

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:

OstaneK, S. 2013. Projektiranje in analiza porabe energije v vrstnih hišah na Primorskem. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Kristl, Ž., somentor Bratina, S.): 74 str.

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:

OstaneK, S. 2013. Projektiranje in analiza porabe energije v vrstnih hišah na Primorskem. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kristl, Ž., co-supervisor Bratina, S.): 74 pp.

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 ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

SANDI OSTANEK

**PROJEKTIRANJE IN ANALIZA PORABE ENERGIJE V
VRSTNIH HIŠAH NA PRIMORSKEM**

Diplomska naloga št.: 3280/KS

**DESIGN AND ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION
IN TERRACED HOUSES IN THE PRIMORSKA REGION**

Graduation thesis No.: 3280/KS

Mentorica:

doc. dr. Živa Kristl

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Sebastjan Bratina

Član komisije:

asist. dr. Mitja Košir
doc. dr. Marijan Žura
prof. dr. Aleš Krainer

Ljubljana, 25. 01. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani, Sandi Ostanek, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »Projektiranje in analiza porabe energije v vrstnih hišah na primorskem«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 16.1.2013

Sandi Ostanek

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	620.92:72.011:728.31(497.4)(043.2)
Avtor:	Sandi Ostanek
Mentor:	doc. dr. Živa Kristl
Somentor:	doc. dr. Sebastjan Bratina
Naslov:	Projektiranje in analiza porabe energije v vrstnih hišah na Primorskem
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – Univerzitetni študij
Obseg in oprema:	74 str., 67 pregl., 70 sl., 15 pril.
Ključne besede:	vrstne hiše, statično projektiranje, energetska učinkovitost, Evrokodi, LCC analiza, neto sedanja vrednost.

Povzetek

V diplomski nalogi se ukvarjamo s projektiranjem in oceno energijske učinkovitosti treh vrstnih hiš, ki bodo zgrajene v Portorožu. Vsebina diplomske naloge je razdeljena v dva dela.

V prvem delu se ukvarjamo s statičnim projektiranjem nosilne konstrukcije stavbe na tak način, da bi bila naloga uporabna za nadaljnjo pridobitev gradbenega dovoljenja. Čeprav arhitekturna zasnova obravnavanih vrstnih hiš ni predmet dela, poskušamo predvsem čim bolj funkcionalno in racionalno izrabiti namenjen prostor. Pri statičnem projektiranju smo upoštevali veljavne evropske standarde Evrokode ter si pomagali s programskim orodjem SAP 2000 (Computers & Structures, INC.). Za izris armaturnih načrtov smo uporabili program ArmCAD (Radimpex).

V drugem delu diplomskega dela izvedemo analizo celotne potrebne energije za obratovanje vrstnih hiš. Osredotočimo se na potrebo energije po ogrevanju, hlajenju, pripravi sanitarne vode in razsvetljavi notranjih prostorov. Izhajamo iz zahtev pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) ter nato s pomočjo analize cenitev stroškov celotnega življenjskega kroga objekta izračunamo optimalno debelino toplotne izolacije zunanlega ovoja.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	620.92:72.011:728.31(497.4)(043.2)
Author:	Sandi Ostanek
Supervisor:	Assist. Prof. Živa Kristl, Ph. D.
Cosupervisor:	Assist. Prof. Sebastjan Bratina, Ph. D.
Title:	Design and analysis of energy consumption in terraced houses in the Primorska region
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	74 p., 67 tab., 70 fig., 15 ann.
Keywords:	terraced houses, static design, energy efficiency, Eurocodes, LCC analysis, present discounted value

Abstract

In the bachelor of science degree thesis we deal with the design and estimate of energy efficiency of three terraced houses, which will be built in Portorož. Content of the thesis is divided into two parts.

The first part deals with the static design of the building in such a way that it would be useful for future construction permit. Although the architectural design of the terraced houses is not considered as part of the subject, we are trying to find a functional and rational design to exploit space. The static design complies with the applicable European standards (Eurocodes). We use application softwares SAP 2000 (Computers & Structures, INC.) for static analysis and ArmCAD (Radimpex) to prepare concrete reinforcement plans.

In the second part of the thesis we carried out an analysis of the total energy required for the operation of row houses. Let's focus on the need for energy for heating, cooling, domestic hot water and lighting interior spaces. Starting from the requirements of regulations on energy efficiency in buildings (PURES 2010) and then through the analysis of costing the cost of whole life cycle of the facility is calculated optimum insulation thickness.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorici doc. dr. Živi Kristl in somentorju doc. dr. Sebastjanu Bratini. Za konstruktivne nasvete in pomoč se zahvaljujem tudi dr. Romanu Kuniču.

Zahvaljujem se tudi vsem prijateljem in sošolcem, ki so mi tekom študija stali ob strani in pripomogli, da mi bodo študentska leta ostala v lepem spominu.

Nenazadnje se zahvaljujem tudi staršem in bratu za vso moralno in finančno podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 SPLOŠNO O STAVBI	3
2.1 Izhodišča pri zasnovi	3
2.2 Arhitekturna zasnova in opis konstrukcije	4
2.3 Uporabljeni materiali	7
2.3.1 Beton in krovni sloj betona	7
2.3.2 Ojačilna armatura	7
2.3.3 Opečni zidaki	7
2.3.4 Malta	7
3 PROJEKTIRANJE NOSILNIH ELEMETOV STAVBE	8
3.2 Strešna plošča	8
3.2.1 Zasnova in računski model	8
3.2.2 Lastna in stalna obtežba	8
3.2.3 Koristna obtežba	9
3.2.4 Obtežba snega	9
3.2.6 Obtežba vetra	10
3.2.6 Kombinacija vplivov	13
3.2.7 Račun obremenitev konstrukcije	14
3.2.8 Dimenzioniranje armature	17
3.2.9 Kontrola povesov	19
3.3.1 Zasnova in računski model	20
3.3.2 Lastna in stalna obtežba	21
3.3.3 Koristna obtežba	21
3.3.3 Kombinacija vplivov	22
3.3.4 Dimenzioniranje armature	22
3.3.5 Kontrola povesov	25
3.4 Balkoni	25
3.4.1 Zasnova	25
3.4.2 Lastna in stalna obtežba ter koristna obtežba	26
3.4.3 Račun obremenitev ter dimenzioniranje nosilno-toplotno izolacijskega sistema	26
3.5 Stopnice	28
3.5.1 Zasnova	28

3.5.2 Lastna in stalna obtežba ter koristna obtežba	29
3.5.3 Račun obremenitev konstrukcije ter dimenzioniranje armature	29
3.6 Temeljna plošča.....	30
3.6.1 Zasnova.....	30
3.6.2 Stalna in koristna obtežba.....	31
3.6.3 Obtežba temeljne plošče preko vertikalnih nosilnih elementov	31
3.6.4 Nosilnost temeljnih tal.....	32
3.6.5 Račun obremenitev konstrukcije ter dimenzioniranje armature	33
3.7 Zidovje.....	36
3.7.1 Odpornost zidov na vertikalno obtežbo v mejnih stanjih nosilnosti.....	36
3.7.2 Odpornost zidov na horizontalno obtežbo zaradi vpliva potresa.....	38
4 ANALIZA RABE ENERGIJE ZA OBRATOVANJE STAVBE	40
4.1 Zasnova naloge.....	40
4.2 Energetska bilanca na splošno	40
4.3 Sestava konstrukcijskih sklopov.....	41
4.3.1 Streha.....	42
4.3.2 Zunanja stena.....	42
4.3.3 Tla na terenu	43
4.3.4 Medetažna konstrukcija.....	43
4.3.5 Stena med bivalnima enotama	44
4.4 Osončenost objekta.....	45
4.5 Podatki za izračun energetskih karakteristik stavbe	47
4.5.1 Ogrevanje, hlajenje ter priprava sanitarne vode	47
4.5.2 Klimatski podatki in prezračevanje	48
4.5.3 Okna	49
4.5.3 Ogrevalne cone.....	49
4.5.4 Razsvetljava bivalnih prostorov ter potreba po sanitarni vodi	50
4.6 Rezultati toplotne bilance	51
5 OPTIMIZACIJA STAVBNEGA OVOJA	56
5.1 Analiza skupnih stroškov v življenjskem ciklusu.....	56

5.2 Stroški investicije	57
5.3 Obratovalni stroški	59
5.4 Vzdrževalni stroški.....	61
5.5 Optimizacija fasade	63
5.6 Optimizacija stropne izolacije.....	65
5.7 Optimizacija talne izolacije.....	67
5.8 Optimizacija tipa oken	69
5.9 Primerjava rezultatov	71
6 ZAKLJUČEK.....	73
VIRI.....	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obtežba strešne konstrukcije	9
Preglednica 2: Kategorije streh.....	9
Preglednica 3: Priporočene vrednosti C_e za različne vrste terena.....	9
Preglednica 4 : Vrednosti oblikovnih koeficientov	10
Preglednica 5: Kategorije terena.....	11
Preglednica 6: Koeficienti zunanjega tlaka pri dvokapnicah za veter v prečni smeri	12
Preglednica 7: Koeficienti zunanjega tlaka pri dvokapnicah za veter v vzdolžni smeri	12
Preglednica 8: Koeficienti zunanjega tlaka za prečno in vzdolžno smer obtežbe vetra	13
Preglednica 9: Vrednosti zunanjega tlaka vetra.....	13
Preglednica 10: Osnovne kombinacije vplivov za strešno ploščo v MSN	14
Preglednica 11: Dimenzioniranje armature strešne plošče	19
Preglednica 12: Vrednost faktorja K za različne konstrukcijske sisteme	20
Preglednica 13: Stalna obtežba medetažne plošče.....	21
Preglednica 14: Koristna obtežba medetažne plošče.....	21
Preglednica 15: Osnovne kombinacije vplivov za medetažno ploščo v MSN	22
Preglednica 16: Dimenzioniranje armature medetažne plošče	25
Preglednica 17: Lastna in stalna obtežba balkonov	26
Preglednica 18: Lastna in stalna obtežba stopniščne rame	29
Preglednica 19: Dimenzioniranje vzdolžne armature stopniščne rame.	30
Preglednica 20: Stalna obtežba temeljne plošče :.....	31
Preglednica 21: Projektna obtežba temeljne plošče preko zidov.....	32
Preglednica 22: Mehanske karakteristike temeljnih tal	33
Preglednica 23: Preverjanje nosilnosti temeljnih tal	33
Preglednica 24: Dimenzioniranje armature temeljne plošče:	35
Preglednica 25: Račun odpornosti zidov na vertikalno obremenitev	38
Preglednica 26: Maksimalno dovoljeni faktorji toplotne prehodnosti.....	41
Preglednica 27: Sestava strehe	42
Preglednica 28: Sestava zunanje stene	43
Preglednica 29: Sestava tal na terenu	43
Preglednica 30: Sestava medetažne konstrukcije	44
Preglednica 31: Sestava stene med bivalnima enotama	44
Preglednica 32: Izračun osončenosti južne fasade na dan 21.3. ter trajanje osončenosti za.....	46
Preglednica 33: Osončenost posameznih delov fasade, izražena v deležih (%), po mesecih.....	46
Preglednica 34: Učinkovitost sistemov	47

Preglednica 35: Klimatski podatki	48
Preglednica 36: Karakteristike oken	49
Preglednica 37: Podatki, ki so skupni za vse tri ogrevalne cone.....	49
Preglednica 38: Zunanje površine in zasteklitve po posameznih conah	50
Preglednica 39: Izračun potrebnih svetilk in porabljene energije za eno bivalno enoto	50
Preglednica 40: Rezultati 1	52
Preglednica 41: Rezultati 2	52
Preglednica 42: Primerjalni rezultati 1.....	53
Preglednica 43: Primerjalni rezultati 2.....	53
Preglednica 44: Popis del – osnovna varianta izolacije sten	57
Preglednica 45: Popis del – osnovna varianta izolacije strehe	57
Preglednica 46: Popis del – osnovna varianta izolacije temeljne plošče.....	58
Preglednica 47: Cene investicije, glede na skupno debelino vgrajene toplotne izolacije	58
Preglednica 48: Cena dobave in vgradnje oken	59
Preglednica 49: Obratovalni stroški v letu 2013, glede na debelino toplotne izolacije.....	60
Preglednica 50: Vzdrževanje fasade	61
Preglednica 51 : Vzdrževanje oken.....	61
Preglednica 52 : Vzdrževanje spuščenege stropa.....	62
Preglednica 53 : Vzdrževanje tal na terenu	62
Preglednica 54: NSV fasade (7% diskontna stopnja, Portorož).....	63
Preglednica 55: NSV fasade (7% diskontna stopnja, Ljubljana)	63
Preglednica 56: NSV fasade (5% diskontna stopnja, Portorož).....	64
Preglednica 57: NSV stropne konstrukcije (7 % diskontna stopnja, Portorož).....	65
Preglednica 58: NSV stropne konstrukcije (7 % diskontna stopnja, Ljubljana)	65
Preglednica 59: NSV stropne konstrukcije (5 % diskontna stopnja, Portorož).....	66
Preglednica 60: NSV tal na terenu (7 % diskontna stopnja, Portorož)	67
Preglednica 61: NSV tal na terenu (7 % diskontna stopnja, Ljubljana).....	67
Preglednica 62: NSV tal na terenu (5 % diskontna stopnja, Portorož)	68
Preglednica 63: NSV različnih tipov oken (7 % diskontna stopnja, Portorož)	69
Preglednica 64: NSV različnih tipov oken (7 % diskontna stopnja, Ljubljana).....	69
Preglednica 65: NSV različnih tipov oken (5 % diskontna stopnja, Portorož)	70
Preglednica 67: NSV različnih variant izvedbe stavbnega ovoja.....	71

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz parcele 1055/1.....	3
Slika 2: Tloris pritličja.....	5
Slika 3: Tloris nadstropja.....	5
Slika 4: Prečni prerez.....	6
Slika 5: Vzdolžni prerez (2-2).....	6
Slika 6: Pogled z južne strani.....	6
Slika 7: Računski model strešne konstrukcije v programu SAP2000.....	8
Slika 8: Prerez strešne konstrukcije.....	8
Slika 9 : Razporeditev snega pri dvokapnici.....	10
Slika 10: Cone pri prečni obtežbi vetra.....	12
Slika 11: Cone pri vzdolžni obtežbi vetra.....	12
Slika 12: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v strešni plošči (kNm/m).....	14
Slika 13: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v strešni plošči (kNm/m).....	15
Slika 14: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v strešni plošči (kNm/m).....	15
Slika 15: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v strešni plošči (kNm/m).....	15
Slika 16: Ovojnica minimalnih osnih sil N_{xx} v strešni plošči (kN/m).....	16
Slika 17: Ovojnica maksimalnih osnih sil N_{xx} v strešni plošči (kN/m).....	16
Slika 18: Ovojnica minimalnih osnih sil N_{yy} v strešni plošči (kN/m).....	16
Slika 20: Prikaz pozicij armature strešne plošče.....	19
Slika 22: Računski model medetažne plošče skupaj z balkoni.....	20
Slika 22: Prerez medetažne konstrukcije.....	21
Slika 23: Različne razporeditve koristne obtežbe na medetažni plošči.....	22
Slika 24: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v medetažni plošči (kNm/m).....	23
Slika 25: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v medetažni plošči (kNm/m).....	23
Slika 26: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v medetažni plošči (kNm/m).....	23
Slika 27: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v medetažni plošči (kNm/m).....	24
Slika 28: Ovojnica minimalnih torzijskih momentov M_{xy} v medetažni plošči (kNm/m).....	24
Slika 29: Ovojnica maksimalnih torzijskih momentov M_{xy} v medetažni plošči (kNm/m).....	24
Slika 30: Prikaz pozicij armature medetažne plošče.....	25
Slika 31: Toplotno ločeni balkoni.....	26
Slika 32: Prerez balkona.....	26
Slika 33: Razpredelnica za izbiro ustreznega sistema za vpenjanje Schöck.....	27
Slika 34: Razporeditev obtežbe za zagotovitev globalne stabilnosti previsne plošče.....	27
Slika 35: Računski model stopniščne rame.....	29

Slika 36: Prečni prerez stopniščne rame.....	29
Slika 38: Projektne osne sile in upogibni momenti v stopniščni rami (v kN oziroma kNm).....	30
Slika 39: Računski model temeljne plošče na elastični podlagi.....	31
Slika 40: Prečni prerez temeljne plošče	31
Slika 41: Shema nosilnih zidov	32
Slika 42: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v temeljni plošči (kNm/m).....	34
Slika 43: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v temeljni plošči (kNm/m).....	34
Slika 44: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v temeljni plošči (kNm/m).....	34
Slika 45: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v temeljni plošči (kNm/m).....	35
Slika 46: Pozicijska skica temeljne plošče.....	35
Slika 47: Tloris pritličja z nosilnimi elementi, ki jih upoštevamo v računu.....	36
Slika 48: Energetske izgube in dobitki (http://fizika.sc-nm.si).....	40
Slika 49: Model objekta v Google SketchUp.....	45
Slika 50: Dvižni kot sonca na dan 21.3. v odvisnosti od ure.	46
Slika 51: Delovanje toplotne črpalke	48
Slika 52: Energetska izkaznica.....	54
Slika 53: Dovedena energija za delovanje stavbe po deležih.....	54
Slika 53: Toplotne izgube	55
Slika 55: Spreminjanje NSV v odvisnosti od časa ter višine diskontne stopnje	56
Slika 56: Rast cen električne energije v zadnjem 5-letnem obdobju.....	59
Slika 57: Predvidena rast cen električne energije in peletov v prihodnosti.....	60
Slika 58: Minimalna NSV fasade – Portorož, 7 % diskontna stopnja.....	63
Slika 59: Minimalna NSV fasade – Ljubljana, 7% diskontna stopnja	64
Slika 60: Minimalna NSV fasade – Portorož, 5% diskontna stopnja.....	64
Slika 61: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Portorož, 7 % diskontna stopnja	65
Slika 62: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Ljubljana 7 % diskontna stopnja.....	66
Slika 63: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Portorož, 5 % diskontna stopnja.	66
Slika 64: Minimalna NSV tal na terenu – Portorož, 7 % diskontna stopnja	67
Slika 65: Minimalna NSV tal na terenu – Ljubljana, 7 % diskontna stopnja.....	68
Slika 66: Minimalna NSV tal na terenu – Portorož, 5 % diskontna stopnja	68
Slika 67: Minimalna NSV oken – Portorož, 7 % diskontna stopnja	69
Slika 68: Minimalna NSV oken – Ljubljana, 7% diskontna stopnja.....	70
Slika 68: Minimalna NSV oken – Portorož, 5 % diskontna stopnja.	70
Slika 69: NSV celota – 7% diskontna stopnja.....	72
Slika 70: NSV celota – 5% diskontna stopnja.....	72

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Portorož je urbano naselje ob obali Piranskega zaliva, znano predvsem po turizmu. Od 13. stoletja dalje se Portorož omenja kot zdraviliški kraj [22]. Od tedaj je naselje pri razvoju turizma doživelo veliko vzponov in padcev. Kot zadnji močni vzpon lahko štejemo obdobje po 2. svetovni vojni. Zaradi vedno večjih potreb po prenočiščih, so bili v letih 1970 do 1980 zgrajeni vsi večji obmorski hotelski kompleksi (Emona, Metropol, novi Palace). Takrat je bil Portorož priljubljena destinacija predvsem tujih gostov (Italijani, Nemci, Avstrijci...), ki so si običajno privoščili daljše letovanje (1 do 2 tedna). Danes se je ta tendenca spremenila in tako prevladujejo domači gosti, ki povprečno prenočijo 2 do 3 noči. Zaradi gospodarskega razcveta v poznih devetdesetih in velikega povpraševanja po novih nastanitvenih kapacitetah, se je začelo veliko vlagati v nepremičninske projekte (izgradnja stanovanj za trg). Današnja gospodarska in finančna kriza, ki je močno ohromila gradbeništvo in povzročila, da je veliko število stanovanj neprodanih, je marsikaterega investitorja odvrnila od vlaganja v nepremičninske posle. Kljub temu, da je ponudbe na trgu veliko, lahko opazimo, da je za kvalitetno zgrajene nepremičnine, ki se nahajajo na zanimivih lokacijah in so cenovno ugodne, še vedno dovolj zanimanja.

Zaradi vedno višje cene fosilnih goriv in njihovega pomanjkanja v naravi, sta energetska učinkovitost ter varčevanje z energijo vedno bolj aktualni temi. Zviševanje cen energentov in onesnaženost okolja, ki izvira iz velike potrošnje neobnovljivih virov energije, sta razlog za višje odjemalne cene energije, ter na vse zadnje, za manj kakovostno bivalno okolje. Od prejšnjega desetletja dalje so cene nafte in drugih goriv na zelo visoki ravni, kar je posledica visoke rasti porabe goriv v hitro razvijajočih se deželah, kot sta Indija in Kitajska. Zaradi teh dejstev se moramo tudi v Sloveniji zavedati da je potrebno zmanjšati porabo energije ter spodbujati uporabo obnovljivih virov. Naša poraba energije se namreč iz leta v leto povečuje, z njo pa tudi naša odvisnost od oskrbe z nafto in plinom iz tujih držav. Zmanjšanje porabe energije ima tudi velik pomen za okolje, saj s tem znatno zmanjšamo emisije CO₂ in drugih toplogrednih plinov. Največja porabnika energije v razvitem svetu sta še vedno promet in industrija (skupaj 60%). Stanovanjske, poslovne ter ostale stavbe niso nič manjši porabniki, ocenjuje se da v Evropi porabijo približno 40 % celotne energije.

V stanovanjskih hišah tako predstavlja ogrevanje več kot 70% porabe energije. Preostanek energije stanovalci porabimo za pripravo tople vode, razsvetljava, kuhanje in druge električne aparate. Prihranki energije so odvisni predvsem od starosti stavbe ter kakovosti izvedbe. Edini način, ki nam bo omogočal kasnejšo učinkovito rabo energije v stavbi je, da projekt novogradnje oziroma prenove skrbno načrtujemo. Torej učinkovito rabo energije, predvsem toplote za ogrevanje stavbe, dosežemo s korektno zasnovano toplotne zaščite konstrukcijskih sklopov ovoja stavbe, pravilno orientacijo v prostoru, z ustrezno zaščito pred sončnim pregrevanjem (senčila), ter z uporabo sistemov za ogrevanje, ki imajo visok izkoristek. Pri hlajenju stavbe pa je potrebno predvsem poskrbeti za pasiven način hlajenja (prezračevanje), saj s tem načinom v Sloveniji lahko ohladimo večino pravilno zasnovanih stavb.

V naselju Beli Križ nad Portorožem želi investitor zgraditi tri enodružinske vrstne hiše za prodajo ali oddajo v najem. Trenutno se na obravnavani parceli nahaja pritlični objekt, opredeljen kot gospodarsko poslopje v izmeri 91m² in neplodno zemljišče velikosti 804m². Objekt je v času republike Jugoslavije služil kot odkupno središče kmetijske zadruge, v katero so okoliški kmetje nosili prodajat svoje pridelke (sadje in zelenjavo). Za potrebe gradnje bo v celoti odstranjen.

V diplomski nalogi se ukvarjamo s projektiranjem in oceno energijske učinkovitosti omenjene novogradnje. Vsebina diplomske naloge je razdeljena v dva dela. V nadaljevanju ju na kratko predstavimo.

V prvem delu se ukvarjamo s statičnim projektiranjem nosilne konstrukcije stavbe na tak način, da bi bila naloga uporabna za nadaljnjo pridobitev gradbenega dovoljenja. Čeprav arhitekurna zasnova obravnavanih vrstnih hiš ni predmet dela, poskušamo predvsem čim bolj funkcionalno in racionalno izrabiti prostor. Stropni nosilni elementi obravnavane stavbe so iz armiranega betona (v nadaljevanju AB). Vertikalni nosilni elementi, ki prenašajo obtežbo s stropov do temeljev ter zagotavljajo ustrezno odpornost nosilne konstrukcije stavbe pri delovanju horizontalne obtežbe (veter, potres), so zidani iz opečnih zidakov na klasičen način. Zidovje ima horizontalne in vertikalne AB povezovalne elemente (povezano zidovje). Analizo opravimo s pomočjo ustreznih računskih modelov, ki jih izdelamo v računalniškem programu SAP 2000 verzija 14.0, ki so ga razvili na univerzi Berkley v ZDA.

V drugem delu diplomskega dela izvedemo analizo celotne potrebne energije za obratovanje vrstnih hiš. Osredotočimo se na potrebo energije po ogrevanju, hlajenju, pripravi sanitarne vode in razsvetljavi notranjih prostorov. Izhajamo iz zahtev pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010) ter nato s pomočjo analize cenitev stroškov celotnega življenjskega kroga objekta (LCC analiza) izračunamo optimalno debelino toplotne izolacije zunanlega ovoja. Pri tem uporabimo računalniško orodje TOST (ki so ga razvili na UL FGG KSKE).

Današnja gospodarska kriza ter veliko število neprodanih stanovanj na trgu, so marsikaterega investitorja odvrnila od vlaganja v nepremičninske posle. Da bi bili na trgu konkurenčni, je zato potrebno kupcu ponuditi nekaj več. S pravilno zasnovo in premišljenimi ukrepi lahko investitor, kljub večji finančni naložbi v ustrezno energetske učinkovitost stavbe, še zmeraj ustvari primeren dobiček.

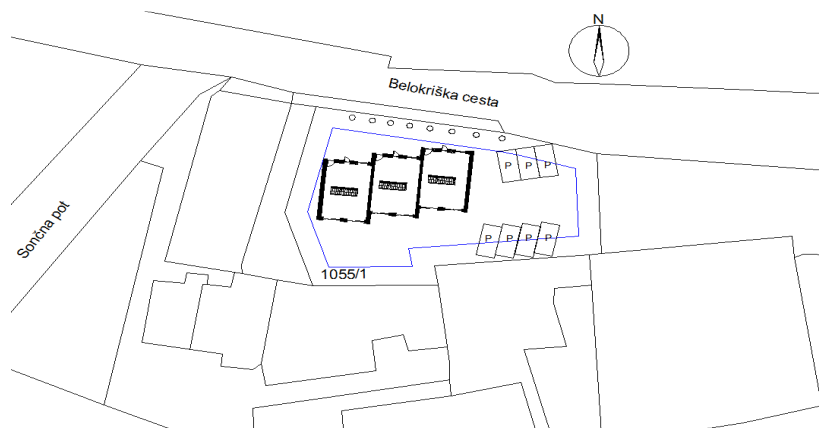
2 SPLOŠNO O STAVBI

2.1 Izhodišča pri zasnovi

Preden se lotimo nakupa zemljišča na katerem želimo graditi, se moramo najprej prepričati ali je predvidena gradnja v skladu s prostorskimi akti, ki veljajo na območju gradnje. Te podatke pridobimo v lokacijski informaciji, ki nam jo izda občina, na kateri se zemljišče nahaja. Iz tega potrdila lahko razberemo, kakšni posegi so dovoljeni na območju zemljiške parcele, na kateri nameravamo graditi.

V našem primeru se parcela 1055/1 (katastarska občina Portorož) nahaja v občini Piran. Iz lokacijske informacije smo nato izluščili podatke, ki nam bodo kasneje služili pri zasnovi objekta. Med drugim je navedeno, da je dovoljena sprememba namembnosti objektov (iz sedanjega gospodarskega poslopja v večstanovanjski objekt). Pri tem pa moramo upoštevati naslednje:

- Skupna bruto površina vseh etaž ne sme presegati 400m^2 površine.
- Etažnost objekta mora biti največ klet, pritličje, nadstropje in mansarda (K+P+1+M).
- Gabarit objekta na najvišji fasadi ne sme presegati višine 7,5m oziroma se mora prilagoditi obstoječim objektom.
- Fasade morajo biti ometane z gladkim ometom v pastelnih barvah, lahko so tudi delno ali v celoti obložene z naravnim avtohtonim kamnom. Okna in vrata naj bodo lesena ali tudi iz drugih materialov. Okna naj bodo opremljena s polkni, okoli oken so zaželjene erte. Strehe morajo biti krite s korci, strešine v naklonu 22° , oblike streh pa so v pretežni meji dvokapnice ali tudi drugih oblik, prirejene mediteranski arhitekturi.
- Odmiki od parcelnih meja so min. 3,00m oz. manjši ob soglasju lastnika sosednje parcele.
- Pozidane površine vseh objektov (stanovanjskih in pomožnih na stavbni parceli) ne smejo presegati $1/3$ velikosti funkcionalnega zemljišča.
- Na funkcionalnem zemljišču mora biti za vsako stanovanjsko enoto nad 40m^2 predvideni dve parkirni mesti, za vsako dodatno stanovanjsko ali počitniško enoto pa dodatna parkirna mesta, kolikor je dodatnih enot.



Slika 1: Prikaz parcele 1055/1 z vrisanimi vrstnimi hišami in ostalih sosednjih parcel. Modra črta prikazuje zahtevani trimetrski odmik objekta od parcelnih mej.

2.2 Arhitekturna zasnova in opis konstrukcije

Na Belokriški ulici v Portorožu je predvidena izgradnja treh enodružinskih vrstnih hiš. Novozgrajena stavba bo nadomeščala dotrajano gospodarsko poslopje, ki sedaj leži na parceli 1055/1 k.o Portorož ki obsega omenjeno gospodarsko poslopje v izmeri 91 m^2 in neplodno zemljišče velikosti 804 m^2 (skupaj 895 m^2). Obravnavana stavba ima poleg pritličja še eno nadstropje. Tlorisne dimenzije posamezne stanovanjske enote so $6,60 \times 9,35 \text{ m}$ (to so mere zunanjih gabaritov), ki so med seboj zamaknjene za $1,5 \text{ m}$. Bruto površina vseh etaž meri $397,0 \text{ m}^2$, kar je manj od dovoljene ki znaša 400 m^2 . Uporabna površina skupaj z balkoni pa meri $351,0 \text{ m}^2$ (117 m^2 na enoto). Najvišja kota južne oziroma severne fasade je $5,60 \text{ m}$ in je manjša od dovoljene, ki znaša $7,50 \text{ m}$. Pozidana velikost objekta znaša $186,1 \text{ m}^2$ in je znotraj dovoljenih $298,3 \text{ m}^2$ ($1/3$ funkcionalnega zemljišča).

Hiše so orientirane v smeri sever – jug tako, da se bivalni prostori in otroške sobe nahajajo na južni strani stavbe. Na severni strani vsake hiše se nahaja dimnik tipa schiedel absolut, primeren za nizkoenergijske zgradbe, ki je po zunanji strani obložen s fasadno opeko. V predstavljeni zasnovi objekta ima dimnik zgolj estetsko funkcijo, kajti za ogrevanje prostorov in pripravo tople vode je predvidena toplotna črpalka, ki ne potrebuje dimnika. Umestitev dimnika je vsekakor smiselna zaradi mogočih kasnejših sprememb izbire energentov.

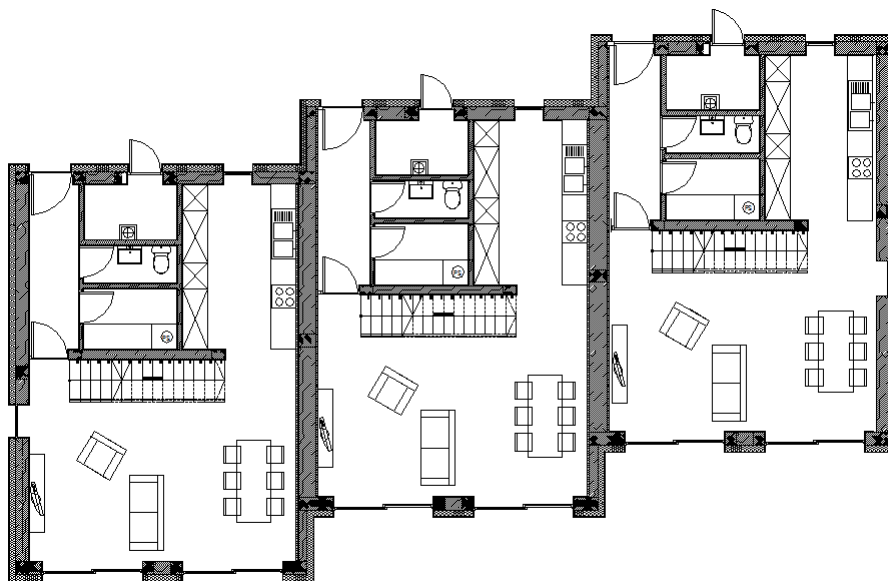
Vertikalni nosilni elementi obravnavane stavbe so izvedeni kot opečno povezano zidovje. To pomeni, da je zid povezan s horizontalnimi in vertikalnimi AB vezmi. Za opečno zidovje smo se odločili predvsem zaradi nezahtevnosti nosilne konstrukcije stavbe ter enostavnosti gradnje. Prednost opeke pred drugimi materiali je tudi v akumuliranju energije. To pomeni, da shranjuje toploto v zimskem času, ko prostore ogrevamo, in zagotavlja prepreko pri poletnem pregrevanju stavbe. Nosilni zidovi so debeline 19 cm , 29 cm oziroma 39 cm . Uporabimo modularne opečne zidake tipa MB 29-19. Obodni zidovi so na zunanji strani izolirani z EPS fasadnimi ploščami debeline 15 cm , na katerih je izveden tankoslojni fasadni omet ter beli oplesk.

