definira debelino končne velikosti granulata. Na izolacijske lastnosti materiala vpliva poleg dodanih aditivov tako hitrost tekočih trakov kot tudi temperatura peči. Tako se na razdalji 10 do 15 m dolgih trakov in peči s temperaturami med 900 °C in 1000 °C, stekleni prah razširi in speče v neskončno »torto« z debelino približno 50 do 80 mm [33].



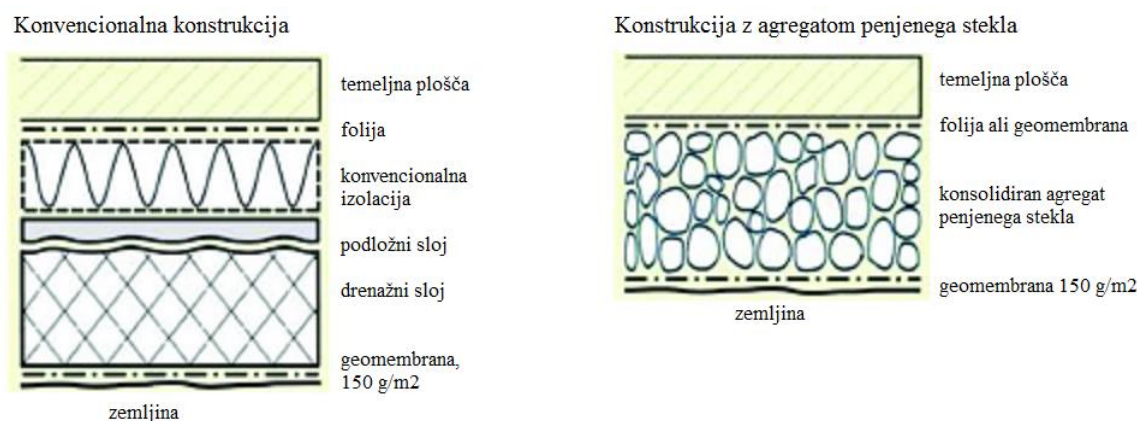
Slika 12: Izhod iz peči pri proizvodnji penjenega stekla. Ekspandiran monolit se ohlaja z 900 °C na sobno temperaturo [33].

Sledi ohlajanje razširjene spojine s 900 °C na sobno temperaturo. Posledica temperaturnega šoka v penjenem steklu povzroči visoke termične napetosti, ki presežejo trdnost materiala in vodijo do tega, da se profil iz penjenega stekla razdrobi na željeno velikost zrn. Tako se dobi granulata iz penjenega stekla. Večja zrna se razdrobijo na manjše kose tako zaradi napetosti v materialu kot tudi zaradi mehanskih vplivov, pod katere spadajo tekoči trak v proizvodnji, transporta in vgradnje z vibracijskim valjarjem. Manjša zrna v sebi ne nosijo termičnih napetosti in so zato stabilna. Lomijo se lahko le pod ekstremno težkimi obremenitvami in tako predstavljajo nosilno izolativno plast [33]. Lahko trdimo, da penjeno steklo utrjuje podlago ter hkrati deluje kot drenaža in toplotna izolacija pod temeljno ploščo [35].

Po proizvodnji granulata penjenega stekla transportirajo v zunanja skladišča. Od tam ga včasih skladiščijo v silose, drugače pa za dostavo na gradbišče napolnijo »big bag« v vreče do velikosti 3 m² ali pa se na željeno lokacijo pripelje v razsutem stanju na tovornjaku. Na gradbišču ga tovornjak, v primeru dostave

materiala v razsutem stanju razsuje na ponjavo. Nato granulat penjenega stekla z žerjavom prestavijo na željeno mesto vgradnje. Po razsutju materiala le-tega enakomerno poravnajo z grabljami in komprimirajo z vibracijskim valjarjem na željeno debelino [33].

Na sliki 13 je prikazana primerjava med konvencionalnim konstrukcijskim sklopom temeljenja in konstrukcijo z agregatom penjenega stekla. Kot vidimo, je potrebno manj plasti v primeru gradnje s penjenim steklom, kar posledično pomeni tudi hitrejšo gradnjo in uporabo manjše količine materiala.



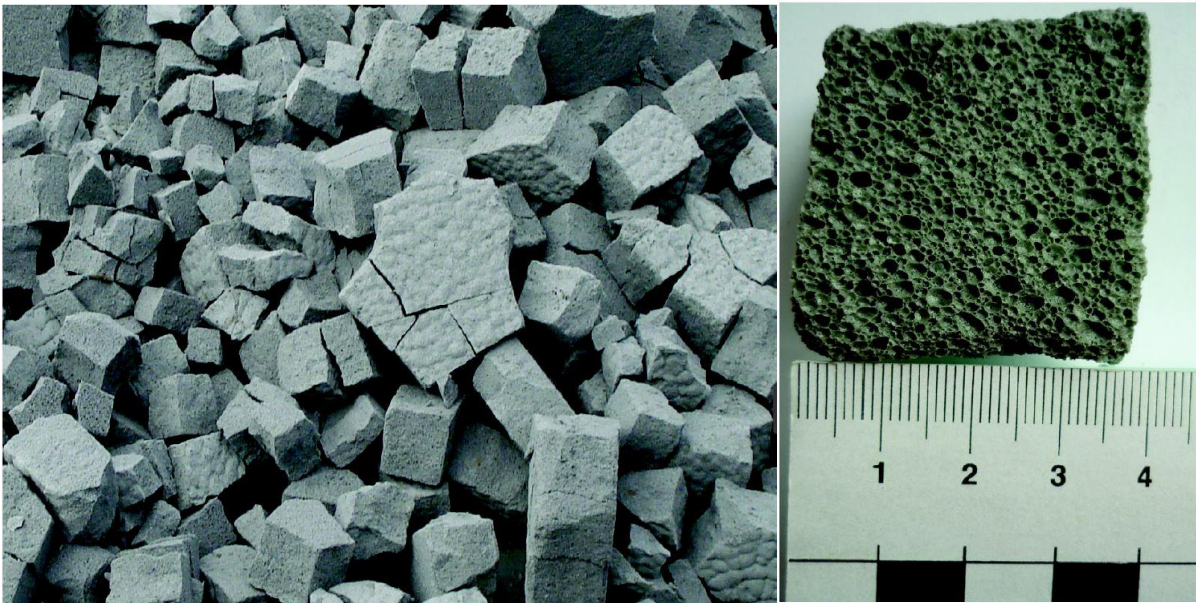
Slika 13: Primerjava konstrukcijskega sklopa tal na konvencionalen način s konvencionalnimi toplotnimi izolacijami ter s konsolidiranim agregatom penjenega stekla [33].

Opis postopka vgradnje penjenega stekla je opisan na internetni strani Pasivna gradnja [34].

6.2.1 Tehnične lastnosti penjenega stekla

Barva zrn je pri mokrem postopku črna, pri suhem pa so zrna siva. Oblika zrn je zelo podobna običajnem kamnitem balastu. Pri bolj natančnem pregledu opazimo, da zrna tvorijo penasto obliko z zaprtimi pornimi celičnimi strukturami, kot je prikazano na sliki 14.

Velikost posameznih zrn razsutega stanja znaša od 30 mm do 80 mm. Če je potrebno, se manjše velikosti lahko doseže z mehansko drobljenjem [33].



(a)

(b)

Slika 14: (a) Granulat penjenega stekla v zunanem skladišču takoj po proizvodnji, in (b) zrno penjenega stekla po proizvodnji. Spužvasti videz penjenega stekla je viden s prostim očesom. Penjeno steklo ima zaprto poro celično strukturo [33].

V preglednici 2 so prikazane toplotne in mehanske lastnosti zrn penjenega stekla. Toplotna prevodnost stisnjene zrna penjenega stekla (kompresijski ratio 1,3 : 1) je merjen z aparaturo. Za meritev vzorce stisnejo v plastične škatle. Uporabi se posebne vzorce v suhih in vlažnih pogojih. Toplotna prevodnost suhe izolacije se giblje od 0,08 W/mK do 0,095 W/mK. Rezultati meritev mokrih vzorcev izolacije penjenega stekla, ki so bili 28 dni pod vodo, dosežejo maksimalno vrednost pri 0,17 W/mK [33].

Preglednica 2: Pregled lastnosti granulata penjenega stekla [33].

Lastnosti	Količina	Standard/Vir	Izolacija pod temeljem
Velikost zrn (nestisnjen)	mm	EN 933-1	10 do 75
Gostota agregata penjenega stekla (nestisnjen)	kg/m ³	EN 1097-3	120 do 190
Faktor zbivanja (stisljivost)	-	-	1.3 : 1
Gostota agregata penjenega stekla (stisnjenege)	kg/m ³	-	156 do 247
Vsebnost vlažnosti (in situ)	Vol. %	-	1 do 6
Vsebnost vlažnosti (po 28 dneh pod vodo)	Vol. %	-	7 do 15
Toplotna prevodnost (suh)	W/(mK)	EN 12667	0.08 do 0.095
Toplotna prevodnost (projektna vrednost)	W/(mK)	Odobreno	0.11 do 0.14
Specifična toplotna kapaciteta	J/(kgK)	Proizvajalec	Cca. 850
Globina vgrajevanja	mm	Odobreno	150 do 600
Kompresivna napetost pri 10 % deformaciji	kPa	EN 826	300 do 820
Kompresivna napetost (projektna vrednost)	kPa	Odobreno	170 do 370
Točka mehčanja	°C	Proizvajalec	Cca. 700
Možnost recikliranja	%	100	100
Odpornost na zmrzal/taljenje	-	Odobreno	Da
Požarna odpornost	-	Domneva	Da

Med leti 2002 in 2008 so na Fraunhofer – Inštitutu za gradbeno fiziko (IBP) v Münchenu, v Nemčiji, se iz petih različnih hiš vzeli vzorce vgrajene izolacije in tako odredili lastnosti. Nekaj vzorcev so vzeli z zunanje strani na razdalji 10–15 cm od roba temeljne plošče, nekaj prav na robu temeljne plošče, dva vzorca pa so vzeli direktno izpod temeljne plošče preko izvrtanih lukenj v plošči, kot je prikazano na sliki 15. Glavni cilj tega odvzema je bila ugotovitev deleža vlažnosti izolacije in situ vzorca kot tudi ugotovitev morebitnih fizičnih sprememb delcev penjenega stekla, ki bi lahko skrajšalo njihovo življenjsko dobo. Toplotna prevodnost je bila določena na podlagi odvzetih vzorcev ter njihove vlažnosti in izmerjene toplotne prevodnosti agregatov penjenega stekla v suhem in vlažnem stanju. Glede na vsebnost vlažnosti okoli 2–6 % na volumen vzorca z roba temeljne plošče je bila izračunana toplotna prevodnost v centru pod temeljno ploščo približno 0,1 W/mK in do 0,12 W/mK na robu temeljne plošče. Na odvzetih vzorcih večjih fizičnih sprememb niso opazili, kar sovпада z opravljenimi predhodnimi rezultati v laboratoriju. Zaradi zaprte celične strukture posamezna zrna ne absorbirajo vodo. Vendar se zaradi zunanje grobe penaste strukture nekaj vode ujame med zrna [33].

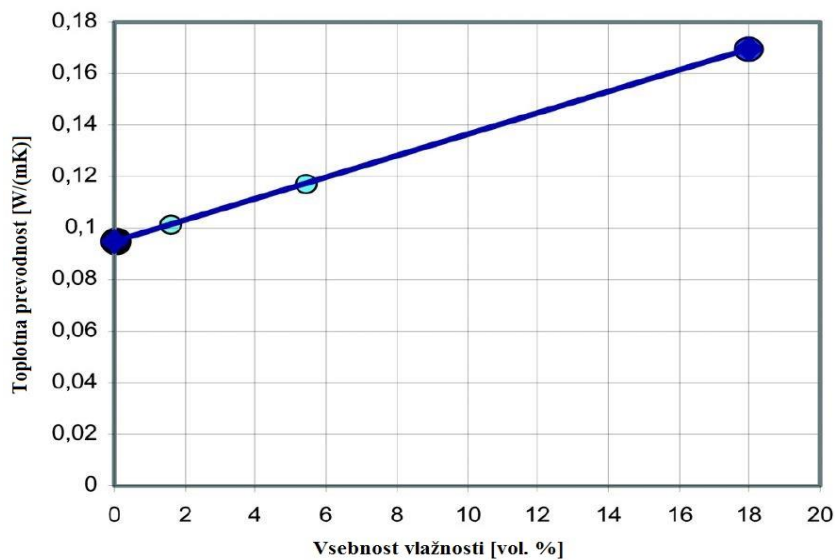


(a)

(b)

Slika 15: Odvzem vzorcev penjenega stekla (a) lociran na zunanji strani hiše pod temeljno ploščo in (b) iz lukenj lociranih v centru temeljne plošče [33].

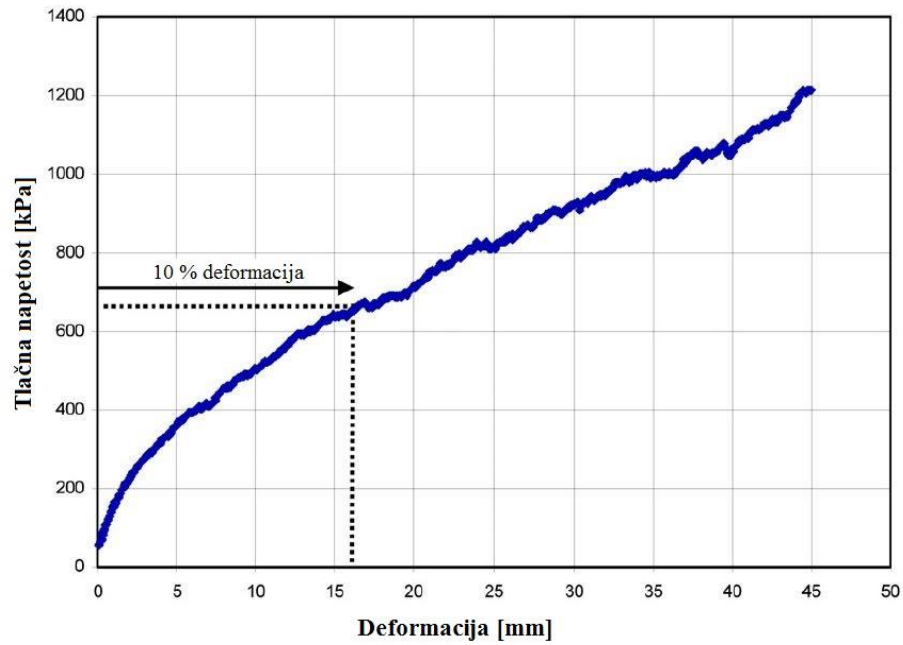
Grafikon 2: Toplotna prevodnost kompaktnega agregata penjenega stekla kot funkcija vsebnosti vlage [33].



Opravili so tudi preizkus na odpornost na zmrzal in na taljenje. Vzorci so bili izpostavljeni 20 ali več ciklom, s tem da je bil na dan opravljen en cikel. Cikel predstavlja izpostavljenost temperaturam od minus 20 °C brez vode do temperaturam plus 20 °C pod vodo. Rezultati dokažejo, da tako na gramozu kot na posameznih delcih agregata penjenega stekla ne pride do nobenih poškodb ali posebnih sprememb lastnosti. Za zbiti agregat penjenega stekla velja predpostavka, da je kapilarni dvig onemogočen. Proizvajalec zagotavlja, da je prepustnost vode gramoza penjenega stekla okoli 30 l/s/m². Vendar v prihodnosti ostaja glavna naloga inštitutov v sodelovanju s proizvajalci penjenega stekla, da se še nadalje raziše in ustvari več praktičnega in teoretičnega znanja o toplotni prevodnosti ter obnašanje prenosa toplote skozi penjeno steklo v različnih apliciranih situacijah pod vplivom talne vlažnosti in dežja [33].

Pri uporabi penjenega stekla pod temeljno ploščo predvidevajo življenjsko dobo materiala več kot petdeset let. Izolacija je ravno tako odporna proti kislinam in alkalnim snovem kot tudi na bakterije in podgane [33].

Grafikon 3: Tlačna napetost je bil merjen v skladu z EN 826. Pri 10% deformaciji je bila tlačna napetost 670 kPa [33].



7 UKREPI KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV ZA ODPRAVO TOPLOTNEGA MOSTU NA PODROČJU TEMELJENJA

Pri projektiranju nizkoenergijskih hiš, se projektanti lahko naslonijo na standarde, tehnične smernice in kataloge, ki vsebujejo preverjene in testirane detajle za posamezne konstrukcijske sklope. Katalog IBO konstrukcijskih komponent za t. i. pasivne hiše [39] je skupek zbranih konstrukcijskih rešitev za stavbe, ki morajo doseči standarde pasivne hiše. Konstrukcijski sklopi so podani na dva načina – običajni in ekološko optimizirani način, s tehničnim opisom ter oceno gradbene fizike in ekološko oceno materialov od izdelave do predelave.

Detajli stikov konstrukcijskih sklopov prikazujejo zračno tesne rešitve brez toplotnih mostov in nadzorovanim obnašanjem vlažnosti. Najprej so opisani posamezni konstrukcijski sklopi, nato pa so le-ti povezani med seboj v možne stike, ki zagotavljajo nizkoenergijske standarde. Z vsakim konstrukcijskim sklopom in stikom je obrazloženo optimalno mesto vgradnje, postopek vgradnje kot vzdrževanje in strukturne posebnosti [39].

V tem poglavju bom predstavila detajle iz obravnavanega kataloga [39], ki so vezani na stik zunanje stene in temeljne plošče.

