

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:

Erklavec, K. 2012. Projektiranje in ocena požarne odpornosti izoliranega AB stebra v večetažni poslovni stavbi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Bratina, S., somentor Hozjan, T.): 75 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:

Erklavec, K. 2012. Projektiranje in ocena požarne odpornosti izoliranega AB stebra v večetažni poslovni stavbi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Bratina, S., co-supervisor Hozjan, T.): 75 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

VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

KLEMEN ERKLAVEC

**PROJEKTIRANJE IN OCENA POŽARNE ODPORNOSTI
IZOLIRANEGA AB STEBRA V VEČETAŽNI POSLOVNI
STAVBI**

Diplomska naloga št.: 470/KS

**DESIGN AND ASSESMENT OF FIRE RESISTANCE OF
ISOLATED RC COLUMN IN A MULTI-STOREY
OFFICE BUILDING**

Graduation thesis No.: 470/KS

Mentor:

doc. dr. Sebastjan Bratina

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Tomaž Hozjan

Član komisije:

prof. dr. Matjaž Četina
prof. dr. Jožef Peternej

Ljubljana, 25. 10. 2012

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



STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Klemen Erklavec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:

**PROJEKTIRANJE IN OCENA POŽARNE ODPORNOSTI IZOLIRANEGA AB STEBRA V
VEČETAŽNI POSLOVNI STAVBI**

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

Izjavljam, da dovljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Domžale, 2012

Klemen Erklavec

IZJAVA O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.012.45:699.81(043.2)
Avtor:	Klemen Erklavec
Mentor:	doc. dr. Sebastjan Bratina, univ. dipl. ing. grad.
Somentor:	asist. dr. Tomaž Hozjan, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Projektiranje in ocena požarne odpornosti izoliranega AB stebra v večetažni poslovni stavbi
Tip dokumenta:	diplomska naloga
Obseg in oprema:	75 str., 21 pregl., 51 sl., 66 en.
Ključne besede:	požarna odpornost, AB steber, požarne krivulje, poenostavljene računske metode, OZone, požarni scenarij, temperatura

Izveček:

V diplomski nalogi se ukvarjamo s projektiranjem armiranobetonskega stebra v pogojih normalne uporabe in v pogojih požara. Obravnavan steber se nahaja v pritličju večetažne poslovne stavbe. Stebri so v višini stropov med seboj povezani z armiranobetonskimi gredami in tvorijo prostorske armiranobetonske okvire. Okviri pa skupaj s stenami predstavljajo konstrukcijske sisteme za prenos obtežbe v navpični in vodoravni smeri. Ugotovimo, da je togost stebrov v vodoravni smeri v primerjavi s togostjo sten zanemarljiva, zato predpostavimo, da stebri sodelujejo le pri prevzemu navpične obtežbe, pri prevzemu vodoravne obtežbe zaradi vpliva vetra in potresa pa ne sodelujejo. Najprej steber projektiramo na osno in strižno obremenitev v pogojih normalne uporabe. Pri dimenzioniranju moramo upoštevati učinke teorije drugega reda. V nadaljevanju steber projektiramo še v pogojih požara. Določimo ustrezen projektni požar. Požarno odpornost armiranobetonskega stebra ocenimo z uporabo tabeliranih vrednosti. Ugotovimo, da je požarna odpornost stebra s prečnim prerezom 40/40 cm glede na kriterij nosilnosti R 120, stebra s prerezom 35/35 cm R 90, stebra s prerezom 30/30 cm pa R 60.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.012.45:699.81(043.2)
Author: Klemen Erklavec
Supervisor: Assist. Prof. Sebastjan Bratina, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. Prof. Tomaž Hozjan, Ph. D.
Title: Design and assessment of fire resistance of isolated RC column in a multi-storey office building
Document type: B.Sc. Thesis
Notes: 75 p., 21 tab., 51 fig., 66 eq.
Key words: fire resistance, RC column, fire curves, simplified calculation methods, ozone, fire scenario, temperature

Abstract:

The B.Sc. Thesis deals with the design of reinforced concrete column under conditions of normal use and under conditions of fire. The treated column is located in the ground floor of a multi-storey office building. At the ceiling height the columns are interconnected with reinforced concrete beams and form reinforced concrete spatial frames. Frames together with the walls represent structural systems for the transfer of loads in vertical and horizontal directions. It is determined that the stiffness of columns in the horizontal direction is compared to the rigidity of the walls negligible, so we assume that columns are only involved in taking vertical loads, while the takeover of the load due to the effect of wind and earthquake is not involved. First, we designed a column to axial and shear loads in normal conditions of use. For the design we must take into account the effects of second-order theory. The appropriate design in case of fire. Fire resistance of reinforced concrete column is estimated using tabulated values. It is determined that the fire resistance of the column cross-section of 40/40 cm according to the criterion load is R 120, of column cross-section 35/35 cm is R 90 and column with section 30/30 cm is R 60.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Sebastjanu Bratini in somentorju asist. dr. Tomažu Hozjanu za vso strokovno razlago, vzet čas in napotke pri izdelavi diplomske naloge.

Lepo se zahvaljujem svojim staršem, ki so mi bili v pomoč in podporo tekom celotnega študijskega obdobja.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
2	ZASNOVA VEČETAŽNE POSLOVNE STAVBE	3
2.1	Opis nosilne konstrukcije stavbe	3
2.2	Arhitektura.....	4
2.2.1	Tlorisi in prerezi	4
2.2.2	3D model v programu Allplan 2011	6
3	VPLIVI NA KONSTRUKCIJO	8
3.1	Lastna teža	8
3.1.1	Ravna pohodna streha.....	9
3.1.2	Stropna konstrukcija	9
3.1.3	Nenosilna predelna stena	10
3.2	Koristna obtežba	11
3.2.1	Pohodna streha.....	11
3.2.2	Stropna konstrukcija	11
3.3	Obtežba snega.....	11
3.4	Vpliv vetra in potresni vpliv	13
4	RAČUN OBREMENITEV KONSTRUKCIJE.....	14
4.1	Račun navpične obtežbe na AB okvire.....	14
4.1.1	Okvir v smeri osi Y (OK1)	14
4.1.1.1	Vplivne površine.....	15
4.1.1.2	Lastna teža na okviru	18
4.1.1.3	Koristna obtežba na okviru	18
4.1.1.4	Obtežba snega na okviru.....	19
4.1.2	Okvir v smeri osi X (OK2)	19
4.1.2.1	Vplivne površine.....	20
4.1.2.2	Lastna teža na okviru	22
4.1.2.3	Koristna obtežba na okviru	22
4.1.2.4	Obtežba snega na okviru.....	23
4.2	Račun projektnih obremenitev v okviru	23

4.2.1	Kombinacija vplivov za stalna projektna stanja (osnovne kombinacije).....	24
4.2.1.1	Okvir OK1.....	24
4.2.1.2	Okvir OK2.....	26
4.2.2	Kombinacija vplivov za nezagodna projektna stanja.....	27
4.2.2.1	Okvir OK1.....	27
4.2.2.2	Okvir OK2.....	29
5	PROJEKTIRANJE AB STEBRA V POGOJIH NORMALNE UPORABE.....	30
5.1	Krovni sloj betona.....	30
5.2	Mejna stanja nosilnosti v pogojih normalne uporabe.....	31
5.3	Dimenzioniranje stebra na osno obremenitev	31
5.3.1	Kriterij vitkosti izoliranega stebra.....	31
5.3.2	Vitkost in uklonska dolžina izoliranih elementov.....	33
5.3.3	Analiza stebra z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.....	36
5.3.4	Poenostavljena metoda, ki temelji na nazivni ukrivljenosti.....	36
5.3.5	Projektiranje vzdolžne armature stebra.....	40
5.4	Dimenzioniranje stebra na strižno obremenitev.....	43
6	PROJEKTIRANJE AB STEBRA V POGOJIH POŽARA	44
6.1	Splošno.....	44
6.2	Požarni scenarij in ustrezen projektni požar	45
6.2.1	Nazivne požarne krivulje	46
6.2.1.1	Standardna krivulja temperatura-čas.....	46
6.2.1.2	Ogljikovodikova krivulja	47
6.2.1.3	Požarna krivulja zunanjega požara.....	47
6.2.2	Parametrične požarne krivulje.....	48
6.2.2.1	Parametrična krivulja temperatura-čas po SIST EN 1991-1-2.....	48
6.2.2.2	Račun parametrične krivulje temperatura-čas skladno z dodatkom A.....	54
6.2.2.3	Račun parametrične krivulje temperatura-čas s programom OZone.....	58
6.2.3	Enakovreden čas izpostavljenosti požaru.....	60
6.2.4	Zahteve požarne odpornosti skladno s tehnično smernico.....	62
6.3	Ocena požarne odpornosti stebra s tabeliranimi vrednostmi	63
6.3.1	Splošno.....	63
6.3.2	Metoda A.....	63

6.3.2.1	Projektna osna sila v stebri v pogojih požara.....	64
6.3.2.2	Požarna odpornost tlačno obremenjenega stebra.....	66
6.3.3	Metoda B	71
7	ZAKLJUČEK	75
	VIRI	76

KAZALO SLIK

Slika 1: Tloris tipične etaže.	4
Slika 2: Tloris toge kleti.	4
Slika 3: Prerez P1.	5
Slika 4: Prerez P2.	5
Slika 5: Pogled s SZ strani.....	6
Slika 6: Pogled s JZ strani.	6
Slika 7: Pogled preko prereza A-A.....	7
Slika 8: Pogled preko prereza B-B.	7
Slika 9: Sestava pohodne strehe.	9
Slika 10: Seastava stropne konstrukcije.	9
Slika 11: Tloris tipične etaže z predelnimi stenami.....	10
Slika 12: Obtežba snega na tleh na nadmorski višini $A = 0$ m.....	12
Slika 13: Pozicija okvirja in obravnavanega stebra.....	14
Slika 14: Računski model okvira OK1.....	15
Slika 15: Vplivne površine za okvir OK1.	15
Slika 16: Razporeditev lastne teže na okviru OK1.....	18
Slika 17: Razporeditev koristne obtežbe na okviru OK1.	18
Slika 18: Razporeditev obtežbe snega na okviru OK1.	19
Slika 19: Računski model okvira OK2.....	19
Slika 20: Vplivne površine na OK1.....	20
Slika 21: Razporeditev lastne teže na okviru OK2.....	22
Slika 22: Razporeditev koristne obtežbe na okviru OK2.	22
Slika 23: Razporeditev obtežbe snega na okviru OK2.	23
Slika 24: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.	24
Slika 25: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.	25
Slika 26: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.....	25
Slika 27: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.	26
Slika 28: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.	26
Slika 29: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.....	26
Slika 30: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).	27
Slika 31: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).	28
Slika 32: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).....	28

Slika 33: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).....	29
Slika 34: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).....	29
Slika 35: Projektne vrednosti upogibnim momentov M_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).	29
Slika 36: Različne uklonske oblike in uklonske dolžine izoliranih elementov	33
Slika 37: Steber 40/40 cm z izbrano vzdolžno armaturo.....	40
Slika 38: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 40/40 cm v dveh glavnih smereh.	41
Slika 39: Steber 35/35 cm z izbrano vzdolžno armaturo.....	41
Slika 40: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 35/35 cm v dveh glavnih smereh.	42
Slika 41: Steber 30/30 cm z izbrano vzdolžno armaturo.....	42
Slika 42: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 30/30 cm v dveh glavnih smereh.	43
Slika 43: Razvoj naravnega požara po fazah.....	45
Slika 44: Standardna krivulja temperatura-čas.....	46
Slika 45: Ogljikovodikova krivulja.	47
Slika 46: Požarna krivulja zunanjega požara.	48
Slika 47: Geometrija požarnega sektorja.....	54
Slika 48: Parametrična krivulja v primerjavi s standardno krivuljo.....	57
Slika 49: Primerjava dveh parametričnih krivulj.	58
Slika 50: Primerjava parametričnih krivulj po Buchananu, Evrokodu in OZone.	59
Slika 51: Naraščanje povprečne temperature v stebru 40/40 cm med standardnim požarom.	66

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obremenitve stebra v pogojih normalne uporabe z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.	40
Preglednica 2: Stopnja rasti požara RHR_f za različne nastanitve.....	51
Preglednica 3: Nevarnost nastanka požara δ_{q1}	52
Preglednica 4: Nevarnost nastanka požara δ_{q2}	52
Preglednica 5: Aktivni ukrepi za preprečevanje požara	52
Preglednica 6: Gostota požarne obtežbe $q_{f,k}$ [MJ/m ²] za različne rabe.....	53
Preglednica 7: Osnovni podatki požarnega sektorja.....	55
Preglednica 8: Parametri parametrične krivulje.	55
Preglednica 9: Izračun projektne vrednosti gostote požarne obremenitve.	56
Preglednica 10: Izračun faktorja toplotne absorbtivnosti b	57
Preglednica 11: Korekcijski faktor k_c	60
Preglednica 12: Faktor pretvorbe k_b v odvisnosti b	60
Preglednica 13: Enakovreden čas izpostavljenosti požaru.	61
Preglednica 14: Požarna odpornost nosilne konstrukcije	62
Preglednica 15: Najmanjše dimenzije stebrov in osne oddaljenosti armature.....	63
Preglednica 16: Projektna osna odpornost stebra N_{Rd} za različne dimenzije stebrov.....	64
Preglednica 17: Povprečna temperatura v stebru med standardnim požarom za različne dimenzije stebrov.	65
Preglednica 18: Osne sile $N_{0,Ed,fi}$ pri kombinaciji vplivov za nezgodna projektna stanja.	66
Preglednica 19: Požarna odpornost R za različne dimenzije stebrov.	71
Preglednica 20: Najmanjša dimenzija stebra in osna oddaljenost armature.....	71
Preglednica 21: Projektne vrednosti osne sile $N_{0,Ed,fi}$ v stebru v pogojih požara pri času 30 minut.	72

1 UVOD

Nosilno konstrukcijo stavbe običajno sestavljajo vodoravni in navpični nosilni elementi. Vodoravni nosilni elementi, to je streha, stropovi in stopnice, so v glavnem obremenjeni z obtežbo v prečni smeri – navpično obtežbo. Vertikalni nosilni elementi, to so stebri, prostorski okviri in samostojne ali povezane stene z ali brez odprtin, pa prenašajo obtežbo s stropov do temeljev. V glavnem so tlačno obremenjeni. Konstrukcija mora biti poleg navpične obtežbe sposobna prenašati tudi obtežbo v vodoravni smeri zaradi vpliva vetra in potresa. Vodoravno obtežbo prevzamejo vertikalni nosilni elementi. Ti so v višini etaž med seboj povezani s stopovi oziroma streho. Zato morajo imeti stropovi zadostno togost v svoji ravnini, da lahko razporedijo vodoravne sile na navpične elemente. To pomeni, da so vertikalni nosilni elementi tudi upogibno obremenjeni.

V masivni stavbi so nosilni elementi iz betona. Beton je kompozitni material, pri katerem je mineralni agregat polnilo v matrici iz cementnega kamna. Za mnoge je beton neuničljiv in zelo trden material. Vendar omenjena predpostavka velja le delno. Znano je, da beton zelo dobro prenaša tlačne obremenitve, zelo slabo pa prenaša natezne obremenitve. V splošnem znaša natezna trdnost betona le 10 % njegove tlačne trdnosti. Zato beton ojačamo z jeklom tako da dobimo armiran beton (ali krajše AB). V tem primeru natezne obremenitve v betonu prevzame armatura.

Beton ohranja dobre mehanske lastnosti tudi pri povišanih temperaturah. To je posledica njegove velike mase in velike specifične toplote ter relativno slabe toplotne prevodnosti. Veliko bolj kot beton pa je na povišano temperaturo občutljiva armatura. Poleg zmanjšanja trdnosti povišana armatura povzroči tudi izrazito povečanje deformacij. Pri tlačno obremenjenih betonskih elementih pa se lahko srečamo še s pojavom eksplozivnega luščenja betona, ki znatno zmanjša odpornost elementa v pogojih požara.

V okviru diplomske naloge se ukvarjamo s projektiranjem AB stebra v pogojih normalne uporabe oziroma v pogojih požara. Glede na izbrano zasnovo nosilne konstrukcije obravnavane stavbe predpostavimo, da stebri sodelujejo le pri prevzemu navpične obtežbe, pri prevzemu vodoravne obtežbe zaradi vpliva vetra in potresa pa ne sodelujejo. Izkaže se, da moramo pri dimenzioniranju tlačno obremenjenega AB stebra v pogojih normalne uporabe upoštevati tudi učinke teorije drugega reda. Pri projektiranju AB stebra v pogojih požara eksplozivno luščenje zanemarimo. Požarno odpornost stebra ocenimo z uporabo tabeliranih vrednosti.

Diplomska naloga ima poleg uvoda še šest poglavij. V drugem poglavju predstavimo nosilno konstrukcijo obravnavane masivne stavbe, v tretjem poglavju pa vplive, ki delujejo na konstrukcijo. V

četrtem poglavju izvednotimo obremenitve v obravnavanem AB stebru. V petem poglavju steber projektiramo v pogojih normalne uporabe, v šestem poglavju pa v pogojih požara. Na koncu podajamo zaključke.

2 ZASNOVA VEČETAŽNE POSLOVNE STAVBE

Obravnavamo večetažno poslovno stavbo, ki ima poleg kleti še pritličje, 1. in 2. nadstropje. Predpostavimo, da se stavba nahaja na območju Ljubljane, na nadmorski višini cca. 300 m. Dolžina stavbe je 25,20 m, širina 13,80 m, višina nad nivojem terena pa 15,30 m. Nivo površine kleti se nahaja 2,5 m pod nivojem zunanjega terena. Višina kletne etaže, ki je zaradi obodnih in notranjih sten toga, je 3,0 m, višina pritličja, 1. in 2. nadstropja pa je 4,0 m. Višina dela stavbe, ki omogoča izhod na streho – pohodno teraso, je 2,80 m.

2.1 Opis nosilne konstrukcije stavbe

Nosilne elemente stavbe razdelimo na vodoravne in vertikalne nosilne elemente. Vodoravni nosilni elementi obravnavane stavbe so ravna streha nad stopnišnim jedrom, ravna streha nad 2. nadstropjem ter stropne konstrukcije nad kletjo, 1. in 2. nadstropjem. Vse stropne konstrukcije so izvedene kot polne AB plošče, debeline 16 cm. V območju stopnišča se v vsaki etaži nahajajo še dvoramne AB stopnice z vmesnim AB podestom. Vertikalni nosilni elementi, ki prenašajo obtežbo s stropov do temeljev, so AB stebri, ki skupaj z AB gredami tvorijo prostorske okvire, ter AB stene. Vertikalni nosilni elementi so razporejeni v raster na medsebojni oddaljenosti 3,9 m, 4,8 m in 5,7 m. Vsi stebri so kvadratnega prečnega prereza začetnih dimenzij 40/40 cm in potekajo neprekinjeno od nivoja stropa kleti do vrha stavbe. Grede v višini stropov v vzdolžni in prečni smeri stavbe so pravokotnega prečnega prereza, dimenzij 30/40 cm. Vse stene so debeline 30 cm in prav tako potekajo neprekinjeno po višini stavbe. Toga klet sestoji iz betoske plošče na nivoju stropa kleti, temeljnih nosilcev na nivoju temelja in obodnih in notranjih AB sten kleti. V analizi predpostavimo, da so vertikalni nosilni elementi (AB okviri in stene), vpeti v togo klet.

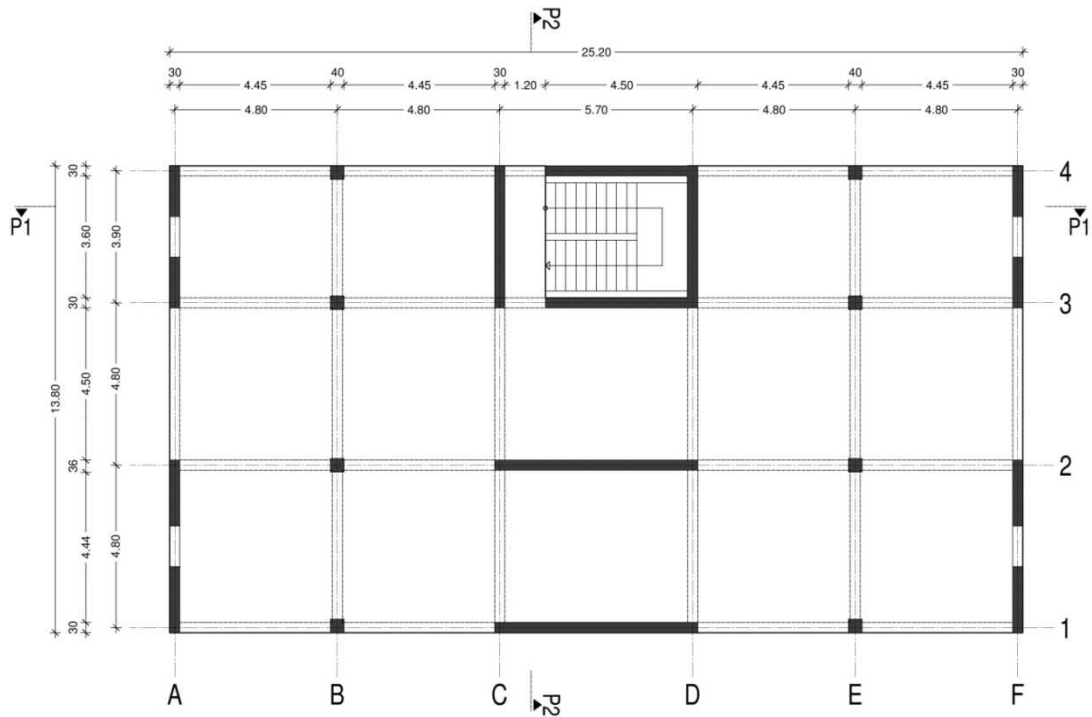
Konstrukcija mora biti sposobna prenašati tudi obtežbo v vodoravni smeri zaradi vpliva vetra in potresa. Vodoravno obtežbo prevzamemo z vertikalnimi nosilnimi elementi, ki so v višini etaž medseboj povezani s stopovi oziroma streho. Stropovi morajo imeti zadostno togost v svoji ravnini, da lahko razporedijo vodoravne sile na navpične elemente. Ker je pri obravnavani stavbi togost stebrov, ki skupaj z gredami tvorijo prostorske AB okvire, v primerjavi s togostjo sten zanemarljiva, lahko predpostavimo, da stebri ne sodelujejo pri prevzemu vodoravne obtežbe.

Mehanske karakteristike uporabljenih materialov so:

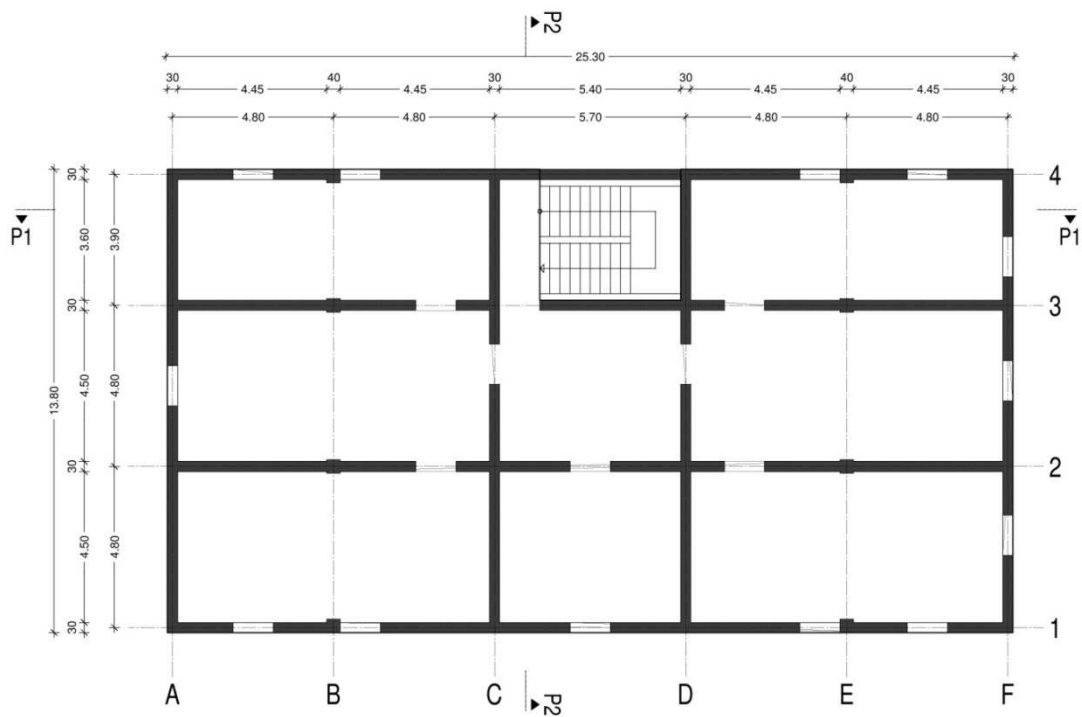
- beton C25/30: $f_{ck} = 2,5 \text{ kN/cm}^2$, $E_{cm} = 3100 \text{ kN/cm}^2$, $f_{ctm} = 0,26 \text{ kN/cm}^2$
- armatura S 500 B: $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$, $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

2.2 Arhitektura

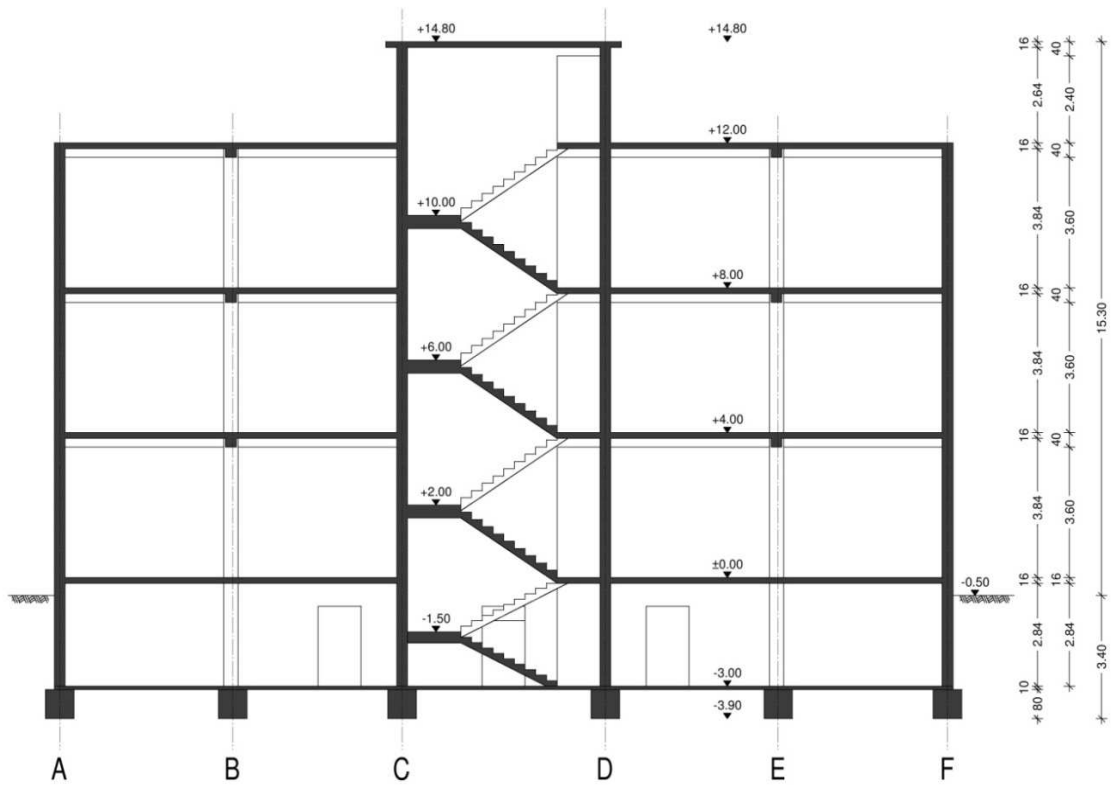
2.2.1 Tlorisi in prerezi



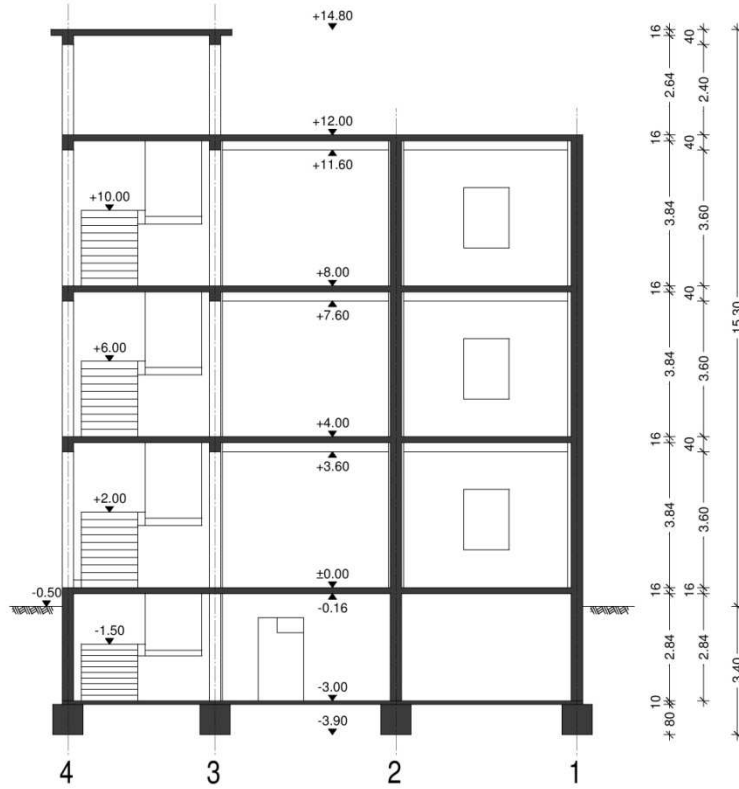
Slika 1: Tloris tipične etaže.