Stropni nosilni elementi stavbe (streha, medetažne plošče, stopnice) so izvedeni kot polne AB plošče. AB strešna plošča ima zaradi večje prostorninske mase večjo temperaturno stabilnost. To pomeni, da pri zunanjih temperaturnih spremembah ohranja v prostoru, ki ga omejuje, čim bolj konstantno temperaturo. Streha je dvokapna, orientirana v smeri jug - sever. Na južni strani je naklon strehe 22° na severni pa 26° . Kota slemena je $7,86 \text{ m}$. Strešna plošča je debeline 12 cm in nalega na obodne opečne zidove debeline 29 cm oziroma 19 cm . Po obodu strehe je izvedena ustrezna AB obodna vez. Streha je na zunanji strani izolirana s 4 cm , z notranje strani (spuščen strop) pa s 12 cm toplotne izolacije in prekrita z istrskimi korci. Na južni strani na željo investitorja predvidimo namestitev sončnih panelov skupne površine $40,0 \text{ m}^2$.

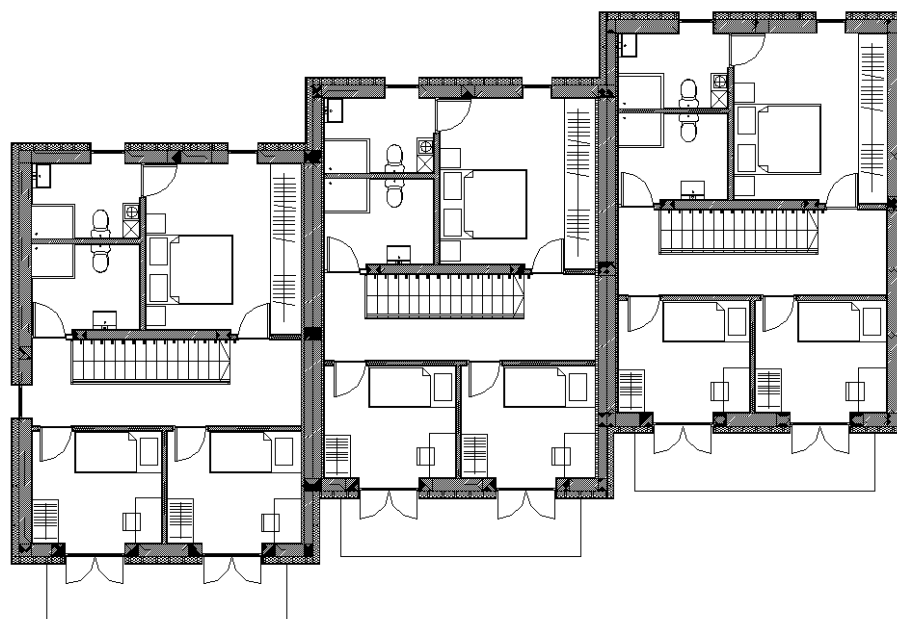
Medetažna AB plošča, debeline 15 cm , se razprostira po celotnem tlorisu posamezne enote večstanovanjske stavbe. V območju stopnic je predvidena odprtina dimenzij $1,00 \times 3,60 \text{ m}$, za dimnik pa odprtina $0,40 \times 0,40 \text{ m}$. Z AB ploščo zagotovimo ustrezno porazdelitev sil na stene pri delovanju horizontalne obtežbe (veter, potres), saj je v svoji ravnini zelo toga (t.i. vodoravna diafragma). V območju naleganj plošče na stene izvedemo ustrezne AB horizontalne vezi. V prvi etaži vsake hiše je balkon dimenzij $5,50 \times 1,50 \text{ m}$ in debeline 16 cm , izveden je po sistemu Schöck Isokorb® tipa A-K (beton-beton), ki je toplotno izolacijski in sočasno nosilen sistem. S takšno izvedbo balkona se izognemo toplotnemu mostu. Notranje AB stopnice so enoramne, debelina plošče pa znaša 12 cm .

Zaradi zagotovitve večje energijske učinkovitosti stavbo temeljimo na AB plošči, ki se običajno uporablja pri slabše nosilnih temeljnih tleh oziroma pri velikih obremenitvah temeljnih tal.

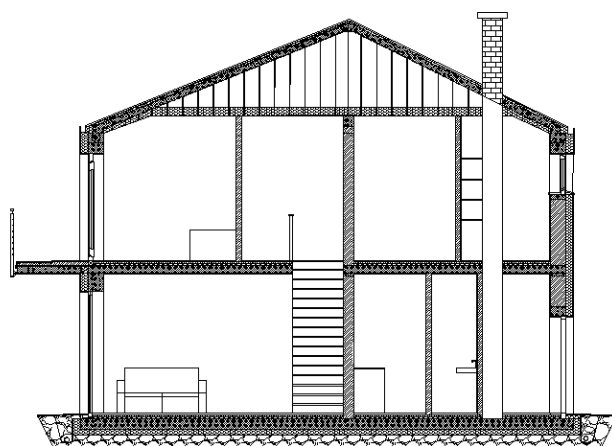
Temeljna plošča je debeline 25 cm in je izvedena kot plavajoča plošča 0,5 m pod površjem. Plošča leži neposredno na XPS izolacijskih ploščah debeline 12 cm, ki so nameščene na predhodno zvaljanem, 30 cm debelem sloju gramoza. Vsi betonski elementi so iz betona trdnostnega razreda C25/30, uporabljene armaturne palice oz. mreže pa so iz jekla za armiranje trdnostnega razreda S500. Na slikah 2 do 7 prikazujemo tlorise, prečne prereze in pogled obravnavane stavbe.



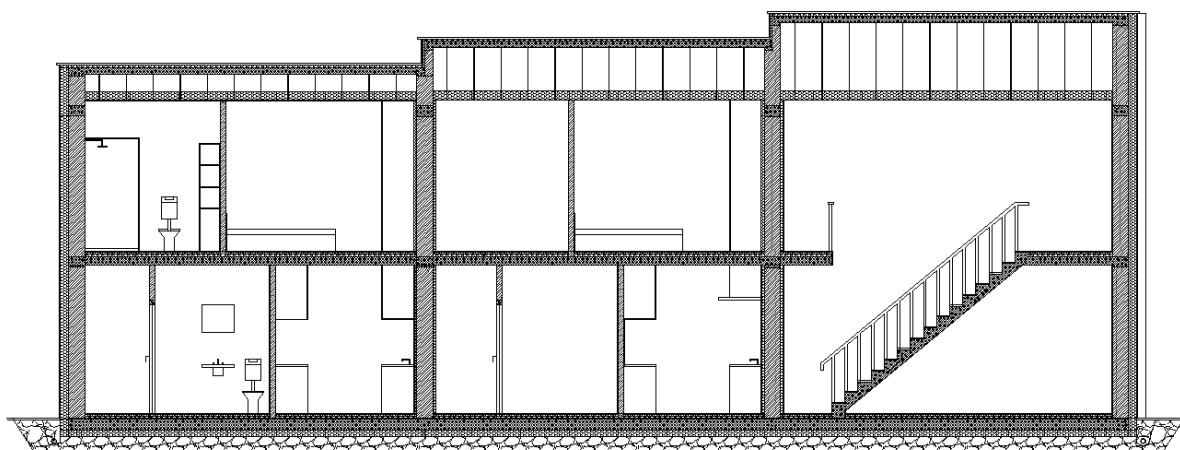
Slika 2: Tloris pritličja



Slika 3: Tloris nadstropja



Slika 4: Prečni prerez



Slika 5: Vzdolžni prerez



Slika 6: Pogled z južne strani

2.3 Uporabljeni materiali

2.3.1 Beton in krovni sloj betona

Za vse betonske elemente uporabimo beton trdnostnega razreda C25/30. V nadaljevanju podajamo njegove značilne mehanske karakteristike:

- $f_{ck} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$
- $f_{ctm} = 0,26 \text{ kN/cm}^2$
- $E_{cm} = 3100 \text{ kN/cm}^2$
- $\gamma_{AB} = 25 \text{ kN/m}^3$
- $\nu = 0,20$

Pomen oznak je sledeč: f_{ck} je karakteristična tlačna trdnost betona pri starosti 28 dni, merjena na preizkušancu valjaste oblike, f_{ctm} predstavlja srednjo vrednost osne natezne trdnosti betona, E_{cm} je elastični modul betona, ν je Poissonov količnik, γ_{AB} pa je specifična prostorninska teža armiranega betona (AB).

2.3.2 Ojačilna armatura

Betonske nosilne elemente ojačamo z jeklom za armiranje trdnostnega razreda S500. Značilne mehanske karakteristike so:

- $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$
- $f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$
- $\gamma_j = 78 \text{ kN/m}^3$

Pri tem je f_{yk} karakteristična meja elastičnosti armature, E_s modul elastičnosti jekla za armiranje, γ_j pa specifična prostorninska teža jekla.

2.3.3 Opečni zidaki

Nosilno zidovje izdelamo iz modularnih opečnih zidakov tipa MB 29 – 19. V nadaljevanju podajamo značilne mehanske karakteristike:

- $\gamma_{zidak} = 7,68 \text{ kN/m}^3$
- $f_b = 15,0 \text{ kN/m}^2$

Pri tem je γ_{zidak} specifična teža zidaka, f_b pa normalizirana tlačna trdnost zidaka.

2.3.4 Malta

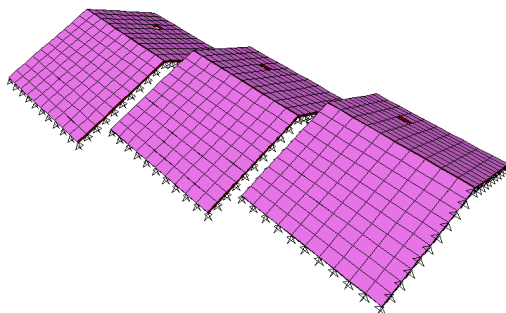
Malta, s katero povežemo posamezne zidake med seboj, je tipa M5. To pomeni, da je njena tlačna trdnost vsaj $f_m = 5 \text{ kN/m}^2$.

3 PROJEKTIRANJE NOSILNIH ELEMETOV STAVBE

3.2 Strešna plošča

3.2.1 Zasnova in računski model

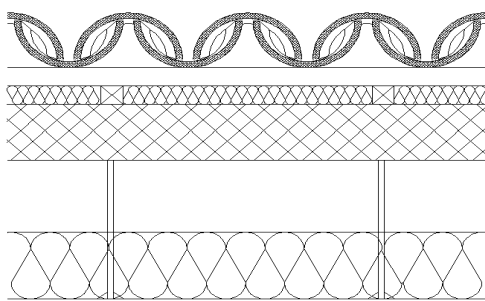
Strešna AB plošča je debeline 12 cm. V računskem modelu upoštevamo, da je po celotnem obodu vrtljivo podprta. Konstrukcija je na območju stikov z notranjimi zidovi prekinjena, tako da se vplivi med posameznimi konstrukcijami ne prenašajo. Na zunanjih zidovih je širina naleganja 29 cm, na vmesnih zidovih pa 19 cm. Na severni strani je v plošči izveden preboj za dimnik dimenzij $0,4 \times 0,4$ m. Streho modeliramo v programu SAP2000 (Computers & Structures, INC.). Uporabimo štirivozliščne končne elemente tipa »Shell«, s katerimi v analizi upoštevamo membranske ter upogibne deformacije. Računski model strešne plošče prikazujemo na sliki 7.



Slika 7: Računski model strešne konstrukcije v programu SAP2000

3.2.2 Lastna in stalna obtežba

V preglednici 1 prikazujemo izračun stalne obtežbe strešne konstrukcije. Pri tem ustrezno upoštevamo težo posameznih slojev konstrukcijskega sklopa. Prerez strešne konstrukcije prikazujemo na sliki 8.



Slika 8: Prerez strešne konstrukcije

Preglednica 1: Obtežba strešne konstrukcije

Material	Prost. teža (kN/m ³)	Dimenzije	Obtežba (kN/m ²)
Sončne celice	/	/	0,29
Istrski korec	/	/	0,25
Prečne letve	4,60	4,00 x6,00cm; e = 45,0cm	0,03
Kontra letve	4,60	4,00 x6,00cm; e = 45,0cm	0,03
Mineralna volna	0,27	16,0 + 4,0 cm	0,05
AB strešna konstr.	25,00	12,0 cm	3,00
Spuščen strop - gips	1,10	1,25 cm	0,01
Instalacije	/	/	0,02
			Σ = 3,65

Predvidimo, da bodo sončne celice nameščene le na južni strani objekta, tako je na severni strani strehe obtežba zaradi stalnih vplivov manjša in sicer 3,36 kN/m².

3.2.3 Koristna obtežba

Pri določitvi koristne obtežbe strehe upoštevamo vrednosti skladno s standardom SIST EN 1991-1-1:2004 (točka 6.3.1.2(8)) in pripadajočim nacionalnim dodatkom (SIST EN 1991-1-1:2004/A101:2005). Kategorijo strehe določimo s pomočjo preglednice 2.

Preglednica 2: Kategorije streh (pregl. 6.5 v SIST EN 1991-1-1:2004)

Kategorija	Opis uporabe
H	Strehe, dostopne le za normalno vzdrževanje, manjša popravila, barvanje
I	Strehe, dostopne za uporabo
K	Strehe, dostopne za posebne namene, kot je pristajanje s helikopterjem

ObraVnavana strešna konstrukcija je nepohodna. Dostopna mora biti le za občasna vzdrževanja oziroma popravila. Tako površino strehe uvrstimo v kategorijo H. Zato je priporočena vrednost koristne obtežbe 0,4 kN/m² in je neodvisna od naklona strehe.

3.2.4 Obtežba snega

Obtežbo snega na strehi določimo skladno s standardom SIST EN 1991-1-3:2004 (točka 5.2(3P)) in ustreznim nacionalnim dodatkom (SIST EN 1991-1-3:2004/A101:2008). Obtežbo snega upoštevamo kot ploskovno obtežbo. Izračunamo jo z enačbo:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (3.1)$$

kjer je μ_i oblikovni koeficient obtežbe snega, C_e je koeficient izpostavljenosti, C_t je toplotni koeficient, s_k pa je karakteristična obtežba snega na tleh. Koeficient izpostavljenosti določimo s pomočjo preglednice 3.

Preglednica 3: Priporočene vrednosti C_e za različne vrste terena (pregl. 5.1 v SIST EN 1991-1-3:2004)



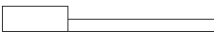
Teren	C_e
Izpostavljen vetru	0,8
Običajen	1,0
zaščiten pred vetrom	1,2

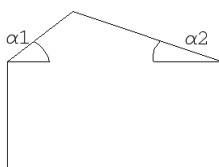
Ker se obravnavani objekt nahaja v naselju, izberemo priporočeno vrednost $C_e = 1,0$. S toplotnim koeficientom C_t upoštevamo zmanjšanje obtežbe snega pri strehah, ki so slabo izolirane (imajo veliko toplotno prevodnost). Za običajne strehe, to velja tudi za obravnavano streho, upoštevamo vrednost $C_t = 1,0$. Oblikovna koeficinta za posamezno strešino dvokapnice določimo s pomočjo preglednice 4.

Preglednica 4 : Vrednosti oblikovnih koeficientov (pregl. 5.2 v SIST EN 1991-1-3:2004)

Naklon strehe α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$60^\circ \leq \alpha$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha)/30$	0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	\

Na sliki 9 prikazujemo razporeditev obtežbe nenakopičenega snega (primer 1) oziroma dva primera razporeditve obtežbe nakopičenega snega (primer 2 in 3).

PRIMER 1 $\mu_1(\alpha_1)$  $\mu_1(\alpha_2)$
 PRIMER 2 $0,5\mu_1(\alpha_1)$  $\mu_1(\alpha_2)$
 PRIMER 3 $\mu_1(\alpha_1)$  $0,5\mu_1(\alpha_2)$



Slika 9 : Razporeditev snega pri dvokapnici (slika 5.2 v SIST EN 1991-1-3:2004)

Vrstne hiše se nahajajo na slovenski obali (cona M1) na približno 80 m nadmorske višine. Vrednost karakteristične obtežbe snega na tleh izračunamo z naslednjo enačbo:

$$S_k (M1) = 0,289 (1 + (A/452)^2) = 0,289 (1 + (80/452)^2) = 0,30 \text{ kN/m}^2. \quad (3.2)$$

Pri tem je A nadmorska višina v metrih. V nadaljevanju s pomočjo enačbe (3.1) izračunamo karakteristično obtežbo snega na strehi in sicer:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,30 = 0,24 \text{ kN/m}^2.$$

3.2.6 Obtežba vetra

Veter lahko na zunanje površine neposredno vpliva kot tlak ali kot srk. Obtežbo upoštevamo skladno z določili standarda SIST EN 1991-1-4:2005 (točka 4.2(2)P) in nacionalnega dodatka (SIST EN 1991-1-4:2005/A101:2008). Osnovno hitrost vetra izračunamo z enačbo:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}. \quad (3.3)$$

V enačbi (3.3) je V_b osnovna hitrost vetra, določena kot funkcija smeri vetra in letnega časa 10 m nad terenom II. kategorije, $V_{b,0}$ je temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra, C_{dir} je smerni faktor (priporočena vrednost je 1,0), C_{season} pa je faktor letnega časa (priporočena vrednost 1,0).

Obravnavana stavba se nahaja v coni 3 (Primorje, Kras in del Vipavske doline). V tem primeru je temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra $C_{b,0} = 30$ m/s. Po enačbi (3.3) zato sledi:

$$V_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 = 30 \text{ m/s.}$$

Za določitev obtežbe vetra na zunanji ovoj stavbe potrebujemo tudi referenčno višino objekta, ki je za obravnavano stavbo enaka višini kote slemena, to je $z_e = 7,86$ m. Glede na kategorijo terena, na kateri se objekt nahaja (v obravnavanem primeru predpostavimo kategorijo terena III), iz spodnje tabele razberemo še referenčni višini z_0 in z_{min} .

Preglednica 5: Kategorije terena (pregl. 4.1 v SIST EN 1991-1-4:2005)

Kategorija terena		z_0	z_{min}
0	Morsko ali obalno področje izpostavljeno odprtemu morju	0,003	1
I	Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir	0,01	1
II	Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir	0,05	2
III	Področje z običajnimi rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd)	0,3	5
IV	Področje, kjer je najmanj % površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m	10	10

V nadaljevanju izračunamo faktor hrapavosti terena c_r :

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{7,95}{0,3}\right) = 0,706. \quad (3.4)$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215. \quad (3.5)$$

V enačbi (3.5) je z_{0II} hrapavostna dolžina pri kategoriji terena II. Karakteristični končni tlak vetra je:

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) = 0,88 \text{ kN/m}^2, \quad (3.6)$$

kjer je I_v intenziteta turbolence in jo izračunamo z enačbo:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = 0,305. \quad (3.7)$$

V enačbi (3.7) je σ_v standardna deviacija, $V_m(z)$ pa srednja hitrost vetra. Izračunamo ju z enačbama:

$$\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_t = 0,215 \cdot 30 \cdot 1,0 = 6,45 \text{ m/s.} \quad (3.8)$$

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot V_b = 0,706 \cdot 1,00 \cdot 30 = 21,18 \text{ m/s.} \quad (3.9)$$

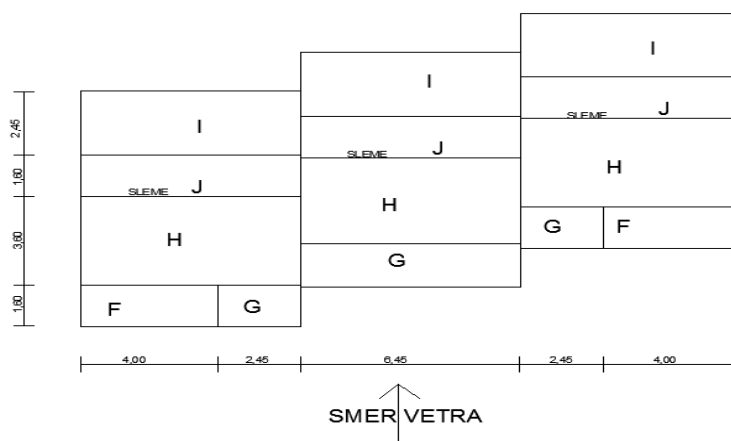
Sedaj lahko izračunamo tlak vetra na zunanjo ploskev in sicer:

$$w_p = q_p(z) \cdot C_{pe}, \quad (3.10)$$

pri tem je C_{pe} koeficient zunanega tlaka in je odvisen od smeri delovanja vetra ter con obremenjevanja. V preglednicah 6 in 7 prikazujemo vrednosti koeficienta C_{pe} za posamezne cone strehe v primeru delovanja vetra v prečni oziroma vzdolžni smeri objekta. Razdelitev površine strehe obravnavane stavbe na cone pa prikazujemo na slikah 10 in 11.

Preglednica 6: Koeficienti zunanje tlaka pri dvokapnicah za veter v prečni smeri (pregl. 7.4a v SIST EN 1991-1-4:2005)

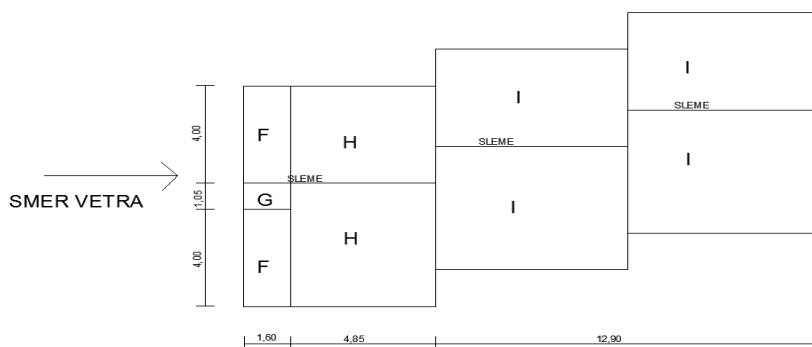
Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=0^\circ$				
	F	G	H	I	J
	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
	0,2	0,2	0,2	0	0
30°	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	0,7	0,7	0,4	0	0



Slika 10: Cone pri prečni obtežbi vetra

Preglednica 7: Koeficienti zunanje tlaka pri dvokapnicah za veter v vzdolžni smeri (pregl. 7.4b v SIST EN 1991-1-4:2005)

Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=90^\circ$			
	F	G	H	I
	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
30°	-1,1	-1,3	-0,8	-0,5



Slika 11: Cone pri vzdolžni obtežbi vetra

Za strehe z nakloni med 15° in 30° moramo vrednosti koeficientov zunanje tlaka linearno interpolirati. Pri obravnavani stavbi sta naklona obeh strešin (južna in severna stran) približno enaka, zato v nadaljnjih izračunih privzamemo enoten naklon za obe strešini in sicer $\alpha=25^\circ$. Negativne

vrednosti v preglednicah 6 in 7 predstavljajo tlake, medtem ko so pozitivne vrednosti srki. V preglednici 8 prikazujemo koeficiente zunanje tlaka za streho obravnavane stavbe.

Preglednica 8: Koeficienti zunanje tlaka za prečno in vzdolžno smer obtežbe vetra

Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=90^\circ$				
	F	G	H	I	
	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	
25°	-1,2	-1,3	-0,65	-0,5	
Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=0^\circ$				
	F	G	H	I	J
	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}	C_{pe}
25°	-0,7	-0,65	-0,25	-0,4	-0,75
	0,45	0,45	0,3	0	0

Iz preglednice 8 ugotovimo, da se v primeru delovanja vetra v prečni smeri, ko je kot $\theta=0^\circ$, pojavijo na površini strehe tako tlaki kot srki, pri delovanju vetra v vzdolžni smeri ($\theta=90^\circ$) pa samo srki. V preglednici 9 smo zbrali vrednosti obtežbe vetra po posameznih conah v primeru delovanja vetra v prečni oziroma vzdolžni smeri objekta. Pozitivne vrednosti predstavljajo srke, negativne pa tlake.

Preglednica 9: Vrednosti zunanje tlaka vetra v primeru delovanja vetra v vzdolžni ($\theta=90^\circ$) oziroma prečni ($\theta=0^\circ$) smeri objekta

Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=90^\circ$				
	F	G	H	I	
	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	
25°	-1,06	-1,14	-0,57	-0,44	
Naklon α	Cone za smer vetra $\theta=0^\circ$				
	F	G	H	I	J
	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)	W_e (kN/m ²)
25°	-0,62	-0,57	-0,22	-0,35	-0,66
	0,40	0,40	0,25	0	0

3.2.6 Kombinacija vplivov

Mejno stanje nosilnosti (MSN) je skladno s standardom SIST EN 1990:2004 (6.4.3.2(3)) stanje, ki je povezano s porušitvijo konstrukcije ali podobno obliko odpovedi konstrukcije. V splošnem mora veljati, da je projektna obremenitev (E_d) manjša od pripadajoče projektne odpornosti (R_d).

Osnovne kombinacije vplivov v mejnih stanjih nosilnosti tvorimo v skladu s pravilom (SIST EN 1990:2004) :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ " + " } \gamma_P \cdot P_K \text{ " + " } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ " + " } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \text{ " } \quad (3.11)$$

Pri tem je $G_{k,j}$ karakteristična vrednost stalnega vpliva, P_K je karakteristična vrednost vpliva prednapenjanja, $Q_{k,1}$ je karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva, $Q_{k,i}$ pa je karakteristična vrednost drugih spremenljivih vplivov. $\gamma_{G,j}$ predstavlja delni faktor za j -ti stalni vpliv, γ_P je delni faktor za vpliv prednapenjanja, $\gamma_{Q,i}$ je delni faktor za i -ti spremenljivi vpliv, $\Psi_{0,i}$ pa

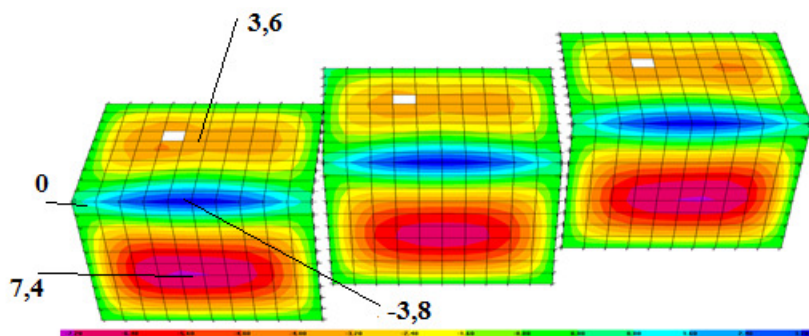
je kombinacijski faktor za i -ti spremenljivi vpliv. Znak Σ predstavlja kombinirani učinek, " + " pa možnost kombiniranja med vplivi. Stalni in spremenljivi vplivi lahko učinkujejo ugodno ali neugodno. Če je njihov učinek ugoden, upoštevamo pri stalnem vplivu delni faktor 1,0, pri spremenljivem pa 0. V primeru neugodnega učinka pa upoštevamo pri stalnem vplivu delni faktor 1,35, pri spremenljivem pa 1,50. Skladno s standardom SIST EN 1990:2004 (6.4.3.2(3)) upoštevamo pri vplivu snega kombinacijski koeficient $\Psi_0 = 0,5$, pri vplivu vetra $\Psi_0 = 0,6$, pri koristni obtežbi na strehi pa $\Psi_0 = 0$ (kategorija površine H). V preglednici 10 podajamo 12 kombinacij vplivov za strešno ploščo.

Preglednica 10: Osnovne kombinacije vplivov za strešno ploščo v MSN

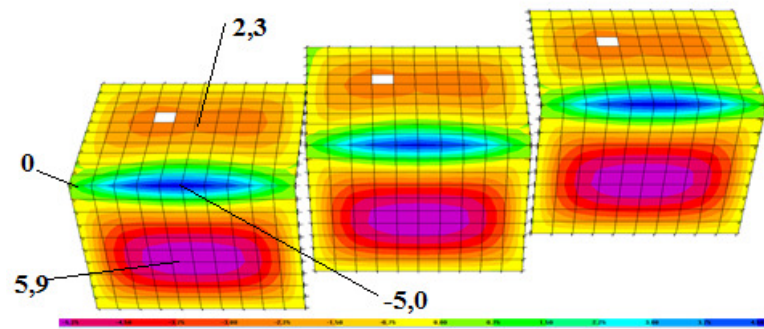
Komb.	Stalna	Koristna jug	Koristna sever	Sneg nenako p.	Sneg nakopičen jug	Sneg nakopičen sever	Veter jug tlak	Veter jug srk	Veter sever tlak	Veter sever srk	Veter vzhod	Veter zahod
K1	1,35	0	0	0,75	0	0	1,5	0	0	0	0	0
K2	1,35	0	0	0	0	0,75	1,5	0	0	0	0	0
K3	1,35	0	0	0,75	0	0	0	1,5	0	0	0	0
K4	1,35	0	0	0,75	0	0	1,5	0	0	0	0	0
K5	1,35	0	0	0	0,75	0	1,5	0	0	0	0	0
K6	1,35	0	0	0	0,75	0	0	1,5	0	0	0	0
K7	1,35	0	0	0	0,75	0	0	0	1,5	0	0	0
K8	1,35	0	0	0	0	0,75	0	0	1,5	0	0	0
K9	1,35	0	0	0	0	0,75	0	0	0	1,5	0	0
K10	1,35	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	1,5	0
K11	1,35	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	1,5	0
K12	1,35	0	0	0	0,75	0	0	0	0	0	0	1,5

3.2.7 Račun obremenitev konstrukcije

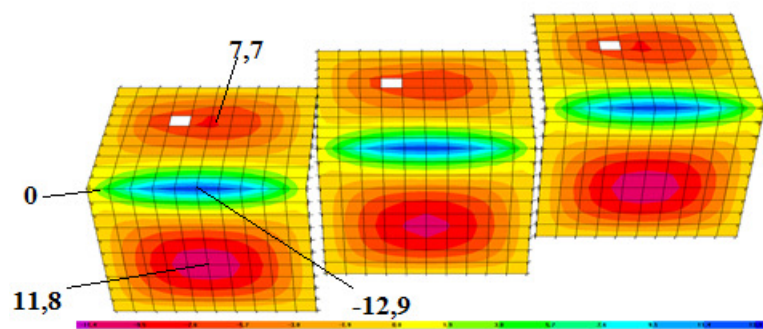
Projektne vrednosti obremenitev v računskem modelu strešne plošče izračunamo s programom SAP2000 (Computers & Structures, INC.) Računski model strešne plošče smo predstavili že v poglavju 3.2.1. Na slikah 12 – 19 prikazujemo ovojnice projektne vrednosti osnih sil in upogibnih momentov plošče v mejnih stanjih nosilnosti.