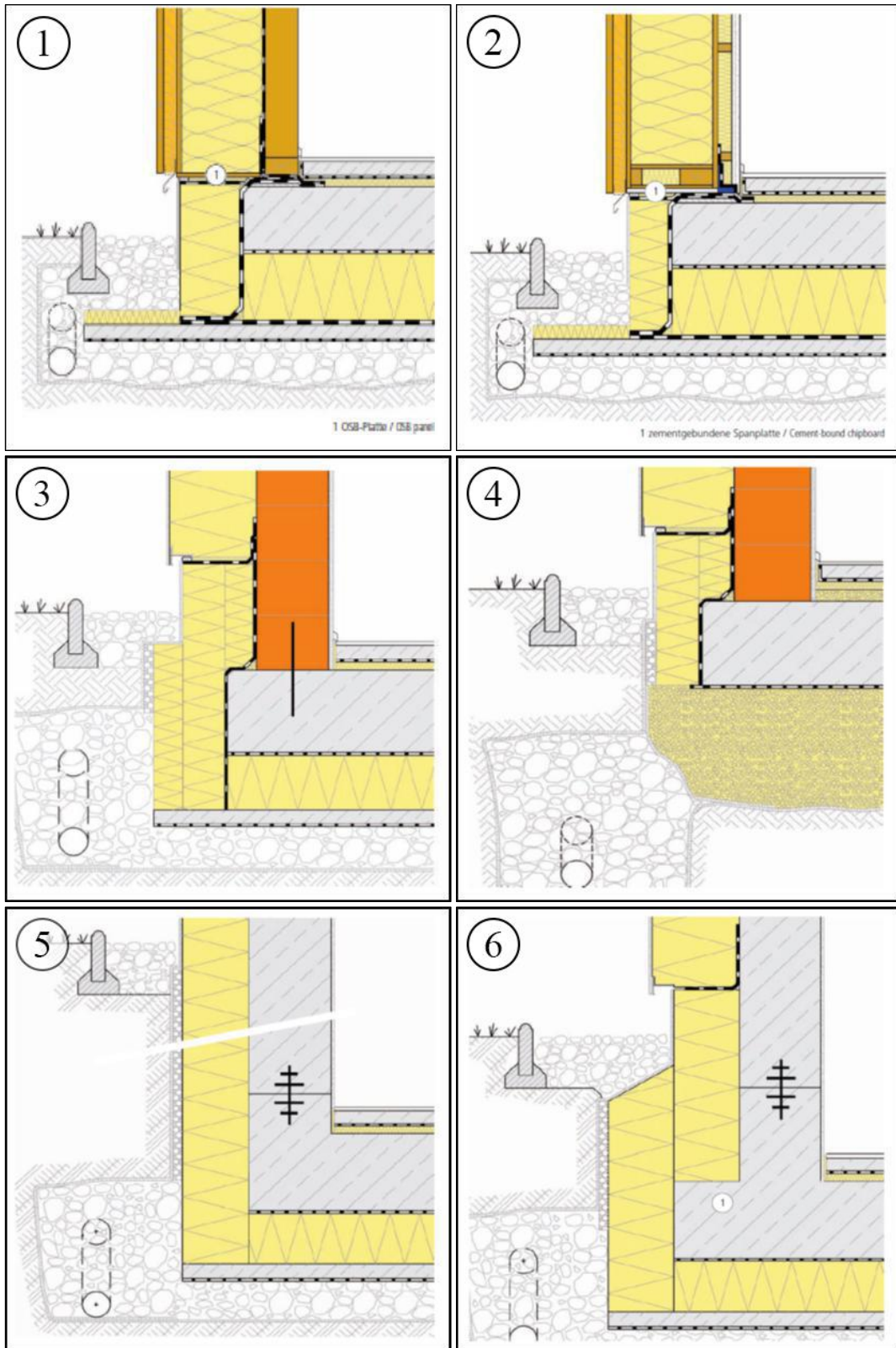
7.1 Temeljna plošča, izolirana s spodnje strani, mokri estrih

Najboljše izvedeni detajl na nivoju temeljne plošče, ki zagotovi celovit ovoj stavbe za doseg standardov nizkoenergijske hiše, je prav gotovo izolacija postavljena s spodnje strani temeljne plošče. Spodnji predstavljeni načini izvedb so v Zahodni Evropi že ustaljena praksa, na področju Slovenije pa so novost, ki se počasi prebija na trg. Večje zanimanje za tovrstno gradnjo in posledično tudi odločitev za ta način izoliranja temeljev je v vse večjem ozaveščanju ljudi zaradi našega vpliva na okolje kot tudi ekonomski vidik in s tem željo po zmanjšanju stroškov in večji kvaliteti življenja v takšni stavbi.

Največji razlog počasnejšemu prebijanju na področju Slovenije je prav gotovo visoka izpostavljenost potresnemu območju, v katerem se nahaja celotni teritorij države. Da bi zagotovili varnost in stabilnost konstrukcije, je potrebno opraviti študije, ki bodo ta način gradnje potrdile za varno. Zadnje desetletje je tudi na tem področju prišlo do večjih odkritij, tako da smo na našem področju bolj naklonjeni temu načinu gradnje in izolaciji temeljev.

Na trgu se pojavlja več proizvajalcev in ponudnikov toplotne izolacije, ki jo lahko vgradimo na spodnjo stran temelja. A pri izbiri proizvajalca je potrebno biti previden, saj če proizvajajo podoben produkt, to

še ne pomeni, da zagotavljajo tudi vse potrebne certifikate, ki garantirajo ustreznost vgradnje izbranega proizvoda.



Slika 16: Detajli temeljne plošče izolirane s spodnje strani iz kataloga [39].

Na sliki 16 so predstavljeni kataloški detajli temelja, ki je izoliran s spodnje strani. Detajl 1, 2 in 3 predstavljajo stike plitvega temeljenja na temeljni plošči, ki lahko leži na vseh tipih zemljin, in različnih sklopov zunanje zidu.

Detajl 4 predstavlja temeljenje na penjenem steklu, ki je ravno tako novost. V Sloveniji je bilo do sedaj na tem materialu temeljenih nekaj manjših objektov, vendar se je v analizi, predstavljeni v naslednjem poglavju, ta material izkazal kot zelo izolativen in dobro preprečuje kapilarni dvig. Ravno tako pa je njegova vgradnja preprosta. Zadržki so z ekonomskega vidika, saj so stroški v primerjavi s klasično gradnjo še vedno višji. Ravno tako nisem zasledila študij, ki bi dokazovale njegovo obnašanje v času potresa.

Detajla 5 in 6 pa predstavljata konstrukcije, ki imajo ogrevane prostore in ki so temeljene vsaj 1 m pod nivojem terena ne glede na vrsto zemljine.

Načeloma bi se vsi detajli lahko uporabili za gradnjo na slovenskem področju, s tem da material, konstrukcijski sklop in način gradnje zagotavlja varnost v času potresa.

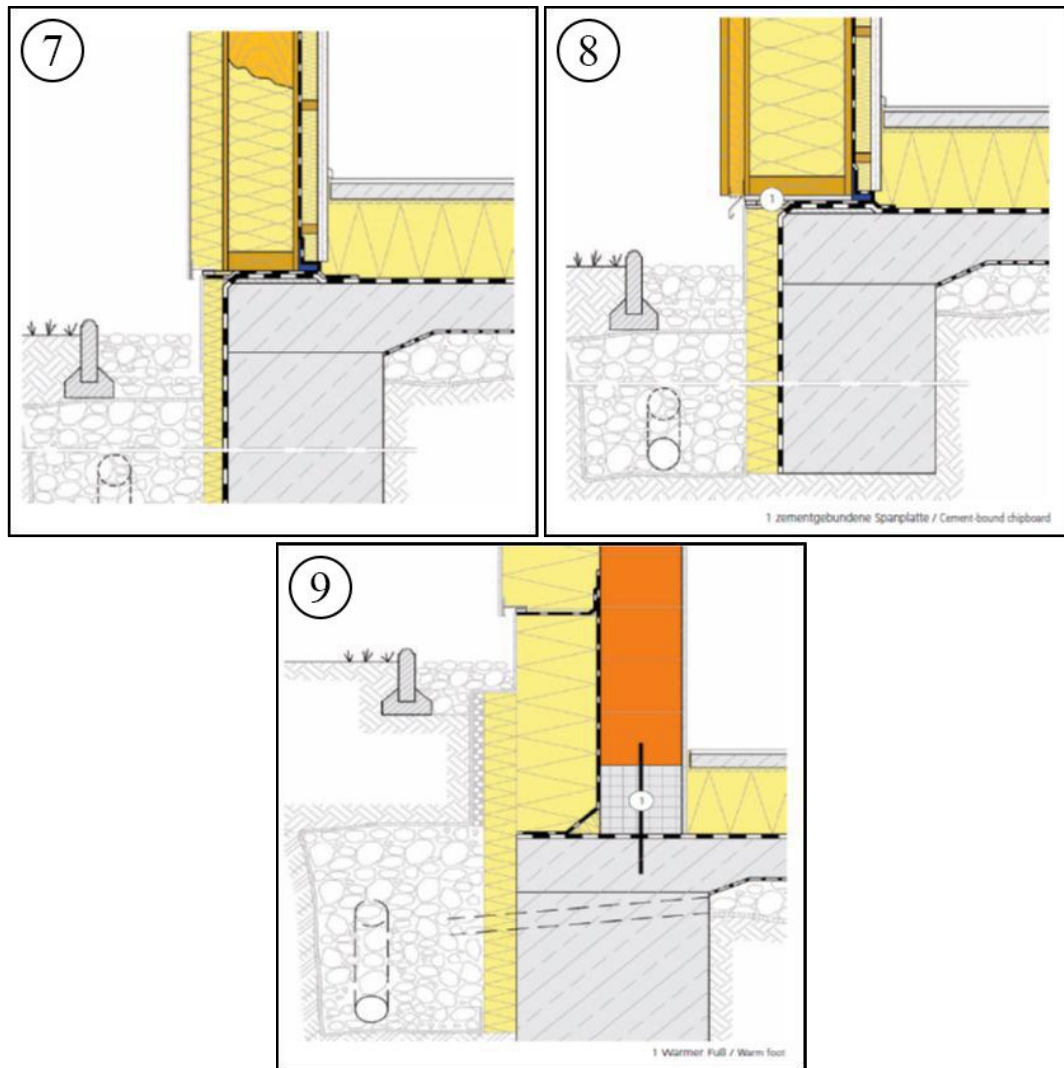
Preglednica 3: Vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu za posamezni detajl iz kataloga [39].

Št. detajla	Ime detajla iz [39]	Linearni koeficient toplotnega mostu Ψ [W/mK]
1	AWh 01 – EFu 01	- 0,013
2	AWI 05 – EFu 01	0,009
3	AWm 05 – EFu 10	- 0,033
4	AWm 05 – EFu 11	- 0,017
5	AWm 01 – EFu 10	- 0,040
6	AWm 01 – EFu 07	0,013

V preglednici 3 so predstavljene vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu posameznega detajla iz kataloga IBO [39].

7.2 Temeljna plošča, izolirana z zgornje strani, mokri estrih

V Sloveniji je najbolj razširjena gradnja na pasovnih temeljih, pri katerih se največkrat koristi izolacija z zgornje strani, to je nad temeljno ploščo. Za ta način se največkrat odloči zaradi ekonomskega vidika, saj se pri tej gradnji porabi manj armiranega betona. Vendar kot sem ugotovila v analizi, predstavljeni v naslednjem poglavju, ni tako učinkovita rešitev, kot je izolacija s spodnje strani.



Slika 17: Detajli temeljne plošče izolirane z zgornje strani iz kataloga [39].

Konstrukcijski sklop temeljev je pri detajlih 7, 8 in 9 enak, zunanja stena pa se razlikuje. Prikazane so rešitve temeljenja na zemljinah, na katerih so nujni pasovni temelji in zemljine z nizko toplotno prevodnostjo (npr. gramoz). Predstavljena je pravilna vgradnja toplotne izolacije, ki najbolj prispeva k zmanjšanju toplotnih mostov. Na sami plošči je uporabljena toplotna izolacija z zgornje strani, ob robu temelja pa je vgrajena vertikalna obodna izolacija. Stik stene in tal, ki je najbolj kritičen za nastanek toplotnih mostov, je detajlno opisan in je odvisen od stene. V primeru stene, zgrajene iz opečnega votlaka (detajl 9), je pod steno dodana toplotna izolacija, t. i. »toplotna noga«. Uporabimo izolacijo, ki ne spremeni obliko (debelino) pod težkimi obremenitvami. S tem ukrepom preprečimo dodatne izgube toplote skozi stik. A rešitev tega detajla je vprašljiva z vidika potresne varnosti, saj je stik med steno in temeljno ploščo prekinjen s toplotno izolacijo, kar predstavlja velik problem v stabilnosti premostitve potresa. Tako da ta rešitev ni ugodna za področje Slovenije, saj bi morala biti zagotovljena dobra povezava stene s temelji.

Preglednica 4: Vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu za posamezni detajl iz kataloga [39].

Št. detajla	Ime detajla iz [39]	Linearni koeficient toplotnega mostu Ψ [W/mK]
7	AW1 03 – EFo 01	- 0,051
8	AW1 06 – EFo 01	- 0,040
9	AWm 05 – EFo 01	Glej spodaj

Detajl 9 AWm 05 – EFo 01	Linearni koeficient toplotnega mostu Ψ [W/mK]	
Toplotna noga (1) λ [W/mK]	Omet iz apnenega cementa $\lambda = 0,8$ W/mK	Izolativni omet $\lambda = 0,14$ W/mK
0,10	- 0,032	- 0,046
0,14	- 0,021	- 0,034
0,20	- 0,008	- 0,019
0,30	0,010	0,000

V preglednici 4 so predstavljene vrednosti linearnega koeficienta toplotnega mostu posameznega detajla.

8 PODATKI IN IZHODIŠČA

8.1 Uporabljeno programsko orodje

Za analizo sem uporabila program THERM 7.4, razvit v Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL). Program deluje na metodi končnih elementov, ki omogoča modeliranje 2-D toplotnih mostov konstrukcijskih detajlov. Z njegovo analizo lahko modeliramo konstrukcijske sklope poljubnih geometrijskih oblik in materialov in predvidevamo težave zaradi kondenzacije, posledice vlage in strukturnih neoporečnosti [38].

Ko v program vnašamo sloje konstrukcijskega sklopa, lahko zanemarimo vse manjše debeline. Tako v rezultatih niso upoštevane folije in hidroizolacije.

8.2 Obseg analize

Za potrebe diplomske naloge sem se opredelila na reševanje problema toplotnega mostu na nivoju temeljne plošče, ki je umeščen na globini maksimalno do 40 cm. Na tej globini se temeljna plošča v zimskem obdobju nahaja v coni zmrzali. Na določitev globine zmrzali v zimskem času vplivata lokacija objekta in klima tega področja. Po enačbah, ki se nahajajo v SIST EN ISO 13793:2002, sem izračunala, da je globina vpliva zmrzali na tej lokaciji do 90 cm. To pomeni, da moramo za izogib dviga temeljev zaradi zmrzali na globini 40 cm proučiti rešitve za toplotno izolacijo temeljne plošče.

Objekt se nahaja v Osrednjeslovenski regiji, in sicer v naselju Poljane nad Stično v Občini Ivančna Gorica. Nadmorska višina lokacije je 637 m nad nivojem morja.

Objekt je nepodkleten in ogrevan, z dimenzijami armiranobetonske temeljne plošče 10 x 12 m, kar je pomembno pri določanju vpliva zemljine na temeljno ploščo. Debelina temeljne plošče je 30 cm. Zaradi manjkajočih podatkov, ki zadevajo zemljino, sem po priporočilu SIST EN ISO 13793:2002 vzela splošne materialne karakteristike za zemljino podane v tem standardu.

8.3 Vhodni podatki za program THERM

Robni pogoji:

- zunanja temperatura: $T_e = -13\text{ °C}$
- notranja temperatura: $T_i = 21\text{ °C}$
- relativna zračna vlažnost – stanovanjski prostor: $w = 65\%$

Materialne karakteristike homogene zemljine, neodporne na zmrzal (povzete po SIST EN ISO 13793:2002, str. 10):

- toplotna prevodnost nezmrznjene zemljine $\lambda = 1,5\text{ W/mK}$
- toplotna prevodnost zmrznjene zemljine $\lambda_f = 2,5\text{ W/mK}$

Materialne karakteristike (povzete po TSG 01 – 004:2010, razen toplotne izolacije, ki je povzeta po tehničnih specifikacijah proizvajalca Fibran NORD, d.o.o.):

Preglednica 5: Materialne karakteristike konstrukcijskih sklopov.

Materialne karakteristike		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Stena	Zunanji omet	1,5	0,7
	Toplotna izolacija-ETICS FIBRANxps	15	0,035
	Opečni votlak	30	0,53
	Notranji omet	2	1,4
Tla	Finalna obloga-parket	2	0,21
	Cementni estrih	5	1,4
	Toplotna izolacija-FIBRANxps	10	0,035
	Armirano betonska temeljna plošča	30	2,33
	Podložni beton	8	1,4
	Utrjeno nasutje-gramoz	15	1,5
Toplotna izolacija	vertikalna-FIBRANxps	10-18	0,035
	horizontalna-FIBRANxps	10-18	0,035
	pod temeljno ploščo-FIBRANxps SEISMIC	18-24	0,035

8.4 Izhodiščni model in možne rešitve, uporabljene pri analizi obravnavanega toplotnega mostu

Analizo toplotnih mostov sem pričela z osnovnim modelom brez spodnje toplotne izolacije in ravno tako brez horizontalne in vertikalne robne izolacije po obodu temeljne plošče. S tem sem ponazorila značilen toplotni most. Z različnimi posegi, to je debelinami in razdaljami vertikalne in horizontalne izolacije po obodu temeljne plošče ter izbiro raznolikih toplotnoizolacijskih materialov pod in nad temeljno ploščo, sem dobila primerljive rezultate zmanjšanja toplotnih izgub na stiku zunanje stene s temeljno ploščo.

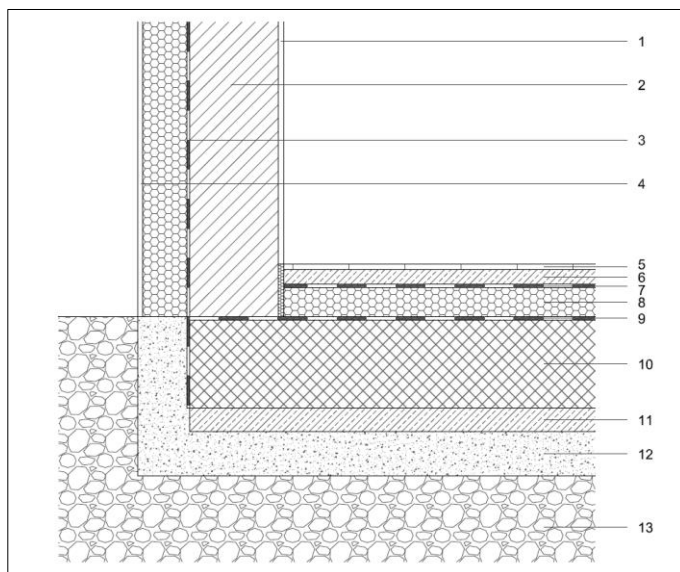
8.4.1 Stik temeljna plošča–zunanja stena

Obravnavani konstrukcijski detajl križanja se sestoji iz temeljne armirano betonske plošče, debeline 30 cm in zunanje stene iz opečnih votlakov debeline 30 cm. Temeljna plošča leži na maksimalni globini do 40 cm zmrzlinško neodporne zemljine.

Konstrukcijski sklop tal osnovnega modela se od notri proti zemljini sestoji iz finalne obloge, cementnega estriha, pod katerega se namesti polietilenska penjena folija za zvočno in toplotno izolacijo. Tej sledi notranja toplotna izolacija, hidroizolacija, armirano betonska temeljna plošča, podložni beton in gramozni tampon na zmrzlinško neodporni zemljini. Pomembna je pozicija toplotne izolacije, ki se pri tem konstrukcijskem sklopu nahaja nad temeljno ploščo.

Konstrukcijski sklop zunanje stene pa od notranjosti proti zunanosti sestoji iz notranjega ometa, opečnega votlaka, hidroizolacije, toplotne izolacije na zunanji strani in zunanje finalne obloge (fasadnega ometa).