Slika 2: Tloris toge kleti.

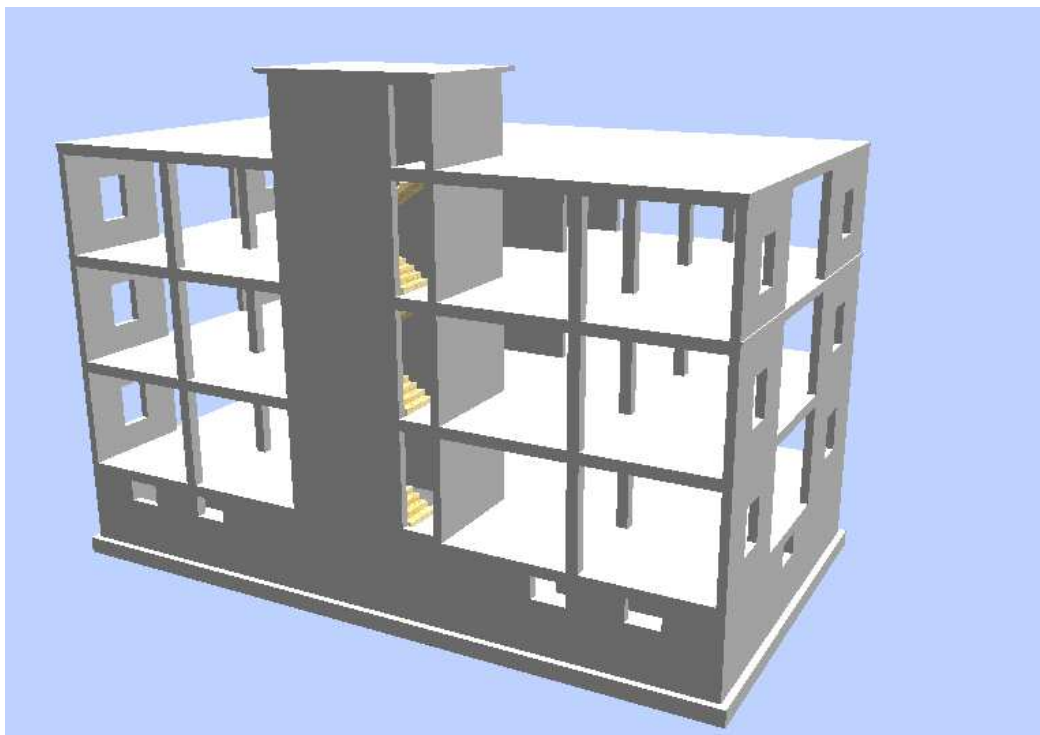


Slika 3: Prerez P1.

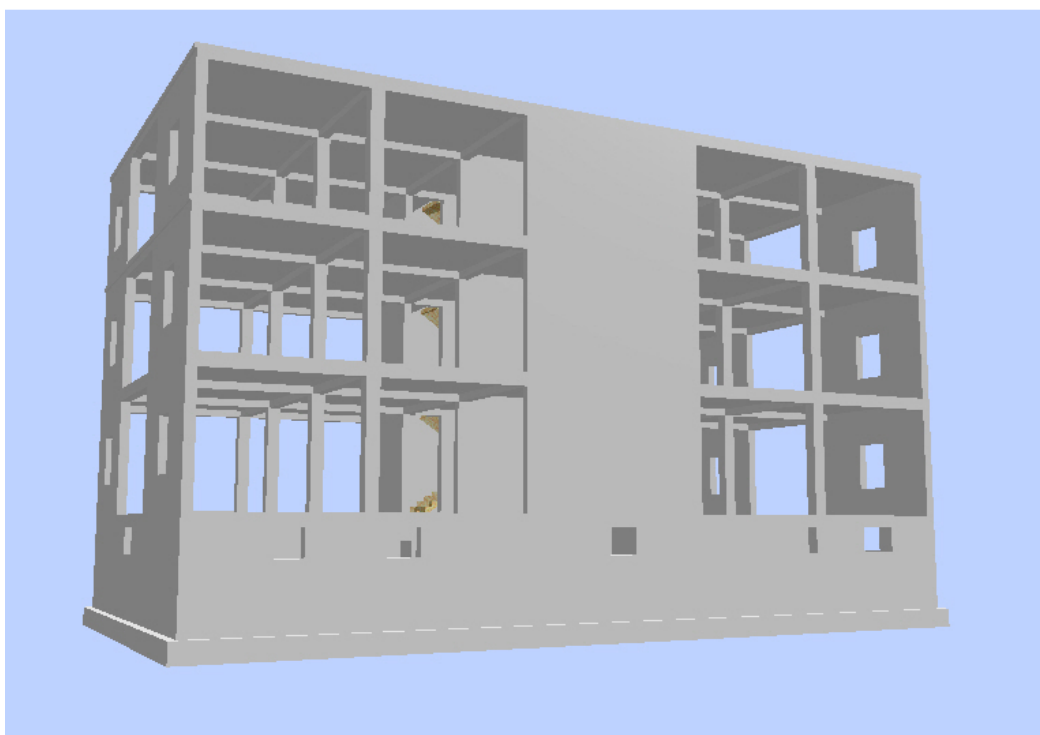


Slika 4: Prerez P2.

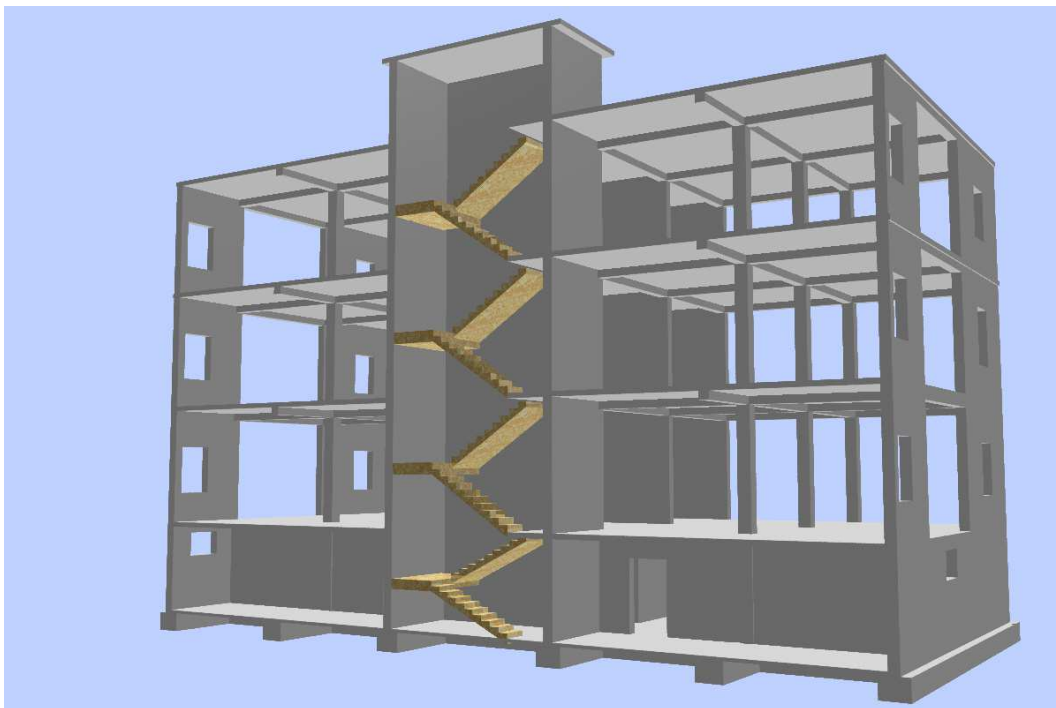
2.2.2 3D model v programu Allplan 2011



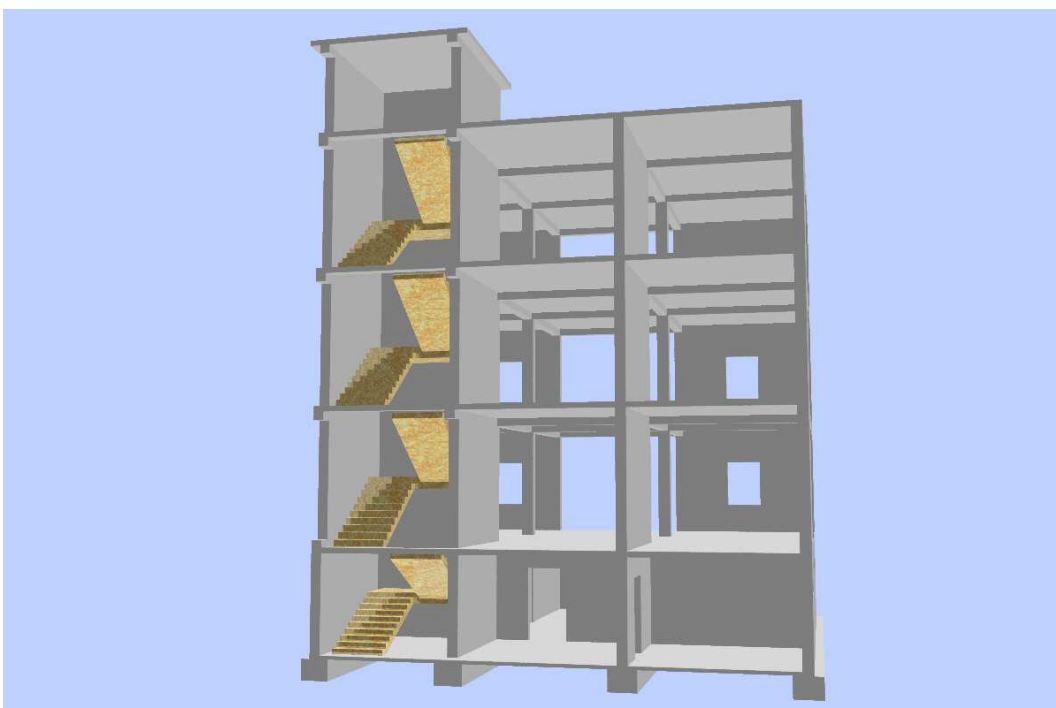
Slika 5: Pogled s SZ strani.



Slika 6: Pogled s JZ strani.



Slika 7: Pogled preko prereza A-A.



Slika 8: Pogled preko prereza B-B.

3 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO

Pri projektiranju nosilne konstrukcije stavbe moramo upoštevati neposredne in posredne vplive, ki delujejo na konstrukcijo. Vplive razvrstimo glede na časovno spremenljivost v stalne, spremenljive, nezgodne in potresne. Med stalne vplive štejemo lastno težo konstrukcije, težo pritrjene opreme, med spremenljive vplive koristno obtežbo stropov stavb, vpliv vetra, obtežbo snega, med nezgodne vplive pa poleg požara še eksplozije, trčenje vozil in druge.

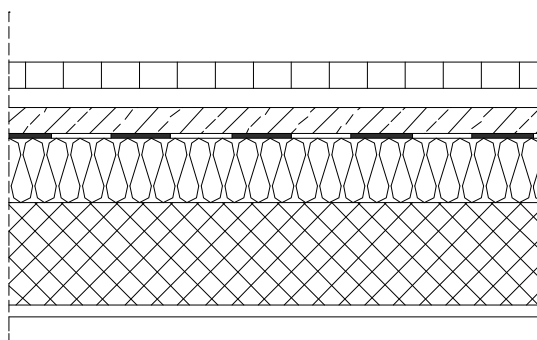
V okviru diplomske analiziramo in projektiramo enega izmed AB stebrov v pritličju stavbe v običajnih pogojih uporabe ter v pogojih požara. Za potresni vpliv predpostavimo, da deluje v le v vodoravni smeri v dveh pravokotnih smereh glede na smer navpičnih nosilnih elementov. Kot smo že omenili pri opisu nosilne konstrukcije stavbe v poglavju 2.1 celotno vodoravno obtežbo prevzamemo z AB stenami, zato lahko potresni vpliv pri analizi stebra zanemarimo.

Obtežba vetra deluje kot tlak ali srk na zunanje površine ovoja stavbe. Zaradi propustnosti ovoja pa posredno deluje tudi na notranje površine. Rezultirajoča sila vetra deluje pravokotno na ploskev. Zunanji ovoj stavbe sestavljajo štiri navpične stene ter ravna streha. Na navpičnih stenah je torej rezultirajoča sila vetra usmerjena v vodoravni smeri, na strehi pa v navpični smeri. Kot smo že omenili vodoravne sile, v tem primeru zaradi vpliva vetra, prevzamemo z AB stenami, navpična obtežba vetra na strehi (srk) pa ima ugoden učinek in jo zato pri analizi navpičnih nosilnih elementov zanemarimo. Pri analizi AB stebra upoštevamo, da na konstrukcijo poleg stalne obtežbe učinkuje le še koristna obtežba in obtežba snega. V nadaljevanju podrobneje predstavimo omenjene vplive.

3.1 Lastna teža

Lastno težo konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov v stavbi uvrščamo med stalne vplive. Nekonstrukcijski elementi so kritina, nasutje, obloge, opaži, nenosilne predelne stene, toplotna izolacija, obešeni stropovi in drugi. Skladno s točko 1.5.3.3 iz standarda SIST EN 1990:2004 je stalni vpliv (G) vpliv, za katerega je verjetno, da deluje ves čas v nekem referenčnem obdobju. Sprememba njegove velikosti s časom je zanemarljiva ali monotona, dokler vpliv ne doseže določene mejne vrednosti. Lastno težo konstrukcije izračunamo iz mer in prostorninske teže materialov. V nadaljevanju podajamo lastno težo stropov obravnavane stavbe. Predstavimo jo s karakteristično vrednostjo.

3.1.1 Ravna pohodna streha

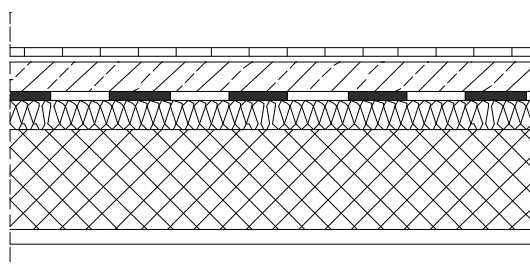


Slika 9: Sestava pohodne strehe.

material	debelina [m]	prostorninska teža [kN/m ³]	obtežba [kN/m ²]
betonske plošče	0,04	24,0	0,96
sloj mivke: 2 cm	0,02	19,0	0,39
cementni estrih: 4 cm	0,04	24,0	0,96
hidroizolacija: 1 cm			0,20
toplotna izolacija: 15 cm	0,15	1,6	0,24
AB plošča: 16 cm	0,16	25,0	4,0
Omet: 2 cm	0,02	18,0	0,36

$$\Sigma: g_{k,ps} = 7,11$$

3.1.2 Stropna konstrukcija

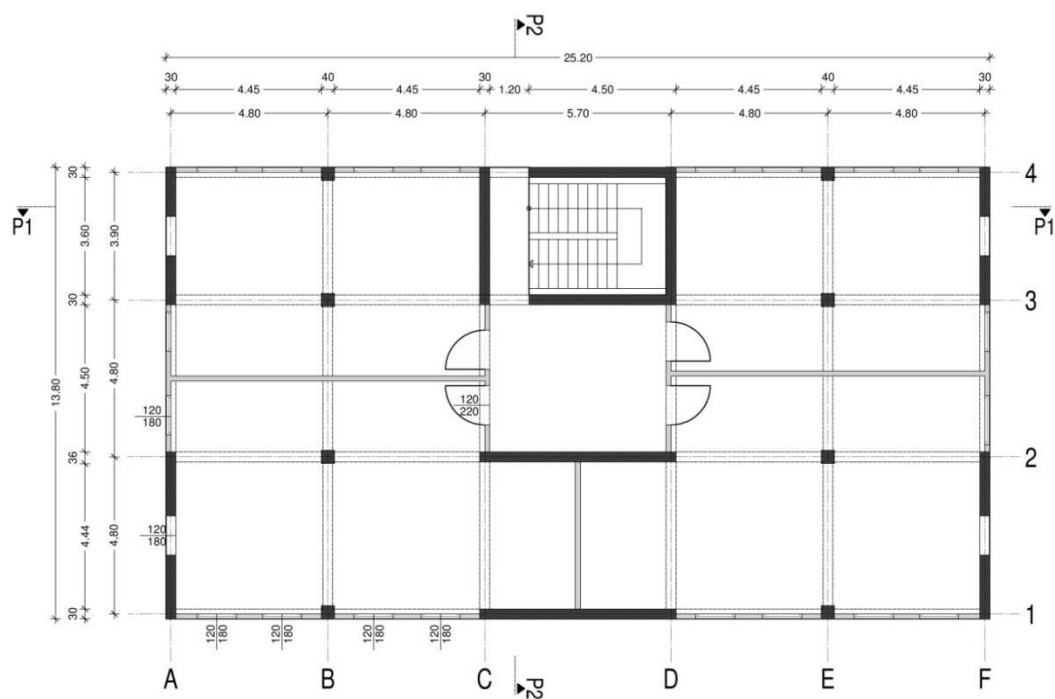


Slika 10: Sestava stropne konstrukcije.

material	debelina [m]	prostorninska teža [kN/m ³]	obtežba [kN/m ²]
laminat: 1 cm	0,01	4	0,04
pena + PVC			0,04
cementni estrih: 5 cm	0,05	24	1,20
PVC			
toplotna in zvočna izolacija: 5 cm	0,05	1,2	0,06
AB plošča: 16 cm	0,16	25	4,0
Omet: 2 cm	0,02	18	0,36
$\Sigma:$			$g_{k,msk} = 5,70$

3.1.3 Nenosilna predelna stena

Lego predelnih sten v tlorisu tipične etaže prikazujemo na sliki 11. Predelne stene so obarvane s sivo barvo.



Slika 11: Tloris tipične etaže z predelnimi stenami.

material	debelina [m]	višina [m]	prostorninska teža [kN/m ³]	obtežba [kN/m]
omet: 1 cm	0,01	3,6	18	0,63
porolit: 10 cm	0,10	3,6	7	2,52
omet: 1 cm	0,01	3,6	18	0,63
$\Sigma:$				$g_{k,msk} = 3,78$

3.2 Koristna obtežba

Koristna obtežba je spremenljiv vpliv. Za spremenljiv vpliv (Q) velja, da sprememba velikosti vpliva s časom ni niti zanemarljiva niti monotona (SIST EN 1990:2005, str. 13)

Koristna obtežba v stavbah izvira iz namena uporabe. V ta namem skladno s standardom SIST EN 1991-1-1 talne in strešne površine stavbe razdelimo glede na njihov namen v kategorije od A do K. Pri tem koristno obtežbo modeliramo kot enakomerno porazdeljeno ploskovno obtežbo.

3.2.1 Pohodna streha

Strešno površino stavbe, ki je dostopna za uporabo in služi kot terasa, uvrstimo v kategorijo I oziroma v kategorijo C3. Sem spadajo površine brez ovir za gibanje ljudi, kot na primer površine v muzejih, na razstaviščih, površine na dostopnih prostorih v javnih in upravnih stavbah, hotelih, bolnišnicah, predverja železniških postaje in druge. V tem primeru je priporočljiva vrednost koristne obtežbe skladno s SIST EN 1991-1-1:2004 $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$.

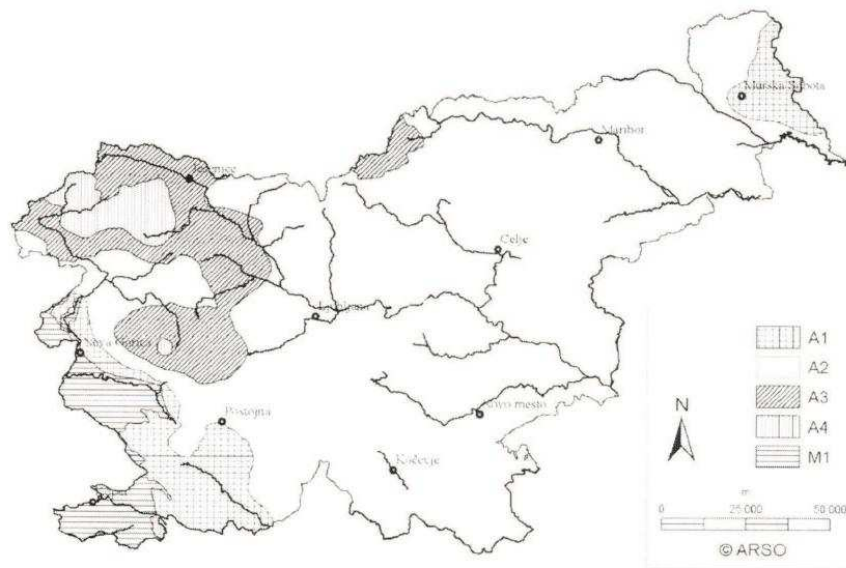
3.2.2 Stropna konstrukcija

Talne površine v stavbi so namenjene pisarnam. Površino uvrstimo v kategorijo B, priporočljiva vrednost koristne obtežbe pa je $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$.

3.3 Obtežba snega

Tudi obtežbo snega uvrstimo med spremenljive vplive (Q). Obtežba snega deluje navpično na streho stavbe. Določimo jo v skladu s standardom SIST EN 1991-1-3:2004 in pripadajočim Nacionalnim dodatkom SIST EN 1991-1-3:2004/A101.

Najprej določimo karakteristično vrednost obtežbe snega na tleh. Pri tem je pomembna lokacija stavbe ter nadmorska višina. Uporabimo karto Slovenije iz Nacionalnega dodatka (glej sliko 12).



Slika 12: Obtežba snega na tleh na nadmorski višini $A = 0$ m
(SIST EN 1991-1-3:2004/A101: 2008, str. 4).

Površina Slovenije je razdeljena na pet con. Ljubljana se nahaja v coni A2. Vrednost obtežbe snega na tleh izračunamo z enačbo:

$$s_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] = 1,293 \left[1 + \left(\frac{300}{728} \right)^2 \right] = 1,51 \text{ kN/m}^2, \quad (1)$$

kjer za parameter A upoštevamo nadmorsko višino lokacije stavbe v metrih.

Pri določitvi obtežbe snega na strehi stavbe moramo upoštevati, da je na strehi mogočih več porazdelitev snega. Na porazdelitev snega vplivajo:

- oblika strehe,
- toplotne lastnosti strehe,
- hrapavost površine strehe,
- količina toplote, generirane pod streho,
- sosednje stavbe,
- teren v okolici in
- krajevne podnebne razmere.

Obtežbo snega izračunamo s pomočjo enačbe (2), ki jo skladno s standardom SIST EN 1991-1-3:2004 uporabljamo za trajna/začasna projektna stanja:

$$s_k = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k. \quad (2)$$

Pri tem je μ_i oblikovni koeficient, ki določa razmerje med obtežbo snega na strehi in obtežbo nenakopičenega snega na tleh brez vpliva izpostavljenosti in toplotnih učinkov. V primeru ravne strehe velja $\mu_i = \mu = 0,8$. V enačbi (2) je C_e je koeficient izpostavljenosti, ki ga določimo glede na izpostavljenost terena vetru. V primeru običajnega terena, kjer veter ne prenaša snega na objektih, upoštevamo $C_e = 1,0$. C_t je toplotni koeficient, s katerim zmanjšamo obtežbo snega na strehi zaradi toplotnega toka skozi streho, ki tali sneg. Zmanjšanje pride v poštev zlasti pri steklenih strehah, sicer upoštevamo $C_t = 1,0$. Torej:

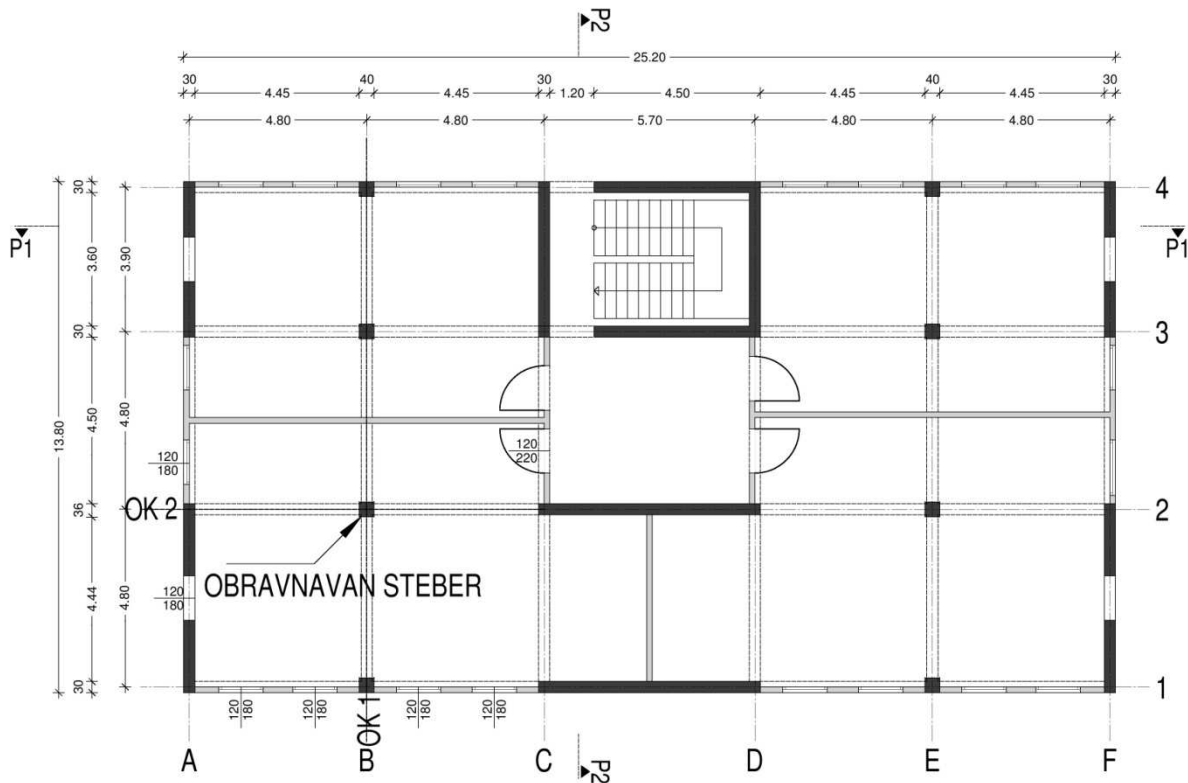
$$s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,51 = 1,21 \text{ kN/m}^2. \quad (2)$$

3.4 Vpliv vetra in potresni vpliv

Vodoravno obtežbo zaradi vetra in potresa prevzamemo z stenami, zato jo pri analizi okvirjev zanemarimo.

