

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,  
Konstrukcijska smer

Kandidat:

**Vili Stojec**

# **Modeliranje in analiza poslovnega objekta s programoma SAP 2000 in ESA PT**

**Diplomska naloga št.: 277**

**Mentor:**

izr. prof. dr. Tatjana Isaković

Ljubljana, 28. 5. 2007

## 1 UVOD

V diplomski nalogi smo primerjali rezultate analize poslovnega objekta z računalniškima programoma SAP 2000 in ESA PT. Prvi program smo uporabljali pri študiju na FGG, drugi program pa uporabljajo v podjetju, v katerem sem opravil obvezno prakso in v katerem je omenjena konstrukcija bila tudi projektirana. S primerjavo smo želeli ugotoviti koliko se v teh programih razlikuje standardni postopek analize tipičnega armiranobetonskega objekta s točkovno podprtimi ploščami (s stebri in stenami). Poleg samega računa so nas zanimale tudi razlike glede vnosa podatkov o konstrukciji in obtežbi, ter razlike pri analizi rezultatov. Osnovne značilnosti obeh programov, in nekaj značilnih primerjav med programoma, ki se nanašajo na postopek analize armiranobetonskih objektov, podobnih obravnavanemu, so opisani v 2. poglavju naloge.

Za analizo smo izbrali poslovni objekt, ki je zgrajen v okolici Velenja. To je armiranobetonska konstrukcija, katere konstrukcijski sistem je sestavljen iz armiranobetonskih plošč, ki so podprte z armiranobetonskimi stebri in stenami. Objekt je podkleten. V kletnih prostorih ima garažni prostor, ostale etaže pa so namenjene trgovski, poslovni in gostinski dejavnosti. Osnovne značilnosti analizirane konstrukcije so opisane v 3. poglavju naloge.

Konstrukcijo smo analizirali za vpliv navpičnih obtežb (stalne obtežbe, spremenljive obtežbe in snega) in za vplive vetra. Vso obtežbo smo določili v skladu z ustreznimi Evrokod standardi. Analiza obtežbe je za obravnavani objekt podana v 3. poglavju naloge, obtežne sheme pa v prilogi.

Konstrukcijo je bilo možno analizirati na več načinov. Zanimalo nas je koliko različne poenostavitve modelov vplivajo na notranje sile v posameznih konstrukcijskih elementih. Zato smo za analizo uporabili več modelov, ki so se razlikovali po stopnji poenostavitve. Najprej smo analizirali ravninski model tipičnega okvira, v katerem smo varirali model kletne etaže. Potem smo analizirali tipičen okvir, s pomočjo ustreznega prostorskega modela.

Nazadnje smo definirali tudi najbolj podroben prostorski model celotne konstrukcije. Vse uporabljene modele smo predstavili v 4. poglavju naloge.

V 5. poglavju smo primerjali rezultate, določene s preprostimi ravninskimi in bolj podrobnimi prostorskimi modeli. Primerjali smo notranje sile v značilnih prerezih plošče in značilnih stebrih. V 5. poglavju je narejena tudi primerjava med notranjimi silami, določenimi s programoma SAP 2000 in ESA PT.

## 2 OSNOVNE ZNAČILNOSTI PROGRAMOV SAP 2000 IN ESA PT

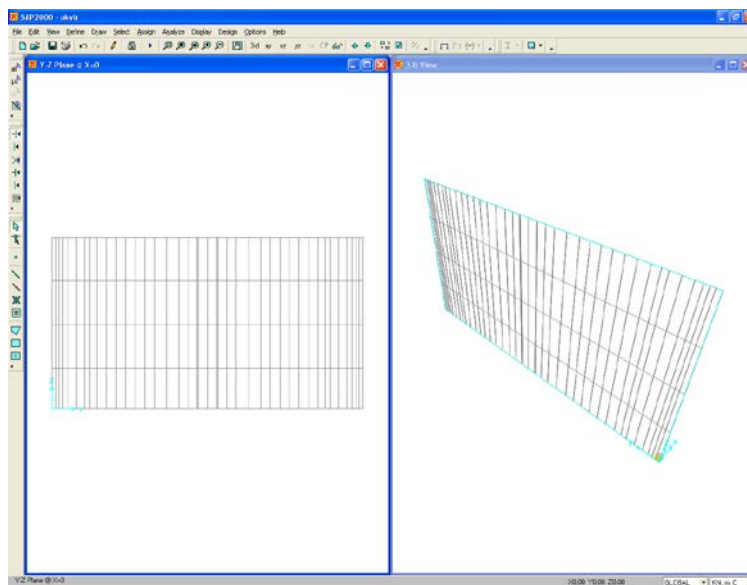
V obeh računalniških programih, SAP 2000 in ESA PT, naredimo sledeče :

- Preverimo enote,
- Definiramo raster konstrukcije,
- Definiramo material in kakovost materiala,
- Definiramo linijske in ploskovne elemente konstrukcije,
- Navedene konstrukcijske elemente podamo v raster konstrukcije

### 2.1. Povzetek analize konstrukcije s programoma

#### 2.1.1 Kratek opis računalniškega programa SAP 2000

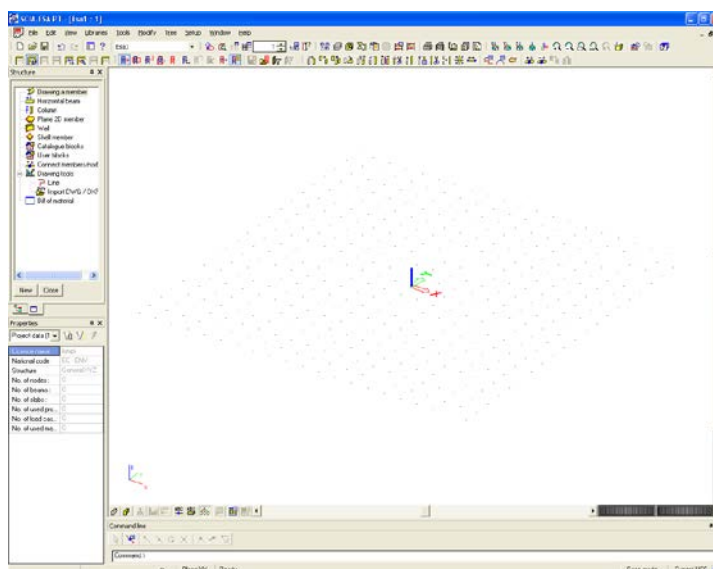
Računalniški program je namenjen statični in dinamični analizi ravninskih in prostorskih konstrukcij, ter računa po metodi končnih elementov. Po zagonu programa, prvo, kar naredimo, spremenimo enote v spodnjem desnem kotu programa. V orodni vrstici odpremo novi model »new model«. Odpre se nam pogovorno okno, kjer izberemo katero geometrijsko konstrukcijsko zasnovo bomo izbrali, ali je to paličje, okvir, ali pa se odločimo, da sami podamo mrežo za konstrukcijsko zasnovo, »grid only«. Potem se nam odpre pogovorno okno, v katerem definiramo raster konstrukcije. Prikaže se nam območje risbe, ki je razdeljeno na dve delovni področji in sicer, ravninski in prostorski pogled (Slika 2). V orodni vrstici »define« definiramo lastnosti materiala, željeni prerez, plošče in obtežbe. Nato začnemo podajati geometrijo konstrukcijskega objekta podamo, lastno težo, stalno in spremenljivo obtežbo, ter obtežbo vetra in snega in konstrukcijo podpremo z podporami. Ko to končamo, zaženemo analizo (run analysis). Po končani analizi, v orodni vrstici »display,« lahko pogledamo različne rezultate računa statične analize notranjih sil.



Slika 2: Osnovno okno računalniškega programa SAP 2000

### 2.1.2 Kratek opis računalniškega programa ESA PT

Tudi ta računalniški program je namenjen statični in dinamični analizi ravninskih in prostorskih konstrukcij in računa po metodi končnih elementov. Po zagonu programa v orodni vrstici odpremo novi model »new«. Odpre se nam pogovorno okno »projekt,« izberemo konstrukcijo »structure« in kasneje še pogovorno okno »Project data«, kjer podamo ime projekta, kratek opis, datum, kdaj smo začeli delati projekt, določimo kakšno geometrijsko zasnovo imamo (ravninsko ali prostorsko) ter material. Potem se nam odpre delovno območje (Slika 2.1), ki je razdeljeno na tri delovna področja. Največje območje je namenjeno risanju geometrije konstrukcijskega objekta in sicer v ravninskem oziroma prostorskem pogledu. Ostala dva območja, pogovorno okno »Main« ter pogovorno okno »Properties« pa sta namenjena konstrukciji sami. V pogovornem oknu »Main« lahko podamo pomožne osi po dolžini, višini in širini, izbiramo linijske in ploskovne elemente, določimo in podamo linijske ali ploskovne obtežbe, ter pogovorno okno »Properties,« ki nam omogoča podajati njihove značilnosti, kot so ime, dolžina in lastnosti materiala gledanega elementa. Ko to vse končamo, konstrukcijo podpremo in zaženemo analizo (Calculation). Po končani analizi, v pogovornem oknu »Main« v orodni vrstici »Results,« lahko pogledamo različne rezultate računa statične analize notranjih sil.



Slika 2.1: Osnovno okno računalniškega programa ESA PT

## 2.2 Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije

### 2.2.1 Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije s programom SAP 2000

Vsi nosilni elementi so merjeni v težišču, oziroma po srednjici elementa. Najprej nastavimo v pogovornem oknu »New Coord/Grid System« število koordinatnih točk in razdaljo med njimi v Y in Z smeri, da dobimo mrežo. Definiramo material beton kakovosti C25/30, kar pomeni, da je elastični modul  $E = 31000000 \text{ kN/m}^2$  (Slika 2.2). Potem definiramo linijske elemente prerezov prečk in stebrov (Slika 2.3). Z klikom na ikono »Draw Frame/Cable Element,« se nam odpre pogovorno okno o značilnosti elementa, kjer izberemo željeni prerez, ki smo ga predtem definirali, ter začnemo risati konstrukcijske elemente v mrežo, tako da dobimo linijski okvir.

**Material Property Data**

**Material Name** CONC

Display Color  
Color

Type of Material  
 Isotropic  Orthotropic  Anisotropic

Type of Design  
Design Concrete

Analysis Property Data  
Mass per unit Volume 0  
Weight per unit Volume 0  
Modulus of Elasticity 31000000  
Poisson's Ratio 0,25  
Coeff of Thermal Expansion 1,200E-05  
Shear Modulus 12000000

Material Property Data (ACI 318-99)  
Specified Conc Comp Strength, f'c 27579,032  
Bending Reinf. Yield Stress, fy 413685,5  
Shear Reinf. Yield Stress, fys 275790,32  
 Lightweight Concrete  
Shear Strength Reduc. Factor 1,0

Material Damping - Advanced...

OK Cancel

Slika 2.2: Pogovorno okno za določanje lastnosti materiala

**Rectangular Section**

**Section Name** 60/180

Properties  
Section Properties...

Property Modifiers  
Set Modifiers...

Material  
CONC

Dimensions  
Depth (t3) 0,6  
Width (t2) 1,8

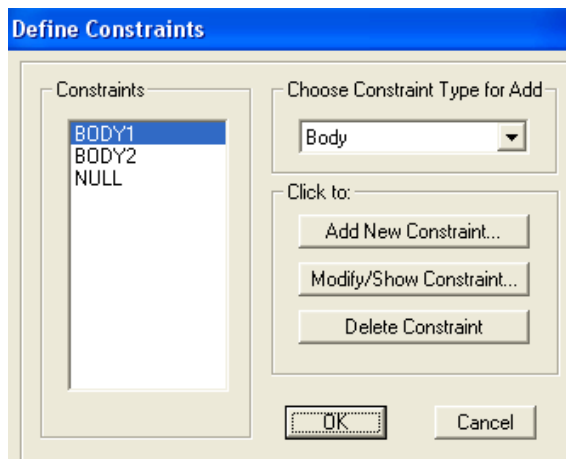
Concrete  
Reinforcement...

Display Color

OK Cancel

Slika 2.3: Pogovorno okno za določanje prereza stebrov in prečk

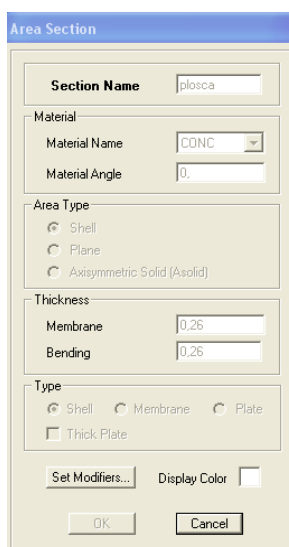
Toge povezave definiramo z ukazom »Join Constraints – Body« (Slika 2.4)



Slika 2.4: Pogovorno okno za določanje togih povezav

### 2.2.1.1 Določitev in vnos lastnosti ploskovnih elementov s programom SAP 2000

Ploskovni element definiramo kot tanko lupino »Shell element« (Slika 2.5) in sicer v orodni vrstici »Define – Area Section«, kjer podamo ime, material, debelino in tip ploskovnega elementa.



Slika 2.5: Pogovorno okno za določanje ploskovnega elementa

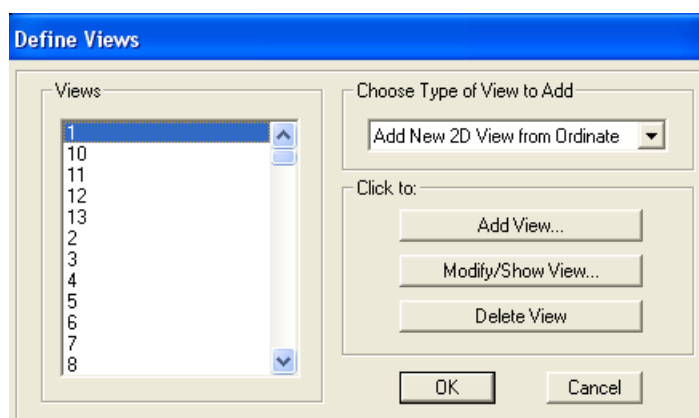


Potrebno je posvetiti veliko pozornost pri definiranju in podajanju koordinatnih točk v mrežo. Paziti moramo, da mreža ni pregosta, saj v nadaljevanju, nočemo imeti preveč ploskovnih elementov, ki bi nam upočasnili računalniški program in izračune statične analize notranjih sil.

Za podajanje ploskovnih elementov imamo več možnosti, kot sledi : z klikom na ikono »Draw Quad Area Element,« nam omogoča risati ploskovne elemente poljubnih oblik, ikona »Draw Rectangular Area Element,« nam omogoča risati pravokotne ploskovne elemente, ter ikona »Quick Draw Area Element,« pa nam omogoča risati ploskovne elemente z klikom v mrežo. Potem se nam odpre pogovorno okno o značilnosti elementa, kjer izberemo željeni ploskovni element, ki smo ga predtem definirali in tako lahko pričnemo risati ploskovne elemente v mrežo.

V primeru obsežnega prostorskega modela, z velikim številom linijskih in ploskovnih elementov, ima program zaradi večje preglednosti, dve zelo koristni funkciji, in sicer : določitev grup »Groups,« ter določitev več različnih pogledov »Set Named View«.

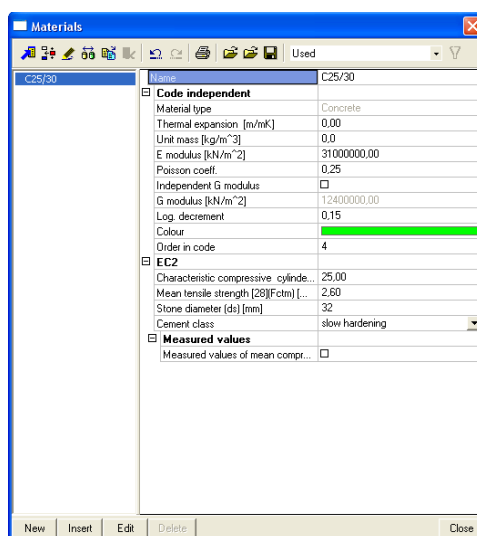
V grupah določimo ploskovne elemente različnih dimenzij, ploskovne in linijske elemente po etažah. Zaradi večje razvidnosti jih lahko tudi medsebojno ločimo z uporabo različnih barv. Poglede določimo tako, da podamo željeno ravnino, ter jo poimenujemo (Slika 2.6).



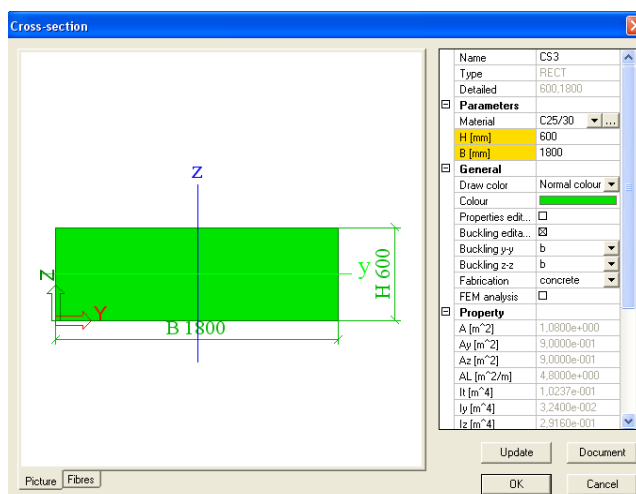
Slika 2.6: Pogovorno okno za določanje pogledov

## 2.2.2 Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije s programom ESA PT

V pogovornem oknu »Main« definiramo material beton, kakovosti C25/30 (Slika 2.7), pomožne osi pa z ukazom »Line Grids«, kjer določimo dolžino in višino okvirja, število ter višino etaž in prereze prečk, ter stebrov. Z ukazom »Draw a Member« pa začnemo podajati horizontalne in vertikalne konstrukcijske elemente v pomožne osi (Slika 2.8).



Slika 2.7: Pogovorno okno za določanje lastnosti materiala

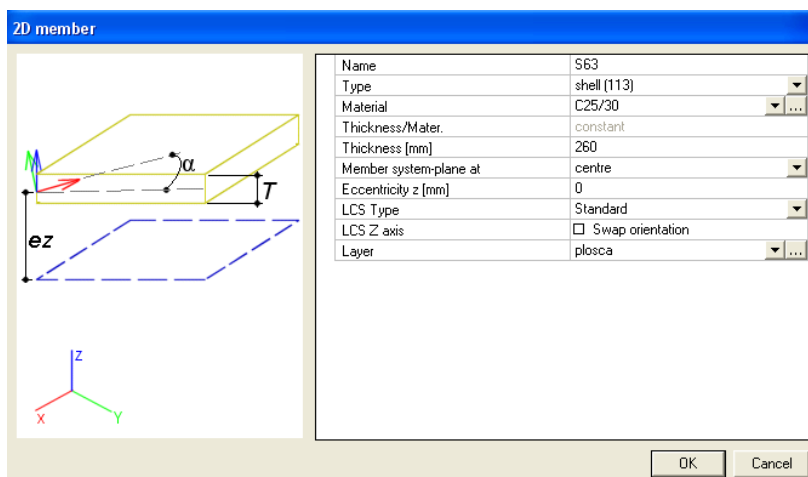


Slika 2.8: Pogovorno okno za določanje prereza stebrov in prečk

Tukaj toge povezave definiramo z ukazom »Rigid Arms«.

### 2.2.2.1 Določitev in vnos lastnosti ploskovnih elementov s programom ESA PT

Ploskovni element definiramo v pogovornem oknu »Main« modul »Structure« podan z ukazom »Shell member«. Odpre se nam pogovorno okno, kjer določimo ime, tip, material in debelino ploskovnega elementa (Slika 2.9).

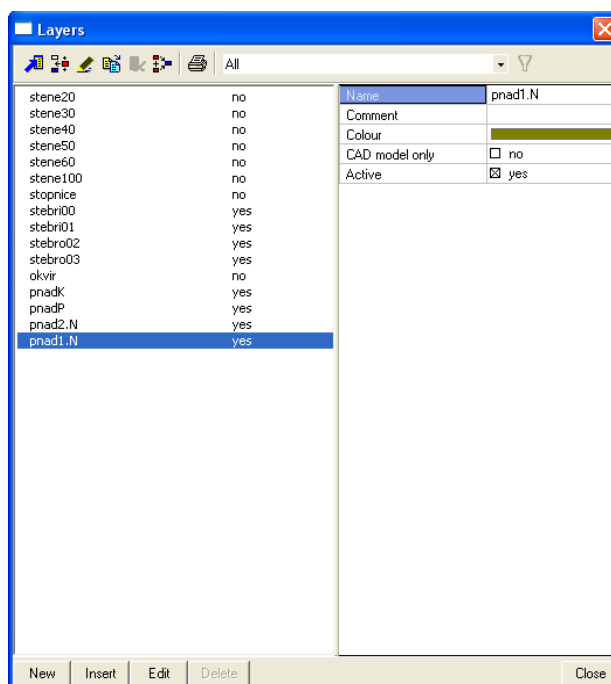


Slika 2.9: Pogovorno okno za določanje ploskovnega elementa

V računalniškem programu SAP 2000 moramo sami podati mrežo. Računalniški program ESA PT pa sam generira mrežo, potrebno je samo podati povprečno velikost ploskovnega elementa. Pri podajanju konstrukcijskih elementov moramo paziti, da se plošča v stiku s stebrom razdeli tako, da se točke stebra in plošč stikajo. V kolikor na to nismo pozorni, pride do napake pri izračunih statične analize.

Ploskovne elemente določimo z ukazom »Shell Member.« Odpre se nam pogovorno okno, kjer določimo ime, debelino in material ploskovnega elementa, nato določimo obliko ploskovnega elementa ( kvadrat, poligon, krog...), ter ga podamo v pomožne osi.

V primeru obsežnega prostorskega modela, z veliko linijskih in ploskovnih elementov, zaradi boljše preglednosti, definiramo plasti »Layers« (Slika 2.10), katere lahko poimenujemo in določimo razpoznavno barvo. Plasti lahko aktiviramo oziroma ne aktiviramo, kar se nam prikaže / ne prikaže, na delovnem območju.