Na sliki 18 je prikazan značilen toplotni most, ki prehaja skozi vogale stikov zunanje stene in temeljne plošče iz notranjosti proti zunanosti. Takšna vgradnja je značilna za starejše objekte in novogradnje, ki ne upoštevajo vidika varčnosti energije. Ravno zaradi izgube toplote skozi temeljna tla se je pokazala potreba po novih rešitvah za zagotovitev ovoja nizko energijskih hiš. Za analiziranje s programom THERM 7.4 je bil uporabljen izhodiščni model s slike 18.

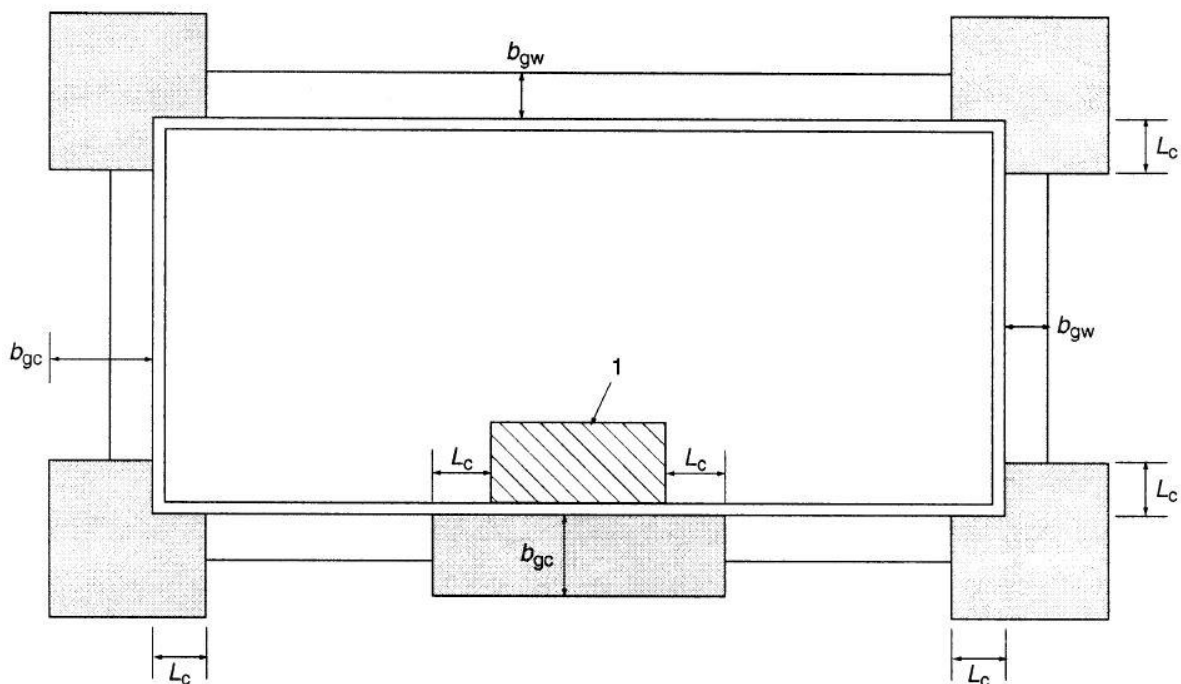


Slika 18: Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena kot model za računalniški program THERM brez obodne toplotne izolacije.

- Sestava:
1. Notranji omet
 2. Opečni votlak
 3. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 4. Zunanji omet
 5. Parket
 6. Cementni estrih
 7. FIBRANxpe zvočna izolacija
 8. FIBRANxps 300-I
 9. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 10. Armirana betonska temeljna plošča
 11. Podložni beton
 12. Gramoz
 13. Zemlja

8.4.2 Uporaba vertikalne in horizontalne toplotne izolacije XPS po obodu temeljne plošče

Na bočni strani temeljev in zidov pod zemljo se pojavijo povečane toplotne izgube. Zato tu uporabimo ukrep za zmanjšanje toplotnih mostov skozi temeljno ploščo in preprečitev dviga temeljev zaradi zmrzali pri nepodkletenih ogrevanih objektih, ki se po SIST EN ISO 13793:2002 poslužuje uporabe vertikalne obodne toplotne izolacije do globine temeljne plošče in horizontalne obodne toplotne izolacije. Horizontalno obodno izolacijo lahko postavimo le na kotih temeljne plošče ali pa po vsej obodni površini, kot je prikazano na sliki 19.

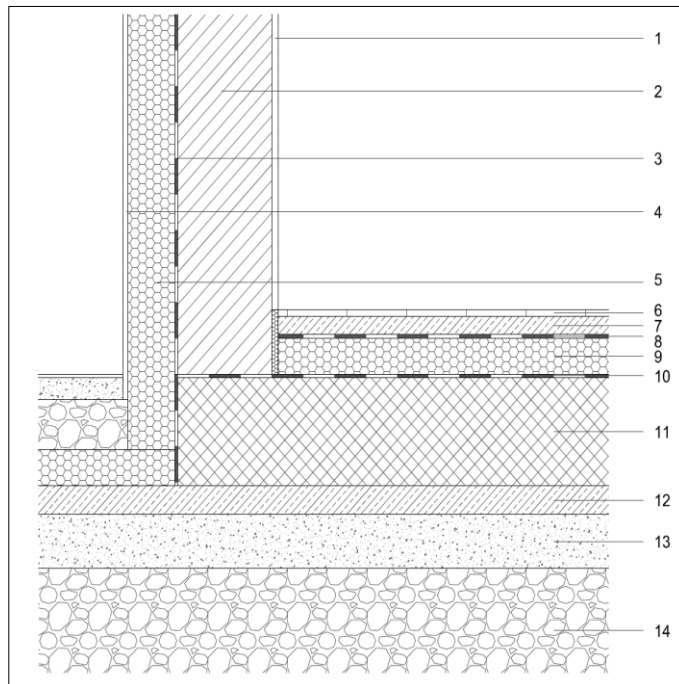


Slika 19: Širina talne toplotne izolacije po obodu temeljne plošče [11].

V mojem primeru, ki je ponazorjen na sliki 20, sem uporabila tako vertikalno kot horizontalno toplotno izolacijo. Pri temeljenju se temeljno ploščo postavi na podložni beton. Podložni beton se ob uporabi horizontalne izolacije podaljša na njeno razdaljo, saj se jo vgradi tik ob robu temeljne plošče. Pri vgradnji vertikalne toplotne obodne izolacije je potrebno stik med horizontalno in vertikalno izolacijo izvesti nadvse natančno. Po navadi se za preprečitev morebitnega toplotnega mostu in za pravilno vgradnjo na tem mestu uporabijo trikotne letve. S tem ublažimo lome vertikalne bitumske hidroizolacije. Z vertikalno toplotno izolacijo se obloži celotna površina zasute stene, vključno z bočnimi stranmi temelja, to je od konca fasadnega robu do horizontalne izolacije. Pri tem je pomembno uporabiti toplotno izolacijo primerno za konstrukcije v stiku z zemljo. Zato uporabimo XPS-izolacije, ki so trdne in skorajda nevpojne izolacijske plošče iz penjenega polistirena in tako tudi v vlažni zemlji

ohranjajo predvidene gradbeno-fizikalne lastnosti. Plošče se nameščajo na ravno in čisto površino hidroizolacije tesno drugo poleg druge z vrstičnim zamikom.

Ker je objekt nepodkleten in je prostor nad temeljno ploščo bivalni, smo v tem primeru uporabili toplotno izolacijo tal nad temeljno ploščo.

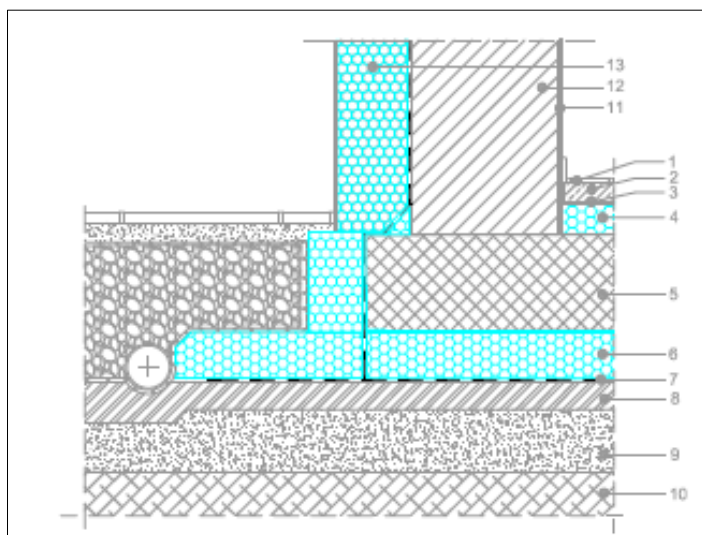


Slika 20: Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena z obodno toplotno izolacijo.

- Sestava:
1. Notranji omet
 2. Opečni votlak
 3. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 4. Zunanji omet
 5. FIBRANxps ETICS GF
 6. Parket
 7. Cementni estrih
 8. FIBRANxpe zvočna izolacija
 9. FIBRANxps 300-I
 10. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 11. Armirana betonska temeljna plošča
 12. Podložni beton
 13. Gramoz
 14. Zemlja

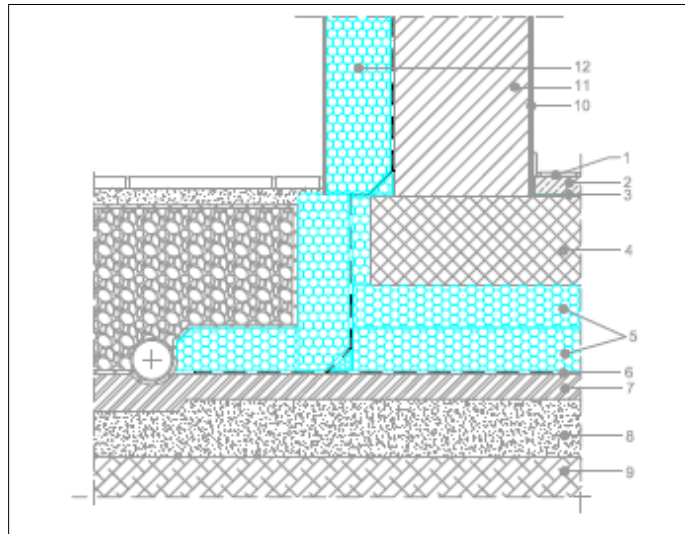
8.4.3 Uporaba toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo

Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene je enaka izhodiščnemu modelu opisanemu v predhodnem poglavju. Ravno tako je uporabljena obodna toplotna izolacija. Konstrukcijski sklop tal pa je spremenjen. Namreč toplotno izolacijo XPS-plošč vgradimo pod temeljno ploščo. Posledično toplotno izolacijo nad njo, torej pod finalno oblogo, zanemarimo. S tem se pospeši in poceni finalna obdelava tlakov. Tako je sestava sklopa tal od znotraj proti zemljini sledeča: finalna obloga (parket), cementni estrih, penjena folija, armirana betonska temeljna plošča, PE-tesnilna folija, toplotna izolacija, hidroizolacija, podložni beton, gramozni tampon na zmrzlinso neodporni zemljini. Natančen postopek izvedbe se dobi na internetni strani proizvajalca Fibran NORD, d.o.o. [30].



Slika 21: Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj-zunanja stena, z enoslojno XPS-toplotno izolacijo pod temeljno ploščo. (Fibran NORD, d.o.o.)

- Sestava:
1. Parket
 2. Cementni estrih
 3. FIBRANxpe zvočna izolacija
 4. FIBRANxps 300-I
 5. Armirana betonska temeljna plošča
 6. FIBRANxps 400-L
 7. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 8. Podložni beton
 9. Gramoz
 10. Zemlja
 11. Notranji omet
 12. Opečni votlak
 13. FIBRANxps ETICS GF



Slika 22: Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj–zunanja stena, z dvoslojno XPS-toplotno izolacijo pod temeljno ploščo. (Fibran NORD, d.o.o.)

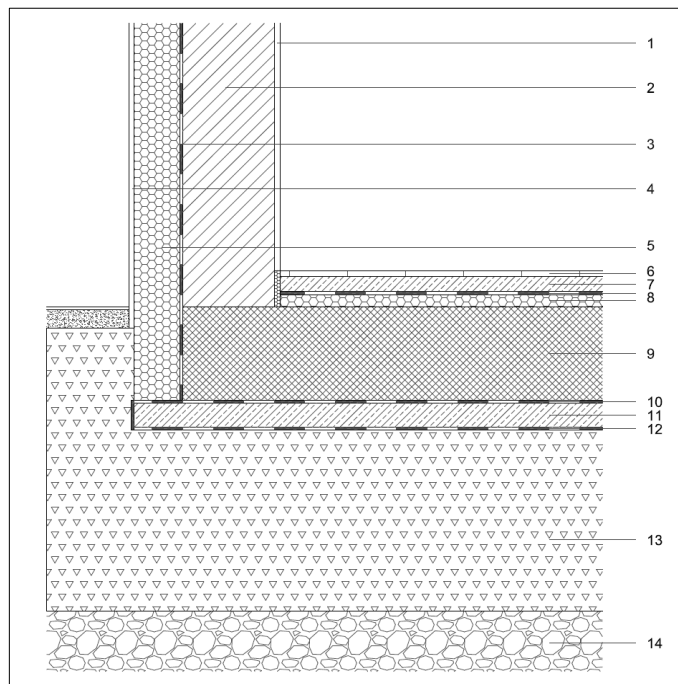
- Sestava:
1. Parket
 2. Cementni estrih
 3. FIBRANxpe zvočna izolacija
 4. Armirana betonska temeljna plošča
 5. FIBRANxps 400-L
 6. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 7. Podložni beton
 8. Gramoz
 9. Zemlja
 10. Notranji omet
 11. Opečni votlak
 12. FIBRANxps ETICS GF

Pri takšni rešitvi se lahko uporabi enoslojno ali dvoslojno toplotno izolacijo XPS-plošč pod temeljno ploščo. Dvoslojna toplotna izolacija ima različno vgraditev hidroizolacije, in sicer pod, nad ali med toplotno izolacijo. S takšno montažo toplotne izolacije ustvarimo celovit toplotnoizolacijski ovoj stavbe, toplotni mostovi pa so maksimalno preprečeni.

8.4.4 Uporaba toplotne izolacije penjenega stekla

Pri uporabi penjenega stekla se izdelava temeljne plošče zelo poenostavi, saj se vgradnja toplotne izolacije nadomesti z vgradnjo penjenega stekla, ki zelo pospeši gradnjo temeljne plošče brez toplotnih mostov. Ravno tako se zmanjšajo možnosti napak na stikih vertikalne in horizontalne toplotne izolacije. Penjeno steklo pa se uporabi tudi namesto vertikalne izolacije vse do zgornje točke terena. Za preprečitev zmrzlinkega vpliva je potrebno narediti širši rob penjenega stekla pod temeljno ploščo v razdalji 0,5 m do 1 m ter zagotoviti primerno drenažo sloja. Natančen postopek izvedbe je opisan na internetni strani Pasivna gradnja [34].

Konstrukcijski sklop tal je v tem primeru od znotraj proti zemljini sestavljen iz finalne obloge (parket), cementnega estriha, armirano betonske temeljne plošče, gradbenega filca ali PE-folije, gramoza iz penjenega stekla, gradbenega filca in zmrzlinško neodporne zemljine.



Slika 23: Skica konstrukcijskega sklopa stik temelj-zunanja stena s toplotno izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo.

- Sestava:
1. Notranji omet
 2. Opečni votlak
 3. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
 4. Zunanji omet
 5. FIBRANxps ETICS GF
 6. Parket

7. Cementni estrih
8. FIBRANxpe zvočna izolacija
9. Armirana betonska temeljna plošča
10. Elastomerna bitumenska hidroizolacija
11. Podložni beton
12. PE-folija
13. Gramoz iz penjenega stekla – GLAPOR
14. Zemlja

9 REZULTATI ANALIZE TOPLOTNIH MOSTOV

Preverjene analize so predstavljene v sledečih poglavjih. Iz programa THERM 7.4 so uporabljeni rezultati v obliki termografskih skic, na katerih se nahaja potek izoterm skozi konstrukcijske sklope in barvni prikaz konstrukcijskih sklopov. Prikazan je tudi toplotni tok skozi konstrukcijske elemente.

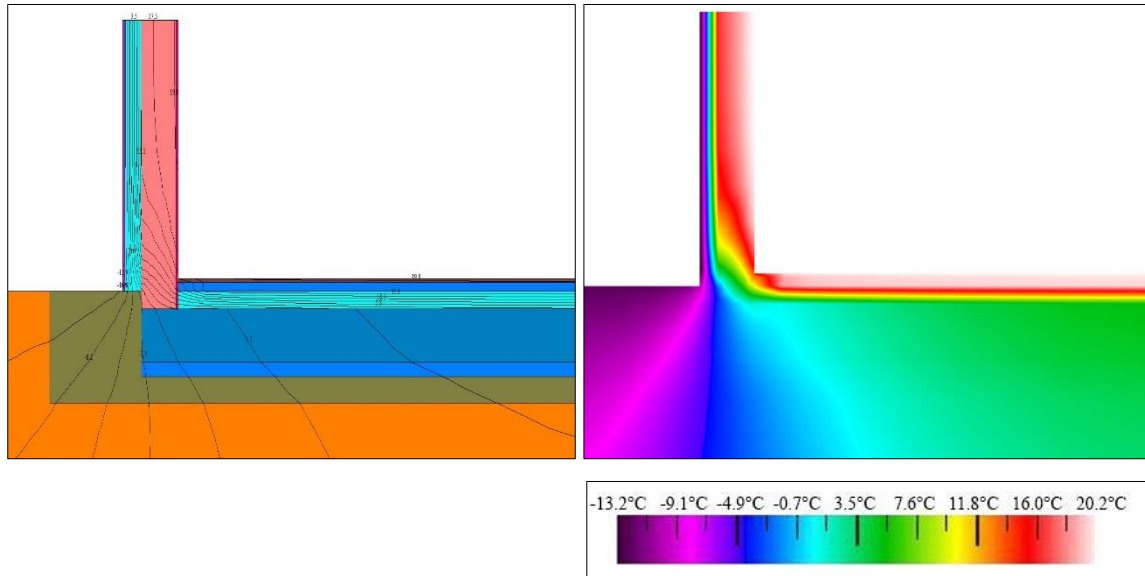
Za lažje razumevanje kritične meje, v kateri se pojavi ravnina rosišča, so pomembni naslednji podatki; pri notranji temperaturi 21 °C in notranji relativni vlažnosti 65 % nastopi ravnina rosišča pri temperaturi 14,2 °C.