4 RAČUN OBREMENITEV KONSTRUKCIJE

Obremenitve izračunamo za AB steber v pritličju obravnavane stavbe na stiku osi 2 in B. Lego stebra v tlorisu pritličja prikazujemo na sliki 13. Obravnavan AB steber je del AB okvira v prečni smeri (v osi 2) oziroma v vzdolžni smeri stavbe (v osi B). AB okvir v osi B v nadaljevanju imenujemo OK1, okvir v osi 2 pa OK2.



Slika 13: Pozicija okvirja in obravnavanega stebra.

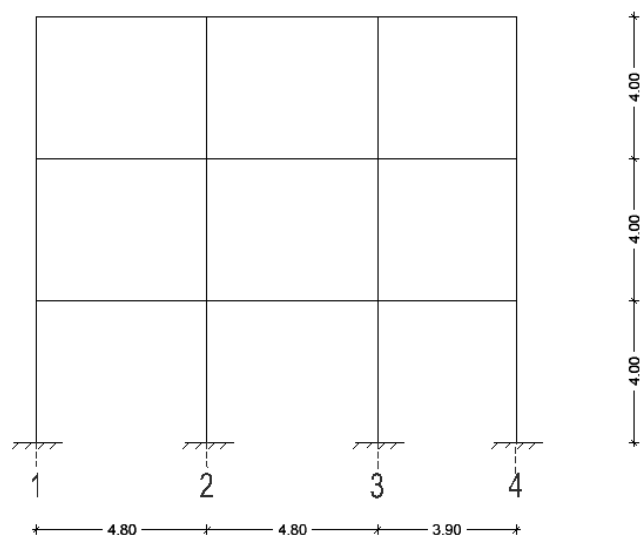
V nadaljevanju določimo navpično obtežbo, t.j. lastno težo, koristno obtežbo in obtežbo snega, za okvir OK1 in OK2.

4.1 Račun navpične obtežbe na AB okvire

Skladno s standardom SIST EN 1991-1-1:2004 lahko pri projektiranju stebra, ki nosi več etaž, upoštevamo koristno obtežbo, enakomerno porazdeljeno po površini vseh etaž.

4.1.1 Okvir v smeri osi Y (OK1)

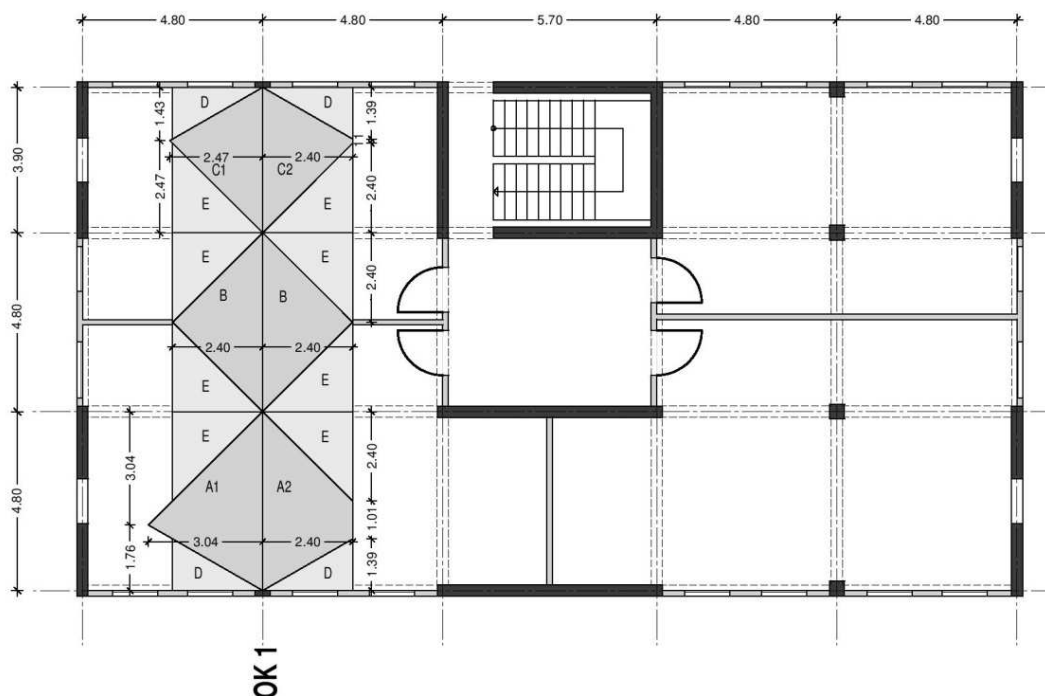
Na sliki 14 prikazujemo računski model okvira. Upoštevamo, da je okvir vpet v togo klet.



Slika 14: Računski model okvira OK1.

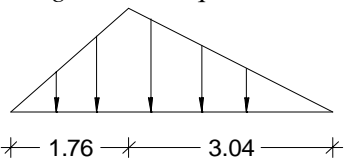
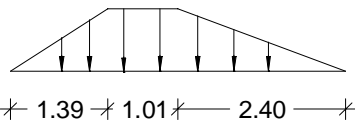
4.1.1.1 Vplivne površine

Vplivne površine za navpično obtežbo za okvir OK1 določimo s t.i. strešnim pravilom in sicer glede na način podpiranja pozameznih polj stropne konstrukcije. Prikazujemo jih na sliki 15.

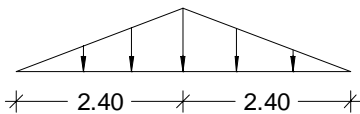


Slika 15: Vplivne površine za okvir OK1.

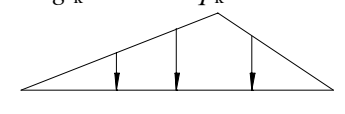
- razporeditev obtežbe v prvem polju z vplivne površine A1 in A2

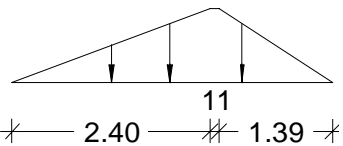
A1 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	21,6	/
	lastna teža medetažne konstr.	17,3	/
	koristna obtežba na strehi	/	15,2
	koristna obtežba na med.konstr.	/	9,1
	obtežba snega na strehi	/	3,7
A2 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	17,1	/
	lastna teža medetažne konstr.	13,7	/
	koristna obtežba na strehi	/	12
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,2
	obtežba snega na strehi	/	2,9

- razporeditev obtežbe v drugem polju z vplivne površine B

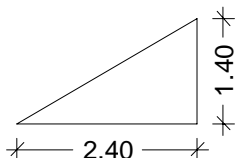
B - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	17,1	/
	lastna teža medetažne konstr.	13,7	/
	koristna obtežba na strehi	/	12
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,2
	obtežba snega na strehi	/	2,9

- razporeditev obtežbe v tretjem polju z vplivne površine C1 in C2

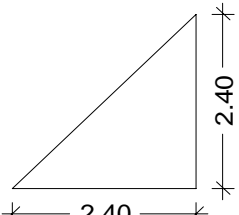
C1 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	17,6	/
	lastna teža medetažne konstr.	14,1	/
	koristna obtežba na strehi	/	12,4
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,4
	obtežba snega na strehi	/	2,9

C2 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	17,6	/
	lastna teža medetažne konstr.	14,1	/
	koristna obtežba na strehi	/	12,4
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,4
	obtežba snega na strehi	/	2,9

- vozliščna obtežba z vplivne površine D

D - skica vplivne površine	obtežba	G_k [kN]	Q_k [kN]
G_k oziroma Q_k 	lastna teža strehe	11,9	/
	lastna teža medetažne konstr.	9,6	/
	koristna obtežba na strehi	/	8,4
	koristna obtežba na med.konstr.	/	5
	obtežba snega na strehi	/	2

- vozliščna obtežba z vplivne površine E

E - skica obtežbe	obtežba	G_k [kN]	Q_k [kN]
G_k oziroma Q_k 	lastna teža strehe	20,5	/
	lastna teža medetažne konstr.	16,4	/
	koristna obtežba na strehi	/	14,4
	koristna obtežba na med.konstr.	/	8,6
	obtežba snega na strehi	/	3,5

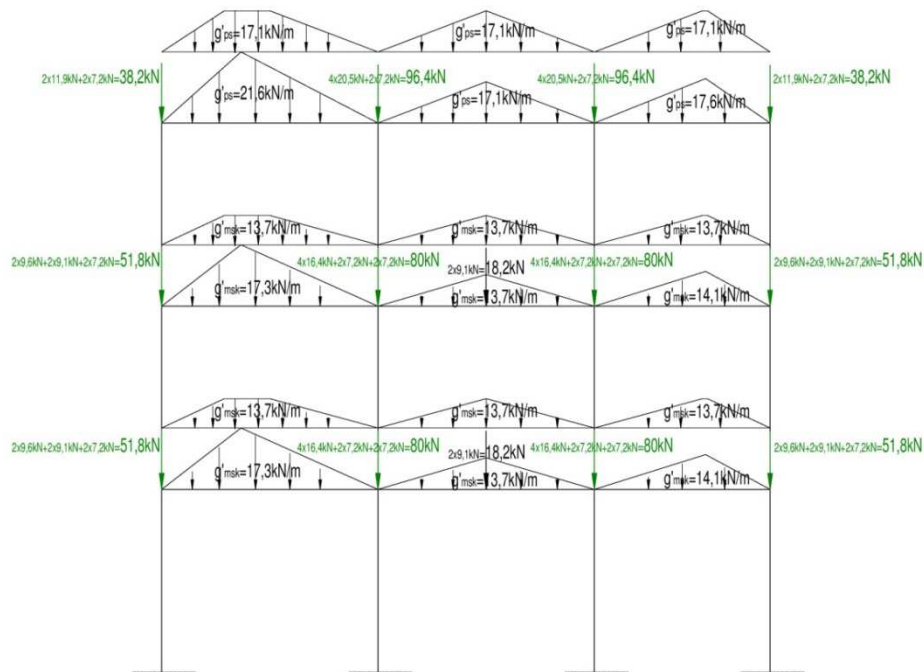
- točkovna obtežba v drugem polju zaradi lastne teže predelne stene

$$G_{k,st} = g'_{k,st} \cdot 2,4 = 3,78 \cdot 2,4 = 9,1 \text{ kN}$$

- vozliščna obtežba zaradi lastne teže gred v prečni smeri

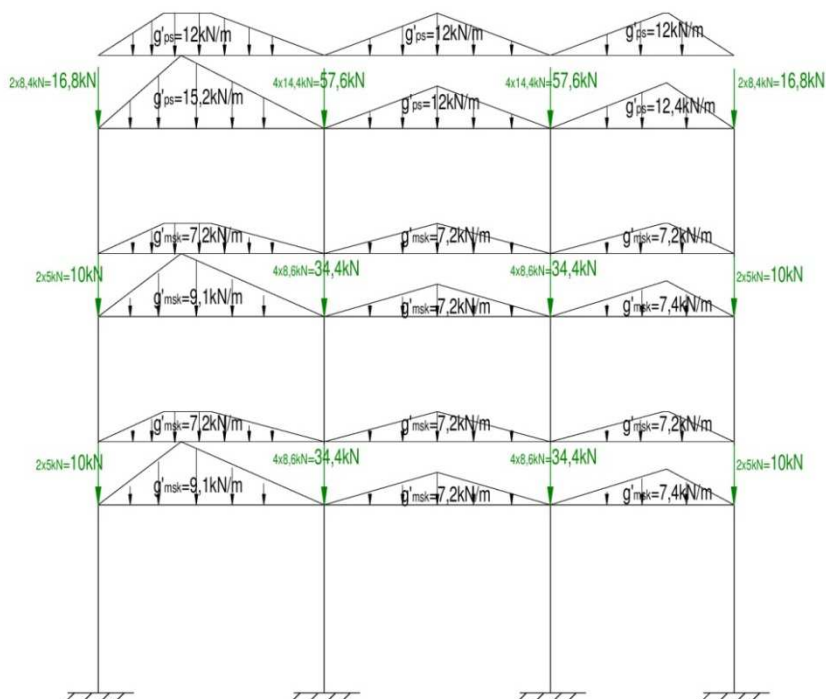
$$G_{k,n} = 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 25 = 7,2 \text{ kN}$$

4.1.1.2 Lastna teža na okviru



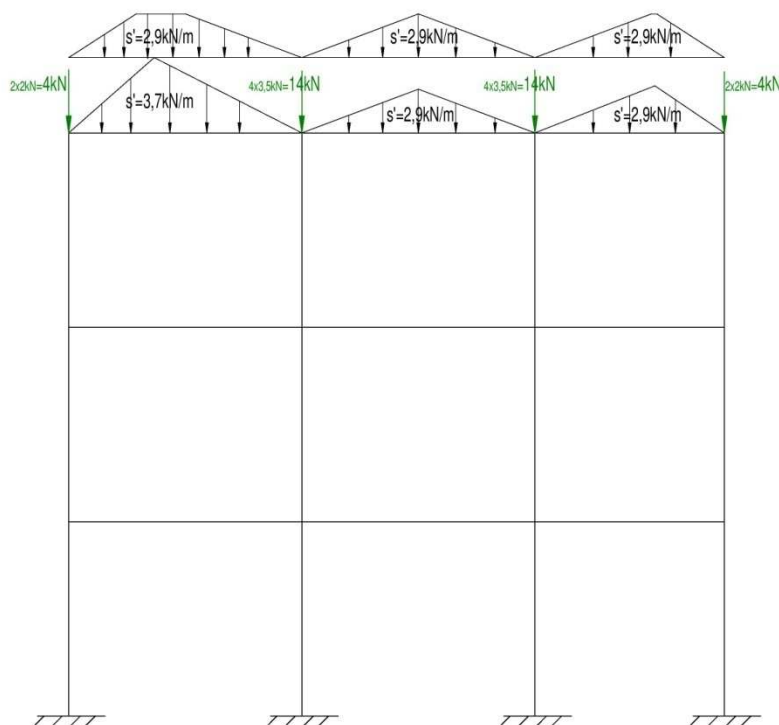
Slika 16: Razporeditev lastne teže na okviru OK1.

4.1.1.3 Koristna obtežba na okviru



Slika 17: Razporeditev koristne obtežbe na okviru OK1.

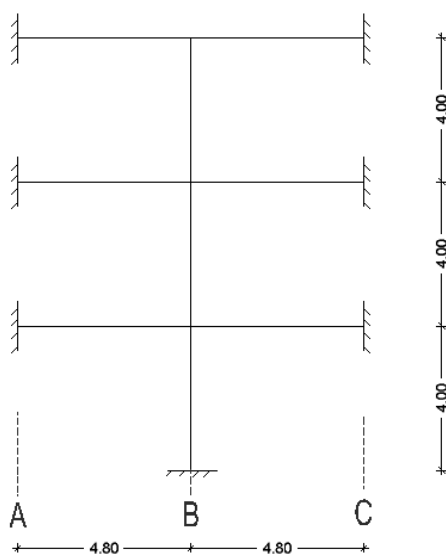
4.1.1.4 Obtežba snega na okviru



Slika 18: Razporeditev obtežbe snega na okviru OK1.

4.1.2 Okvir v smeri osi X (OK2)

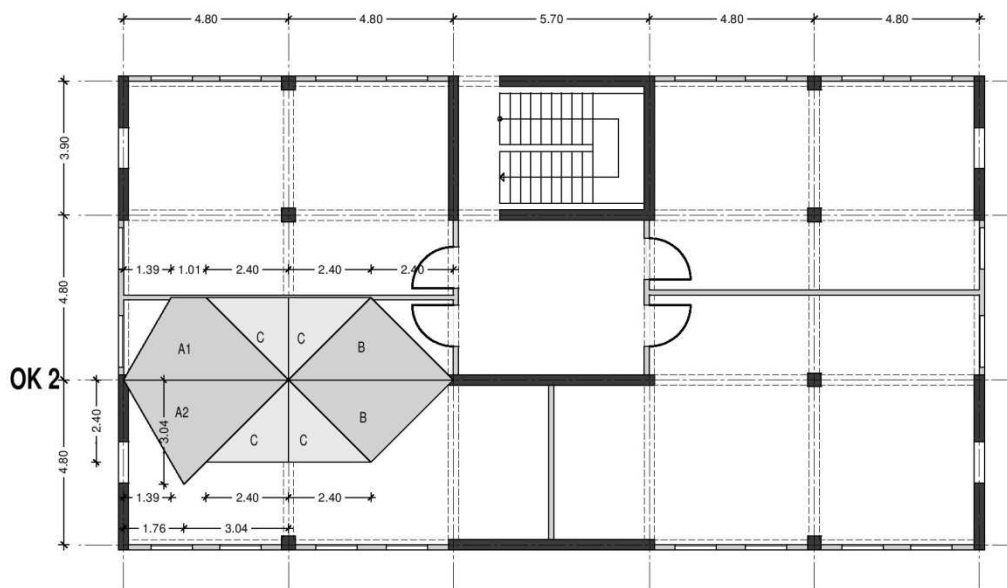
Na sliki 19 prikazujemo računski model okvira. Upoštevamo, da je okvir vpet v togo klet ter v stene.



Slika 19: Računski model okvira OK2.

4.1.2.1 Vplivne površine

Tudi vplivne površine za navpično obtežbo za okvir OK2 določimo s t.i. strešnim pravilom. Prikazujemo jih na sliki 20.

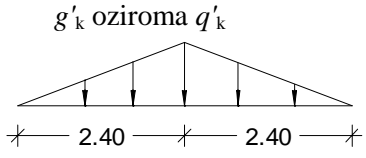


Slika 20: Vplivne površine na OK1.

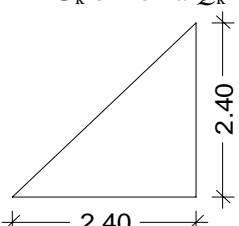
- razporeditev obtežbe v prvem polju z vplivne površine A1 in A2

A1 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	17,1	/
	lastna teža medetažne konstr.	13,7	/
	koristna obtežba na strehi	/	12
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,2
	obtežba snega na strehi	/	2,9
A2 - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
g'_k oziroma q'_k 	lastna teža strehe	21,6	/
	lastna teža medetažne konstr.	17,3	/
	koristna obtežba na strehi	/	15,2
	koristna obtežba na med.konstr.	/	9,1
	obtežba snega na strehi	/	3,7

- razporeditev obtežbe v prvem polju z vplivne površine B

B - skica obtežbe	obtežba	g'_k [kN/m]	q'_k [kN/m]
	lastna teža strehe	17,1	/
	lastna teža medetažne konstr.	13,7	/
	koristna obtežba na strehi	/	12
	koristna obtežba na med.konstr.	/	7,2
	obtežba snega na strehi	/	2,9

- vozliščna obtežba z vplivne površine C

C - skica obtežbe	obtežba	G_k [kN]	Q_k [kN]
	lastna teža strehe	20,5	/
	lastna teža medetažne konstr.	16,4	/
	koristna obtežba na strehi	/	14,4
	koristna obtežba na med.konstr.	/	8,6
	obtežba snega na strehi	/	3,5

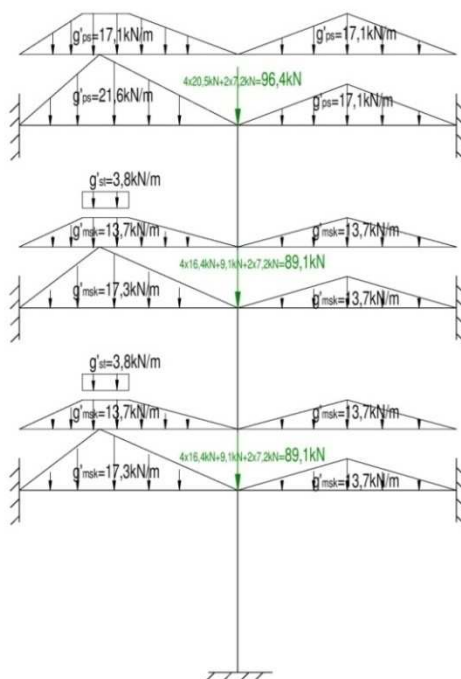
- točkovna obtežba v drugem polju zaradi lastne teže predelne stene

$$G_{k,st} = g'_{k,st} \cdot 2,4 = 3,78 \cdot 2,4 = 9,1 \text{ kN}$$

- vozliščna obtežba zaradi lastne teže gred v prečni smeri

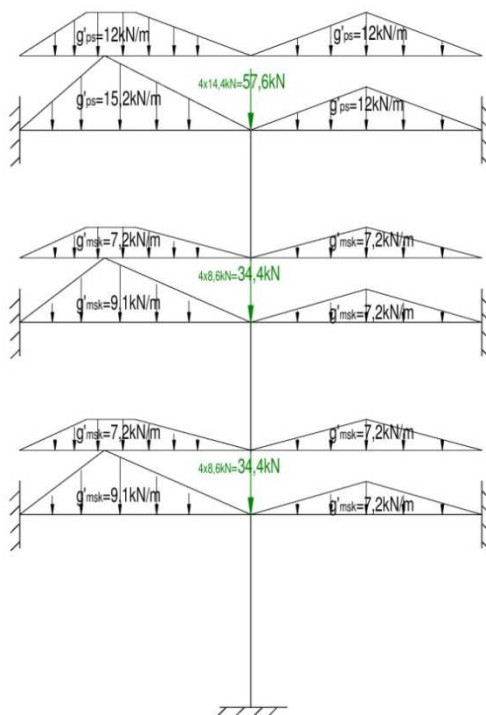
$$G_{k,n} = 2,4 \cdot 0,4 \cdot 0,3 \cdot 25 = 7,2 \text{ kN}$$

4.1.2.2 Lastna teža na okviru



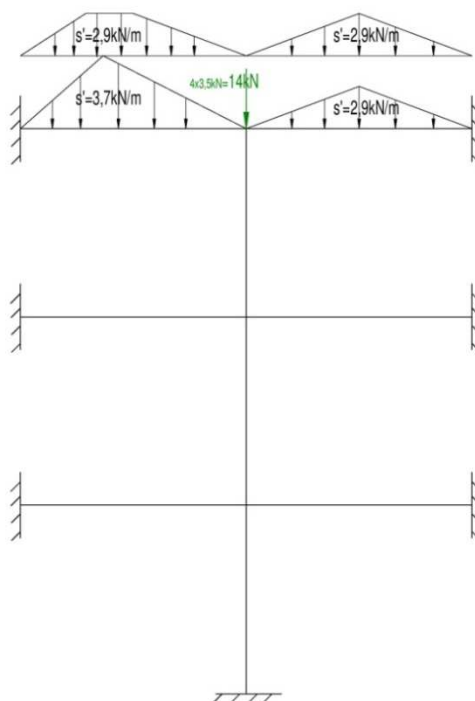
Slika 21: Razporeditev lastne teže na okviru OK2.

4.1.2.3 Koristna obtežba na okviru



Slika 22: Razporeditev koristne obtežbe na okviru OK2.

4.1.2.4 Obtežba snega na okviru



Slika 23: Razporeditev obtežbe snega na okviru OK2.

4.2 Račun projektних obremenitev v okviru

Notranje sile o okviru OK1 in OK2 izvednostimo s pomočjo analize po metodi končnih elementov v računalniškem programu SAP2000 (Computers and Structures, Inc.. 2009. SAP2000 Version 14.1.0). Stebre in grede okvira modeliramo z ravninskimi linijskimi končnimi elementi.

Projektne vrednosti učinkov vplivov (označimo jih z E_d), ki jih potrebujemo pri projektiranju konstrukcijskega elementa na mejna stanja, določimo s kombiniranjem vrednosti vplivov, za katere ocenjujemo, da se bodo pojavili sočasno. Obravnavamo mejna stanja nosilnosti, ki se nanašajo na varnost konstrukcijskega elementa. Skladno s standardom SIST EN 1990:2004 ločeno zapišemo kombinacijo vplivov za stalna projektna stanja in za nezgodna projektna stanja. V stalnih projektnih stanjih upoštevamo pogoje normalne uporabe, v nezgodnih pa upoštevamo izjemne pogoje, ki nastopijo pri požaru.

4.2.1 Kombinacija vplivov za stalna projektna stanja (osnovne kombinacije)

Splošna oblika kombinacije (učinkov) vplivov za stalna projektna stanja skladno s standardom SIST EN 1990:2004 je:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (3)$$

kjer je $G_{k,j}$ karakteristična vrednost j -tega stalnega vpliva ($j = 1, 2, 3, 4, \dots$), $Q_{k,1}$ je karakteristična vrednost prevladujočega spremenljivega vpliva, $Q_{k,i}$ pa je karakteristična vrednost i -tega spremljajočega spremenljivega vpliva ($i = 2, 3, 4, \dots$). $\gamma_{G,j}$ je delni faktor za j -ti stalni vpliv, $\gamma_{Q,1}$ je delni faktor za prevladujoči spremenljivi vpliv, $\gamma_{Q,i}$ pa je delni faktor za i -ti spremenljivi vpliv. Simbol $\psi_{0,i}$ označuje faktor za kombinacijsko vrednost i -te ga spremenljivega vpliva.