Slika 2.10: Pogovorno okno za določanje Layer -jev

### 2.3 Vnos podatkov o obtežbah

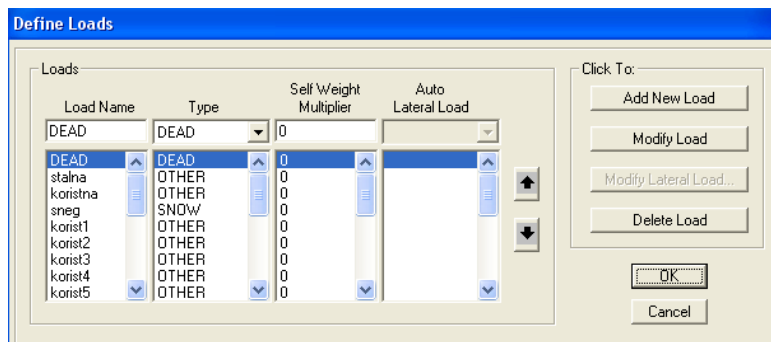
V obravnavanem primeru so pri vnosih upoštevane naslednje obtežbe:

- lastno težo, stalno obtežbo,
- spremenljivo obtežbo,
- obtežbo z vetrom in s snegom.

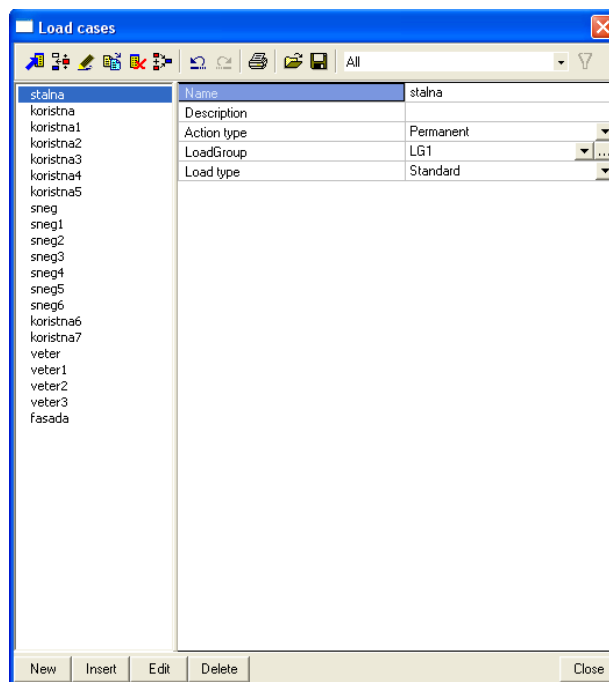
Lastno težo oba računalniška programa lahko upoštevata avtomatsko. Mi te funkcije nismo izrabili, ker smo želeli imeti večjo kontrolo nad podatki. Lastno težo smo upoštevali skupaj s stalno obtežbo.

V obeh programih moramo najprej definirati obtežbe. V SAP 2000 definiramo obtežbe v orodni vrstici »Define« z ukazom »Load Cases,« odpre se pogovorno okno »Define Loads« kjer obtežbe poimenujemo, ter določimo tip obtežbe (Slika 2.11). V ESA PT pa definiramo obtežbe v pogovornem oknu »Main« z ukazom »Load cases, Combinations,« v podvrstici

»Load cases.« Odpre se pogovorno okno »Load cases« kjer določimo obtežbe, ime in tip obtežbe (Slika 2.12).



Slika 2.11: Definiranje obtežb v programa SAP 2000



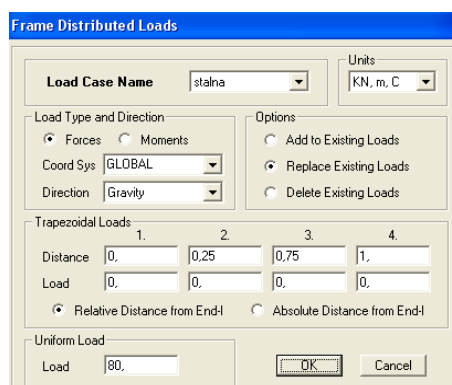
Slika 2.12: Definiranje obtežb v programa ESA PT

## 2.3.1 Lastna teža in stalna obtežba

### 2.3.1.1 Lastna teža in stalna obtežba v SAP 2000

Ravninski model :

Za vnos lastne teže in stalne obtežbe v ravninskih modelih, označimo element, na katerem želimo podati obtežbo. Potem v orodni vrstici »Assign« z ukazom »Frame Loads Distributed« določimo ime obtežbe, katero definiramo že na začetku (glej poglavje 2.3) in velikost obtežbe (Slika 2.13). Prikaže se obtežba na označenem elementu. (Slika 2.14).



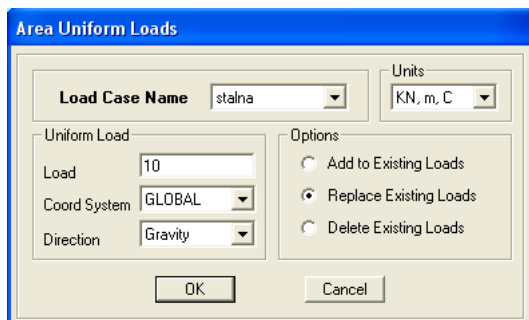
Slika 2.13: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000



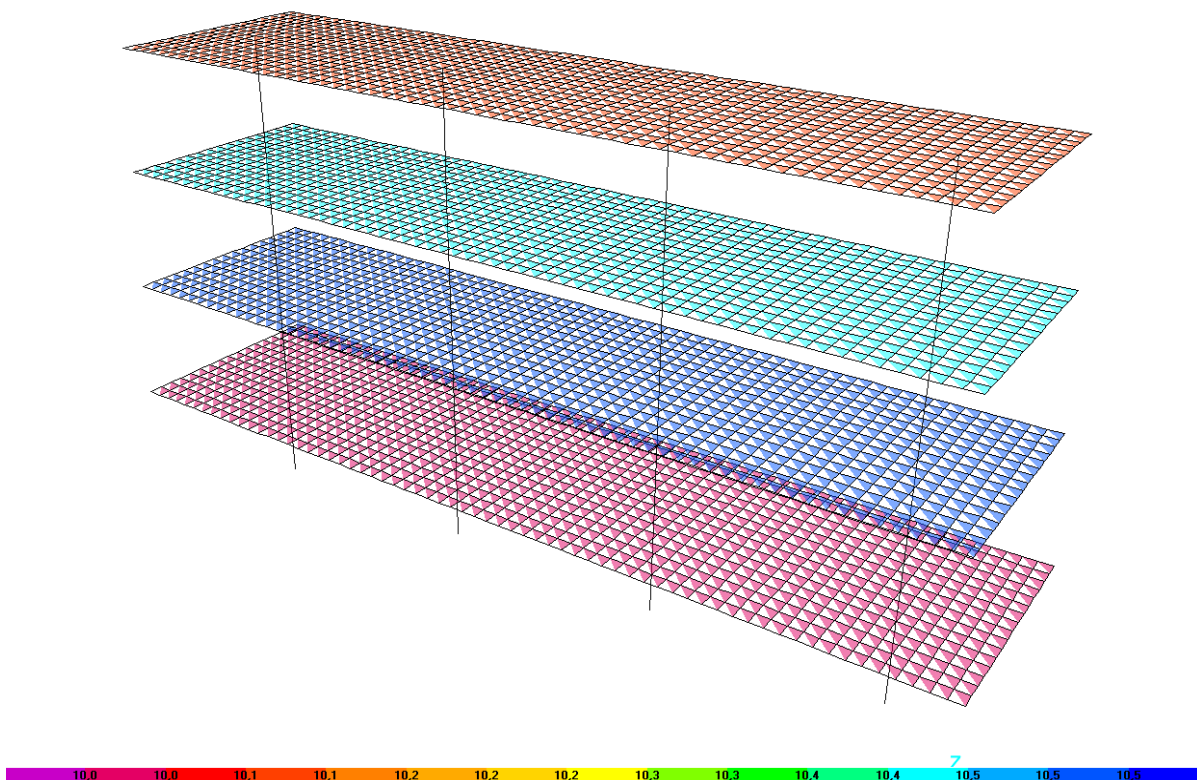
Slika 2.14: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000

Prostorski model :

Za vnos lastne teže in stalne obtežbe na ploskovni element, je podobno kot pri predhodnem ravninskemu modelu, s to razliko, da v orodni vrstici »Assign,« z ukazom »Area Loads, « določimo ime, že na začetku definirane obtežbe, ter velikost obtežbe (Slika 2.15). Prikaže se ploskovna obtežba na označenem elementu. (Slika 2.16).



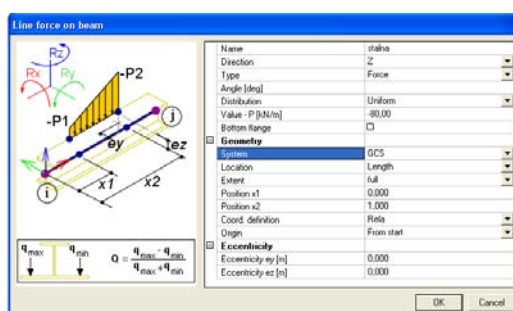
Slika 2.15: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000



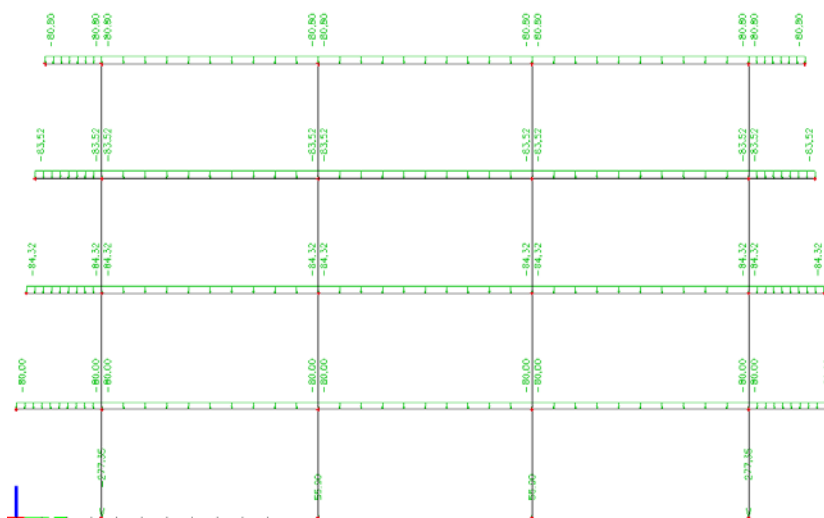
Slika 2.16: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000

### 2.3.1.2 Lastna teža in stalna obtežba v ESA PT

Za vnos lastne teže in stalne obtežbe v ravninskih modelih, v primerjavi s SAP 2000, sta na razpolago dve možnosti. In sicer tako, da označimo element na katerim želimo podati obtežbo, ali pa to naredimo kasneje. V pogovornem oknu »Main« z ukazom »Load,« se odpre pogovorno okno, kjer določimo ime obtežbe, ki jo definiramo že na začetku (glej poglavje 2.3), ter tip obtežbe (točkovna obtežba, linijska obtežba). Potem ko določimo tip obtežbe, v našem primeru je to linijska obtežba, se nam odpre novo pogovorno okno »Line Force on beam« (Slika 2.17), kjer določimo velikost obtežbe. Nato označimo element na katerem želimo podati obtežbo ali pa to opustimo, če smo to naredil že na začetku. Obtežba se nam prikaže na željenem elementu (Slika 2.18).



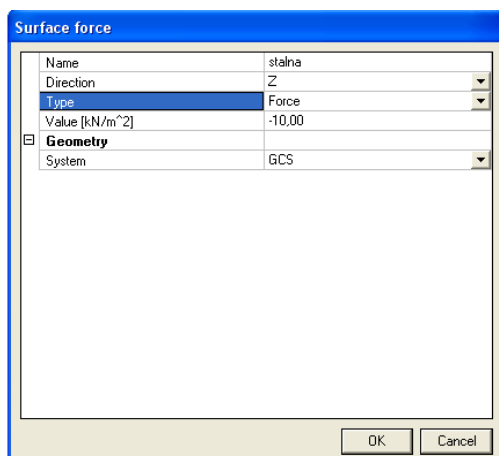
Slika 2.17: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT



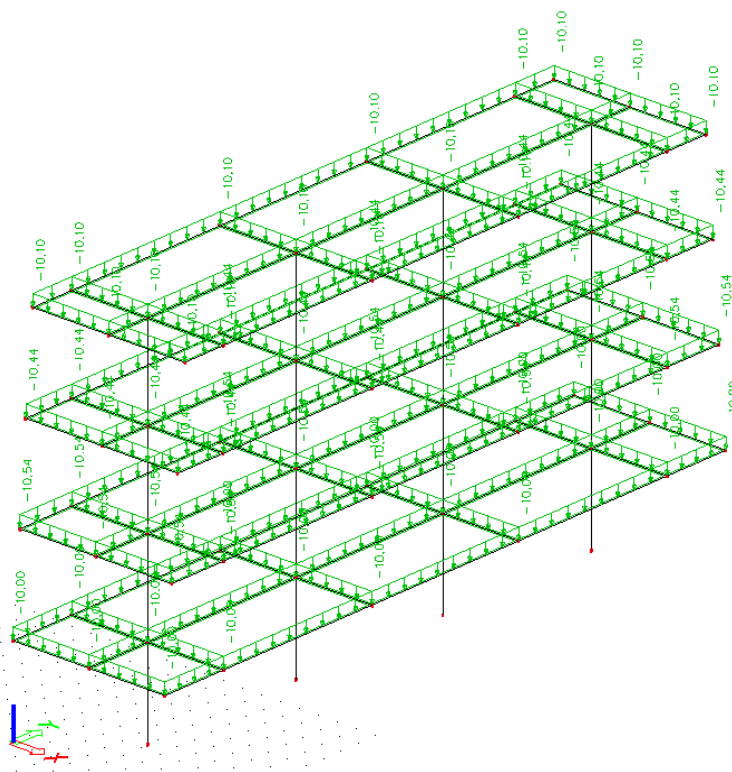
Slika 2.18: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT



Pri vnosu lastne teže in stalne obtežbe na ploskovni element je način podoben, s to razliko, da v tipu obtežbe določimo ploskovno obtežbo. Nato se nam odpre novo pogovorno okno »Surface force,« kjer določimo velikost obtežbe (Slika 2.19). Prikaže se ploskovna obtežba na označenem elementu. (Slika 2.20).



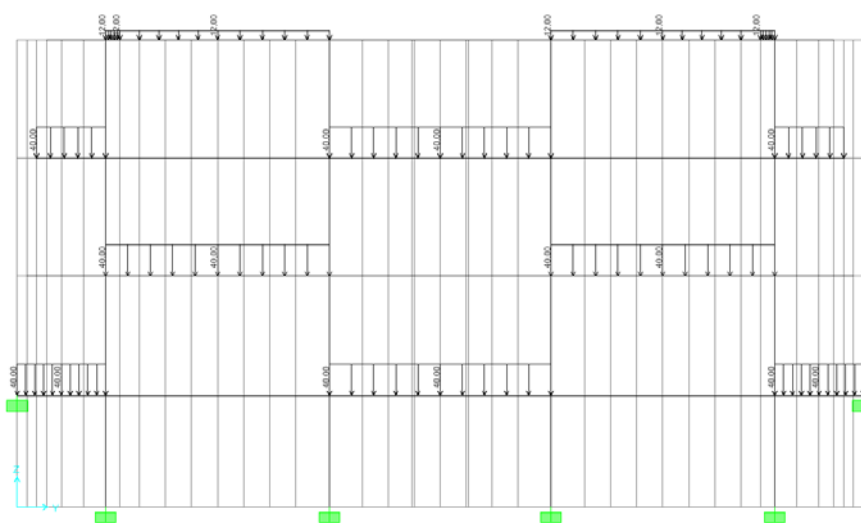
Slika 2.19: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT



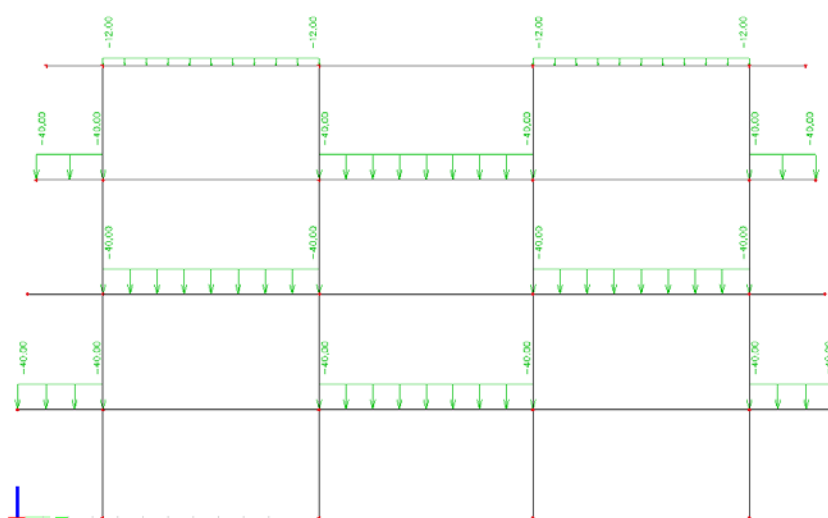
Slika 2.20: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT

### 2.3.2 Spremenljiva obtežba

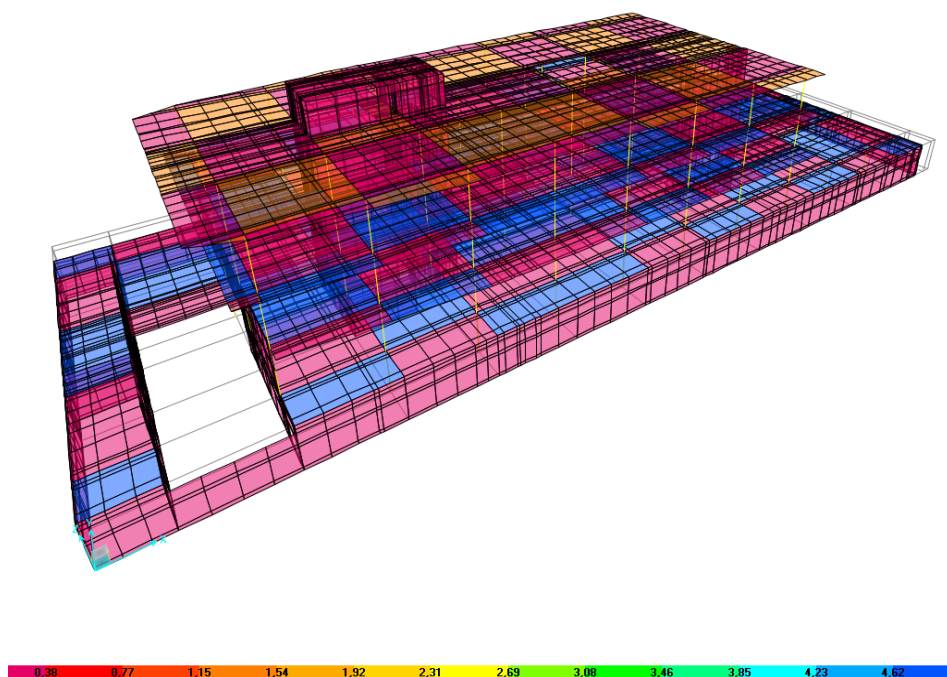
Koristno obtežbo ravninskih modelov (Slika 2.21 in Slika 2.22) in prostorskih modelov (Slika 2.23 in Slika 2.24) se podajo na enak način, kot je to razloženo pri lastni teži in stalni obtežbi v obeh programih. Za določitev maksimalnih notranjih sil v stebrih, prečkah ali ploščah, postavimo več koristnih obtežb na princip šahovske postavitve obtežb, katere najbolj neugodno delujejo na konstrukcijo.



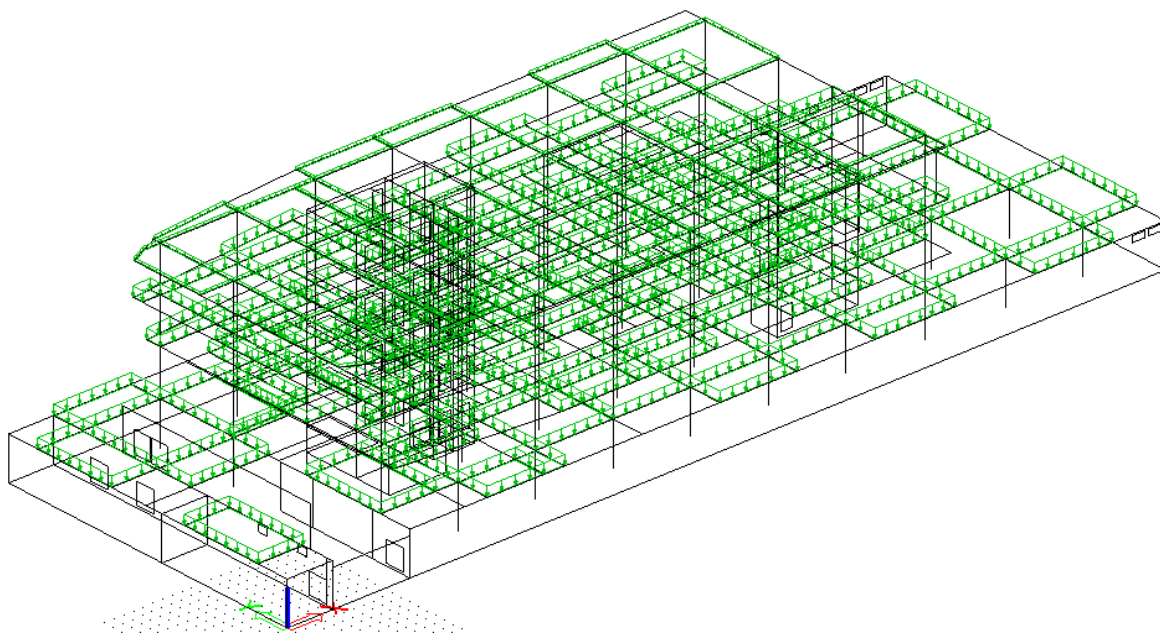
Slika 2.21: Primer postavitve linijske koristne obtežbe v programu SAP 2000



Slika 2.22: Primer postavitve linijske koristne obtežbe v programu ESA PT



Slika 2.23: Primer postavitve ploskovne koristne obtežbe v programu SAP 2000



Slika 2.24: Primer postavitve ploskovne koristne obtežbe v programu ESA PT

### **2.3.3 Obtežba s snegom in obtežba z vetrom**

Obtežba s snegom in obtežba z vetrom, se pri ravninskih modelih in prostorskih modelih, podaja na enak način, kot pri podajanju lastne teže, ter stalne in spremenljive obtežbe.