9.1 Izračun stika temeljne plošče pod toplotno izolacijo in zunanje stene

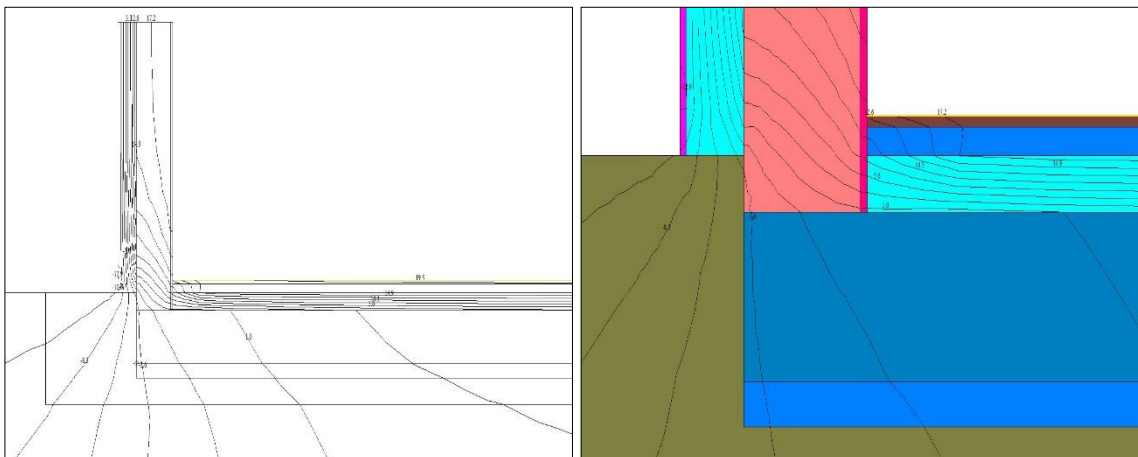
Rezultati za pozicijo toplotne izolacije nad temeljno ploščo so različni. Pričakovano se je izkazalo, da obodna toplotna izolacija igra pomembno vlogo pri odpravljanju toplotnih mostov. Preverila sem, kako poleg pozicije vpliva različna dolžina ter debelina obodne toplotne izolacije. Pri tolmačenju rezultatov so pomembne izoterme, saj le te pokažejo realno temperaturo in lego ravnine rosišča v steni in tleh. Namreč pojav nizke temperature v steni ali tleh, poveča nevarnost kondenzacije in plesni v notranjosti objekta.

9.1.1 Izhodiščni primer – toplotna izolacija je nad temeljno ploščo

Dobljeni rezultati za izhodiščni primer, kjer se toplotna izolacija nahaja le nad temeljno ploščo, je pričakovano najslabši. Na topografski skici namreč vidimo, da izoterma okoli 0 °C poteka pod stikom z zunanjo steno, kar pomeni, da je celotni rob armirane betonske plošče pod ničto temperaturo in tako izpostavljen zmrzali. Cilj je, da izoterma okoli 0 °C poteka izven temeljne plošče in se tako pod temeljno ploščo pojavi toplotna cona brez možnosti pojava zmrzali. Zaradi prekinjene toplotne izolacije se lahko poveča toplotna izguba skozi konstrukcijski sklop.

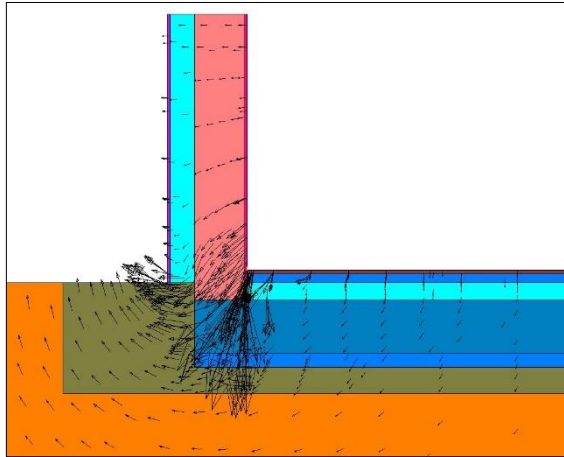


Slika 24: Termografska skica izračuna za izhodišni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).



Slika 25: Prikaz pojava ravnine rosišča izhodiščnega primera.

Na sliki 25 se vidi, da je zaradi pomanjkanja toplotne izolacije ob robu temeljne plošče ali celo pod njo ravnina rosišča pomaknjena globoko v sredino zunanje stene, ki se nadaljuje v notranjost temeljne plošče. Tako se velik del kota zunanje stene in temeljne plošče nahaja v kritičnem območju za nastanek kondenzacije in posledičnega morebitnega pojava plesni v notranjosti objekta, kar poslabša bivalne pogoje, ki se ljudem odražijo na zdravju. Rumena črta na sliki 25 označuje pojav kondenzacije, saj se mejna temperatura rosišča $14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pojavi konkretno na stičišču zunanje stene in tal.



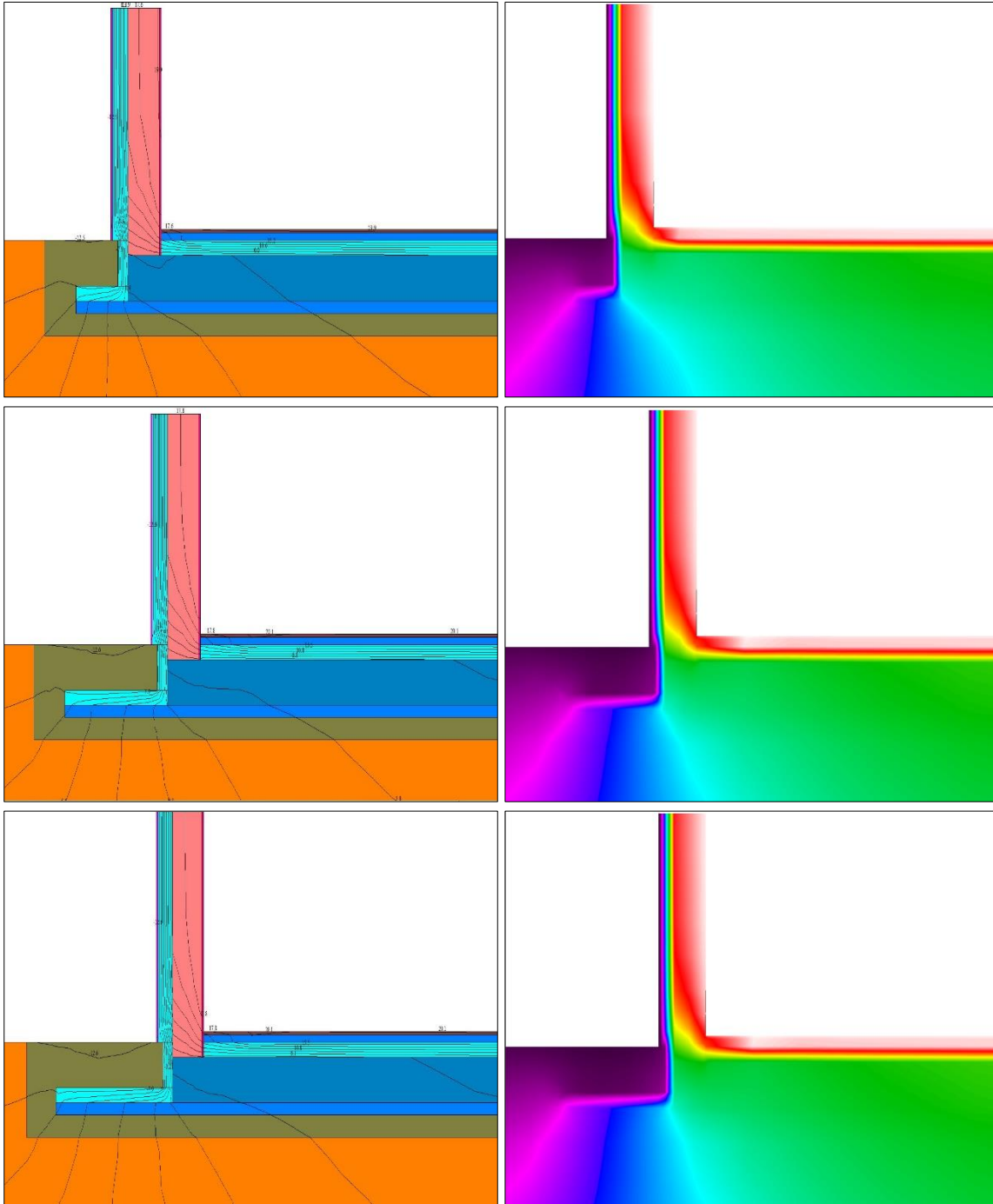
Slika 26: Potek povečanega toplotnega toka za izhodiščni primer.

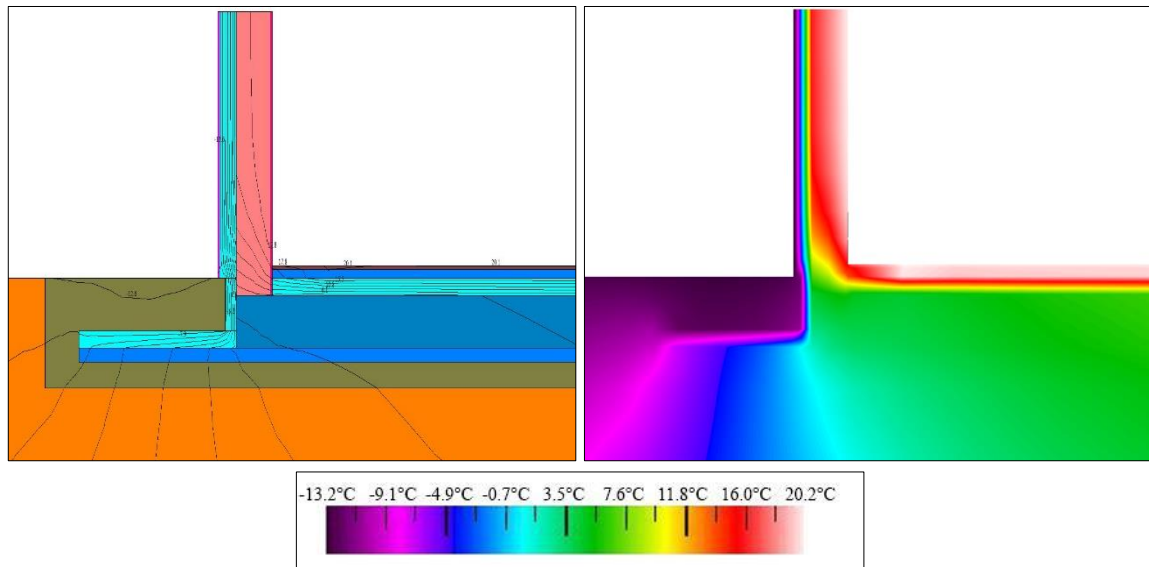
Slika 26 prikazuje smer in intenzivnost toplotnega toka na stiku zunanje stene in temeljne plošče. Prikazano mesto povečanega toplotnega toka, pomeni mesto največjih toplotnih izgub na področju tal.

9.1.2 Horizontalna in vertikalna toplotna izolacija – različna dolžina

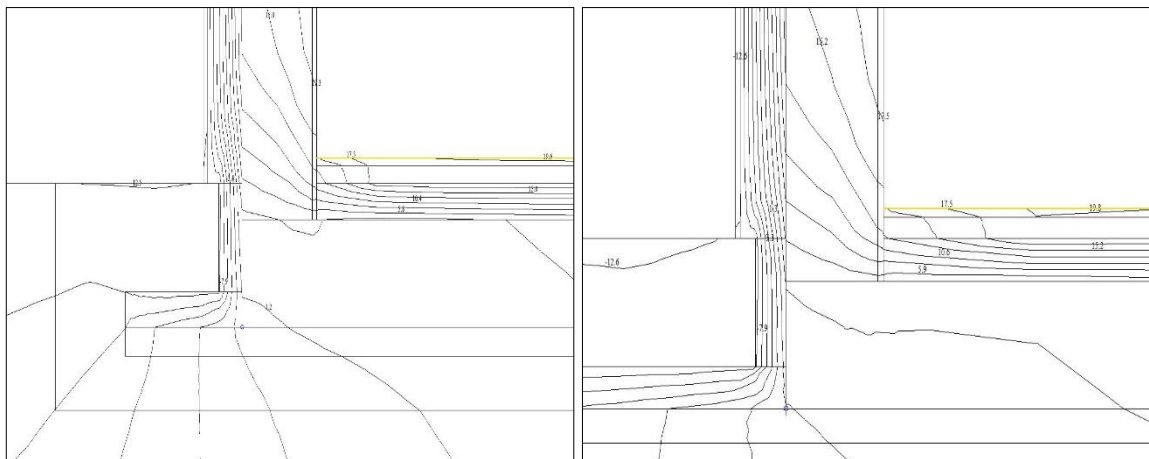
Prvi primer izboljšanja toplotnih izgub preko temeljnih tal je dodatna toplotna izolacija po obodu temeljne plošče. Vertikalna toplotna izolacija sega od toplotne izolacije fasade do horizontalne obodne izolacije, ki se od zunanjega roba temeljne plošče nahaja minimalno 50 cm ali več. Najbolj kritični so koti temeljne plošče. Primerjava različnih dolžin od roba temeljne plošče je prikazana v spodnjih primerih, ko sem pri isti debelini 10 cm dodatne obodne izolacije spreminjala le dolžino horizontalne obodne izolacije. Primerjava je narejena za dolžine 50 cm, 100 cm, 120 cm in 140 cm.

Na sliki 27 je prikazana primerjava različnih dolžin in zelo očitna je izboljšava toplotnih izgub z daljšanjem obodne izolacije. Vidimo, da se z daljšanjem izoterma $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomika proti zunanosti roba toplotne plošče in s tem zvišuje toplotno cono pod temeljno ploščo. Ta učinek tudi doprinese k zmanjšanju toplotnih izgub preko temeljnih tal.



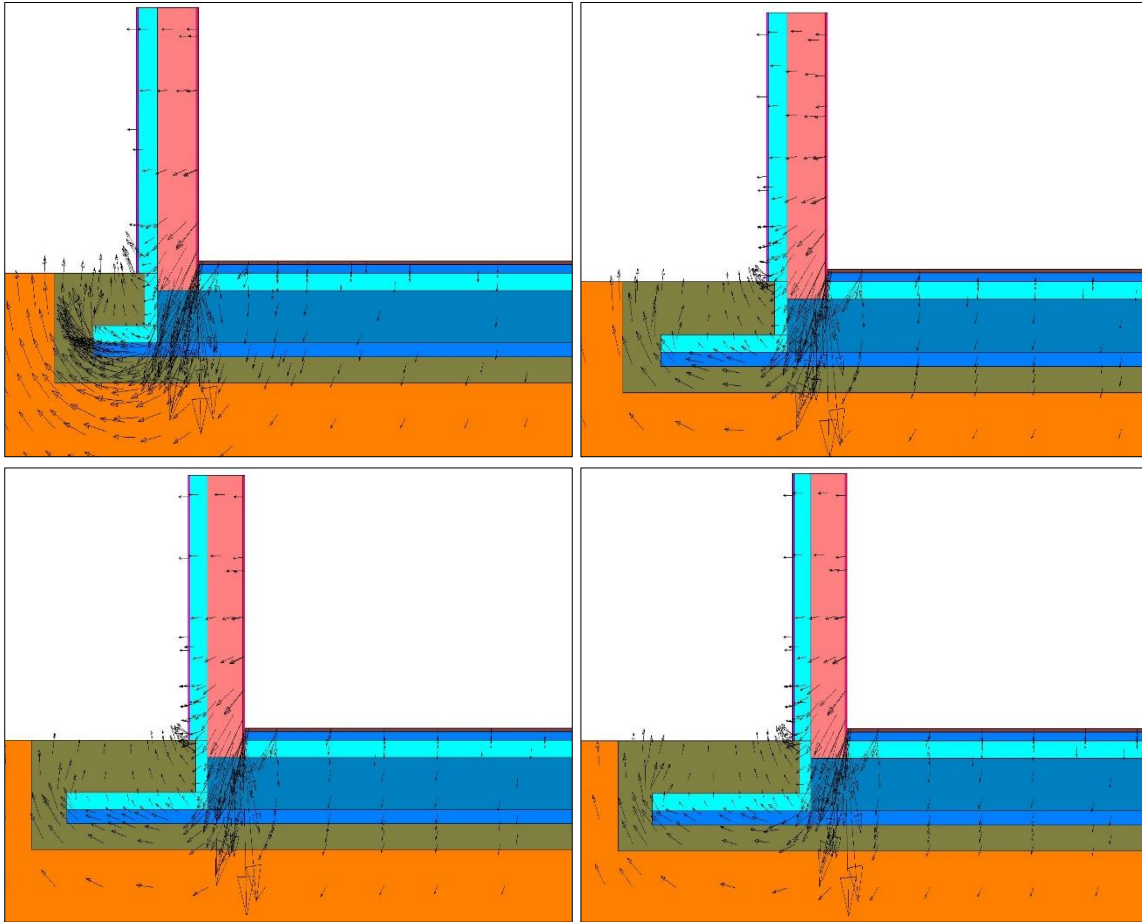


Slika 27: Termografska skica izračuna za obodno horizontalno izolacijo dolžin 50 cm, 100 cm, 120 cm in 140 cm, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).



Slika 28: Prikaz pojava ravnine rosišča pri dolžini 50 cm (levo) in 100 cm (desno).

Pri dolžinah 50 cm in 100 cm pride do dosežene točke rosišča na stičišču stene in tal, kar v vogalu stika povzroči kondenzacijo in plesen. Zato ti dve dolžini nista primerni za odpravo toplotnega mostu. Pri dolžini 120 cm je ravnina rosišča pomaknjena proti zunanosti stičišča in na notranji strani vrha tal ne pride do kondenzacije, saj je temperatura na notranji strani stičišča okoli 17 °C. Del rosišča je še vedno prisoten na stičišču, kar pomeni prisotnost nižjih temperatur v steni in tleh. Pojav predstavlja spremembo temperature v prostoru, pa čeprav je le-ta minimalna. Pri 140 cm se ravnina še bolj pomakne proti zunanosti in lahko predvidevamo, da se stanje z večanjem dolžine izboljšuje, vendar po 140 cm te izboljšave niso tako očitne. Zato se tu pojavlja vprašanje, ali je večja dolžina še dovolj učinkovita, da upraviči ekonomski vidik.



Slika 29: Potek povečanega toplotnega toka za horizontalne obodne toplotne izolacije različnih dolžin.

Intenzivnost toplotnega toka se z daljšanjem horizontalne izolacije zmanjšuje in se premakne na območje, kjer ni prisotne toplotne izolacije. Toplotni tok išče najkrajšo pot preko najbolj prevodnih materialov. V tem primeru je to armirana betonska plošča. Zato je intenzivnost toka na stičišču stene in plošče največja. Skozi zunanjo steno in proti notranjosti temeljne plošče je prehodnost enakomerna.