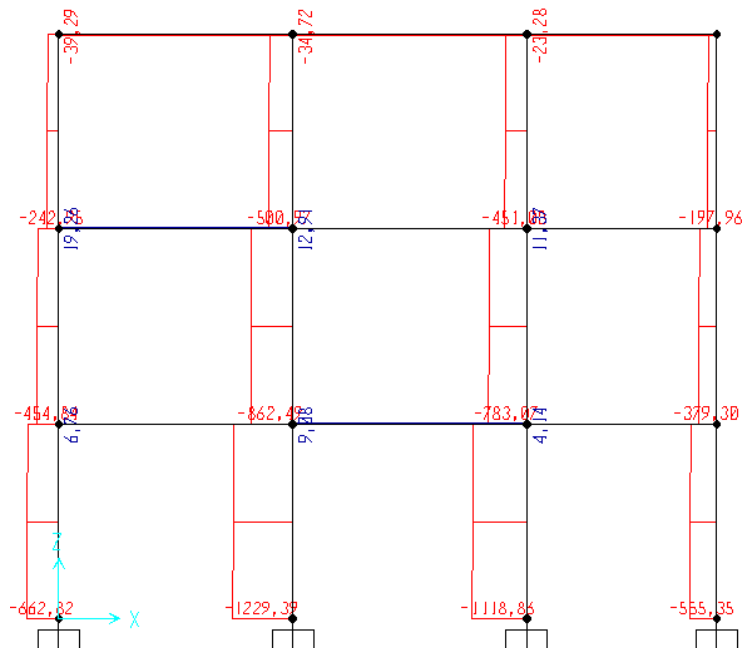
V obravnavanem primeru na okvir OK1 oziroma OK2 učinkuje en stalni vpliv (lastna teža) ter dva spremenljiva vpliva (koristna obtežba in obtežba snega).

Merodajna kombinacija vplivov v pogojih normalne uporabe torej je:

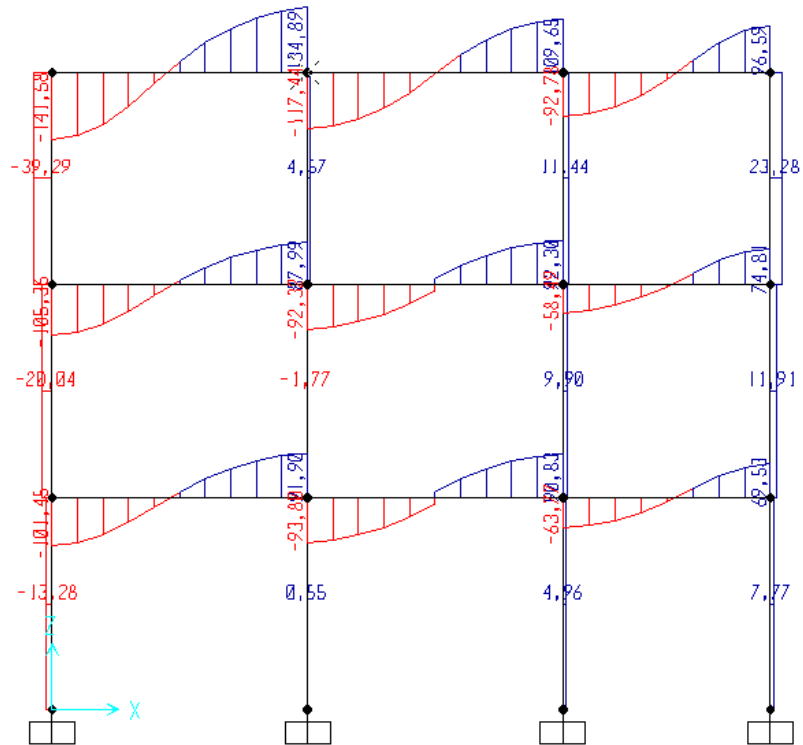
$$\sum_{j \geq 1} 1,35 \cdot G_{\text{lastna teža}} \text{ "+" } 1,5 \cdot Q_{\text{koristna}} \text{ "+" } \sum_{i > 1} 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{\text{sneg}} \quad (4)$$

V nadaljevanju podajamo projektne vrednosti učinkov vplivov E_d (N_{Ed} , V_{Ed} , M_{Ed}) za okvir OK1 in OK2 v pogojih normalne uporabe (osnovne kombinacije vplivov).

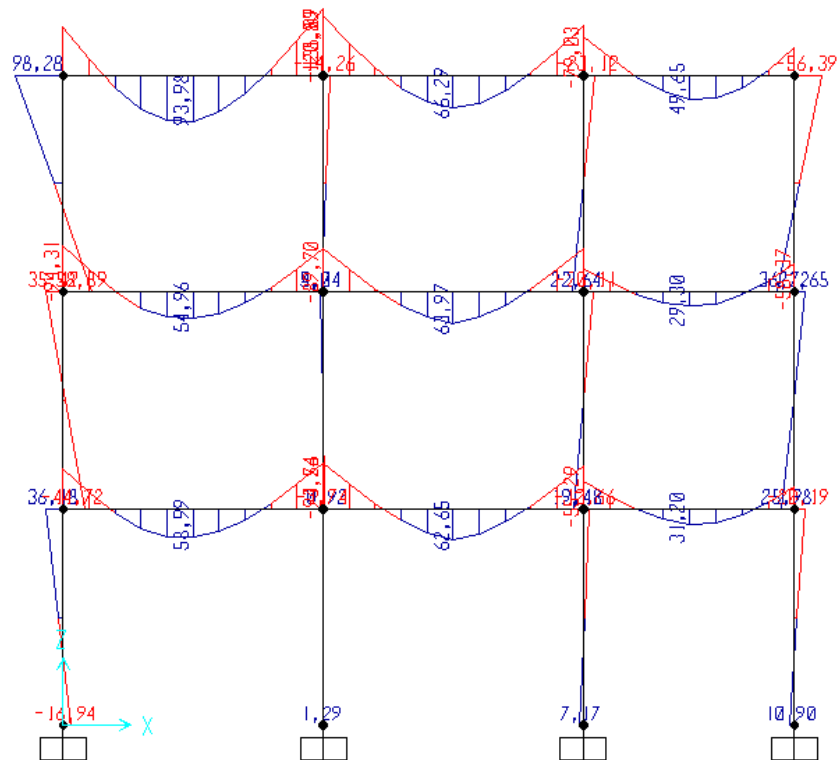
4.2.1.1 Okvir OK1



Slika 24: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.

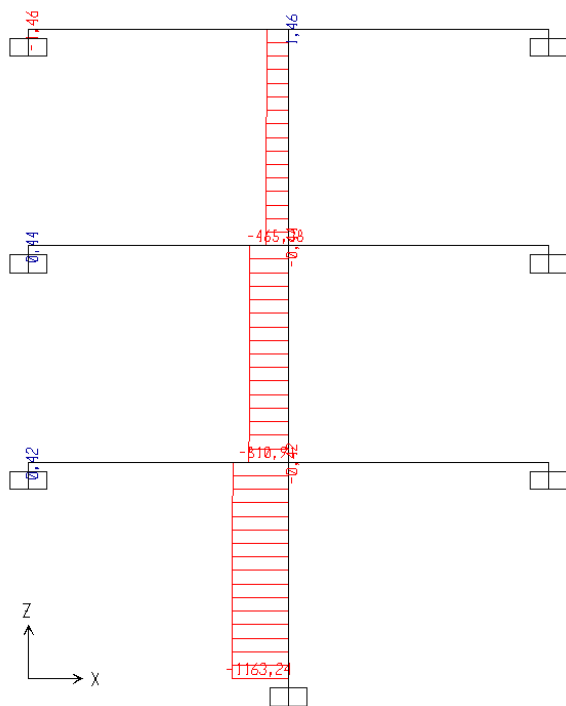
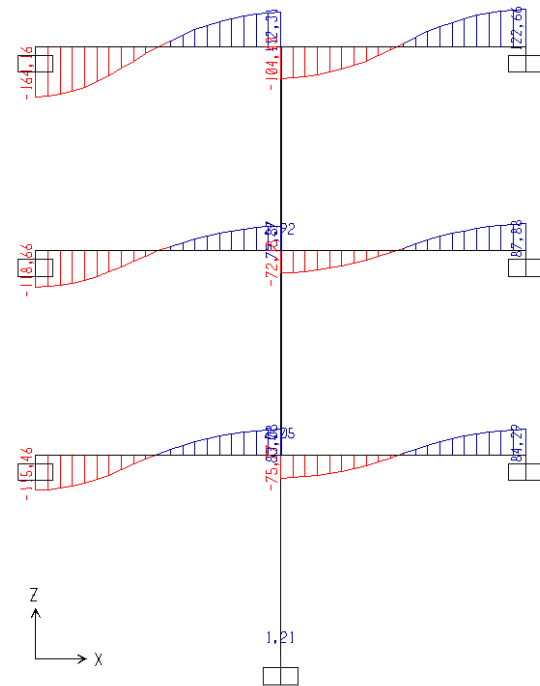
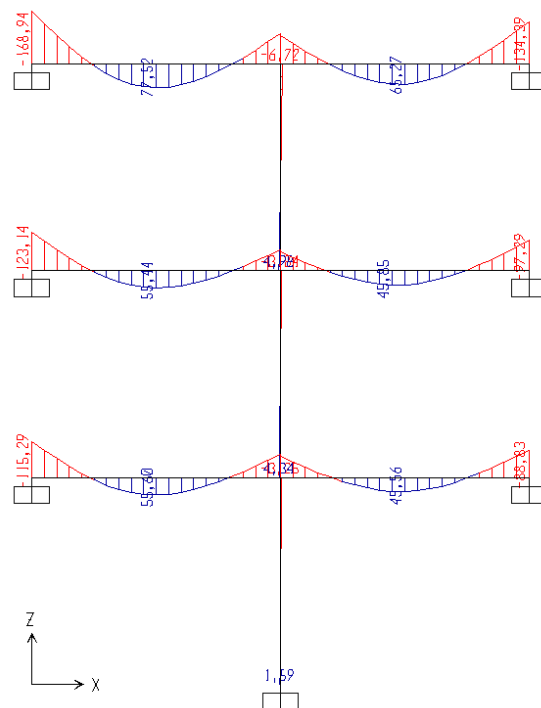


Slika 25: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.



Slika 26: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK1 v pogojih normalne uporabe.

4.2.1.2 Okvir OK2

Slika 27: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.Slika 28: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.Slika 29: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK2 v pogojih normalne uporabe.

4.2.2 Kombinacija vplivov za nezgodna projektna stanja

Splošna oblika kombinacije (učinkov) vplivov za nezgodna projektna stanja v skladu s standardom SIST EN 1990:2004 in Nacionalnim dodatkom k SIST EN 1990:2004 je:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5)$$

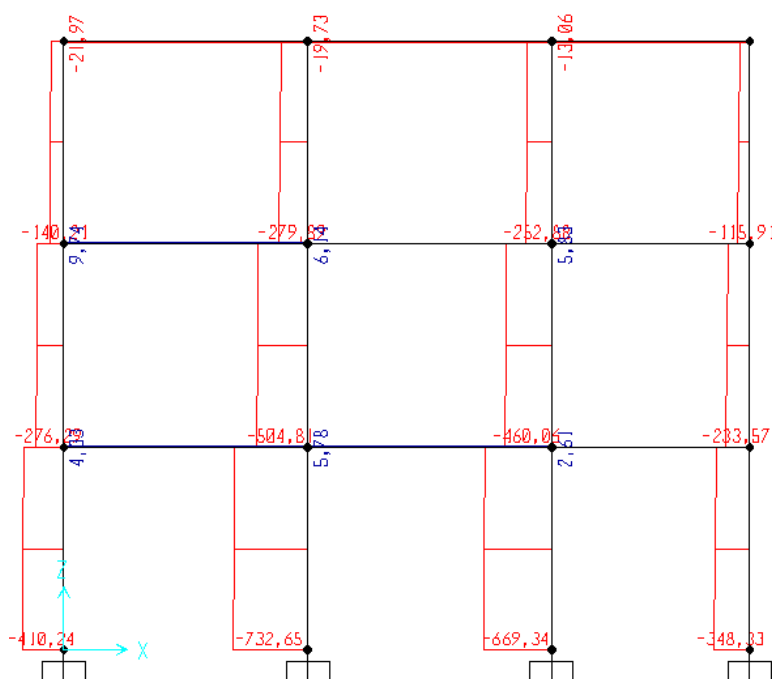
V enačbi (5) je P odločilna reprezentativna vrednost vpliva prednapetja, A_d je projektna vrednost nezgodnega vpliva, simbol $\psi_{2,i}$ pa označuje faktor za navidezno stalno vrednost i -te ga spremenljivega vpliva. Pomen ostalih simbolov je enak kot v enačbi (3).

Sedaj zapišemo kombinacijo vplivov v pogojih požara za primer obravnavanega okvira OK1 oziroma OK2. Kot smo že omenili, na okvir učinkuje en stalni vpliv (lastna teža) ter dva spremenljiva vpliva (koristna obtežba in obtežba snega). Merodajna kombinacija je:

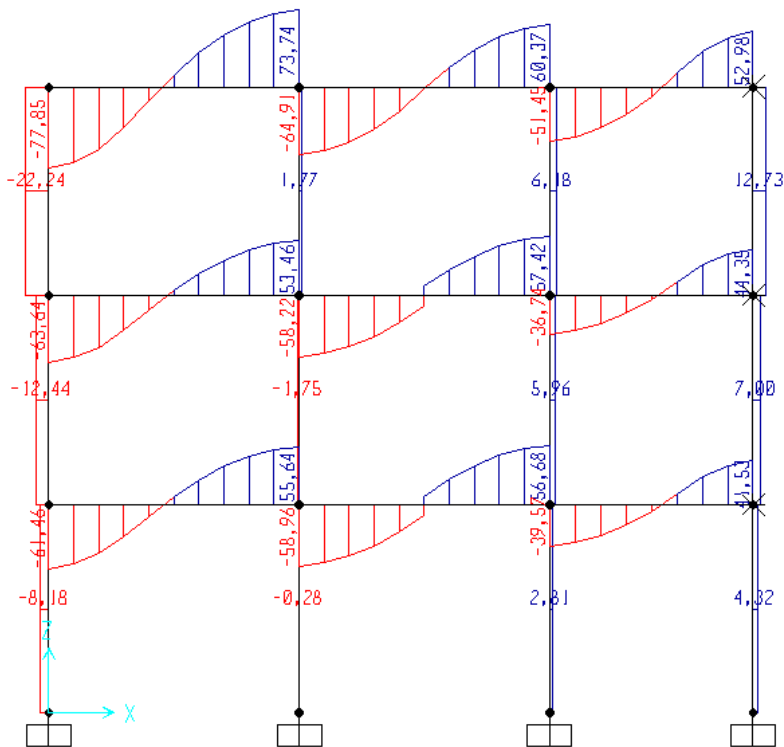
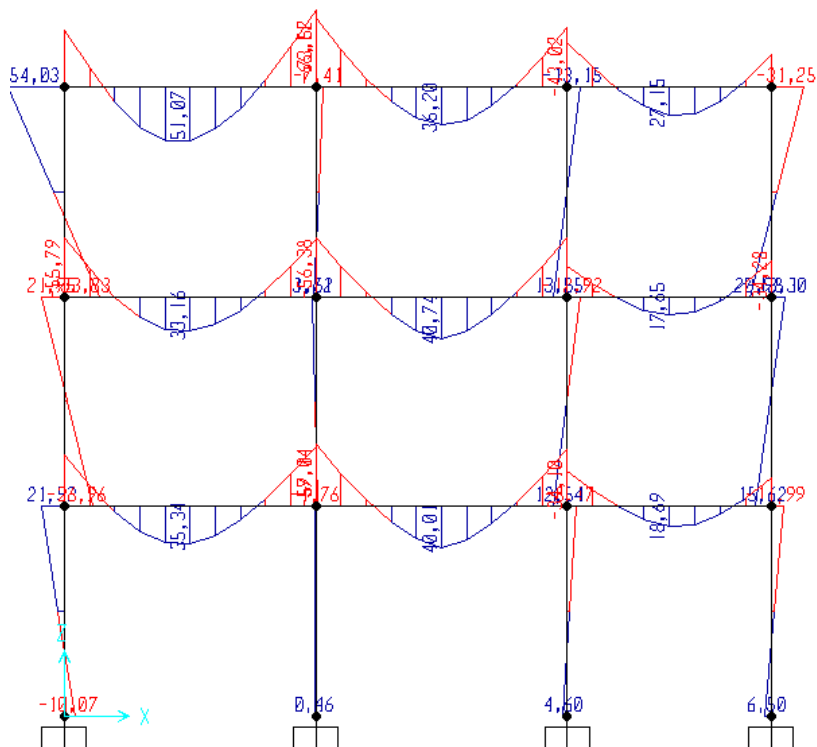
$$\sum_{j \geq 1} G_{\text{lastna teža}} + A_{d, \text{temp.}} + 0,5 \cdot Q_{\text{koristna}} \quad (6)$$

V nadaljevanju podajamo projektne vrednosti učinkov vplivov E_d (N_{Ed} , V_{Ed} , M_{Ed}) za okvir OK1 in OK2 še v pogojih požara (nezgodna kombinacija vplivov). Projektno vrednost nezgodnega vpliva A_d v tej fazi ne prikazujemo, iz vrednotimo jo v nadaljevanju (glej točko 6.9.3.1).

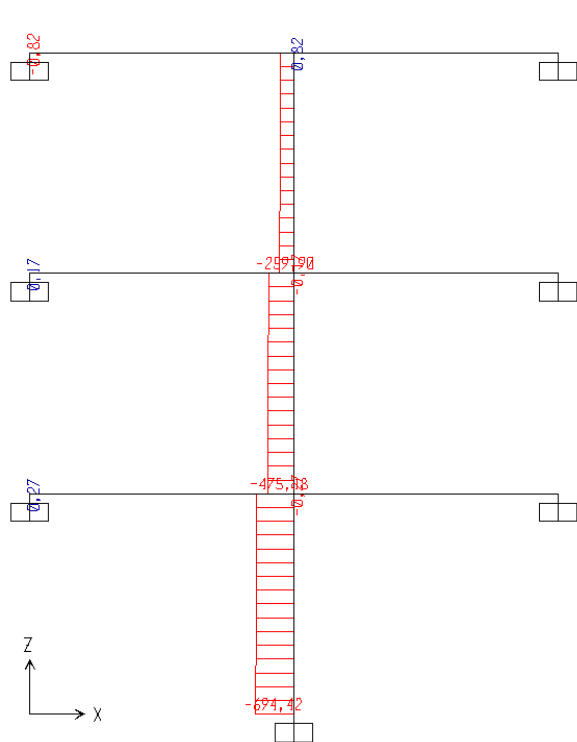
4.2.2.1 Okvir OK1



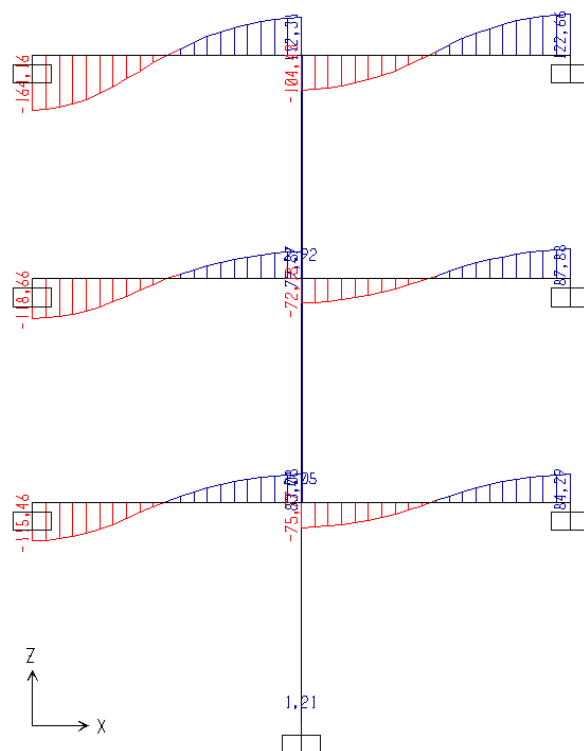
Slika 30: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).

Slika 31: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).Slika 32: Projektne vrednosti upogibnih momentov M_{Ed} za OK1 v pogojih požara ($A_d = 0$).

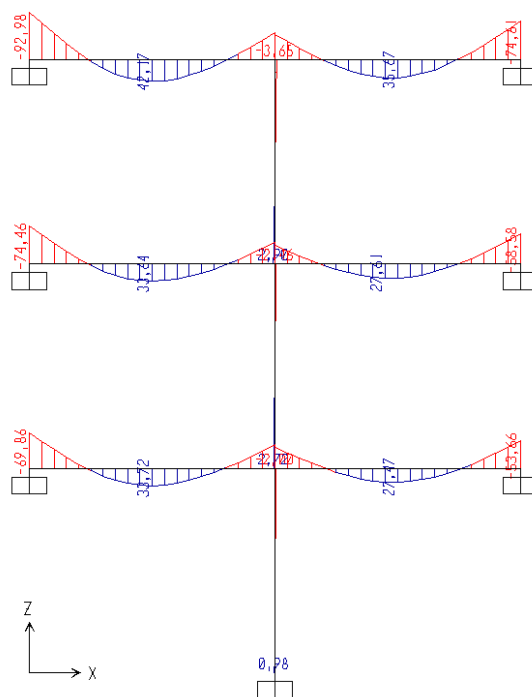
4.2.2.2 Okvir OK2



Slika 33: Projektne vrednosti osnih sil N_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).



Slika 34: Projektne vrednosti prečnih sil V_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).



Slika 35: Projektne vrednosti upogibnim momentov M_{Ed} za OK2 v pogojih požara ($A_d = 0$).

5 PROJEKTIRANJE AB STEBRA V POGOJIH NORMALNE UPORABE

5.1 Krovni sloj betona

Konstrukcija iz armiranega betona vsebuje ojačitve v obliki armaturnih palic, ki se nahajajo v notranjosti betona in so zato zaščitene pred zunanjimi vplivi. Tako podaljšamo življensko dobo konstrukcije. Palice štiti tako imenovani krovni sloj betona, to je razdalja od površine armaturne palice, ki je najbližja betonski površini (običajno je to stremenska armatura), do te betonske površine. Nazivni krovni sloj izračunamo kot vsoto najmanjšega krovnega sloja c_{\min} in dovoljenega projektnega odstopanja Δc_{dev} kot prikazujemo v enačbi (7):

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}}. \quad (7)$$

Za c_{\min} upoštevamo največjo vrednost, ki je potrebna glede na zahteve sprijemnosti in pogojev okolja. Določena je z izrazom (8):

$$c_{\min} = \max \{ c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{\text{dur},y} - \Delta c_{\text{dur},st} - \Delta c_{\text{dur},add}; 10 \text{ mm} \}. \quad (8)$$

Najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprijemnosti $c_{\min,b}$ zagotavlja varen prenos sidrskih sil in ustrezno zgostitev betona. Standard SIST EN 1992-1-1:2005 za vrednost $c_{\min,b}$ določa kar premer armaturne palice. Pri analizi AB stebra obravnavane stavbe predpostavimo uporabo armaturnih palic premera $\Phi_{\min} = 12 \text{ mm}$. Torej $c_{\min,b} = 12 \text{ mm}$.

Najmanjšo debelino krovnega sloja betona glede na pogoje okolja $c_{\min,dur}$ določimo v odvisnosti od razreda konstrukcije in razreda izpostavljenosti. Ob predvideni projektni življenski dobi 50 let stavbo uvrstimo v razred konstrukcije S4. Upoštevamo razred izpostavljenosti XC1, to pomeni da imamo opravka z betonom v stavbah z nizko stopnjo vlažnosti. Skladno s preglednico 4.4N iz standarda SIST EN 1992-1-1:2005 določimo najmanjšo debelino krovnega sloja betona glede na pogoje okolja $c_{\min,dur} = 15 \text{ mm}$. Za debelino dodatnega varnostnega sloja $c_{\text{dur},y}$ oziroma za zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla $\Delta c_{\text{dur},st}$ ter za zmanjšanje najmanjše debeline krovnega sloja pri uporabi dodatne zaščite, upoštevamo priporočene vrednosti (0 mm). Torej ob uporabi izraza (8) dobimo:

$$c_{\min} = \max \{ 12 \text{ mm}; 15 \text{ mm}; 10 \text{ mm} \} = 15 \text{ mm}.$$

Za dovoljeno projektno odstopanje Δc_{dev} je v Nacionalnem dodatku k SIST EN 1992-1-1:2005 navedena priporočena vrednost $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$. Uporabimo izraz (7) in dobimo vrednost nazivnega krovnega sloja c_{nom} :

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

5.2 Mejna stanja nosilnosti v pogojih normalne uporabe

Obravnani steber najprej projektiramo po metodi mejnih stanj v pogojih normalne uporabe. Upoštevamo mejna stanja nosilnosti, ki se nanašajo na varnost konstrukcije. Projektiranje stebra na mejna stanja temelji na uporabi ustreznega računskega modela in ustreznih projektnih vrednosti vplivov, lastnosti materiala in geometrije konstrukcije. Formalno preverjanje mejnega stanja nosilnosti zapišemo kot pogoj:

$$E_d \leq R_d, \quad (9)$$

kjer je E_d projektna vrednost učinkov vplivov (notranje sile), R_d pa je projektna vrednost pripadajoče odpornosti.

V nadaljevanju steber projektiramo ločeno na osno obremenitev in strižno obremenitev. Projektne vrednosti učinkov vplivov E_d za obravnavan AB steber odčitamo iz diagramov notranjih sil za okvir OK1 in OK2 v točki 4.2.1.

5.3 Dimenzioniranje stebra na osno obremenitev

Nosilna konstrukcija obravnavane stavbe je izpostavljena navpični in vodoravni obtežbi. Predpostavili smo, da celotno vodoravno obtežbo zaradi vpliva vetra in potresa prevzamemo z AB stenami, to pomeni, da stebri ne sodelujejo pri prevzemu vodoravne obtežbe. Tako lahko stebre skladno s standardom SIST EN 1998-1:2005 uvrstimo med sekundarne potresne elemente. Kljub temu, da pri analizah potresnega vpliva nosilnost in togost teh elementov zanemarimo, pa moramo te elemente in stike projektirati in konstruirati tako, da lahko prenašajo težnostne sile pri pomikih, ki jih povzroča najneugodnejši potresni projektni primer.

V nadaljevanju projektiramo stebre le na navpično obtežbo v skladu z določili standarda SIST EN 1992-1-1:2004.

5.3.1 Kriterij vitkosti izoliranega stebra

Skladno z določili iz standarda SIST EN 1992-1-1:2005 lahko učinke teorije drugega reda zanemarimo, če je vitkost izoliranega elementa λ manjša od mejne vitkosti λ_{lim} , ki jo izračunamo z izrazom:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n}, \quad (10)$$

kjer so:

$$A = 1/(1+0,2 \cdot \varphi_{ef}) \quad (\text{če } \varphi_{ef} \text{ ni znan, lahko upoštevamo } A = 0,7), \quad (11)$$

$$B = \sqrt{(1 + 2 \cdot \omega)} \quad (\text{če } \omega \text{ ni znan, lahko upoštevamo } B = 1,1), \quad (12)$$

$$C = 1,7 - r_m \quad (\text{če } r_m \text{ ni znan, lahko upoštevamo } C = 0,7). \quad (13)$$

Pri tem je φ_{ef} koeficient lezenja, ω je stopnja armiranja, r_m je razmerje upogibnih momentov in n je normirana osna sila. Posamezne količine izračunamo z naslednjimi izrazi:

$$\omega = A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd}), \quad (14)$$

$$r_m = M_{01} / M_{02}, \quad (15)$$

$$n = N_{ED} / (A_c \cdot f_{cd}). \quad (16)$$

V enačbi (16) je N_{ED} projektna osna sila, A_c je površina prečnega prereza stebra, f_{cd} pa je projektna tlačna trdnost betona.