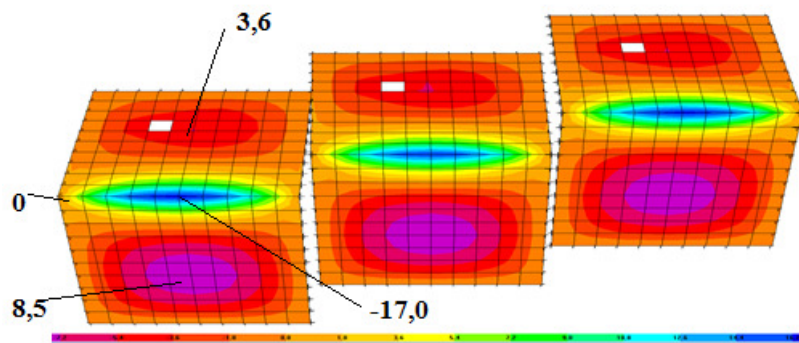
Slika 12: Ovojnice maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v strešni plošči (kNm/m)



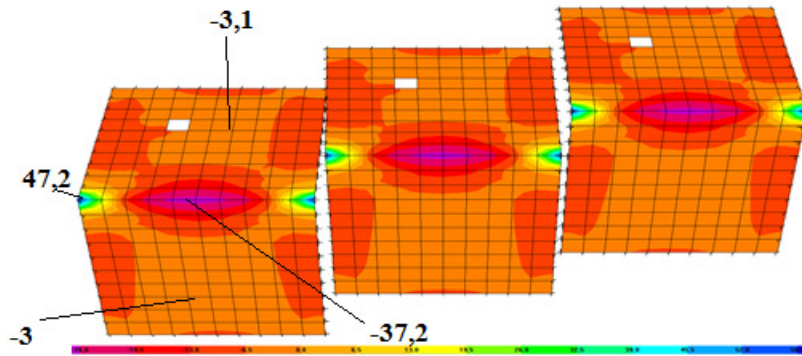
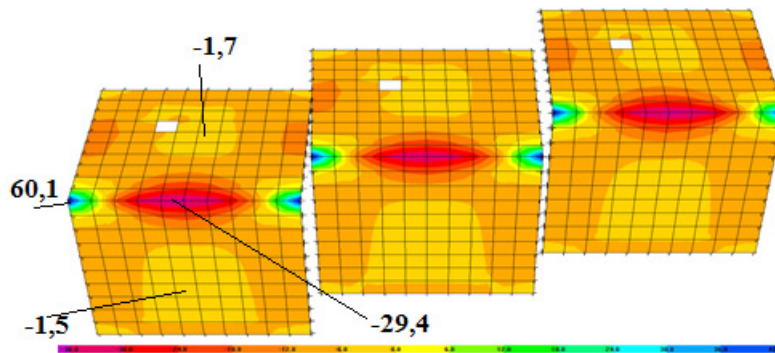
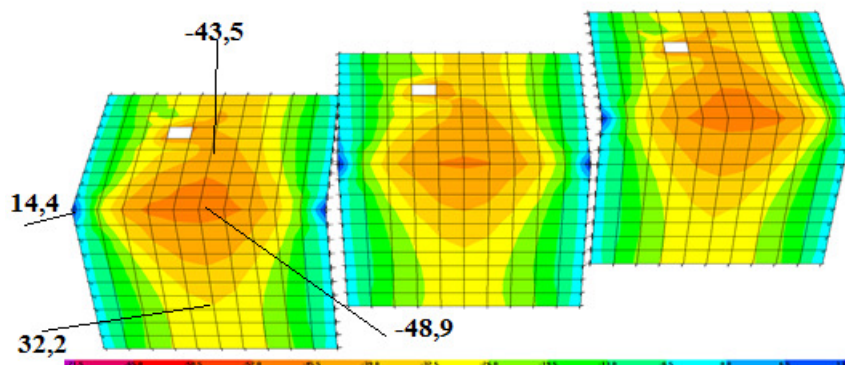
Slika 13: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v strešni plošči (kNm/m)

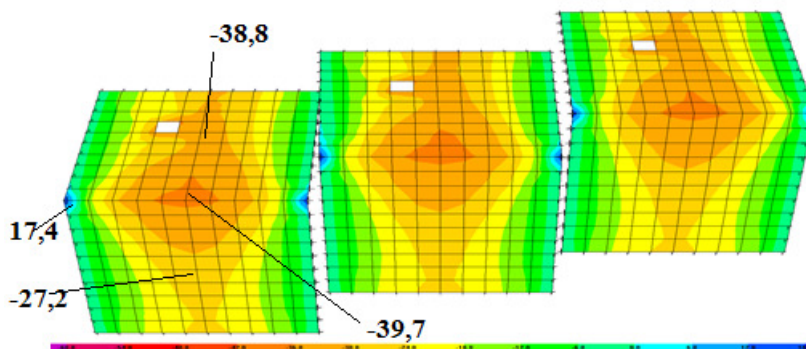


Slika 14: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v strešni plošči (kNm/m)



Slika 15: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v strešni plošči (kNm/m)

Slika 16: Ovojnica minimalnih osnih sil N_{xx} v strešni plošči (kN/m)Slika 17: Ovojnica maksimalnih osnih sil N_{xx} v strešni plošči (kN/m)Slika 18: Ovojnica minimalnih osnih sil N_{yy} v strešni plošči (kN/m)



Slika 19: Ovojnica maksimalnih osnih sil N_{yy} v strešni plošči (kN/m)

3.2.8 Dimenzioniranje armature

Preden prično z dimenzioniranjem armature strešne plošče, moramo v skladu s standardom SIST EN 1992-1-1:2004, določiti krovni sloj betona. Z ustrežno debelino krovnega sloja zagotovimo varen prenos sidrskih sil, zaščito jekla proti koroziji in ustrežno požarno odpornost konstrukcije.

Krovni sloj določimo kot vsoto najmanjšega krovnega sloja c_{min} in dovoljenega projektnega odstopanja Δc_{dev} (priporočena vrednost $\Delta c_{dev} = 10$ mm), in sicer z enačbo:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}. \quad (3.12)$$

Najmanjši krovni sloj izračunamo z enačbo:

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b} ; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add} ; 10 \text{ mm} \}. \quad (3.13)$$

Pri tem je $c_{min,b}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprejemnosti (če so palice oziroma mreže razvrščene v enem sloju potem velja $c_{min,b} = \phi_{palice}$), $c_{min,dur}$ je najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja, $\Delta c_{dur,\gamma}$ predstavlja dodatni varnostni sloj (priporočena je vrednost 0 mm), $\Delta c_{dur,st}$ označuje zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla (v obravnavanem primeru 0 mm) in $\Delta c_{dur,add}$ predstavlja zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite (v obravnavanem primeru 0 mm).

V nadaljevanju predpostavimo, da premer vgrajene armaturne palice v strešni plošči ne bo večji od 14 mm. Dodatno upoštevamo, da se bo konstrukcija nahajala v suhem okolju (nikjer ne pride v stik z vodo), tako da jo uvrstimo v razred izpostavljenosti XC1 (beton v stavbah z nizko vlažnostjo zraka). V kolikor upoštevamo še, da je razred konstrukcije S4 (stavbe in druge običajne konstrukcije), lahko s pomočjo enačbe (3.13) izračunamo:

$$c_{min} = \max \{ 14 \text{ mm} ; 15 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} \} = 15 \text{ mm}.$$

Tako je potreben krovni sloj betona (enačba (3.12)):

$$c_{nom} = 15 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 25 \text{ mm}.$$

Ugotovimo, da mora znašati debelina krovne plasti betona vsaj 2,5 cm. V nadaljnjih izračunih zaradi zagotavljanja določene rezerve pri izbiri armature upoštevamo debelino krovnega sloja 3,0 cm.

Armature v plošči dimenzioniramo v skladu s postopkom za dimenzioniranje AB prerezov pri osno-upogibni obremenitvi, ki je naveden v Priročniku za dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj [17]. Pri tem upoštevamo zahtevo iz SIST EN 1992-1-1:2004, da moramo vsaj v eni točki prečnega prereza zagotoviti mejno deformacijo ($-\varepsilon_1$ za beton oziroma ε_s za jeklo). Za mejno deformacijo betona upoštevamo vrednost $-3,5 \text{ ‰}$, za armaturo pa $10,0 \text{ ‰}$. Potrebno količino natezne armature izračunamo s pomočjo izrazov (3.14) – (3.16).

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_s. \quad (3.14)$$

$$k_d = \frac{M_{Eds}}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2}. \quad (3.15)$$

$$A_s = k_s(k_d) \cdot \frac{M_{Eds}}{f_{yd} \cdot d} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}. \quad (3.16)$$

Pomen oznak v enačbah (3.14) – (3.16) je sledeč: b je širina natezne cone prereza, z_s je oddaljenost natezne armature od težišča prečnega prereza, f_{cd} je projektna tlačna trdnost betona ($=f_{ck}/1,5$), f_{yd} pa je projektna natezna trdnost jekla za armiranje ($=f_{yk}/1,5$). Z M_{Eds} označimo projektni upogibni moment k natezni armaturi, N_{Ed} in M_{Ed} pa sta projektna osna sila in projektni upogibni moment v težišču prečnega prereza.

V kolikor v obravnavanem prečnem prerezu poleg upogibne obremenitve M_{ii} ($ii = xx$ ali yy) nastopa tudi torzijska M_{ij} , vrednost upogibnega momenta za dimenzioniranje armature izračunamo s pomočjo enačbe:

$$M_{Ed} = M_{ii} \pm |M_{ij}|. \quad (3.17)$$

Prerez natezne armature v plošči mora izpolniti naslednji pogoj (SIST EN 1992-1-1:2004):

$$A_{s,\min} \leq A_s \leq A_{s,\max}. \quad (3.18)$$

Pri tem je $A_{s,\max}$ največja dovoljena količina natezne armature izven območja stikovanja s prekrivanjem, $A_{s,\min}$ pa najmanjša količina armature, ki jo moramo zagotoviti v pretežno upogibno obremenjenem prečnem prerezu. Izračunamo ju z izrazoma:

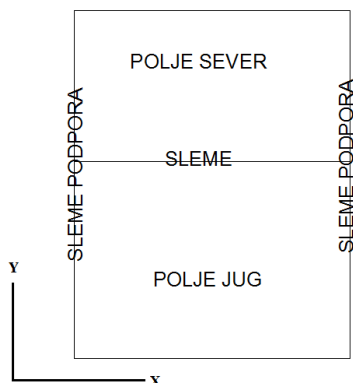
$$A_{s,\max} = 0,04A_c \quad (3.19)$$

$$A_{s,\min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d \quad (3.20)$$

V enačbah (3.19) in (3.20) je b_t širina natezne cone prečnega prereza, A_c pa je površina prečnega prereza.

Strižne nosilnosti strešne plošče ne preverjamo. Predpostavimo, da je zaradi razmeroma velikega prečnega prereza zagotovljena zadostna strižna odpornost.

Rezultate računa potrebne količine armature v vzdolžni oziroma prečni smeri obravnavane strešne plošče prikazujemo v preglednici 11. Pri tem upoštevamo pogoj (3.19). Ugotovimo, da največje dovoljene količine natezne armature ne prekoračimo. Predznak minus pred potrebno količino armature pomeni, da se natezna armatura nahaja bližje zgornji površini plošče (nategi na zgornji strani). Z A_{sx} označimo prečni prerez armature v smeri osi x , z A_{sy} pa v smeri osi y . Na sliki 20 prikazujemo pozicijsko skico strešne plošče.



Slika 20: Prikaz pozicij armature strešne plošče

Preglednica 11: Dimenzioniranje armature strešne plošče

b (cm)	h (cm)	d (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ² /m)	$A_{s,max}$ (cm ² /m)
100	12	9	1,67	43,48	1,22	48
POZICIJA	N_{xx} (kN/m)	M_{xx} (kNm/m)	k_d (l)	Mejna def. (%)	k_s (l)	A_{sx} (cm ² /m)
polje-jug	-3,0	7,4	0,0554	10,0	1,044	1,91
polje-sever	-3,1	3,6	0,0273	10,0	1,033	0,88
Sleme	-37,2	-5,0	0,0287	10,0	1,033	-0,46
slleme-podpora	60,1	0,0	centrični nateg			1,38
POZICIJA	N_{yy} (kN/m)	M_{yy} (kNm/m)	k_d (l)	Mejna def. (%)	k_s (l)	A_{sy} (cm ² /m)
polje-jug	-32,2	11,8	0,0944	10,0	1,063	2,46
polje-sever	-43,5	7,7	0,0666	10,0	1,049	1,06
Sleme	-48,9	-17,0	0,1148	10,0	1,072	-3,53
slleme-podpora	17,4	0,0	centrični nateg			0,40

Iz slik 16 – 19 ugotovimo, da se na levem in desnem robu slemena strešne plošče pojavijo natezne obremenitve, medtem ko upogibnih obremenitev ni. V tem primeru potrebno količino natezne armature izračunamo z enačbo:

$$A_s = \frac{N_{ii}}{f_{yd}}, \quad (3.21)$$

kjer je N_{ii} projektna natezna osna sila v smeri osi x oziroma y.

3.2.9 Kontrola povosov

V skladu s standardom SIST EN 1992-1-1:2004 nam povosov strešne plošče ni potrebno računati, če izpolnimo enostavna pravila. Eno izmed takšnih pravil je omejitev razmerja razpetine in statične višine prereza (l/d), ki bo ustrezna za izognitev problema povosa v običajnih okoliščinah. Če veljata neenačbi (3.20) oziroma (3.21), nam povosov plošče ni potrebno preverjati:

$$d \geq \frac{l}{K \cdot (11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (\frac{\rho_0}{\rho} - 1)3/2)}; \text{ če velja } \rho_0 > \rho \quad (3.22a)$$

$$d \geq \frac{l}{K \cdot (11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}})}; \text{ če velja } \rho > \rho_0 \quad (3.22b)$$

Pri tem spremenljivke v enačbah (3.22a) in (3.22b) pomenijo: $\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$ je referenčno razmerje armiranja (f_{ck} v MPa), $\rho = \frac{A_s}{A_c}$ je zahtevana stopnja armiranja v sredini razpetine ($A_s = \max(A_{sx}, A_{sy})$), K pa je faktor, ki upošteva vpliv različnih konstrukcijskih sistemov. V preglednici 12 prikazujemo vrednosti faktorja K za značilne konstrukcijske sisteme.

Preglednica 12: Vrednost faktorja K za različne konstrukcijske sisteme

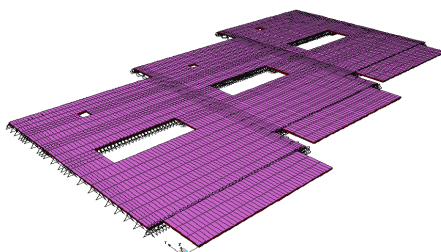
konstrukcijski sistem	K
enosmerno in dvosmerno nosilni vrtljivo podprti stropovi	1,0
enosmerno in dvosmerno nosilni stropovi, neprekinjeni vzdolž ene stranice	1,3
notranja razpetina v eni ali dveh smereh nosilnih stropov	1,5
stropovi podprti s stebri brez gred (glede na večjo razpetino)	1,2
Konzole	0,4

Za obravnavano strešno ploščo je potrebna količina armature v polju $A_s = \max(A_{sx}, A_{sy}) = 2,46 \text{ cm}^2/\text{m}$ (glej preglednico 13). Tako je zahtevana stopnja armiranja $\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{2,46}{12 \cdot 100} = 0,00205$, referenčna stopnja armiranja pa je $\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{25} \cdot 10^{-3} = 0,005$. Ugotovimo, da velja $\rho_0 > \rho$. Ob uporabi enačbe (3.22a), pri čemer za faktor K upoštevamo vrednost 1,3, sledi $d \geq \frac{532}{73,98} = 7,2 \text{ cm}$. Debelina nosilne konstrukcije strešne plošče je 12 cm, statična višina pa 9 cm in je večja od mejne vrednosti, zato nam povesov strešne plošče ni potrebno preverjati.

3.3 Medetažna plošča

3.3.1 Zasnova in računski model

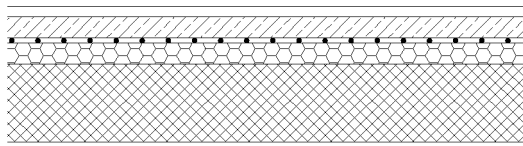
Medetažna AB plošča je debeline 15 cm. V računskem modelu ploščo vrtljivo podpremo po celotnem obodu. Modeliramo jo s štirivozliščnimi končnimi elementi tipa »Plate«, s katerimi v analizi, upoštevamo le upogibne deformacije.



Slika 22: Računski model medetažne plošče skupaj z balkoni

3.3.2 Lastna in stalna obtežba

V preglednici 13 prikazujemo izračun stalne obtežbe medetažne plošče. Pri tem ustrezno upoštevamo težo posameznih slojev konstrukcijskega sklopa. Prerez medetažne konstrukcije prikazujemo na sliki 22.



Slika 22: Prerez medetažne konstrukcije

Preglednica 13: Stalna obtežba medetažne plošče

Material	Prost. teža (kN/m ³)	Dimenzije	Obtežba (kN/m ²)
Naravni kamen	28,0	2,0 cm	0,56
Cementni estrih	24,0	4,0 cm	0,96
Zvočna izolacija	0,27	4,0 cm	0,01
Talno ogrevanje	/	/	0,01
AB plošča	25,00	15,0 cm	3,75
Notranji omet	18,00	2,0 cm	0,36
			Σ = 5,66

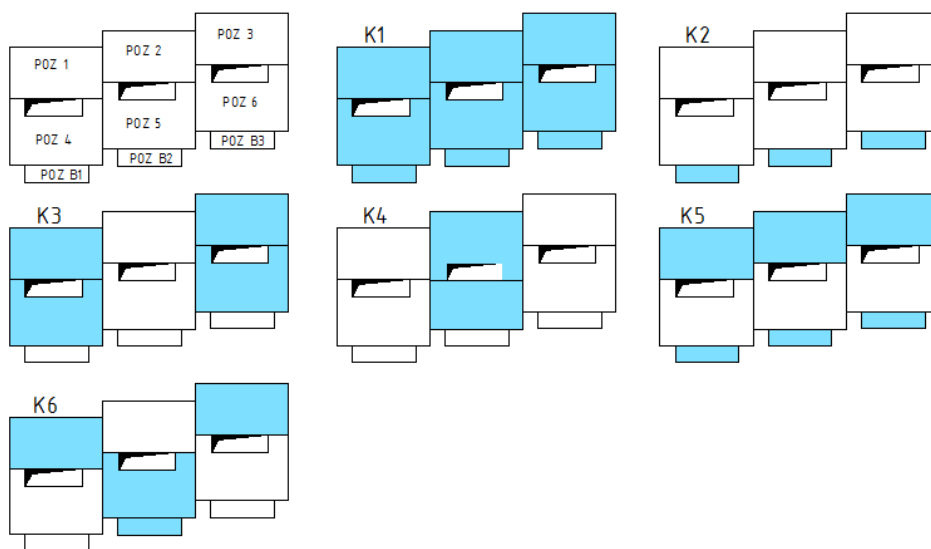
3.3.3 Koristna obtežba

Na sliki 23 prikazujemo šest različnih razporeditev koristne obtežbe, ki jih upoštevamo pri kombiniranju vplivov. Lego koristne obtežbe označimo z modro barvo. Kombinacije vplivov predstavimo v preglednici 15.

Preglednica 14: Koristna obtežba medetažne plošče (pregl. 6.2 v SIST EN 1991-1-1:2004)

Kategorija površin A:	Tla na splošno (kN/m ²)	Stopnice (kN/m ²)	Balkoni (kN/m ²)	Premične predelne stene (kN/m ²)
	2,0	2,0	2,5	1,2

Čeprav je v arhitekturnih podloga lega predelnih sten znana, v računu upoštevamo poljuben razpored le-teh. Tako dopustimo možnost kasnejše spremembe leg predelnih sten, v primeru adaptacije stanovanj. Težo poljubno razporejenih predelnih sten upoštevamo kot koristno obtežbo, enakomerno porazdeljeno po celotni površini plošče.



Slika 23: Različne razporeditve koristne obtežbe na medetažni plošči

3.3.3 Kombinacija vplivov

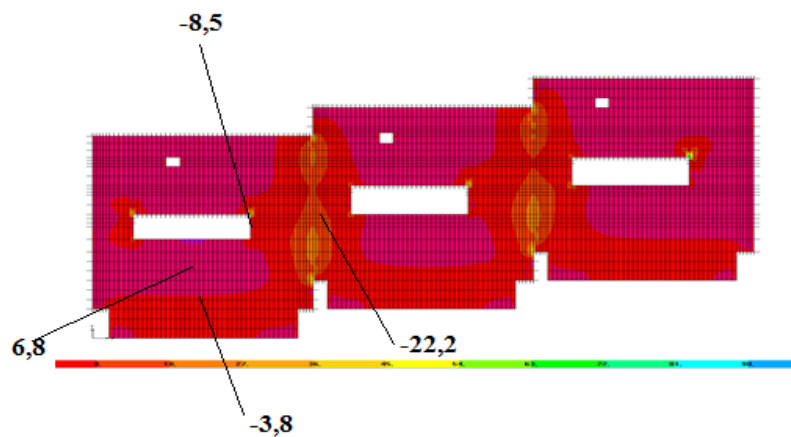
Ustrezne kombinacije vplivov v mejnem stanju nosilnosti tvorimo skladno z enačbo (3.11). Prikazujemo jih v preglednici 15.

Preglednica 15: Osnovne kombinacije vplivov za medetažno ploščo v MSN

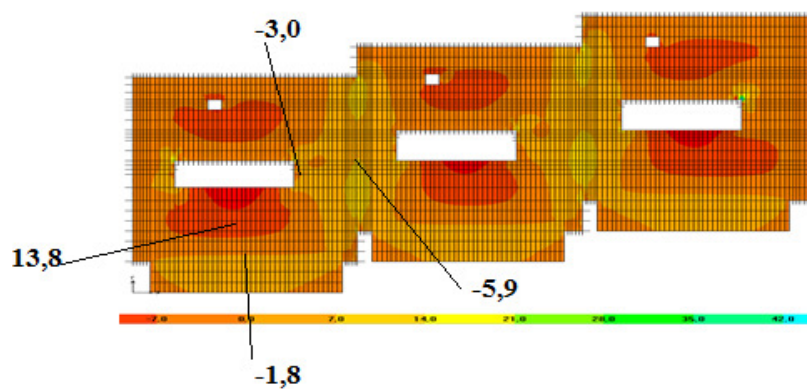
komb.	stalna	sprem. poz1	sprem. poz2	sprem. poz3	sprem. poz4	sprem. poz5	sprem. poz6	sprem. pozB1	sprem. pozB2	sprem. pozB3
K1	1,35	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
K2	1,35	0	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5
K3	1,35	1,5	0	1,5	1,5	0	1,5	0	0	0
K4	1,35	0	1,5	0	0	1,5	0	0	0	0
K5	1,35	1,5	1,5	1,5	0	0	0	1,5	1,5	1,5
K6	1,35	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

3.3.4 Dimenzioniranje armature

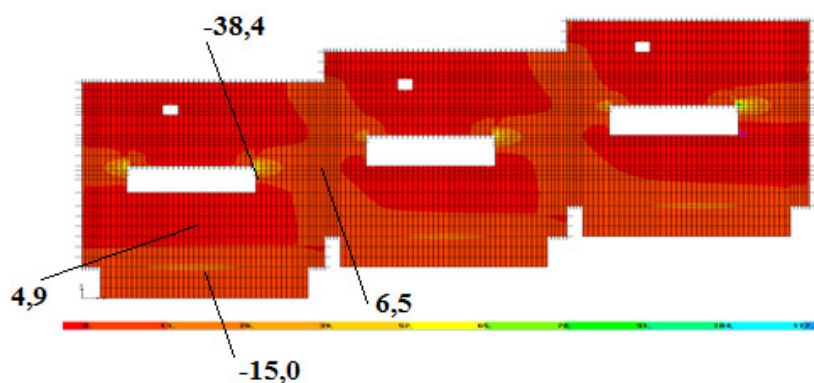
Računski model strešne plošče smo predstavili že v poglavju 3.3.1. Na slikah 24 do 29 prikazujemo ovojnice projektnih vrednosti upogibnih in torzijskih obremenitev plošče v mejnih stanjih nosilnosti.



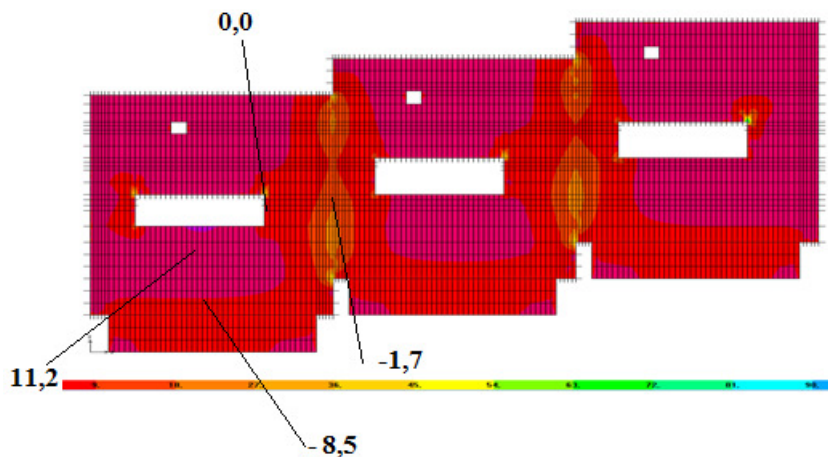
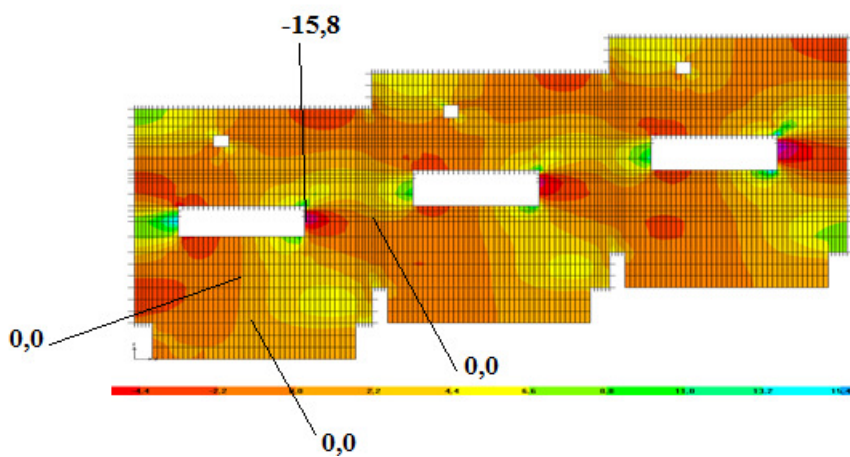
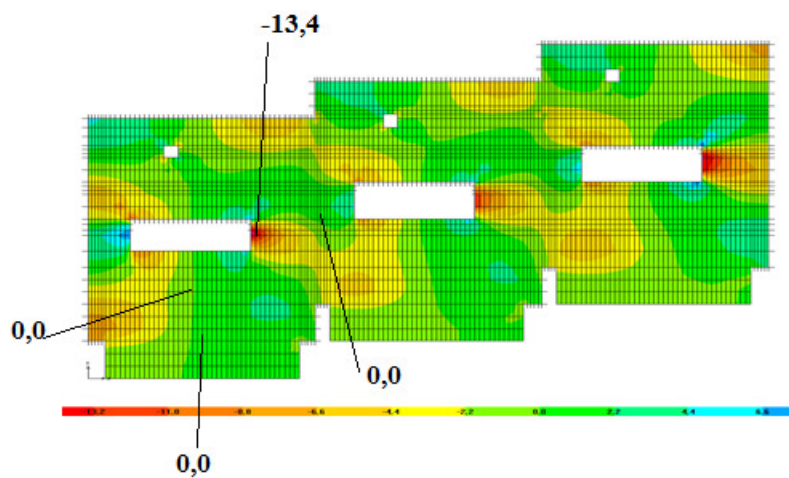
Slika 24: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v medetažni plošči (kNm/m)



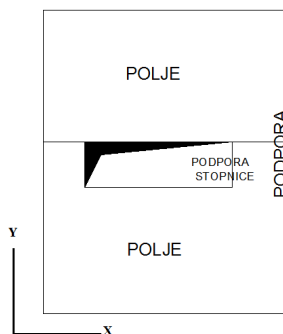
Slika 25: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v medetažni plošči (kNm/m)



Slika 26: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v medetažni plošči (kNm/m)

Slika 27: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v medetažni plošči (kNm/m)Slika 28: Ovojnica minimalnih torzijskih momentov M_{xy} v medetažni plošči (kNm/m)Slika 29: Ovojnica maksimalnih torzijskih momentov M_{xy} v medetažni plošči (kNm/m)

Pri določevanju potrebnega krovnega sloja betona in natezne armature izhajamo iz enačb, ki smo jih opisali že v poglavju 3.2.8. Upoštevamo debelino krovnega sloja 3 cm, saj razreda izpostavljenosti in razreda konstrukcije glede na strešno ploščo ne spreminjamo. Na sliki 30 prikazujemo pozicijsko skico medetažne plošče. Rezultate računa potrebne količine armature v vzdolžni oziroma prečni smeri obravnavane medetažne plošče pa prikazujemo v preglednici 16.



Slika 30: Prikaz pozicij armature medetažne plošče

Preglednica 16: Dimenzioniranje armature medetažne plošče

B (cm)	h (cm)	d (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ² /m)	$A_{s,max}$ (cm ² /m)
100	15	12	1,67	43,48	1,62	60
POZICIJA	M_{xx} (kNm/m)	M_{xy} (kNm/m)	k_d (/)	Mejna def. (%)	k_s (/)	A_{sx} (cm ² /m)
Polje	13,8	0	0,0574	10,0	1,043	2,76
Podpora	-22,2	0	0,0923	10,0	1,061	-4,51
podpora-stopnice	-8,5	-15,8	0,1010	10,0	1,065	-4,96
POZICIJA	M_{yy} (kNm/m)	M_{xy} (kNm/m)	k_d (/)	Mejna def. (%)	k_s (/)	A_{sy} (cm ² /m)
Polje	11,2	0	0,0466	10,0	1,038	2,23
Podpora	-6,5	0	0,0270	10,0	1,033	-1,29
podpora-stopnice	-38,4	-15,8	0,1597	10,0	1,101	-11,44

3.3.5 Kontrola povosov

Za obravnavano strešno ploščo je potrebna količina armature v polju $A_s = \max(A_{sx}, A_{sy}) = 2,76 \text{ cm}^2/\text{m}$ (glej preglednico 16). Tako je zahtevana stopnja armiranja $\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{2,76}{15 \cdot 100} = 0,00184$, referenčna stopnja armiranja pa je $\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{25} \cdot 10^{-3} = 0,005$. Ugotovimo, da velja $\rho_0 > \rho$. Ob uporabi enačbe (3.22a), pri čemer za faktor K upoštevamo vrednost 1,3, sledi $d \geq \frac{495}{87,6} = 5,65 \text{ cm}$. Debelina nosilne konstrukcije medetažne plošče je 15 cm, statična višina pa 12 cm in je večja od mejne vrednosti, zato nam ni potrebno preverjati tudi povosov medetažne plošče.

3.4 Balkoni

3.4.1 Zasnova

Balkone izvedemo po sistemu za vpenjanje Schöck Isokorb® tipa A-K. To je toplotno izolacijski in sočasno nosilni sistem. Toplotna izolacija zunanje stene se dosledno nadaljuje, s tem pa toplotne

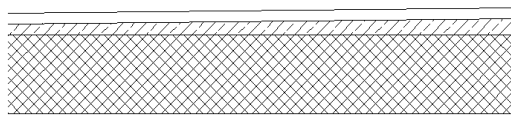
mostove zmanjšamo na minimum. Balkon se s takšnim načinom izvedbe ne ogreva in zato toplota ostaja v ogrevanem prostoru. Previs balkona znaša 1,5 m, debelina nosilne AB plošče pa je 16 cm.



Slika 31: Toplotno ločeni balkoni [18]

3.4.2 Lastna in stalna obtežba ter koristna obtežba

V preglednici 17 predstavimo izračun stalne obtežbe balkonov. Pri tem ustrezno upoštevamo težo posameznih slojev konstrukcijskega sklopa. Prerez strešne konstrukcije prikazujemo na sliki 32.



Slika 32: Prerez balkona

Preglednica 17: Lastna in stalna obtežba balkonov

Material	Prostorninska Teža (kN/m ³)	Dimenzije	Obtežba (kN/m ²)
Naravni kamen	28,0	2,0 cm	0,56
Naklonski beton	24,0	4,0 cm	0,96
AB plošča	25,00	16,0 cm	4,00
Zunanja ograja	/	/	0,65
Zunanji omet	18,00	2,0 cm	0,36
			Σ = 6,53

Vrednost koristne obtežbe povzamemo iz preglednice 14. Koristna obtežba balkonov znaša 2,5 kN/m².

3.4.3 Račun obremenitev ter dimenzioniranje nosilno-toplotno izolacijskega sistema

Tudi pri dimenzioniranju balkonske plošče upoštevamo 3 cm debel krovni sloj, saj razreda izpostavljenosti ter razreda konstrukcije glede na medetažno ploščo ne spreminjamo.

Na sliki 33 prikazujemo vrednosti obremenitev, na podlagi katerih izberemo ustrezen tip sistema za vpenjanje. Razpredelnico podaja proizvajalec [18]. Projektne obremenitve v stropni plošči na območju balkonov smo prikazali že v poglavju 3.3.4.