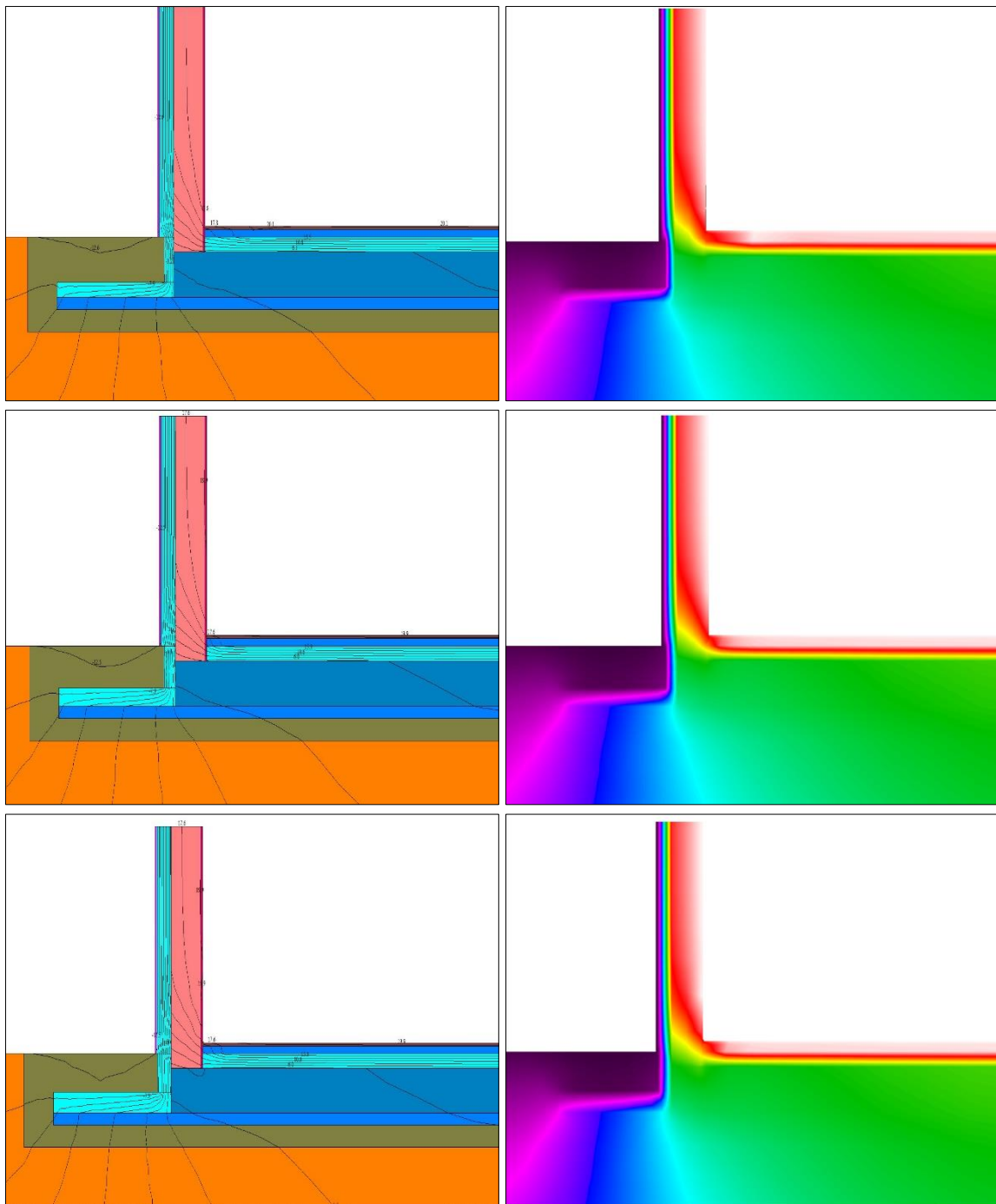
9.1.3 Horizontalna in vertikalna toplotna izolacija – različna debelina

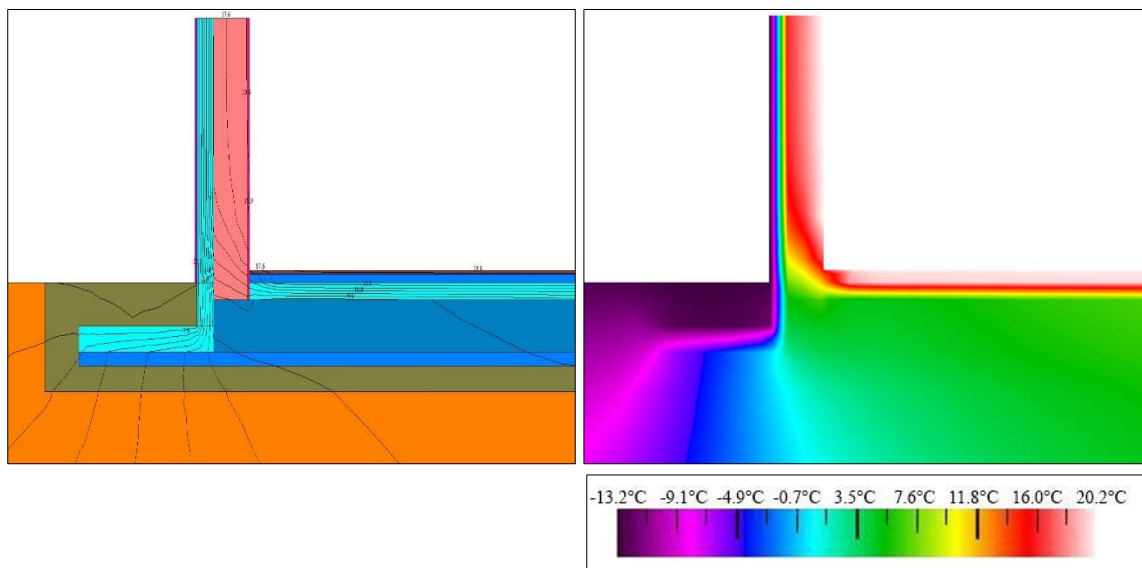
V tem segmentu sem preverila, kako debelina obodne toplotne izolacije vpliva na zmanjšanje vpliva toplotnih mostov. Izbrala sem dolžino 120 cm, kjer v notranjem stičišču stene in tal ni več prisotna temperatura rosišča, s čimer se izognemo nastajanju kondenzacije in plesni na notranji strani sten. Preverila sem naslednje debeline toplotne izolacije XPS-plošč: 10 cm, 12 cm, 14 cm in 15 cm.

Z odebelitvijo toplotne izolacije se tudi potek izoterm izboljšuje. To je najbolj vidno na prehodu fasade na vertikalno obodno izolacijo, kjer se nizke temperature zadržijo v toplotni izolaciji ter potekajo tem bolj enakomerno skozi prehod različnih debelin izolacije, in na stičišču horizontalne toplotne izolacije

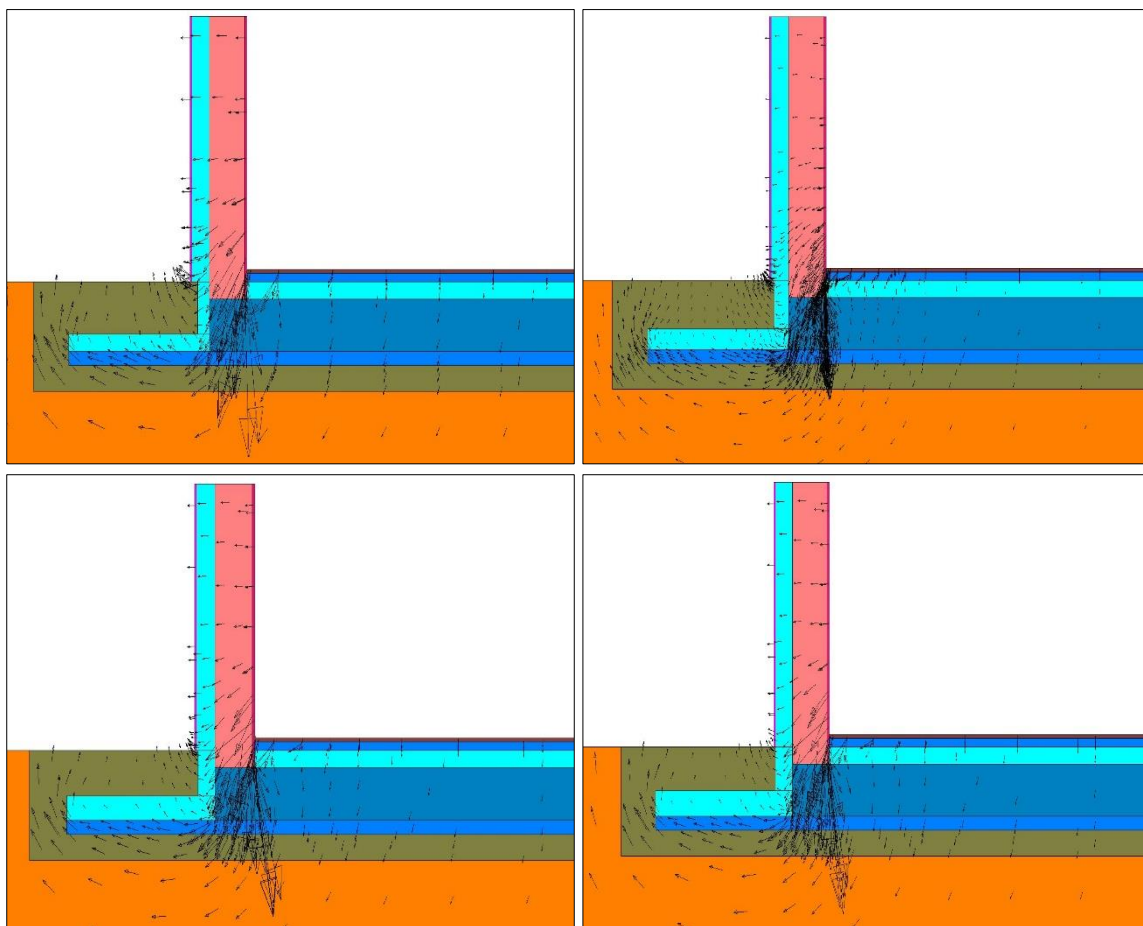
in roba temeljne plošče, kjer vidimo, da se izoterme z nizkimi temperaturami pomikajo na spodnji zunanji rob temeljne plošče.

Doprinosi debeline so veliko manjši kot pri večanju dolžine horizontalne izolacije, a vseeno nezanemarljivi. Najbolj optimalna rešitev je debelina izolacije, ki sovпада z debelino fasade, saj pri tem ni prisotno koleno na stičišču in toplotna izolacija prevzame enakomeren potek izoterm nižjih temperatur. Tudi prehod izoterm iz toplotne izolacije se premakne proti zunanjemu delu konstrukcije.





Slika 30: Termografska skica izračuna za obodno horizontalno izolacijo debelin 10 cm, 12 cm, 14cm in 15 cm, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).



Slika 31: Potek povečanega toplotnega toka za obodno horizontalno izolacijo različnih debelin.

Intenzivnost toplotnega toka se pri večanju debeline izolacije skoncentrira na pot pod stik temeljne plošče in zunanje stene v zemljinu, saj se pod temeljno ploščo ne nahaja izolacija. Na tem mestu so

toplotne izgube največje. Na sliki 31 je to vidno na prvih treh primerih, to so debeline 10 cm, 12 cm in 14 cm vidimo manjšo intenzivnost toplotnega toka na kolenu, to je prehodu različnih debelin izolacij. Predvidljivo se toplotni tok manjša z manjšanjem razlik med debelinami izolacij.

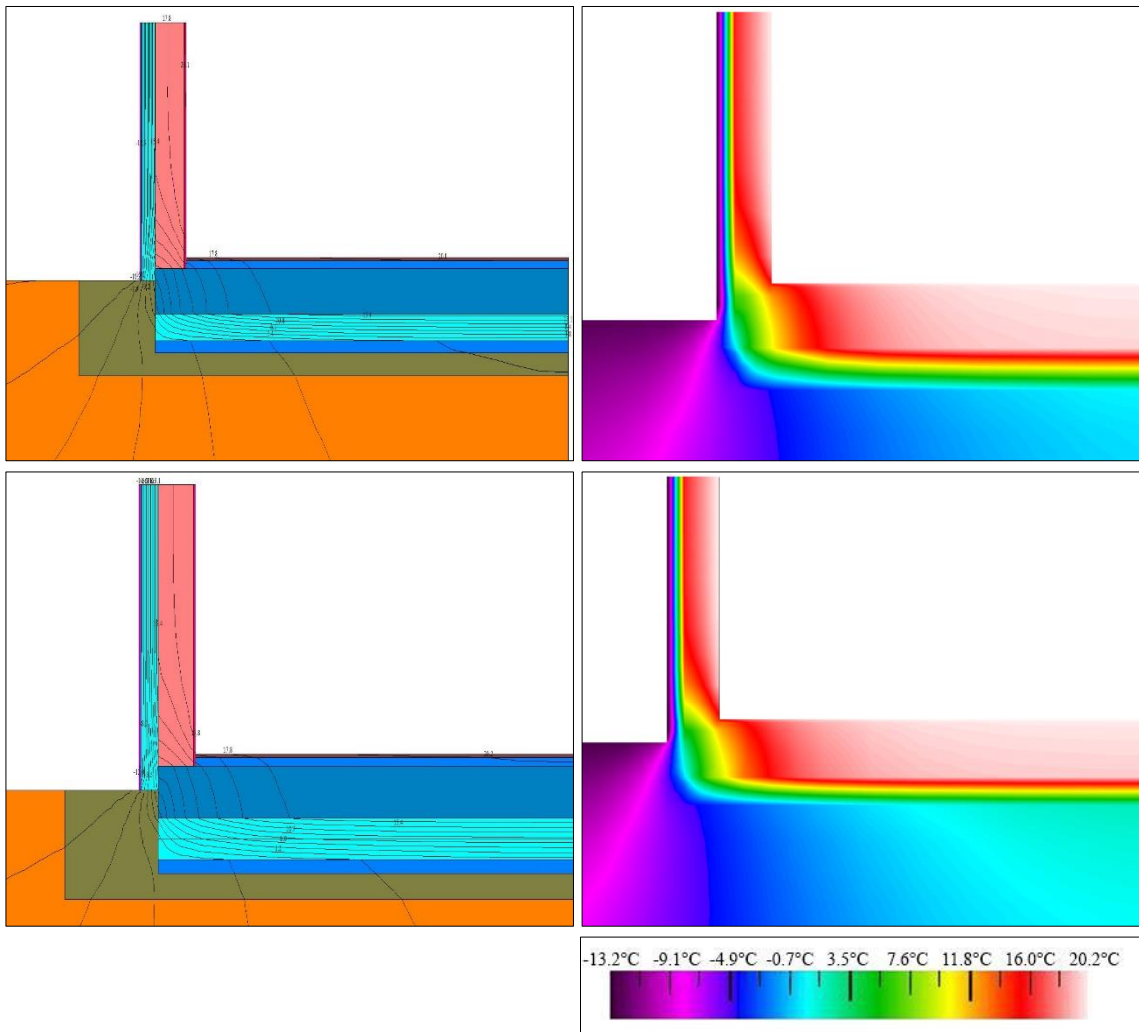
9.2 Izračun stika temeljne plošče nad XPS-toplotno izolacijo in zunanjo steno

Za očitnejše izboljšanje temperaturnega vpliva v prostoru na stičišču zunanje stene s temeljno ploščo se moramo poslužiti boljšega in učinkovitejšega ukrepa. To predstavlja umestitev XPS-toplotne izolacije pod temeljno ploščo. Pri tem proizvajalci ponujajo enojno in dvojno toplotno izolacijo z različno umestitvijo hidroizolacije.

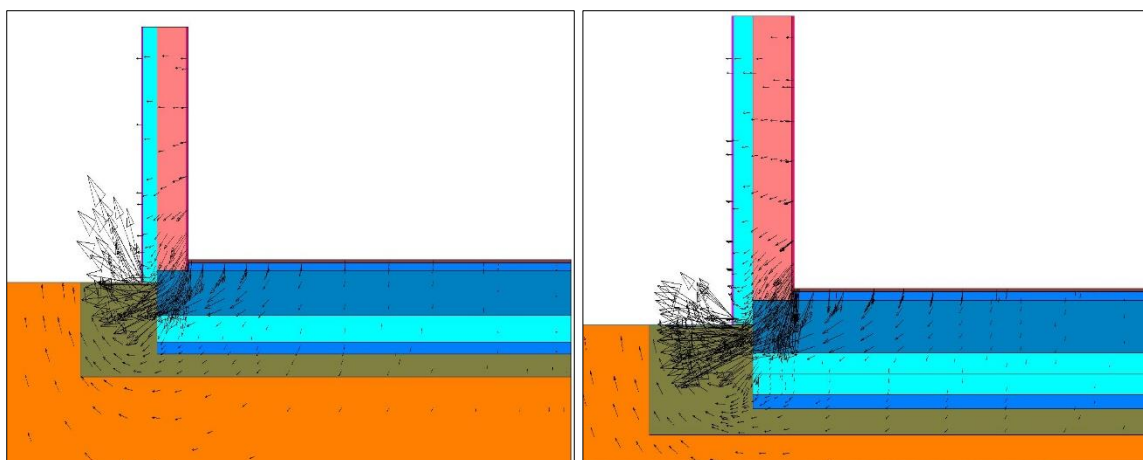
Tudi tu sem preverila vpliv različnih dolžin in debelin obodne toplotne izolacije na izboljšanje toplotnega vpliva stavbe.

9.2.1 Izhodiščni primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo pod temeljno ploščo

Pomembnost obodne toplotne izolacije temeljne plošče je predstavljena na sliki 32. Zaradi izostanka le-te je izguba toplote na stiku zunanje stene in temeljne plošče večja kot na ostalem območju istega področja. To rezultira nastanek toplotnega mostu. Ravnina rosišča poteka skozi stik v zgornji finalni oblogi in tako predstavlja neugoden temperaturni vpliv v notranjosti stavbe. Ravnino rosišča želimo premakniti čimbolj na zunanji del stika konstrukcije, tako da bo njen temperaturni vpliv v notranjosti stavbe minimalen.



Slika 32: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer XPS-toplotne izolacije pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).