### **2.3.4 Kombinacije obtežb**

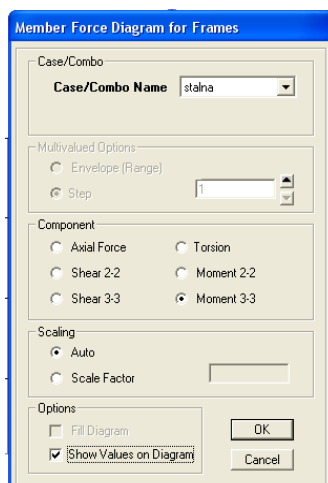
V obeh računalniških programih lahko podamo kombinacije obtežb, katere najbolj neugodno delujejo na konstrukcijo. Mi te funkcije nismo izrabili.

## **2.4 Analiza in prikaz rezultatov**

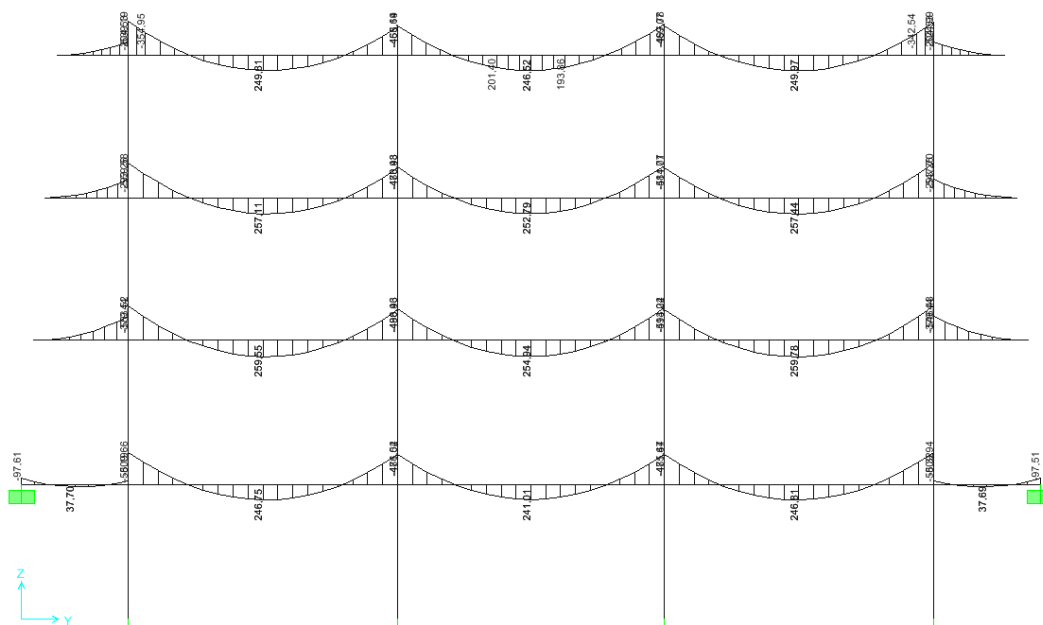
Po končanem podajanju konstrukcijskih elementov in podajanju obtežb na konstrukcijo, konstrukcijo podpremo z podporami. Nato aktiviramo analizo. V programu SAP 2000 z ukazom »Run Analysis,« v programu ESA PT pa z ukazom »Calculation.«

### **2.4.1 Analiza in prikaz rezultatov v SAP 2000**

Po končani analizi, za prikaz rezultatov notranjih sil ravninskih elementov, izberemo v orodni vrstici »display« z ukazom »Show Forces/Stresses – Frames/Cables.« Odpre se pogovorno okno »Member Force Diagram for Frames«, kjer določimo obtežbeni primer in željeno notranjo silo (Slika 2.25). Potem se nam prikažejo rezultati notranjih sil, za katere smo izbrali obtežbeni primer (Slika 2.26).

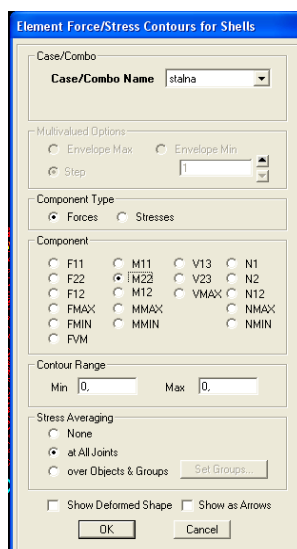


Slika 2.25: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ravninskega elementa v programu SAP 2000

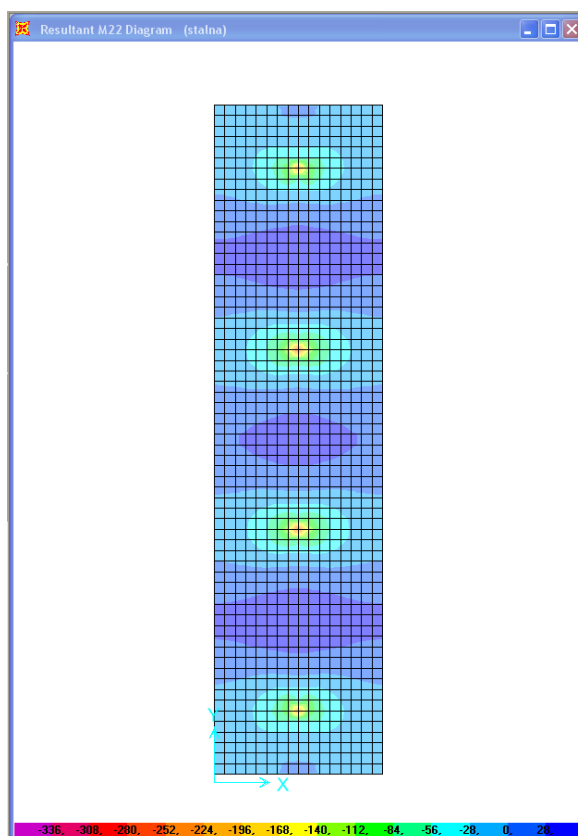


Slika 2.26: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000

Za prikaz rezultatov notranjih sil za ploskovne elemente, je postopek podoben kot za ravninske elemente, s to razliko, da rezultate prikažemo z ukazom »Show Forces/Stresses – Shells,« (Slika 2.27 in Slika 2.28).



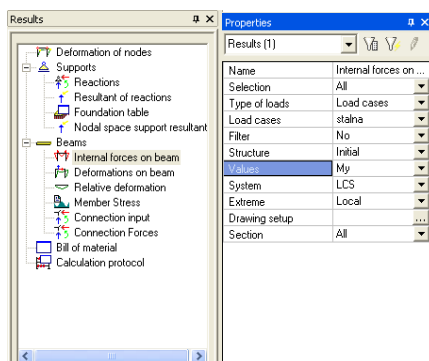
Slika 2.27: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ploskovnega elementa v programu SAP 2000



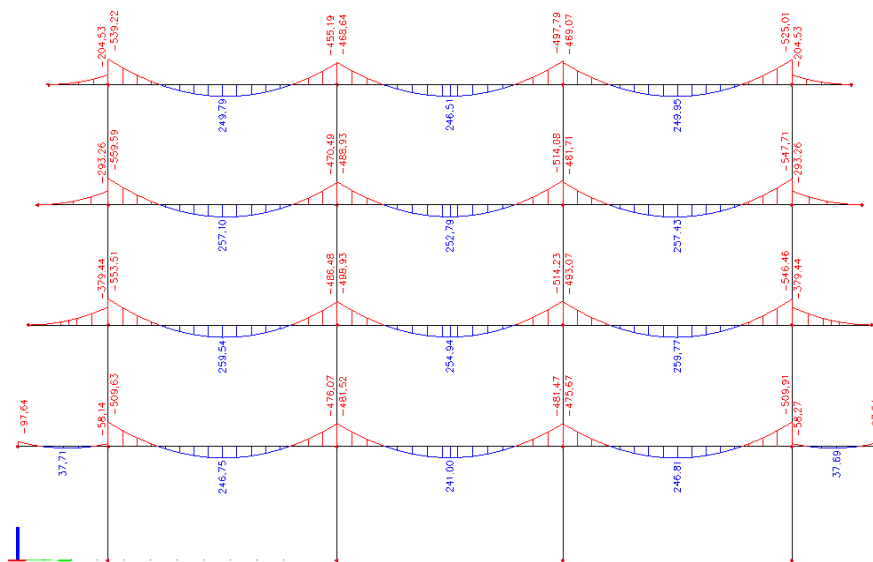
Slika 2.28: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000

## 2.4.2 Analiza in prikaz rezultatov v ESA PT

Po končani analizi v programu ESA PT, v »Main« pogovornem oknu izberemo ukaz »Results« za prikaz rezultatov notranjih sil. Označimo »Internal forces on beam« in določimo obtežbeni primer in željeno notranjo silo v pogovornem oknu »Properties,« (Slika 2.29). Nato se nam prikažejo rezultati notranjih sil, katerih obtežbeni primer smo izbrali (Slika 2.30).

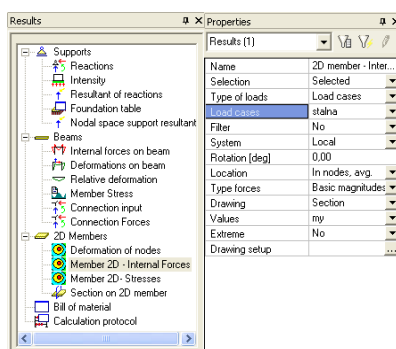


Slika 2.29: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ravninskega elementa v programu ESA PT

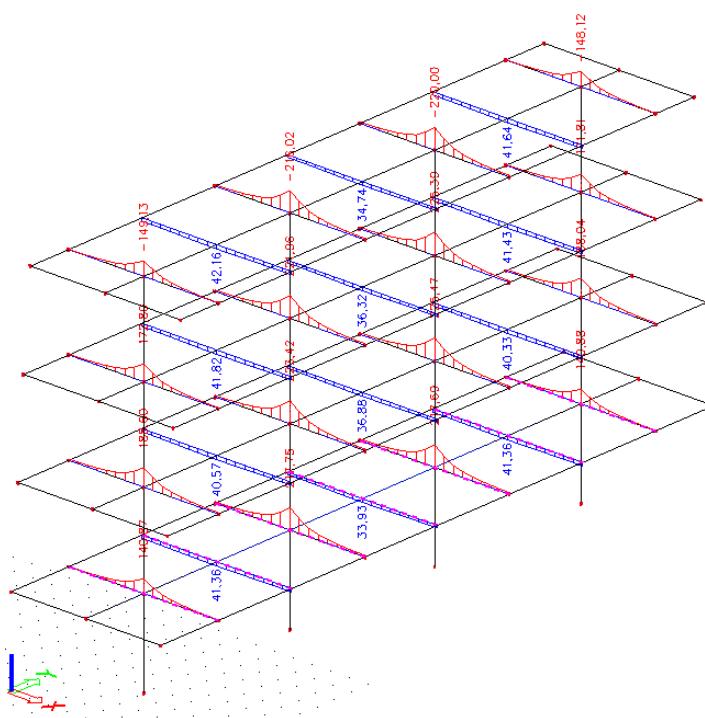


Slika 2.30: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT

Za prikaz rezultatov notranjih sil za ploskovne elemente dosežemo z ukazom »Results, « nato označimo »Member 2D -Internal Forces,« ter v pogovornem oknu »Properties, « določimo željeni obtežbeni primer, željeno notranjo silo in prerez za prikaz rezultatov (Slika 2.31 in Slika 2.32).



Slika 2.31: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ploskovnih elementov v programu ESA PT



Slika 2.32: Primer rezultatov upogibnih momentov v prerezih, lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT



### **3 OPIS KONSTRUKCIJE ANALIZERANEGA POSLOVNEGA OBJEKTA IN ANALIZA OBTEŽBE**

#### **3.1 Opis konstrukcije**

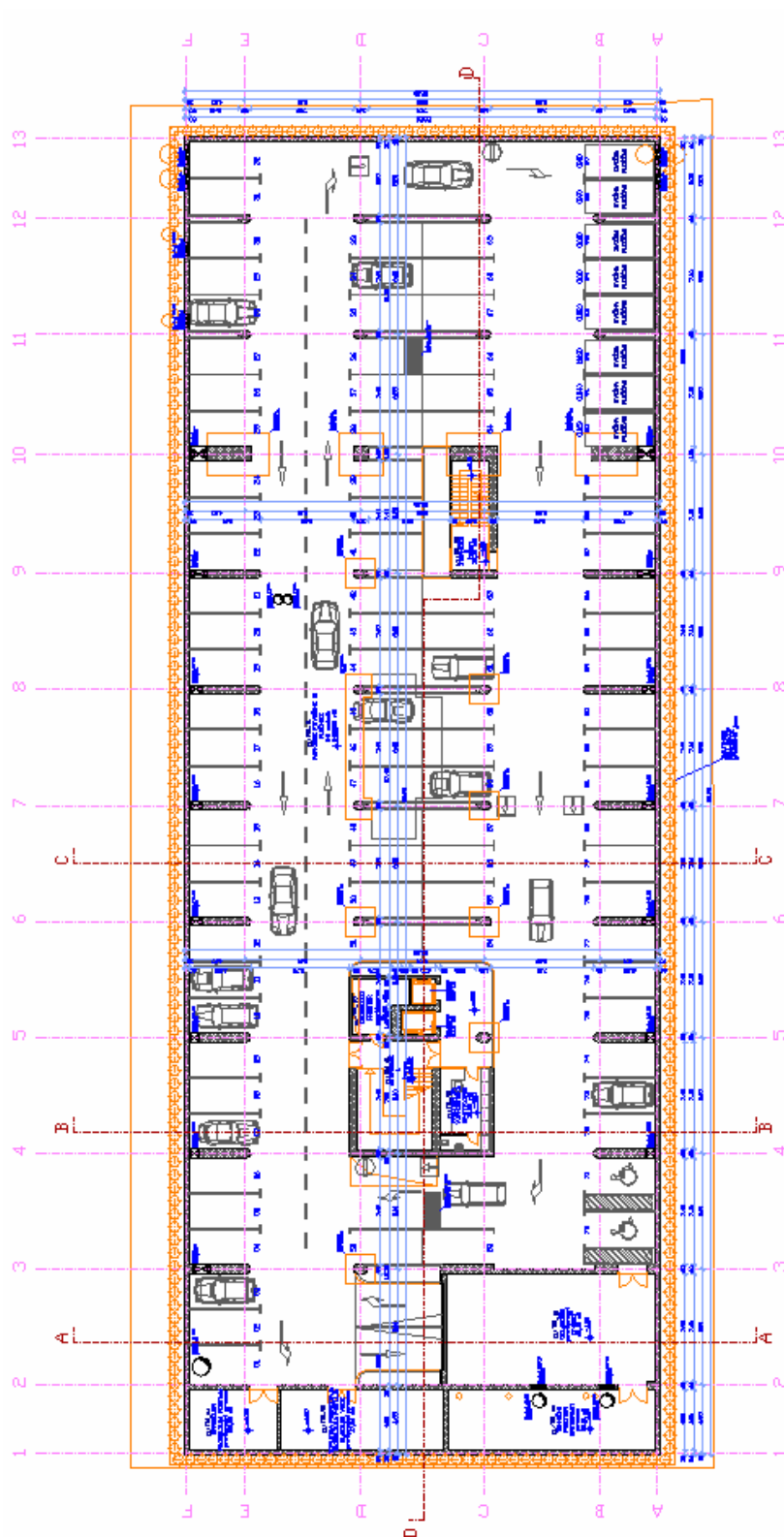
Objekt leži v okolici Velenja in je samostojen, ter konstrukcijsko ni povezan z sosednjimi objekti. Pod koto terena ima kletno etažo, namenjeno parkiranju vozil, nad koto terena pa še tri etaže, in sicer pritličje, prvo in drugo nadstropje, namenjeni trgovanju, poslovanju in gostinski dejavnosti.

Kletna etaža (Slika 3) ima dimenzije 90,65 m x 32,50 m, pritličje 60,60 m x 28,10 m (Slika 3.1), prvo (Slika 3.2), drugo nadstropje (Slika 3.3) in streha (Slika 3.4), v prečni smeri sta glede na pritličje, zamaknjena proti notranjosti, v vzdolžni smeri pa previsno (konzolno) čez pritličje (Slika 3.5).

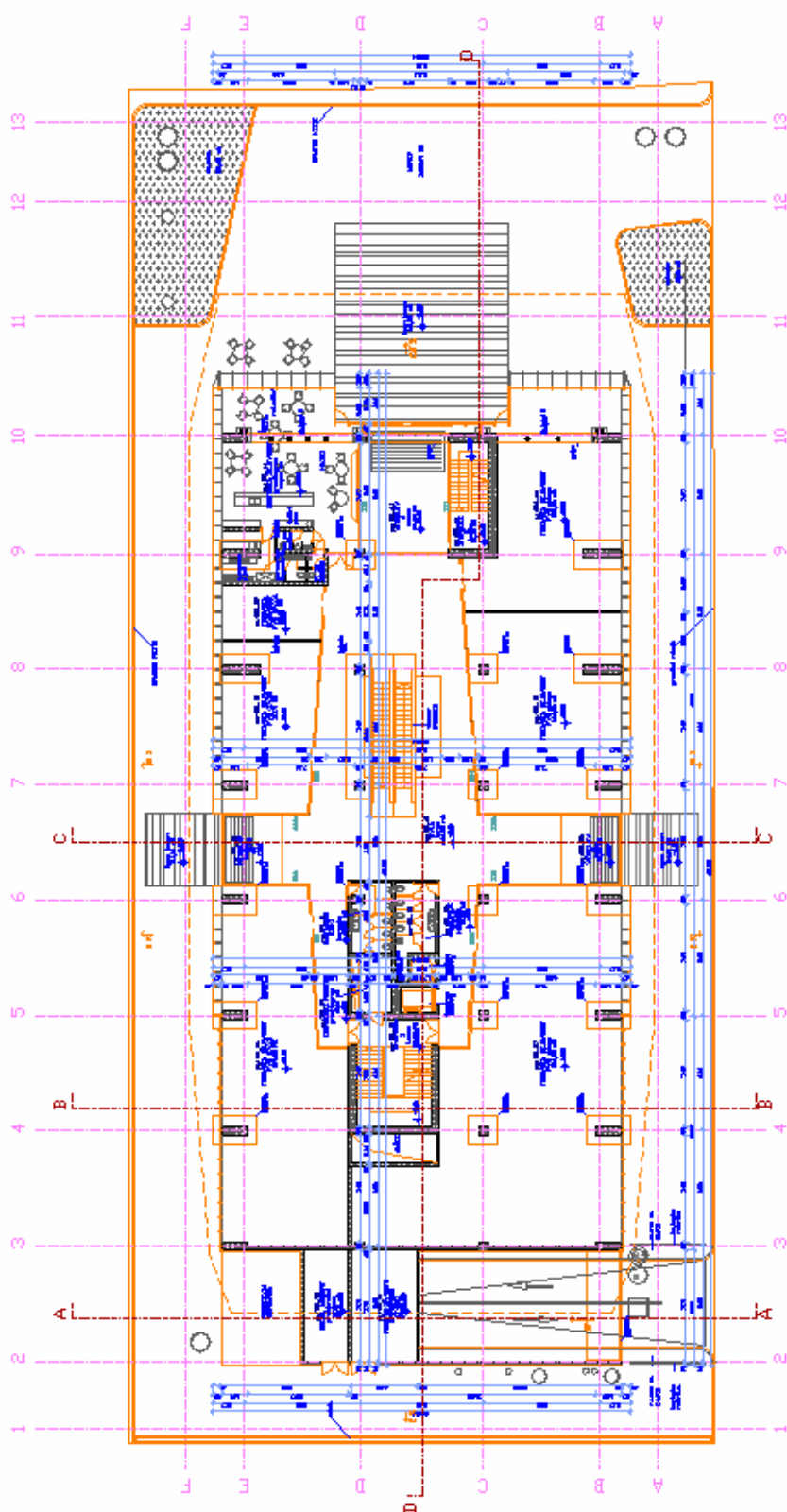
Konstrukcijski elementi so v rastru 4.65m, 7 x 8 m, 2 x 8.25m, 8m in 5,5m v vzdolžni smeri, ter 4m, 8m, 8.5 m, 8m in 4 m v prečni smeri. Etažna višina kleti je 4.3 metre, pritličja 4.59 metrov in prvo ter drugo nadstropje pa je 4.55 metrov.

Objekt je armiranobetonska kombinirana konstrukcija, katere nosilni elementi so AB plošče preko katerih se obtežba prenese na AB vertikalne nosilne element, stebre in stene.

Vsi konstrukcijski elementi so izvedeni iz betona kvalitete C 25/30 in armirani z rebrasto armaturo kvalitete RA 400/500 in mrežno armaturo MAG 500/560.