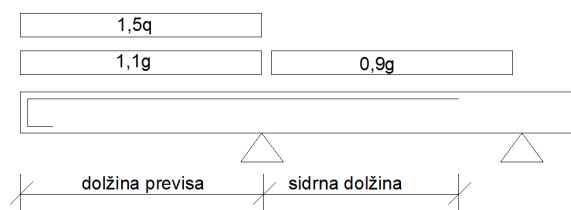
Interne sile = design-vrednosti! Razred betona \geq C 25/30

Schöck Isokorb® tip	A-K 6/7	A-K 8/7	A-K 10/6	A-K 10/7	A-K 12/6	A-K 12/7
Dolžina elementa [m]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Natezne palice	4 \emptyset 8	8 \emptyset 8	10 \emptyset 8	12 \emptyset 8	14 \emptyset 8	16 \emptyset 8
Palice za prečne sile	4 \emptyset 6	4 \emptyset 6	4 \emptyset 6	4 \emptyset 8	4 \emptyset 8	4 \emptyset 8
Tlačni ležaj (kom.)	4 ¹⁾	5 ¹⁾	6 ¹⁾	7 ¹⁾	8 ¹⁾	9 ¹⁾
Maks. razmik reg [m]	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20	13,20
Višina Isokorba H [mm]	m_{reg} [kNm/m]					
160	-7,4	-14,8	-18,5	-22,2	-25,9	-29,7
170	-8,3	-16,5	-20,6	-24,8	-28,9	-33,0
180	-9,1	-18,2	-22,7	-27,3	-31,8	-36,4
190	-9,9	-19,9	-24,8	-29,8	-34,8	-39,8
200	-10,8	-21,6	-27,0	-32,3	-37,7	-43,1
210	-11,6	-23,2	-29,1	-34,9	-40,7	-46,5
220	-12,5	-24,9	-31,2	-37,4	-43,6	-49,9
230	-13,3	-26,6	-33,3	-39,9	-46,6	-53,2
240	-14,2	-28,3	-35,4	-42,5	-49,5	-56,6
250	-15,0	-30,0	-37,5	-45,0	-52,5	-60,0
v_{reg} [kN/m]	+26,2	+26,2	+26,2	+46,5	+46,5	+46,5

Slika 33: Razpredelnica za izbiro ustreznega sistema za vpenjanje Schöck [18]

Absolutno največja upogibna obremenitev nastopi ob vpetju balkonske plošče in je $M_{yy} = -15,0$ kNm/m. Glede na velikost obremenitve izberemo Schöck Isokorb tip A-K 10/6, ki ima upogibno odpornost $-18,5$ kNm/m. Da bi zagotovili varen prenos sil iz armaturnih palic v beton, moramo zagotoviti ustrezno sidranje negativne (zgornje) armature.

Za zagotovitev ustreznega sidranja armature balkonske plošče uporabimo kombinacijo vplivov za preverjanje mejnega stanja statičnega ravnotežja konstrukcije iz standarda SIST EN 1990:2004. Razporeditev obtežbe za zagotovitev globalne stabilnosti previsne balkonske plošče prikazujemo na sliki 34.



Slika 34: Razporeditev obtežbe za zagotovitev globalne stabilnosti previsne plošče

$$\frac{(1,5 \cdot 2,5 + 1,1 \cdot 6,53)}{2} \cdot 1,5^2 = 12,3 \text{ kNm} \leq \frac{0,9}{8} \cdot l_{bd,s}^2 \cdot 5,66 = 15,6 \text{ kNm} \quad (3.23)$$

Iz pogoja (3.23) ugotovimo, da moramo za zagotovitev stabilnosti balkonske plošče negativno armaturo balkonov sidrati $l_{bd,s} \geq 3,8$ m globoko v notranjost plošče. V nadaljevanju izračunamo še

dolžino sidranja omenjene armature, pri kateri je še zagotovljen varen prenos sil iz armaturnih palic v beton.

Najprej določimo mejno sprijemno napetost f_{bd} pri rebrastih palicah, in sicer (SIST EN 1992-1-1):

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,12 = 0,27 \text{ kN/cm}^2. \quad (3.24)$$

Pri tem sta η_1 in η_2 koeficienta, ki sta odvisna od pogojev sidranja in premera palic. V obravnavanem primeru predpostavimo dobre pogoje sidranja ter da je premer armaturnih palic $\phi \leq 32$ mm. Tako sta $\eta_1 = 1,0$ in $\eta_2 = 1,0$ ter $f_{ctd} = 0,12 \text{ kN/cm}^2$ ($= f_{ctk}/1,5$).

Za sidranje balkonov uporabimo mrežno armaturo R335, kjer je premer glavnih armaturnih palic $\phi = 8$ mm. Osnovno sidrno dolžino ravne palice $l_{b,rqd}$ določimo z izrazoma (3.25) in (3.26):

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{0,8 \cdot 41,46}{4 \cdot 0,27} = 30,71 \text{ cm}. \quad (3.25)$$

$$\sigma_{sd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{15,0 \cdot 100}{0,9 \cdot 12 \cdot 3,35} = 41,46 \text{ kN/cm}^2, \quad (3.26)$$

kjer je σ_{sd} projektna napetost v armaturi v mejnem stanju nosilnosti, z pa je ročica notranjih sil.

Projektna sidrno dolžina vzdolžne armature l_{bd} , merjeno v osi palic, izračunamo z naslednjo enačbo:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 30,71 = 21,5 \text{ cm}. \quad (3.27)$$

V enačbi (3.27) s koeficientom α_1 upoštevamo vpliv oblike krivljene palice (priporočena vrednost je 1,0), s koeficientom α_2 vpliv najmanjšega krovnege sloja betona (priporočena vrednost je 1,0), z α_3 vpliv objekta s prečno armaturo (1,0), z α_4 vpliv ene ali več privarjenih prečnih palic vzdolž projektne sidrne dolžine (upoštevamo $\alpha_4 = 0,7$), s koeficientom α_5 pa vpliv tlačnih napetosti prečno na ravnino cepitve vzdolž projektne sidrne dolžine (priporočena vrednost je 1,0).

Sidrno dolžina, ki jo izračunamo z enačbo (3.27), pa mora biti večja od minimalne sidrne dolžine, ki je določena z zahtevo (3.28) in sicer:

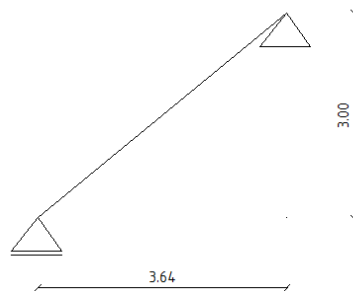
$$l_{b,min} = \max(0,6 l_{b,rqd}; 10 \phi; 100\text{mm}) = 12,9 \text{ cm}. \quad (3.28)$$

Ob upoštevanju pogojev (3.23) in (3.27) moramo armaturo balkonske plošče sidrati $3,80 + 0,215 = 4,02$ m globoko v medetažno ploščo.

3.5 Stopnice

3.5.1 Zasnova

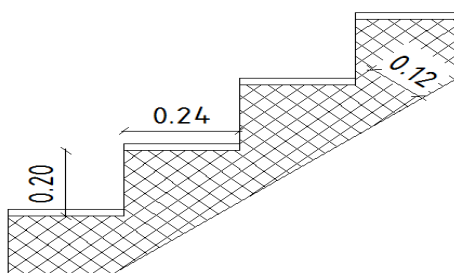
Nosilna konstrukcija stopnic je AB plošča debeline 12 cm. Dolžina stopniščne rame je 4,72 m, širina pa 1,00 m. Višina in širina nastopne ploskve je 20 oziroma 24 cm. Stopniščno ramo modeliramo z vrtljivo podprtim linijskim nosilcem. Računski model stopniščne rame prikazujemo na sliki 35.



Slika 35: Računski model stopniščne rame (dimenzije v metrih)

3.5.2 Lastna in stalna obtežba ter koristna obtežba

V preglednici 18 prikazujemo račun stalne obtežbe stopniščne konstrukcije. Pri tem ustrezno upoštevamo težo posameznih slojev konstrukcijskega sklopa. Obtežbo podajamo na enoto tlorisne površine. Prerez stopniščne konstrukcije pa prikazujemo na sliki 36.



Slika 36: Prečni prerez stopniščne rame (dimenzije v metrih)

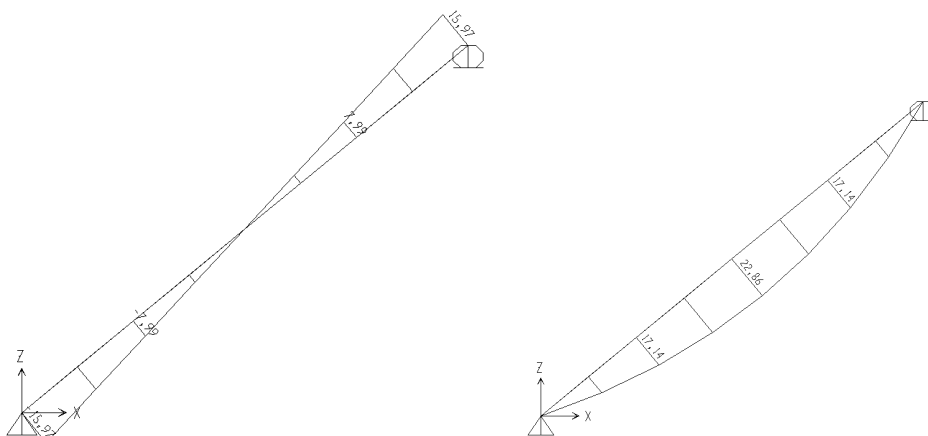
Preglednica 18: Lastna in stalna obtežba stopniščne rame

Material	Prostorninska teža (kN/m ³)	Dimenzije	Obtežba (kN/m ²)
Naravni kamen	28,0	2,0 cm	1,12
Stopnice	25,0	v/š = 20/24 cm	2,5
AB plošča	25,00	12,0 cm	3,88
Notranji omet	18,00	2,0 cm	0,47
			Σ = 7,97 (tlorisno)

Vrednosti koristne obtežbe na stopnicah odčitamo iz preglednice 14. Koristna obtežba znaša 2,0 kN/m².

3.5.3 Račun obremenitev konstrukcije ter dimenzioniranje armature

Projektno obremenitev stopniščne rame v mejnih stanjih nosilnosti določimo kot kombinacijo vpliva stalne in koristne obtežbe v skladu z enačbo (3.11). Na sliki 38 prikazujemo projektne osne sile in upogibne momente v stopniščni rami, račun potrebne količine vzdolžne armature pa podajamo v preglednici 19.



Slika 38: Projektne osne sile (levo) in upogibni momenti (desno) v stopniščni rami (v kN oziroma kNm)

Preglednica 19: Dimenzioniranje vzdolžne armature stopniščne rame

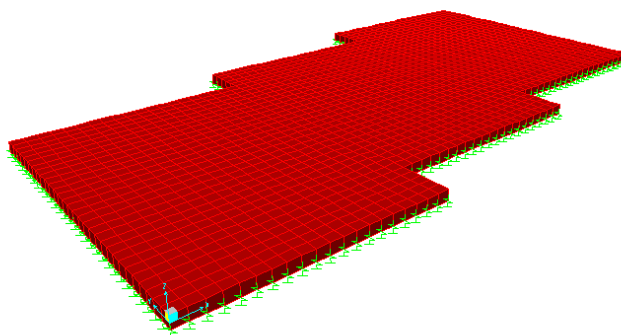
B (cm)	h (cm)	d (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	f_{yd} (kN/cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ² /m)	$A_{s,max}$ (cm ² /m)
100	12	9	1,67	43,48	1,22	48,0
POZICIJA	M_{xx} (kNm/m)	N_{xx} (kNm/m)	kd (/)	Mejna def. (%)	ks (/)	A_{sx} (cm ² /m)
stopnice	22,86	0	0,0943	10,0	1,063	6,20

Razporeditev armature v stopniščni plošči prikazujemo na armaturnem načrtu stopniščne rame, ki je priloga k diplomski nalogi.

3.6 Temeljna plošča

3.6.1 Zasnova

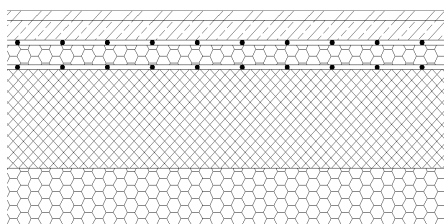
Temeljna plošča je armiranobetonska in se razprostira pod celotnim tlorisom objekta. Debelina plošče je 25 cm. Plošča leži neposredno na 12 cm debeli plasti toplotne izolacije (XPS), ki je predhodno nameščena na ustrezno zbitim, 30 cm debelim slojem gramoza. Ploščo modeliramo v programu SAP2000 (Computers & Structures, INC.). Uporabimo štirivozliščne končne elemente tipa »Shell«. Vpliv temeljnih tal modeliramo z elastičnimi vzmetmi, ki prevzamejo le tlačne obremenitve. Ker na parceli ni bilo izvedenih nobenih preiskav temeljnih tal, podatke o lastnosti zemljine privzamemo iz tehnične dokumentacije za sosednji večstanovanjski objekt, ki je bil zgrajen pred 10 leti in je podobnih tlorisnih dimenzij. Glede na velikost in zahtevnost obravnavanega objekta, pridobljene podatke ocenjujemo kot dovolj dobre za uporabo v statični analizi. Računski model temeljne plošče na elastični podlagi prikazujemo na sliki 39.



Slika 39: Računski model temeljne plošče na elastični podlagi

3.6.2 Stalna in koristna obtežba

V preglednici 20 prikazujemo račun stalne obtežbe temeljne plošče. Pri tem ustrezno upoštevamo težo posameznih slojev konstrukcijskega sklopa. Prerez talne plošče prikazujemo na sliki 40.



Slika 40: Prečni prerez temeljne plošče

Preglednica 20: Stalna obtežba temeljne plošče

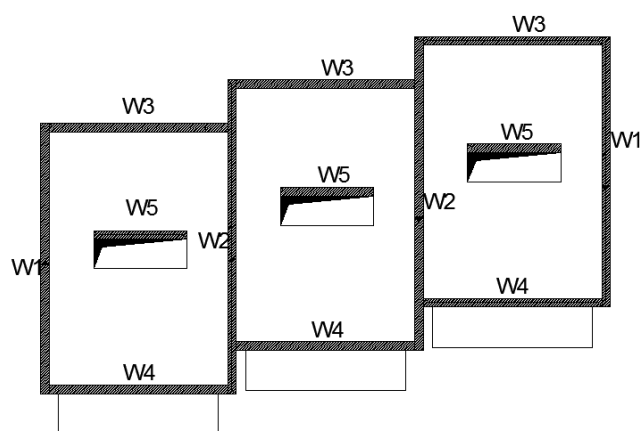
Material	Prostorninska teža (kN/m ³)	Dimenzije	Obtežba (kN/m ²)
Naravni kamen	28,0	2,0 cm	0,56
Cementni estrih	24,0	4,0 cm	0,96
Zvočna izolacija	0,27	4,0 cm	0,01
Talno ogrevanje	/	/	0,01
Hidroizolacija	/	/	0,05
AB plošča	25,00	25,0 cm	6,25
			Σ = 7,84

Privzamemo, da je koristna obtežba temeljne plošče kar enaka koristni obtežbi medetažne plošče in sicer 3,2 kN/m².

3.6.3 Obtežba temeljne plošče preko vertikalnih nosilnih elementov

Pri analizi temeljne plošče moramo upoštevati tudi vse vplive z nosilnih elementov nad temeljno ploščo (opečne stene, medetažna plošča, balkoni, stopnice in streha). Zaradi večje preglednosti izračuna posameznih prispevkov nosilne zidove nad temeljno ploščo razdelimo v 5 skupin, kot prikazujemo na sliki 41. Obtežbo s strehe in medetažne plošče, ki preko posameznih zidov učinkuje na

temeljno ploščo, izračunamo tako, da vrednosti reakcij v podporah, ki jih dobimo v računskem modelu stropa v programu SAP 2000 (Computers & Structures, INC.), enakomerno porazdelimo po celotni dolžini posameznega zidu. Pri tem so vrednosti linijske obtežbe že projektne vrednosti obtežbe. Podobno postopamo pri računu obtežbe temeljne plošče zaradi lastne teže zidovja, ometov ter toplotne izolacije. Skupno projektno obtežbo q_{di} s posameznega segmenta zidovja na temeljno ploščo izračunamo kot vsoto obtežbe s strešne in medetažne konstrukcije (projektne vrednosti) ter lastne teže zidovja, ki jo moramo v skladu s kombinacijskim pravilom (glej enačbo 3.11) pomnožiti s faktorjem $\gamma_g = 1,35$, da dobimo projektni vpliv. Vpliv okenskih odprtin in preklad v računu zanemarimo. Projektne vrednosti obtežbe na temeljno ploščo s posameznih zidov prikazujemo v preglednici 23.



Slika 41: Shema nosilnih zidov

Preglednica 21: Projektna obtežba temeljne plošče preko zidov

Zidovi	obtežba strešne konstrukcije (kN/m)	obtežba medetažne konstrukcije (kN/m)	teža zidovja (kN/m)	q_{di} (kN/m)
W1	14,2	8,2	24,0	54,8
W2	23,6	65,3	23,8	121,0
W3	19,1	16,9	20,9	64,2
W4	20,5	32,3	20,9	81,0
W5	0,0	51,1	21,7	80,4

3.6.4 Nosilnost temeljnih tal

Preveriti moramo tudi nosilnost temeljnih tal pod temeljno ploščo. Glede na namembnost in težo objekta predvidimo, da zaradi velikih tlorisnih dimenzij temeljne plošče nosilnost tal pod temeljno ploščo ne bo prekoračena. To potrdimo z izračunom v nadaljevanju. Kontrolo opravimo skladno s standardom SIST EN 1997-1:2005 (1.del – Splošna pravila). V preglednici 22 podajamo upoštevane mehanske karakteristike temeljnih tal.

Preglednica 22: Mehanske karakteristike temeljnih tal

Karakteristike	Vrednosti
strižni kot φ_k (°)	25,0
prostorninska teža γ (kN/m ³)	19,0
kohezija c_k (kN/m ²)	10,0
modul reakcije tal k (kN/m ³)	48000

Skladno s SIST EN 1997-1:2005 nosilnost temeljnih tal izračunamo z enačbama (3.28) in (3.29):

$$\frac{R}{A'} = c \cdot N_c \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot b_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot b_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma, \quad (3.28)$$

$$R_d = \frac{R}{A'} \cdot \frac{A'}{\gamma_M}, \quad (3.29)$$

kjer R predstavlja odpornost tal, A' je ploščina računske površine centrično obremenjenega temelja, q' je efektivni navpični tlak ob temelju na globini temeljne ploskve, c' je efektivna kohezija, γ_M pa predstavlja varnostni faktor (=1,4). Koeficienti nosilnosti N_q , N_c in N_γ so odvisni od strižnega kota, spremenljivke b_j , s_j , i_j pa predstavljajo koeficiente nagiba in oblike temelja ter nagiba rezultante. Rezultate računa predstavimo v preglednici 23.

Preglednica 23: Preverjanje nosilnosti temeljnih tal

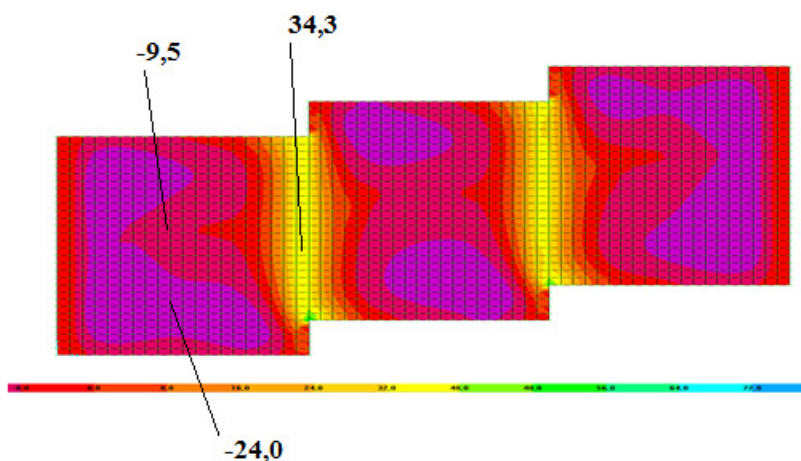
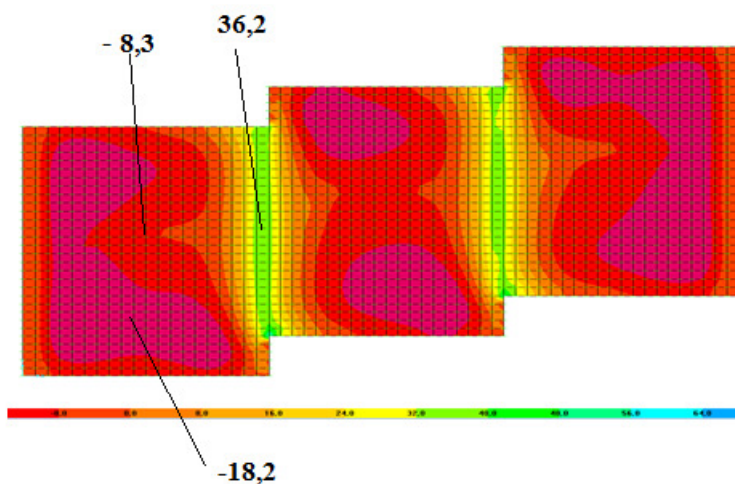
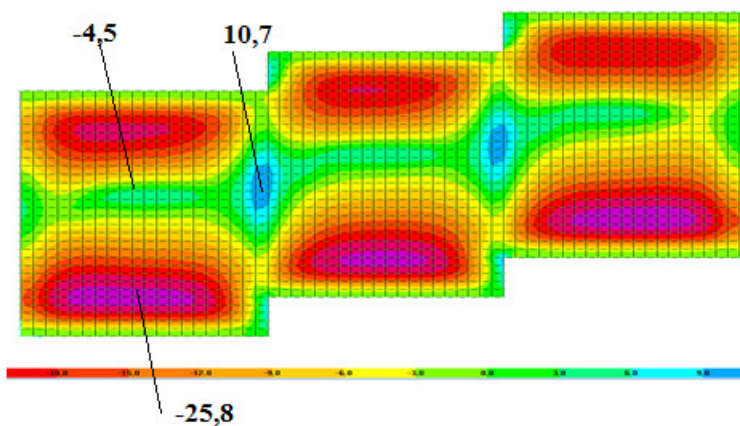
N_q	N_c	N_γ	s_q	sc	s_γ	q'
10,65	20,70	9,00	1,75	1,83	0,47	9,50
b_q	bc	b_γ	i_q	ic	i_γ	A'
0	0	0	0	0	0	165
R/A' (kN/m ²)	R_d (kN)	E_d (kN)	$R_d \gg E_d$ OK			
1333,4	157150,7	5593,0				

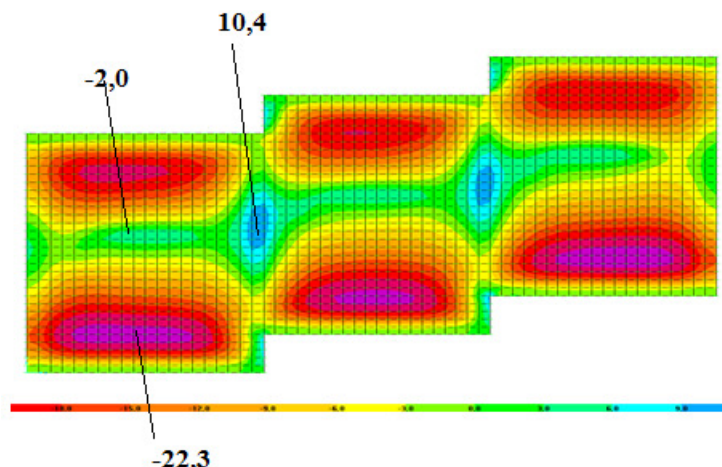
V skladu s pričakovanji je projektna nosilnost temeljnih tal (R_d) bistveno večja od projektne obremenitve (E_d), zato so tla pod temeljno ploščo varna pred poružitvijo.

3.6.5 Račun obremenitev konstrukcije ter dimenzioniranje armature

Kot smo že omenili, temeljno ploščo modeliramo s štirivozliščnimi končnimi elementi v programu SAP2000 (Computers & Structures, INC.), vpliv zemljine pa z elastičnimi vzmetmi. Togost vzmeti določimo kot produkt modula reakcije tal (glej preglednico 22) in vplivne površine temeljne plošče, ki pripada eni vzmeti. Ta je odvisna od gostote mreže končnih elementov. Za modeliranje uporabimo končne elemente dimenzij $0,3 \times 0,3$ m, tako je osna togost ene vzmeti glede na vplivno površino, ki je $0,09 \text{ m}^2$, 4320 kN/m.

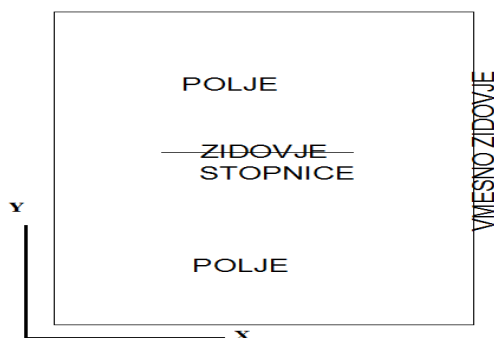
V analizi upoštevamo krovni sloj betona debeline 3 cm. To pomeni, da je debelina krovnega sloja enaka kot pri medetažni oziroma strešni plošči, saj razreda izpostavljenosti oziroma razreda konstrukcije ne spreminjamo. Na računski model temeljne plošče nanese obtežbo z zidov in obtežbo stopnic. Lastno težo temeljne plošče v modelu ne upoštevamo. V analizi predvidimo dve različni razporeditvi koristne obtežbe po temeljni plošči. V prvem primeru koristno obtežbo upoštevamo povsod, v drugem primeru pa le v srednjem polju. V nadaljevanju na slikah 42 do 45 prikazujemo projektne vrednosti upogibnih obremenitev v temeljni plošči za mejno stanje nosilnosti.

Slika 42: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{xx} v temeljni plošči (kNm/m)Slika 43: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{xx} v temeljni plošči (kNm/m)Slika 44: Ovojnica minimalnih upogibnih momentov M_{yy} v temeljni plošči (kNm/m)



Slika 45: Ovojnica maksimalnih upogibnih momentov M_{yy} v temeljni plošči (kNm/m)

Na sliki 46 prikazujemo pozicijsko skico temeljne plošče. Rezultate računa potrebne količine armature v vzdolžni oziroma prečni smeri obravnavane temeljne plošče po posameznih pozicijah pa prikazujemo v preglednici 24.



Slika 46: Pozicijska skica temeljne plošče

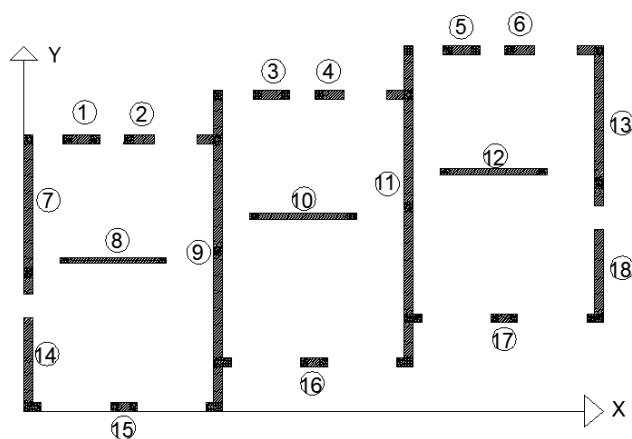
Preglednica 24: Dimenzioniranje armature temeljne plošče:

b (cm)	h (cm)	d (cm)	f_{cd} (kN/cm ²)	f_{vd} (kN/cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ² /m)	$A_{s,max}$ (cm ² /m)
100	25	22	1,67	43,48	2,86	100
POZICIJA	M_{xx} (kNm/m)	k_d (/)	Mejna def. (%)	k_s (/)	A_{sx} (cm ² /m)	
Polje	-24,0	0,0297	10,0	1,033	-2,59	
vmesno zidovje	36,2	0,0448	10,0	1,037	3,92	
zidovje - stopnice	-9,5	0,0118	10,0	1,033	-1,03	
POZICIJA	M_{yy} (kNm/m)	k_d (/)	Mejna def. (%)	k_s (/)	A_{sy} (cm ² /m)	
Polje	-25,8	0,0319	10,0	1,033	-2,79	
vmesno zidovje	14,3	0,0177	10,0	1,033	1,54	
zidovje - stopnice	-4,5	0,0056	10,0	1,033	-0,49	

Razporeditev spodnje in zgornje armature v temeljni plošči prikazujemo na armaturnih načrtih, ki se nahajajo v prilogi k diplomski nalogi.

3.7 Zidovje

Zidovje obravnavane večstanovanjske stavbe izvedemo kot povezano zidovje, to pomeni, da ima zidovje tako v vertikalni kot horizontalni smeri AB povezovalne elemente. Skladno z zahtevami iz standarda SIST EN 1996-1-1:2006 (točka 3.6.2.(2)) najprej preverimo računsko odpornost zidu na vertikalno obtežbo v mejnem stanju nosilnosti. V nadaljevanju pa moramo preveriti tudi računsko strižno odpornost zidovja v primeru potresa. Ob predpostavki, da je zidana konstrukcija večinoma pravilna ter da so vertikalni nosilni elementi enakomerno porazdeljeni v dveh pravokotnih smereh, lahko skladno s standardom SIST EN 1998-1:2005 (4.3.3.(2)) vpliv potresne obtežbe izrazimo kar z nadomestnimi horizontalnimi silami. Na sliki 47 prikazujemo tloris stavbe z vertikalnimi nosilnimi elementi, ki jih upoštevamo v računski analizi.



Slika 47: Tloris pritličja z nosilnimi elementi, ki jih upoštevamo v računu

3.7.1 Odpornost zidov na vertikalno obtežbo v mejnih stanjih nosilnosti

Projektno odpornost zidu na vertikalno obtežbo N_{Rd} določimo s pomočjo enačbe:

$$N_{Rd} = \phi \cdot t \cdot f_d = t \cdot \phi \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad (3.28)$$

kjer t predstavlja debelino zidu, f_d je projektna tlačna trdnost zidovja, ϕ je faktor redukcije nosilnosti v kritičnem prerezu, f_k je karakteristična tlačna trdnost zidu, t debelina zidu, γ_M pa je parcialni varnostni faktor za material, ki je odvisen od pogojev izvedbe ter kategorije kontrole zidakov. Običajno se vrednost varnostnega faktorja giblje od 1,5 do 3,0, v obravnavanem primeru predpostavimo $\gamma_M = 2,0$.

Karakteristično tlačno trdnost zidu določimo s pomočjo enačbe :

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,55 \cdot 15^{0,7} \cdot 5^{0,3} = 5,93 \text{ MPa}. \quad (3.29)$$

Pri tem je K faktor, s katerim upoštevamo prisotnost reg. Vrednosti faktorja K se gibljejo med 0,2 (zidaki iz gline) in 0,8 (betonski zidaki). V obravnavanem primeru privzamemo vrednost 0,55. Za normalizirano tlačno trdnost zidaka f_b privzamemo vrednost, ki jo podaja proizvajalec, 15 MPa, za tlačno trdnost malte f_m pa upoštevamo vrednost 5 MPa.

Faktor redukcije nosilnosti v kritičnem prerezu določimo s pomočjo enačbe:

$$\phi = 1 - 2 \cdot \left(\frac{e_i}{t} \right), \quad (3.30)$$

kjer e_i predstavlja računsko ekscentričnost obtežbe zidu (e_1 za zgornjo karakteristično točko in e_2 spodnjo karakteristično točko). Računsko ekscentričnost obtežbe izračunamo z enačbo:

$$e_i = \frac{M_i}{N_i} + e_{he} + e_{init}. \quad (3.31)$$

kjer sta M_i in N_i upogibni moment in osna sila v i -tem vozlišču (v obravnavanem primeru upogibno obremenitev zaradi zunanje obtežbe zanemarimo), e_{he} je ekscentričnost osne sile na vrhu zidu oziroma ob vznožju zidu zaradi delovanja vodoravne obtežbe (ekscentričnost zaradi delovanja osne sile zanemarimo), e_{init} pa je začetna ekscentričnost zidu zaradi netočnosti izvedbe, ki jo izračunamo s pomočjo enačbe:

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450}. \quad (3.32)$$

Pri tem je h_{ef} efektivna višina, določena z izrazom:

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h. \quad (3.33)$$

Konstanta ρ_n je odvisna od načina podpiranja zidu. V primeru, da so zidovi zgoraj in spodaj podprti z AB ploščo, velja $\rho_n = 0,75$. V enačbi (3.33) je h je svetla višina zidu.

Faktor redukcije nosilnosti za upoštevanje uklona na sredini zidu določimo z enačbo:

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{\left(\frac{u^2}{2} \right)} \quad (3.34)$$

V enačbi (3.34) sta faktorja A_1 in u odvisna od ekscentričnosti na sredini višine zidu, e_m pa je odvisen od debeline ter višine zidu. Vpliv lezenja pri tem zanemarimo. Izračunamo ju z izrazoma:

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \left(\frac{e_m}{t} \right) \quad (3.35)$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 37 \frac{e_m}{t}} \quad (3.36)$$

Rezultate računa projektne odpornosti zidov na vertikalno obtežbo predstavimo v preglednici 25. Pri tem sta N_{1Rd} in N_{2Rd} tlačni odpornosti na vrhu oziroma na dnu posameznega zidu, N_{mRd} pa je tlačna odpornost na sredini višine zidu. Odpornosti primerjamo s projektnimi vrednostmi obtežb $N_{i,d}$, ki delujejo na zid. Ločeno primerjamo zgornji, spodnji ter srednji prerez zidu.