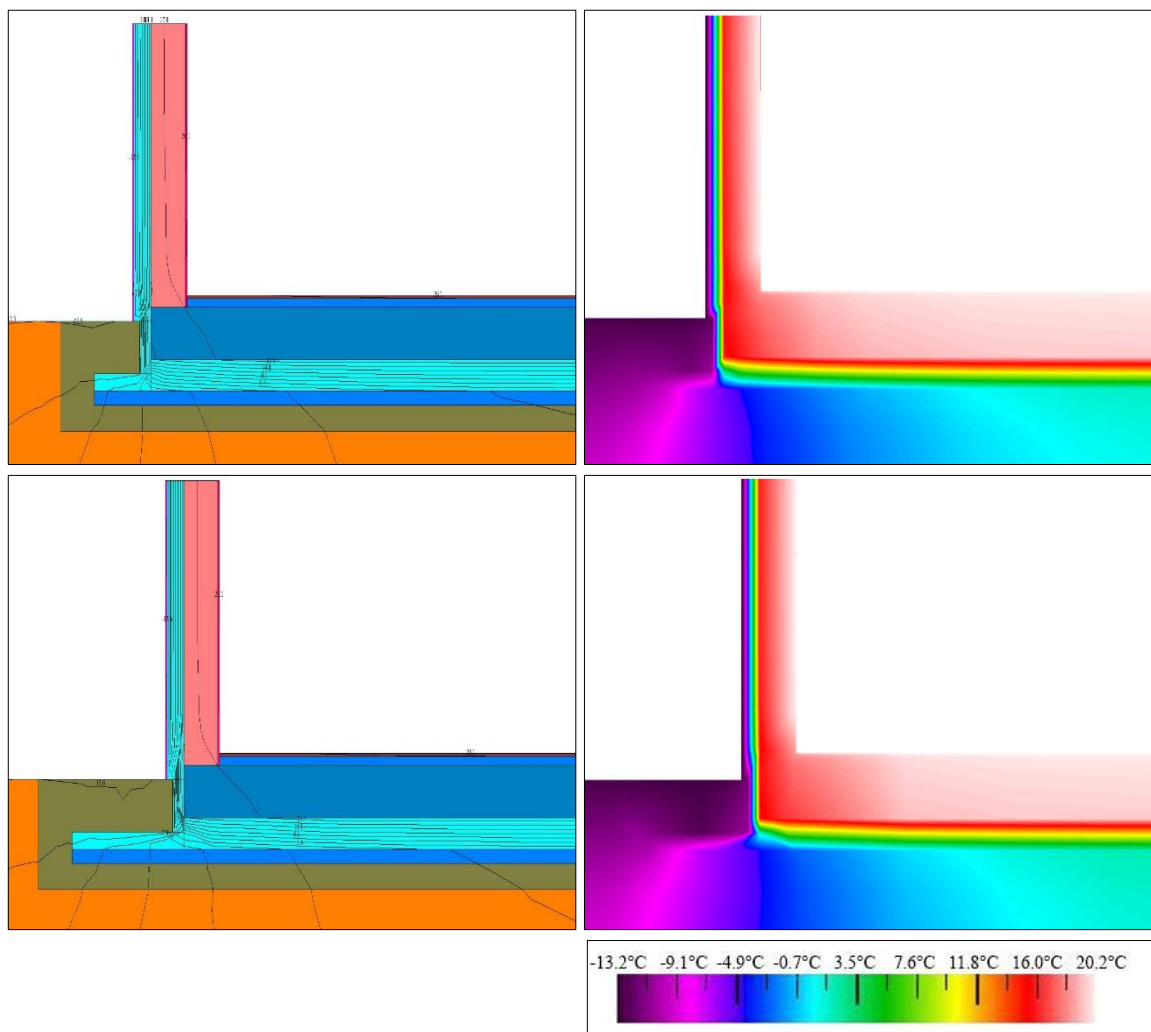
Slika 33: Potek povečanega toplotnega toka za izhodiščni primer XPS-toplotne izolacije pod temeljno ploščo.

Ravno tako vidimo, da je intenzivnost toplotnega toka največja na področju največjega toplotnega prevodnika, to je med armirano betonsko ploščo in mestom, kjer ni toplotne izolacije, saj toplotni tok tako najde najkrajšo pot iz stavbe v okolico. Vidimo, da je opečnati votlak, iz katerega je zgrajena zunanja stena, slabši prevodnik toplote od temeljne plošče.

9.2.2 Primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo XPS pod temeljno ploščo – različna dolžina

Potek rezultatov je pričakovan in zelo podoben kot v primeru z izolacijo nad temeljno ploščo. Takoj se pokaže, da je za pravi ovoj nizkoenergijske hiše potreben vsaj minimalen izolativni obod temelja, da se prepreči toplotni most skozi stik s temeljem.

Za primerjavo vplivov med različnimi razdaljami obodne izolacije sem uporabila izolacijo iste debeline 10 cm. Razdalje primerjav so pri 50 cm in 100 cm.

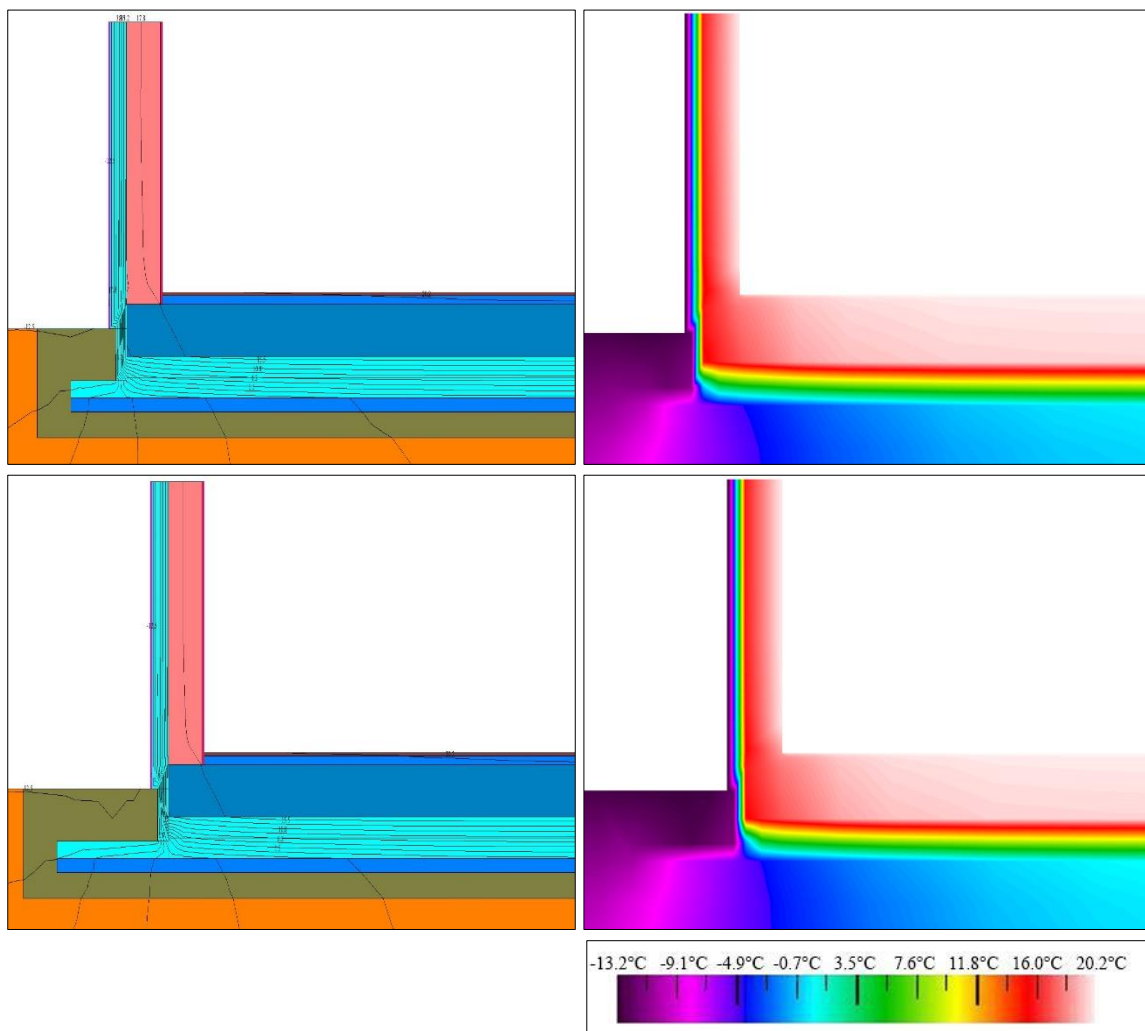


Slika 34: Termografska skica izračuna za enojno XPS pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).

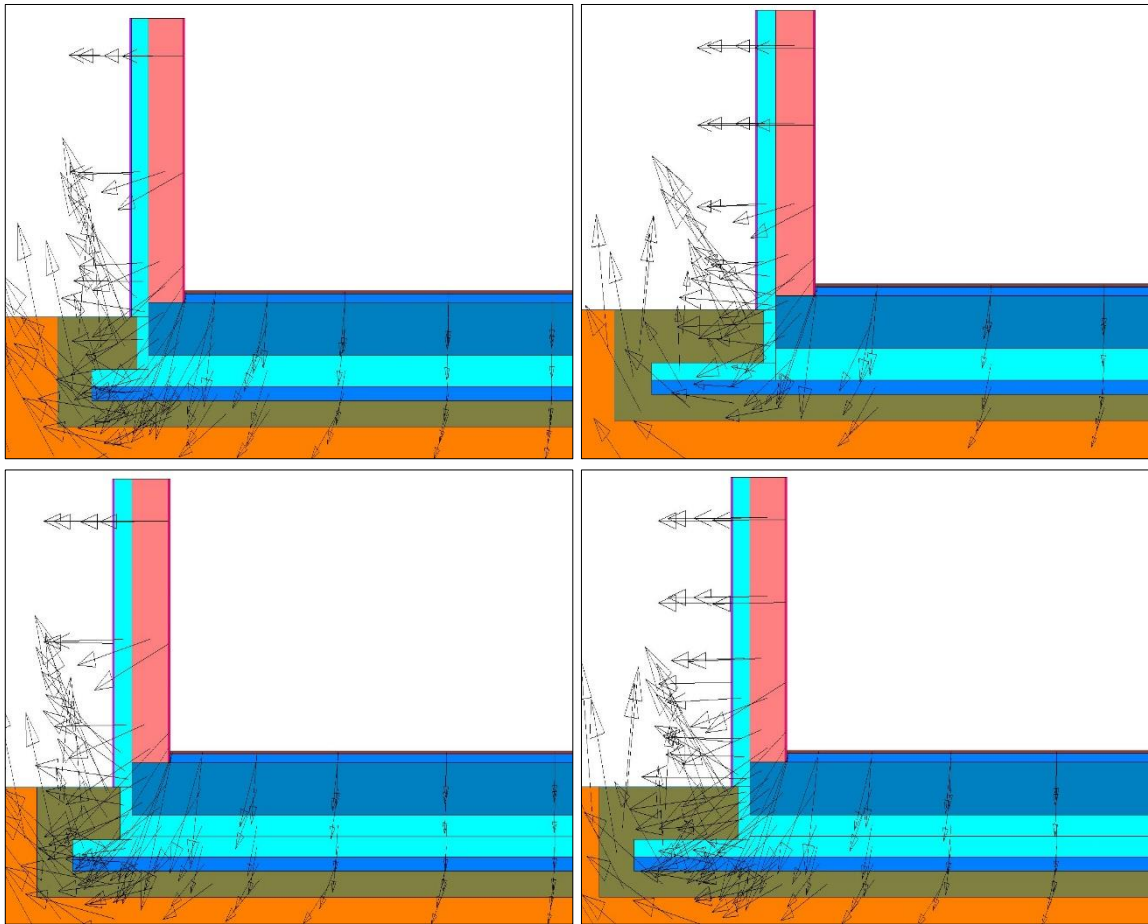
Že z minimalno razdaljo 50 cm se izboljša stanje v temeljni plošči in opazi se, da se geometrijski vplivi obravnavanega toplotnega mostu izničijo, saj se ravnina rosišča v celoti premakne na zunanjo stran konstrukcijskega sklopa. Sklepamo lahko, da se je nastanek kondenzacije in plesni v popolnosti izničil.

Pri 100 cm se potek izoterm še bolj omili in opazimo izboljšavo temperatur tudi v notranji steni in notranjosti tal. A menim, da večjega učinka zaradi daljše razdalje obodne horizontalne izolacije ne bi mogli tudi ekonomsko upravičiti.

Zelo podoben raspored opazimo tudi pri dvoslojni toplotni izolaciji z XPS-ploščami. Na račun dvoslojne in s tem debelejšje izolacije pod temelji je tudi toplotni učinek na stene in tla boljši. Prav tako notranja temperatura sten in tal ostaneta v območju nad 20 °C.



Slika 35: Termografska skica izračuna za dvojno XPS pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).

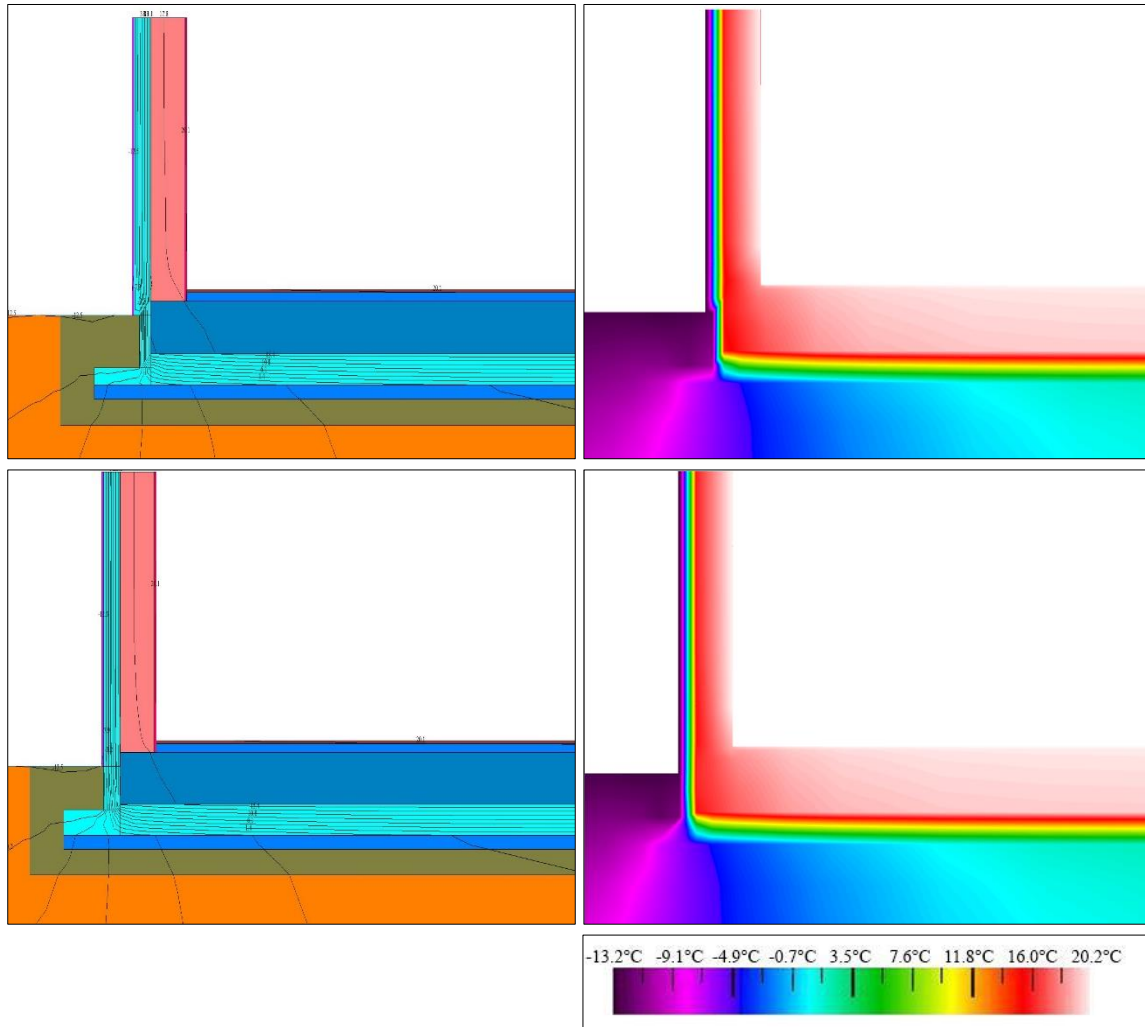


Slika 36: Potek povečanega toplotnega toka za različne dolžine horizontalne obodne izolacije za primer enojne in dvojne toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo.

V tem primeru je toplotni most prepečen in intenzivnost toplotnega toka se porazdeli tako po stenah kot tleh. A stik temelja in stene še vedno predstavlja oslABLJENO mesto v pogledu toplotne izolativnosti zunanjskega ovoja stavbe, zato se tu prikaže skoncentriranost intenzivnosti toplotnega toka.

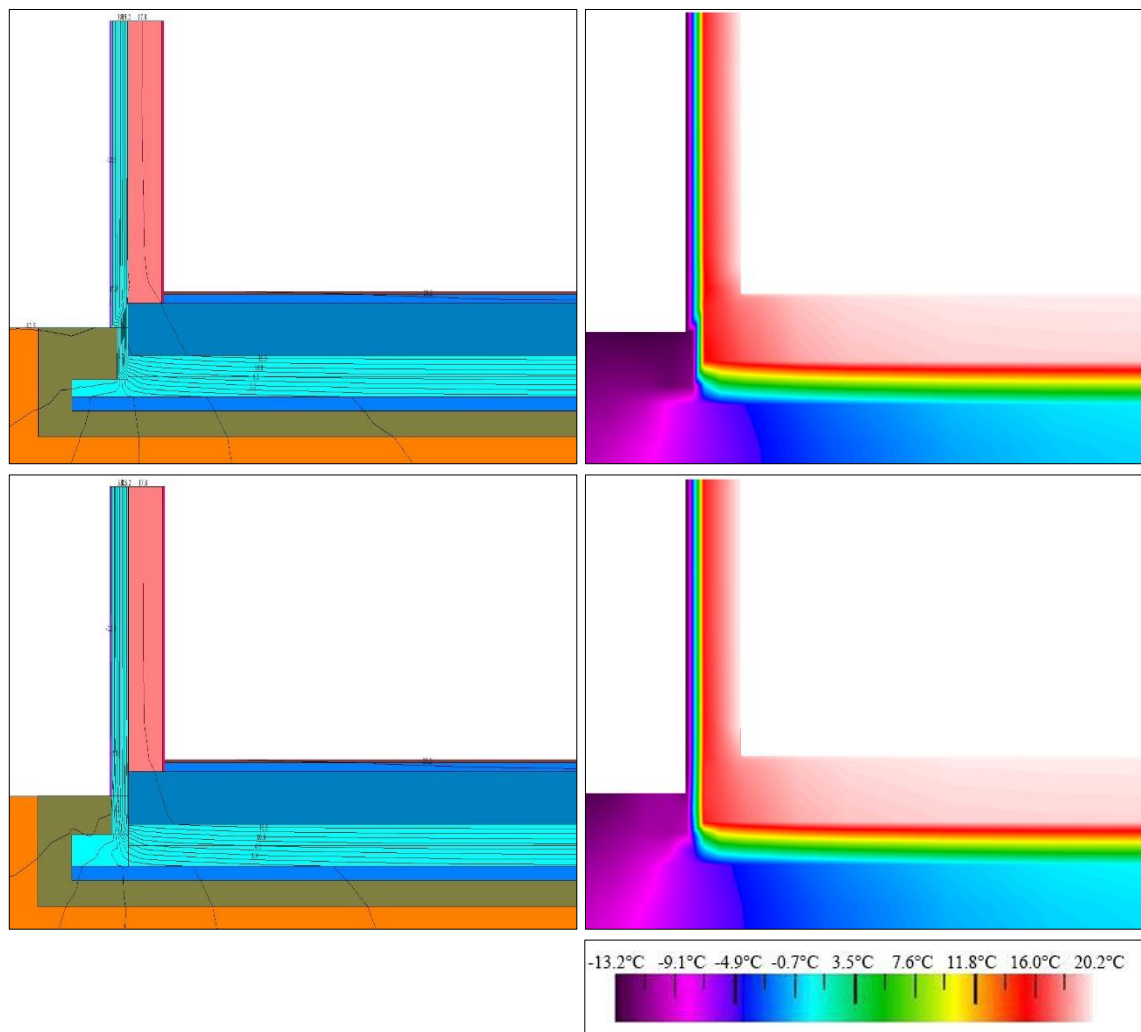
9.2.3 Primer z enojno in dvojno toplotno izolacijo pod temeljno ploščo – različna debelina

V tem primeru je dolžina izolacije ista in predstavlja 50 cm, spreminjala pa sem njeno debelino. Tako so izračunani rezultati za primer debelin 10 in 15 cm.