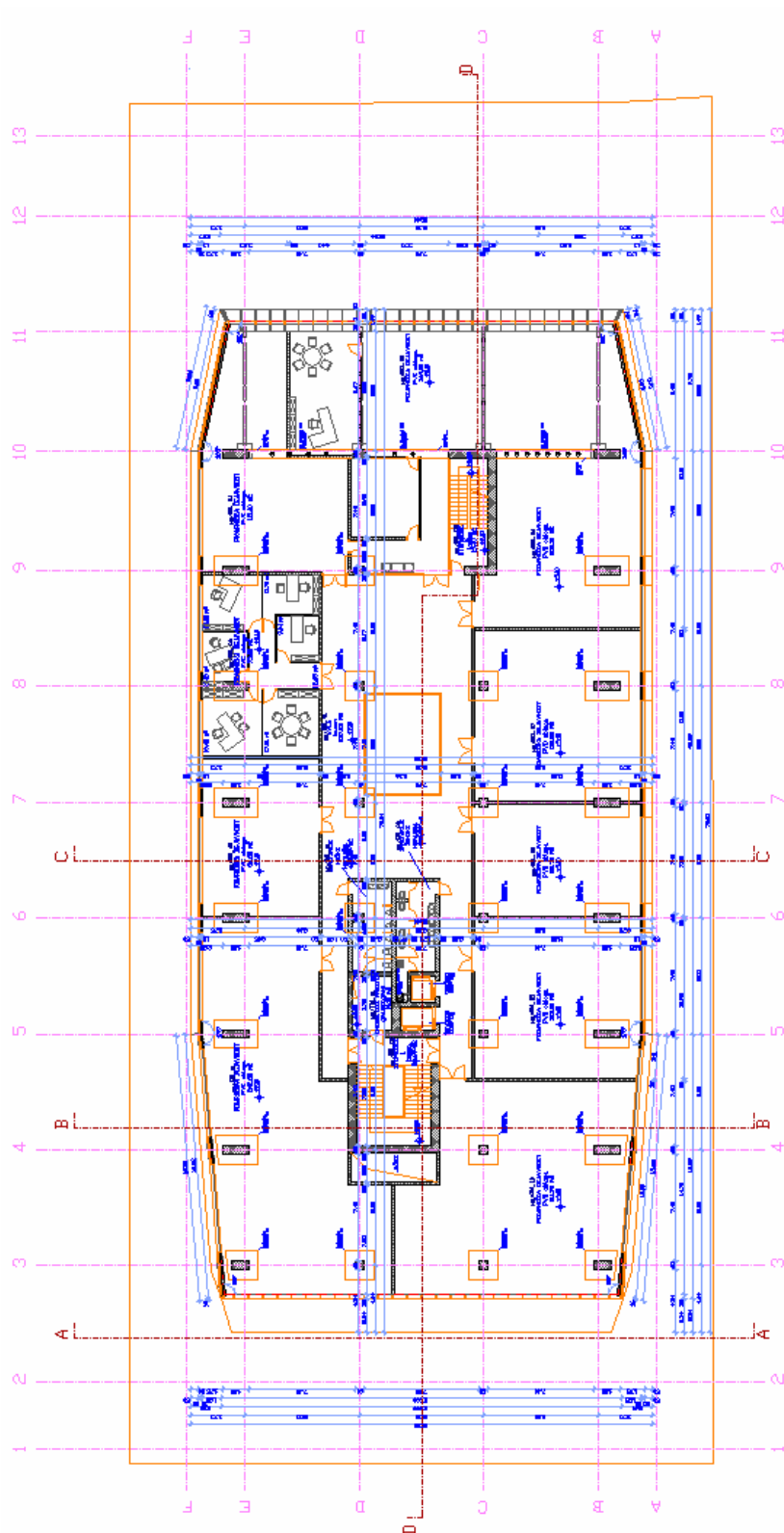
Slika 3: Floris kleti



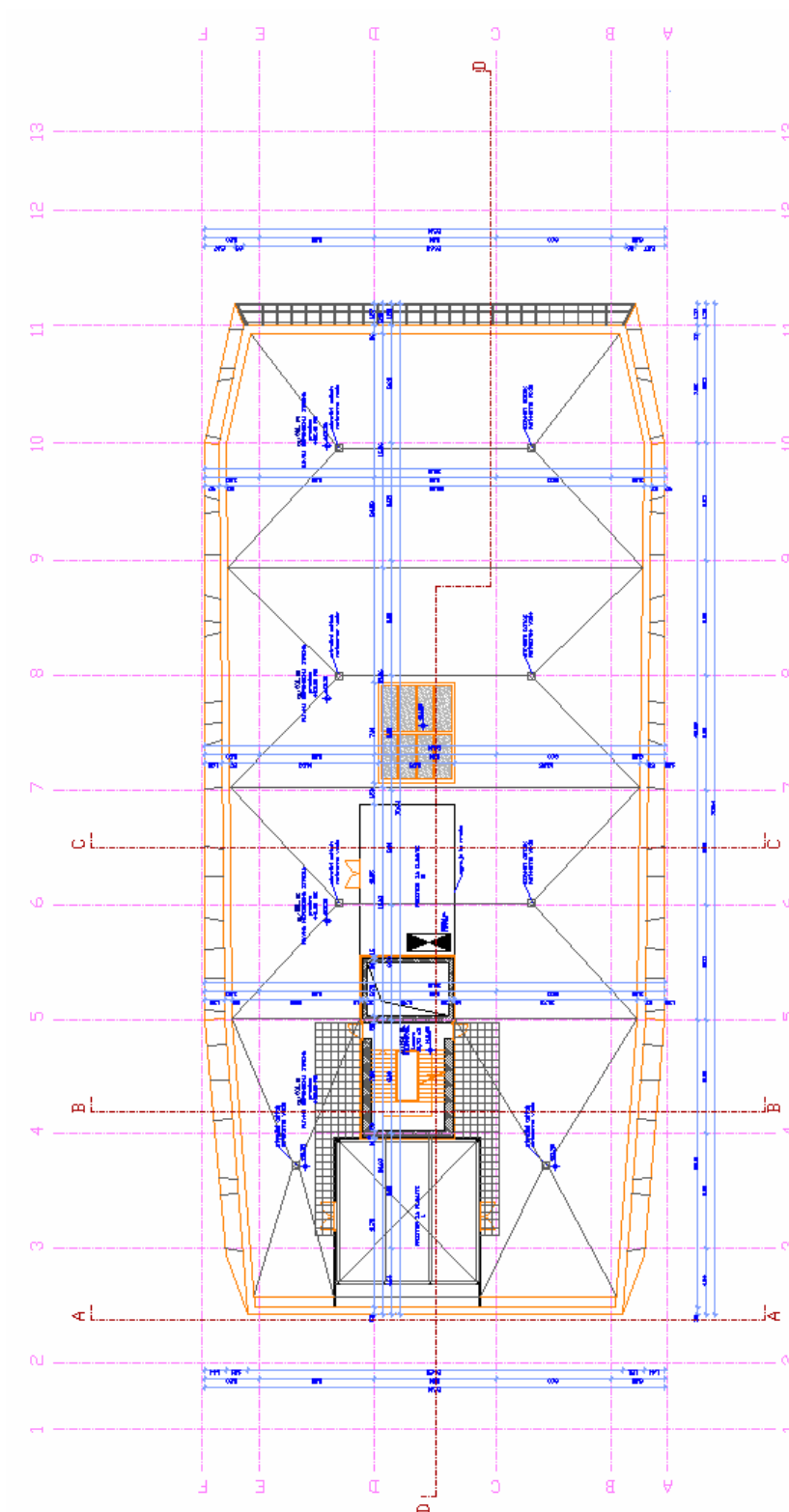
Slika 3.1: Tloris pritličja



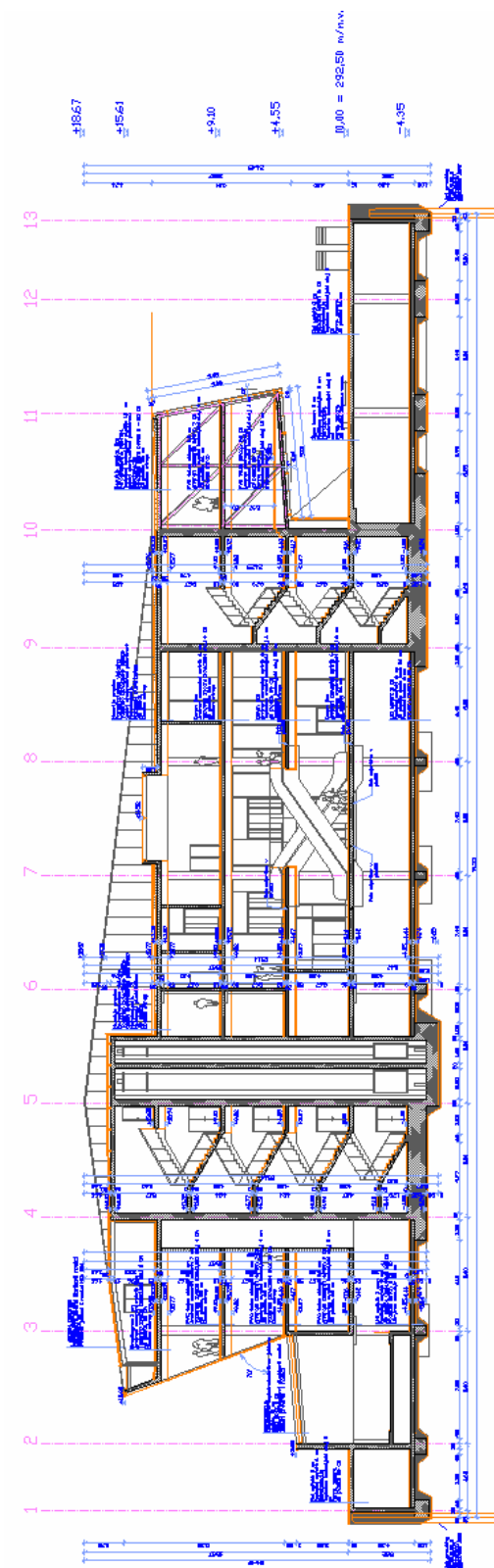
Slika 3.2: Tloris 1. Nadstropja



Slika 3.3: Tloris 2. Nadstropja



Slika 3.4: Tloris Strehe



Slika 3.5: Vzdolžni prerez

## 3.2 Analiza obtežb

Vrednosti obtežb so bile upoštevane po standardu Evrokod 1 ( EC1/1-1 ).

### 3.2.1 Lastna teža in stalna obtežba

#### 3.2.1.1 Plošča nad kletjo

##### LASTNA TEŽA

AB plošča	$0,26\text{m} \times 25,0 \text{ kN} / \text{m}^3 =$	6,50	$\text{kN} / \text{m}^2$
Lastna teža stebrov	$2744 \text{ kN} / 2695 \text{ m}^2 =$	1,00	$\text{kN} / \text{m}^2$

##### STALNA OBTEŽBA

Instalacije, izolacije		0,30	$\text{kN} / \text{m}^2$
Cementni estrih	$0,06\text{m} \times 22,0 \text{ kN} / \text{m}^3 =$	1,32	$\text{kN} / \text{m}^2$
Zaključni sloj ( kamen )	$0,04\text{m} \times 22,0 \text{ kN} / \text{m}^3 =$	0,88	$\text{kN} / \text{m}^2$

SKUPAJ  $g_1 = \underline{10,00 \text{ kN} / \text{m}^2}$

Fasada  $60 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 4,46\text{m} / 1000$   $f_1 = 2,63 \text{ kN} / \text{m}$

#### 3.2.1.2 Plošča nad pritličjem

##### LASTNA TEŽA

AB plošča	$0,26\text{m} \times 25,0 \text{ kN} / \text{m}^3 =$	6,50	$\text{kN} / \text{m}^2$
Lastna teža stebrov	$505 \text{ kN} / 1622 \text{ m}^2 =$	1,54	$\text{kN} / \text{m}^2$



## STALNA OBTEŽBA

Instalacije, izolacije		0,30	kN / m <sup>2</sup>
Cementni estrih	0,06m x 22,0 kN / m <sup>3</sup> =	1,32	kN / m <sup>2</sup>
Zaključni sloj ( kamen )	0,04m x 22,0 kN / m <sup>3</sup> =	0,88	kN / m <sup>2</sup>

SKUPAJ  $g_2 = \underline{10,54 \text{ kN / m}^2}$

Fasada  $60 \text{ kg / m}^2 \times 9,81 \text{ m / s}^2 \times 4,55\text{m} / 1000$   $f_2 = 2,68 \text{ kN / m}$

**3.2.1.3 Plošča nad 1. nadstropjem**

## LASTNA TEŽA

AB plošča	0,26m x 25,0 kN / m <sup>3</sup> =	6,50	kN / m <sup>2</sup>
Lastna teža stebrov	2421 kN / 1678 m <sup>2</sup> =	1,44	kN / m <sup>2</sup>

## STALNA OBTEŽBA

Instalacije, izolacije		0,30	kN / m <sup>2</sup>
Cementni estrih	0,06m x 22,0 kN / m <sup>3</sup> =	1,32	kN / m <sup>2</sup>
Zaključni sloj ( kamen )	0,04m x 22,0 kN / m <sup>3</sup> =	0,88	kN / m <sup>2</sup>

SKUPAJ  $g_3 = \underline{10,44 \text{ kN / m}^2}$

Fasada  $60 \text{ kg / m}^2 \times 9,81 \text{ m / s}^2 \times 4,55\text{m} / 1000$   $f_2 = 2,68 \text{ kN / m}$

### 3.2.1.4 Plošča nad 2. nadstropjem

#### LASTNA TEŽA

AB plošča  $0,26\text{m} \times 25,0 \text{ kN} / \text{m}^3 = 6,50 \text{ kN} / \text{m}^2$

#### STALNA OBTEŽBA

Instalacije, izolacije  $0,30 \text{ kN} / \text{m}^2$

Cementni estrih  $0,11\text{m} \times 22,0 \text{ kN} / \text{m}^3 = 2,42 \text{ kN} / \text{m}^2$

Zaključni sloj ( kamen )  $0,04\text{m} \times 22,0 \text{ kN} / \text{m}^3 = 0,88 \text{ kN} / \text{m}^2$

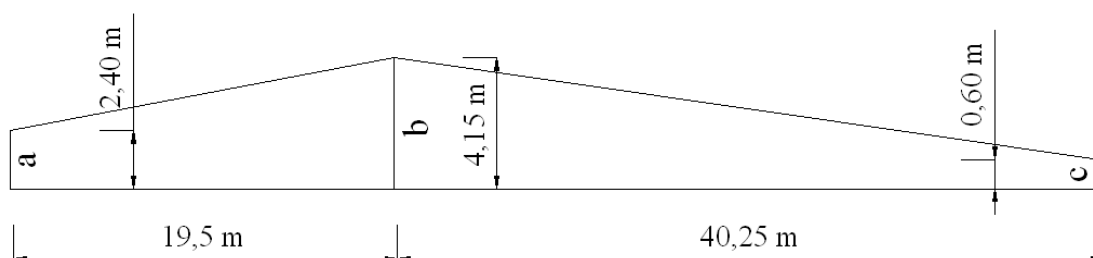
SKUPAJ  $g_4 = \underline{10,10 \text{ kN} / \text{m}^2}$

#### Fasada

a  $60 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 2,40\text{m} / 1000 \quad f_{3,1} = 1,41 \text{ kN} / \text{m}$

b  $60 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 4,15\text{m} / 1000 \quad f_{3,2} = 2,44 \text{ kN} / \text{m}$

c  $60 \text{ kg} / \text{m}^2 \times 9,81 \text{ m} / \text{s}^2 \times 0,60\text{m} / 1000 \quad f_{3,3} = 0,35 \text{ kN} / \text{m}$



### 3.2.2 Koristna obtežba

Vrednosti obtežb so bile upoštevane po standardu EC1/1-1.

#### 3.2.2.1 Plošča nad kletjo, nad pritličjem in 1. nadstropjem

$$q_1 = \underline{5,00 \text{ kN / m}^2}$$

#### 3.2.2.2 Plošča nad 2. nadstropjem

Pohodna streha  $q_2 = \underline{1,50 \text{ kN / m}^2}$

### 3.2.3 Obtežba snega [ Evrokod 1 ( EC1/1-3 ) ]

Objekt leži v coni C, na 300 m nadmorske višine. Obtežbo izračunamo po enačbi:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

Obtežba deluje na celi površini:

$$s = 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,9 \text{ kN / m}^2 = s = \underline{1,52 \text{ kN / m}^2}$$

### 3.2.4 Obtežba vetra [ Evrokod 1 ( EC1/1-4 ) ]

Cona A  $\rightarrow v_b = 25 \text{ m/s}$

Zunanji vpliv :

$$W_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

$$q_b = \rho_{ZRAK} \times \frac{v_b^2}{2} = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{25^2 \text{ m}^2}{2 \text{ s}^2} = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

Kategorija terena : III.

$$c_r(z) = k_r \times \ln(z/z_0)$$

$$c_r(14) = 0,22 \times \ln(14/0,3) = 0,845$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b = 0,845 \times 1 \times 25 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 21,13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\sigma_v = k_r \times v_b \times k_t = 0,22 \times 25 \times 1 = 5,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

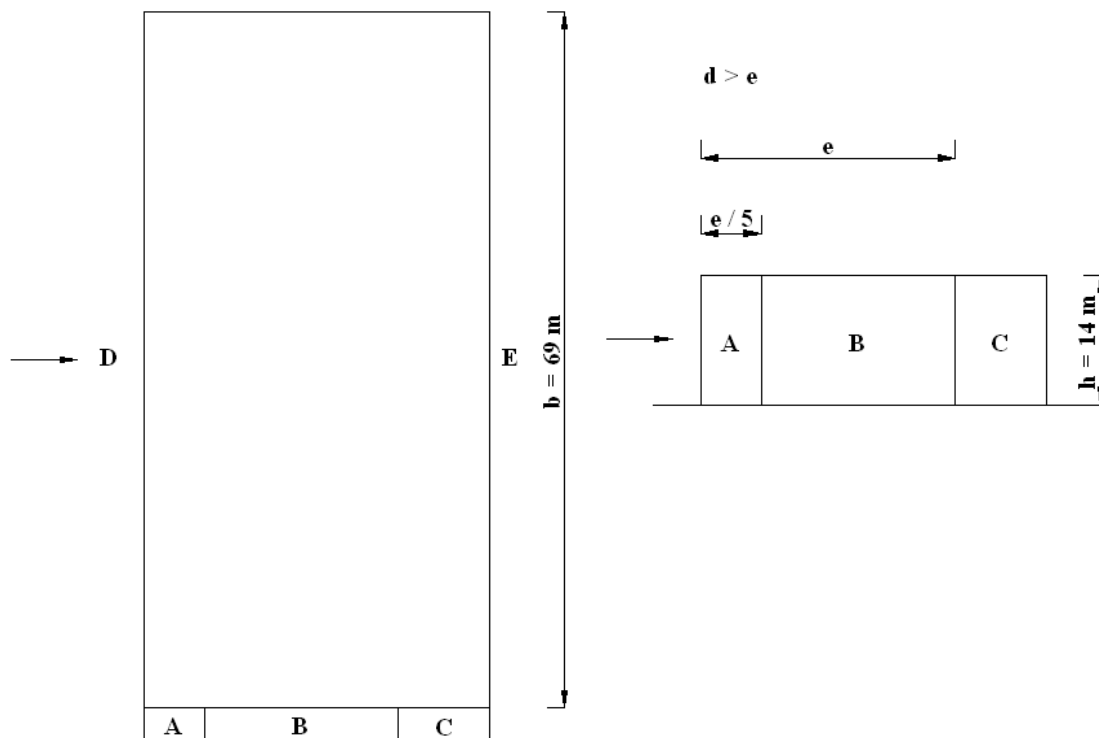
$$l_v(14) = \frac{\sigma_v}{v_m} = \frac{5,5}{21,13} = 0,26$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \times l_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) = [1 + 7 \times 0,26] \times 0,5 \times 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 21,13^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0,79 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e(14) = \frac{q_p(14)}{q_b} = \frac{0,79}{0,39} = 2,0$$

$$c_{pe} = c_{pe10} \quad [ \text{več kot } A = 10 \text{ m}^2 ]$$

Pri računu obtežbe z vetrom smo upoštevali, veter delujoč horizontalno na plošče in vertikalno na ravni strehi v prečni smeri, katere so izračunane s kombinacijo zunanjih ter notranjih vplivov, kot sta pritisk in srk.