Obravnavan steber je zavarovan element, to pomeni, da ne prispeva h globalni vodoravni stabilnosti konstrukcije. Ker pri obravnavanem stebru upogibni moment po teoriji prvega reda izhaja pretežno iz nepopolnosti ali prečne obtežbe, lahko za razmerje upogibnih momentov r_m upoštevamo vrednost 1,0. Mehanske stopnje armiranja ω ne poznamo, zato lahko v računu λ_{\min} upoštevamo $B = 1,1$. V nadaljevanju izračunamo mejne vitosti za tri različne dimenzije prečnega prereza stebra.

Steber 40/40 cm

$$\lambda_{\lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 / \sqrt{0,46} = 15,9$$

$$n = N_{ED} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1230 / (1600 \cdot 1,67) = 0,46$$

Steber 35/35 cm

$$\lambda_{\lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 / \sqrt{0,60} = 13,9$$

$$n = N_{ED} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1225 / (1225 \cdot 1,67) = 0,60$$

Steber 30/30 cm

$$\lambda_{\lim} = 20 \cdot A \cdot B \cdot C / \sqrt{n} = 20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7 / \sqrt{0,82} = 11,9$$

$$n = N_{ED} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1214 / (900 \cdot 1,67) = 0,82$$

5.3.2 Vitkost in uklonska dolžina izoliranih elementov

V skladu s točko 5.8.3.2 iz standarda SIST EN 1992-1-1:2005 vitkost izoliranega elementa izračunamo z izrazom:

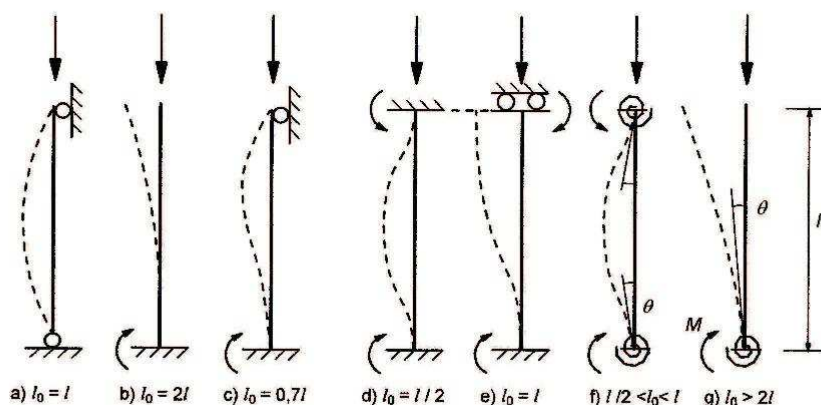
$$\lambda = l_0 / i \quad (17)$$

Pri tem je l_0 uklonska dolžina elementa, i pa je vtrajnostni polmer nerazpokanega betonskega prereza in ga izračunamo z enačbo:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (18)$$

kjer je I vztrajnostni moment, A pa površina prečnega prereza.

Na sliki 36 prikazujemo značilne uklonske dolžine izoliranih elementov s konstantnim prečnim prerezom.



Slika 36: Različne uklonske oblike in uklonske dolžine izoliranih elementov
(SIST EN 1992-1-1:2005, str. 68).

Uklonsko dolžino obravnavanega AB stebra v pritličju, ki je zavarovan element, spodaj vpet in je del pravilnega AB okvira (glej sliko 36 f) izračunamo z enačbo:

$$l_0 = 0,5l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} \quad (19)$$

Pri tem sta k_1 in k_2 relativni zasučni podajnosti na koncih stebra, l pa je svetla višina tlačnega elementa med končnimi vpetji. Pri določanju togosti vpetja moramo upoštevati učinke razpok. Skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005 upoštevamo na vpetem robu stebra $k_2 = 0,1$, relativno zasučno togost zgornjega vozlišča stebra pa izračunamo z izrazom:

$$k = (\theta / M) \cdot (EI / l), \quad (20)$$

kjer je θ zasuk vozlišča pri upogibnem momentu M , EI pa je upogibna togost tlačnega stebra. Ker pa pri uklonu stebra v pritličju prispeva k zasuku zgornjega vozlišča tudi steber v prvem nadstropju, moramo v izrazu (20) člen (EI / l) nadomestiti z $[(EI / l)_a + (EI / l)_b]$. Pri tem se indeks a nanaša na steber v pritličju, indeks b pa na steber v nadstropju.

Torej glede kriterija vitkosti izoliranih elementov lahko skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005 učinke teorije drugega reda zanemarimo, če je izpolnjen pogoj:

$$\lambda < \lambda_{\text{lim}}. \quad (21)$$

V nadaljevanju izračunamo vitkost obravnavanega AB stebra z različnimi prečnimi prerezi ter preverimo pogoj (21).

Steber 40/40cm

Upogibna togost stebra je: $EI = E \frac{h \cdot b^3}{12} = 3,1 \cdot 10^7 \cdot \frac{0,40 \cdot 0,40^3}{12} = 66133,3 \text{ kNm}^2$

Višina stebra je $l = 4 \text{ m}$, zasuk vozlišča pri upogibnem momentu $M = 10000 \text{ kNm}$ pa je $\theta = 0,10003$.

Relativna zasučna togost zgornjega vozlišča je (glej enačbo(20)):

$$k_1 = (\theta / M) \cdot [(EI / l)_a + (EI / l)_b] = (0,10003/10000) \cdot [16533,3 + 16533,3] = 0,33$$

spodnjega pa $k_2 = 0,1$.

Uklonsko dolžino stebra izračunamo s pomočjo enačbe (19) in je:

$$l_0 = 0,5 \cdot l \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{0,33}{0,45 + 0,33}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right)} = 0,5 l \cdot \sqrt{1,423 \cdot 1,182} = 0,65 l = 0,65 \cdot 4 = 2,59 \text{ m}$$

Vztrajnostni polmer prečnega prereza stebra je:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{h \cdot b^3}{12}}{h \cdot b}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \sqrt{\frac{40^2}{12}} = 11,5$$

vitkost pa:

$$\lambda = l_0 / i = 259 / 11,5 = 22,6$$

Ugotovimo, da pogoj (21) ni izpolnjen, saj je vitkost stebra večja od od mejne vitkosti λ_{lim} , ki je 15,9 (glej točko 5.3.1). To pomeni, da moramo steber s prečnim prerezom 40/40 cm projektirati z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.

Steber 35/35 cm

Upogibna togost stebra je: $EI = E \frac{h \cdot b^3}{12} = 3,1 \cdot 10^7 \cdot \frac{0,35 \cdot 0,35^3}{12} = 38766 \text{ kNm}^2$

Višina stebra je $l = 4 \text{ m}$, zasuk vozlišča pri upogibnem momentu $M = 10000 \text{ kNm}$ pa je $\theta = 0,13479$.

Relativna zasučna togost zgornjega vozlišča je (glej enačbo(20)):

$$k = (\theta / M) \cdot [(EI / l)_a + (EI / l)_b] = (0,13479/10000) \cdot [9691,5 + 9691,5] = 0,26$$

Uklonsko dolžino stebra izračunamo s pomočjo enačbe (19) in je:

$$l_0 = 0,5 \cdot 4 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{0,26}{0,45 + 0,26}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right)} = 0,5 l \cdot \sqrt{1,366 \cdot 1,1818} = 0,575 l = 0,64 \cdot 4 = 2,54 \text{ m}$$

Vztrajnostni polmer prečnega prereza stebra je:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{h \cdot b^3}{12}}{h \cdot b}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \sqrt{\frac{35^2}{12}} = 10,1$$

vitkost pa:

$$\lambda = l_0 / i = 254 / 10,1 = 25,2$$

Ugotovimo, da pogoj (21) ni izpolnjen, saj je vitkost stebra večja od od mejne vitkosti λ_{im} , ki je 13,9 (glej točko 5.3.1). To pomeni, da moramo steber s prečnim prerezom 35/35 cm projektirati z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.

Steber 30/30 cm

$$\text{Upogibna togost stebra je: } EI = E \frac{h \cdot b^3}{12} = 3,1 \cdot 10^7 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,3^3}{12} = 20925 \text{ kNm}^2$$

Višina stebra je $l = 4$ m, zasuk vozlišča pri upogibnem momentu $M = 10000$ kNm pa je $\theta = 0,17699$.

Relativna zasučna togost zgornjega vozlišča je (glej enačbo(20)):

$$k = (\theta / M) \cdot [(EI / l)_a + (EI / l)_b] = (0,17699/10000) \cdot [5231 + 5231] = 0,185$$

Uklonsko dolžino stebra izračunamo s pomočjo enačbe (19) in je:

$$l_0 = 0,5 \cdot 4 \cdot \sqrt{\left(1 + \frac{0,185}{0,45 + 0,185}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1}{0,45 + 0,1}\right)} = 0,5 l \cdot \sqrt{1,292 \cdot 1,1818} = 0,62 l = 0,62 \cdot 4 = 2,47 \text{ m}$$

Vztrajnostni polmer prečnega prereza stebra je:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{h \cdot b^3}{12}}{h \cdot b}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \sqrt{\frac{30^2}{12}} = 8,7$$

vitkost pa:

$$\lambda = l_0 / i = 247 / 8,7 = 28,4$$

Ugotovimo, da pogoj (21) ni izpolnjen, saj je vitkost stebra večja od od mejne vitkosti λ_{im} , ki je 11,9 (glej točko 5.3.1). To pomeni, da moramo tudi steber s prečnim prerezom 30/30 cm projektirati z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.

5.3.3 Analiza stebra z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda

Za analizo stebra z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda lahko skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005 uporabimo splošno metodo, ki temelji na nelinearni analizi drugega reda, ali pa eno izmed poenostavljenih metod. Na voljo imamo poenostavljeno metodo, ki temelji na nazivni togosti in poenostavljeno metodo, ki temelji na nazivni ukrivljenosti. V analizi uporabimo drugo poenostavljeno metodo, ki jo v nadaljevanju tudi podrobneje opišemo.

5.3.4 Poenostavljena metoda, ki temelji na nazivni ukrivljenosti

Metoda je primerna predvsem za izolirane elemente s konstantno osno silo in določeno uklonsko dolžino. S to metodo izračunamo nazivni upogibni moment drugega reda M_2 , ki temelji na upogibku, ki izhaja iz uklonske dolžine in ocenjene največje ukrivljenosti.

Projektni upogibni moment M_{Ed} , ki ga uporabimo pri dimenzioniranju prečnega prereza stebra, izračunamo z izrazom:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2, \quad (22)$$

kjer je M_{0Ed} upogibni moment, ki smo ga dobili po teoriji prvega reda, M_2 pa nazivni upogibni moment po teoriji drugega reda. V kolikor sta upogibna momenta na konceh stebra (M_{01} in M_{02}) po teoriji prvega reda različna, v računu upoštevamo nadomestni upogibni moment po teoriji prvega reda na koncu stebra in sicer:

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02}. \quad (23)$$

Pri tem velja $|M_{02}| \geq |M_{01}|$.

Nazivni upogibni moment po teoriji drugega reda M_2 izračunamo kot produkt projektne vrednosti osne sile N_{Ed} in upogibka e_2 :

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2. \quad (24)$$

Upogibek e_2 izračunamo z izrazom:

$$e_2 = (1/r) \cdot l_0^2 / c, \quad (25)$$

kjer je $1/r$ ukrivljenost, l_0 je uklonska dolžina, c pa je faktor, ki je odvisen od poteka ukrivljenosti. Za elemente s konstantnim prečnim prerezom upoštevamo $c = 10$ ($\approx \pi^2$).

Če je prečni prerez elementa simetričen (vključno z armaturo), lahko ukrivljenost $1/r$ izračunamo z uporabo izraza:

$$1/r = K_r \cdot K_\phi \cdot (1/r_0), \quad (26)$$

kjer je K_r korekcijski faktor in je odvisen od osne sile, s faktorjem K_ϕ pa upoštevamo lezenje betona.

Dodatno velja:

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 \cdot d). \quad (27)$$

Korekcijski faktor K_r izračunamo z izrazom:

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1. \quad (28)$$

Pri tem je n normirana osna sila in je $n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$, parameter $n_u = 1 + \omega$ je odvisen od stopnje armiranja $\omega = (A_s f_{yd}) / (A_c f_{cd})$, za vrednost n_{bal} pa upoštevamo 0,4. V primeru, da učinek lezenja betona zanemarimo, lahko privzamemo $K_\phi = 1$.

V nadaljevanju izračunamo za obravnavan steber nazivni upogibni moment drugega reda M_2 ter projektni upogibni moment M_{Ed} . Obravnavamo stebre z različnimi dimenzijami prečnih prerezov.

Steber 40/40 cm

Projektno osno silo N_{Ed} in upogibna momenta na konceh stebra (M_{01} in M_{02}) po teoriji prvega reda odčitamo z diagramov na sliki 24 in 26. Upoštevamo le obremenitve iz okvirja OK1.

$$N_{Ed} = 1230 \text{ kNm}, M_{01} = -0,92 \text{ kNm}, M_{02} = 1,29 \text{ kNm}$$

Nadomestni upogibni moment M_{0Ed} po teoriji prvega reda na koncu stebra izračunamo z enačbo (23):

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02}$$

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot 1,29 + 0,4 \cdot (-0,92) \geq 0,4 \cdot 1,29$$

$$M_{0Ed} = 0,41 \text{ kNm} < 0,52 \text{ kNm} \rightarrow M_{0Ed} = 0,52 \text{ kNm}$$

Nazivni upogibni moment po teoriji drugega reda M_2 izračunamo kot produkt projektne vrednosti osne sile N_{Ed} in upogibka e_2 . Pri tem uporabimo enačbe (24), (25), (26), (27) in (28).

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1230 \cdot 0,012 = 14,8 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1230 \text{ kN}$$

$$e_2 = (1/r) \cdot l_0^2 / c = 0,013 \cdot 3^2 / 10 = 0,012 \text{ m}$$

$$1/r = K_r \cdot K_\phi \cdot (1/r_0) = 0,93 \cdot 1 \cdot 0,014 = 0,013$$

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 \cdot d) = 0,0022 / (0,45 \cdot 0,36) = 0,014 \frac{1}{\text{m}}$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1$$

$$K_r = (1,15 - 0,46) / (1,15 - 0,4) \leq 1$$

$$K_r = 0,93 < 1$$

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1230 / (1600 \cdot 1,67) = 0,46$$

$$n_u = 1 + (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd}) = 1 + (9,05 \cdot 43,5) / (1600 \cdot 1,67) = 1,15$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_\phi = 1$$

Projektni upogibni moment M_{Ed} , ki ga uporabimo pri dimenzioniranju prečnega prereza stebra, je:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 0,52 + 14,8 = 15,3 \text{ kNm}$$

Steber 35/35 cm

Projektno osno silo N_{Ed} in upogibna momenta na koncih stebra (M_{01} in M_{02}) po teoriji prvega reda odčitamo z diagramov na sliki 24 in 26. Upoštevamo le obremenitve iz okvirja OK1.

$$N_{Ed} = 1225 \text{ kNm}, M_{01} = -1,47 \text{ kNm}, M_{02} = 1,49 \text{ kNm}$$

Nadomestni upogibni moment M_{0Ed} po teoriji prvega reda na koncu stebra izračunamo z enačbo (23):

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02}$$

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot 1,49 + 0,4 \cdot (-1,47) \geq 0,4 \cdot 1,49$$

$$M_{0Ed} = 0,31 \text{ kNm} < 0,60 \text{ kNm} \rightarrow M_{0Ed} = 0,60 \text{ kNm}$$

Nazivni upogibni moment po teoriji drugega reda M_2 izračunamo kot produkt projektne vrednosti osne sile N_{Ed} in upogibka e_2 . Pri tem uporabimo enačbe (24), (25), (26), (27) in (28).

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1225 \cdot 0,011 = 13,5 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1225 \text{ kN}$$

$$e_2 = (1/r) \cdot l_0^2 / c = 0,012 \cdot 3^2 / 10 = 0,011 \text{ m}$$

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot (1/r_0) = 0,75 \cdot 1 \cdot 0,016 = 0,012$$

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 \cdot d) = 0,0022 / (0,45 \cdot 0,31) = 0,016 \frac{1}{\text{m}}$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1$$

$$K_r = (1,19 - 0,60) / (1,19 - 0,4) \leq 1$$

$$K_r = 0,75 < 1$$

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1225 / (1225 \cdot 1,67) = 0,60$$

$$n_u = 1 + (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd}) = 1 + (9,05 \cdot 43,5) / (1225 \cdot 1,67) = 1,19$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1$$

Projektni upogibni moment M_{Ed} , ki ga uporabimo pri dimenzioniranju prečnega prereza stebra, je:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 0,60 + 13,5 = 14,1 \text{ kNm}$$

Steber 30/30 cm

Projektno osno silo N_{Ed} in upogibna momenta na koncih stebra (M_{01} in M_{02}) po teoriji prvega reda odčitamo z diagramov na sliki 24 in 26. Upoštevamo le obremenitve iz okvirja OK1.

$$N_{Ed} = 1214 \text{ kNm}, M_{01} = -1,53 \text{ kNm}, M_{02} = 1,83 \text{ kNm}$$

Nadomestni upogibni moment M_{0Ed} po teoriji prvega reda na koncu stebra izračunamo z enačbo (23):

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} \geq 0,4 \cdot M_{02}$$

$$M_{0Ed} = 0,6 \cdot 1,83 + 0,4 \cdot (-1,53) \geq 0,4 \cdot 1,83$$

$$M_{0Ed} = 0,49 \text{ kNm} < 0,73 \text{ kNm} \rightarrow M_{0Ed} = 0,73 \text{ kNm}$$

Nazivni upogibni moment po teoriji drugega reda M_2 izračunamo kot produkt projektne vrednosti osne sile N_{Ed} in upogibka e_2 . Pri tem uporabimo enačbe (24), (25), (26), (27) in (28).

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1214 \cdot 0,009 = 10,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1214 \text{ kN}$$

$$e_2 = (1/r) \cdot l_0^2 / c = 0,010 \cdot 3^2 / 10 = 0,009 \text{ m}$$

$$1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot (1/r_0) = 0,51 \cdot 1 \cdot 0,02 = 0,010$$

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd} / (0,45 \cdot d) = 0,0022 / (0,45 \cdot 0,26) = 0,020 \frac{1}{\text{m}}$$

$$K_r = (n_u - n) / (n_u - n_{bal}) \leq 1$$

$$K_r = (1,26 - 0,81) / (1,26 - 0,4) \leq 1$$

$$K_r = 0,51 < 1$$

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) = 1214 / (900 \cdot 1,67) = 0,81$$

$$n_u = 1 + (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd}) = 1 + (9,05 \cdot 43,5) / (900 \cdot 1,67) = 1,26$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$K_\varphi = 1$$

Projektni upogibni moment M_{Ed} , ki ga uporabimo pri dimenzioniranju prečnega prereza stebra, je:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 = 0,73 + 10,9 = 11,6 \text{ kNm}$$

V preglednici 1 zberemo obremenitve stebra z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda. Obravnavamo deformiranje stebra v smeri okvirja OK1 (v prečni smeri stavbe). Podobne vrednosti obremenitev dobimo tudi pri deformiranju stebra v smeri okvirja OK2.

Preglednica 1: Obremenitve stebra v pogojih normalne uporabe z upoštevanjem učinkov teorije drugega reda.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
N_{Ed} [kN]	1230	1225	1214
M_{Ed} [kN]	15,3	14,1	11,6

5.3.5 Projektiranje vzdolžne armature stebra

Skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005 in pripadajočim Nacionalnim dodatkom izračunamo minimalno količino celotne vzdolžne armature v stebru z enačbo:

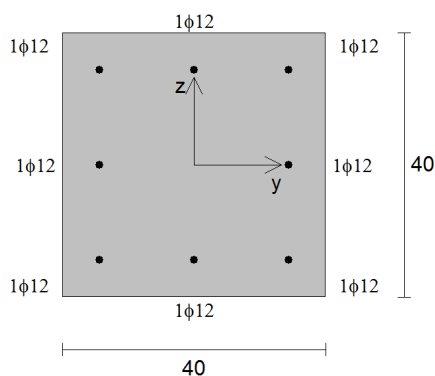
$$A_{s,min} = \frac{0,15 \cdot N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0,003 \cdot A_c \quad (29)$$

Pri tem premer vzdolžnih palic ne sme biti manjši od $\Phi_{min} = 12$ mm.

Postopek projektiranja vzdolžne armature stebra je sledeč. Izberemo takšno število armaturnih palic s premerom 12 mm, da zadostimo pogoju (29). Armaturne palice razporedimo enakomerno po obodu pri čemer v vsak vogal postavimo vsaj eno palico. AB steber je obremenjen z osno silo in hkratnim upogibom okrog dveh glavnih osi (dvoosnim upogibom). Projektne vrednosti upogibnih momentov so relativno majhne, zato opravimo ločeno dimenzioniranje v vsaki glavni smeri posebej. Z interakcijskim diagramom mejne nosilnosti AB prečnega prereza preverimo, če je odpornost (nosilnost) prereza večja od projektne obremenitve. Uporabimo računalniški proram DIAS (FGG – IKPIR. 1993. Programski sistem za dimenzioniranje in analizo armiranobetonskih stavb).

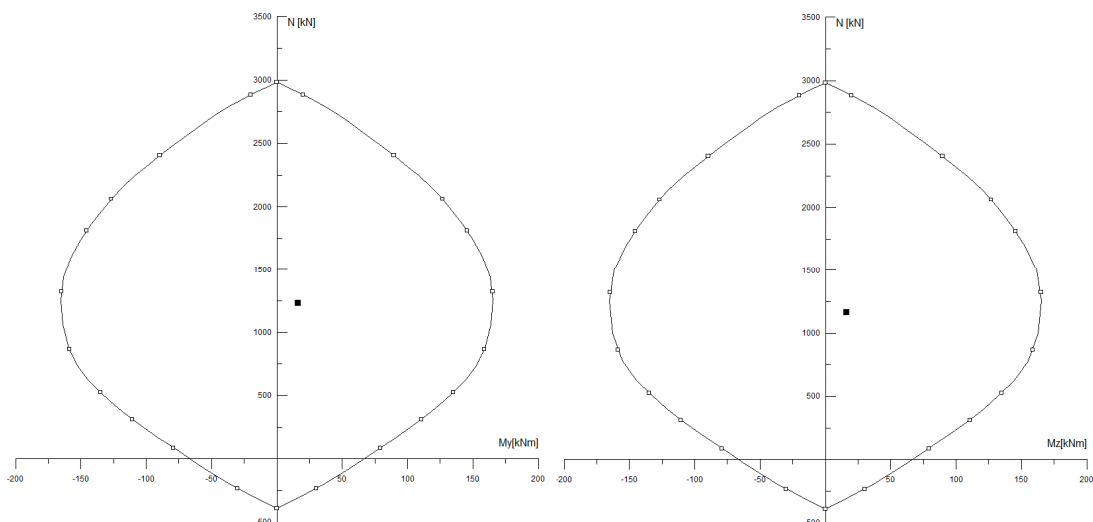
Steber 40/40 cm

Minimalna količina celotne vzdolžne armature stebra znaša $A_{s,min} = 4,8$ cm². Izberemo $8\Phi 12$ s skupnim presežkom $A_{s,dej} = 9,05$ cm². Težišče posamezne armaturne palice je od zunanega roba oddaljeno za 4 cm. Prečni prežez z izbrano vzdolžno armaturo prikazujemo na sliki 37.



Slika 37: Steber 40/40 cm z izbrano vzdolžno armaturo.

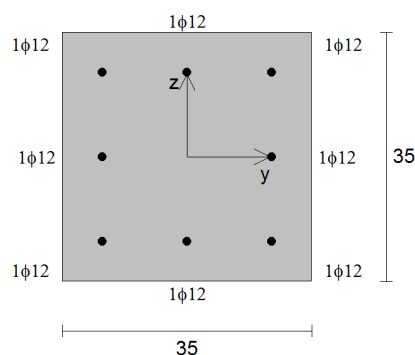
Projektne obremenitve stebra so: $N_{Ed} = 1230$ kN (tlačna osna sila), $M_{Ed,y} = M_{Ed,z} = 15,3$ kNm (glej preglednico 1). Ugotovimo, da so obremenitve stebra znotraj interakcijskega diagrama mejne nosilnosti prečnega prereza AB stebra z izbrano armaturo, v vsaki glavni smeri posebej. To prikazujemo na sliki 38. Interakcijska diagrama mejne nosilnosti sta zaradi simetrije prereza popolnoma enaka.



Slika 38: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 40/40 cm v dveh glavnih smereh.

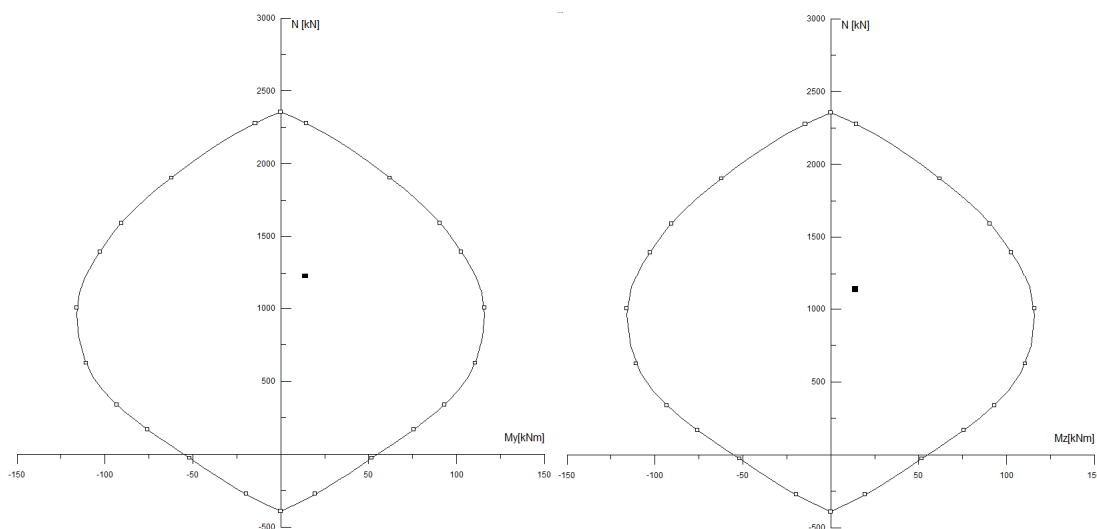
Steber 35/35 cm

Minimalna količina celotne vzdolžne armature stebra znaša $A_{s,min} = 4,22$ cm². Izberemo $8\Phi 12$ s skupnim prerezom $A_{s,dej} = 9,05$ cm². Prečni prerez z izbrano vzdolžno armaturo prikazujemo na sliki 39.



Slika 39: Steber 35/35 cm z izbrano vzdolžno armaturo.

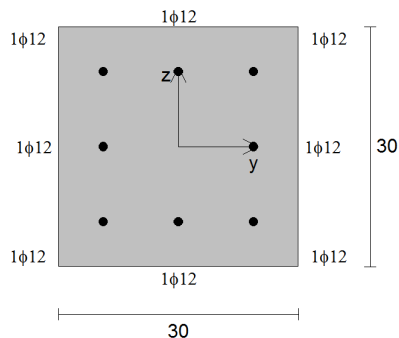
Projektne obremenitve stebra so: $N_{Ed} = 1225$ kN, $M_{Ed,y} = M_{Ed,z} = 14,1$ kNm (glej preglednico 1). Tudi v tem primeru so obremenitve stebra znotraj interakcijskega diagrama mejne nosilnosti prečnega prereza AB stebra z izbrano armaturo, v vsaki glavni smeri posebej. To prikazujemo na sliki 40.



Slika 40: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 35/35 cm v dveh glavnih smereh.