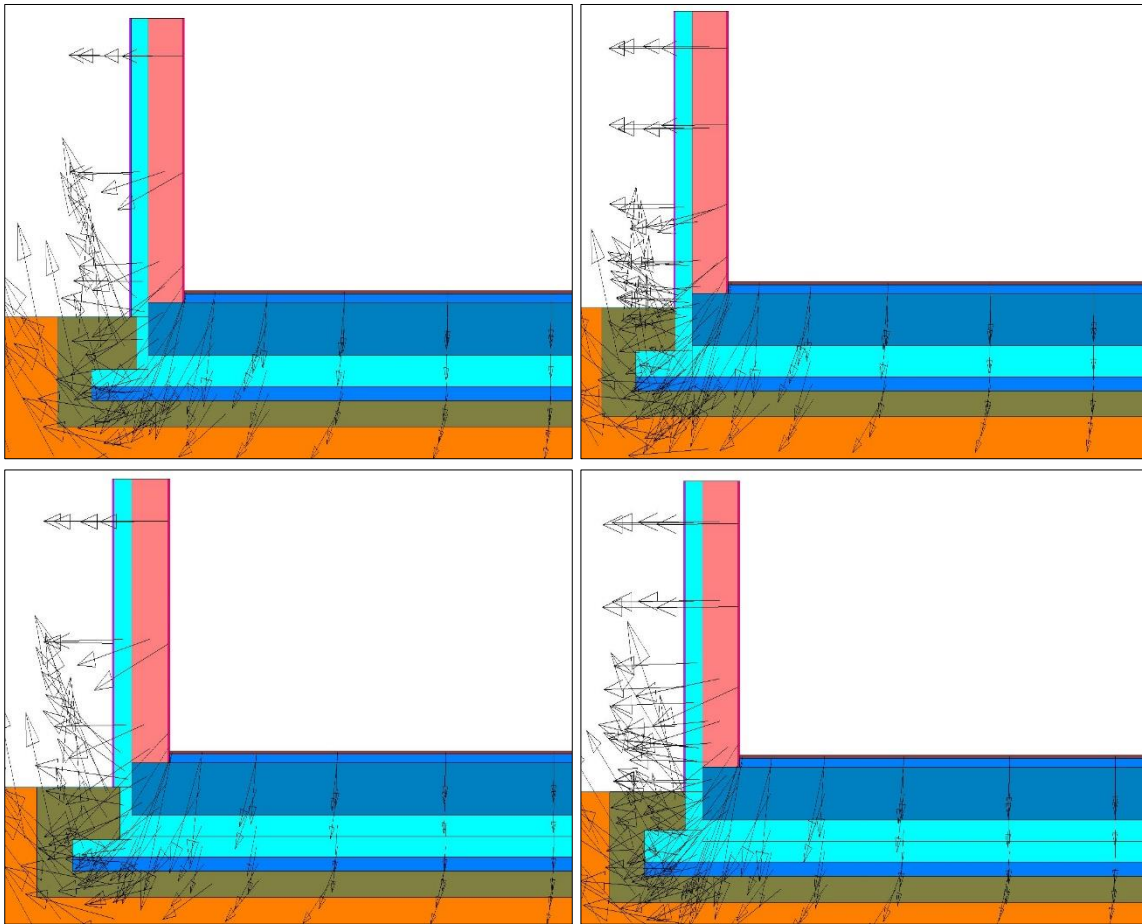


Slika 37: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).

Kot sem že ugotovila v zgornjem poglavju večja debelina toplotne izolacije prispeva k izboljšanju toplotne bilance stavbe, a so drugi ukrepi pri doseganju le-tega izrazitejši. Opazen je izboljššan prehod izoterm skozi debelino vertikalne izolacije, ki je ista debelini fasade. Do istih ugotovitev pridemo tudi pri dvoslojni izolaciji pod temeljno ploščo.



Slika 38: Termografska skica izračuna za izhodiščni primer, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).



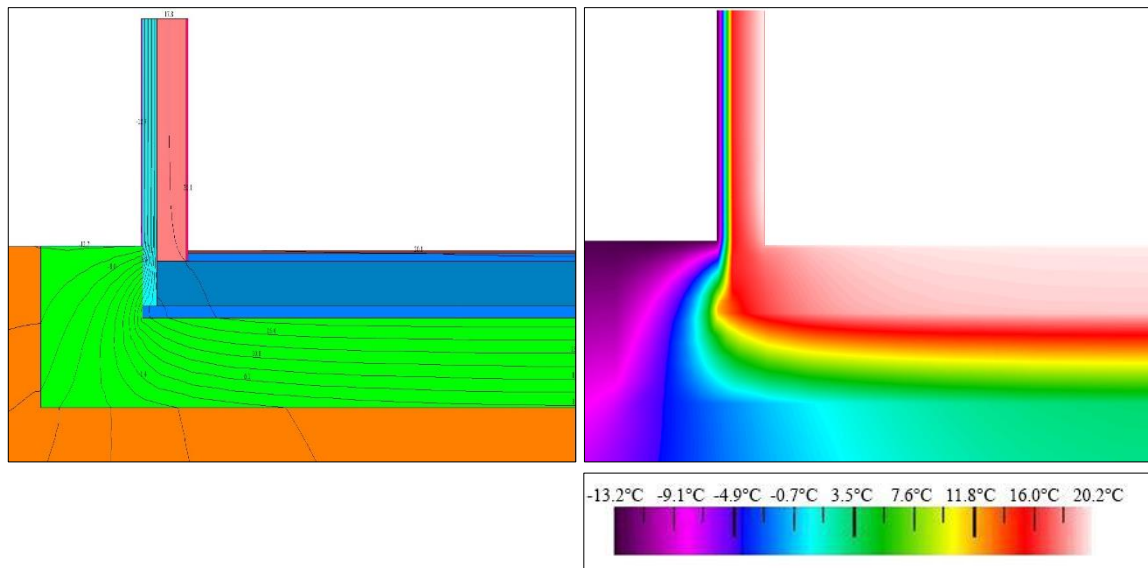
Slika 39: Potek povečanega toplotnega toka za različne debeline obodne izolacije za primer enojne in dvojne toplotne izolacije XPS pod temeljno ploščo.

Zopet je skoncentriranost intenzivnosti toplotnega toka na stiku, s to razliko, da je večja prehodnost skozi tanjšo debelino toplotne izolacije. Tako je tok skozi stik vertikalne in horizontalne obodne izolacije povečan, saj predstavljata tanjšo debelino toplotne izolacije, kot pa je izolacija na fasadi in pod temeljno ploščo. Če debelini izolacij izenačimo, je tudi intenzivnost toka skozi stik bolj porazdeljena.

9.3 Izračun stika temeljne plošče nad penjenim steklom in zunanjo steno

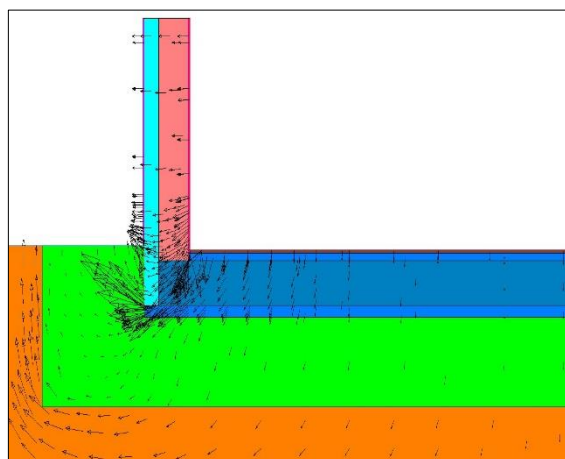
Predstavila bom tudi rezultate temeljenja nad penjenim steklom. Ta ukrep je v Sloveniji novejši in v praksi ni tako pogost. Zanimalo me je, ali so rešitve primerljive rešitvam primera toplotne izolacije XPS-plošč pod temeljno ploščo.

9.3.1 Primer s toplotne izolacije penjenega stekla pod temeljno ploščo



Slika 40: Termografska skica izračuna izolacije s penjenim steklom pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).

Takoj opazimo, da so rezultati primerljivi z XPS-ploščami pod temeljno ploščo in da je toplotni most zmanjšan na najmanjšo možno mero. Ravnina rosišča je tudi v tem primeru predstavljena popolnoma na zunanjo stran stene in ne povzroča škode v notranjosti stavbe v obliki kondenzacije in plesni. Viden je manjši zavoj izoterm na nivoju podložnega betona, nad katerim se konča vertikalna izolacija. Celotno področje temeljne plošče in stene pa je v območju ugodnih 20 °C. Tako je temeljna plošča v celoti izolirana in se nahaja znotraj toplotnega zunanjega ovoja stavbe.



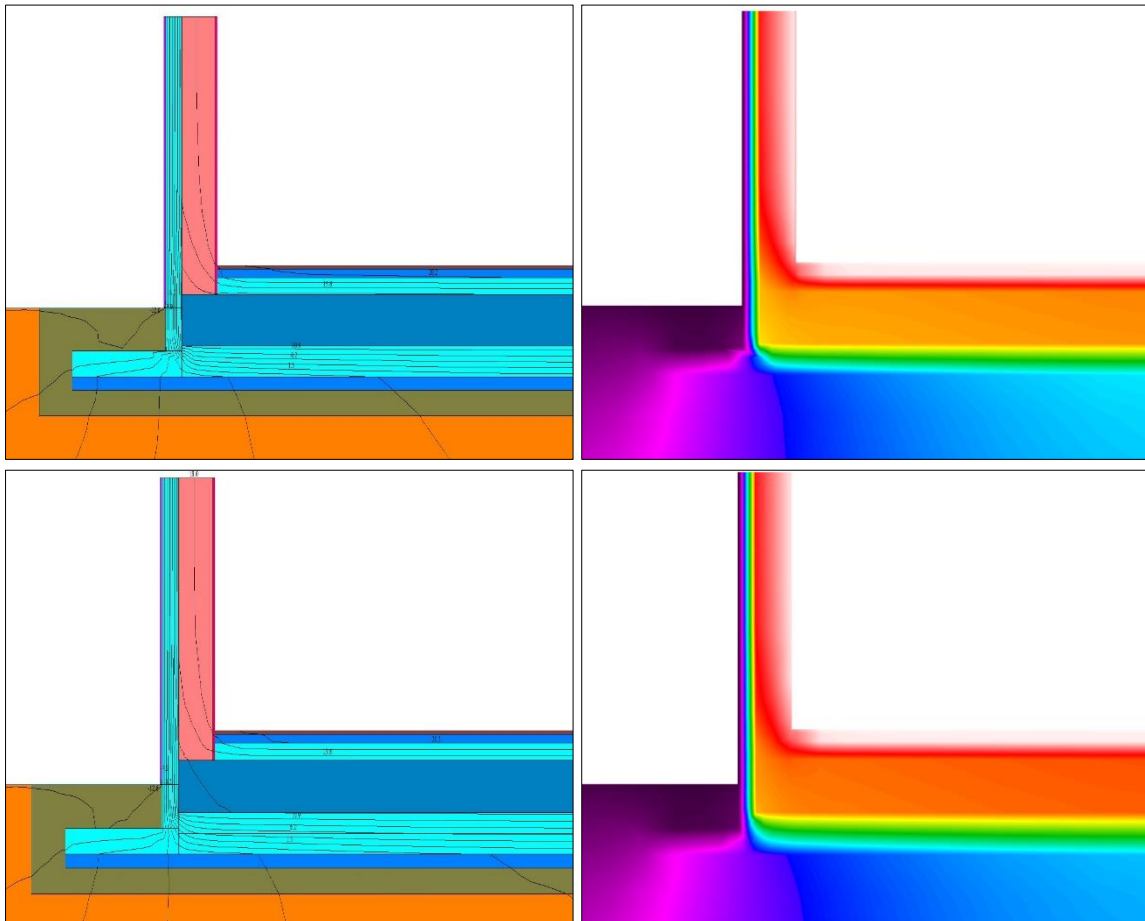
Slika 41: Potek povečanega toplotnega toka za izolacijo s penjenim steklom pod temeljno ploščo.

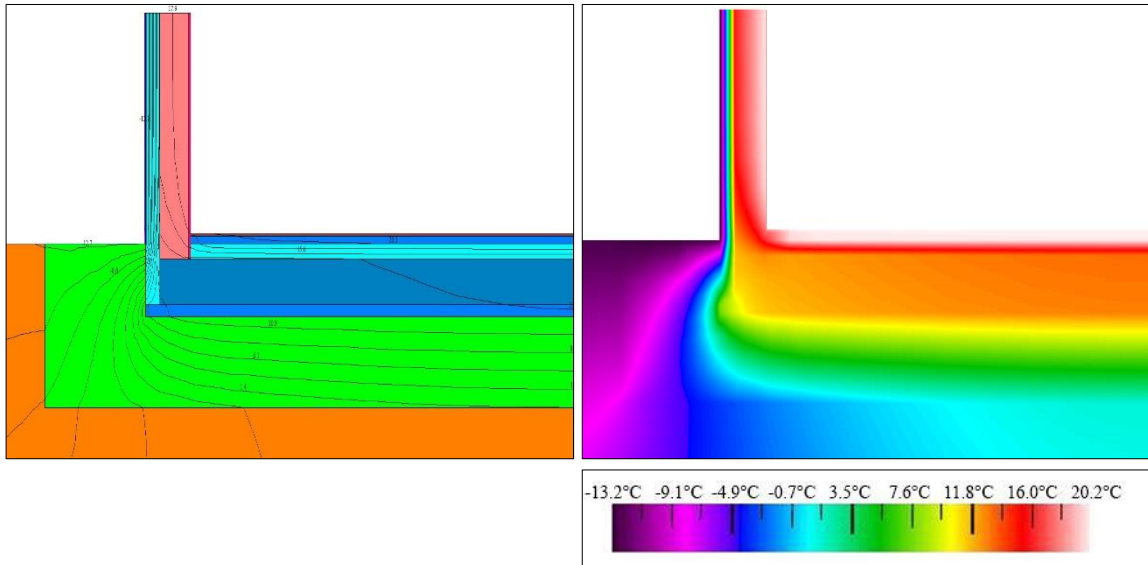
Prehod toplotnega toka je pričakovano največji na stiku skozi temeljno ploščo, ki je od vseh materialov najbolj prevoden. Kar je presenetljivo, je intenziteta toplotnega toku v penjenem steklu, ki skozi

debelino sloja močno pojenja in se enakomerno porazdeli proti zemljini. To pomeni, da izolacija penjenega stekla izniči toplotni most skozi temeljno ploščo.

9.4 Primer obravnavanih primerov z dodatno toplotno izolacijo nad temeljno ploščo

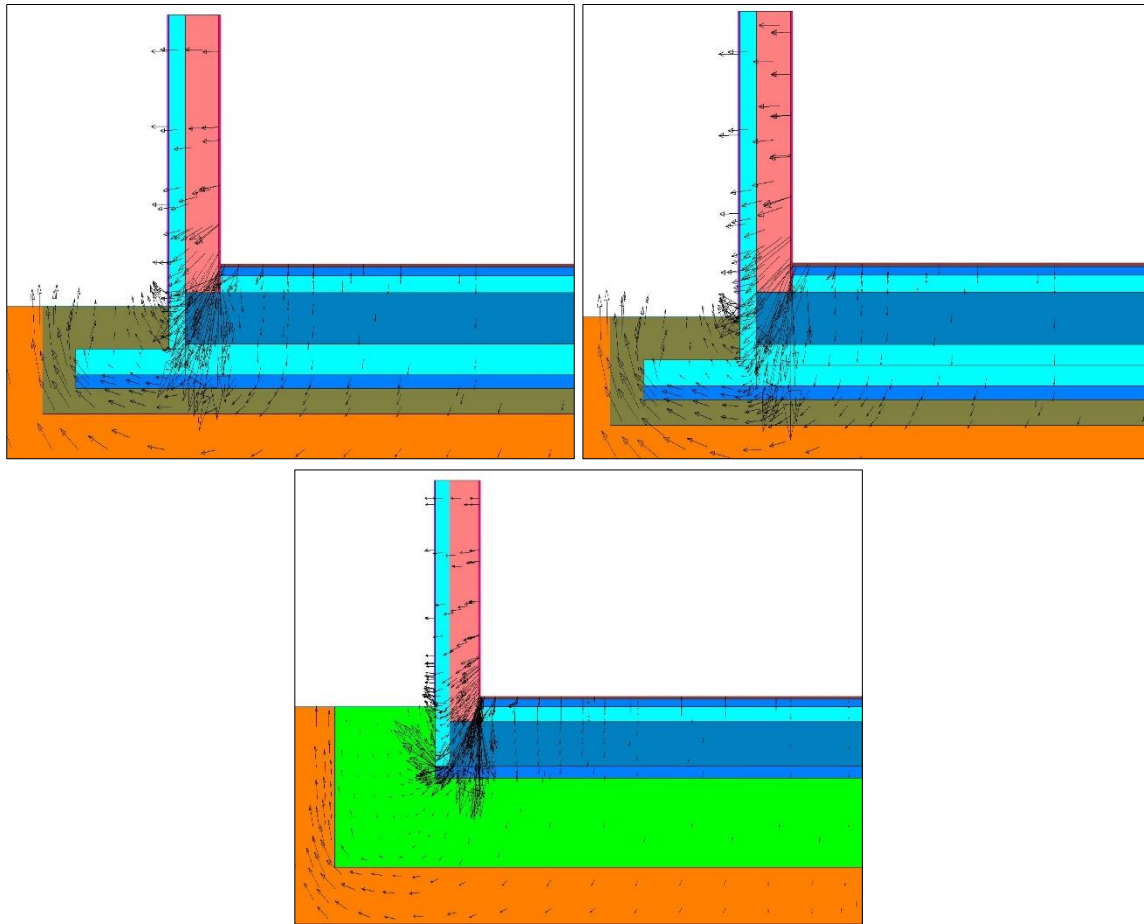
V tem poglavju bom predstavila, kako lahko z nepravilno pozicijo postavitve toplotne izolacije, s pretiravanjem le-te ali celo z izvajanjem toplotne izolacije »na pamet«, kar je tudi večkratna praksa, se poveča možnost pojava kondenzacije in posledično nastanka plesni na notranjih površinah prostorov. Če pa že ne povzročimo kondenzacije in posledično plesni, pa z napačnim ukrepom v tem primeru ojačamo toplotni tok skozi armirano betonsko temeljno ploščo, ki vpliva na toplotno bilanco stavbe in s tem poslabša tako bivalne pogoje v stavbi kot tudi poveča stroške, vezane na ogrevanje.