Prečna smer (  $h < b$  )

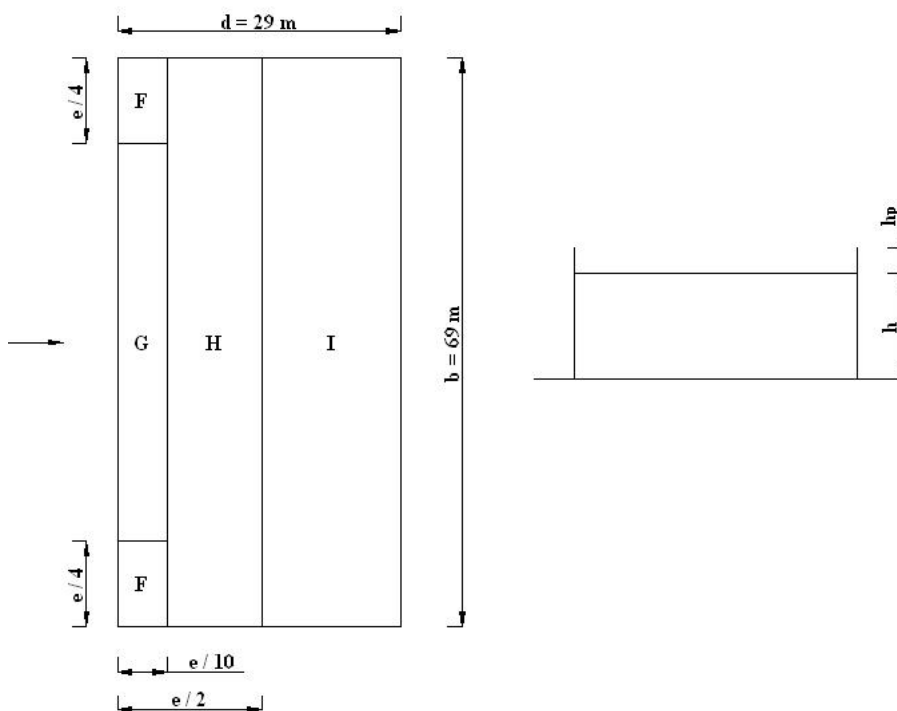
$$e = \min ( b, 2h ) = ( 29\text{ m}, 28\text{ m} ) = 28\text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{14}{29} = 0,48$$

$$D = 0,7; E = -0,3$$



Oblikovni faktor - ravna streha



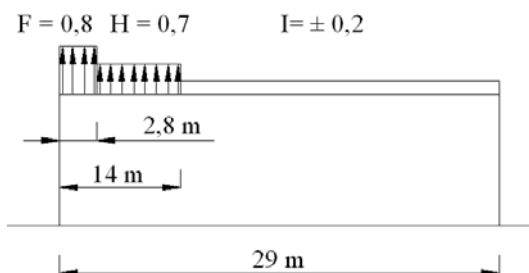
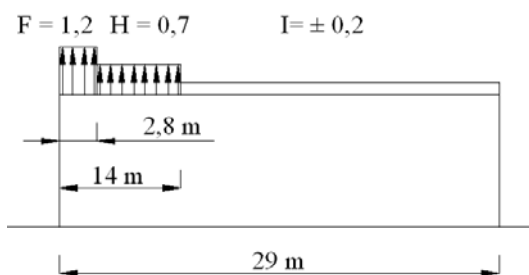
$$\frac{h_p}{h} = \frac{5}{2} = 2,5m$$

F = - 1,2

G = - 0,8

H = - 0,7

I = ± 0,2



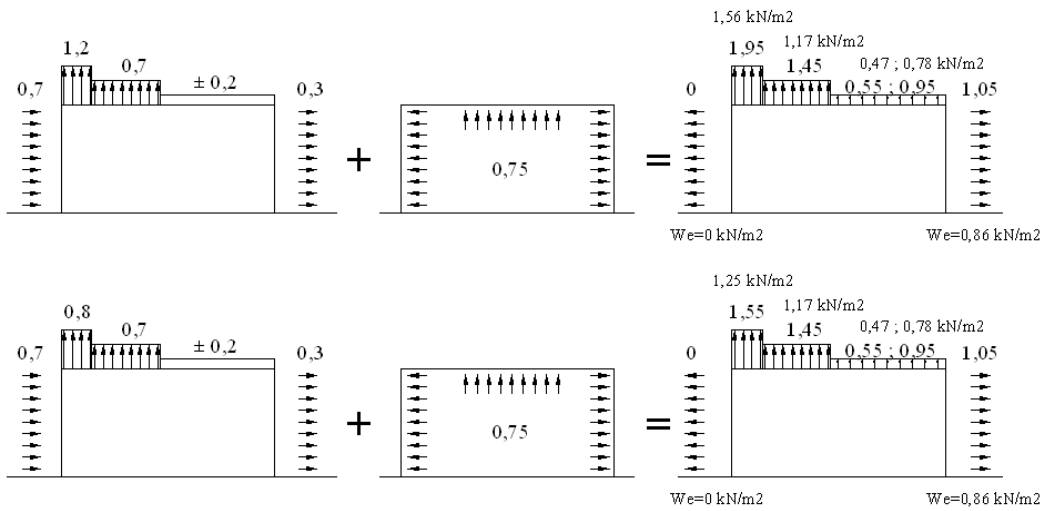
Notranji vplivi

$$W_i = q_p(z_i) \times c_{pi}$$

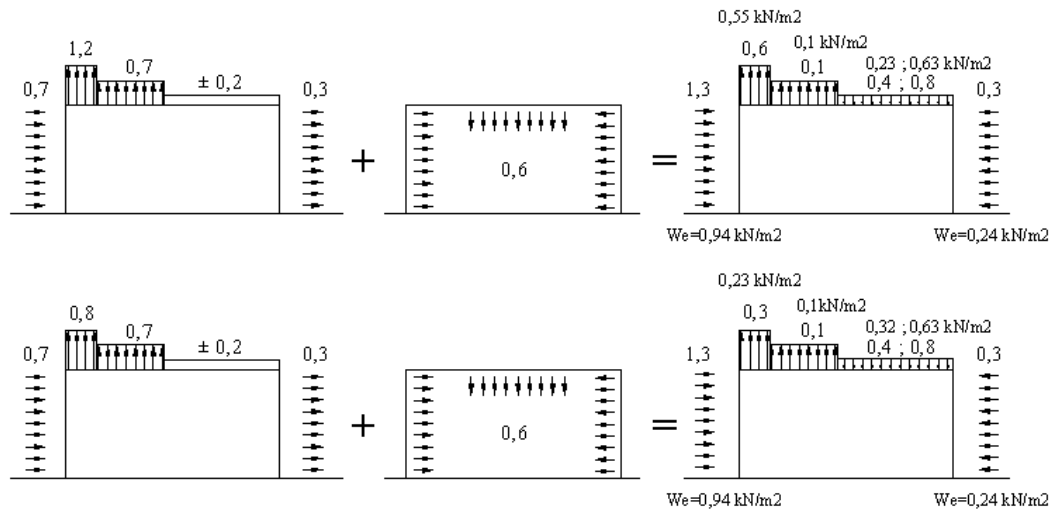
$c_{pi} = 0,75$  pritisk

$c_{pi} = -0,6$  srk

ZUNANJI + NOTRANJI VPLIV ( pritisk )



ZUNANJI + NOTRANJI VPLIV ( srk )



#### 4. OPIS MODELOV KONSTRUKCIJE

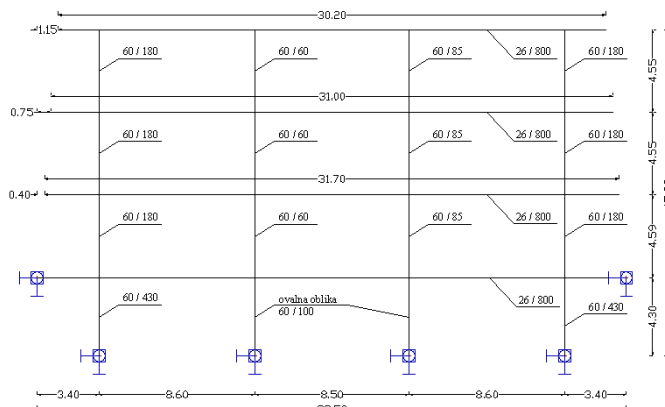
Za primerjalno analizo smo se osredotočili na del konstrukcije v osi 6, ki je prečni okvir, zato imamo več različnih konstrukcijskih zasnov. Notranje vplive (odprtine, nosilne stene stopnišča) zanemarimo, zaradi potrebne natančnosti modelov. Izrezani del konstrukcije objekta zasnujemo kot več posameznih računalniških modelov:

- Ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I.
- Ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi stebri – model II.
- Ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri in obodnimi stenami – model III.
- Ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi stebri in obodnimi stenami – model IV.
- Prostorski model tipičnega okvirja
- Prostorski model celotne konstrukcije

##### 4.1 Ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I.

Okvir ima štiri etaže, klet, pritličje, prvo in drugo nadstropje. Klet ima etažno višino 4.3 m, pritličje 4.59 m ter prvo in drugo nadstropje 4.55 m, kar skupaj znaša 17.99 m. Okvir tvorijo štiri armiranobetonski stebri, v prečni smeri na medsebojni osni razdalji 8.6 m, 8.5 m, 8.6 m. Stebri so v kleti dimenzij 2 x 60 / 430, 2 x ovalna 60 / 100, v pritličju, 1. in 2. nadstropje pa 2 x 60 / 180, 60 / 60 in 60 / 85. Prečke se glede pritličja zamaknejo proti notranjosti in previsne, in sicer prečka nad pritličjem za 0.4 m, prečka nad 1. nadstropjem za 0.75 m, in prečka nad 2. nadstropjem pa za 1.15 m. Tako da prečka nad kletjo meri v dolžino 32.5 m, prečka nad pritličjem 31.7 m, prečka nad 1. nadstropjem 31 m in 2. nadstropjem 30.2 m. Prečke so debeline 26 cm in širine 8 m. Prečka nad kletjo je na obeh robovih, v prečni smeri, vpeta. Stebri so toga vpeta v točkovne temelje (Slika 4.1).

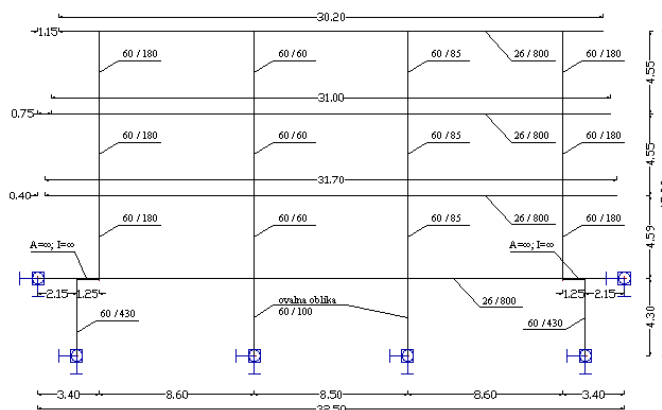




Slika 4.1: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela I.

## 4.2 Ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi obodnimi stebri – model II.

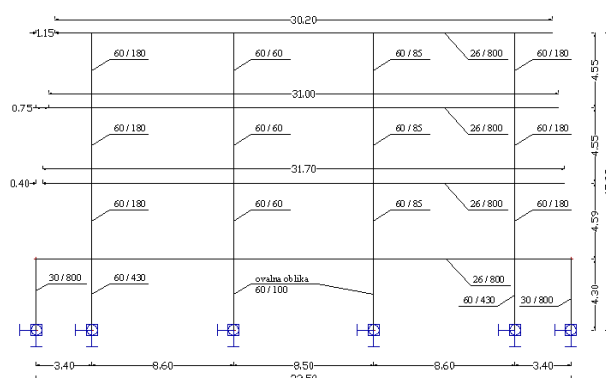
Model je podoben predhodnemu, z razliko, da sta zunanja stebra, dimenzije 60 / 430, pomaknjena proti zunanosti za 1.25 m, oziroma ekscentrično podana glede na os in povezana z togo povezavo (kar pomeni da imata neskončno površino in neskončni vztrajnostni moment) z pritličnim zunanjim stebrom dimenzij 60 / 180 (Slika 4.2).



Slika 4.2: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela II.

### 4.3 Ravnski okvir, model s centrično povezanimi stebri in obodnimi stenami – model III.

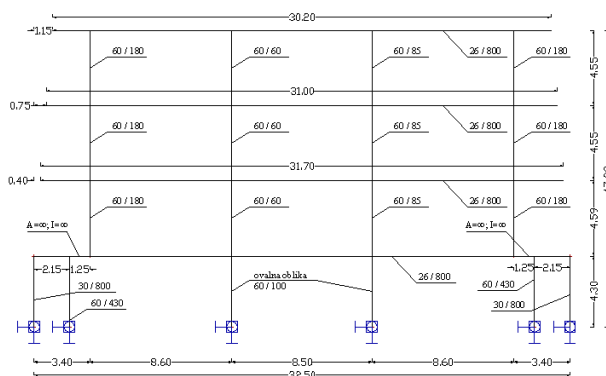
Model je podoben kot pri modelu I., v kletni etaži, na robu prečke nad kletjo, je dodana obodna stena, kot linijski element. Stena je dimenzije 30/800 cm in je togo vpeta (Slika 4.3).



Slika 4.3: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela III.

### 4.4 Ravnski okvir, model z ekscentrično povezanimi obodnimi stebri in obodnimi stenami – model IV.

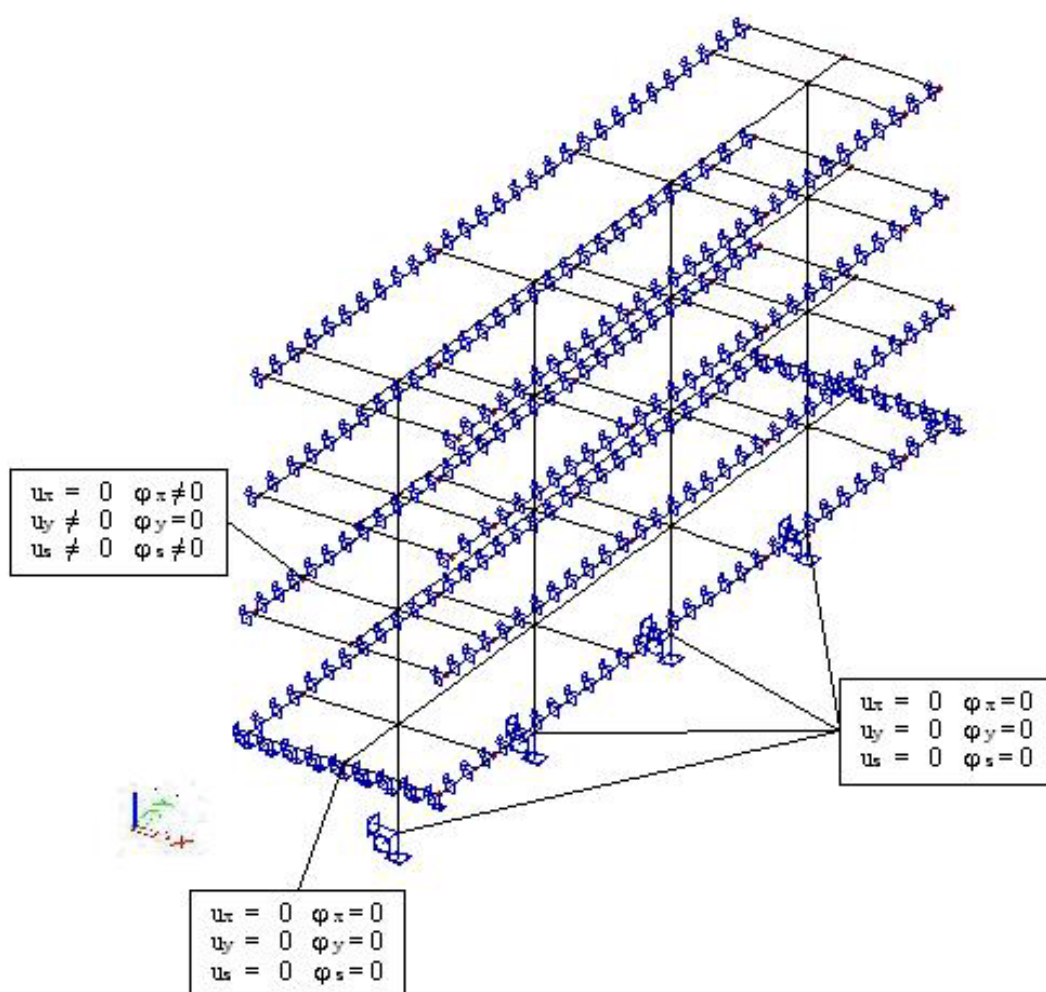
Model je podoben modelu II in III, na robu prečke nad kletjo pa je dodana obodna stena, kot linijski element in kletna zunanja stebra, pomaknjena proti zunanosti, ter togo povezana (Slika 4.4).



Slika 4.4: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela IV.

#### 4.5 Prostorski model tipičnega okvirja

Prečko kot linijski element zamenjamo z ploskovnim elementom, ter dobimo prostorski model tipičnega okvirja. Ploskovni element je na robu, v vzdolžni in prečni smeri, podprt z podporami (Slika 4.5).

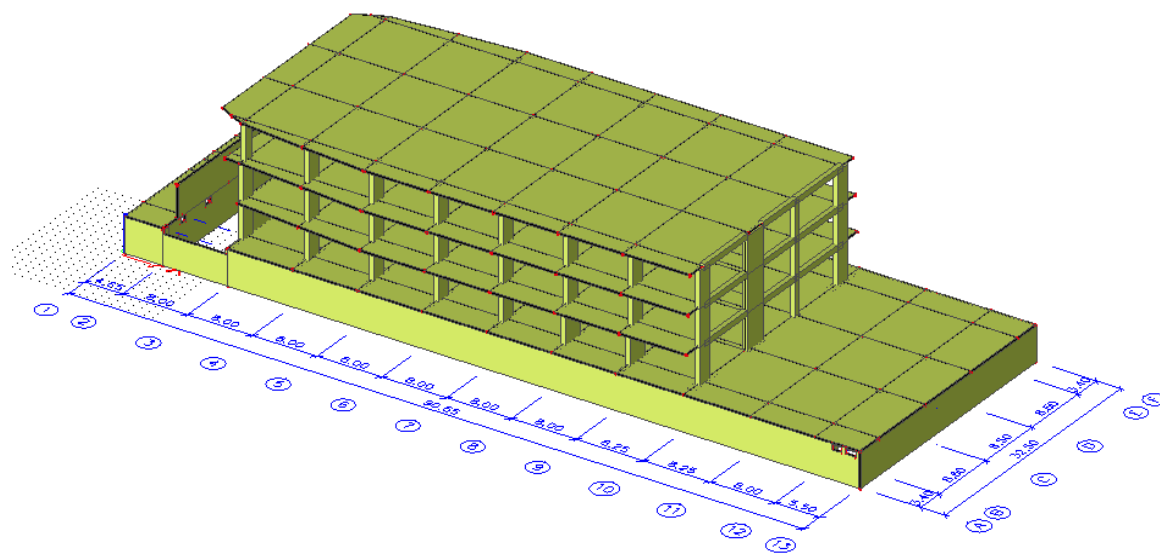


Slika 4.5: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove prostorskega modela tipičnega okvirja

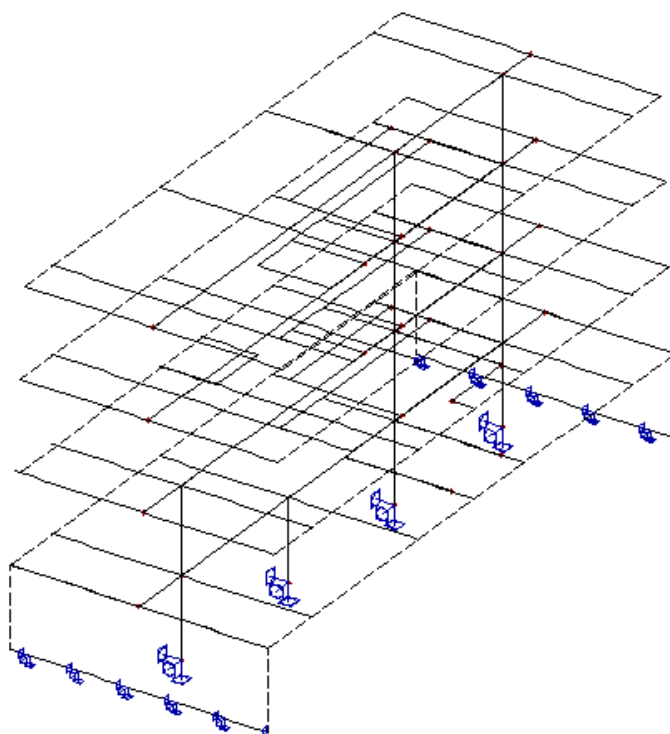
## 4.6 Prostorski model celotne konstrukcije

Raster je sestavljena iz trinajstih osi, v vzdolžni smeri označenih od 1 do 13 in iz šestih osi, v prečni smeri označenih od A do F. Konstrukcijo tvorijo AB stene in okvirji. V kleti, v oseh 1, 2, 3, 13, A in F so AB stene debeline 30 cm (Slika 4.6). V prečni smeri, v osi 3, 4, 5, 6, 7 in 8 so okvirji sestavljeni iz stebrov in plošč sledečih dimenzij:

- V osi 3 v pritličju, 1. in 2. nadstropju so stebri dimenzij: 2 x 60/180 cm in 2 x 60 / 60 cm, s tem da se stebra dimenzij 60/180 cm zamenjata z 60/120 cm.
- V osi 4 in 5 v kleti so stebri dimenzij 2 x 60 / 430 cm, 2 x ovalna stebra 60 / 100 cm, v pritličju, 1. in 2. nadstropju pa stebre dimenzij 2 x 60 / 180 cm, 60 / 60 cm.
- V osi 6 in 7 v kleti so stebri dimenzij 2 x 60 / 430 cm, 2 x ovalna stebra 60 / 100 cm, v pritličju, 1. in 2. nadstropju pa stebre dimenzij 2 x 60 / 180 cm, 60 / 60 cm, 60 / 85 cm.
- V osi 8 v kleti so stebri dimenzij 2 x 60 / 515 cm, 2 x ovalna 60 / 100 cm, v pritličju 2 x 60 / 265 cm in 2 x 60 / 60 cm, v 1. in 2. nadstropju pa 2 x 60 / 180 cm in 2 x 60 / 60 cm.
- Plošče so armiranobetonske, debeline 26 cm



Slika 4.6: Prikaz prostorskega modela celotne konstrukcije

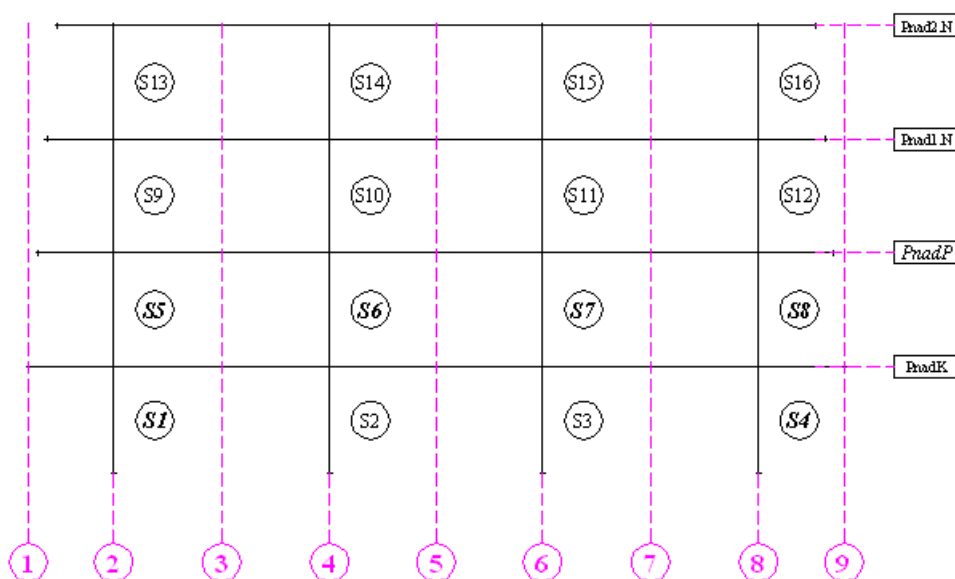


Slika 4.7: Shematski prikaz izseka prostorskega modela celotne konstrukcije

## 5 PRIMERJAVE MODELOV IN PRIMERJAVA REZULTATOV OBEH PROGRAMOV

Notranje sile v računalniških modelih smo izračunali s pomočjo računalniških programov SAP 2000 in ESA PT. Rezultate obeh programov smo primerjali v ustreznih preglednicah. Primerjali smo rezultate v tipični konstrukcijskih elementih. Najprej je podana primerjava rezultatov v plošči nad pritličjem, nato pa še primerjava rezultatov v značilnih stebrih (Slika 5). Primerjali smo rezultate stebrov tipične etaže od S5 do S8 in kletnih stebrov S1 in S4. Poleg primerjave rezultatov programov SAP 2000 in ESA PT je v preglednicah podana tudi primerjava notranjih sil, določenih z različnimi modeli, opisanimi v 4. poglavju.