Preglednica 25: Račun odpornosti zidov na vertikalno obremenitev

št. zidu	t (cm)	f_d (Mpa)	h_{ef} (cm)	$e_{1,2}$ (cm)	$\phi_{1,2}$ (l)	e_m (cm)	A_1 (l)	u (l)	ϕ_m (l)	N_{1Rd} (kN/m)	N_{2Rd} (kN/m)	N_{mRd} (kN/m)	N_{1d} (kN/m)	N_{2d} (kN/m)	N_{md} (kN/m)	N_{2d}/N_{2Rd} (%)
1	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	237,34	312,33	274,83	42,54
2	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	296,67	390,41	343,54	53,17
3	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	237,34	312,33	274,83	42,54
4	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	296,67	390,41	343,54	53,17
5	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	237,34	312,33	274,83	42,54
6	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	296,67	390,41	343,54	53,17
7	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	102,00	132,20	117,20	18,28
8	19	2,96	215	2	0,65	0,5	0,95	0,42	0,89	365,56	365,56	500,77	19,50	34,48	27,00	5,33
9	39	2,96	215	2	0,65	0,5	0,98	0,15	0,97	769,60	769,60	1145,46	106,60	120,70	113,60	13,85
10	19	2,96	215	2	0,65	0,5	0,95	0,42	0,89	365,56	365,56	500,77	19,50	34,48	27,00	5,33
11	39	2,96	215	2	0,65	0,5	0,98	0,15	0,97	769,60	769,60	1145,46	106,60	120,70	113,60	13,85
12	19	2,96	215	2	0,65	0,5	0,95	0,42	0,89	365,56	365,56	500,77	19,50	34,48	27,00	5,33
13	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	102,00	132,20	117,20	18,28
14	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	145,25	188,26	166,90	26,03
15	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	443,64	547,67	495,31	79,51
16	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	443,64	547,67	495,31	79,51
17	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	443,64	547,67	495,31	79,51
18	29	2,96	215	2	0,65	0,5	0,97	0,24	0,95	557,96	557,96	812,13	145,25	188,26	166,90	26,03

S primerjavo rezultatov v preglednici 25 ugotovimo, da so najbolj obremenjeni zidovi, označeni s številkami 15, 16 in 17. Pri tem pa obremenitve zidov nikjer ne presegajo pripadajočih projektnih odpornosti.

3.7.2 Odpornost zidov na horizontalno obtežbo zaradi vpliva potresa

Obravnavana večstanovanjska stavba leži na slovenski obali. Projektni pospešek tal, ki ga odčitamo iz karte potresne nevarnosti v SIST EN 1998-1:2004 (točka 3.2.1(3)) je $a_g = 0,10$ g. Stavba je temeljena na srednje togi glini, zato na podlagi SIST EN 1998-1:2004 izberemo ekvivalentni tip tal C ter pripadajoči koeficient tal $S = 1,15$.

Zidovje obravnavane stavbe izvedemo kot povezano zidovje. V skladu s standardom SIST EN 1998-1:2004 strižne odpornost zidov ni potrebno preverjati, ker obravnavano stavbo uvrščamo med enostavne zidane stavbe in ker je projektni pospešek tal na lokaciji, kjer stoji obravnavan objekt ($S \cdot a_g = 0,115$ g), manjši od dopustnega projektnega pospeška tal ($S \cdot a_g \leq 0,20$ g) pri katerem še lahko opustimo računsko preverjanje potresne odpornosti zidane konstrukcije.

V nadaljevanju podajamo zahteve za vertikalne in horizontalne AB vezi povezanega zidovja, ki jih podaja standard SIST EN 1998-1:2004 (9.3(2)). Vertikalne vezi moramo izvesti v vseh vogalih in vseh stikih ali sečiščih konstrukcijskih zidov. Razdalja med njimi ne sme biti manjša od 5,0 m. Navpične vezi moramo izvesti tudi ob prostih robovih konstrukcijskih zidov in na obeh straneh odprtín s

površino, večjo od $1,5\text{m}^2$. Vodoravne vezi izvedemo v ravnini zidu v višini vsakega stropa, v primeru velikih etažnih višin, pa razdalja med njimi ne sme biti večja od 4m. Ena izmed dimenzij prečnega prereza vezi je običajno enaka debelini zidu, vendar ne sme biti manjša od 150 mm. Vezi zalijemo z betonom kvalitete vsaj C15, kvaliteta uporabnega jekla armiranje pa mora biti $f_{yk} = 400\text{-}600\text{ MPa}$. Minimalna vzdolžna armatura, uporabljena v vezeh, je odvisna od števila nadstropij objekta ter projektnega pospeška tal [7].

Na podlagi podanih zahtev izberemo v navpičnih vezeh štiri armaturne palice premera 14 mm ($4\phi 14$ mm), medtem ko v vodoravnih vezeh uporabimo štiri armaturne palice premera 10 mm ($4\phi 10$ mm). Tako zagotovimo ustrezno potresno odpornost zidane konstrukcije.

4 ANALIZA RABE ENERGIJE ZA OBRATOVANJE STAVBE

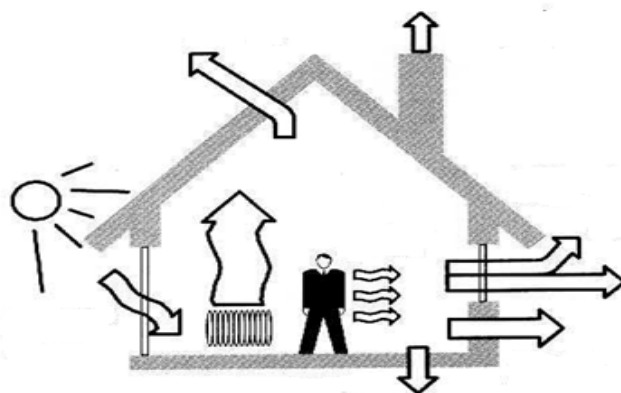
4.1 Zasnova naloge

V drugem delu naloge preverjamo, ali zasnova toplotnoizolacijskega ovoja obravnavanega objekta zadošča kriterijem PURES 2010 (Ur.l. RS, št. 52/2010). Poleg tega preverimo še, ali je stavba ustrezno osončena. Preverjanje energetske bilance objekta je zelo pomemben del projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, kajti, v primeru, da so izračunane vrednosti presežene, se nam praviloma zgodi, da nam projekt zavrnejo, saj ni v skladu z veljavno zakonodajo. Pri računu oziroma analizi energetske bilance uporabimo program TOST, ki so ga razvili na ljubljanski Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG) na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente (KSKE). Program je namenjen izračunu energetske bilance stavbe po PURES 2010, ki upošteva krovni standard SIST EN ISO 13790 ter tehnično smernico TSG 1-1-004:2010. V nadaljevanju naloge skušamo na podlagi izračunanih energetskih lastnosti stavbe optimizirati debelino toplotne izolacije stavbnega ovoja ter tako znižati potrebo po energiji za obratovanje stavbe.

4.2 Energetska bilanca na splošno

Pri izračunu energetske bilance po tehnični smernici TSG 1-1-004:2010 se potrebno energijo za ogrevanje oziroma hlajenje določi na osnovi toplotne bilance na nivoju posamezne ogrevalne cone. Z upoštevanjem le senzibilne toplote so v računu upoštevani [19]:

- transmisijski toplotni tokovi med cono in zunanjim okoljem stavbe,
- ventilacijski toplotni tokovi med cono in zunanjim zrakom,
- transmisijski in ventilacijski toplotni tokovi med posamznimi conami,
- notranji toplotni dobitki oziroma izgube,
- toplotni dobitki zaradi sončnega sevanja tako skozi zastekljene površine, kot tudi skozi ostale elemente gradbene konstrukcije,
- akumulacija toplote zaradi mase stavbe,
- potrebna energija za ogrevanje,
- potrebna energija za hlajenje.



Slika 48: Energetske izgube in dobitki [20]

Pri tem so glavni vhodni podatki za izračun energetske bilance stavbe:

- transmisijske in ventilacijske lastnosti,
- toplotni dobitki notranjih virov,
- meteorološki podatki,
- opis stavbe in sistemov (način uporabe),
- zahteva za toplotno ugodje (temperatura prostorov, izmenjava zraka),
- podatki o sistemih za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, pripravo tople vode ter razsvetljava,
- podatki o ogrevalnih conah,

Da bi lahko posamezne vrste stavb primerjali med seboj, je potrebno za določitev letne potrebe toplote za ogrevanje ter hlajenje upoštevati standardne pogoje rabe stavbe. Ti predpisujejo, da se skozi ogrevalno sezono upošteva konstantno projektno notranjo temperaturo 20°C, v primeru hlajenja pa 26°C ter minimalno urno izmenjavo zraka, ki znaša 0,5 h⁻¹. Iz vsakdanjih navad vemo, da so temperature v bivalnih oziroma delovnih prostorih lahko tudi drugačne, enako velja pri prezračevanju (večje potrebe po svežem zraku zaradi izvajanja določenih aktivnosti), vendar je treba biti pri upoštevanju standardnih pogojev rabe dosleden, saj le na tak način dosežemo rezultate, ki so uporabni v kasnejših primerjalnih analizah.

4.3 Sestava konstrukcijskih sklopov

Pri zasnovi konstrukcijskih sklopov smo izbirali oziroma si pomagali z že uveljavljenimi konstrukcijskimi rešitvami. Debeline posameznih slojev termoizolacije smo določili tako, da so izračunane vrednosti toplotne prehodnosti manjše od dovoljenih vrednosti iz TSG 1-1-004:2010. Vrednosti iz tehnične smernice, za konstrukcijske sklope, ki se nanašajo na naš objekt, so zbrane v preglednici 26.

Preglednica 26: Maksimalno dovoljeni faktorji toplotne prehodnosti za različne konstrukcijske sklope

Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore	U_{\max} (W/m ² K)
Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
Stene, ki mejijo na ogrevane sosednje stavbe	0,50
Tla na terenu pri talnem gretju	0,30
Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)	0,20

S pomočjo programa TEDI, ki je namenjen računu toplotne prehodnosti, analizi toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne konstrukcijske sklope najprej izračunamo toplotne prehodnosti (U faktorje) ter preverimo difuzijo vodne pare za posamezen konstrukcijski sklop. Stavbe morajo biti projektirane in zgrajene tako, da se pri namenski uporabi vodna para, ki zaradi difuzije prodira v gradbeno konstrukcijo, ne kondenzira. Če pride do kondenzacije vodne pare v konstrukciji se mora ta po koncu računskega obdobja difuzijskega navlaževanja in izsuševanja povsem izsušiti. Pri izračunu se upošteva notranja temperatura zraka 20°C in relativna vlažnost zraka 65 % [19].

V programu URSA Akustika 1.0.1., ki je namenjen izračunu zvočne izolacije gradbenih konstrukcij, nato preverimo še zvočno izolativnost konstrukcijskih sklopov tal na terenu, medetažne konstrukcije in stene, ki razmejuje bivalne enote.

4.3.1 Streha

Hidroizolacijo strehe predstavljajo istrski korci podjetja Goriške opekarne, ki so položeni na leseno podkonstrukcijo (vzdolžne letve 4/4 cm ter prečne letve 4/4 cm). Med prečne letve je položena mineralna volna v debelini 4 cm proizvajalca URSA tipa SF 32 in v celoti prekrita z vodonepropustno/paropropustno folijo Tyvek Solid. Pod armiranobetonsko strešno ploščo je še dodatnih 16 cm mineralne volne URSA SF 32 pod katero je položena parna zapora EKO NATUR. Na to je izveden spušččen strop iz aluminjastih profilov in mavčnokartonskih plošč debeline 12,5 mm (KNAUFF). V preglednici 27 so zbrane debeline posameznih slojev ter vrednost toplotne prehodnosti strehe.

Preglednica 27: Sestava strehe

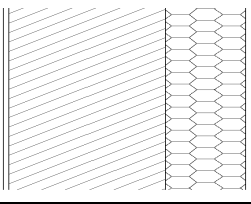
Slika KS	Sestava KS		
	št. plasti	material	d (cm)
	1	istrski korec	1,10
	2	lesena podk.	4,0 + 4,0
	3	Tyvek folija	0,02
	4	min. volna	4,00
	5	AB plošča	12,00
	6	povprečna debelina zračne plasti	68,00
	7	min. volna	12,00
	8	parna ovira EKO NATUR	0,02
	9	mavčno kartonska plošča	1,25
Toplotna prehodnost U (W/m^2K) $U_{izr} = 0,200 \leq U_{max} = 0,200$			

Do kondenza prihaja v spodnjem sloju mineralne volne, kakor smo tudi pričakovali. Čas, ki je potreben za izsušitev konstrukcijskega sklopa je 21 dni in je manjši od dovoljenega, ki znaša 60 dni.

4.3.2 Zunanja stena

Fasadni sistem je tipa DEMIT ORIGINAL (Zaključni omet – armirana mrežica – DEMIT omet – fasadne EPS plošče (15 cm) lepljene in sidrane). Nosilno konstrukcijo sestavljajo opečni modularni bloki 29-19 cm podjetja Goriške opekarne. Z notranje strani je zid ometan z 1cm debelim slojem ometa. V preglednici 28 so zbrane debeline posameznih slojev ter vrednost toplotne prehodnosti zunanje stene.

Preglednica 28: Sestava zunanje stene

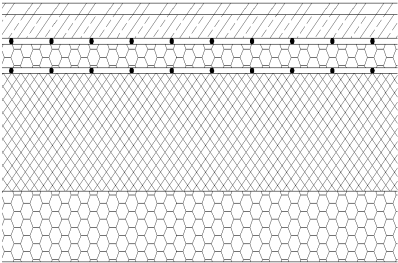
Slika KS	Sestava KS		
	št. plasti	material	d (cm)
	1	zunanji omet	2,0
	2	fasadni EPS	15,0
	3	Opečni votlak	29,0
	4	notranji omet	1,0
Toplotna prehodnost U (W/m^2K) $U_{izr} = 0,227 < U_{max} = 0,280$			

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v konstrukcijskem sklopu ne pride do pojava kondenza.

4.3.3 Tla na terenu

Kamnita obloga debeline 2 cm je lepljena na podlago iz cementnega estriha v debelini 4 cm, pod katerim je položena polietilenska folija, ki služi kot ločilni sloj. Za zvočno izolacijo so nameščene plošče STIROTAL SILENT podjetja Novolit (2+2 cm), v katere so položene cevi za talno ogrevanje. Hidroizolacija bo izvedena z bitumenskim trakom varjenim na površino predhodno premazano s hladnim bitumenskim premazom. Pod temeljno ploščo je na uvaljanem tamponu položena toplotna izolacija FRAGMAT XPS 50SF debeline 12,0 cm. V preglednici 29 so zbrane debeline posameznih slojev ter vrednost toplotne prehodnosti tal na terenu.

Preglednica 29: Sestava tal na terenu

Slika KS	Sestava KS		
	št. plasti	Material	d (cm)
	1	kamnita obloga	2,00
	2	cem. Estrih	4,00
	3	PE folija	0,02
	4	elastif. Polistiren	4,00
	5	bitumenski trak	0,05
	6	bitumenski premaz	0,00
	7	AB plošča	25,00
	8	XPS	12,00
Toplotna prehodnost U (W/m^2K) $U_{izr} = 0,216 < U_{max} = 0,300$			

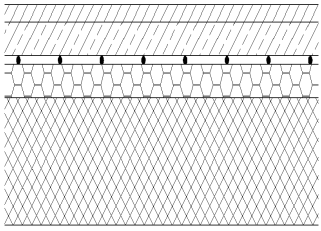
Do kondenza prihaja v sloju elastificiranega polistirena. Čas, ki je potreben za izsušitev konstrukcijskega sklopa je 8 dni in je manjši od dovoljenega, ki znaša 60 dni. Udarni zvok v tem primeru ne predstavlja problema. $L_{w,izr} = 54dB \leq L_{w,potr} = 63dB$.

4.3.4 Medetažna konstrukcija

Kamnita obloga debeline 2 cm je lepljena na podlago iz cementnega estriha v debelini 4 cm pod katerim je položena polietilenska folija ki služi kot ločilni sloj. Zvočno izolacijo predstavljajo plošče

STIROTAL SILENT podjetja Novolit (2+2 cm), v katere so položene cevi za talno ogrevanje. Nosilna konstrukcija je armiranobetonska plošča debeline 15 cm. Na spodnji strani plošče je izveden omet. Ker medetažna konstrukcija razmejuje prostore, ki se ogrevajo na enak temperaturni režim, maksimalni U faktor ni predpisan. Izračunana vrednost za zvok, ki se širi po zraku, je $R_{w,izr} = 57\text{dB} \geq R_{w,potr} = 52\text{dB}$. Konstrukcijski sklop tako dobro izolira zvok, ki se širi po zraku. Udarni zvok v tem primeru tudi ne predstavlja problema. $L_{w,izr} = 42\text{dB} \leq L_{w,potr} = 63\text{dB}$. V preglednici 30 so zbrane debeline posameznih slojev ter vrednost toplotne prehodnosti tal na terenu.

Preglednica 30: Sestava medetažne konstrukcije

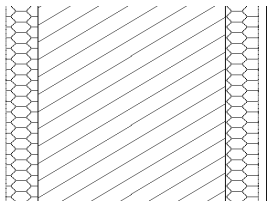
Slika KS	Sestava KS		
	št. plasti	material	d (cm)
	1	kamnita obloga	2,00
	2	cem. estrih	4,00
	3	PE folija	0,02
	4	elastif. polistiren	4,00
	5	AB plošča	15,00
	6	notranji omet	1,00

Račun difuzije vodne pare ni potreben, ker v konstrukcijskem sklopu ne pride do pojava kondenza.

4.3.5 Stena med bivalnima enotama

Stena med bivalnima enotama je opečnata (dvojni modularni opečni votlak 29-19 cm Goriške opekarne) in debeline 39 cm. Na obeh straneh je obdana s 5 cm mineralne volne in z mavčno kartonskimi ploščami debeline 1,25 cm. Za stene med stanovanji v vrstnih hišah je potrebna zvočna izolativnost za zvok, ki se širi po zraku vsaj $R_{w,potr} = 55\text{dB}$. V našem primeru $R_{w,izr} = 56\text{dB} \geq R_{w,potr} = 55\text{dB}$. V preglednici 31 so zbrane debeline posameznih slojev ter vrednost toplotne prehodnosti tal na terenu.

Preglednica 31: Sestava stene med bivalnima enotama

Slika KS	Sestava KS		
	št. plasti	Material	d (cm)
	1	mavčno kartonske plošče	1,25
	2	mineralna volna	5,00
	3	opečni votlak	39,00
	4	mineralna volna	5,00
	5	mavčno kartonske plošče	1,25
Toplotna prehodnost U ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) $U_{izr} = 0,310 < U_{max} = 0,500$			

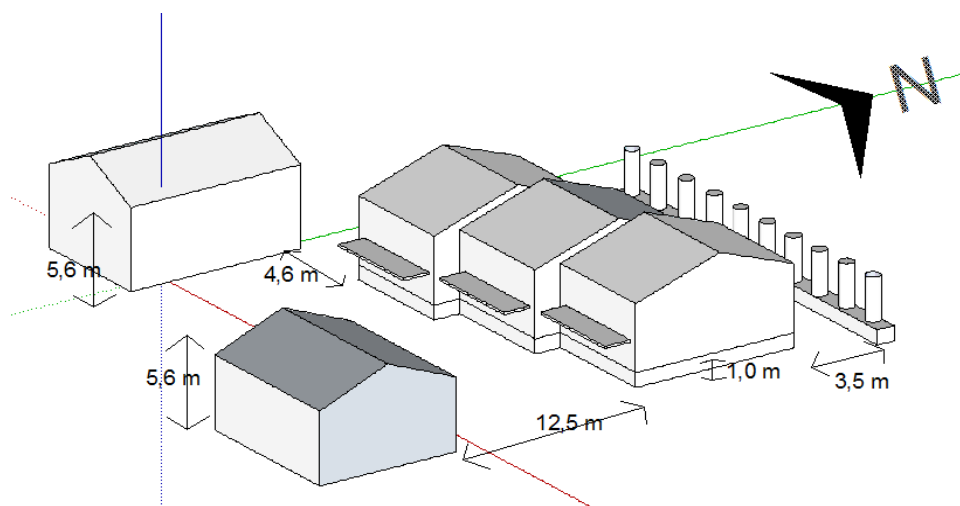
Ker gre za steno, ki meji na sosednjo stanovanjsko stavbo, račun difuzije vodne pare ni potreben.

4.4 Osončenost objekta

V tehnični smernici za graditev [19] so v poglavju Arhitekturna zasnova navedene tudi minimalne zahteve za osončenost objektov. Sončnemu sevanju izpostavljena površina zunanje ovojnice stavbe (zbiralna površina) mora biti osončena od povprečne višine 1 m nad terenom navzgor in sicer:

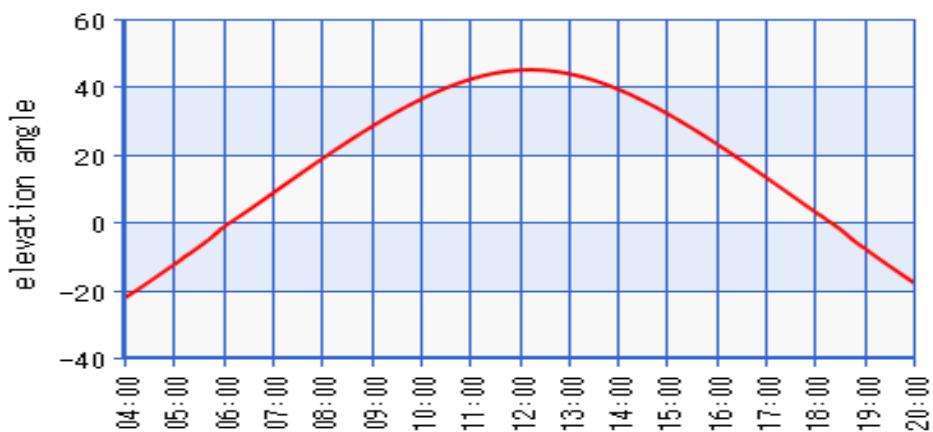
- v času zimskega solsticija (21.12.) najmanj 2 uri (upoštevajo se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju +/- 30° od smeri juga),
- v času ekvinokcija (21.3 in 23.9) najmanj 4 ure (upoštevajo se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju +/- 60° od smeri juga),
- v času poletnega solsticija (21.6) najmanj 6 ur (upoštevajo se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju +/- 110°)

Zgoraj navedena minimalna trajanja osončenosti veljajo za 100 % osončen del objekta. Če je na primer 21.12. potrebna minimalna 100 % osončenost dve uri, je ekvivalentno štiri urni 50 % osončenosti. Ker so hiše orientirane v smeri sever – jug smo upoštevali kot zbiralne površine južno, vzhodno in zahodno fasado ter streho. V tehnični smernici je tako definirano, katere azimute še lahko upoštevamo za izračun osončenosti. Ker poznamo azimut za izbrano geografsko lego ter lokacijo objekta (13,58146°E ; 45,51969°N), lahko na podlagi teh podatkov izračunamo elevacijo sonca ter uro. Pri izračunu smo si pomagali z enim od mnogih programov, ki jih najdemo na spletu [16], kateri nam grafično in tabelarično prikaže želene rezultate. Model na sliki 49 je zasnovan v programu Google SketchUp (dodatek SHADING tools plugin 1.0), ki omogoča izračun deleža osončenosti posameznih izbranih površin v določenem mesecu v letu.



Slika 49: Model objekta v Google SketchUp

Na spodnji sliki in preglednici prikazujemo spreminjanje azimuta v odvisnosti dvižnega kota na dan 21.3. za kraj Portorož. V preglednici 32 so izpisani samo azimuti, ki jih za ta čas lahko upoštevamo po tehnični smernici [19].



Slika 50: Dvižni kot sonca na dan 21.3. v odvisnosti od ure

Preglednica 32: Izračun osončenosti južne fasade na dan 21.3. (levo) ter trajanje osončenosti določene fasade za 4 referenčne datume (desno)

ura (h)	dvižni kot (°)	azimut (°)	osončenost (%)
9:00	28,23	122,25	76,6
10:00	36,32	137,22	73,9
11:00	42,2	155,09	72,3
12:00	44,9	175,5	72,3
13:00	43,81	196,48	66,3
14:00	39,2	215,6	60,9
15:00	31,95	231,78	52,7
16:00	25,36	238,86	39,7
Skupaj dnevna osončenost (h)			5,1

del\datum	21.12.	21.3./23.9.	21.6.
JUG (h)	4,1	5,1	6,1
VZHOD (h)	2,9	4,2	7,0
ZAHOD (h)	2,1	4,0	6,0
STREHA (h)	4,7	6,7	10,9
MINIMALNO (h)	2,0	4,0	6,0

Iz zgornjih rezultatov vidimo, da je stavba v 4 referenčnih, vsaj minimalno osončena. Da bi bili izračuni energetske bilance čim bolj pravilni, vplive osončenosti objekta za vsak mesec posebej določimo na enak način, kot v zgornjih preglednicah.

Preglednica 33: Osončenost posameznih delov fasade, izražena v deležih (%), po mesecih

fasada\mesec	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAJ	JUN.	JUL.	AVG.	SEP.	OKT.	NOV.	DEC.
JUG (%)	70	74	62	66	53	45	53	66	62	74	70	68
SEVER (%)	0	0	0	0	30	33	30	0	0	0	0	0
VZHOD (%)	60	66	57	62	60	53	60	62	57	66	60	60
ZAHOD (%)	35	46	53	50	50	50	35	46	53	46	35	29

Števila v zgornji tabeli predstavljajo razmerje med osončeno površino in celotno površino izbranega dela fasade, izraženo v %. Vrednost 0% v tabeli konkretno pomeni, da je v tem mesecu obravnavana fasada popolnoma zasenčena. Na podlagi teh podatkov o osončenosti lahko program TOST poračuna solarne dobitke transparentnih delov ovoja.

4.5 Podatki za izračun energetskih karakteristik stavbe

Pri preverjanju toplotne bilance objekta upoštevamo mejne vrednosti iz pravilnika [13], ki se nanašajo na prehodno obdobje (do 31. decembra 2014), za kasnejše obdobje bodo veljala strožja pravila. V izračunih upoštevamo, da izdelujemo tehnično dokumentacijo za projekt, za pridobitev gradbenega dovoljenja. Križanja posameznih konstrukcijskih sklopov so projektirana brez toplotnih mostov, zato jih v računu ne bomo upoštevali. Za toplotno prevodnost zemljine privzamemo vrednost $\lambda_g = 2,0$ W/mK.

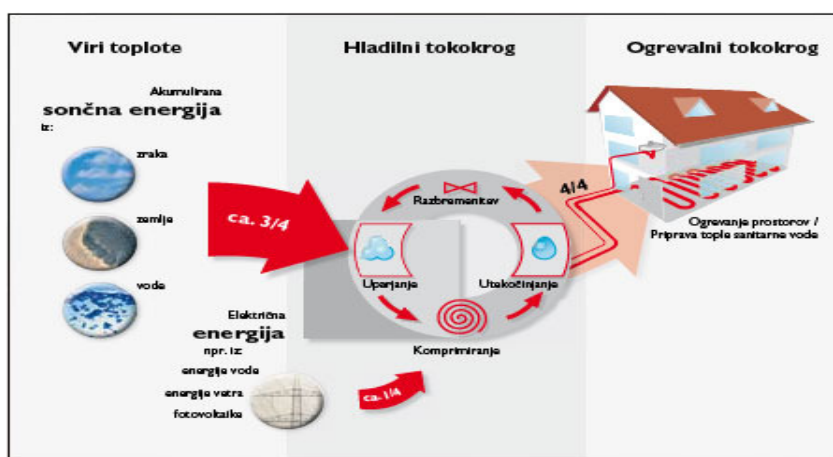
4.5.1 Ogrevanje, hlajenje ter priprava sanitarne vode

Za vsako izmed vrstnih hiš predvidimo toplotno črpalko tipa zrak/voda grelne moči 8 kW znamke GORENJE AEROGOR HP AW9, katera skrbi za ogrevanje (hlajenje) prostorov ter pripravo sanitarne vode. V vsaki enoti sta instalirana tudi zalogovnik ogrevalne vode (200 l) in hranilnik sanitarne vode (300 l). Ogrevalna telesa predstavljajo cevi za talno ogrevanje skozi katere kroži topla voda. Poleti pa lahko cevi služijo tudi kot hladilni medij (»mirno« hlajenje) skozi katere pošiljamo ohlajeno vodo. Učinkovitost ogrevalnega/hladilnega oziroma sistema za pripravo tople vode je predstavljena v preglednici 34. Pri generaciji energije (ogrevanje in priprava tople vode) je že upoštevan padec moči generiranja energije zaradi morebitne nižje zunanje temperature.

Preglednica 34: Učinkovitost sistemov

naprava	energent	učinkovitost sistema (-)		
		generacija	distribucija	Emisija
ogrevanje	električna energija	3	0,95	0,96
hlajenje	električna energija	4	0,95	0,92
priprava tople vode	električna energija	3	0,95	0,96

Pri pojmu generacija mislimo predvsem na razmerje med vloženo energijo (elektriko) in energijo pridobljeno iz okolice, v našem primeru je to zunanji zrak (glej sliko 51). Na primeru hlajenja to pomeni, da sistem za generacijo 4 kWh hladu porabi 1 kWh električne energije. Za lažje predstavo delovanja toplotne črpalke, jo lahko primerjamo z delovanjem hladilnika. Veliko količino toplote okolice (v našem primeru je to toplota zraka), z nizko temperaturo, toplotna črpalka (kompresor) stisne, v manjšo količino toplote z višjo temperaturo. Oziroma toplotna črpalka deluje z enako tehniko kakor hladilnik vendar z obrnjenim procesom. Iz zunanjega zraka pridobljena toplota se nato shrani v obliki tople vode v zalogovnikih (sanitarna oziroma ogrevalna voda).



Slika 51: Delovanje toplotne črpalke [8]

Pri distribuciji in emisiji pa gre za količino energije, ki se »prenese« iz ogrevalnega sistema v ogrevan prostor. Parametri so odvisni od kvalitete izvedbe instalacij (dolžine razvodov, izoliranost cevi) in ogrevalnega medija (v našem primeru je to talno ogrevanje). Vrednosti za distribucijo in emisijo ogrevalnih naprav ne poznamo, zato zgoraj omenjene vrednosti prevzamemo iz priporočenih vrednosti, ki so podane v uporabniškem priročniku programa TOST (izolirane cevi znotraj ogrevanega prostora ter ploskovno ogrevanje razred A).

4.5.2 Klimatski podatki in prezračevanje

Kakor smo že omenili, se naš objekt nahaja na slovenski obali, v Portorožu (koordinate : X = 42650, Y = 389500). V preglednici 35 prikazujemo klimatske podatke za našo lokacijo, na podlagi katerih računalniški program TOST izračuna transmisijske izgube.

Preglednica 35: Klimatski podatki

temperturni primankljaj DD (dan K)	2100
projektna temperatura (°C)	-4
povprečna letna temperatura (°C)	13,4
letna sončna energija (kWh/m ²)	1283
trajanje ogrevalne sezone (dnevi)	200
začetek ogrevalne sezone (dan)	290
konec ogrevalne sezone (dan)	125

V našem primeru gre za stanovanjsko stavbo, ki se pri namenski uporabi ogreva na najmanj 18 °C. Pri izračunih upoštevamo standardne podatke, ki zahtevajo, da v ogrevalnem obdobju v stanovanju vzdržujemo konstantno temperaturo 20°C, kadar stavbo hladimo, pa naj se temperatura ne bi dvignila nad 26 °C. Stanovanja se bodo prezračevala na naraven način. Upoštevamo minimalno urno izmenjavo zraka 0,5 h⁻¹, ki izhaja iz standardnih pogojev uporabe.

4.5.3 Okna

Pri izbiri oken izhajamo iz minimalnih zahtev za potrebni U_w faktor, ki jih določa PURES 2010 [9]. Maksimalni dovoljeni faktor toplotne prehodnosti oken tako znaša $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. V preglednici 36 so zbrane posamezne karakteristike vgrajenega stavbnega pohišstva. Faktor okvirja predstavlja razmerje med površino zasteklitve in celotno površino okna, koeficient g predstavlja skupni prehod sončne energije skozi zastekljeno površino, koeficient U_g pa označuje koeficient toplotne prehodnosti zasteklitve.