Slika 42: Termografska skica izračuna za enoslojno in dvoslojno XPS-izolacijo in izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo, izoterme z ravnino rosišča (levo) in barvni prikaz s pripadajočo legendo (desno).

Na zgornjih slikah lahko vidimo, kako pozicija dodatne toplotne izolacije nad temeljno ploščo poslabša razmere v notranjosti stavbe. Namreč ravnina rosišča se premakne v izolacijo nad temeljno ploščo, kar poveča tveganje za kondenzacijo v vogalu tal s steno. Najbolj izrazito se poslabša na primeru temeljenja nad penjenim steklom, kjer se izoterme tudi bolj enakomerno razporedijo skozi debelino sloja penjenega stekla. Pri temeljenju na XPS-ploščah, tako enoslojne kot dvoslojne, pa se izoterme skoncentrirajo v toplotni izolaciji in je tako padec temperature v temeljni plošči manjši. Razliko rezultatov lahko prištejemo različni debelini izolacije pod temeljno ploščo. A še vedno je rezultat z izolacijo tudi nad temeljno ploščo slabši, kot če to izolacijo zanemarimo. Največja poslabšanja so pričakovano na področju stika stene in plošče.



Slika 43: Potek povečanega toplotnega toka za enoslojno in dvoslojno XPS-izolacijo in izolacijo penjenega stekla pod temeljno ploščo.

Intenzivnost toplotnega toka za te primere je zelo podoben primerom brez dodatne izolacije nad temeljno ploščo. Mogoče je le vredno omeniti, da je v primeru XPS-plošč prehod toplotnega toka bolj močno izrazit na področju stika kot pa v zgornjih primerih istega materiala izolacije. Toplotna kapaciteta temelja v tem primeru neznatno sodeluje pri energetski bilanci stavbe.

10 ZAKLJUČEK

Toplotni tok v ogrevalni sezoni vedno poteka s toplega območja, t. j. od notranjih, toplih prostorov proti hladnemu, zunanjemu območju, t. j. v okolico. V primeru temeljev to predstavlja velik izziv pri zagotavljanju celovitega toplotnega ovoja, posebej v zimskem času, ko so posledice vpliva toplotnih mostov še posebej izrazite. Zato moramo ta področja skrbno izolirati, da s svojim vplivom dodatno ne poslabšujejo energetske bilanco stavbe, poškodujejo vgrajene materiale in preko vpliva plesni uničujejo zdravje ljudi v notranjih prostorih. Tako se je pojavila zahteva po celovitem ovoju stavbe, ki bi ščitila notranji prostor pred zunanjimi vplivi.

V diplomski nalogi sta bili obravnavani dve hipotezi, in sicer prva zatrjuje, da je za celovit ovoj nizkoenergijske stavbe nujna toplotna izolacija temelja, ki naj bi v čim večji meri zmanjšala toplotne mostove, hkrati pa rešitev ne sme negativno vplivati na potresno varnost stavbe, saj se Slovenija nahaja na potresno ogroženem področju. Druga hipoteza pa pravi, da vpliv zmrzali povzroča dvig temeljev. Za preprečitev poškodb, ki jih zmrzal lahko povzroči na konstrukciji, kot so dvig temeljnih tal in s tem razpoke po celotni zunanji steni, je potrebna pravilna izbira toplotne izolacije in priprava temeljev. Za izboljšanje pogojev v notranjosti objekta s celovitim ovojem je bila preverjena izbira materiala izolacije, njegova pozicija, različna debelina in dolžina robne toplotne izolacije.

Za namen izvedbe analize hipotez je bil uporabljen osnovni primer izoliranja temeljne plošče z zgornje strani, ki predstavlja najbolj pogosto prakso izoliranja temelja na področju Slovenije. Pri tem načinu izoliranja se pokaže potreba po dodatni robni izolaciji, ki preprečuje pojav nizkotemperaturnih izoterm pod temeljno ploščo. V zimskem času se poveča nevarnost dviga temeljev in s tem poškodbe celotne konstrukcije zaradi ledenih leč, ki se tvorijo pod temeljem. Z uporabo robne izolacije se ta nevarnost zmanjša ter se posledično poveča toplotna zaščita stavbnega ovoja. Tako je vpliv toplotnega mostu skozi temelj zmanjšan na najmanjšo možno mero.

Rezultati izvedene analize, da se z daljšanjem robne toplotne izolacije izboljša problem toplotnih mostov na stiku zunanje stene s temelji, so bili pričakovani. Kritične izoterme se z daljšanjem izolacije namreč prično premikati na rob temelja, kar omogoči prestavitev točke rosišča v zunanji del konstrukcije. Notranja temperatura je tako višja, kar onemogoča razvoj kondenzacije in plesni, ki povzročajo tveganja za dihalna obolenja in poškodbe na konstrukciji. Posledično pa je potrebno tudi manj toplotne energije za vzdrževanje iste temperature v prostoru. Posebno pozornost je potrebno nameniti v ogalom in kotom temeljne plošče. Ti so namreč zaradi svoje geometrije bolj dovzetni za toplotne mostove, ki pa se jim izognemo z dodatno in širšo izolacijo po robu temelja glede na ostali obod, kot je prikazano na sliki 19.

V nadaljevanju je bila predmet analize različna debelina robne toplotne izolacije, ki je pokazala, da se potek izoterm izboljša. To je še posebej vidno na stiku različnih vrst in/ali debelin toplotnih izolacij, saj se izoterme enakomerneje porazdelijo skozi izolacijo. Izoterme z nizkimi temperaturami se premaknejo izven območja temeljne plošče, kar omogoči nastanek zaželenih toplotnih cene. Zaključimo lahko, da je uporaba daljše horizontalne robne izolacije učinkovitejša od izbire večje debeline iste izolacije. Glede na navedeno se je smiselno vprašati do katere debeline izolacija ekonomsko upraviči svojo učinkovitost.

Zaradi pozitivnih lastnosti novih materialov, kot so nevpojnost, trpežnost in ugodni prenos večjih tlačnih obremenitev, vgradnja le-teh pod temeljno ploščo ni več vprašljiva. V primeru analize različnih materialov le-ta pokaže, da vgradnja izolacije pod temeljno ploščo zagotovi optimalne toplotno izolacijske pogoje. Seveda ob predpostavki pravilne vgradnje in primerne rešitve preboja instalacij skozi temeljno ploščo. Prekinitve toplotne izolacije predstavljajo največje toplotne mostove konstrukcijskih sklopov, zato se jih ne sme zanemariti. Preboje inštalacij se učinkovito reši z vgradnjo in zatesnitvijo posebnih cevi za instalacije.

V diplomski nalogi sta predstavljena gramoz penjenega stekla in plošče ekstrudiranega polistirena, imenovane XPS-plošče. Detajla izoliranja temeljne plošče s penjenim steklom in XPS-ploščami se nahajata tudi v katalogu IBM [39], kar je v skladu s projektiranjem nizkoenergijskih stavb. Rezultati analize toplotnih mostov obeh omenjenih materialov pod temeljno ploščo pokažejo najbolj ugoden potek izoterm. Točka rosišča se namreč v celoti pomakne na zunanjo stran konstrukcije, kar zagotovi zelo ugodne bivalne pogoje in popolno izolacijo temeljne plošče. Ob teh pogojih armirana betonska plošča tvori akumulacijo toplote in prispeva k energetske bilanci stavbe, kar pomeni, da je zagotovljen popoln nizkoenergijski ovoj stavbe. Omeniti je potrebno, da se zaradi akumuliranja toplote v temeljni plošči zmanjšajo tudi stroški ogrevanja, saj v določenih temperaturnih pogojih ni potrebno dogrevati, da bi dosegli konstantno notranjo temperaturo.

V primeru analize izoliranja temeljne plošče z zgornje in spodnje strani nas dobljeni rezultati presenetijo, saj pričakujemo, da bo več izolacije ugodno vplivalo na energetsko bilanco stavbe. Žal temu ni tako, saj zaradi povečanja vpliva toplotnega mostu ta ukrep poslabša toplotnoizolacijske in bivanjske pogoje. Na primeru se opazi premik točke rosišča v notranjost konstrukcijskega sklopa, namesto da bi se pomaknila na zunanjo stran. Toplotna kapaciteta temelja v tem primeru nepomembno sodeluje pri energetske bilanci stavbe.

Ravno tako se slabo izkaže predlagani konstrukcijski detajl iz kataloga [39], t. i. »toplotne noge«. Za »toplotno nogo« se uporablja izolacija z možnostjo prenašanja velikih tlačnih obremenitev, ki se jo postavi na stik zunanje stene s temeljno ploščo. Na ta način se v primeru toplotne izolacije nad temeljno ploščo prepreči toplotni most na tem mestu. Slednje ugodno vpliva na energetsko bilanco, vendar zaradi

potresnega območja v katerem se nahaja Slovenija, kakršna koli prekinitev povezave sten s temeljno ploščo, poslabša stabilnost med potresom. Takšne detajle je zato potrebno primerno rešiti in zagotoviti varnost.

Glede na navedeno lahko zaključimo, da sta skozi rezultate in teoretske raziskave začetni hipotezi potrjeni. Celoten toplotnoizolacijski ovoj namreč prepreči vpliv zmrzali pod temeljno ploščo in toplotne mostove na stiku zunanje stene in plošče. Za zagotovitev učinkovite toplotne izolativnosti ovoja lahko uporabimo različne materiale, s katerimi omogočimo rešitev konstrukcijskega sklopa na več načinov. Večja izbira materialov, ki zagotavljajo podoben rezultat, predstavlja pomembno vlogo pri prilagajanju proračuna za izgradnjo nizkoenergijske stavbe. Možnost večje izbire materialov omogoča izvedbo celovitega ovoja stavbe tudi v bolj zahtevnih okoljih. Tako tudi na področju Slovenije zaradi preverjenih novih materialov lahko uporabimo večino podanih rešitev konstrukcijskih sklopov iz kataloga IBM [39], ki se vgradijo pod temeljno ploščo, ne da bi s tem ogrožali stabilnost in varnost konstrukcije.

Pri gradnji nizkoenergijskih stavb so pomembni dobro načrtovani detajli s pravilno rešenimi gradbeno-fizikalnimi problemi in natančna ter strokovna izvedba detajlov. Površno načrtovani detajli kot tudi nestrokovna izvedba namreč povečajo vpliv toplotnega mostu. Hkrati pa pravilna uporaba standardov in tehničnih smernic z upoštevanjem lokalnih vplivov, primerno izbiro materialov in nadzorom izvedbe detajlov, zagotovi bivalni prostor brez izrazitega vpliva toplotnih mostov, kar pomembno vpliva na dobro počutje, zmanjšuje pojav poškodb na konstrukciji in hkrati zmanjšuje vpliv na okolje.

VIRI

- [1] Energetska učinkovitost stavb. 2014.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=URISERV:en0021&qid=1421839820746&from=EN>
(Pridobljeno 21. 1. 2015.)
- [2] Energy efficiency for the 2020 goal. 2009.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=URISERV:en0002&from=SL>
(Pridobljeno 29. 10. 2015.)
- [3] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetski učinkovitosti stavb (prenovitev)–EPBD-r. 2010. Uradni list Evropske unije.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>
(Pridobljeno 21. 1. 2015.)
- [4] Podnebne spremembe. 2015. RS Služba vlade RS za podnebne spremembe.
http://www.arhiv.svps.gov.si/si/podnebne_spremembe/index.html (Pridobljeno 21. 1. 2015.)
- [5] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010: str. 7840.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856> (Pridobljeno 21. 1. 2015.)
- [6] Zbašnik Senegačnik, M. 2007. Pasivna hiša, Ljubljana: str. 22–23.
- [7] Mikec, J. 2014. Zdrs toplotne izolacije pod temeljno ploščo v primeru potresne obtežbe. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Mikec J.): str. 1, 90 in 91.
- [8] Durini, P. 2012. Toplotni mostovi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Durini P.): str. 5–10.
- [9] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: str. 15–32, 5-56.
- [10] Peternelj, J., Jagličič, Z. 2014. Osnove gradbene fizike. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 1–5, 42.
- [11] SIST EN ISO 13793:2002. Toplotne značilnosti stavb – Dimenzioniranje toplotnih lastnosti temeljev proti dviganju zaradi zmrzali (ISO 13793:2001).
- [12] SIST EN ISO 13789:2008. Toplotne značilnosti stavb – Toplotni koeficienti pri prenosu toplote in prezračevanja – Računska metoda (ISO 13789:2007).
- [13] SIST EN ISO 6946:2008. Gradbene komponente in gradbeni elementi – Toplotna upornost in toplotna prehodnost – Računska metoda (ISO 13789:2007).

- [14] SIST EN ISO 10211:2008. Toplotni mostovi v stavbah – Toplotni tokovi in površinske temperature – Podrobni izračuni (ISO 10211:2007).
- [15] SIST EN ISO 13370:1999. Toplotne značilnosti stavb – Prenos toplote v zemljo - Računska metoda (ISO 13370:1999).
- [16] Žitnik, D. 2004. Gradbeniški priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije d.d.: str. 415-416.
- [17] Simmer, K. 1994. Grundbau. Teil 1, Bodenmechanik und Erdstatische Berechnungen. Stuttgart, Teubner: str. 289-291, 294-295.
- [18] Zakon o graditvi objektov (Uradni list RS, št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 – popr., 92/05 – ZJC-B, 93/05 – ZVMS, 111/05 – odl. US, 126/07 in 108/09).
- [19] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Ljubljana, 2010. Ministrstvo za okolje in prostor. Št: 0071-101/2009: str. 7 in 16.
- [20] Grobovšek, B. Temelji individualne hiše. ZRMK.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT67.htm> (Pridobljeno: 2. 10. 2015.)
- [21] 2020 climate and energy package. European commission, Climate action.
http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_en.htm (Pridobljeno: 29. 10. 2015.)
- [22] 2030 climate and energy framework. European commission, Climate action.
http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_en.htm (Pridobljeno: 29. 10. 2015.)
- [23] Toplotni mostovi. ZRMK. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-11.PDF> (Pridobljeno: 20. 10. 2015.)
- [24] Zbašnik-Senegačnik, M. 2010. Kako odpraviti toplotne mostove v pasivni hiši? Ljubljana, Gradbenik. http://www.fa.uni-lj.si/filelib/8_konzorcijph/2010_toplotni_mostovi.pdf (Pridobljeno: 29. 10. 2015.)
- [25] Logar, J. 2006. Fundiranje. Zapisni skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Katedra za mehaniko tal: str. 1.
- [26] Kukec, A., Krainer, A., Dovjak, M. 2015. Možni negativni vplivi prekomerne vlažnosti notranjega okolja v stavbah na zdravje uporabnikov. Ljubljana, Gradbeni vestnik: str. 36–46.
- [27] Toplotnoizolacijski materiali.
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/PDFknjiznjicaAURE/IL2-03.PDF>
(Pridobljeno 30. 12. 2015.)
- [28] <http://www.lespatex.si/toplotna-izolacija/toplotno-izolacijske-plosce-xps-ekstrudiran-polistiren> (Pridobljeno 30. 12. 2015.)

- [29] Jenko, M., Dovjak, M., Kunič, R. 2015. Pomen vsebovane energije v izbranih gradbenih proizvodih za izredno učinkovite toplotne ovoje stavb. Ljubljana, Gradbeni vestnik: str. 149.
- [30] <http://www.fibran.si/frontend/article.php?aid=137&cid=36&t=Toplotna-izolacija-temeljne-plosce-v-praksi> (Pridobljeno 10. 1. 2016.)
- [31] <http://www.fibran.si/frontend/articles.php?cid=141&view=1&t=FIBRANxps-proizvodnja> (Pridobljeno 10. 1. 2016.)
- [32] <http://www.fibran.si/frontend/article.php?aid=558&cid=36&t=Omejitve-pod-katere-ne-smemo> (Pridobljeno 10. 1. 2016.)
- [33] Zegowitz, A. 2010. Cellular Glass Aggregate Serving as Thermal Insulation and a Drainage Layer.
<http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publikationen/Konferenzbeitraege/Englisch/Cellular%20Glass%20Aggregate%20Serving%20as%20Thermal%20Insulation%20and%20a%20Drainage%20Layer.pdf> (Pridobljeno 28. 1. 2016.)
- [34] <http://www.pasivnagrada.com/materiali-in-komponente/penjeno-steklo/postopek-izvedbe-izolacije-talne-plosce/> (Pridobljeno 1. 2. 2016.)
- [35] <http://www.penjenosteklo.com/wp-content/uploads/2013/01/GLAPOR-gramoz-iz-penjenega-stekla.pdf> (Pridobljeno 1. 2. 2016.)
- [36] http://www.misapor.ch/files/misapor_thb_daemmung_2015-09_en.pdf (Pridobljeno 4. 2. 2016.)
- [37] <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/> (Pridobljeno 8. 4. 2016.)
- [38] Huizenga, C., Arasteh, D., Curcuja, C., Mitchell, R., Kohler, C., Finlayson, E., Zhu, L., Czarnecki, S., Vidanovic, S., Zelenay, K. 1994-2015. THERM Finite Element Simulator. Building Technologies Program of the U.S. Department of Energy. University of California. https://windows.lbl.gov/software/therm/7/index_7_4_3.html (Pridobljeno 15. 2. 2016.)
- [39] IBO–Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie (Hrsg.). 2009. Passivhaus-Bauteilkatalog, Ökologisch bewertete Konstruktionen. Wien, Springer-Verlag: str. 32–67, 180–217.
- [40] Wallner, E. 2009. Sinergijski koncept konstrukcije pasivne hiše. Ljubljana, AR, arhitektura, raziskave 2009/1: str. 50-55.
- [41] Kilar, V. 2012. Varnost pasivnih hiš pri potresu 1, 2011. Ljubljana, AR, arhitektura, raziskave 2012/1: str. 52 in 55.

- [42] Jordan, S. 1997. Analiza vpliva toplotnih mostov na specifične transmisijske toplotne izgube zgradb. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Jordan S.): str. 120.
- [43] Jordan, S., Knez, F., 2009. Vlaga v stavbah zaradi kondenzacije. Ljubljana, Verlag Dashöfer: str. 32.
- [44] Krist, Ž. 2011. Stavbarstvo. Zapiski skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente: str. 217
- [45] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/2002: str. 4143 <https://www.uradni-list.si/1/content?id=36371> (Pridobljeno 6. 6.2016.)