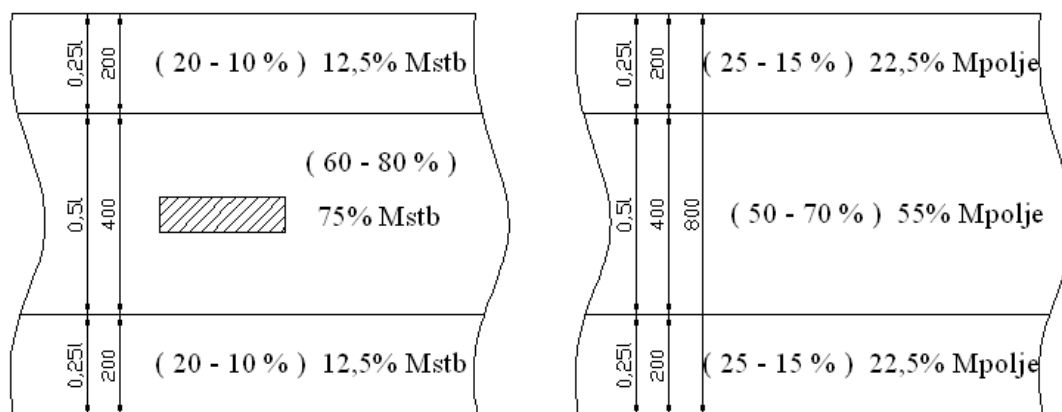
Geometrijski položaj konstrukcijskih elementov je razviden iz slike 5.



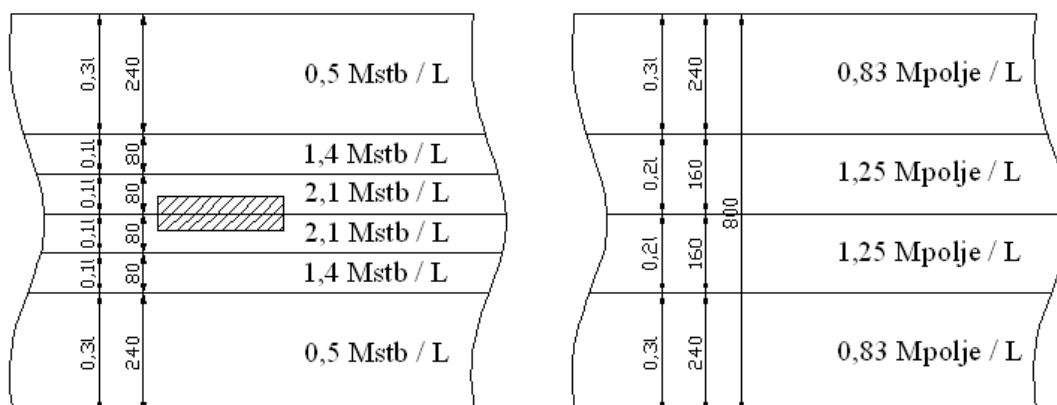
Slika 5: Geometrijski položaj stebrov in plošč



Rezultate, določene z ravninskimi modeli smo primerjali z upogibnimi momenti, določenimi z bolj natančnimi prostorskimi modeli, kjer je plošča bila modelirana s ploskovnimi končnimi elementi. Zaradi te primerjave smo upogibne momente prikazane v preglednici 1 razdelili prečno na ravnino okvira in sicer, v razmerju, ki je določeno v standardu Evrokod 2 (Slika 5.2) in DIN 1045 standardu (Slika 5.3). Pri razdelitvi upogibnih momentov po pasovih dopušča EC2 različne odstotke. V analizi smo upoštevali standardne vrednosti, ki so prikazane na sliki 5.2. Na isti sliki pa je v oklepajih prikazano razpon vrednosti, ki jih dopušča EC2 (Potrebno je omeniti, da smo za EC2 upoštevali standardne procente pri porazdelitvi, ki pa bi jih lahko v prikazanem primeru tudi spremenili.).



Slika 5.2: Porazdelitev upogibnih momentov nad stebrom in v polju po EC2 ( 5.3.2.1 )

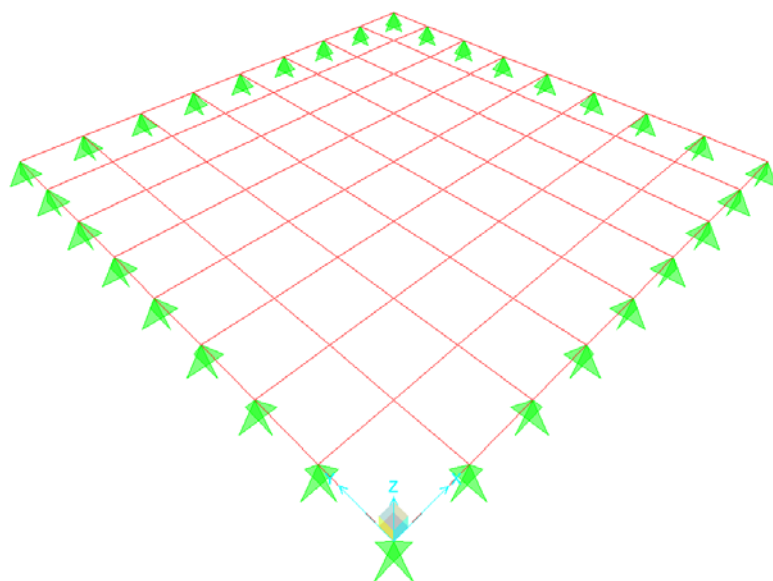


Slika 5.3: Porazdelitev upogibnih momentov nad stebrom in v polju po DIN



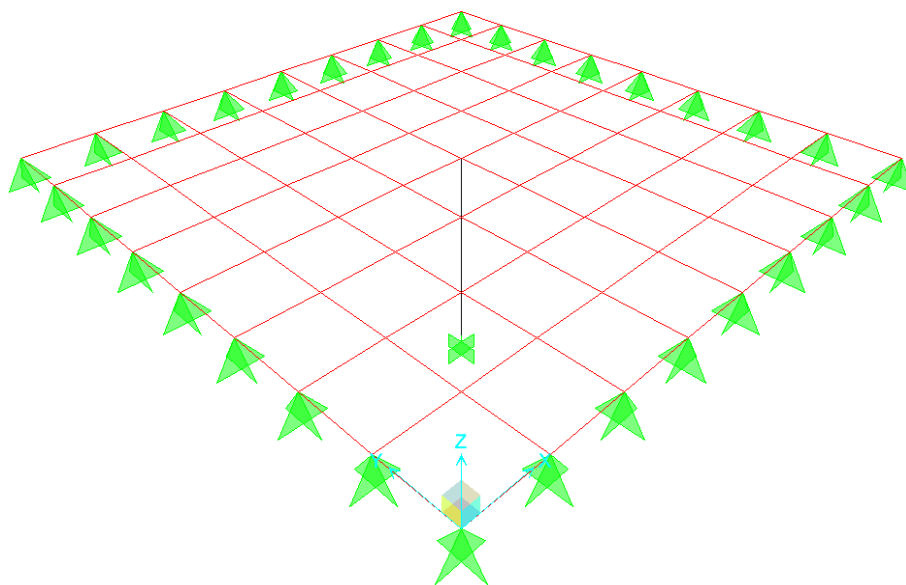
Pri določitvi vplivov v prostorskih modelih smo najprej ugotovili primerno gostoto mreže.. Vpliv gostote mreže na rezultate smo najprej testirali na dveh poenostavljenih konstrukcijah prikazanih na sliki 5.4 in sliki 5.5.

Ploščo, ki je vrtljivo podprta na vseh robovih, dimenzije 8,0 x 8,0 m, smo obremenili z obtežbo  $10 \text{ kN/m}^2$  in modelirali z mrežo končnih elementov velikosti 1 m x 1 m in 0.5 m x 0.5 m (Slika 5.4).



Slika 5.4: Model vrtljivo podprte plošče

Predhodno opisano ploščo smo na sredini točkovno podprli s stebrom. V tem primeru smo upoštevali tri različne gostote mreže in sicer: 1 m x 1 m, 0.5 m x 0.5 m in 0.25 m x 0.25 m (Slika 5.5).



Slika 5.5: Model plošče, na sredini podprto s stebrom

V preglednicah 2 in 3 smo podali upogibne momente iz programa SAP 2000 in ESA PT, za obtežbo  $10 \text{ kN/m}^2$ . Rezultati so podani na sredini plošče (na 4 metrih). Oznake 0 - 8 v preglednicah, pomenijo razdaljo v metrih, na katerih smo odčitali upogibne momente. Oznaka R pa pomeni odčitek upogibnih momentov na robovih stebra.

Preglednica 2: Primer upogibnih momentov za obtežbo  $10 \text{ kN/m}^2$  za vrtljivo podprto ploščo.

	MREŽA 1,0 m				MREŽA 0,5 m			
	SAP - M <sub>x</sub>	ESA - M <sub>x</sub>	SAP - M <sub>y</sub>	ESA - M <sub>y</sub>	SAP - M <sub>x</sub>	ESA - M <sub>x</sub>	SAP - M <sub>y</sub>	ESA - M <sub>y</sub>
0	0	0,05	0	0,68	0	0,04	0	0,18
1	12,57	13,03	15,64	16,45	12,51	12,63	15,51	15,72
2	22	22,77	24,34	25,18	21,86	22,05	24,13	24,34
3	27,81	28,68	28,54	29,42	27,61	27,83	28,31	28,54
4	29,77	30,67	29,77	30,67	29,54	29,77	29,54	29,77
5	27,81	28,68	28,54	29,42	27,61	27,83	28,31	28,54
6	22	22,77	24,34	25,18	21,86	22,05	24,13	24,34
7	12,57	13,03	15,64	16,45	12,51	12,63	15,51	15,72
8	0	0,05	0	0,68	0	0,04	0	0,18

Primerjava rezultatov upogibnih momentov, prikazanih v preglednici 2, pokaže, da med obema računalniškima programoma ni veliko razlik. Tudi rezultati izračunov z različno gostima mrežama so razmeroma podobni.

Preglednica 3: Primer upogibnih momentov za obtežbo  $10 \text{ kN/m}^2$  za ploščo, na sredini podprto s stebrom.

	MREŽA 1,0 m				MREŽA 0,5 m				MREŽA 0,25 m			
	SAP - Mx	ESA - Mx	SAP - My	ESA - My	SAP - Mx	ESA - Mx	SAP - My	ESA - My	SAP - Mx	ESA - Mx	SAP - My	ESA - My
0	0,03	0,20	-0,02	0,50	0,00	0,04	0,00	0,16	0,00	0,01	0,00	0,05
1	2,87	2,90	11,00	11,89	2,64	2,67	10,65	10,87	2,57	2,58	10,55	10,60
2	1,40	0,61	12,78	13,94	0,66	0,61	12,25	12,56	0,50	0,50	12,02	12,10
3	-9,47	-15,50	8,50	0,81	-9,91	-10,90	2,87	3,68	-10,42	-10,51	2,52	2,74
R	-35,90	-29,90	-31,21	-25,00	-40,00	-38,92	-28,00	-28,00	-37,19	-41,32	-19,26	-25,00
4	-47,46	-36,08	-47,42	-36,08	-64,22	-51,91	-64,22	-51,91	-79,88	-67,28	-79,98	-67,28
R	-35,90	-29,90	-31,21	-25,00	-40,00	-38,92	-28,00	-28,00	-37,19	-41,32	-19,26	-25,00
5	-9,47	-15,50	8,50	0,81	-9,91	-10,90	2,87	3,68	-10,42	-10,51	2,52	2,74
6	1,40	0,61	12,78	13,94	0,66	0,61	12,25	12,56	0,50	0,50	12,02	12,10
7	2,87	2,90	11,00	11,89	2,64	2,67	10,65	10,87	2,57	2,58	10,55	10,60
8	0,03	0,20	-0,02	0,50	0,00	0,04	0,00	0,16	0,00	0,01	0,00	0,05

Primerjava rezultatov, prikazanih v preglednici 3 pokaže večje razlike pri različno gostih mrežah končnih elementov.

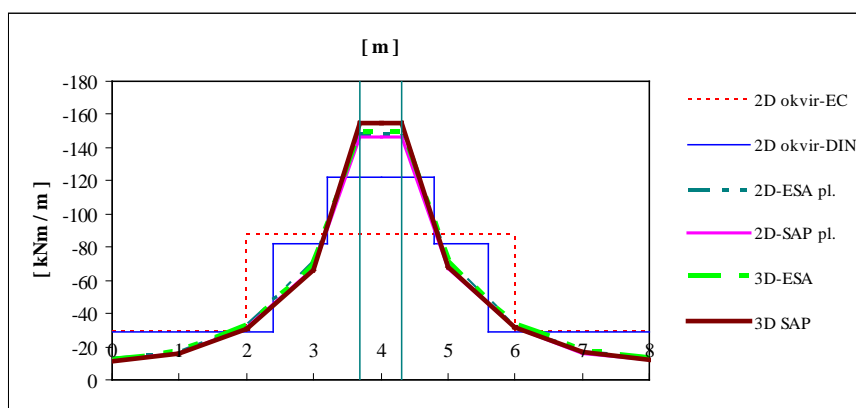
- Glede na to, da steber ima v realnosti določene dimenzije, in da ni strogo gledano točkovna podpora, za primerjavo z drugimi modeli upoštevamo upogibne momente na robovih stebra.
- Med programoma SAP 2000 in ESA PT opazimo razmeroma veliko razliko le nad osjo stebra, ki se razmeroma hitro manjša, ko se oddaljujemo od tega prereza.

Prikazano analizo smo naredili, da bi ocenili kakšno mrežo potrebujemo v prostorskih modelih konstrukcije. Glede na rezultate ugotavljamo, da bi bilo smiselno mrežo v bližini točkovne podpore zgostiti, v ostalih področjih pa uporabiti večje končne elemente. Ker ESA PT ne dopušča poljubne porazdelitve mreže in upošteva praktično enakomerno mrežo, smo za primerjavo to naredili tudi s programom SAP 2000. Za prostorski model celotnega objekta smo tako izbrali mrežo končnega elementa velikosti  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ .

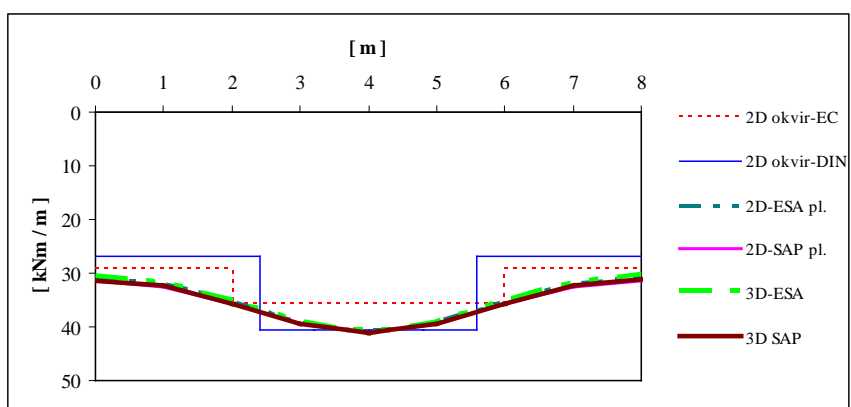
V preglednicah 4 - 11 smo podali upogibne momente, ki smo jih za posamezne vrste obtežb, določili z različnimi modeli konstrukcije. Rezultati so podani na širini plošče 8 m (širina tipičnega polja), katere smo odčitali na enem metru, v prečni smeri (razen razdalje od 3.7 do 4.3 m, kjer smo odčitali rezultate upogibnih momentov na robovih stebra). Oznake 2D – EC in 2D – DIN v preglednicah, so rezultati upogibnih momentov iz ravninskega okvirja, model s centrično povezanim stebrom, računalniškega programa SAP 2000 (glej poglavje 4.1), ki so porazdeljeni v skladu s standardom EC2 in standardom DIN 1045 (glej razlago tega poglavja). Oznake 2D – ESA pl. in 2D SAP pl., pa so izpisi iz prostorskega modela tipičnega okvirja (glej poglavje 4.5). Oznake 3D – ESA in 3D – SAP pa izpisi iz prostorskega modela celotne konstrukcije (glej poglavje 4.6). Številčne oznake, od 2 do 8, v omenjenih preglednicah pomenijo osi posameznih prerezov (osi 1 in 9 nismo podajali, ker sta previsa, glej sliko 5.1) Številčne oznake, od 0 do 8, pomenijo razdaljo v metrih, na katerih smo odčitali upogibne momente, ter črkovni oznaki L in D pa pomenita skok upogibnih momentov po standardu EC2. Iz preglednic pa smo upogibne momente, nad stebrom in v poljih, podali v diagrame (od Slike 5.6 do Slike 5.21).

Preglednica 4: Upogibni momenti plošče nad pritličjem, lastne teže in stalne obtežbe

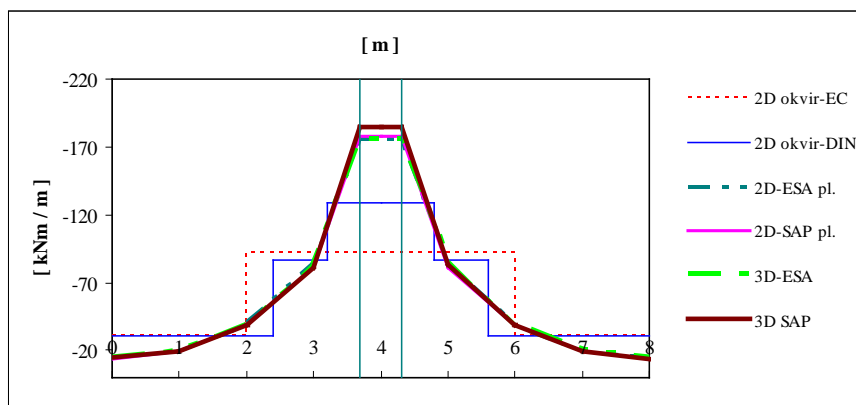
OS	[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
				L	D						L	D			
2	2D - EC	-29,2	-29,2	-29,2	-87,5	-87,5	-87,5	-87,5	-87,5	-87,5	-87,5	-29,2	-29,2	-29,2	467
	2D - DIN	-29,2	-29,2	-81,6	-81,6	-122	-122	-122	-122	-122	-81,6	-81,6	-29,2	-29,2	467
	2D - ESA pl.	-13,1	-17,2	-33,0	-33,0	-71,1	-149	-149	-149	-71,1	-33,0	-33,0	-17,2	-13,1	404
	2D - SAP pl.	-11,7	-16,2	-31,7	-31,7	-67,6	-146	-146	-146	-67,6	-31,7	-31,7	-16,2	-11,7	389
	3D - ESA	-12,1	-16,7	-32,4	-32,4	-70,1	-149	-149	-149	-71,9	-33,3	-33,3	-17,3	-12,6	403
	3D - SAP	-11,4	-15,7	-31,2	-31,2	-66,4	-155	-155	-155	-67,9	-32,1	-32,1	-16,5	-11,8	396
3	2D - EC	29,2	29,2	29,2	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	29,2	29,2	29,2	260
	2D - DIN	26,9	26,9	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	26,9	26,9	259	
	2D - ESA pl.	30,8	31,7	35,0	35,0	39,1	40,5	40,6	40,5	39,1	35,0	35,0	31,7	30,8	283
	2D - SAP pl.	31,3	32,5	35,8	35,8	39,5	40,7	41,2	40,7	39,5	35,8	35,8	32,5	31,3	288
	3D - ESA	30,7	31,8	35,1	35,1	39,1	40,5	40,6	40,5	39,1	35,1	35,1	31,7	30,4	283
	3D - SAP	31,3	32,4	35,7	35,7	39,3	40,5	41,0	40,5	39,4	35,7	35,7	32,3	31,0	287
4	2D - EC	-30,8	-30,8	-30,8	-92,4	-92,4	-92,4	-92,4	-92,4	-92,4	-92,4	-30,8	-30,8	-30,8	493
	2D - DIN	-30,8	-30,8	-86,2	-86,2	-129	-129	-129	-129	-129	-86,2	-86,2	-30,8	-30,8	493
	2D - ESA pl.	-14,8	-19,8	-38,9	-41,1	-84,2	-176	-176	-176	-84,2	-38,9	-38,9	-19,8	-14,8	479
	2D - SAP pl.	-14,0	-19,5	-38,4	-38,4	-81,5	-178	-178	-178	-81,5	-38,4	-38,4	-19,5	-14,0	471
	3D - ESA	-14,6	-19,9	-38,7	-38,7	-83,4	-176	-176	-176	-85,1	-39,2	-39,2	-20,0	-14,4	477
	3D - SAP	-14,5	-19,6	-38,2	-38,2	-81,2	-185	-185	-185	-82,7	-38,8	-38,8	-19,7	-14,1	480
5	2D - EC	28,7	28,7	28,7	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	28,7	28,7	28,7	255
	2D - DIN	26,5	26,5	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	26,5	26,5	254	
	2D - ESA pl.	26,5	27,5	31,0	31,0	35,3	36,8	36,9	36,8	35,3	31,0	31,0	27,5	26,5	251
	2D - SAP pl.	26,1	27,4	30,9	30,9	34,9	35,6	36,6	35,6	34,9	30,9	30,9	27,4	26,1	249
	3D - ESA	26,1	27,5	31,0	31,0	35,2	36,7	36,8	36,7	35,3	31,1	31,1	27,5	26,2	251
	3D - SAP	25,9	27,1	30,5	30,5	34,6	35,9	36,4	35,9	34,7	30,8	30,8	27,3	26,0	247
6	2D - EC	-31,7	-31,7	-31,7	-95,0	-95,0	-95,0	-95,0	-95,0	-95,0	-95,0	-31,7	-31,7	-31,7	507
	2D - DIN	-31,7	-31,7	-88,6	-88,6	-133	-133	-133	-133	-133	-88,6	-88,6	-31,7	-31,7	507
	2D - ESA pl.	-15,7	-20,7	-39,9	-39,9	-85,5	-178	-178	-178	-85,5	-39,9	-39,9	-20,7	-15,7	486
	2D - SAP pl.	-14,9	-20,4	-39,4	-39,4	-82,8	-180	-180	-180	-82,8	-39,4	-39,4	-20,4	-14,9	480
	3D - ESA	-15,9	-22,1	-42,0	-42,0	-88,0	-180	-180	-180	-86,8	-40,3	-40,3	-20,8	-14,9	495
	3D - SAP	-15,1	-20,4	-39,3	-39,3	-82,5	-190	-190	-190	-83,9	-39,3	-39,3	-20,6	-14,7	491
7	2D - EC	29,2	29,2	29,2	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	35,7	29,2	29,2	29,2	260
	2D - DIN	27,0	27,0	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	27,0	27,0	259	
	2D - ESA pl.	30,5	31,4	34,8	34,8	38,8	40,3	40,3	40,3	38,8	34,8	34,8	31,4	30,5	281
	2D - SAP pl.	31,0	32,2	35,5	35,5	39,2	39,9	40,9	39,9	39,2	35,5	35,5	32,2	31,0	286
	3D - ESA	30,8	31,9	35,2	35,2	39,1	40,4	40,5	40,4	39,0	34,9	34,9	31,6	30,3	283
	3D - SAP	31,7	32,8	36,0	36,0	39,8	41,0	41,5	41,0	39,8	36,0	36,0	32,7	31,4	290
8	2D - EC	-28,9	-28,9	-28,9	-86,8	-86,8	-86,8	-86,8	-86,8	-86,8	-86,8	-28,9	-28,9	-28,9	463
	2D - DIN	-28,9	-28,9	-81,0	-81,0	-122	-122	-122	-122	-122	-81,0	-81,0	-28,9	-28,9	463
	2D - ESA pl.	-12,9	-17,1	-32,8	-32,8	-70,8	-148	-148	-148	-70,8	-32,8	-32,8	-17,1	-12,9	402
	2D - SAP pl.	-11,5	-16,1	-31,6	-31,6	-67,3	-149	-149	-149	-67,3	-31,6	-31,6	-16,1	-11,5	391
	3D - ESA	-12,6	-17,7	-34,0	-34,0	-72,1	-149	-149	-149	-71,5	-33,1	-33,1	-17,2	-12,5	407
	3D - SAP	-11,0	-15,4	-30,7	-30,7	-65,3	-148	-148	-148	-66,9	-31,7	-31,7	-16,1	-11,5	385