Preglednica 36: Karakteristike oken

dimenzija okna (v/š)	Faktor okvirja (l)	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)	Vrsta distančnika	Zasteklitev (mm)	g vrednost (l)
250 / 235	0,75	1,10	1,28	ALU	4-16-4	0,62
140 / 210	0,75	1,10	1,28	ALU	4-16-4	0,62
140 / 120	0,65	1,10	1,28	ALU	4-16-4	0,62
80 / 80	0,65	1,10	1,28	ALU	4-16-4	0,62
250 / 80	0,75	1,10	1,28	ALU	4-16-4	0,62

Vsa izbrana okna in balkonska vrata so izdelana iz PVC umetne mase sistema aluplast ter izbranega proizvajalca AJM. Izbrana okna profila AJM5000 so izdelana iz votlih 5 komornih profilov ter so opremljena s tremi tesnili v pripiri. V računih upoštevamo, da v poletnih mesecih čez dan stavbo varujemo pred pregrevanjem z ustreznimi senčili. Na severni, vzhodni in zahodni strani so to polkna, na južni pa zunanje rolete.

4.5.3 Ogrevalne cone

Celoten objekt razdelimo na tri ogrevalne cone tako, da vsaka cona predstavlja eno bivalno enoto (eno vrstno hišo). Cone so si med seboj zelo podobne, razlikujejo se le po površini zunanjega ovoja in količini/velikosti zastekljenih površin. Dobitke notranjih virov (toplota, ki jo oddajajo ljudje v stanovanju, svetilke, električne naprave...) določimo na podlagi poenostavljene vrednosti, ki znaša $4 \times A_u$ (W), kjer A_u pomeni neto uporabna površina stanovanja. Ker je stavba grajena iz opeke, jo je smiselno uvrstiti med srednje težke konstrukcije, od te razvrstitve je odvisno kakšna je toplotna kapaciteta posamezne ogrevalne cone. Večja kot je toplotna kapaciteta, tem več toplote se lahko akumulira v konstrukcijskih sklopih, kar pripomore k boljši energetski bilanci stavbe. V nadaljevanju so podatki o ogrevalnih conah zbrani v preglednicah 37 in 38.

Preglednica 37: Podatki, ki so skupni za vse tri ogrevalne cone

PODATKI O OGREVALNI CONI	POSAMEZNA CONA	SKUPAJ OBJEKT
Kondicionirana prostornina cone V_e (m ³)	300	900
Neto uporabna površina cone A_u (m ²)	110	330
Vrsta konstrukcije glede na toplotno kapaciteto	Srednja	
Izračunana efektivna toplotna kapaciteta cone C (MJ/K)	18,15	
Notranji viri $4 \times A_u$ (W)	440	1320

Preglednica 38: Zunanje površine in zasteklitve po posameznih conah

ELEMENTI OVOJA	Zunanja stena	Streha	Tla	Transparentni deli			
				Sever	Jug	Vzhod	Zahod
Površina ovoja (m ²) HIŠA 1	124,0	71,0	55,0	6,2	17,6	0,0	2,6
Površina ovoja (m ²) HIŠA 2	80,6	71,0	55,0	6,2	17,6	0,0	0,0
Površina ovoja (m ²) HIŠA 3	124,0	71,0	55,0	6,2	17,6	2,6	0,0
Površina ovoja (m ²) SKUPAJ	328,6	213,0	165,0	18,6	52,9	2,6	2,6

4.5.4 Razsvetljava bivalnih prostorov ter potreba po sanitarni vodi

Da bi lahko čimbolj korektno določili energijo, ki jo porabimo pri razsvetljavi prostorov, moramo določiti moč potrebnih svetil. Najprej nas zanima, kakšen svetlobni tok Φ potrebujemo v posameznem prostoru (izraženo v lm). Določimo ga po spodnjem izrazu:

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{\eta}, \quad (4.1)$$

kjer E predstavlja povprečno osvetljenost (lx), S je površina prostora (m²), η pa označujemo povprečno odsevnost površin. Za razsvetljavo uporabimo varčne sijalke za katere je značilno, da se 25% porabljene energije »pretvori« v svetlobo, ostalih 75% pa svetilka porabi s segrevanjem [25]. Moč potrebne sijalke P (W) nato izračunamo po naslednji formuli:

$$P = \frac{\Phi}{\gamma}, \quad (4.2)$$

kjer γ (-) predstavlja svetlobni izkoristek. Pri starejših žarnicah na žarilno nitko je ta izkoristek veliko slabši, saj oddajo le 3-5% energije kot svetlobo in ostalih 95-97% kot toplotno energijo. Pri izračunu letne porabe energije upoštevamo, da luči delujejo v povprečju 1500 ur v letu [19].

Preglednica 39: Izračun potrebnih svetilk in porabljene energije za eno bivalno enoto

PROSTOR	S (m ²)	E (lx)	η (/)	ϕ (lm)	$P_{\text{varčna}}$ (W)	$P_{\text{žarilna}}$ (W)	$E_{\text{letno varčna}}$ (kWh/a)	$E_{\text{letno žarilna}}$ (kWh/a)
Kuhinja	10,14	200	0,5	4056	54	270	81	405
dnevna soba	25,52	150	0,5	7656	102	510	153	765
Utiliti	3,08	90	0,5	554	7	37	10,5	55,5
Wc	1,98	90	0,5	356	5	24	7,5	36
hodnik1	4,68	90	0,5	842	11	56	16,5	84
Kurilnica	2,46	90	0,5	443	6	30	9	45
otročka spalnica 1	8,94	90	0,5	1609	21	107	31,5	160,5
otročka spalnica 2	8,94	90	0,5	1609	21	107	31,5	160,5
Spalnica	13,78	90	0,5	2480	33	165	49,5	247,5
hodnik 2	12,1	90	0,5	2178	29	145	43,5	217,5
kopalnica 1	4,52	90	0,5	814	11	54	16,5	81
kopalnica 2	4,95	90	0,5	891	12	59	18	88,5
						Σ	468	2346

V preglednici 39 prikazujemo razliko v porabi električne energije med klasičnimi žarnicami na žarilno nitko ter sodobnimi varčnimi sijalkami. Pri enaki svetilnosti tako dosežemo kar 80% prihranek električne energije, kar je seveda zelo veliko. Če zgoraj dobljene vrednosti primerjamo s priporočeno vrednostjo gostote moči svetil [19], ki za eno in več stanovanjske stavbe znaša 8 W/m², vidimo, da vrednost iz tehnične smernice predstavlja nekako povprečje zgoraj izračunanih vrednosti.

Letno porabo tople sanitarne vode in potrebno energijo za pripravo vode za eno bivalno enoto lahko ocenimo oziroma izračunamo na osnovi smernice VDI 2067 [21], točen izračun podaja TSG 1-1-004:2010. Da bi upoštevali točen izračun, pa nimamo dovolj podatkov o sami izvedbi instalacij in ogrevalnega sistema.

$$V_{PTVlet} = \Sigma n \cdot p \cdot V_{PTVd} \cdot d = 1 \cdot 4 \cdot 38 \cdot 365 = 55.480 \text{ l/a}, \quad (4.3a)$$

kjer V_{PTVd} predstavlja skupno letno porabo tople vode (l/a), n je število stanovanj v stavbi (eno stanovanje), p je število stanovalcev v stanovanju (4 stanovalci), V_{PTVd} je povprečna dnevna poraba tople vode na osebo (l/dan), ki za sistem z običajno kadjo in tušem znaša 38 l/dan ter d označuje število dni v letu v katerih pripravljamo toplo vodo.

Teoretična potrebna letna energija za ogrevanje vode tako znaša :

$$E_{teo} = V_{PTVlet} \cdot \Delta t \cdot c_w = 55.480 \cdot 35 \cdot 0,00116 = 2252,5 \text{ kWh/a}, \quad (4.3b)$$

kjer Δt predstavlja temperaturno razliko tople in hladne vode (K). V primeru uporabe tople vode pri 45°C ter ob predpostavki, da je povprečna letna temperatura vode, ki vstopi v ogrevalni sistem 10 °C znaša $\Delta t = 35$ K. Konstanta c_w pa označuje specifično toploto vode ($c_w = 0,00116$ kWh/kgK).

Ob upoštevanju zgornjih enačb, dejanska letna poraba energije v kWh/a za pripravo tople sanitarne vode tako znaša:

$$E_{stv} = E_{teo} \cdot A = 2252,5 \cdot 1,12 = 2522,8 \text{ kWh/a}. \quad (4.3c)$$

A izraža faktor porabe (stopnja delovanja sistema) in v primeru uporabe centralnega sistema in nizkotemperaturnega kotla znaša od 1,12 do 1,50 (privzamemo 1,12).

4.6 Rezultati toplotne bilance

V nadaljevanju (preglednici 37 in 38) so zbrani rezultati, ki jih dobimo v programu TOST. Iz njih razberemo, da nobena izračunana vrednost ni višja od predpisane, torej je naša stavba korektno zasnovana in bi tako ugodili pravilniku PURES 2010. Potrebno je še povedati, da letna dovedena energija za delovanje stavbe (Q_p) predstavlja celotno končno energijo, ki jo stavba potrebuje za pokrivanje potreb za ogrevanje, hlajenje, razsvetljavo in pripravo tople vode. Energijska učinkovitost stavbe je dosežena, če sta izpolnjena pogoja (4.4a) in (4.4b) iz SIST EN ISO 13790 (21.člen), ki določata maksimalno letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe, izraženo na enoto kondicionirane površine (Q_{NH}/A_u) in maksimalni koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe (H_t).

$$Q_{NH}/A_u \leq 56 + 60f_0 - 4,5 T_L. \quad (4.4a)$$

$$H_t \leq 0,28 + \frac{T_L}{300} + \frac{0,04}{f_0} + \frac{z}{4}. \quad (4.4b)$$

Pri tem je f_0 oblikovni faktor, ki izraža razmerje med površino celotnega zunanega ovoja in kondicionirano prostornino stavbe (v našem primeru 0,87), T_L je povprečna letna zunanja temperatura, faktor z pa izraža brezdimenzijsko razmerje med površino oken (gradbena odprtina) in površino ovoja stavbe.

Preglednica 40: Rezultati 1

		Izračunano	Največje dovoljeno
Koefficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_t (W/m^2K)		0,39	0,39
Letna raba primarne energije Q_p (kWh/a)		24.315	89.494
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} (kWh/a)		14.774	15.884
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC} (kWh/a)		738	23.100
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine	Q_{NH} / A_u (kWh/m ² a)	44,68	48,13
	Q_{NH} / V_e (kWh/m ³)	16,38	-

Preglednica 41: Rezultati 2

Kazalniki letne rabe primarne energije in letnih izpustov CO ₂ za delovanje sistemov stavbe	
Letna raba primarne energije na enoto kondicionirane prostornine Q_{CP}/A_u (kWh/m ² a)	73,68
Letni izpust CO ₂ (kg)	12.887
Letni izpust CO ₂ na enoto kondicionirane površine (kg/m ² a)	39,05

Letno rabo primarne energije program določi tako, da letno dovedeno energijo za delovanje sistemov v stavbi (ogrevanje, hlajenje, razsvetljava, topla voda) pomnoži s faktorjem pretvorbe, ki v primeru uporabe električne energije znaša 2,5. Letni izpust CO₂ pa TOST določi tako, da letno rabo primarne energije pomnoži s faktorjem specifične emisije CO₂, ki za električno energijo znaša 0,53 kg/kWh. Zanimivo je, da PURES ne predpisuje maksimalne dovoljene vrednosti letnih izpustov CO₂, od nas zahteva le, da izračunane vrednosti samo navedemo. Seveda nam rezultati sami posebej povedo zelo malo, če jih nimamo s čim primerjati. Za boljšo primerjavo rezultatov pravilnik, o metodologiji izdelave in izdaji energetskega izkaznika stavb, nalaga, da za vsako stavbo, ki jo analiziramo, primerjamo z enakim izračunom za referenčno klimo na lokaciji s koordinatama X=462650 in Y=102480 (Ljubljana).

Preglednica 42: Primerjalni rezultati 1

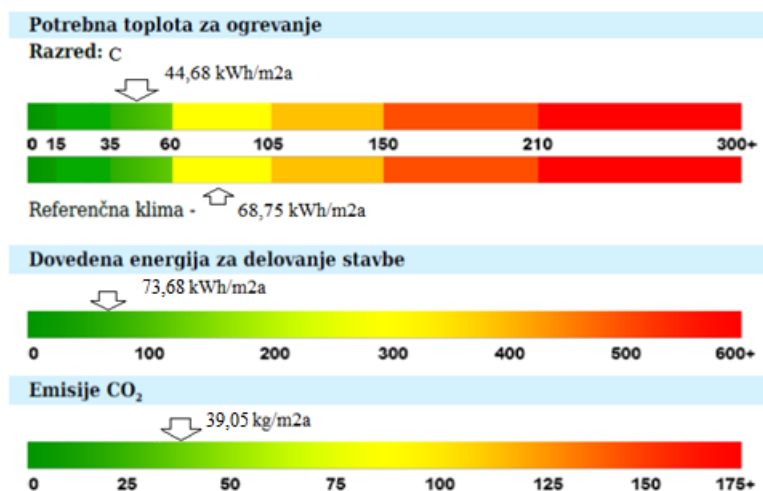
		Izračunano	Največje dovoljeno
Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub stavbe H_t (W/m^2K)		0,38	0,38
Letna raba primarne energije Q_p (kWh/a)		32.159	95.084
Letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} (kWh/a)		22.688	21.081
Letni potrebni hlad za hlajenje Q_{NC} (kWh/a)		183	23.100
Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine in kondicionirane prostornine	Q_{NH} / A_u (kWh/m ² a)	68,75	63,88
	Q_{NH} / V_e (kWh/m ³)	25,21	-

Preglednica 43: Primerjalni rezultati 2

Kazalniki letne rabe primarne energije in letnih izpustov CO ₂ za delovanje sistemov stavbe	
Letna raba primarne energije na enoto kondicionirane prostornine Q_{CP} / A_u (kWh/m ² a)	97,45
Letni izpust CO ₂ (kg)	17.044
Letni izpust CO ₂ na enoto kondicionirane površine (kg/m ² a)	51,64

Iz preglednic 40 in 41 vidimo, da so se vrednosti, ki določajo porabo energije močno spremenile. To je bilo pričakovano, saj je letni temperaturni primankljaj v območju Ljubljane večji kakor v Portorožu. Za primerjavo, projektna zunanja temperatura v Ljubljani znaša -13 °C, v Portorožu pa le -4 °C. Letna potrebna toplota za ogrevanje se je povečala za kar 54%. S takšno konfiguracijo toplotnoizolacijskega ovoja v primerjalnem izračunu (Ljubljana) ne izpolnjujemo zahtev iz Pravilnika. Porabi energije za pripravo sanitarne tople vode ter razsvetljave prostorov ostajata enaki, saj sta neodvisni od energijske učinkovitosti hiše.

Našo stavbo vrednotimo na podlagi računske energetske izkaznice, ki se določi na podlagi izračunanih energijskih kazalnikov rabe energije [14]. Za nove stavbe je pridobitev energetske izkaznice obvezna od 1. januarja 2008. Investitor novozgrajenega objekta mora energetsko izkaznico pridobiti preden vloži zahtevo za izdajo uporabnega dovoljenja, saj energetska izkaznica stavbe predstavlja del projekta izvedenih del (PID). V rabi sta dva tipa energetskih izkaznic, računski ter merjeni. Računski se določi na podlagi izračunanih energijskih kazalnikov rabe energije stavbe, medtem ko se merjena energetska izkaznica določi na podlagi meritev rabe energije. V računski energetska izkaznici se stavbo uvrsti v razred energetske učinkovitosti glede na letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe na enoto uporabne površine stavbe – Q_{NH}/A_u (kWh/m²a), pri merjeni energetska izkaznici se na barvnem poltraku le nakaže količino dovedene energije, namenjeno pretvorbi v toploto (kWh/m²a). Po količini izpustov CO₂ oziroma po potrebni dovedeni energiji za delovanje stavbe, se objektov ne razvršča v razrede, temveč je treba omenjene količine le prikazati na barvnem poltraku za porabo energije oziroma emisij CO₂. Na sliki 51 prikazujemo primer izpisa energetske izkaznice našega objekta.



Slika 52: Energetska izkaznica

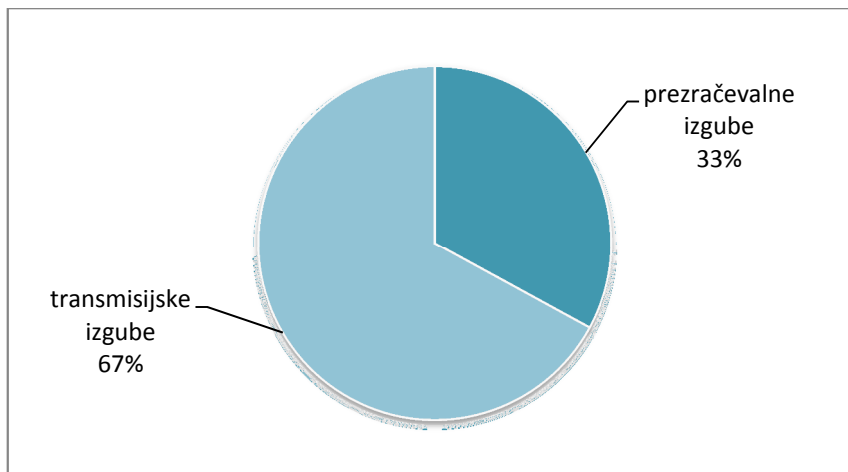
Po izračunanih vrednosti potrebne toplote za ogrevanje lahko uvrstimo naš objekt v energijski razred C (35 - 60 kWh/m²a). Sedaj nas zanima, kako učinkoviti smo lahko pri znižanju potrebne toplote za ogrevanje na račun dodajanja toplotne izolacije. Pred izvedbo ukrepov je potrebno analizirati rezultate (kje je največja poraba energije). Če bi imeli na primer zelo majhne transmisijske izgube, dodajanje toplotne izolacije ne bi bilo smiselno. Na sliki 53 prikazujemo porabo energije po posameznih porabnikih. Porabo energije za hlajenje zanemarimo, saj jo lahko nadomestimo s pravilnim zračenjem prostorov in uporabo senčil v poletnem času.



Slika 53: Dovedena energija za delovanje stavbe po deležih (leva slika prikazuje izhodiščno varianto, desna pa izračun za referenčno klimo – Ljubljana)

Kakor smo pričakovali, največ energije potrebujemo za ogrevanje. Logično gledano, so tekom zime največje temperaturne razlike in tudi najdlje trajajo. Zanimivo je tudi, da ima sistem za pripravo tople sanitarne vode kar velik delež v skupni rabi energije, kar velja predvsem za novejšje (nizkoenergijske zgradbe), v starejših, slabše izoliranih zgradbah znaša ta delež okrog 10 % [21]. Torej se upravičeno koncentriramo na učinkovitost ogrevanja (toplotna izolacija in ogrevalni sistem). Nato nas zanima, kje so največje izgube toplote. Kakor je razvidno na sliki 54, se največ toplote izgubi na račun transmisijskih izgub, kar tretjino toplote pa izgubimo zaradi prezračevanja. Kadar imamo opravka z naravnim prezračevanjem, situacije ne moremo veliko izboljšati, ne da bi poslabšali bivalne razmere.

Ventilacijske izgube pri naravnem načinu prezračevanje so v veliki meri odvisne od prezračevalnih navad uporabnikov stanovanja.



Slika 54: Toplotne izgube

V nadaljevanju poskusimo na račun dodajanja toplotne izolacije in kvalitetnejšega stavbnega pohištva doseči boljšo razvrstitev na energetske lestvici (nižji energetski razred). Ker ne vemo kako bomo učinkoviti pri dodajanju toplotne izolacije pri posameznemu konstrukcijskemu sklopu, se izbire debeline le-te lotimo na podlagi cenitev stroškov v celotnem življenjskem ciklusu posameznega konstrukcijskega sklopa. Na podoben način izberemo tudi ustrezen tip oken.

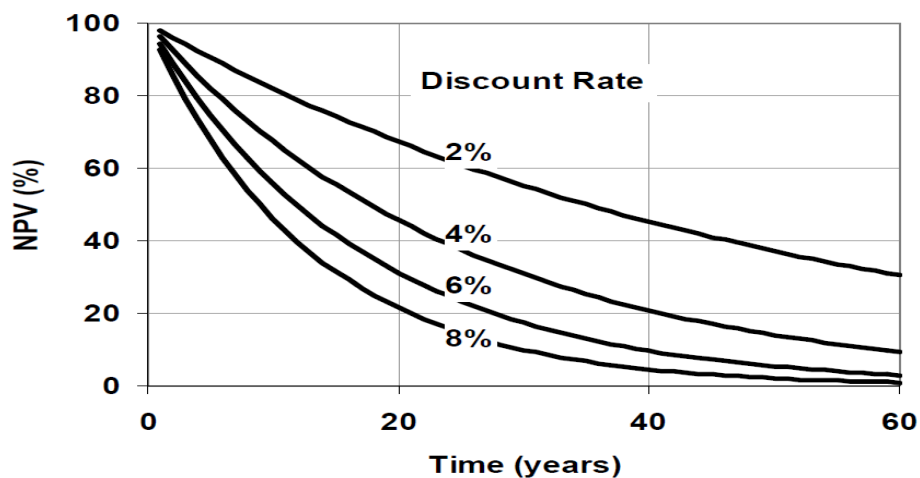
5 Optimizacija stavbnega ovoja

5.1 Analiza skupnih stroškov v življenjskem ciklusu

Pri investiciji v obnovo ali novogradnjo, povprečnega investitorja zanima ponavadi le začetni denarni vložek. Vendar se v praksi pokaže, da se poceni investicija (npr. tanjše debeline toplotne izolacije) v prihodnosti izkaže kot zelo draga. Konkretno na primeru izbire debeline toplotne izolacije objekta se izkaže, da če izberemo debeljšo izolacijo in s tem na začetku investicije vložimo nekoliko več denarja, se nam ta denarni vložek v prihodnje povrne skozi manjše obratovalne stroške (nižja poraba energije za ogrevanje). V nadaljnjih izračunih bomo na podlagi predvidene življenjske dobe posameznega konstrukcijskega sklopa optimizirali izolativnost le-tega tako, da bomo določili najnižje stroške v življenjskem krogu.

Metoda stroškov v življenjskem ciklusu (angl. Life Cycle Costing - LCC) je izredno učinkovita in razširjena v vseh oblikah napovedovanja in vrednotenja. Zelo pomembna prednost te metode je, da življenjsko, uporabno ali služno dobo izdelka ali sistema enostavno prevedemo v finančne kazalnike. Metoda med drugim omogoča primerjavo celotnih stroškov investicije, transporta, izgradnje, uporabe, vzdrževanja, zamenjave, adaptacije, rekonstrukcije in obnove v celotnem življenjskem obdobju. S tem orodjem lahko primerjamo različne sisteme oziroma različne konstrukcijske sklope in tudi stroške celotnih objektov. Odpravlja slabosti stacionarnega pristopa tako, da ocenjuje stroške in doprinose v prihodnjih letih s tem, da jih diskontira (prevede) na sedanjo vrednost [10].

Zaradi časovne vrednosti denarja se namreč v računih stroškov življenjskega cikla objekta upošteva primerno diskontno stopnjo ter predvideno letno inflacijo, saj 1€ danes nima enake vrednosti kot čez 15 let. Z diskontiranjem izražamo kakšen znesek moramo vložiti danes, da bomo v prihodnosti na ta račun nekaj zaslužili. Neto sedanja vrednost sistema oziroma konstrukcijskega sklopa je tako odvisna od višine diskontne stopnje ter življenjske dobe objekta (čas v kateri se začetni stroški diskontirajo). Diskontna stopnja ter časovna oddaljenost prihodka oziroma stroška sta obratno sorazmerna z neto sedanjo vrednostjo naložbe, kakor prikazujemo na sliki 55.



Slika 55: Spreminjanje neto sedanje vrednosti (NPV v %) v odvisnosti od časa ter višine diskontne stopnje [9]

V nadaljevanju obratovalne stroške predstavimo kot stroške električne energije, ki so potrebni za ogrevanje stavbe. Pri vzdrževalnih stroških upoštevamo denarne vloške, ki so posledica manjših popravil na posameznih delih stavbe zaradi delovanja zunanjega okolja. Posebej analiziramo toplotno izolacijo strehe, stene, tal na terenu ter različne tipe oken. Kot vhodne parametre upoštevamo stroške začetne investicije, stroške vzdrževanja ter stroške obratovanja. Stroške odstranitve zanemarimo.

Pri izračunih uporabimo priporočeno vrednost diskontne stopnje, ki znaša 7% ter 2,5% letno inflacijo (UL RS št.60, 9.6.2006). Vse vrednosti prikazane v analizi so diskontirane na leto 2013 (leto, ko bo gradnja izvedena). Izračun neto sedanje vrednosti prikazujemo v enačbah (4.5) – (4.7).

$$\text{Vzdrževanje} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{stroški vzdrževanja} \cdot \text{inflacija (t)}}{\text{diskontna stopnja (t)}} = \sum_{t=1}^n \frac{V[\text{€}] \cdot (1+0,025)^t}{(1+0,07)^t} \quad (4.5)$$

$$\text{Obratovanje} = \sum_{t=1}^n \frac{\text{stroški energije (t)}}{\text{diskontna stopnja (t)}} = \sum_{t=1}^n \frac{E[\text{€}]}{(1+0,07)^t} \quad (4.6)$$

$$\text{NSV} = \text{začetna naložba} + \text{vzdrževanje} + \text{obratovanje} \quad (4.7)$$

Pri stroških obratovanja inflacije ne upoštevamo, saj jo že zajamemo v predvideni rasti cene energentov.

5.2 Stroški investicije

Podatke za izračun stroškov investicije, za osnovno varianto (kakršno smo projektirali), v izolacijo strehe, zunanjih sten, tal in stavbnega pohištva dobimo iz popisa del in ponudbenega predračuna. Pri določevanju cene del pri optimiziranih variantah (debelejši sloji izolacije in kakovostnejša okna) si pomagamo s cenami izdelkov ter priporočenimi vrednostnimi izvedbe, ki jih najdemo v katalogih proizvajalcev izbranih materialov. V spodnjih preglednicah podajamo po postavkah zbrane cene posameznih obrtniških del za osnovno, projektirano varianto.

Preglednica 44: Popis del – osnovna varianta izolacije sten

	količina		cena na enoto		cena skupaj	
kompletna izdelava fasade v sestavi : fasadni omet 1mm, 2x lepilna malta, rabitz mrežica, toplotna izolacija iz ekspandiranega polistirena debeline 15 cm, sidrano na opečni zid. Struktura zaključnega sloja po izboru projektanta oz. investitorja.	329,8	m ²	39,20	€/m ²	12.928,16	€

Preglednica 45: Popis del – osnovna varianta izolacije strehe

	količina		cena na enoto		cena skupaj	
dobava materiala in izdelava spuščene stropa s kovinsko podkonstrukcijo: izolacija mineralna volna tipa KNAUFF 12 cm, parna ovira EKO NATUR, mavčne plošče, ognjeodporne 12,5 mm, bandažirano in pokitano ter pripravljeno za oplesk.	176,3	m ²	34,30	€/m ²	6.047,09	€

Preglednica 46: Popis del – osnovna varianta izolacije temeljne plošče

	Količina		cena na enoto		cena skupaj	
Dobava in polaganje plošč FRAGMAT XPS 50SF debeline 12,0 cm	195,0	m ²	24,68	€/m ²	4812,60	€

Pri določitvi cene investicije v dodatno izolacijo ovoja stavbe izhajamo iz dejstva, da se cene, od izhodiščne variante, razlikujejo le za razliko v ceni vgrajenih materialov (debelejši sloji izolacije, daljša sidra, več lepila...), cene izvedbe (stroški dela) ostajajo nespremenjene. Na račun dodajanja izolacije zmanjšamo faktor toplotne prehodnosti konstrukcijskega sklopa, transmisijske toplotne izgube in posledično zmanjšamo stroške obratovanja. V preglednici 47 in 48 predstavljamo cene investicije v posamezni konstrukcijski sklop, izražene na m².

Preglednica 47: Cene investicije, glede na skupno debelino vgrajene toplotne izolacije v posamezni konstrukcijski sklop

KS	skupna debelina toplotne izolacije (cm)	U (W/m ² k)	stroški investicije (€/m ²)	Razlika v ceni od osnovne variante (%)
stena	15	0,227	39,20	0,00
	16	0,215	39,86	1,68
	18	0,194	40,72	3,87
	20	0,177	41,61	6,15
	22	0,163	43,16	10,11
	24	0,151	45,01	14,83
	26	0,141	46,90	19,66
	28	0,132	49,36	25,91
streha	16	0,200	34,30	0,00
	18	0,183	34,95	1,65
	20	0,168	35,43	2,87
	22	0,156	35,93	4,16
	24	0,145	36,84	6,49
	26	0,135	37,83	9,00
	28	0,127	38,81	11,51
	30	0,119	39,79	14,02
	32	0,113	40,78	16,53
	34	0,107	41,76	19,04
	36	0,102	42,75	21,55
	38	0,097	43,73	24,06
tla	12	0,289	17,67	-17,88
	14	0,249	21,17	-8,94
	16	0,216	24,68	0,00
	18	0,193	28,18	8,94
	20	0,174	31,69	17,88
	22	0,159	35,19	26,82
	24	0,14	38,70	35,76
	26	0,135	42,20	44,70
	28	0,126	45,70	53,64
30	0,117	49,21	62,58	

Iz preglednice 47 vidimo, da za vsak dodatni centimeter toplotne izolacije fasade odštejemo v povprečju dodatna 2,0% glede na osnovno vrednost izvedbe, za dodatni centimeter izolacije spuščena stropa pa le slab procent. Pri izolaciji tal na terenu so cene višje zaradi dražjega

toplotnoizolacijskega materiala (XPS), vsak dodatni centimeter poviša tako investicijo za 4,5 % glede na osnovno vrednost.

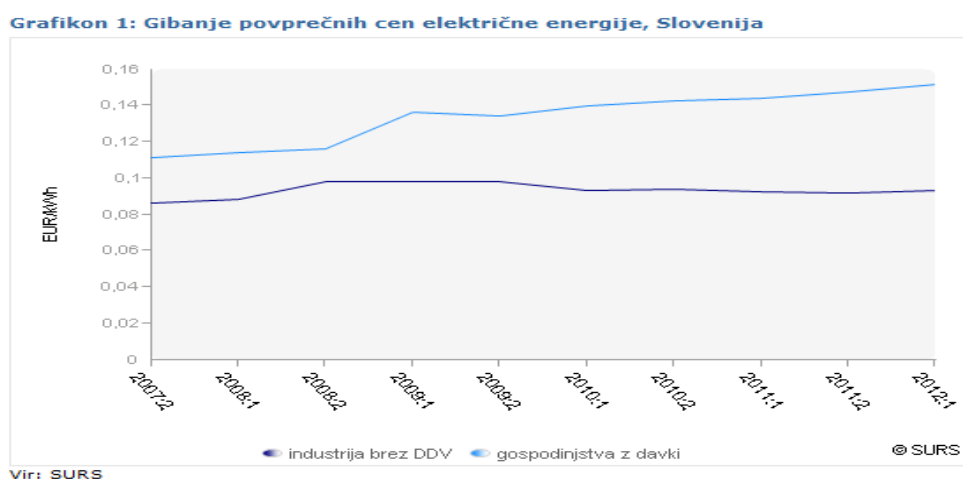
Preglednica 48: Cena dobave in vgradnje oken

tip oken	U_g (W/m ² K)	U_w (W/m ² K)	Zasteklitev (mm)	Vrsta distančnika	g vrednost (/)	Stroški investicije (€)	Razlika v ceni od izhodiščne variate (%)
Izhodiščna varianta	1,10	1,28	4-16-4	ALU	0,62	16.298,00	0
okna tipa 2	1,00	1,19	4-16-4*	PVC	0,52	18.335,25	12,50
okna tipa 3	0,70	0,99	4-12-4-12-4	ALU	0,49	20.372,50	25,00
okna tipa 4	0,50	0,79	4-12-4-12-4	PVC	0,49	22.919,06	40,63
okna tipa 5	0,40	0,70	4-12-4-12-4*	PVC	0,32	25.261,90	55,00

Okna izbrana v izhodišču in okna tipa 2 so tipa AJM500 (dvoslojna zasteklitev), okna tipa 3 so tipa AJM8000 Ekskluziv (osem komorni profil, tri tesnila v pripiri, trojna zasteklitev), okna tipa 4 in 5 pa sta tipa AJM8000 energeto (šest komorni komorni profil, tri tesnila v pripiri, trojna zasteklitev). Zasteklitve označene z * imajo kovinski nanos low e 1,0, kateri izboljša toplotno izolativnost. Pri izračunu stroškov dobave ter vgradnje ostalih tipov PVC oken izhajamo iz cenika proizvajalca, pri tem upoštevamo dvig cen zaradi drugačnega tipa zasteklitve in tipa okvirja. V vseh šestih primerih se cene nanašajo na enako število in dimenzije oken.