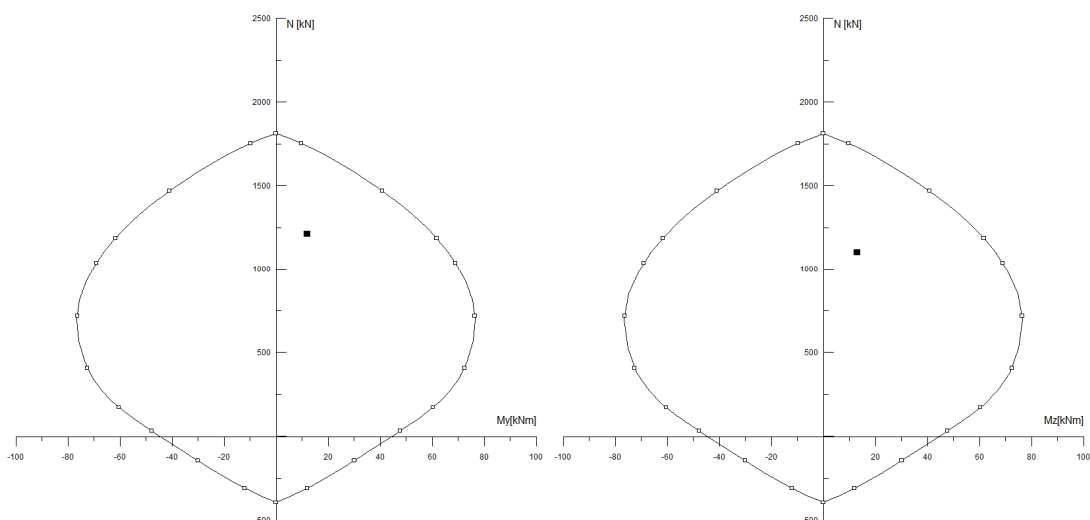
Steber 30/30 cm

Minimalna količina celotne vzdolžne armature stebra znaša $A_{s,min} = 4,19 \text{ cm}^2$. Tudi v tem primeru izberemo $8\phi 12$ s skupnim prerezom $A_{s,dej} = 9,05 \text{ cm}^2$. Prečni prerez z izbrano vzdolžno armaturo prikazujemo na sliki 41.



Slika 41: Steber 30/30 cm z izbrano vzdolžno armaturo.

Projektne obremenitve stebra so: $N_{Ed} = 1214 \text{ kN}$, $M_{Ed,y} = M_{Ed,z} = 11,6 \text{ kNm}$ (preglednica 1). Obremenitve stebra so znotraj interakcijskega diagrama mejne nosilnosti prečnega prereza AB stebra z izbrano armaturo, kar prikazujemo na sliki 40. Torej izbrana vzdolžna armatura stebra je ustrezna.



Slika 42: Interakcijska diagrama mejne nosilnosti stebra 30/30 cm v dveh glavnih smereh.

5.4 Dimenzioniranje stebra na strižno obremenitev

Vertikalni nosilni elementi obravnavane stavbe so zasnovani tako, da celotno obtežbo v vodoravni smeri prevzamejo le AB stene, tako da stebri ne sodelujejo pri prevzemu vodoravne obtežbe. Kot smo že omenili, obravnavan stebel v pritličju je del okvira OK1 oziroma OK2. Okviri so torej obremenjeni le z navpično obtežbo (lastno težo, koristno obtežbo in obtežbo snega), zato so projektne vrednosti prečnih sil v stebrih v pogojih normalne uporabe zanemarljive. To dokazujeta tudi diagrama prečnih sil za OK1 in OK2 na sliki 25 oziroma 28.

Standard SIST EN 1992-1-1:2005 določa, da v območjih elementa konstrukcije, kjer je projektna vrednost prečne sile manjša od projektne strižne odpornosti elementa brez strižne armature $V_{Rd,c}$, strižna armatura ni potrebna. Zagotoviti moramo le minimalno količino strižne armature.

Pri obravnavanem stebri je strižna odpornost stebra brez strižne armature $V_{Rd,c}$ zagotovo večja od prečne sile in to ne glede na izbrano dimenzijo prečnega prereza stebra. Zato v stebri zagotovimo le minimalno strižno armaturo. Izberemo 2-strižno streme $\Phi 8/20$ cm.

6 PROJEKTIRANJE AB STEBRA V POGOJIH POŽARA

6.1 Splošno

Pri projektiranju konstrukcijskega elementa v pogojih požara, v obravnavanem primeru je to AB steber, moramo upoštevati naslednje računske korake:

- izbrati moramo merodajni požarni scenarij in določiti ustrezn projektni požar,
- izračunati moramo razvoj temperature po konstrukcijskem elementu in
- izračunati moramo mehansko obnašanje stebra, izpostavljenega požaru.

Projektiranje stebra v pogoji požara je osnovano na uporabi ustreznega računskega modela in ustreznih projektnih vrednosti vplivov, lastnosti materiala in geometrije konstrukcije. Pri tem moramo dokazati, da v celotnem času t izpostavljenosti stebra požaru velja:

$$E_{d,t,fi} \leq R_{d,t,fi}, \quad (30)$$

kjer je $E_{d,t,fi}$ projektni učinek vplivov v pogojih požara, $R_{d,t,fi}$ pa pripadajoča projektna odpornost. Zahtevo (30) pa lahko zapišemo tudi v časovnem območju:

$$t_{fi,requ} \leq t_{d,fi}, \quad (31)$$

kjer je $t_{d,fi}$ projektna vrednost požarne odpornosti, $t_{fi,requ}$ pa zahtevan čas požarne odpornosti. Pri tem je požarna odpornost konstrukcijskega elementa sposobnost, da določen čas izpolnjuje zahteve glede stabilnosti (nosilnosti), celovitosti in/ali toplotne izolativnosti. Pri obravnavanem stebru se osredotočimo predvsem na dokaz funkcije nosilnosti med požarom.

Za zadovoljitev zahteve (30) oziroma (31) standard SIST EN 1992-1-2: 2005 dovoljuje naslednje metode projektiranja:

- uporaba tabeliranih vrednosti (detajliranje v skladu s priznanimi projektnimi rešitvami),
- poenostavljene računske metode analize prečnega prereza za določene vrste konstrukcijskih elementov (npr. upogibno obremenjeni nosilci),
- napredne računske metode za analizo odziva konstrukcije ali njenega dela med požarom.

Steber v pogojih požara analiziramo z uporabo tabeliranih vrednosti. V nadaljevanju podrobneje predstavimo posamezne računske korake požarne analize za obravnavan steber.

6.2 Požarni scenarij in ustrezen projektni požar

Požar je buren dinamičen proces, ki je odvisen od mnogo dejavnikov. Za opis razvoja požara so med drugimi potrebni podatki o o vrsti in načinu vžiga, napredovanju ali razvoju in trajanju požara, ter o prezračevanju požarnega prostora. Razvoj požara oziroma tako imenovani požarni scenarij lahko opišemo sčasovno opredeljenimi ključnimi dogodki. Ti dogodki označujejo požar in ga razlikujejo od drugih možnih požarov. Pri opisu razvoja požara ob izdelavi požarnega scenarija je potrebno upoštevati:

- vire vžiga (vrsta, temperatura, energijska vrednost)
- začetno rast požara (vrste in lastnosti materialov)
- čas do požarnega preskoka
- požarni preskok (flash-over)
- polno razviti požar
- pojemanje požara (ohlajevanje)

Razvoj tipičnega naravnega požara prikazujemo na sliki 43 in kot vidimo ga lahko sestavimo iz več časovno odvisnih faz.



Slika 43: Razvoj naravnega požara po fazah
(Glavnik, A., Jug, A.. 2010. Priročnik o načrtovanju požarne varnosti, str. 56).

Ker vemo, da je opis realnih požarov zelo zahteven bomo za oceno požarne odpornosti stebra uporabljali požarne scenarije (nazivna krivulja temperatura-čas in parametrična požarna krivulja), ki jih podaja standard EN 1991-1-2:2004.

6.2.1 Nazivne požarne krivulje

Standard SIST EN 1991-1-2:2004 obravnava toplotne in mehanske vplive na konstrukcijo izpostavljeno požaru. Uporabljamo ga v povezavi z deli standarda EN 1992 do EN1996 in EN 1999 za požarno projektiranje, v katerih so podana pravila za projektiranje z zahtevano požarno odpornostjo.

Standard podaja izraze za ovrednotenje naslednjih nazivnih krivulj temperatura–čas:

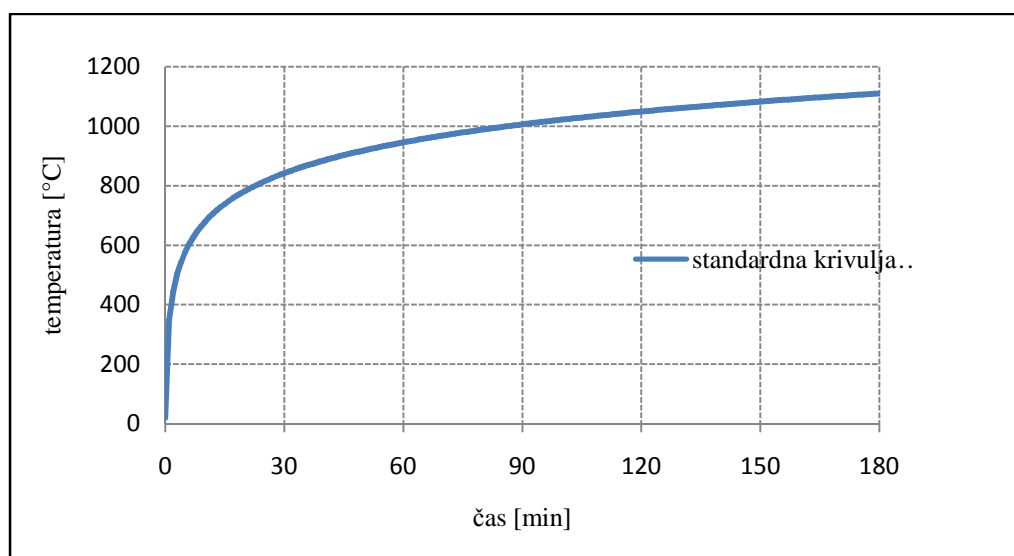
- Standardna krivulja temperatura–čas
- Požarna krivulja zunanjega požara
- Ogljiko vodikova krivulja

6.2.1.1 Standardna krivulja temperatura–čas

Standardna krivulja temperatura–čas je namenjena testiranju gradbenih elementov v požarnih pečeh in jo uporabljamo za razvrščanje elementov v razrede glede na njihovo požarno odpornost. Krivulja predstavlja razvoj požara po fazi požarnega preskoka, torej fazo polno razvitega požara. V krivulji niso zajete začetne faze razvoja požara, prav tako ne vsebuje faze pojemanja požara. To pomeni, da tako kot ostale nazivne požarne krivulje ne predstavlja opisa naravnega požara. Poleg tega je neodvisna od požarnega prostora in ventilacijskih pogojev, ki vladajo v njem. Standardna krivulja je znana tudi pod imenom ISO krivulja in je definirana v standardu ISO-834. Krivulja je definirana z izrazom:

$$\Theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} \cdot (8 \cdot t + 1), \quad (32)$$

kjer je Θ_g , temperatura plinov v požarnem sektorju v [°C], in čas t v [min].



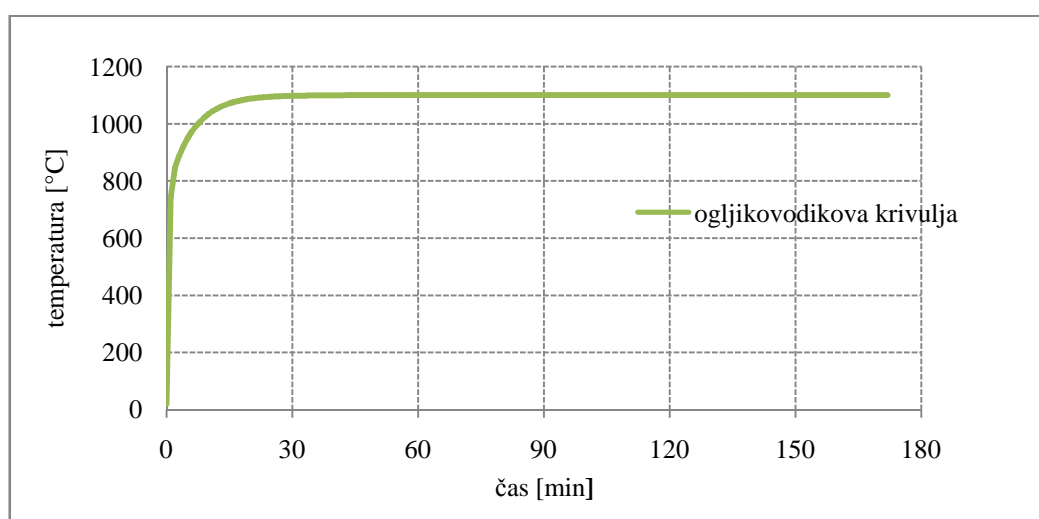
Slika 44: Standardna krivulja temperatura–čas.

6.2.1.2 Ogljikovodikova krivulja

Ogljikovodikova krivulja predstavlja model polnega gorenja ogljikovodikov (bencina, nafte in drugih podobnih goriv) v požarnem sektorju. Krivulja je imenovana tudi kot hidrokarbonska požarna krivulja. Po 30 minutah temperatura plinov v požarnem sektorju doseže 1078°C. Nato temperatura narašča bistveno počasneje. Po 80 minutah požara temperatura plinov doseže 1100°C in se nato ustali. Definirana je z izrazom (33):

$$\Theta_g = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167 \cdot t} - 0,675 \cdot e^{-2,5 \cdot t}) + 20, \quad (33)$$

kjer je Θ_g , temperatura plinov v požarnem sektorju v [°C], in čas t v [min].



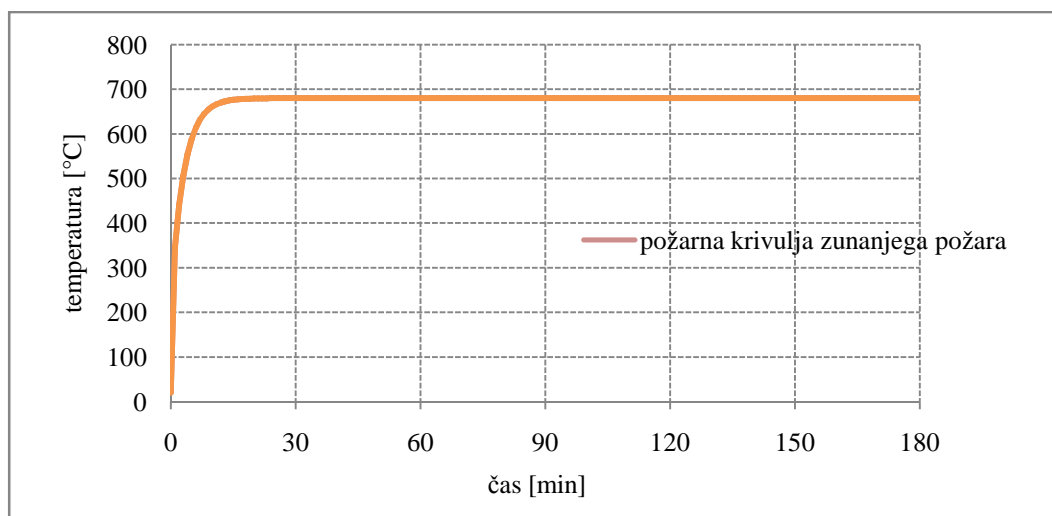
Slika 45: Ogljikovodikova krivulja.

6.2.1.3 Požarna krivulja zunanjega požara

Krivulja predstavlja požar za zunanji del ločilnih elementov, ki so izpostavljeni požaru iz različnih delov fasade. Temperatura skladno s požarno krivuljo zunanjega požara v 20 minutah naraste na 679°C in se nato ustali. Krivulja je opisana z izrazom (34):

$$\Theta_g = 660 \cdot (1 - 0,687 \cdot e^{-0,32 \cdot t} - 0,313 \cdot e^{-3,8 \cdot t}) + 20, \quad (34)$$

kjer je Θ_g , temperatura plinov v požarnem sektorju v [°C], in čas t v [min].



Slika 46: Požarna krivulja zunanjega požara.

6.2.2 Parametrične požarne krivulje

To so krivulje, ki natančneje predstavijo razvoj požara v požarnem sektorju. V primerjavi z nazivni krivuljami se razlikujejo po tem, da zajamejo tudi fazo ohlajanja požarnega sektorja. Temeljijo na posebnih fizikalnih parametrih z omejeno možnostjo uporabe.

V okviru diplomske naloge za izbran požarni sektor izračunamo dve parametrični krivulji. Prvo krivuljo določimo skladno z Dodatkom A v SIST EN 1991-1-2. Drugo parametrično krivuljo pa določimo s pomočjo programa OZone V2.2 (Cadorin, JF., Pintea, D., Franssen, JM., 2001. The Design Fire Tool OZone V2.2). Obe krivulji sta izdelani na osnovi celotnega sektorskega požara, kar pomeni, da je požarna obremenitev razporejena enakomerno po požarnem sektorju. V nadaljevanju podrobneje predstavimo obe parametrični požarni krivulji.

6.2.2.1 Parametrična krivulja temperatura-čas po SIST EN 1991-1-2

Parametrična krivulja skladno s SIST EN 1991-1-2 je veljavna za požarne sektorje talne površine do 500 m² brez odprtih v stropu in z maksimalno višino sektorja 4 m. Predpostavljeno je, da požarna obremenitev sektorja v celoti zgori. Krivulja je sestavljena iz faze segrevanja ter faze ohlajevanja, ki ju na kratko predstavimo v nadaljevanju.

Faza segrevanja

Krivuljo temperatura-čas v fazi segrevanja določimo z enačbo:

$$\Theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot t^*} - 0,472 \cdot e^{-19 \cdot t^*}), \quad (35)$$

kjer je Θ_g , temperatura plinov v požarnem sektorju v [°C], in navidezni čas t^* v [h] definiran z enačbo (36), kjer sta parametra t čas v urah [h] in Γ časovni faktor, funkcija faktorja odprtin O določen po enačbi (38) in toplotne absorbtivnosti b določen z izrazom (39). Časovni faktor Γ definiran z enačbo (37) je brezdimenziski [-], in v primeru da je časovni faktor $\Gamma = 1$, se enačba (35) približa standardni krivulji temperetura-čas.

$$t^* = t \cdot \Gamma. \quad (36)$$

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0,04 / 1160)^2, \quad (37)$$

$$O = A_v \cdot \sqrt{h_{eq}} / A_t, \quad (38)$$

$$b = \sqrt{\rho c \lambda}. \quad (39)$$

Pri tem je A_v celotna površina vertikalnih odprtih v vseh stenah, h_{eq} je uteženo povprečje višin oken v vseh stenah, A_t je celotna površina oboda (stene, stropovi in tla, vključno s odprtinami), ρ je gostota ločilnega oboda, specifična toplota ločilnega oboda c in toplotna prevodnost ločilnega oboda λ .

Faktor odprtih O ima enoto [m²] in mora biti znotraj naslednjih mej $0,02 \leq O \leq 0,20$.

Toplotna absorbtivnost b

Za izračun faktorja toplotne absorbtivnosti b lahko za gostoto ρ , specifično toploto c in toplotno prevodnost λ oboda prevzamemo vrednosti pri sobni temperaturi. Faktor b je prav tako omejen z minimalno vrednostjo $100 \text{ J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$ in maksimalno vrednostjo $2200 \text{ J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$. Za upoštevanje površine oboda, sestavljenega iz različnih plasti materiala, naj bo $b = \sqrt{\rho c \lambda}$ določen po naslednjem postopku. Če je $b_1 < b_2$ je $b = b_1$, pri obratnem pogoju $b_1 > b_2$, pa izračunamo mejno debelino s za izpostavljeni material z enačbo (40):

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 \cdot t_{max} \cdot \lambda_1}{c_1 \cdot \rho_1}}. \quad (40)$$

In nato če je $s_1 > s_{lim}$, upoštevamo $b = b_1$, ali pri pogoju $s_1 < s_{lim}$, pa izračunamo b z izrazom

$$\frac{s_1}{s_{lim}} \cdot b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) \cdot b_2, \text{ kjer je } s_i \text{ debelina } i\text{-te plasti.}$$

V zgornjih enačbah indeks 1 pomeni prvo plast neposredno izpostavljeno požaru, indeks 2 pa predstavlja naslednjo plast. Pri tem je čas t_{max} določen z izrazom (43).

Pri upoštevanju različnih faktorjev toplotne absorbtivnosti b sten, stropov in tal, se izračuna faktor po naslednji enačbi (41).

$$b = (\Sigma(b_j \cdot A_j)) / (A_j - A_v), \quad (41)$$

Pri čemer velja A_j jepovršina ploskve j oboda, odprtine niso upoštene in b_j jetplotna absorbtivnost ploskve j oboda.

Maksimalna temperatura Θ_{\max} pri času $t^* = t^*_{\max}$

Maksimalna temperatura Θ_{\max} nastopi pri času $t^* = t^*_{\max}$, izračuna se skldano z enačbo (35):

$$t^*_{\max} = t_{\max} \cdot \Gamma, \quad (42)$$

$$t_{\max} = \max [(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) ; t_{\lim}], \quad (43)$$

Maksimalni čas t_{\max} določen z enačbo (43), je določen kot maksimalna vrednost med časom t_{\lim} ali vrednostjo izračunano s pomočjo enačbe $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O)$, kjer je O faktor odprtin in $q_{t,d}$ projektna vrednost gostote požarne obremenitve glede na skupno površino A_t oboda.

Čas t_{\max} , pri katerih nastopi maksimalna temperatura, je pri požarih, ki so kontrolirani s količino gorljive snovi podan s časom t_{\lim} . Če pa je čas t_{\lim} podan z enačbo $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O)$, je požar ventilacijsko kontroliran. Kadar je $t_{\max} = t_{\lim}$, se t^* določi z enačbo (44).

$$t^* = t \cdot \Gamma_{\lim}, \quad (44)$$

$$z: \quad \Gamma_{\lim} = [O_{\lim} / b]^2 / (0,04/1160)^2, \quad (45)$$

kjer je faktor odprtin limitno O_{\lim} definiran z $0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{\lim}$.

V primeru da je $O > 0,04$ in $q_{t,d} < 75$, ter $b < 1160$, mora biti Γ_{\lim} pomnožen s k , definiran z spodnjim izrazom:

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04}\right) \cdot \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75}\right) \cdot \left(\frac{1160 - b}{1160}\right). \quad (46)$$

Hitrost razvoja požara razdelimo na tri stopnje in sicer:

- počasi, $t_{\lim} = 25$ min,
- srednje, $t_{\lim} = 20$ min,
- hitro, $t_{\lim} = 15$ min,

določimo ga glede na namembnost prostora, ki je prikazana v preglednici 2. V tej preglednici je prikazan tudi čas t_{α} , ki predstavlja čas, ki je potreben da dosežemo hitrost sproščanja toplote 1 kW. V zadnjem stolpcu preglednice 2, je vrednost maksimalne hitrosti sproščanja toplote RHR_f za različne rabe prostorov.

Preglednica 2: Stopnja rasti požara RHR_f za različne nastanitve.

Raba	Hitrost razvoja požara	t_{α} [s]	RHR_f [kW/m ²]
Stanovanja	srednja	300	250
Bolnišnice (sobe)	srednja	300	250
Hoteli (sobe)	srednja	300	250
Knjižnice	hitra	150	500
Pisarne	srednja	300	250
Šolski razredi	srednja	300	250
Nakupovalna središča	hitra	150	250
Dvorane (kino)	hitra	150	500
Transport (javni prostori)	počasna	600	250

Projektna vrednost gostote požarne obremenitve

Projektno vrednost gostote požarne obremenitve $q_{t,d}$, izražene v [MJ/m²], določimo z enačbo (47).

Projektna vrednost gostote požarne obremenitve je omejena z vrednostjo $50 \leq q_{t,d} \leq 1000$ [MJ/m²].

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t \quad (47)$$

Požarna obremenitev predstavlja količino toplote podane v J ali MJ, na 1 m², ki se lahko sprosti ob zgorevanju gorljivih materialov v požarnem sektorju. Ločimo dve vrsti požarne obremenitve:

- mobilna požarna obremenitev, ki predstavlja količino gorljivega materiala prinesenega v prostor,
- imobilna oziroma fiksna požarna obremenitev, ki predstavlja količino gorljivega materiala, vezane na objekt ali fiksno na element.

Skupni seštevek obeh vrst požarne obremenitve, fiksne in mobilne požarne obremenitve, predstavlja celotno ali skupno požarno obremenitev.

Projektno vrednost požarne obtežbe $q_{f,d}$ je določena z enačbo (48):

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad (48)$$

kjer je $q_{f,k}$ karakteristična gostota požarne obtežbe, m izgorevalni faktor, kar predstavlja način izgorevanja in je treba upoštevati v odvisnosti od rabe in tipa požarne obtežbe. Za pretežno celulozne materiale se lahko predpostavi faktor izgorevanja $m = 0,8$. δ_{q1} je faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na velikost požarnega sektorja in je prikazan v preglednici 3. Za pridobitev vmesnih vrednosti uporabimo linearno iterpolacijo. Faktor δ_{q2} upošteva nevarnost nastanka požara glede na rabo oziroma naselitev in je prikazan v preglednici 4.

Preglednica 3: Nevarnost nastanka požara δ_{q1} .

Talna površina sektorja A_t [m ²]	Nevarnost nastanka požara δ_{q1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Preglednica 4: Nevarnost nastanka požara δ_{q2} .

Nevarnost nastanka požara δ_{q2}	Primeri rabe (naselitve)
0,78	Umetnostne galerije, muzeji, plavalni bazeni
1,00	Pisarne, stanovanja, hoteli, papirna industrija
1,22	Tovarne za proizvodnjo strojev in motorjev
1,44	Kemični laboratoriji, barvarske delavnice
1,66	Tovarne pirotehničnih izdelkov ali barv

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$$

Faktor, ki upošteva uporabo različnih aktivnih ukrepov gašenja (pršilci, detektorji, avtomatski prenos alarma, gasilci,...). tovrstni aktivni ukrepi so navadno zahtevani zaradi varovanja življenj. Delni faktorji so prikazani v preglednici 5.

Preglednica 5: Aktivni ukrepi za preprečevanje požara
(SIST EN 1991-1-2;E.1, tabela E.2).

δ_{ni} funkcija aktivnih ukrepov za preprečevanje požara										
Avtomatsko preprečevanje požara				Avtomatsko zaznavanje požara		Ročno preprečevanje požara				
Avtomatski vodni gasilni sistem	Neodvisna preskrba z vodo			Avtomatsko zaznavanje požara in alarm	Avtomatska povezava alarma z gasilsko enoto	Lastna gasilska enota	Zunanja gasilska enota	Varne intervencijske poti	Gasilski pripomočki	Sistem za odvod dima
δ_{n1}	0	1	2	s toplo	z dimom	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 ali 0,73	0,87	0,61 ali 0,78	0,9 ali 1,0 ali 1,5	1,0 ali 1,5	1,0 ali 1,5	

S pomočjo preglednice določimo delne faktorje δ_{ni} , ki vplivajo na aktivne požarne ukrepe. S pomočjo teh ukrepov preprečimo ali omilimo razvoj oz. širjenje požara po požarnem sektorju. Posledično vplivamo tudi s kakšno hitrostjo se bo požar razvijal po samem sektorju. Če določenih ukrepov predstavljenih v preglednici 5 ne upoštevamo, se faktor določi z vrednostjo 1. Izjema so ukrepi, ki se

nanašajo na intervencijske poti, gasilnike in sistem za odvod dima. V primeru, da teh ukrepov ne predvidimo je faktor 1,5 drugače pa 1,0. Namreč ti ukrepi so ključni za doseganje osnovne varnosti v primeru požara in so praktično obvezni v večini zgradb. Preglednica vsebuje tri glavne razdelke, ki vplivajo na preprečevanje požara:

- avtomatsko preprečevanje požara, ki temelji na oskrbi z vodo v sektorju,
- avtomatsko zaznavanje požara, ki omogoča hitro intervencijo,
- ročno preprečevanje požara, lastna ali zunanja gasilska enota, intervencijske poti, gasilski pripomočki v objektu, ter sistem za odvod dima iz požarnega sektorja.