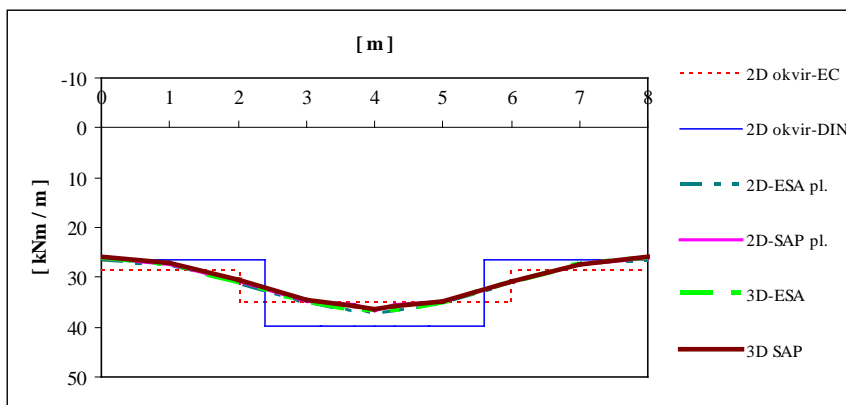
Slika 5.6: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2



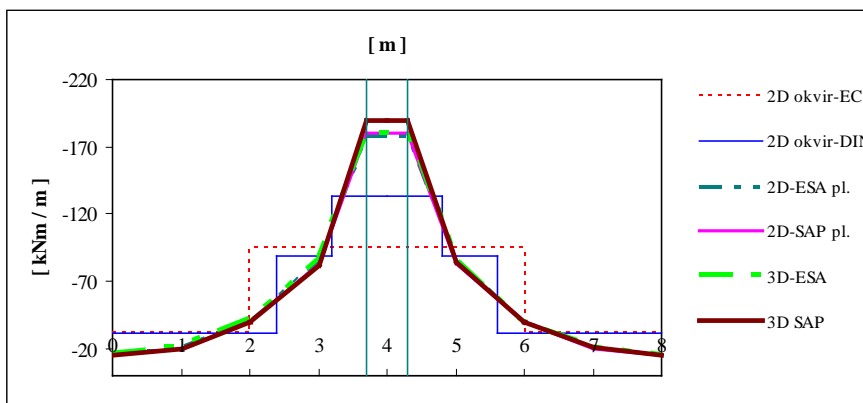
Slika 5.7: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 3



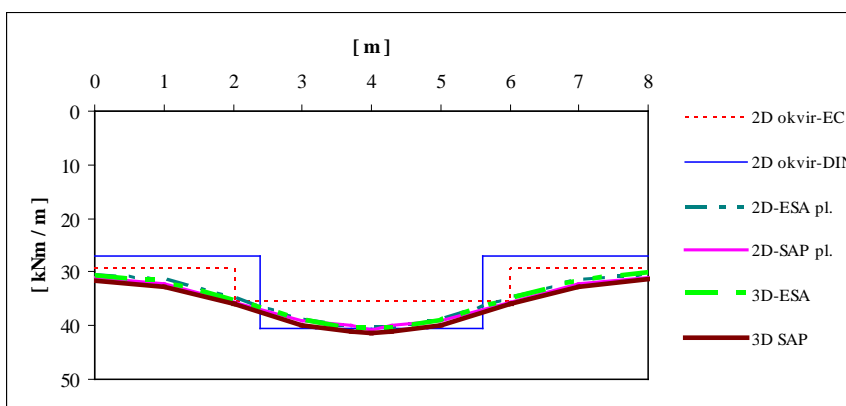
Slika 5.8: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 4



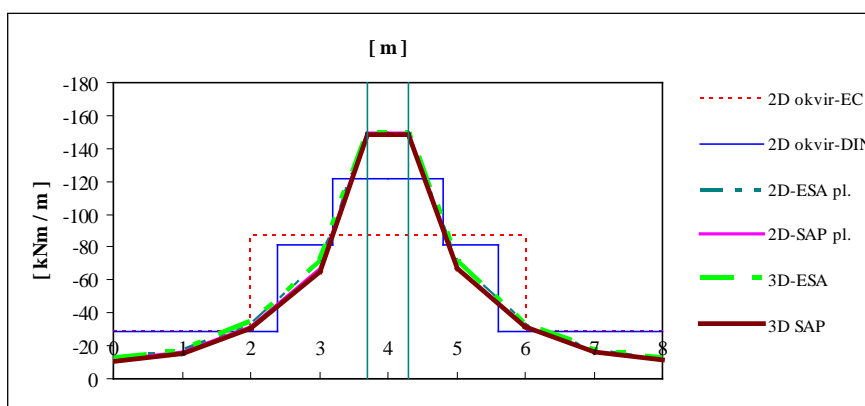
Slika 5.9: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 5



Slika 5.10: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 6



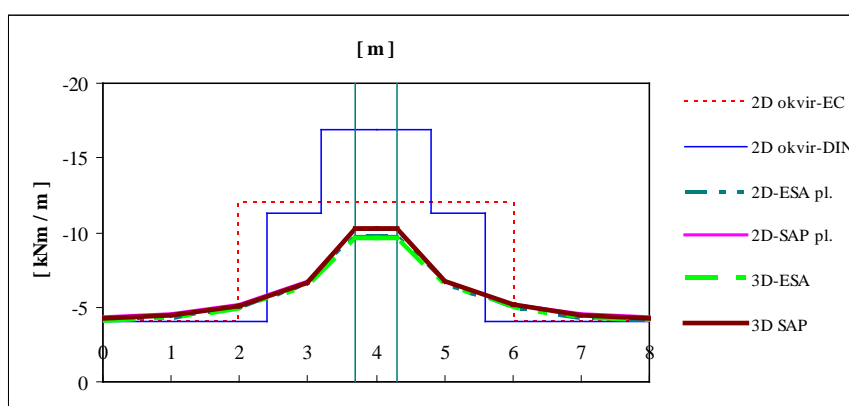
Slika 5.11: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 7



Slika 5.12: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8

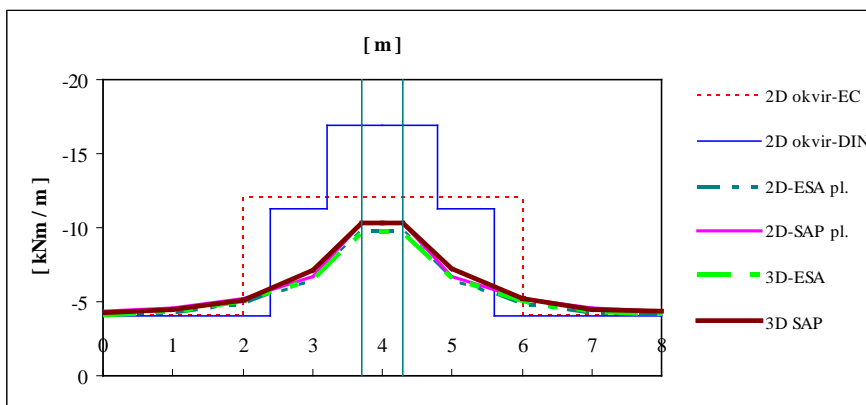
Preglednica 5: Upogibni momenti plošče nad pritličjem obtežbe fasade

OS	[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
				L	D						L	D			
2	2D - EC	-4,02	-4,02	-4,02	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-4,02	-4,02	-4,02	64
	2D - DIN	-4,02	-4,02	-11,3	-11,3	-16,9	-16,9	-16,9	-16,9	-16,9	-11,3	-11,3	-4,02	-4,02	64
	2D - ESA pl.	-4,12	-4,29	-4,93	-4,93	-6,50	-9,75	-9,75	-9,75	-6,50	-4,93	-4,93	-4,29	-4,12	45
	2D - SAP pl.	-4,36	-4,54	-5,19	-5,19	-6,74	-10,3	-10,3	-10,3	-6,74	-5,19	-5,19	-4,54	-4,36	48
	3D - ESA	-4,04	-4,23	-4,88	-4,88	-6,43	-9,64	-9,64	-9,64	-6,55	-4,95	-4,95	-4,29	-4,10	45
	3D - SAP	-4,21	-4,42	-5,08	-5,08	-6,68	-10,3	-10,3	-10,3	-6,76	-5,14	-5,14	-4,47	-4,28	47
8	2D - EC	-4,02	-4,02	-4,02	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-4,02	-4,02	-4,02	64
	2D - DIN	-4,02	-4,02	-11,3	-11,3	-16,9	-16,9	-16,9	-16,9	-16,9	-11,3	-11,3	-4,02	-4,02	64
	2D - ESA pl.	-4,12	-4,29	-4,93	-4,93	-6,50	-9,76	-9,76	-9,76	-6,50	-4,93	-4,93	-4,29	-4,12	45
	2D - SAP pl.	-4,35	-4,54	-5,19	-5,19	-6,75	-10,3	-10,3	-10,3	-6,75	-5,19	-5,19	-4,54	-4,35	48
	3D - ESA	-4,06	-4,28	-4,96	-4,96	-6,54	-9,72	-9,72	-9,72	-6,56	-4,95	-4,95	-4,29	-4,10	45
	3D - SAP	-4,25	-4,46	-5,15	-5,15	-7,14	-10,3	-10,3	-10,3	-7,23	-5,20	-5,20	-4,52	-4,32	48



Slika 5.13: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2

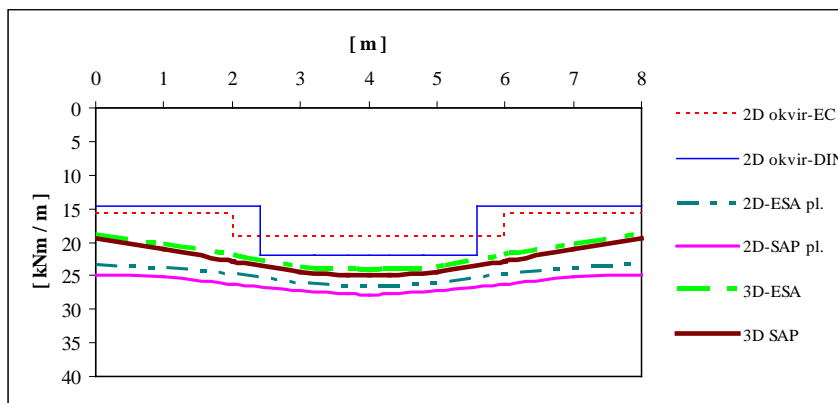




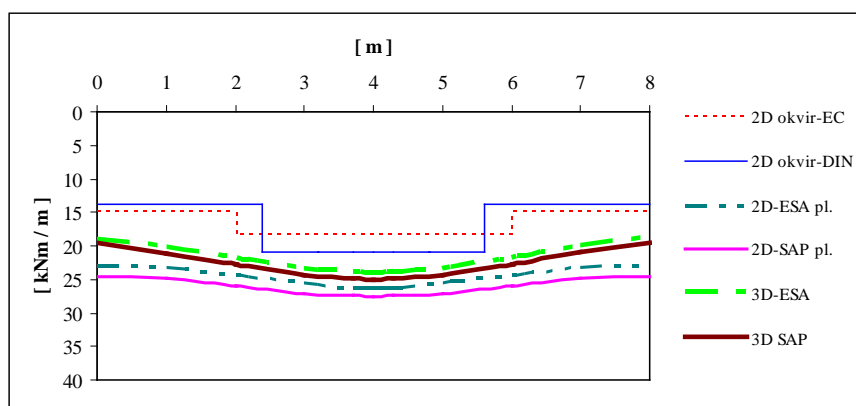
Slika 5.14: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8

Preglednica 6: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q

OS	[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
				L	D						L	D			
3	2D - EC	15,8	15,8	15,8	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	19,3	15,8	15,8	15,8	140
	2D - DIN	14,6	14,6	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	21,9	14,6	14,6	140
	2D - ESA pl.	23,4	23,7	24,7	24,7	26,0	26,5	26,5	26,5	26,0	24,7	24,7	23,7	23,4	198
	2D - SAP pl.	24,8	25,2	26,2	26,2	27,3	27,7	27,9	27,7	27,3	26,2	26,2	25,2	24,8	210
	3D - ESA	18,9	20,3	22,0	22,0	23,7	24,1	24,3	24,1	23,7	22,0	22,0	20,3	18,8	175
	3D - SAP	19,4	21,1	22,8	22,8	24,4	24,8	25,0	24,8	24,4	22,8	22,8	21,0	19,4	181
7	2D - EC	15,0	15,0	15,0	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	15,0	15,0	15,0	134
	2D - DIN	13,9	13,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9	13,9	13,9	133
	2D - ESA pl.	23,1	23,3	24,3	24,3	25,6	26,1	26,1	26,1	25,6	24,3	24,3	23,3	23,1	196
	2D - SAP pl.	24,6	24,9	25,9	25,9	27,1	27,5	27,6	27,5	27,1	25,9	25,9	24,9	24,6	208
	3D - ESA	19,0	20,3	21,9	21,9	23,5	23,9	24,1	23,9	23,5	21,8	21,8	20,1	18,7	174
	3D - SAP	19,5	21,1	22,8	22,8	24,4	24,9	25,1	24,9	24,4	22,8	22,8	21,0	19,5	181



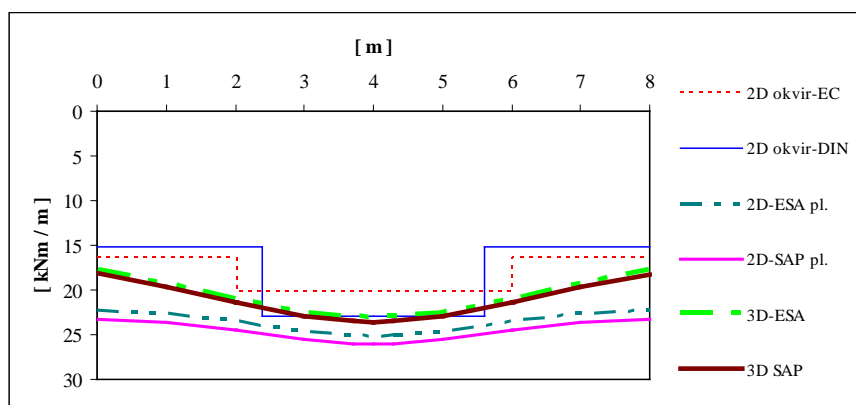
Slika 5.15: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 3



Slika 5.16: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 7

Preglednica 7: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q1

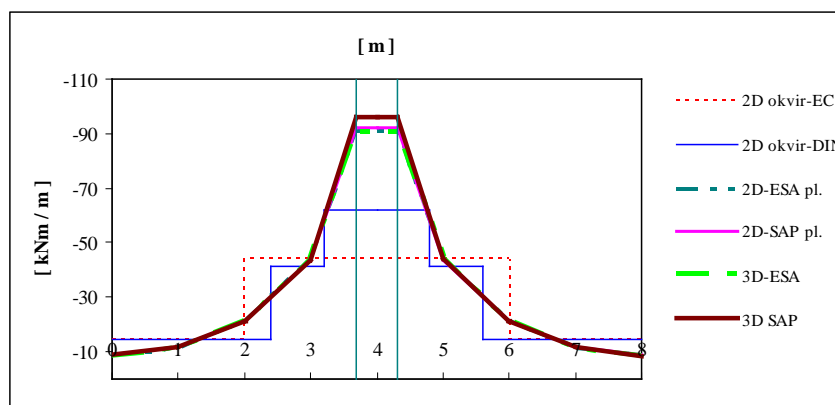
OS	[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
				L	D						L	D			
5	2D - EC	16,5	16,5	16,5	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	16,5	16,5	16,5	146
	2D - DIN	15,2	15,2	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	15,2	15,2	146
	2D - ESA pl.	22,3	22,5	23,5	23,5	24,7	25,0	25,2	25,0	24,7	23,5	23,5	22,5	22,3	189
	2D - SAP pl.	23,2	23,6	24,5	24,5	25,6	26,0	26,1	26,0	25,6	24,5	24,5	23,6	23,2	197
	3D - ESA	17,8	19,4	21,0	21,0	22,6	23,0	23,2	23,0	22,6	21,0	21,0	19,3	17,8	167
	3D - SAP	18,1	19,7	21,4	21,4	22,9	23,4	23,6	23,4	22,9	21,4	21,4	19,7	18,2	170



Slika 5.17: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 5

Preglednica 8: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q2

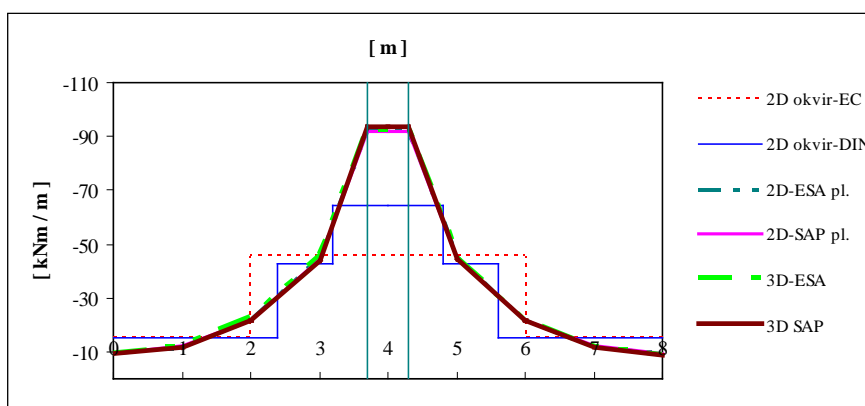
		[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
OS					L	D						L	D			
4	2D - EC	-14,7	-14,7	-14,7	-44,2	-44,2	-44,2	-44,2	-44,2	-44,2	-44,2	-44,2	-14,7	-14,7	-14,7	236
	2D - DIN	-14,7	-14,7	-41,2	-41,2	-61,8	-61,8	-61,8	-61,8	-61,8	-61,8	-41,2	-41,2	-14,7	-14,7	236
	2D - ESA pl.	-8,73	-11,3	-21,1	-21,1	-44,2	-90,9	-90,9	-90,9	-44,2	-21,1	-21,1	-11,3	-8,73	253	
	2D - SAP pl.	-8,73	-11,6	-21,4	-21,4	-43,6	-92,3	-92,3	-92,3	-43,6	-21,4	-21,4	-11,6	-8,73	254	
	3D - ESA	-8,55	-11,4	-21,0	-21,0	-44,0	-90,6	-90,6	-90,6	-44,4	-21,2	-21,2	-11,4	-8,51	252	
	3D - SAP	-8,82	-11,5	-21,3	-21,3	-43,6	-96,2	-96,2	-96,2	-43,9	-21,4	-21,4	-11,6	-8,65	258	



Slika 5.18: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 4

Preglednica 9: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q3

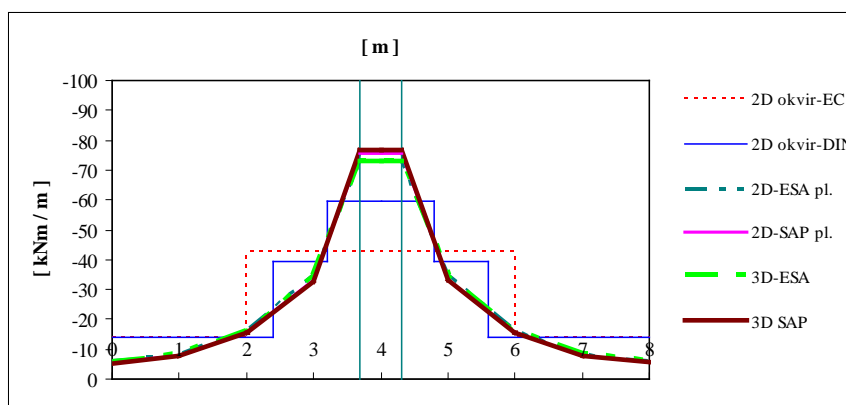
		[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
OS					L	D						L	D			
6	2D - EC	-15,3	-15,3	-15,3	-45,9	-45,9	-45,9	-45,9	-45,9	-45,9	-45,9	-45,9	-15,3	-15,3	-15,3	245
	2D - DIN	-15,3	-15,3	-42,8	-42,8	-64,3	-64,3	-64,3	-64,3	-64,3	-64,3	-42,8	-42,8	-15,3	-15,3	245
	2D - ESA pl.	-9,11	-11,7	-21,5	-21,5	-44,8	-91,7	-91,7	-91,7	-44,8	-21,5	-21,5	-11,7	-9,11	257	
	2D - SAP pl.	-9,07	-12,0	-21,8	-21,8	-44,2	-92,0	-92,0	-92,0	-44,2	-21,8	-21,8	-12,0	-9,07	257	
	3D - ESA	-9,16	-12,4	-22,6	-22,6	-46,2	-92,6	-92,6	-92,6	-45,1	-21,6	-21,6	-11,7	-8,70	261	
	3D - SAP	-9,09	-11,9	-21,7	-21,7	-44,0	-93,4	-93,4	-93,4	-44,4	-21,9	-21,9	-11,9	-8,92	258	