5.3 Obratovalni stroški

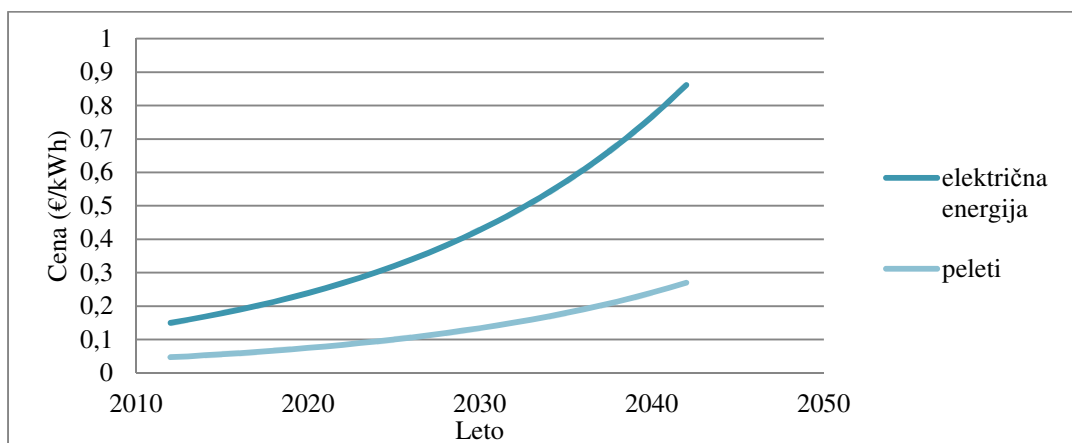
Ker za primarni vir energije izberemo elektriko, najprej določimo ceno le-te. Na splošno je ceno energentov zelo težko napovedati, saj nanjo vpliva preveč zunanjih parametrov, kot so politika, vojne in podobni nepredvidljivi dejavniki. Dovolj natančno lahko ocenimo trend naraščanja le za naslednjih nekaj let. Zato bomo v nadaljnjih izračunih izhajali iz maloprodajne cene za gospodinjstva v Sloveniji iz prvega polletja 2012, ki v povprečju znaša 0,15 €/ kWh. Pri izračunanih cenah električne energije v prihodnosti upoštevamo tendenco dviga cen, ki jo prikazujemo na sliki 55.



Slika 56: Rast cen električne energije v zadnjem 5-letnem obdobju (<http://www.stat.si>)

Iz slike 55 vidimo, da se je cena električne energije za gospodinjstva v zadnjih petih letih dvignila za dobrih 30%. V naših izračunih zato upoštevamo 6% letno rast cen. V tej ceni smo že zajeli letno inflacijo.

V zadnjem času, zaradi vedno večjega okoljevarstvenega ozaveščanja in relativno nizkih ogrevalnih stroškov, prehajajo v vedno večjo uporabo ogrevalni sistemi na pelete. Peleti so lesene paličice, ki so prešane iz žagovine pod visokim pritiskom, brez kemičnih dodatkov. V nadaljevanju smo primerjali obratovalne stroške, ki nastanejo pri uporabi obeh zgoraj omenjenih energentov. Naraščanje cene peletov v prihodnosti smo ocenili glede na 5 letno predhodno obdobje rasti cen [12] ter tako pristali na 6% letni rasti skupaj z inflacijo. Upoštevamo uporabo kotla na biomaso s sposobnostjo generacije energije 95% (0,95), za sposobnost emisije in distribucije ogrevalnega sistema pa vzamemo enake vrednosti, kakor pri uporabi toplotne črpalke (glej preglednico 33). Potrebno je povedati, da 1 kg peletov vsebuje 5 kWh energetske vrednosti, trenutna cena na tržišču pa znaša približno 0,235 €/kg. Predvideno rast omenjenih energentov prikazujemo na sliki 57.



Slika 57: Predvidena rast cen električne energije in peletov v prihodnosti

Obratovalne stroške nato določimo tako, da transmisijske izgube skozi posamezne konstrukcijske sklope prevedemo v strošek električne energije oziroma peletov in zraven upoštevamo deklarirano sposobnost generacije, distribucije in emisije energije instalirane toplotne črpalke oziroma peči na pelete. Stroške obratovanja v letu 2013 na primeru dodajanja toplotne izolacije fasade predstavljamo v preglednici 49.

Preglednica 49: Obratovalni stroški v letu 2013, glede na debelino toplotne izolacije

KS	skupna debelina toplotne izolacije (cm)	U (W/m ² k)	stroški ogrevanja elektrika (€/a)	stroški ogrevanja peleti (€/a)
Stena	15	0,227	389,2	385,1
	16	0,215	376,8	372,8
	18	0,194	355,5	351,7
	20	0,177	338,4	334,8
	22	0,163	324,4	321,0
	24	0,151	312,5	309,2
	26	0,141	302,5	299,3
	28	0,132	292,6	289,5
	30	0,124	285,7	282,7

Iz preglednice 49 razberemo, da omenjeni konfiguraciji ogrevalnih sistemov prinašata skoraj enake stroške ogrevanja, zato optimizacijo le-tega opustimo. V praksi bi se v takšnem primeru odločili za ogrevalni sistem, ki je cenejši (upoštevajoč enako življenjsko dobo).

5.4 Vzdrževalni stroški

Za določitev stroškov vzdrževanja moramo najprej določiti življenjsko dobo konstrukcijskih sklopov ter predvidena popravila. Pri oceni stroškov vzdrževanja predpostavimo, da so stroški, ki so povezani z vzdrževalnimi deli (morebitna majhna popravila), neodvisni od debeline vgrajene izolacije in tako enaki v vsakem primeru. Pomagamo si z vrednostmi, ki jih podaja pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj [15]. V preglednicah 50 – 53 na kratko povzamemo vrednosti iz pravilnika, ki se nanašajo na naše elemente ovoja.

Preglednica 50: Vzdrževanje fasade

ZAP. ŠT	ŠIFRA	OPIS ELEMENTA	Normalna doba trajanja v letih n	Teoretična menjava v 60-ih letih $m=(60-n)/n$	Faktor malih popravil od nove vrednosti v %
79.	1.4.12.0	Kontaktne toplotnoizolacijske fasade (stiropor ali mineralna volna ipd. lepljena, nato ometana s plemenitim ometom) (redno vzdrževanje kot pod tč. 1.4.1.0.)	30	1	30
81.	1.4.13.0	Okenske police zunaj (redno čiščenje in vzdrževanje, preprečitev zamakanja, okrušene ali poškodovane police zamenjati z novimi).	40	0,2	10

Če bi izhajali iz preglednice 50, bi torej bila izbrana življenjska doba kontaktne fasade 30 let. Kar se tiče življenjske dobe, lahko v računih upoštevamo daljše obdobje, saj je tak sistem kontaktne fasade trajnejši od 30 let. Seveda to velja ob periodičnih obnovitvah (očiščenje in prepleskanje). Poleg tega, se ob rekonstrukcijah in drugih temeljnih obnovah, vedno teži k ohranjanju obstoječih plasti, predvsem toplotnih izolacij, zato se dodajajo dodatne plasti (vzrok je tudi v ceni deponiranja voluminoznih odpadkov). Zato bomo v nadaljnjih izračunih upoštevali 60-letno življenjsko dobo fasade. Za faktor malih popravil od nove, privzamemo vrednost 30%. Pri okenskih policah upoštevamo 60-letno življenjsko dobo ter faktor malih popravil 10 %, saj jih zamenjamo istočasno s fasado.

Preglednica 51 : Vzdrževanje oken

ZAP. ŠT	ŠIFRA	OPIS ELEMENTA	Normalna doba trajanja v letih n	Teoretična menjava v 60-ih letih $m=(60-n)/n$	Faktor malih popravil od nove vrednosti v %
101.	1.6.1.4.	Dvojna okna iz trdega lesa ali PVC, zastekljena z navadnim steklom (vzdrževanje enako kot tč. 1.6.1.1., razen barvanja pri PVC oknih)	50	0,2	15
102.	1.6.1.5.	Lesena okna zastekljena z izolacijskim steklom, PVC (vzdrževanje isto kot tč. 1.6.1.1.)	50	0,2	25

Preglednica 51 podaja 10-letno življenjsko dobo oken. Ta vrednost se nam zdi nekoliko nizka, zato pri izračunih upoštevamo 30-letno življenjsko dobo ter faktor malih popravil 15%.

Preglednica 52 : Vzdrževanje spuščenega stropa

ZAP. ŠT	ŠIFRA	OPIS ELEMENTA	Normalna doba trajanja v letih n	Teoretična menjava v 60-ih letih $m=(60-n)/n$	Faktor malih popravil od nove vrednosti v %
155.	1.7.14.0	Strop obešen - stropne obloge iz mavčnih ali drugih plošč ali sendvič plošč (redno vzdrževanje, kontrola pritrdilnih elementov, čiščenje)	30	1	30

Izbrana življenjska doba spuščenega stropa v nadstropja je torej 30 let, vendar se zaradi enakih razlogov kakor pri trajnosti fasade, odločimo za 60-letno življenjsko dobo. Za faktor malih popravil od nove vrednosti privzamemo 30%.

Preglednica 53 : Vzdrževanje tal na terenu

ZAP. ŠT	ŠIFRA	OPIS ELEMENTA	Normalna doba trajanja v letih n	Teoretična menjava v 60-ih letih $m=(60-n)/n$	Faktor malih popravil od nove vrednosti v %
1.	1.1.1.0.	Temelji stavbe brez kleti (redno vzdrževanje, opazovanje morebitnega posedanja, strokovno popravilo le-tega in preprečitev nadaljnjega posedanja)	90	/	1
160.	1.8.2.0.	Pod iz glaziranih keramičnih ploščic ali venecijanski pod (vzdrževanje kot tč. 1.8.1.0.)	70	/	20

Ker je toplotna izolacija izvedena pod temelji, je njena zamenjava praktično nemogoča in je odvisna od življenjske dobe celotne stavbe. V primeru da bodo vrstne hiše prodane in bodo v njih bivali različni lastniki, je nemogoče določiti koliko časa bo stavba v obratovanju. Za lažje izračune bomo zato izhajali iz enake hipoteze, kakor pri spuščnem stropu in fasadi in tako upoštevati 60-letno življenjsko dobo ter faktor malih popravil 1%.

Vzdrževalne stroške določimo z enačbo (4.8) tako, da faktor malih popravil množimo s stroški posamezne investicije ter dobljeno vrednost delimo z življenjsko dobo elementa stavbnega ovoja:

$$\text{Vzdrževalni stroški} = \frac{\text{faktor malih popravil} \cdot \text{stroški investicije}}{\text{življenjska doba}} \quad (4.8)$$

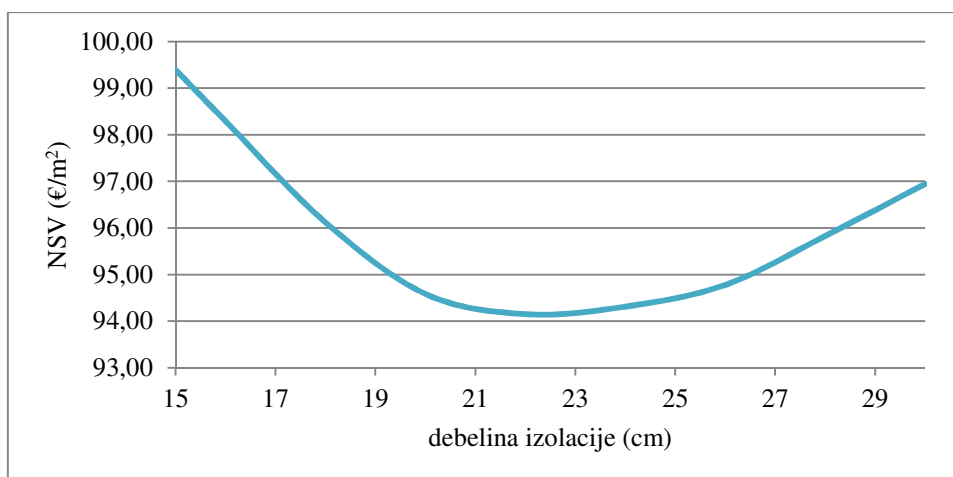
Na primeru vzdrževanja fasade in ob uporabi enačbe (4.8) so stroški vzdrževanja (leto 2013) enaki $\frac{12.846 (0,3+0,1)}{60} = 85,64 \text{ €}$.

5.5 Optimizacija fasade

Glede na celotne stroške, ki se pojavijo v življenjskem ciklusu kontaktne fasade, v nadaljevanju določimo minimalne stroške v življenjski dobi (60 let) na podlagi metode, ki smo jo predstavili v poglavju 5.1. V preglednici 54 in na sliki 58 prikazujemo neto sedanjo vrednost (NSV) kontaktne fasade v odvisnosti od debeline toplotne izolacije. Za lažjo predstavo, cene podajamo na enoto površine fasade.

Preglednica 54: NSV fasade (7% diskontna stopnja, Portorož)

debelina izolacije (cm)	15	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški investicije (€/m ²)	39,20	39,86	40,72	41,61	43,16	45,01	46,90	49,36	51,45
stroški vzdrževanja (€/m ²)	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
stroški obratovanja (€/m ²)	55,29	53,53	50,50	48,07	46,09	44,40	42,97	41,57	40,60
Skupaj (€)	99,39	98,29	96,12	94,59	94,15	94,31	94,78	95,83	96,94



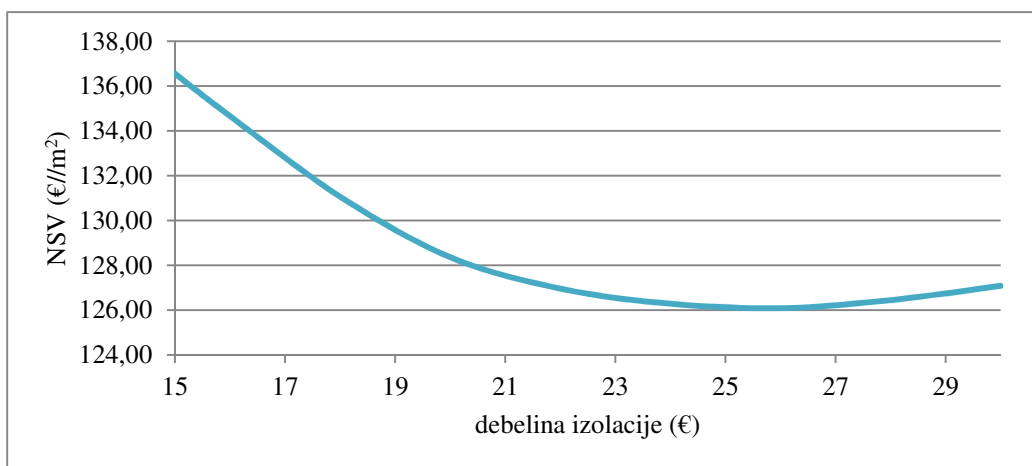
Slika 58: Minimalna NSV fasade – Portorož, 7 % diskontna stopnja

Sodeč po preglednici 54 in sliki 58 so minimalni stroški v življenjskem ciklusu fasade doseženi v primeru vgradnje 22 cm debelega sloja izolacije, to je pa kar 7 cm več od debeline izolacije, ki jo uporabimo v izhodiščni varianti.

Za lažje komentiranje rezultatov izvedemo primerjalni izračun za enako stavbo, ki se nahaja v Ljubljani. Rezultate primerjalnega izračuna prikazujemo v preglednici 55 in na sliki 59.

Preglednica 55: NSV fasade (7% diskontna stopnja, Ljubljana)

debelina izolacije (cm)	15	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški investicije (€/m ²)	39,20	39,86	40,72	41,61	43,16	45,01	46,90	49,36	51,45
stroški vzdrževanja (€/m ²)	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
stroški obratovanja (€/m ²)	92,45	89,90	85,45	81,85	78,90	76,37	74,28	72,19	70,73
Skupaj (€)	136,55	134,66	131,06	128,36	126,96	126,28	126,09	126,44	127,08



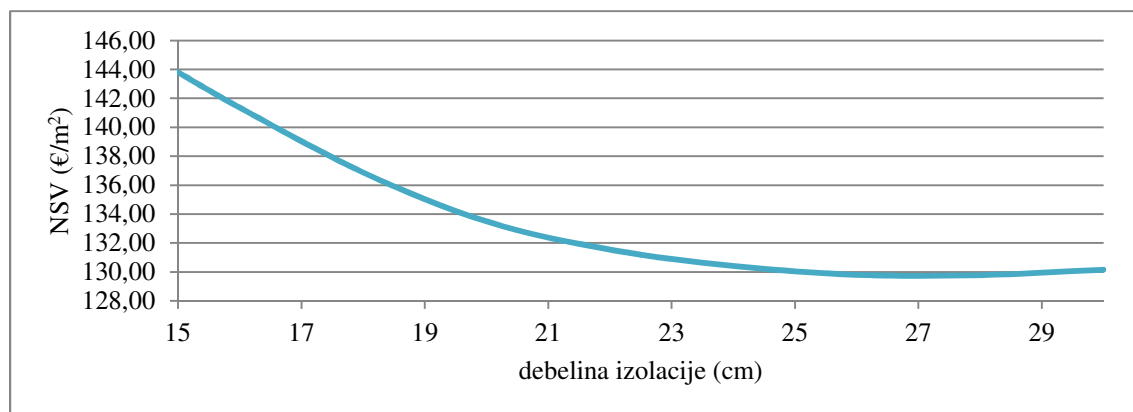
Slika 59: Minimalna NSV fasade – Ljubljana, 7% diskontna stopnja

Kot lahko razberemo iz slike 59, je minimalna neto sedanja vrednost dosežena pri debelini fasadne izolacije, ki znaša 26 cm. Rezultati so logični, saj so zaradi večjega letnega temperaturnega primankljaja na območju Ljubljane transmissijske izgube toliko večje in se zato minimalni stroški v življenjski dobi dosežejo pri vgradnji večje debeline izolacije v primerjavi z objektom v Portorožu.

Kdaj bo dosežen minimum stroškov v življenjskem ciklu, je odvisno tudi od upoštevanega diskontne stopnje. Za vse komercialne projekte velja 7% diskontna stopnja. Stanovanjsko gradnjo spremljajo, zaradi izrednega nacionalnega pomena, v vseh državah nižje (bolj konzervativne) diskontne stopnje. Za primerjavo v preglednici 56 in na sliki 60 prikazujemo izračun neto sedanje vrednosti v primeru upoštevanja 5 % diskontne stopnje.

Preglednica 56: NSV fasade (5% diskontna stopnja, Portorož)

debelina izolacije (cm)	15	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški investicije (€/m ²)	39,20	39,86	40,72	41,61	43,16	45,01	46,90	49,36	51,45
stroški vzdrževanja (€/m ²)	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19	7,19
stroški obratovanja (€/m ²)	97,42	94,31	88,98	84,69	81,20	78,22	75,71	73,24	71,52
Skupaj (€)	143,81	141,36	136,88	133,50	131,55	130,42	129,80	129,78	130,16



Slika 60: Minimalna NSV fasade – Portorož, 5% diskontna stopnja

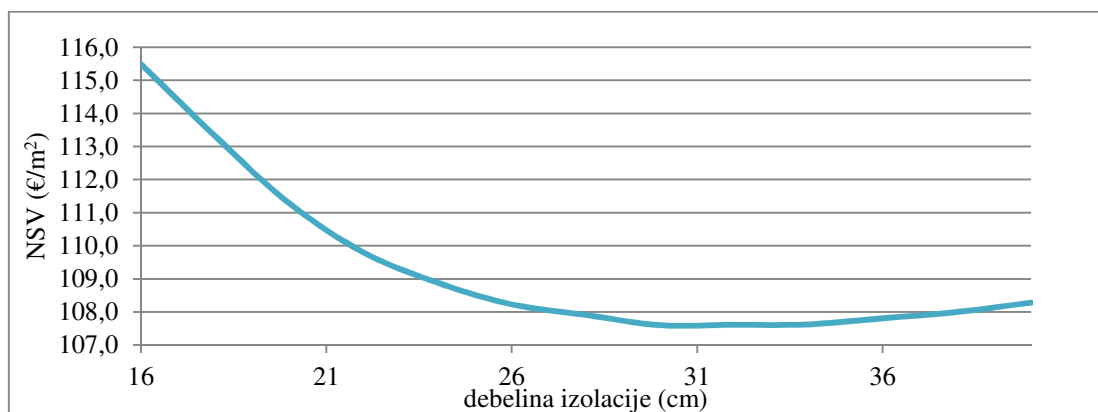
Ob upoštevanju nižje diskontne stopnje se najnižji stroški v celotni življenjski dobi fasade dosežejo z vgradnjo 28 cm debelega sloja EPS fasadnih plošč.

5.6 Optimizacija stropne izolacije

Glede na celotne stroške, ki se pojavijo v življenjskem ciklusu spuščenega stropa v nadstropju, v nadaljevanju določimo minimalne stroške v življenjski dobi na enak način kot v poglavju 5.1. V preglednici 57 prikazujemo neto sedanjo vrednost (NSV) spuščenega stropa v odvisnosti od debeline toplotne izolacije, na sliki 61 pa predstavljamo minimalne stroške v življenjskem ciklu spuščenega stropa.

Preglednica 57: NSV stropne konstrukcije (7 % diskontna stopnja, Portorož)

debelina izolacije (cm)	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
stroški investicije (€/m ²)	34,3	34,9	35,4	35,9	36,8	37,8	38,8	39,8	40,8	41,8	42,7	43,7	44,8
stroški vzdrževanja (€/m ²)	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
stroški obratovanja (€/m ²)	77,1	74,2	71,7	69,7	67,9	66,3	65,0	63,7	62,7	61,7	60,9	60,1	59,3
Skupaj (€)	115,5	113,3	111,3	109,8	108,9	108,2	107,9	107,6	107,6	107,6	107,8	108,0	108,3



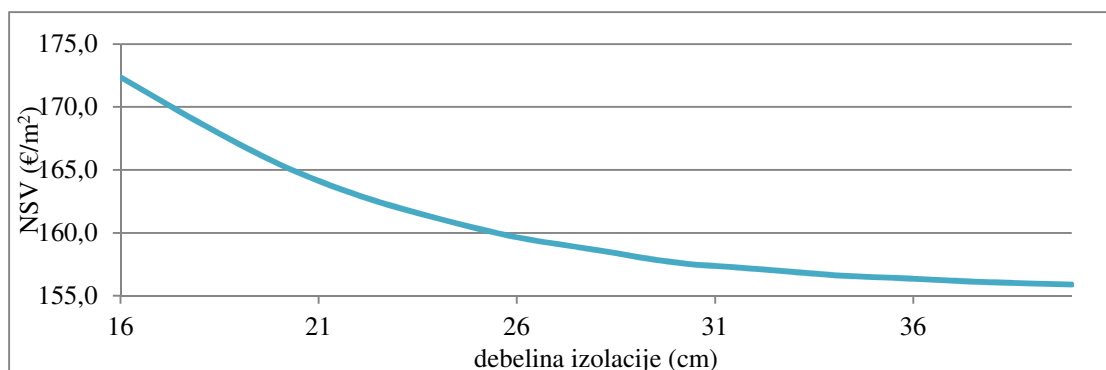
Slika 61: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Portorož, 7 % diskontna stopnja

Iz zgornjih rezultatov vidimo, da najnižnje stroške v življenjskem ciklusu spuščenega stropa dosežemo z vgradnjo 30 cm debelega sloja termo izolacije. Takšna velika razlika v debelini vgrajene izolacije izhodiščne in optimalne variante pa je posledica relativno nizke nabavne cene mineralne volne.

Za primerjavo rezultatov, izvedemo primerjalni izračun za enako stavbo, ki se nahaja v Ljubljani. Rezultate primerjalnega izračuna prikazujemo v preglednici 58 in na sliki 62.

Preglednica 58: NSV stropne konstrukcije (7 % diskontna stopnja, Ljubljana)

debelina izolacije (cm)	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
stroški investicije (€/m ²)	34,3	34,9	35,4	35,9	36,8	37,8	38,8	39,8	40,8	41,8	42,7	43,7	44,8
stroški vzdrževanja (€/m ²)	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
stroški obratovanja (€/m ²)	133,9	129,7	125,9	122,9	120,2	117,7	115,7	113,7	112,2	110,7	109,5	108,2	106,9
Skupaj (€)	172,4	168,7	165,5	163,0	161,1	159,6	158,6	157,6	157,1	156,6	156,4	156,1	155,9



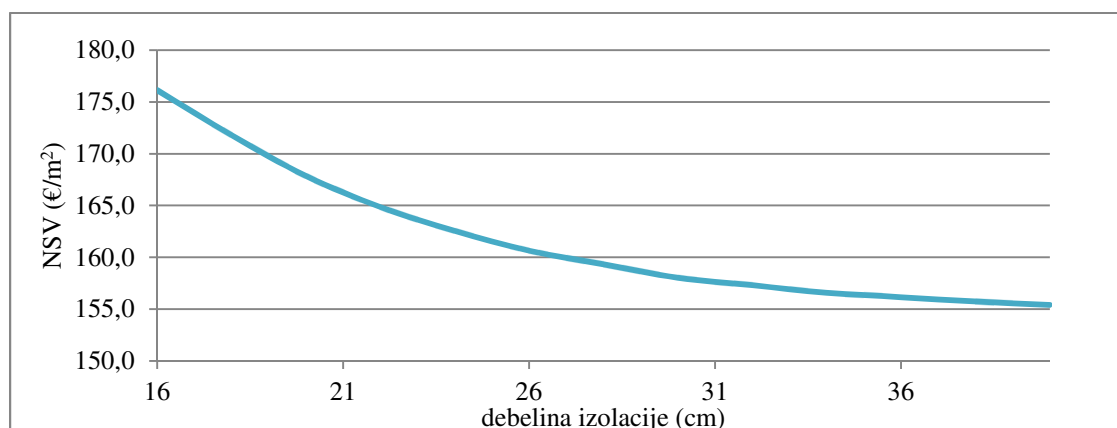
Slika 62: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Ljubljana 7 % diskontna stopnja

Iz primerjalnih rezultatov vidimo, da se minimalni stroški v življenjskem ciklu spuščenega stropa spreminjajo podobno, kot pri fasadi. V primeru večjih transmisijskih izgub (referenčna klima Ljubljana) in posledično večjih obratovalnih stroškov, se najbolj optimalna debelina vgrajene toplotne izolacije iz prvotnih 16 cm povzpne na 40 cm in več.

Za primerjavo izvedemo še izračun minimalnih stroškov življenjskega cikla v primeru, da upoštevamo 5 % diskontno stopnjo.

Preglednica 59: NSV stropne konstrukcije (Portorož 5 % diskontna stopnja)

debelina izolacije (cm)	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
stroški investicije (€/m ²)	34,3	34,9	35,4	35,9	36,8	37,8	38,8	39,8	40,8	41,8	42,7	43,7	44,8
stroški vzdrževanja (€/m ²)	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
stroški obratovanja (€/m ²)	135,8	130,8	126,3	122,8	119,6	116,7	114,4	112,2	110,4	108,7	107,3	105,9	104,5
Skupaj (€)	176,1	171,8	167,9	164,9	162,5	160,6	159,3	158,0	157,3	156,6	156,2	155,7	155,4



Slika 63: Minimalna NSV stropne konstrukcije – Portorož, 5 % diskontna stopnja.

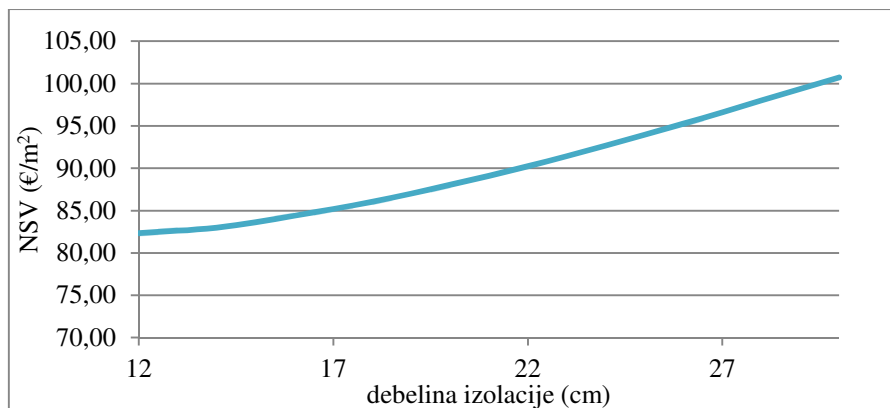
Sodeč po sliki 63 pridemo do zelo podobnih rezultatov, kakor pri upoštevanju spremembe lokacije (Ljubljana). Z upoštevanjem 5 % diskontne stopnje je tako najbolj smiselna skupna debelina toplotne izolacije strešne konstrukcije 40 cm in več. Take debeline so posledica nizke nabavne vrednosti mineralne volne.

5.7 Optimizacija talne izolacije

Glede na celotne stroške, ki se pojavijo v življenjskem ciklusu tal na terenu, v nadaljevanju določimo minimalne stroške v življenjski dobi na podlagi metode, ki smo jo predstavili v poglavju 5.1. V preglednici 60 in na sliki 64 prikazujemo optimalno debelino vgrajene izolacije tal na terenu v 60-letni življenjski dobi. V preglednici 61 ter na sliki 65 predstavljamo primerjalni izračun za enak objekt lociran v Ljubljani, v preglednici 62 ter na sliki 66 pa prikazujemo neto sedanjo vrednost v primeru upoštevanja 5 % diskontne stopnje.