Določanje gostote požarne obtežbe

Pri določanju požarne obtežbe je potrebno zajeti vse gorljive snovi, ki se nahajajo v zgradbi in ustrezne gorljive konstrukcije z oblogami in zaključnimi sloji. Gorljivih delov, ki se pri požaru ne vnamejo, ni potrebno upoštevati. Gostoto projektne požarne obtežbe lahko določimo na dva načina:

- z nacionalno klasifikacijo požarne obtežbe glede na rabo (naselitev) in/ali,
- za posamezen objekt z raziskavo požarne obtežbe.

V diplomski nalogi smo uporabili prvi način. Vrednosti karakteristične gostote požarne obtežbe $q_{f,k}$ so prikazane v preglednici 6. Vzeti moramo vrednost 80% kvantil, ki je predpostavljena po Gumbelovi porazdelitvi.

Preglednica 6: Gostota požarne obtežbe $q_{f,k}$ [MJ/m²] za različne rabe.

Raba	Povprečje	80% kvantil
Stanovanja	780	948
Bolnišnice (sobe)	230	280
Hoteli (sobe)	310	377
Knjižnice	1500	1824
Pisarne	420	511
Šolski razredi	285	347
Nakupovalna središča	600	730
Dvorane (kino)	300	365
Transport (javni prostori)	100	122

Faza ohlajevanja

Faza ohlajevanju poteka od časa t_{\max} naprej, kjer požar v sektorju doseže maksimalno temperaturo Θ_{\max} . Enačba za izračun toplote v fazi ohlajevanja linearno pada do sobne temperature 20°C . Tak potek ohlajevanje je samo približek in ni realen. Fazo ohlajevanja določimo v odvisnosti od časa t_{\max}^* :

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 625 \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x), \quad \text{za } t_{\max}^* \leq 0,5, \quad (49)$$

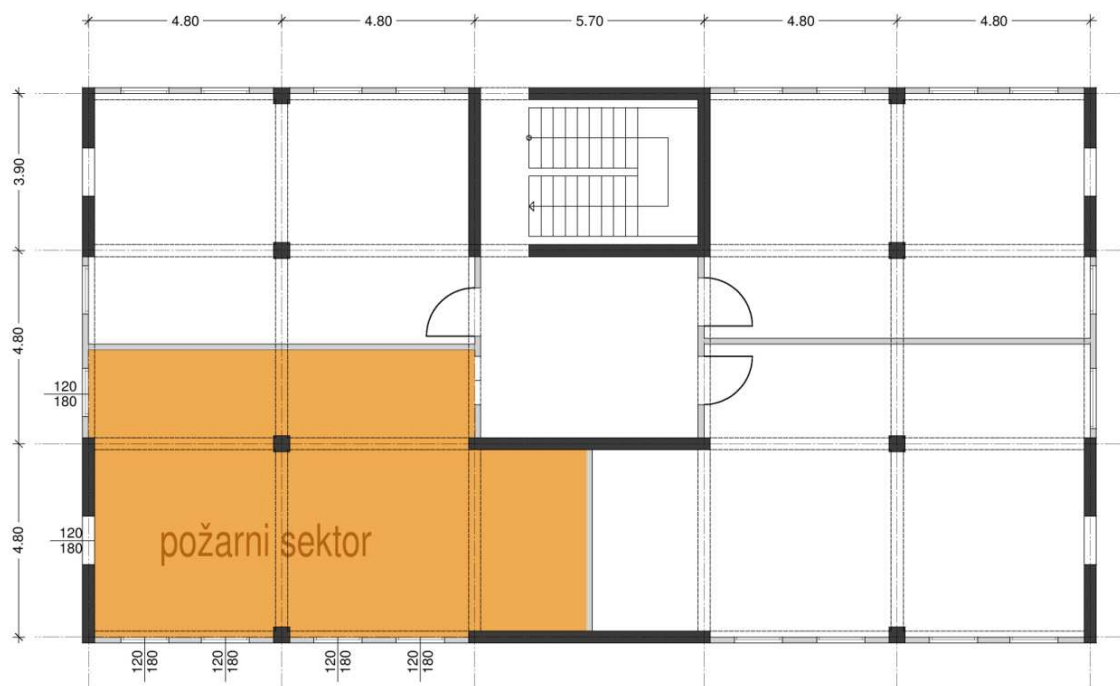
$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*) \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x), \quad \text{za } 0,5 < t_{\max}^* < 2, \quad (50)$$

$$\Theta_g = \Theta_{\max} - 250 \cdot (t^* - t_{\max}^* \cdot x), \quad \text{za } t_{\max}^* \geq 2. \quad (51)$$

Kjer je čas t^* določen po enačbi (44), ter t_{\max}^* določen po enačbi (42). Vrednost x je določen v odvisnosti od časa t_{\max} in t_{\lim} . Za vrednost x pri pogoju $t_{\max} > t_{\lim}$ uporabimo vrednost 1,0. Če pa je $t_{\max} = t_{\lim}$, vrednost x izračunamo s $t_{\lim} \cdot \Gamma / t_{\max}^*$.

6.2.2.2 Račun parametrične krivulje temperatura-čas skladno z dodatkom A

Obravnavan požarni sektor prikazujemo na sliki 47. Parametrično krivuljo temperatura-čas izračunamo s pomočjo programa Microsoft Excel (Mickrosoft Corporation. 2006. Mickrosoft Office Excel 2007). Rezultate računa prikazujemo v preglednicah 7-10, krivuljo pa na sliki 48.



Slika 47: Geometrija požarnega sektorja.

Preglednica 7: Osnovni podatki požarnega sektorja.

osnovni podatki požarnega sektorja			
A_f	80	m^2	površina tal
A_v	15,6	m^2	celotna površina vertikalnih odprtih v vseh stenah
A_t	311	m^2	celotna površina oboda (stene, stropovi in tla, vključno z odprtinami)
h_{eq}	2,7	m	uteženo povprečje višin oken v vseh stenah

Preglednica 8: Parametri parametrične krivulje.

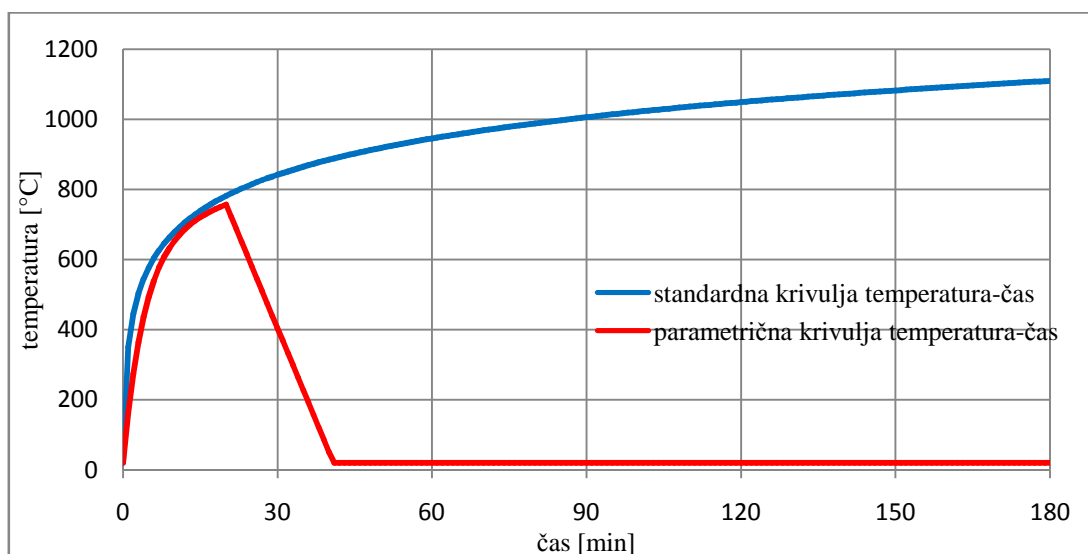
parametri parametrične krivulje temperatura-čas			
O	0,082	$m^{1/2}$	faktor odprtih ($0.02 \leq O \leq 0.2$)
b	1069	$J/m^2 s^{1/2} K$	toplotne lastnosti materiala oboda ($100 \leq b \leq 2200$)
Γ	4,997		v primeru da je $\Gamma = 1$, se krivulja približa standardni krivulji temperatura-čas
t_{max}^*	1,304	h	
t_{max}	0,33	h	čas, pri katerem nastopi v fazi segrevanja najvišja temperatura
t_{lim}	20	min	če $t_{max} = t_{lim}$ je potrebno upoštevati $t^* = t \times \Gamma_{lim}$
G_{lim}	0,766		
O_{lim}	0,032		
$q_{t,d}$	108	MJ/m^2	projektna vrednost gostote požarne obremenitve ($50 \leq q_{t,d} \leq 1000$)
Θ_{max}	757,0781	$^{\circ}C$	maksimalna temperatura
x	1,276937		
t_{max1}	0,261041	h	
t_{max}^*	0,255363	h	
t_{end}	40,87879	min	

Preglednica 9: Izračun projektne vrednosti gostote požarne obremenitve.

$q_{f,k} =$	511	MJ/m ²	karakteristična gostota požarne obtežbe
$q_{f,d} =$	418	MJ/m ²	projektna vrednost gostote požarne obremenitve glede na površino tal A_f
	srednja		hitrost razvoja požara
$m =$	0,8		faktor izgorevanja za pretežno celulozne materiale
$\delta_{q1} =$	1,20		faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na velikost sektorja
$\delta_{q2} =$	1		faktor, ki upošteva nevarnost nastanka požara glede na rabo (za pisarne, stanovanja, hoteli, papirna industrija: 1.0)
$\delta_n =$	0,854		faktor, ki upošteva uporabo različnih aktivnih ukrepov gašenja
$\delta_{n1} =$	1		avtomatski vodni gasilni sistem: 0.61
$\delta_{n2} =$	1		neodvisna preskrba z vodo: 0.87
$\delta_{n3} =$	1		avtomatsko zaznavanje požara in alarm (s toploto): 0.87
$\delta_{n4} =$	0,73		avtomatsko zaznavanje požara in alarm (z dimom): 0.73
$\delta_{n5} =$	1		avtomatska povezava alarma z gasilsko enoto: 0.87
$\delta_{n6} =$	1		lastna gasilska enota: 0.61
$\delta_{n7} =$	0,78		zunanja gasilska enota: 0.78
$\delta_{n8} =$	1		varne intervencijske poti: 1, v primeru požara v stopnišču nadtlak:0.9 (če niso predvidene: 1.5)
$\delta_{n9} =$	1		gasilski pripomočki: 1 (niso predvideni: 1.5)
$\delta_{n10} =$	1,5		sistem za odvod dima: 1 (ni predviden: 1.5)

Preglednica 10: Izračun faktorja toplotne absorbtivnosti b .

stena 1							
	s_i [m]	r [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	b_i [J/m ² s ^{1/2} K]	s_{lim} [m]	b [J/m ² s ^{1/2} K]
omet	0,02	1600	840	0,8	1037	0,027	1020
porolit	0,15	1600	840	0,7	970		
TI	0,1	60	1030	0,037	48		
stena 2, strop							
	s_i [m]	r [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	b_i [J/m ² s ^{1/2} K]	s_{lim} [m]	b [J/m ² s ^{1/2} K]
omet	0,02	1600	840	0,8	1037	0,027	1259
AB	0,3	2300	1000	1,6	1918		
TI	0,1	60	1030	0,037	48		
tla							
	s_i [m]	r [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	b_i [J/m ² s ^{1/2} K]	s_{lim} [m]	b [J/m ² s ^{1/2} K]
laminat	0,01	450	1113	0,1	224	0,015	824
estrih	0,05	2300	1000	1,6	1918		
$b=$	1069,31						
$A_1=$	90,7						
$A_{2,st}=$	125,1						
$A_t=$	80						



Slika 48: Parametrična krivulja v primerjavi s standardno krivuljo.

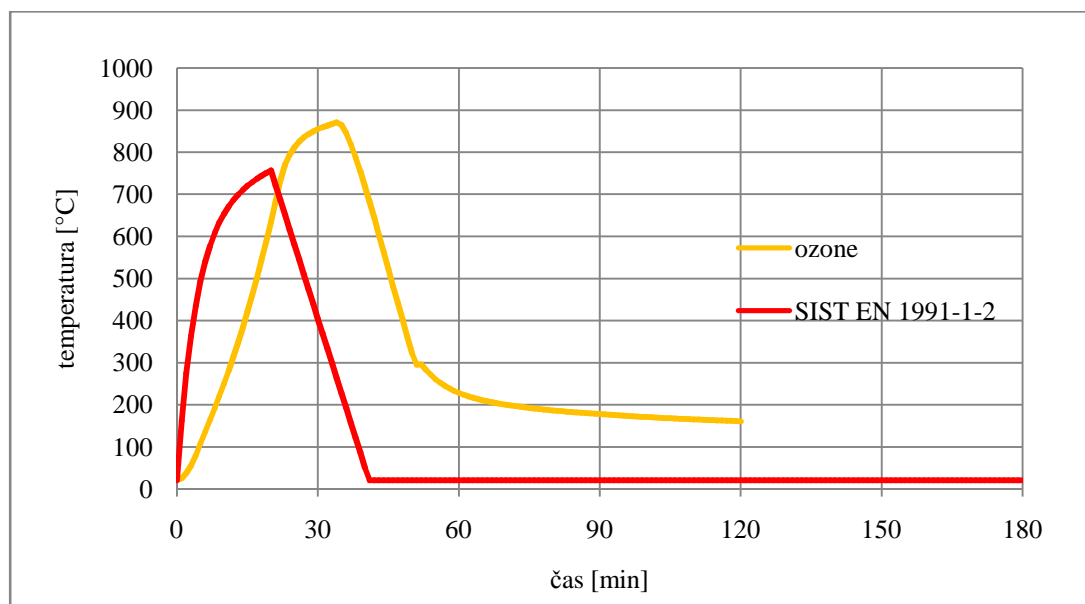
Izračunan potek parametrične krivulje temperatura-čas prikazujemo na sliki 48. Potek primerjamo s standardno požarno krivuljo. Maksimalno temperaturo v požarnem sektorju $\theta_{\max} = 757^{\circ}\text{C}$ dosežemo pri času $t = 20$ min. V nadaljevanju predstavimo še izračun razvoja požara s pomočjo programa OZone v2.2.

6.2.2.3 Račun parametrične krivulje temperatura-čas s programom OZone

Za obravnavan požarni sektor (slika 47) določimo krivuljo temperatura-čas še s pomočjo programa OZone v2.2. Program deluje na osnovi zakona o ohranitvi mase in energije. Program je bil izdelan na univerzi v Liegu, Belgija (Cadorin, JF., Pintea, D., Franssen, JM., 2001. The Design Fire Tool OZone V2.2.).

Program temelji na teoriji conskih modelov. Conski modeli so orodja za numerično reševanje in se navadno uporabljajo za ocenjevanje temperature v požarnem sektorju, ter razvoj plinov v prostoru, v času požara. Program temelji na številnih hipotezah, vendar je relativno enostaven za uporabo in zagotavlja dobro oceno razvoja požara. Podobno kot pri standardni in parametrični krivulji je osnovna predpostavka conskih modelov ta, da je temperatura v požarnem sektorju konstantna.

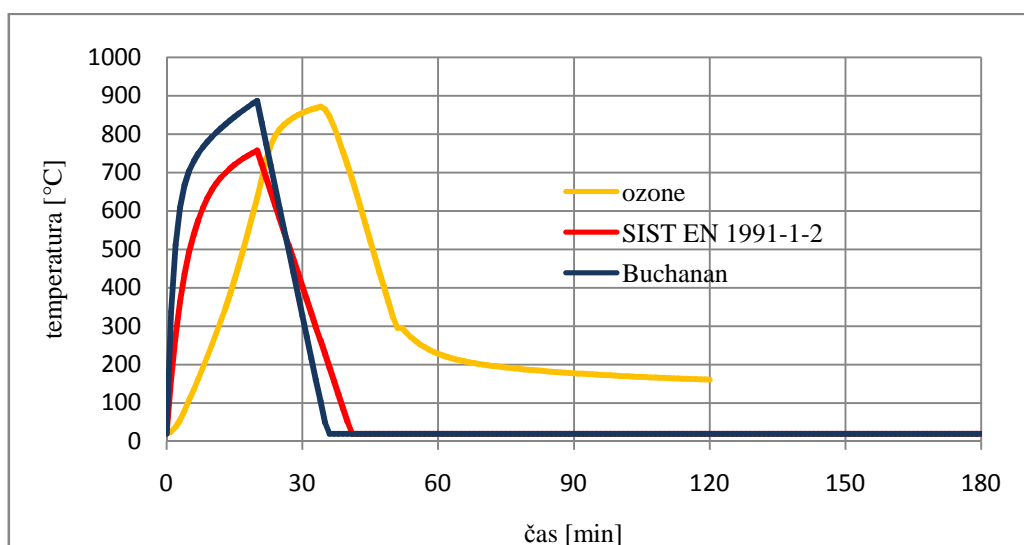
Pri izdelavi modela parametrične krivulje v programu OZone upoštevamo enake parametre kot pri računu krivulje skladno z dodatkom A v programu Microsoft Excel. Upoštevamo, da je požarna obtežba razporejena enakomerno po požarnem sektorju, ter da v celoti zgori. Rezultate računa prikazujemo na sliki 49.



Slika 49: Primerjava dveh parametričnih krivulj.

Potek razvoja požara, določenega s pomočjo programa OZone, se po obliki zelo malo razlikuje od krivulje, določene skladno z Dodatkom A v programu Microsoft Excel. Kar se časovnega razvoja tiče ugotovimo, da sta krivulji zamaknjeni za 14 min. Maksimalna temperatura plinov $\theta_{\max} = 871^{\circ}\text{C}$ je dosežena pri času $t = 34$ min. Fazi ohlajanja se bistveno ne razlikujeta. Vidimo, da se v primeru parametrične požarne krivulje, skladne z Dodatkom A, prostor ohladi na sobno temperaturo 20°C že po 41 minutah požara. Pri parametrični krivulji, določeni s programom OZone, temperatura po 60 minutah trajanja požara pade na $\theta = 228^{\circ}\text{C}$. Nato se padanje temperature upočasni in temperatura v nadaljnjih 60 minutah pade še za $\Delta\theta = 68^{\circ}\text{C}$.

Razlika dosežene maksimalne temperature med obema parametričnima krivuljima znaša $\Delta\theta = 114^{\circ}\text{C}$. Lahko zaključimo, da je razlika med maksimalnima temperaturama relativno velika glede na dejstvo, da je bil požarni sektor v obeh primerih enako velik, ukrepi enaki in prav tako je bila gostota požarne obtežbe enaka. Odgovor na to vprašanje lahko najdemo v knjigi *Structural design for fire safety*, avtorja Buchanan (Buchanan A., Andrew H. 2002. *Structural design for fire safety*, str. 76). Avtor pravi, da je maksimalna temperatura požarnega sektorja pri parametričnih krivuljah, določenih po dodatku A iz SIST EN 1991-1-2, večkrat prenizka. Feasey in Buchanan sta s pomočjo programa COMPF2, ki je kalibriran na številnih požarnih testih, ugotovila, da natančneje določimo razvoj parametrične požarne krivulje, če namesto referenčne vrednosti $b_{\text{ref}} = 1160$, ki je uporabljena v enačbah (37) in (45), uporabimo vrednost $b_{\text{ref}} = 1900$. Sedaj maksimalna temperatura znaša $\theta_{\max} = 886^{\circ}\text{C}$ in je bližje maksimalni temperaturi, izračunani s pomočjo OZone, s 14 min časovnim zamikom. Modificirano krivuljo prikazujemo na sliki 50.



Slika 50: Primerjava parametričnih krivulj po Buchananu, Evrokodu in OZone.

6.2.3 Enakovreden čas izpostavljenosti požaru

Kadar projektiranje elementov temelji na tabeliranih podatkih ali drugih poenostavljenih postopkih v povezavi s standardno požarno krivuljo, lahko vpliv parametrične požarne krivulje prevedemo v enakovreden čas izpostavljenosti standardnemu požaru. Skladno z Dodatkom F iz standarda SIST EN 1991-1-2:2004 lahko čas izpostavljenosti požaru izračunamo z enačbo:

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) \cdot k_c \text{ ali} \quad (52)$$

$$t_{e,d} = (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) \cdot k_c,$$

kjer je $q_{f,d}$ projektna gostota požarne obtežbe določena po enačbi (48), $q_{t,d}$ je projektna gostota požarne obtežbe določena po enačbi (47), k_b je faktor pretvorbe v odvisnosti od toplotnih lastnosti materiala oboda in je prikazano v preglednici 12, w_f je faktor prezračevanja, pri čemer je $w_t = w_f \cdot A_t / A_f$ in k_c korekcijski faktor za material nosilnega prečnega prereza prikazan v preglednici 11.

Preglednica 11: Korekcijski faktor k_c .

Material prečnega prereza	Korekcijski faktor k_c
Armiran beton	1,0
Zaščiteno jeklo	1,0
Nezaščiteno jeklo	13,7 · 0

V primerih, kjer toplotne lastnosti materiala oboda niso natančno določene, lahko privzamemo vrednost faktorja pretvorbe $k_b = 0,07$ [min · m²/MJ]. V nasprotnem primeru pa je k_b odvisen od toplotne lastnosti b materiala oboda, določenega v poglavju 6.6.3.

Preglednica 12: Faktor pretvorbe k_b v odvisnosti b .

b [J/m ² s ^{1/2} K]	k_b [min · m ² /MJ]
$b > 2500$	0,04
$720 \leq b \leq 2500$	0,055
$b < 720$	0,07

Faktor prezračevanja w_f izračunamo z enačbo:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \cdot \alpha_h)] \geq 0,5, \quad (53)$$

Pri čemer je $\alpha_v = A_v / A_f$ razmerje med ploščino navpičnih odprtin v fasadi (A_v) in ploščino tal sektorja (A_f), kjer je treba upoštevati omejitev $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$, $\alpha_h = A_h / A_f$ je razmerje med ploščino vodoravnih odprtin v strehi in ploščino tal sektorja (A_f), H je višina požarnega sektorja, ter vrednost b_v določena z enačbo:

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0. \quad (54)$$

Za požarne sektorje, manjše od 100 m^2 in brez odprtin v strehi, lahko faktor w_f izračunamo z enačbo:

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t, \quad (55)$$

V preglednici 13 podajamo izračun enakovrednega časa izpostavljenosti požaru $t_{e,d}$ za obravnavan požarni sektor (glej sliko 47).

Preglednica 13: Enakovreden čas izpostavljenosti požaru.

Enakovreden čas izpostavljenosti:			
$t_{e,d} =$	20,6	min	
$H =$	3,8	m	višina požarnega sektorja
$a_v =$	0,195	$(0,025 \leq a_v \leq 0,25)$	
$a_h =$	0		
$b_v =$	36,4	$(b_v \geq 10)$	
$w_f =$	0,90	$(w_f \geq 0,5)$	faktor prezračevanja
$k_b =$	0,055	$\text{min} \times \text{m}^2 / \text{MJ}$	faktor pretvorbe
$k_c =$	1		korekcijski faktor za material nosilnega prečnega prereza

Enakovreden čas izpostavljenosti požaru je $t_{e,d} = 20,6$ min. Takrat temperatura plinov pri standardni požarni krivulji doseže $785,8^\circ\text{C}$. Temperatura je nekoliko višja kot je maksimalna temperatura plinov pri parametrični požarni krivulji, ki je $\Theta = 757^\circ\text{C}$ (glej sliko 48). V nadaljevanju analize pa moramo zadostiti zahtevi $t_{e,d} < t_{d,fi}$ (SIST EN 1991-1-2:2004. Dodatek F, str. 56). Pri tem je $t_{d,fi}$ projektna vrednost standardne požarne odpornosti.

6.2.4 Zahteve požarne odpornosti skladno s tehnično smernico

V Tehnični smernici TSG-1-001:2010 (Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. Požarna varnost v stavbah) so v odvisnosti od namebnosti in velikosti stavbe podane zahteve glede nosilnosti, ki jih mora nosilna konstrukcija stavbe izpolniti med požarom. Zahteve iz smernice prikazujemo v preglednici 14. Določitev potrebnih požarnih lastnosti nosilnih elementov pa je odvisna od:

- števila etaž,
- specifične požarne obtežbe,
- namebnosti in velikosti stavbe ter
- vgrajenega sistema za avtomatsko gašenje.

Kot smo že omenili, so prostori obravnavane stavbe namenjeni pisarnam. Stavba ima poleg pritličja še dve etaži (P+2). Iz preglednice 14 odčitamo zahtevano minimalno požarno odpornost nosilne konstrukcije stavbe, ki je enaka R 30. Ugotovimo, da je zahtevana požarna odpornost iz smernice višja kot je enakovreden čas izpostavljenosti požaru, ki je $t_{e,d} = 20,6$ min.

Preglednica 14: Požarna odpornost nosilne konstrukcije

(Tehnična smernica TSG-1-001:2010. Požarna varnost v stavbah.2010, str. 20).

Število etaž [1]	[2]	(P) do 600 m ² BET	(P+1) do 600 m ² BET	(P in P+1) nad 600 m ² BET	(P+2)	(P+3)	(P+4) (P+5)	(P+6) (P+7)
Vrsta stavbe ali dela stavbe (CC-SI)								
112 - Večstanovanjske stavbe	A	nz	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 60
	B	nz	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60
113 - Stanovanjske stavbe za posebne namene	A	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	R 90	R 90
	B	R 30 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90
121 - Gostinske stavbe 1241 - Postaje, terminali, stavbe za elektronske komunikacije in z njimi povezane stavbe 1261 - Stavbe za kulturo in razvedrilo 1262 - Muzeji in knjižnice 1263 - Stavbe za izobraževanje in znanstveno-raziskovalno delo 1265 - Športne dvorane 123 - Trgovske in druge stavbe za storitvene dejavnosti 1272 - Stavbe za opravljanje verskih obredov, pokopališke stavbe	A	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R 60 [4]	R 90	R 90	[5]
	B	nz	nz	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90
122 - Upravne in pisarniške stavbe 1242 - Garažne stavbe 125 - Industrijske stavbe in skladišča do 1000 MJ/m ² 1271 - Nestanovanjske kmetijske stavbe	A	nz	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [4]	R 60 [4]	R 60	R 60
	B	nz	nz	ng ali R 30 [3]	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60
125 - Industrijske stavbe in skladišča nad 1000 MJ/m ²	A	ng	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90	R 90
	B	ng	R 30	R 60	R 60	R 60	R 60	R 60
1264 - Stavbe za zdravstvo	A	R 30 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90	R 90	[5]
	B	R 30 [3]	R 60 [3]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60 [4]	R 60	R 90
1274 - Nestanovanjske stavbe, ki niso uvrščene drugje	A	R 30	R 30	R 60	R 60	R 60	R 60	R 90
	B	R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R 30 [3]	R 30	R 30	R 60

6.3 Ocena požarne odpornosti stebra s tabeliranimi vrednostmi

6.3.1 Splošno

V prejšnjem razdelku smo prikazali izračun požarnega scenarija, ki nam bo v fazi določitve požarne odpornosti AB stebra služil kot vhodni podatek. Omejimo na standardno požarno krivuljo. Požarno odpornost AB stebra ocenimo skladno s standardom SIST EN 1992-1-2:2005. Pri tem morajo betonske konstrukcije v primeru izpostavljenosti požaru, izpolniti določene kriterije. Ti so:

- preprečitev hitre porušitve konstrukcije (funkcija nosilnosti, R),
- omejitev širjenja požara preko določenega območja (funkcija izolativnosti in celovitosti, EI).