Preglednica 60: NSV tal na terenu (7 % diskontna stopnja, Portorož)

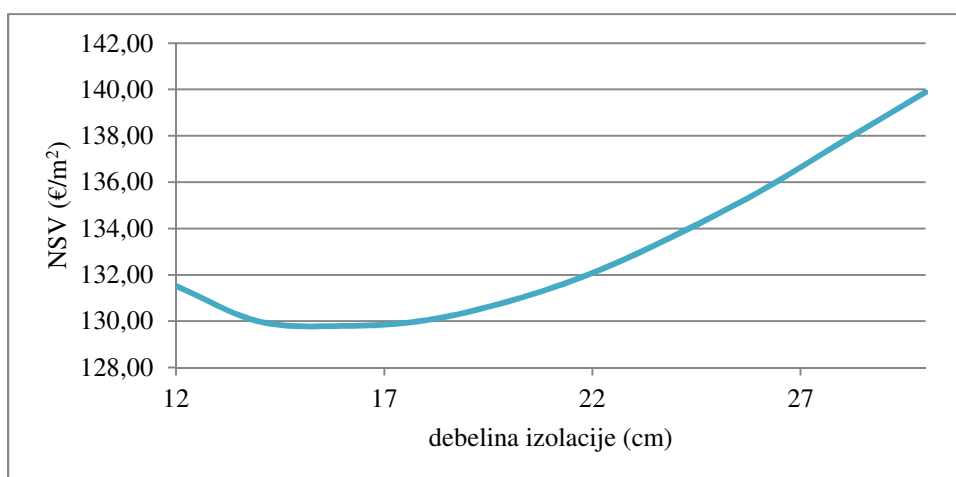
debelina izolacije (cm)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški investicije (€/m ²)	17,67	21,17	24,68	28,18	31,69	35,19	38,70	42,20	45,70	49,21
stroški vzdrževanja (€/m ²)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
stroški obratovanja (€/m ²)	64,55	61,69	59,59	57,74	56,22	54,92	53,86	52,93	52,17	51,39
Skupaj (€)	82,35	82,99	84,40	86,06	88,04	90,24	92,69	95,26	98,00	100,73



Slika 64: Minimalna NSV tal na terenu – Portorož, 7 % diskontna stopnja

Preglednica 61: NSV tal na terenu (7 % diskontna stopnja, Ljubljana)

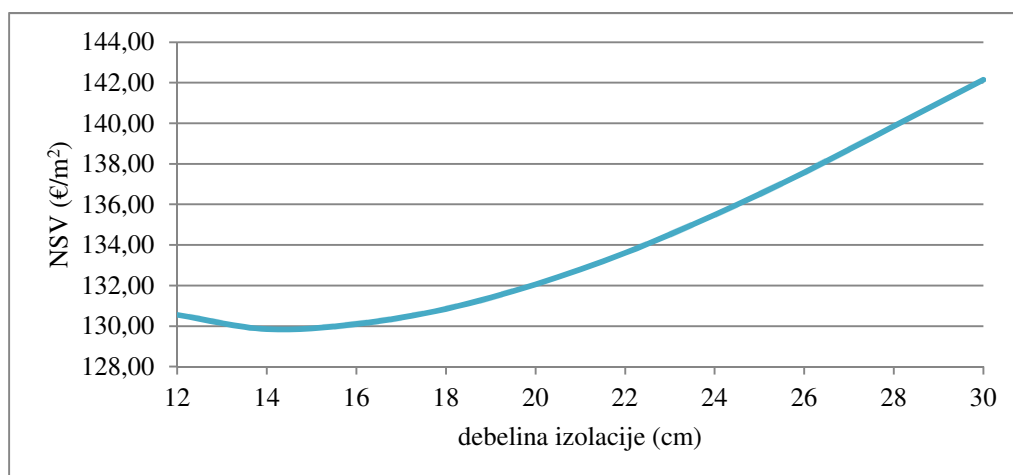
debelina izolacije (cm)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški obratovanja (€/m ²)	17,67	21,17	24,68	28,18	31,69	35,19	38,70	42,20	45,70	49,21
stroški vzdrževanja (€/m ²)	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
stroški investicije (€/m ²)	113,72	108,69	104,99	101,73	99,05	96,76	94,89	93,25	91,91	90,54
Skupaj (€)	131,52	129,99	129,80	130,04	130,87	132,08	133,71	135,58	137,74	139,88



Slika 65: Minimalna NSV tal na terenu – Ljubljana, 7 % diskontna stopnja

Preglednica 62: NSV tal na terenu (5 % diskontna stopnja, Portorož)

debelina izolacije (cm)	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
stroški obratovanja (€/m ²)	17,67	21,17	24,68	28,18	31,69	35,19	38,70	42,20	45,70	49,21
stroški vzdrževanja (€/m ²)	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
stroški investicije (€/m ²)	112,71	108,50	105,24	102,49	100,19	98,24	96,61	95,19	93,97	92,75
Skupaj (€)	130,55	129,85	130,10	130,85	132,06	133,61	135,49	137,57	139,86	142,14



Slika 66: Minimalna NSV tal na terenu – Portorož, 5 % diskontna stopnja

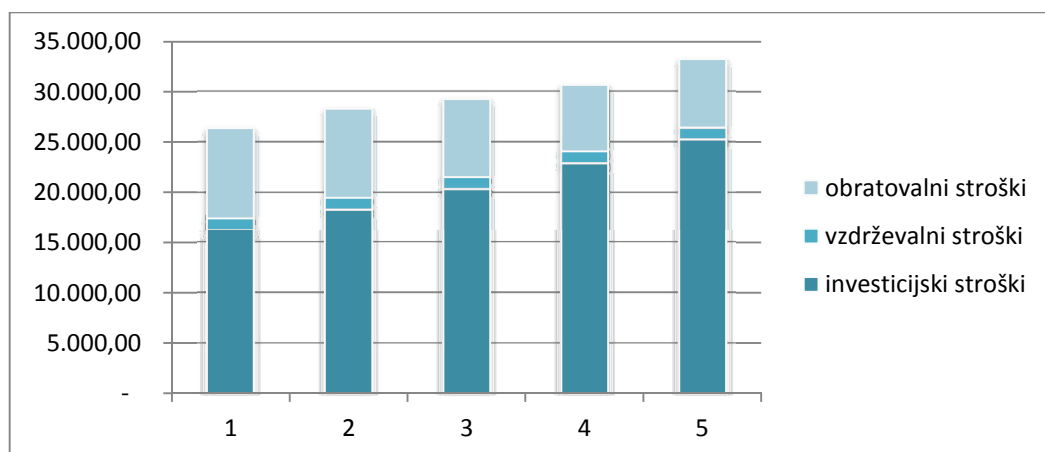
Iz zgornjih izračunov vidimo, da je najbolj ekonomična debelina izolacije v primeru, da je stavba grajena v Portorožu, manjša od izbrane izhodiščne debeline. Zaradi višje tržne cene ekstrudiranega polistirena (XPS) v primerjavi z mineralno volno oziroma z expandiranim polistirenom (EPS), se stroški v življenjskem ciklusu v odvisnosti od debeline izolacije konstantno povečujejo. Vgrajenih 12 cm ekstrudiranega polistirena pod temeljno ploščo in 4 cm elastificiranega polistirena pod estrihom tako zagotavljata $U = 0,212 \text{ W/m}^2\text{K}$, ki je za 30% manjši od zahtevanega $U_{\max} = 0,300 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tako vidimo, da bi bilo iz stroškovnega vidika smiselno vgraditi pod temeljno ploščo 8 cm debelo plast XPS-a oziroma v primeru, da bi se objekt nahajal v Ljubljani ter ob upoštevanju 5 % diskontne stopnje pa 10 oziroma 12 cm.

5.8 Optimizacija tipa oken

Glede na celotne stroške, ki se pojavijo v življenjskem ciklusu vgrajenih oken, v nadaljevanju določimo minimalne stroške v življenjski dobi na podlagi metode, ki smo jo predstavili v poglavju 5.1. V preglednici 63 in na sliki 67 prikazujemo optimalno izbiro oken, pri čem upoštevamo 30-letno življensko dobo le-teh. V preglednici 64 ter na sliki 68 predstavljamo primerjalni izračun izbire tipa oken za enak objekt lociran v Ljubljani.

Preglednica 63: NSV različnih tipov oken (7 % diskontna stopnja, Portorož)

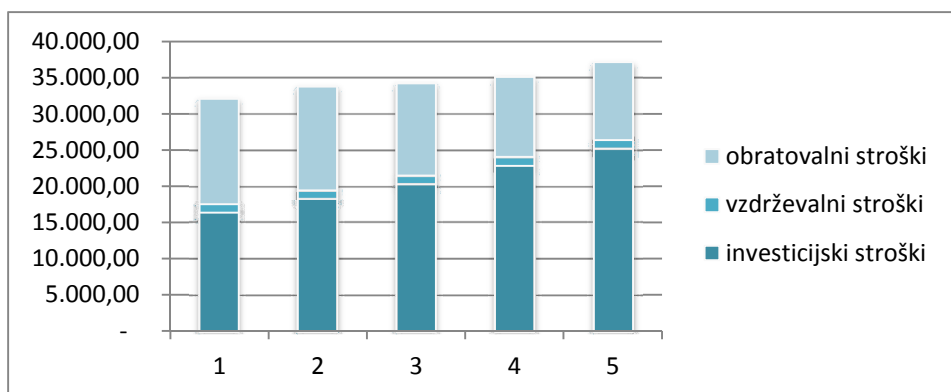
tip oken	1	2	3	4	5
stroški investicije (€)	16.298,00	18.335,25	20.372,50	22.919,06	25.261,90
stroški vzdrževanja (€)	1.157,78	1.157,78	1.157,78	1.157,78	1.157,78
stroški obratovanja (€)	8.921,53	8.825,24	7.761,53	6.565,96	6.788,19
Skupaj (€)	26.377,31	28.318,27	29.291,81	30.642,81	33.207,87



Slika 67: Minimalna NSV oken – Portorož, 7 % diskontna stopnja

Preglednica 64: NSV različnih tipov oken (7 % diskontna stopnja, Ljubljana)

tip oken	1	2	3	4	5
stroški investicije (€)	16.298,00	18.335,25	20.372,50	22.919,06	25.261,90
stroški vzdrževanja (€)	1.157,78	1.157,78	1.157,78	1.157,78	1.157,78
stroški obratovanja (€)	14.686,01	14.334,90	12.755,63	11.051,92	10.724,51
Skupaj (€)	32.141,79	33.827,93	34.285,91	35.128,76	37.144,19

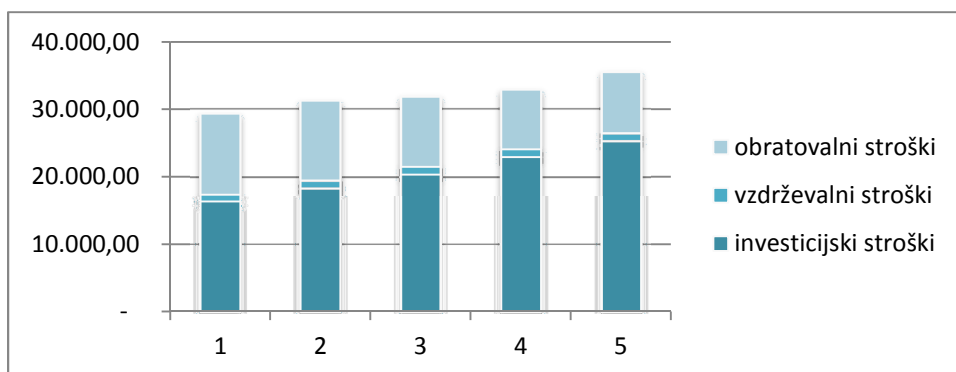


Slika 68: Minimalna NSV oken – Ljubljana, 7% diskontna stopnja

Kakor lahko vidimo na grafih, ki so prikazani na slikah 67 in 68, se stroški v 30-letnem življenjskem ciklusu oken stalno povečujejo. Kljub temu, da se zaradi boljših izolativnih lastnosti oken obratovalni stroški znižujejo, nikakor ne odtehtajo relativno velike investicijske stroške, ki so posledica vgradnje »kvalitetnejših« oken. Če analiziramo sliki 67 vidimo, da bodo optimalna okna za naš objekt okna, ki smo jih izbrali v izhodiščni varianti. V primeru, da upoštevamo 5 % diskontno stopnjo, pa dobimo sledeče rezultate:

Preglednica 65: NSV različnih tipov oken (5 % diskontna stopnja, Portorož)

tip oken	1	2	3	4	5
stroški obratovanja (€)	16.298,00	18.335,25	20.372,50	22.919,06	25.261,90
stroški vzdrževanja (€)	1.458,58	1.458,58	1.458,58	1.458,58	1.458,58
stroški investicije (€)	11.840,93	11.713,12	10.301,33	8.714,55	9.009,49
Skupaj (€)	29.597,51	31.506,95	32.132,42	33.092,19	35.729,97



Slika 68: Minimalna NSV oken – Portorož, 5% diskontna stopnja.

Rezultati so podobni kakor pri 7% diskontni stopnji, le da je razlika med izhodiščnim tipom oken in najbolj izolativnim tipom manjša. V vseh treh primerih so torej okna z dvojno zasteklitvijo iz stroškovnega vidika najboljša izbira.

5.9 Primerjava rezultatov

V izračunih smo tako pokazali, da optimalne debeline toplotne izolacije posameznega konstrukcijskega sklopa ne moremo natanko določiti, saj nanjo vpliva več parametrov, ki jih je težko natančno definirati. Pri različnih tipih oken se obratovalni stroški manjšajo v odvisnosti od toplotne izolativnosti, vendar se moramo na drugi strani zavedati, da so bolj izolativna okna dosti dražja.

Da bi lahko izbrali optimalno konfiguracijo stavbnega ovoja, smo tako tvorili 4 različne variante, ki se med seboj razlikujejo po debelini izolacije in tipu oken. Pri tem smo upoštevali posamezne optimalne debeline izolacije za analizirane primere »Portorož – 5% diskontna stopnja« in »Portorož – 7 % diskontna stopnja«, ki smo jih dobili s pomočjo LCC analize. V varianti 3 in 4 smo za primerjavo upoštevali okna tipa 4, ki med okni s trojno zasteklitvijo dosegajo (poleg oken tipa 3) najnižje stroške v življenjskem ciklusu. Potrebno energijo za ogrevanje pri različni konfiguraciji stavbnega ovoja prikazujemo v spodnji preglednici.

Preglednica 66: Optimalne variante izvedbe stavbnega ovoja

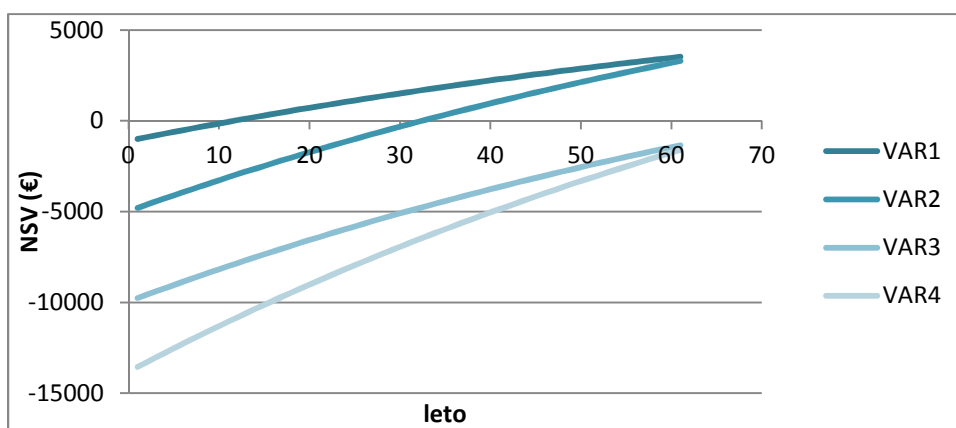
varianta	izolacija tal (cm)	izolacija fasade (cm)	izolacija strehe (cm)	tip oken	cena investicije (€)	razlika v investiciji (%)	Q_{NH}/A_u (kWh/m ² a)	razlika v porabi energije za ogrevanje (%)
izhodišče	16	15	16	1	40.085	0	44,68	0
varianta 1	12	22	30	1	41.182	2,7	39,2	-12,3
varianta 2	16	28	40	1	45.056	12,4	34,89	-21,9
varianta 3	12	22	30	4	47.803	19,3	34,49	-22,8
varianta 4	16	28	40	4	51.677	28,9	30,2	-32,4

Iz zgornje preglednice vidimo, da so razlike v porabi energije v odvisnosti od variante izvedbe ovoja kar opazne. V primeru variante 2 se potrebna energija za ogrevanje zmanjša za kar 21,9 % le na račun večje debeline fasadne in strešne izolacije. Ko pa uporabimo okna s trojno zasteklitvijo tipa 4 ter upoštevamo enako konfiguracijo toplotnoizolacijskega ovoja, kot pri varianti 2, stanje še nekoliko izboljšamo (zmanjšamo porabo energije še za dodatnih 10,5 %).

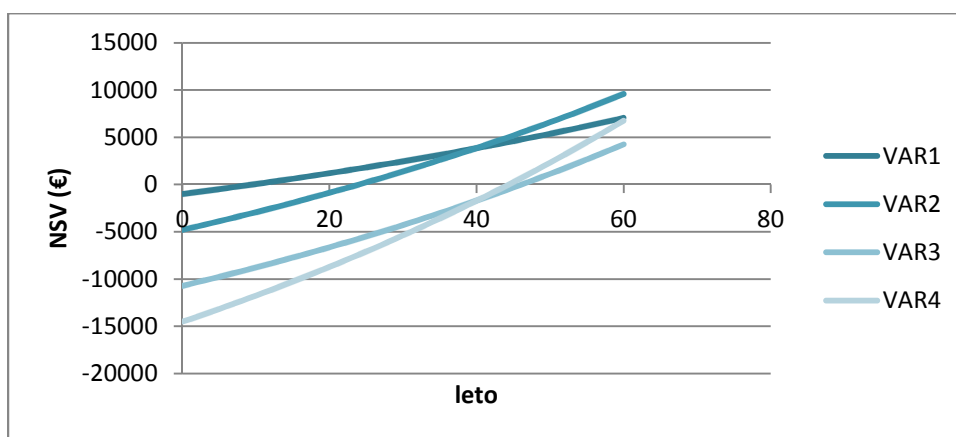
Da bi lahko določili najbolj primerno konfiguracijo izvedbe stavbnega ovoja glede na pričakovano 60-letno življenjsko dobo, rezultate v zgornji tabeli (letna potrebna energija za ogrevanje) pretvorimo v letne denarne prihranke in na podlagi diamične metode ocenjevanja investicije, ki smo jo predstavili v poglavju 5.1, določimo neto sedanjo vrednost celotnega stavbnega ovoja v 60-letnem obdobju. Ceno investicije smo ustrezno korigirali zaradi upoštevanja 60-letne dobe trajanja oken (predpostavimo, da jih po 30ih letih zamenjamo z enakimi). Ker v tem primeru prihranek energije opisujemo kot nek denarni zaslužek, bo najbolj idealna varianta izvedbe tista, ki nam v predvidenem 60-letnem obdobju da najvišjo neto sedanjo vrednost. V spodnji preglednici in slikah prikazujemo izračune v primeru 7 % diskontne stopnje in 5 % diskontne stopnje. Vrednost investicije opisujemo kot breme (odhodek) zato ima negativen predznak.

Preglednica 67: NSV različnih variant izvedbe stavbnega ovoja

diskontna stopnja	NSV (€) 60 let			
	VAR 1	VAR 2	VAR 3	VAR 4
7%	3529	3293	-1342	-1598
5%	7052	9588	4252	6752
diskontna doba vračanja 7% d.s. (leta)	10,5	31,3	\	\
diskontna doba vračanja 5% d.s. (leta)	9,5	23,1	46,0	44,1



Slika 69: NSV celota – 7% diskontna stopnja



Slika 70: NSV celota – 5% diskontna stopnja

Iz zgornjih rezultatov tako vidimo, da v obeh primerih upoštevane diskontne stopnje dobimo najvišjo neto sedanjo vrednost pri varianti 1 oziroma 2. V primeru upoštevanja 7 % diskontne stopnje se nam bo dodatno vložen denar v varianto izvedbe 2 povrnil v dobrih 31 letih, če pa upoštevamo 5 % diskontno stopnjo pa v 23ih letih. V primeru upoštevanja 7 % diskontne stopnje, varianti 3 in 4 nikoli ne dosežeta pozitivne neto sedanje vrednosti, zato se iz ekonomskih razlogov za tako investicijo ne bi nikoli odločili. V primeru 5 % diskontne stopnje pa VAR4 celo skoraj doseže vrednost VAR1. Tako lahko potrdimo, da izbrane optimalne debeline toplotne izolacije, ki smo jo določili na podlagi LCC analize za posamezni konstrukcijski sklop, veljajo tudi pri obravnavanju stavbnega ovoja kot celota. Sodeč po zgornjih rezultatih, bi tako bila najbolj smiselna izvedba stavbnega ovoja varianta 1 oziroma 2.

6 ZAKLJUČEK

Diplomsko delo smo pričeli tako, da smo skladno z željami investitorja in omejitvami iz prostorskih aktov stavbo ustrezno umestili v prostor. Upoštevali smo njegove želje, da se zemljišče, ki je na razpolago za gradnjo, maksimalno izkoristi. Nato je arhitekt zasnoval tri enodružinske vrstne hiše. Ker smo v sami zasnovi objekta sodelovali tako arhitekti, kot gradbeniki, v nadaljnji statični analizi ni bilo nobenih potreb po spremembi predvidene nosilne konstrukcije. Na tak način smo se izognili morebitni dodatni spremembi prostorov na primer zaradi postavitve dodatnih nosilnih elementov. Morda bi v našem primeru lahko zaradi enostavnosti objekta, sodelovanje različnih strok izpustili, vendar če ta problem prenesemo na zahtevnejšo raven (kompleksnejša, večja zgradba), je sodelovanje gradbenikov in arhitektov neizbežno in predstavlja edini način pri katerem bo projektiranje potekalo bolj gladko.

Pri statični analizi smo nosilno konstrukcijo razdelili na vertikalne in horizontalne sklope in vsakega analizirali ločeno ter seveda upoštevali medsebojne ter zunanje vplive na posamezno konstrukcijo. Ploskovne nosilne elemente (streha, medetažna plošča, temeljna plošča) smo modelirali v računalniškem programu SAP 2000 (Computers & Structures, INC.). Z omenjenim programom sem se tekom študija že večkrat srečal, zato mi uporaba le-tega ni delala težav. Dimenzioniranje potrebne armature v armiranobetonskih elementih smo prikazali s »pešč« izračunom, razporeditev le-te pa smo prikazali v priloženih armaturnih načrtih. Izdelava armaturnih načrtov je zahtevala nekaj več časa, saj sem se s programom ArmCAD 2005 (Radimpex), s katerim smo jih izdelali, srečal prvič. V statični analizi objekta smo upoštevali vsa načela Evrokodov in skladno z njimi dimenzionirali naš objekt.

V drugem delu diplomskega dela, smo na podlagi analize rabe energije za obratovanje stavb, ki smo jo izvedli s programom TOST, prišli do zaključka, da je toplotnoizolacijski ovoj objekta korektno zasnovan. Od vrednosti maksimalne letne potrebne toplote za ogrevanje, določene v PURES 2010, je naša izračunana vrednost manjša za 7 %. V primeru da bi bile hiše grajene v Ljubljani, pa prej omenjeno vrednost iz pravilnika presežemo za 7,6 %. Takšna razlika nastane zaradi klimatskih karakteristik Portoroža oziroma Ljubljane, kjer so zaradi večjega letnega temperaturnega primanjkljaja ustrezno večje potrebe po energiji za ogrevanje. Kljub temu, da v primeru lociranja stavbe v Ljubljano vrednosti iz pravilnika presežemo, je energijska učinkovitost po PURES 2010 dosežena tudi, če je delež končne energije za ogrevanje in hlajenje stavbe ter pripravo tople vode najmanj 50 % pridobljen iz toplote okolja. V primeru uporabe omenjene toplotne črpalke temu kriteriju zadostimo. Zanimivo je tudi, da je enačba (4.4a) iz pravilnika [9], ki določa maksimalno dovoljeno letno toploto za ogrevanje v primeru apliciranja na objekt, ki se nahaja na slovenski obali, zelo stroga. Za enako stavbo tako dobimo v primeru lociranja v Portorožu maksimalno dovoljeno vrednost 48,13 kWh/m²a, če pa jo postavimo v Ljubljano, pa 63,88 kWh/m²a. Pri majhnem oblikovnem faktorju stavbe za referenčno klimo Portoroža bi se tako zgodilo, da bi bila maksimalna dovoljena letna energija za ogrevanje lahko celo manjša od 15 kWh/m²a, kar je zelo težko doseči brez vgradnje prezračevalnih sistemov z možnostjo rekuperacije toplote.

Izboljšave izhodiščnega stanja smo se lotili sistematično. Zanimalo nas je, kako učinkoviti smo lahko pri izboljšanju energetskih karakteristik stavbe na račun dodajanja toplotne izolacije stavbnega ovoja. Z upoštevanjem celotnih stroškov v življenjskem ciklusu posameznega konstrukcijskega sklopa smo prišli do zaključka, da je debelina toplotno izolacijskega ovoja stavbe premajhna (pod predpostavko, da se cena energije ne bo bistveno spreminjala ali da bo energija na voljo). V 60-letni življenjski dobi fasade na primer, bi bilo smiselno vgraditi 22 cm debelo plast toplotne izolacije, da bi v

predpostavljeni, življenjski dobi dosegli minimalne stroške. Ta debelina izolacije pa se razlikuje za kar 7 cm od izbrane debeline fasadne izolacije (15cm). V primeru, da bi bile hiše grajene na območju Ljubljane in ob upoštevanju enake življenjske dobe fasade, pa pridemo do ugotovitve, da je najbolj primerna debelina toplotne izolacije 26 cm. Če pa upoštevamo nižjo diskontno stopnjo (5%), se izkaže kot najbolj racionalna debelina fasadne izolacije 28 cm. Do podobnih ugotovitev pridemo pri izolaciji spuščenege stropa. Tudi v tem primeru je v izhodišču izbrana tanjša debelina toplotne izolacije od optimalne za predvideno življenjsko dobo 60 let. Konkretno, se najnižji stroški v življenjskem ciklusu dosežejo z vgradnjo 30 cm debelega sloja termo izolacije. Takšne velike razlike v debelini izolacije pa so posledica relativno nizke nabavne vrednosti mineralne volne. Do večjih debelin pa pridemo pri upoštevanju nižje diskontne stopnje in spremembe lokacije, kjer pridemo do ugotovitve, da je še smiselno vgraditi 40 cm in več debele sloje termoizolacije. Pri talni izolaciji se zgodi zanimiv pojav. Kljub dolgi življenjski dobi, se tako v izhodiščnem primeru, kakor v primeru lociranja objekta na območju Ljubljane ter v primeru nižje diskontne stopnje, stroški v življenjskem ciklusu skoraj konstantno povečujejo. Minimalno vrednost tako dosežemo pri nižji debelini izolacije, kakor tisti, ki jo predvidimo. To se zgodi zaradi razmeroma dragih toplotnoizolacijskih plošč XPS, ki jih namestimo pod temeljno ploščo. Vsak dodatni centimeter take izolacije podraži izhodiščno ceno investicije izolacije tal za 4,5 %. Takšni stroški pa ne odtehtajo stroškov ogrevanja, ki počasi padajo z večanjem debeline izolacije, zato je najmanjša vrednost v življenjskem ciklusu dosežena pri tanjši debelini XPS plošč in sicer, 8 cm oziroma 10 cm v primeru, da bi bil objekt lociran v Ljubljani in 12 cm v primeru upoštevanja 5 % diskontne stopnje.

Pri določevanju optimalnega tipa oken za našo stavbo smo prišli do zelo zanimivih ugotovitev. Izkazalo se je, da bodo minimalni stroški v življenjskem ciklusu doseženi že z najbolj poceni tipom oken z dvoslojno zasteklitvijo, vgradnja bolj izolativnih in posledično dražjih se izkaže na daljši rok kot neracionalna. Pri izbiri zasteklitve je potrebno biti pozoren. Vsaka intervencija v okviru zasteklitev, ki zmanjša prenos toplote navzven, žal tudi povzroči zmanjšanje transmisije sončnega sevanja v prostor. Raziskave so tako dokazale, da se na račun trojne zasteklitve z boljšo toplotno izolativnostjo, poleg faktorja g ki vpliva na količino sončnih dobitkov, zmanjša tudi povprečna letna osvetljenost prostorov, kar posledično poslabša bivalne razmere [11].

Na račun optimizirane variante stavbnega ovoja (VAR 2) smo tako uspeli znižati porabo energije za ogrevanje in doseči boljšo razvrstitev na energetske lestvice z ekonomsko racionalnimi rešitvami. Iz prejšnjega razreda C (35-60 kWh/m²a), smo prešli na razred B2 (25-35 kWh/m²a). V vsakem primeru zadovoljimo kriterijem tako oglaševane »nizkoenergijske hiše«, ki naj bi na leto za ogrevanje potrebovala manj kot 50 kWh/m²a.

V nalogi smo tako pokazali, da je objekt iz energetskega vidika zasnovan skladno s pravilnikom [13], in zadovoljuje vsem kriterijem iz tehnične smernice [19]. Ugotovili smo, da točne optimalne debeline toplotne izolacije ne moremo določiti, saj je odvisna od cen energentov, toplotnih izgub objekta, cene toplotne izolacije, diskontne stopnje ter pričakovane življenjske dobe objekta. Vendar zagotovo lahko potrdimo, da je v primeru, ko gradimo za daljši rok (trajnostna gradnja), smiselno tako iz ekonomskega, kot iz okoljevarstvenega vidika vgraditi večje debeline toplotnih izolacij, kakor je predpisano v sedanjem pravilniku [10].

VIRI

Standardi:

[1-1] SIST EN 1991-1-1:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije. 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb; z nacionalnim dodatkom SIST EN1991-1-1:2004/A101.

[1-3] SIST EN 1991-1-3:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije. 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega; z nacionalnim dodatkom SIST EN 1991-1-3:2004/A101 (januar 2008).

[1-4] SIST EN 1991-1-4:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije. 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra; z nacionalnim dodatkom SIST EN 1991-1-4:2005/A101 (oktober 2007).

[2] SIST EN 1992-1-1:2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij. 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe; z nacionalnim dodatkom SIST EN 1992-1-1:2005/A101 (marec 2006).

[3] SIST EN 1996-1-1: 2006, Evrokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila za armirano in nearmirano zidovje. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo:123 str.

[4] SIST EN 1997-1:2005. Evrokod 7: Geotehnično projektiranje. 1. del: Splošna pravila; z nacionalnim dodatkom SIST EN 1997-1:2005/A101 (marec 2006).

[5] SIST EN 1998-1: 2006 – Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo: 188 str.

[6] SIST EN 1998-1: 2005/A101, Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo: 11 str.

Uporabljeni viri:

[7] Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.) 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po standardih Evrokod. Ljubljana, Inženirska Zbornica Slovenije: 1077 str.

[8] Delovanje TČ. 2012. <http://www.ekoenergija.eu> (Pridobljeno 25.11.2012.)

[9] Diskontna stopnja. 2012. <http://www.ciseco.it> (Pridobljeno 25.11.2012.)

[10] Ekonomična debelina toplotne izolacije v stavbnem ovoju. 2012.
<http://knaufinsulation.si/sites/si.knaufinsulation.emakina.net/files/ekonomicna-debelinaTIImaj2012.pdf>
(Pridobljeno 10.10.2012.)

[11] Krainer, Košir, Kristl, Dovjak. Pasivna hiša proti bioklimatski hiši = Passive house versus bioclimatic house. Gradb. vestn. 57, 3 : 58-68.

[12] Operativni program rabe lesne biomase kot vira energije. 2012.
http://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Ftia.urs.si%2Fviri%2FOP_enles_koncno.doc&ei=FO3pUOqaKczKsga0iYGGDA&usg=A

FQjCNEqx6RbYvK4PP8LZNCsIcVUPXe1OA&bvm=bv.1355534169,d.Yms (Pridobljeno 21.11.2012.)

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

[14] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaje energetskih izkaznic stavb. Uradni list RS št. 77/2009.

[15] Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 69/03.

[16] Program za izračun azimuta in dvižnega kota sonca. 2012.

<http://keisan.casio.com/has10/SpecExec.cgi?id=system/2006/1224682277> (Pridobljeno 22.12.2012.)

[17] Rogač R., Saje F. 1989. Priročnik za dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, VTOZD Gradbeništvo in geodezija, Katedra za masivne in lesene konstrukcije: 361 str.

[18] Schöck sistemi. 2012. <http://www.schoeck.si/sl/proizvodi/horizontalno-izstopajo-e-komponente-7> (Pridobljeno 31.11.2012.)

[19] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor.

[20] Toplotna bilanca. 2012. <http://fizika.sc-nm.si> (Pridobljeno 25.11.2012.)

[21] Topla voda. 2012. <http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT133.htm> (Pridobljeno 22.12.2012.)

[22] Zgodovina turizma in hotela Palace. 2012. <http://www.ick.si/PDF/Palace.pdf> (Pridobljeno 25.11.2012.)

Ostali viri:

[23] Košir, Krainer, Kristl. Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010 = Building insolation analysis in accordance to PURES 2010. Gradb. vestn. 61, 8 : 183-193.

[24] Krainer, Predan. 2009. Računalniški program (TED) za analizo toplotnega prehoda, toplotne stabilnosti in difuzije vodne pare skozi večplastne KS. Ljubljana, UL FGG.

[25] Krainer, Predan. 2009. Računalniški program (TOST) za izračun podatkov, potrebnih za končno poročilo oziroma dokaz o ustreznosti toplotne zaščite stavbe. Ljubljana, UL FGG.

[26] Kunič, Krainer. Ekonomična debelina slojev toplotnih izolacij v kontaktno-izolacijskih fasadah obodnih sten = Economical thickness of thermal insulation layers in etics facade systems. Gradb. vestn. 58, 12 : 306-311.

[27] Materiali za izolacije. 2012. <http://www.fragmat.si/slo/index.htm> (Pridobljeno 12. 12. 2012.)

[28] Mirtič, M. 2009. Prenova večstanovanjske stavbe z vidika stroškovne analize življenjskega cikla objekta (LCC)« Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Mirtič): 93 str.

[29] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS št. 42/2002.

[30] Program za izdelavo armaturnih načrtov. 2012.

http://www.zeia.si/radimpex/armcad/armcad_2005.html (Pridobljeno 8. 12. 2012.)

[31] Stavbno pohištvo. 2012. <http://www.ajm.si/katalogi-in-ceniki/ceniki/> (Pridobljeno 12. 12. 2012.)

[32] Varčne sijalke. 2012. http://sl.wikipedia.org/wiki/Kompaktna_fluorescentna_sijalka (Pridobljeno 22.12.2012.)

PRILOGE

- 7.1 ARHITEKUTRA - TLORIS PRITLIČJA
- 7.2 ARHITEKTURA - TLORIS NADSTROPJA
- 7.3 ARHITEKTURA - VZDOLŽNI PREREZ
- 7.4 ARHITEKTURA – PREČNI PREREZ
- 7.5a ARMATURNI NAČRT TEMELJNE PLOŠČE – pozitivna armatura
- 7.5b ARMATURNI NAČRT TEMELJNE PLOŠČE – negativna armatura
- 7.5c RAZREZ MREŽ - TEMELJNA PLOŠČA
- 7.5d SPECIFIKACIJA ARMATURE – TEMELJNA PLOŠČA
- 7.6a ARMATURNI NAČRT MEDETAŽNE PLOŠČE – pozitivna armatura
- 7.6b ARMATURNI NAČRT MEDETAŽNE PLOŠČE – negativna armatura
- 7.6c RAZREZ MREŽ - MEDETAŽNA PLOŠČA
- 7.6d SPECIFIKACIJA ARMATURE – MEDETAŽNA PLOŠČA
- 7.7 ARMATURNI NAČRT STOPNIC
- 7.8a AMRATURNI NAČRT STREŠNE PLOŠČE
- 7.8b SPECIFIKACIJA ARMATURE – STREŠNA PLOŠČA