Za račun požarne odpornosti AB stebra standard SIST EN 1992-1-2:2005 podaja dve metodi:

- metoda A in
- metoda B.

6.3.2 Metoda A

Metoda A, s katero na poenostavljen način ocenimo požarno odpornost gradbenega elementa, je primerna za armirane in prednapete, pretežno tlačno obremenjene stebre zavarovanih konstrukcij. Skladno s to metodo lahko ustrezno požarno odpornost stebra dosežemo že z izbiro vsaj minimalnih dimenzij prečnega prereza stebra ter zadostne zaščite armature. Primer tabelarično podanih parametrov prikazujemo v preglednici 15. Alternativno pa lahko požarno odpornost AB stebra ocenimo tudi s pomočjo izrazov, ki jih prikazujemo v razdelku 6.3.2.1.

Preglednica 15: Najmanjše dimenzije stebrov in osne oddaljenosti armature
 (SIST EN 1992-1-2: 2005, str. 42).

Standardna požarna odpornost	Najmanjše dimenzije (mm) Širina stebra b_{min} /osna oddaljenost palic			
	Steber, izpostavljen požaru na več straneh			Izpostavljen na eni strani
	$\mu_n = 0,2$	$\mu_n = 0,5$	$\mu_n = 0,7$	$\mu_n = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70

Vrednosti za najmanjše dimenzije stebrov b_{\min} in osne odaljenosti vzdolžne armature a , ki so podane v zgornji preglednici, veljajo le v primeru, ko je:

- uklonska dolžina stebra v pogojih požara $l_{0,fi} \leq 3$ m,
- ekscentričnost obremenitve iz teorije prvega reda v pogojih požara : $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq e_{\max}$,
- količina armature $A_s < 0,04 A_c$.

Pri tem je vrednost e_{\max} je omejena z:

$$0,15 h \text{ (ali } b) \leq e_{\max} \leq 0,4h \text{ (ali } b).$$

Za ekscentričnost obremenitve, določene po teoriji prvega reda v pogojih požara, lahko predpostavimo, da je enaka ekscentričnosti pri normalni temperaturi.

Za uklonsko dolžino stebra v pogojih požara $l_{0,fi}$ lahko privzamemo uklonsko dolžino l_0 pri normalni temperaturi. Pri stavbah, kjer je konstrukcija zavarovana in je zahtevana požarna odpornost večja od 30 min, lahko za uklonsko dolžino $l_{0,fi}$ v vmesnih etažah upoštevamo vrednost $0,5 l$, v vrhni etaži pa $0,5 l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 l$, kjer je l dejanska višina stebra med srednjima ravninama stropa.

6.3.2.1 Projektna osna sila v stebru v pogojih požara

Minimalne dimenzije stebra oziroma zaščitne plasti armature, ki še zagotavljajo ustrezno požarno odpornost, so odvisne tudi od nivoja obremenitve v stebru. Vpeljan je redukcijski faktor μ_{fi} :

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}, \quad (56)$$

kjer je $N_{0,Ed,fi}$ projektna osna sila v pogojih požara, N_{Rd} pa je projektna odpornost stebra v pogojih normalne temperature.

Projektno osno odpornost stebra v pogojih normalne uporabe N_{Rd} izračunamo skladno s standardom SIST EN 1992-1-1:2005, pri čemer upoštevamo γ_m za normalno temperaturo. V preglednici 16 prikazujemo projektno osno odpornost stebra N_{Rd} za tri obravnavane stebre.

Preglednica 16: Projektna osna odpornost stebra N_{Rd} za različne dimenzije stebrov.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
M_{Ed} [kNm]	15,3	14,1	11,6
N_{Rd} [kN]	2954	2280	1729

Projektno osno silo v stebru v pogojih požara $N_{Ed,fi}$ pa določimo skladno s kombinacijo (učinkov) vplivov za nezgodna projektna stanja, ki jo podajamo v enačbi (6). Projektno vrednost nezgodnega

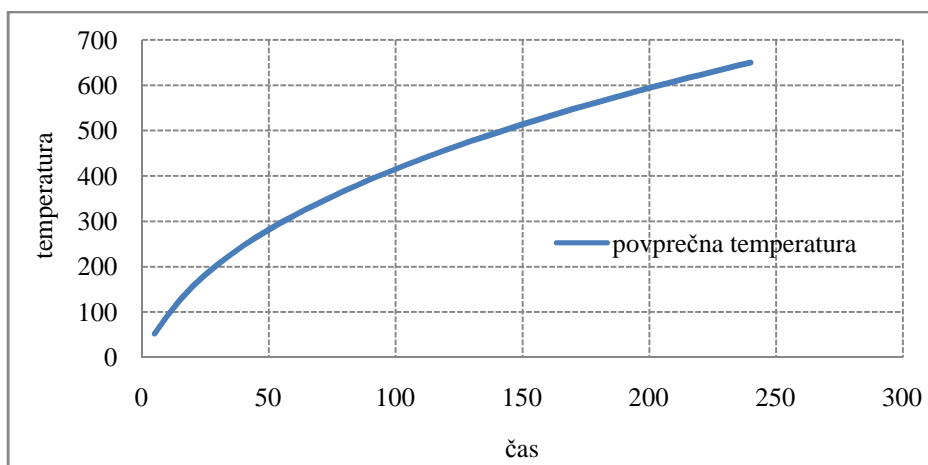
vpliva A_d (vpliv povišanih temperatur na notranje statične količine stebra) pa določimo posebej. Ker je vrednost nezgodnega vpliva A_d odvisen od trajanja požarne obtežbe t , je za oceno požarne odpornosti potreben iterativni račun.

Vrednost nezgodnega vpliva A_d ocenimo na podlagi povprečne temperature v stebri med požarom. Časovni razvoj temperatur v stebri pri izpostavljenosti standardni požarni krivulji temperatura-čas pa izvednotimo s pomočjo programa HEATC (M. Saje, G. Turk. 1987. Program za račun nelinearnega in nestacionarnega prevajanja toplote). V preglednici 17 prikazujemo povprečne temperature v stebri za vsakih 10 minut trajanja požara.

Preglednica 17: Povprečna temperatura v stebri med standardnim požarom za različne dimenzije stebrov.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
t[min]	Θ[°C]	Θ[°C]	Θ[°C]
10	91,3	98,3	107,6
20	156,0	170,1	188,7
30	205,4	225,1	250,8
40	245,9	270,3	301,8
50	281,2	309,4	345,9
60	312,7	344,3	385,1
70	341,0	375,7	420,1
80	367,2	404,6	452,3
90	392,0	431,9	482,5
100	415,0	457,1	510,3
110	436,7	480,9	536,5
120	457,4	503,5	561,6

Na sliki 51 prikazujemo časovni razvoj povprečne temperature v stebri z dimenzijami prečnega prereza 40 /40 cm med izpostavljenostjo standardnemu požaru.



Slika 51: Naraščanje povprečne temperature v stebru 40/40 cm med standardnim požarom.

Vrednosti projektne osne sile v obravnavanem AB stebru v pogojih požara brez oziroma z upoštevanjem nezgodnega vpliva A_d prikazujemo v preglednici 18.

Preglednica 18: Osne sile $N_{0,Ed,fi}$ pri kombinaciji vplivov za nezgodna projektna stanja.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
Brez upoštevanja projektne vrednosti nezgodnega vpliva A_d			
$N_{Ed,fi}$ [kN]	733	728	727
Z upoštevanjem projektne vrednosti nezgodnega vpliva A_d			
t [min]	140	115	85
$N_{Ed,fi}$ [kN]	1188	1184	1109

6.3.2.2 Požarna odpornost tlačno obremenjenega stebra

Standardne požarne odpornosti, ki v preglednici 15 niso navedene, pa lahko ocenimo s pomočjo izraza (57). Pri tem se standardna požarna odpornost R , izražena v minutah, nanaša na standardno krivuljo temperatura-čas.

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta fi} + R_a + R_I + R_b + R_n) / 120)^{1,8}, \quad (57)$$

kjer so:

$$R_{\eta fi} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu_{fi} \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right]. \quad (58)$$

V enačbi (58) nastopajo trije parametri: mehanska stopnja armiranja v pogojih normalne temperature ω , redukcijski faktor za tlačno trdnost betona α_{cc} , ki ga določimo skladno s standardom EN 1992-1-1:2005 in redukcijski faktor μ_{fi} (glej enačbo (56)).

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (59)$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30). \quad (60)$$

Enačba (60) je odvisna od osne oddaljenosti vzdolžnih armaturnih palic a v [mm]. Osna odaljenost je omejena z $25 \text{ mm} \leq a \leq 80 \text{ mm}$.

$$R_I = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}), \quad (61)$$

Pri tem je $l_{0,fi}$ uklonska dolžina stebra v pogojih požara in je omejena z $2 \text{ m} \leq l_{0,fi} \leq 6 \text{ m}$.

$$R_b = 0,09 \cdot b', \quad (62)$$

Ta enačba predstavlja odpornost določeno glede na velikost prereza. S parametrom b' dobimo srednjo vrednost in je omejen z $200 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm}$ pod pogojem da je $h \leq 1,5 b$.

$$b' = 2 A_c / (b + h). \quad (63)$$

$R_n = 0$ za $n = 4$ (samo vogalne palice),

$$R_n = 12 \text{ za } n > 4. \quad (64)$$

V nadaljevanju izračunamo standardno požarno odpornost R za vsako dimenzijo stebra posebej. Pri tem vsak steber obravnamo dvakrat. V prvem primeru nezgodni vpliv A_d zanemarimo, v drugem pa ga upoštevamo.

Steber 40/40 cm

Brez upoštevanja temperaturne obtežbe

Projektna osna sila $N_{Ed,fi}$ z uporabo kombinacije vplivov za nezgodna projektna stanja brez upoštevanja temperaturne obtežbe znaša 733 kN.

Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 733 / 2954 = 0,25$$

$$R_{\eta fi} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,25 \frac{(1+0,15)}{(0,85/1) + 0,15} \right] = 59$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{1600 \cdot 1,67} = 0,15$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_I = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 400 = 36$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 160000 / (400 + 400) = 400$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta fi} + R_a + R_I + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((59 + 32 + 19,2 + 36 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\underline{\underline{R = 184}}$$

Z upoštevanjem temperaturne obtežbe

Temperaturna obtežba pri času $t = 140$ min je $\Theta = 496^\circ\text{C}$, pri tem znaša velikost projektne osne sile 1188 kN. Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1188 / 2954 = 0,40$$

$$R_{\eta fi} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,40 \frac{(1+0,15)}{(0,85/1) + 0,15} \right] = 45$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{1600 \cdot 1,67} = 0,15$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_I = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 400 = 36$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 160000 / (400 + 400) = 400$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta fi} + R_a + R_I + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((45 + 32 + 19,2 + 36 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\underline{\underline{R = 142}}$$

Steber 35/35 cm

Brez upoštevanja temperaturne obtežbe

Projektna osna sila $N_{Ed,fi}$ z uporabo kombinacije vplivov za nezgodna projektna stanja brez upoštevanja temperaturne obtežbe znaša 728 kN.

Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 728 / 2280 = 0,32$$

$$R_{\eta_{fi}} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,32 \frac{(1+0,19)}{(0,85/1) + 0,19} \right] = 52,6$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{1225 \cdot 1,67} = 0,19$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_I = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 350 = 31,5$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 122500 / (350 + 350) = 350$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta_{fi}} + R_a + R_I + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((52,6 + 32 + 19,2 + 31,5 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\mathbf{R = 148}$$

Z upoštevanjem temperaturne obtežbe

Temperaturna obtežba pri času $t = 115$ min je $\Theta = 492^\circ\text{C}$, pri tem znaša velikost projektne osne sile 1184 kN. Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1184 / 2280 = 0,52$$

$$R_{\eta_{fi}} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,52 \frac{(1+0,19)}{(0,85/1) + 0,19} \right] = 33,6$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{1225 \cdot 1,67} = 0,19$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_I = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 350 = 31,5$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 122500 / (350 + 350) = 350$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta_{fi}} + R_a + R_I + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((33,6 + 32 + 19,2 + 31,5 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\mathbf{R = 113}$$

Steber 30/30 cmBrez upoštevanja temperaturne obtežbe

Projektna osna sila $N_{Ed,fi}$ z uporabo kombinacije vplivov za nezgodna projektna stanja brez upoštevanja temperaturne obtežbe znaša 727 kN.

Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 727 / 1729 = 0,42$$

$$R_{\eta_{fi}} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,42 \frac{(1+0,26)}{(0,85/1) + 0,26} \right] = 43,4$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{900 \cdot 1,67} = 0,26$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_l = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 300 = 27$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 90000 / (300 + 300) = 300$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta_{fi}} + R_a + R_l + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((43,4 + 32 + 19,2 + 27 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\underline{\underline{R = 122}}$$

Z upoštevanjem temperaturne obtežbe

Temperaturna obtežba pri času $t = 85$ min je $\Theta = 468^\circ\text{C}$, pri tem znaša velikost projektna osne sile 1109 kN. Vrednost N_{Rd} za izračun redukcijskega faktorja μ_{fi} je prikazana v preglednici 16.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1109 / 1729 = 0,64$$

$$R_{\eta_{fi}} = 83 \cdot \left[1,00 - \mu \frac{(1+\omega)}{(0,85/\alpha_{cc}) + \omega} \right] = 83 \cdot \left[1,00 - 0,64 \frac{(1+0,26)}{(0,85/1) + 0,26} \right] = 22,7$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 43,4}{900 \cdot 1,67} = 0,26$$

$$\alpha_{cc} = 1,00$$

$$R_a = 1,60 \cdot (a - 30) = 1,60 \cdot (50 - 30) = 32$$

$$R_l = 9,60 \cdot (5 - l_{0,fi}) = 9,60 \cdot (5 - 3) = 19,2$$

$$R_b = 0,09 \cdot b' = 0,09 \cdot 300 = 27$$

$$b' = 2 \cdot A_c / (b + h) = 2 \cdot 90000 / (300 + 300) = 300$$

$$R_n = 0 \text{ za } n = 4$$

$$R = 120 \cdot ((R_{\eta\bar{n}} + R_a + R_l + R_b + R_n) / 120)^{1,8}$$

$$R = 120 \cdot ((22,7 + 32 + 19,2 + 27 + 0) / 120)^{1,8}$$

$$\underline{R = 87}$$

V spodnji preglednici 19 so prikazani rezultati ocen požarne odpornosti R za različne dimenzije stebrov. Ugotovimo, da smo ne glede na izbrane dimenzije prečnega prereza stebra izpolnili zahtevo (31), ker smo za zahtevan čas požarne odpornosti $t_{fi,requ}$ upoštevali zahtevo $R 30$ iz smernice.

Preglednica 19: Požarna odpornost R za različne dimenzije stebrov.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
požarna odpornost R brez temperaturne obtežbe			
R [min]	184	148	122
požarna odpornost R z temperaturno obtežbo			
R [min]	142	113	87

6.3.3 Metoda B

Pri metodi B požarno odpornost AB stebrov določimo s pomočjo preglednice 21.

Preglednica 20: Najmanjša dimenzija stebra in osna oddaljenost armature
(SIST EN 1992-1-2:2005, str. 44).

Standardna požarna odpornost	Mehanska stopnja armiranja ω	Najmanjše dimenzije [mm]. Širina stebra b_{min} /osna oddaljenost a			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	0,500	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	1,000	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25*
R 60	0,100	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	0,500	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25*
	1,000	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	0,500	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	1,000	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25*	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25*	550/55:600/25*	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)

Vrednosti za najmanjše dimenzije stebrov b_{\min} in osne odaljenosti vzdolžne armature a , ki so podane v preglednici 20, veljajo le v primeru, ko je:

Raven obremenitve n , pri pogojih normalne temperature,

$$n = N_{0,Ed,fi} / (0,7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})), \quad (65)$$

ekscentričnost obremenitve iz teorije prvega reda v pogojih požara podana z:

$$e = M_{0,Ed,fi} / N_{0,Ed,fi} \leq 100 \text{ mm}, \quad (66)$$

razmerje $e/b \leq 0,25$,

Vitkost stebra v pogojih požara λ_{fi} je podana z: $\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i \leq 30$.

Kjer so $l_{0,fi}$ uklonska dolžina stebra v pogojih požara, v našem primeru je enaka l_0 , b je najmanjša dimenzija pravokotnega prečnega prereza, $N_{0,Ed,fi}$ je osna sila prvega reda v pogojih požara, $M_{0,Ed,fi}$ je upogibni moment prvega reda v pogojih požara, ω je mehanska stopnja armiranja v pogojih normalne temperature in i najmanjši vztrajnostni polmer.

Vrednost nezgodnega vpliva A_d sedaj določimo za čas trajanja standardnega požara 30 minut, ki je tudi zahtevana požarna odpornost obravnavanega AB stebra (glej točko 6.2.4). Projektne vrednosti osne sile $N_{0,Ed,fi} = N_{Ed,fi}$ v pogojih požara prikazujemo v preglednici 21.

Preglednica 21: Projektne vrednosti osne sile $N_{0,Ed,fi}$ v stebri v pogojih požara pri času 30 minut.

	Steber 40/40 cm	Steber 35/35 cm	Steber 30/30 cm
$\theta [^{\circ}\text{C}]$	205,4	225,1	250,8
$N_{0,Ed,fi} [\text{kN}]$	941	937	933

V nadaljevanju izračunamo standardno požarno odpornost R za vsako dimenzijo stebra posebej.

Steber 40/40 cm

$$N_{0,Ed,fi} = 941 \text{ kN}, M_{0,Ed,fi} = 1530 \text{ kNcm}$$

$$\omega = 0,15$$

Raven obremenitve n , pri pogojih normalne temperature:

$$n = 941 / (0,7 \cdot (1600 \cdot 1,67 + 9,05 \cdot 43,5))$$

$$n = 0,44$$

ekscentričnost obremenitve iz teorije prvega reda v pogojih požara:

$$e = 1530 / 941 = 16 \text{ mm} < e_{\max} = 100 \text{ mm}$$

$$e/b \leq 0,25$$

$$e/b = 16/400 = 0,04 < 0,25$$

vitkost stebra v pogojih požara λ_{fi} je podana z:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i = 259 / 11,5$$

$$\lambda_{fi} = 22,5 < 30$$

Na podlagi zahtevane požarne odpornosti (R 30) in izračunane mehanske stopnje armiranja ω ter nivoja obremenitve n lahko s pomočjo preglednice 20 ocenimo potrebno dimenzijo stebra b_{min} in osno oddaljenost a . Uporabimo linearno interpolacijo. Ugotovimo, da izbrana dimenzija prereza stebra 40/40 cm in izbrana osna oddaljenost armature $a = 4$ cm zadostujeta. To pomeni, da steber s prerezom 40/40 cm zadošča kriteriju požarne odpornosti R 30.

Steber 35/35 cm

$$N_{0,Ed,fi} = 937 \text{ kN}, M_{0,Ed,fi} = 1410 \text{ kNcm}$$

$$\omega = 0,19$$

Raven obremenitve n , pri pogojih normalne temperature:

$$n = 937 / (0,7 \cdot (1225 \cdot 1,67 + 9,05 \cdot 43,5))$$

$$n = 0,55$$

ekscentričnost obremenitve iz teorije prvega reda v pogojih požara:

$$e = 1410 / 937 = 15 \text{ mm} < e_{max} = 100 \text{ mm}$$

$$e/b \leq 0,25$$

$$e/b = 15/350 = 0,042 < 0,25$$

vitkost stebra v pogojih požara λ_{fi} je podana z:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i = 254 / 10,1$$

$$\lambda_{fi} = 25,1 < 30$$

Na podlagi odčitkov iz preglednice 20 ugotovimo, da tudi steber s prerezom 35/35 cm zadošča kriteriju požarne odpornosti R 30.

Steber 30/30 cm

$$N_{0,Ed,fi} = 933 \text{ kN}, M_{0,Ed,fi} = 1160 \text{ kNm}$$

$$\omega = 0,26$$

Raven obremenitve n , pri pogojih normalne temperature:

$$n = 933 / (0,7 \cdot (900 \cdot 1,67 + 9,05 \cdot 43,5))$$

$$n = 0,70$$

ekscentričnost obremenitve iz teorije prvega reda v pogojih požara:

$$e = 1160 / 933 = 12 \text{ mm} < e_{\max} = 100 \text{ mm}$$

$$e/b \leq 0,25$$

$$e/b = 12/300 = 0,04 < 0,25$$

vitkost stebra v pogojih požara λ_{fi} je podana z:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i = 247 / 8,7$$

$$\lambda_{fi} = 28,4 < 30$$

Na podlagi odčitkov iz preglednice 20 ugotovimo, da tudi steber s prerezom 30/30 cm zadošča kriteriju požarne odpornosti R 30.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo projektirali AB steber v pogojih normalne uporabe in v pogojih požara. Steber se nahaja v pritličju večetažne poslovne stavbe. Glede na izbrano zasnovo nosilne konstrukcije obravnavane stavbe smo predpostavili, da stebri sodelujejo le pri prevzemu navpične obtežbe. Togost stebrov v vodoravni smeri, ki skupaj z gredami tvorijo prostorske AB okvire, je namreč v primerjavi s togostjo sten zanemarljiva, zato smo celotno vodoravno obtežbo zaradi vpliva vetra in potresa pripisali AB stenam.

Upoštevali smo, da na steber, ki je del AB okvira v vzdolžni in prečni smeri stavbe, poleg lastne teže deluje v navpični smeri še koristna obtežba in obtežba snega. Upoštevali smo, da je koristna obtežba enakomerno porazdeljena po površini vseh etaž. Notranje sile v okviru oziroma stebri smo iz vrednotili s pomočjo analize po metodi končnih elementov v računalniškem programu SAP2000. Projektne vrednosti učinkov vplivov, ki smo jih potrebovali pri dimenzioniranju, smo določili ločeno za stalna projekta stanja, s katerimi smo upoštevali pogoje normalne uporabe, ter ločeno za nezgodna projekta stanja, ki nastopijo pri požaru.

Pri dimenzioniranju tlačno obremenjenega AB stebra v pogojih normalne uporabe smo morali upoštevati tudi učinke teorije drugega reda. Kljub temu smo ustrezno odpornost prečnega prereza stebra zagotovili že z minimalno količino vzdolžne in strižne armature. Pri tem smo izbrali tri različne dimenzije prečnega prereza stebra in sicer 40/40 cm, 35/35 cm in 30/30 cm.

Požarno odpornost stebra smo ocenili z uporabo tabeliranih vrednosti. Najprej smo morali določiti ustrezen projektni požar. Razvoj požara v požarnem sektorju smo predstavili s pomočjo parametrične požarne krivulje, ki zajema tudi fazo ohlajanja požarnega sektorja. Ker smo steber v pogojih požara projektirali s pomočjo tabeliranih podatkov, smo morali vpliv parametrične požarne krivulje prevesti v enakovreden čas izpostavljenosti standardnemu požaru. Ugotovili smo, da je zahtevana požarna odpornost, ki določa Tehnična smernica, višja kot je enakovreden čas izpostavljenosti požaru, zato smo v nadaljevanju upoštevali zahtevo iz smernice, ki je R 30. Obravnavan AB steber ima požarno odpornost višjo od zahteve iz smernice. Steber s prečnim prerezom 40/40 cm ima požarno odpornost R 120, steber s prerezom 35/35 cm R 90, steber s prerezom 30/30 cm pa R 60.

VIRI

Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.), 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str

Beg, D. 2011. Požarna odpornost jeklenih in sovprežnih konstrukcij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za metalne konstrukcije

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/JSM/JSM%20po%C5%BEarna%20odpornost.pdf>

(Pridobljeno 10.7.2012.)

Bratina, S., 2010. Požarna odpornost armiranobetonskih elementov skladno SIST EN 1992-1-2:2005, Seminarska naloga. Ljubljana, UL FGG: 49 str.

Buchanan A., Andrew H. 2002. Structural design for fire safety. London, John Wiley & Sons Ltd.: 421 str.

Cadorin, JF., Pinteá , D., Franssen, JM., 2001. The Design Fire Tool OZone V2.0. Belgija, Univerza v Liege: 49 str.

Glavnik, A., Jug, A., 2010. Priročnik o načrtovanju požarne varnosti. Ljubljana, inženirska zbornica Slovenije: 289 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. Tehnična smernica TSG-1-001:2010. Požarna varnost v stavbah. Ljubljana, Uradni list: 53 str.

Seminar evropskega raziskovalnega projekta Difisek. 2008. Projektiranje požarno varnih jeklenih in sovprežnih konstrukcij, v skladu s standardi Evrokod. Gradivo seminarja: 201 str.

http://www.fgg.uni-lj.si/kmk/difisek/difisek_gradivo.pdf (Pridobljeno 13.7.2012.)

Pajak, L. 2012. Požarna zaščita betonskih konstrukcij. Referat: 8 str.

http://www.promat.si/str_pris/po%C5%BEarna%20za%C5%A1%C4%8Dita%20betonskih%20konstrukcij.pdf (Pridobljeno 22.6.2012.)

Žarnić, R., 2003. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za preiskovanje materialov in konstrukcij: 350 str.

Standardi

SIST EN 1990: 2005 - Evrokod 0: Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1991-1-1: 2004 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991-1-2: 2004 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-2. del: Splošni vplivi – Vplivi na konstrukcije, izpostavljene požaru.

SIST EN 1991-1-3: 2004 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega.

SIST EN 1992-1-1: 2005 - Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1992-1-2: 2005 - Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-2. del: Splošna pravila – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij.

SIST EN 1998-1: 2005 - Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.

Programi

Cadorin, JF., Pinteau, D., Franssen, JM. 2001. The Design Fire Tool: OZone V2.2. Univerza v Liege, Belgija.

Computers and Structures, Inc. 2009. Static and Dynamics Finite Element Analysis of Structures: SAP2000 Version 14.1.0. University avenue Berkley, California.

IKPIR. 1993. Programski sistem za dimenzioniranje in analizo armiranobetonskih stavb: DIAS. FGG, Univerza v Ljubljani.

Nemetschek Allplan GmbH. 2011. A CAD program for architecture and civil engineering. Allplan 2011-0-5. Munich.

Microsoft Corporation. 2006. Računalniški program za obdelavo razpredelnic. Microsoft Office Excel 2007, part of Microsoft Office Enterprise.

Saje, M., Turk, G. 1987. Program za račun nelinearnega in nestacionarnega prevajanja toplote: HEATC. FGG, Univerza v Ljubljani.