Slika 5.19: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 6

Preglednica 10: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q4

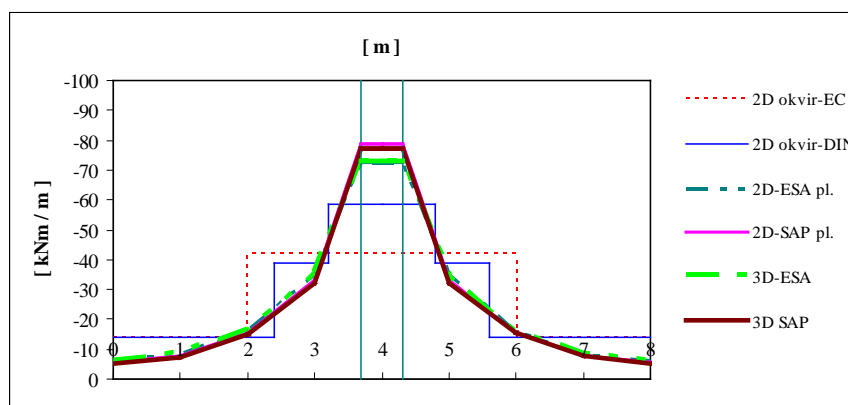
OS	[m]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
				L	D						L	D			
2	2D - EC	-14,2	-14,2	-14,2	-42,5	-42,5	-42,5	-42,5	-42,5	-42,5	-42,5	-14,2	-14,2	-14,2	226
	2D - DIN	-14,2	-14,2	-39,6	-39,6	-59,4	-59,4	-59,4	-59,4	-59,4	-39,6	-39,6	-14,2	-14,2	226
	2D - ESA pl.	-6,27	-8,32	-16,1	-16,1	-34,8	-72,8	-72,8	-72,8	-34,8	-16,1	-16,1	-8,32	-6,27	197
	2D - SAP pl.	-5,53	-7,78	-15,4	-15,4	-33,1	-75,7	-75,7	-75,7	-33,1	-15,4	-15,4	-7,78	-5,53	194
	3D - ESA	-5,77	-8,10	-15,9	-15,9	-34,6	-72,9	-72,9	-72,9	-34,9	-16,1	-16,1	-8,31	-6,04	197
	3D - SAP	-5,42	-7,61	-15,3	-15,3	-32,8	-76,5	-76,5	-76,5	-33,0	-15,5	-15,5	-7,86	-5,62	194



Slika 5.20: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2

Preglednica 11: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q5

		[ m ]	0	1	2	2	3	3,7	4	4,3	5	6	6	7	8	A
OS					L	D						L	D			
2	2D - EC		-14,0	-14,0	-14,0	-41,8	-41,8	-41,8	-41,8	-41,8	-41,8	-41,8	-14,0	-14,0	-14,0	223
	2D - DIN		-14,0	-14,0	-39,1	-39,1	-58,5	-58,5	-58,5	-58,5	-58,5	-39,1	-39,1	-14,0	-14,0	223
	2D - ESA pl.		-6,23	-8,28	-16,0	-16,0	-34,7	-72,6	-72,6	-72,6	-34,7	-16,0	-16,0	-8,28	-6,23	197
	2D - SAP pl.		-5,50	-7,74	-15,4	-15,4	-33,0	-78,5	-78,5	-78,5	-33,0	-15,4	-15,4	-7,74	-5,50	196
	3D - ESA		-6,03	-8,61	-16,7	-16,7	-35,7	-73,2	-73,2	-73,2	-34,7	-16,0	-16,0	-8,24	-5,98	199
	3D - SAP		-5,27	-7,44	-15,1	-15,1	-32,1	-77,0	-77,0	-77,0	-32,2	-15,3	-15,3	-7,74	-5,42	192



Slika 5.21: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8

Iz priloženih diagramov je razvidno, da se upogibni momenti v poljih bistveno ne razlikujejo. Pri upogibnih momentih, nad stebrom iz prostorskih zasnov, ne upoštevamo » vrhne upogibne momente v oseh 2, 4, 6 in 8. Navedene vrhne upogibne momente odrežemo, od stičišča vplivne širine stebra (širine 60 cm in je na grafih označeno z dvema navpičnima črtama) in krivulje upogibnih momentov. Ugotovimo, da so med upogibnimi momenti po EC2 in upogibnih momentov, izračunanih s prostorskimi modeli, prevelika odstopanja. Glede na to, se odločimo, da bomo porazdelili upogibne momente še po standardu DIN 1045 (Slika 5.3), ki upošteva podrobno porazdelitev od tiste podane v EC2 (Potrebno je omeniti, da smo za EC2 upoštevali standardne procenete pri porazdelitvi, ki pa bi jih lahko v prikazanem primeru tudi spremenili.). V obravnavanem primeru se izkaže, da se porazdelitev upogibnih momentov v skladu z DIN 1045 bolje ujema z rezultati prostorskih modelov.

Za kombinacije upogibnih momentov smo upoštevali ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I. iz programa SAP 2000. Porazdelitev upogibnih momentov smo upoštevali po DIN 1045 standardu. Osne sile smo zanemarili, ker so v plošči vrednosti minimalne. Kombinacije so bile izpisane tako, da dobimo maksimalne upogibne momente nad stebrom in v polju.

$$\text{OS 2 : } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q4$$

območje	3.2 m – 4.0 m	2.4 m – 3.2 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	-308	-205	-73,4

$$\text{OS 3: } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q$$

območje	2.4 m – 4.0 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	87,7	58,2

$$\text{OS 4 : } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q2$$

območje	3.2 m – 4.0 m	2.4 m – 3.2 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	-270	-180	-64,3

$$\text{OS 5: } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q1$$

območje	2.4 m – 4.0 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	88,1	58,6

$$\text{OS 6 : } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q3$$

območje	3.2 m – 4.0 m	2.4 m – 3.2 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	-280	-186	-66,6

$$\text{OS 7: } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q$$

območje	2.4 m – 4.0 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	86,2	57,3

$$\text{OS 8 : } 1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q5$$

območje	3.2 m – 4.0 m	2.4 m – 3.2 m	0 m – 2.4 m
M [ kNm ]	-304	-203	-72,6

### 5.3 Steber

V preglednicah 12 – 21 so podane primerjave notranjih sil v stebrih tipične etaže ( S5 - S8, glej sliko 5), in v stebrih kletne etaže S1 - S4. Upoštevane so vse obtežbe, ki so v poglavju 3.2. Zanimala nas je razlika med posameznimi modeli konstrukcije, kot tudi razlika rezultatov obeh programov.

V vseh preglednicah imajo uporabljene oznake naslednji pomen :

- »CENTRIČNO « - ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I. (glej poglavje 4.1)
- »TOGE POVEZAVE« - ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi stebri – model II (glej poglavje 4.2).
- »CENT. - STEN « - ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri in obodnimi stenami– model III (glej poglavje 4.3).
- »TOG.POV. – STENA«. - ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi stebri in obodnimi stenami– model IV (glej poglavje 4.4).
- »CENTRIČNO SAP pl. in ESA pl.« - prostorski model tipičnega okvirja (glej poglavje 4.5).
- »CENTRIČNO SAP 3D in ESA 3D« - prostorski model celotne konstrukcije (glej poglavje 4.6).

Oznaki SPODAJ IN ZGORAJ pomenita notranje sile v stebru na dnu in vrhu etaže.

Preglednica 12: Notranje sile stebrov lastne teže in stalne obtežbe

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-1753	-1753	-1750	-1750	-1753	-1753	-1750	-1750	-1695	-1704	-1699	-1706
	ZGORAJ	-1753	-1753	-1750	-1750	-1753	-1753	-1750	-1750	-1695	-1704	-1699	-1706
6	SPODAJ	-2090	-2090	-2109	-2108	-2090	-2090	-2109	-2108	-2150	-2141	-2146	-2140
	ZGORAJ	-2090	-2090	-2109	-2108	-2090	-2090	-2109	-2108	-2150	-2141	-2146	-2140
7	SPODAJ	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2168	-2159	-2186	-2176
	ZGORAJ	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2114	-2168	-2159	-2186	-2176
8	SPODAJ	-1746	-1746	-1729	-1729	-1746	-1746	-1730	-1730	-1689	-1697	-1690	-1698
	ZGORAJ	-1746	-1746	-1729	-1729	-1746	-1746	-1730	-1730	-1689	-1697	-1690	-1698
V [ kN ]													
5	SPODAJ	-32,9	-32,9	-87,9	-88,1	-35,6	-35,6	-113	-114	-13,8	-16,7	-16,8	-19,4
	ZGORAJ	-32,9	-32,9	-87,9	-88,1	-35,6	-35,6	-113	-114	-13,8	-16,7	-16,8	-19,4
6	SPODAJ	-1,75	-1,75	-1,40	-1,40	-1,80	-1,80	-1,80	-1,90	-2,00	-1,88	-2,01	-1,82
	ZGORAJ	-1,75	-1,75	-1,40	-1,40	-1,80	-1,80	-1,80	-1,90	-2,00	-1,88	-2,01	-1,82
7	SPODAJ	2,90	2,90	2,07	2,08	3,00	3,00	3,02	3,05	-2,74	-2,62	-1,58	-2,41
	ZGORAJ	2,90	2,90	2,07	2,08	3,00	3,00	3,02	3,05	-2,74	-2,62	-1,58	-2,41
8	SPODAJ	31,7	31,8	111	112	34,3	34,4	136	137	14,6	17,5	20,0	22,6
	ZGORAJ	31,7	31,8	111	112	34,3	34,4	136	137	14,6	17,5	20,0	22,6
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	-76,0	-76,2	-310	-310	-84,5	-85,0	-397	-399	-23,7	-30,2	-40,4	-45,9
	ZGORAJ	75,0	74,9	93,2	93,9	78,6	78,7	123	125	39,7	46,5	36,6	43,3
6	SPODAJ	-3,15	-3,14	-1,84	-1,86	-3,33	-3,32	-3,26	-3,30	5,41	5,30	5,02	4,91
	ZGORAJ	4,90	4,88	4,09	4,10	5,01	5,00	5,03	5,04	-3,47	-3,34	-4,20	-3,44
7	SPODAJ	4,64	4,63	2,20	2,23	4,99	4,98	4,91	5,00	-8,38	-8,42	-6,25	-8,50
	ZGORAJ	-8,69	-8,67	-7,32	-7,32	-8,89	-8,87	-8,96	-8,98	4,21	3,63	1,01	2,54
8	SPODAJ	69,8	70,0	388	388	78,1	78,6	470	472	34,1	40,7	42,2	47,9
	ZGORAJ	-75,9	-75,9	-123	-124	-79,5	-79,5	-156	-157	-32,7	-39,4	-49,6	-55,9



Preglednica 13: Notranje sile stebrov obtežbe fasade

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-73,0	-71,2	-68,48	-69,3
	ZGORAJ	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-73,0	-71,2	-68,48	-69,3
6	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3	10,5	11,5	10,3
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	12,3	10,5	11,5	10,3
7	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	12,2	10,5	11,8	10,3
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	12,2	10,5	11,8	10,3
8	SPODAJ	-60,9	-60,9	-60,8	-60,8	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-73,0	-71,3	-68,9	-69,4
	ZGORAJ	-60,9	-60,9	-60,8	-60,8	-60,9	-60,9	-60,9	-60,8	-73,0	-71,3	-68,9	-69,4
V [ kN ]													
5	SPODAJ	8,72	8,75	6,81	6,83	8,22	8,23	5,62	5,62	4,08	4,74	3,93	4,49
	ZGORAJ	8,72	8,75	6,81	6,83	8,22	8,23	5,62	5,62	4,08	4,74	3,93	4,49
6	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,62	-0,61	-0,57	-0,61
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,62	-0,61	-0,57	-0,61
7	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0,61	0,59	0,63
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0,61	0,59	0,63
8	SPODAJ	-8,72	-8,74	-6,79	-6,81	-8,22	-8,23	-5,62	-5,62	-4,07	-4,74	-3,93	-4,4
	ZGORAJ	-8,72	-8,74	-6,79	-6,81	-8,22	-8,23	-5,62	-5,62	-4,07	-4,74	-3,93	-4,4
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	10,4	10,6	2,61	2,76	8,77	8,89	-1,37	-1,30	4,02	4,69	4,61	4,03
	ZGORAJ	-29,6	-29,6	-28,6	-28,6	-28,9	-28,9	-27,2	-27,1	-14,7	-17,1	-13,5	-16,6
6	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,79	-0,79	-0,70	-0,78
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	2,06	2,02	1,93	2,00
7	SPODAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0,53	0,54	0,64	0,64
	ZGORAJ	0	0	0	0	0	0	0	0	-2,27	-2,27	-2,07	-2,25
8	SPODAJ	-10,4	-10,5	-2,52	-2,67	-8,76	-8,88	1,4	1,34	-4,75	-5,57	-2,89	-4,09
	ZGORAJ	29,6	29,6	28,6	28,6	29,0	28,9	27,2	27,1	13,9	16,2	15,2	16,1

Preglednica 14: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q1

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-315	-315	-314	-315
	ZGORAJ	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-318	-315	-315	-314	-315
6	SPODAJ	-391	-390	-391	-391	-390	-390	-391	-391	-396	-395	-396	-395
	ZGORAJ	-391	-390	-391	-391	-390	-390	-391	-391	-396	-395	-396	-395
7	SPODAJ	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-400	-399	-403	-402
	ZGORAJ	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-397	-400	-399	-403	-402
8	SPODAJ	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-314	-315	-313	-315
	ZGORAJ	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-319	-314	-315	-313	-315
V [ kN ]													
5	SPODAJ	25,7	25,9	10,1	10,2	23,0	23,1	1,52	1,46	15,1	16,7	8,79	10,3
	ZGORAJ	25,7	25,9	10,1	10,2	23,0	23,1	1,52	1,46	15,1	16,7	8,79	10,3
6	SPODAJ	-16,5	-16,7	-15,2	-15,4	-16,6	-16,7	-15,4	-15,6	-11,5	-13,1	-9,01	-10,5
	ZGORAJ	-16,5	-16,7	-15,2	-15,4	-16,6	-16,7	-15,4	-15,6	-11,5	-13,1	-9,01	-10,5
7	SPODAJ	13,8	14,0	11,4	11,6	13,9	14,1	11,7	11,9	6,84	8,29	5,10	5,65
	ZGORAJ	13,8	14,0	11,4	11,6	13,9	14,1	11,7	11,9	6,84	8,29	5,10	5,65
8	SPODAJ	-22,9	-23,2	-6,19	-6,43	-20,3	-20,5	2,25	2,22	-10,4	-11,9	-7,66	-9,08
	ZGORAJ	-22,9	-23,2	-6,19	-6,43	-20,3	-20,5	2,25	2,22	-10,4	-11,9	-7,66	-9,08
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	2,09	2,69	-62,0	-61,4	-6,71	-6,34	-90,6	-90,7	8,25	-0,60	-4,43	-5,02
	ZGORAJ	-116	-116	-108	-108	-112	-113	-97,5	-97,4	-60,9	-69,4	-44,8	-52,2
6	SPODAJ	4,65	4,15	8,92	8,39	4,50	4,00	8,46	7,92	-0,97	-1,63	0,17	0,93
	ZGORAJ	80,5	80,7	78,9	79,1	80,7	80,9	79,2	79,4	52,0	58,4	41,5	49,1
7	SPODAJ	-49,1	-48,2	-57,6	-56,7	-48,8	-47,9	-56,7	-55,8	-23,6	-26,0	-22,7	-27,3
	ZGORAJ	-112	-112	-110	-110	-112	-113	-110	-110	-55,0	-64,1	-46,1	-53,3
8	SPODAJ	3,52	2,67	71,3	70,5	12,6	11,9	99,9	99,8	7,45	8,32	4,77	6,23
	ZGORAJ	109	109	100	100	106	106	89,6	89,6	55,1	63,0	39,9	47,9

Preglednica 15: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q4

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-670	-670	-668	-668	-669	-669	-668	-668	-663	-665	-665	-665
	ZGORAJ	-670	-670	-668	-668	-669	-669	-668	-668	-663	-665	-665	-665
6	SPODAJ	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-408	-404	-407	-404
	ZGORAJ	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-384	-408	-404	-407	-404
7	SPODAJ	7,35	7,33	7,28	7,27	7,34	7,33	7,61	7,60	29,3	25,5	29,8	25,9
	ZGORAJ	7,35	7,33	7,28	7,27	7,34	7,33	7,61	7,60	29,3	25,5	29,8	25,9
8	SPODAJ	2,57	2,57	1,86	1,87	2,60	2,61	1,31	1,31	-2,17	-1,38	-2,35	-1,68
	ZGORAJ	2,57	2,57	1,86	1,87	2,60	2,61	1,31	1,31	-2,17	-1,38	-2,35	-1,68
V [ kN ]													
5	SPODAJ	-23,2	-23,1	-38,9	-38,9	-23,7	-23,7	-44,3	-44,4	-10,7	-12,6	-13,1	-14,1
	ZGORAJ	-23,2	-23,1	-38,9	-38,9	-23,7	-23,7	-44,3	-44,4	-10,7	-12,6	-13,1	-14,1
6	SPODAJ	32,1	32,1	34,3	34,2	32,1	32,0	34,3	34,3	14,6	17,1	14,0	17,3
	ZGORAJ	32,1	32,1	34,3	34,2	32,1	32,0	34,3	34,3	14,6	17,1	14,0	17,3
7	SPODAJ	-2,65	-2,63	-1,08	-1,07	-2,65	-2,63	-0,74	-0,71	-2,34	-2,45	-2,57	-2,58
	ZGORAJ	-2,65	-2,63	-1,08	-1,07	-2,65	-2,63	-0,74	-0,71	-2,34	-2,45	-2,57	-2,58
8	SPODAJ	-6,31	-6,29	5,69	5,75	-5,72	-5,69	10,7	10,9	-1,52	-2,01	-2,51	-2,33
	ZGORAJ	-6,31	-6,29	5,69	5,75	-5,72	-5,69	10,7	10,9	-1,52	-2,01	-2,51	-2,33
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	-79,4	-79,5	-151	-151	-80,8	-80,9	-174	-174	-26,9	-34,2	-30,0	-34,2
	ZGORAJ	26,8	26,7	27,3	27,4	28	27,9	29,5	29,7	22,3	23,7	30,0	30,5
6	SPODAJ	67,3	67,1	73,7	73,5	67,2	67,0	73,3	73,1	30,6	35,6	29,5	36,6
	ZGORAJ	-80,1	-80,0	-83,7	-83,7	-78	-79,9	-84,2	-84,1	-36,3	-42,8	-34,9	-43,0
7	SPODAJ	-7,77	-7,72	-3,76	-3,72	-7,71	-7,66	-3,60	-3,53	-6,31	-6,76	-6,53	-6,74
	ZGORAJ	4,38	4,36	1,19	1,17	4,44	4,41	-0,22	-0,23	4,45	4,47	5,25	5,10
8	SPODAJ	-42,5	-42,4	-1,37	-1,28	-40,2	-40,1	10,9	11,3	-9,87	-14,0	-8,67	-10,2
	ZGORAJ	-13,5	-13,6	-27,5	-27,7	-13,9	-14,0	-38,2	-38,6	-2,91	-4,76	2,85	0,53

Preglednica 16: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q5

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	5,39	5,39	5,04	5,05	5,44	5,44	4,65	4,65	-2,01	-1,02	-2,52	-1,90
	ZGORAJ	5,39	5,39	5,04	5,05	5,44	5,44	4,65	4,65	-2,01	-1,02	-2,52	-1,90
6	SPODAJ	0,00	0,01	-0,76	-0,77	0,00	0,00	-0,56	-0,57	28,9	24,6	29,4	25,5
	ZGORAJ	0,00	0,01	-0,76	-0,77	0,00	0,00	-0,56	-0,57	28,9	24,6	29,4	25,5
7	SPODAJ	-386	-386	-380	-380	-386	-386	-380	-380	-409	-405	-413	-409
	ZGORAJ	-386	-386	-380	-380	-386	-386	-380	-380	-409	-405	-413	-409
8	SPODAJ	-664	-664	-657	-657	-664	-664	-657	-657	-662	-663	-662	-663
	ZGORAJ	-664	-664	-657	-657	-664	-664	-657	-657	-662	-663	-662	-663
V [ kN ]													
5	SPODAJ	14,1	14,1	5,64	5,57	13,3	13,2	0,42	0,22	4,02	5,05	1,69	1,91
	ZGORAJ	14,1	14,1	5,64	5,57	13,3	13,2	0,42	0,22	4,02	5,05	1,69	1,91
6	SPODAJ	2,18	2,17	1,60	1,59	2,19	2,18	1,39	1,37	1,91	2,02	1,68	1,81
	ZGORAJ	2,18	2,17	1,60	1,59	2,19	2,18	1,39	1,37	1,91	2,02	1,68	1,81
7	SPODAJ	-46,1	-46,0	-55,1	-55,0	-46,1	-46,0	-55,0	-54,9	-19,1	-22,7	-19,4	-23,3
	ZGORAJ	-46,1	-46,0	-55,1	-55,0	-46,1	-46,0	-55,0	-54,9	-19,1	-22,7	-19,4	-23,3
8	SPODAJ	29,9	29,8	47,9	47,8	30,6	30,6	53,2	53,3	13,2	15,6	11,9	13,8
	ZGORAJ	29,9	29,8	47,9	47,8	30,6	30,6	53,2	53,3	13,2	15,6	11,9	13,8
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	95,1	95,1	66,1	65,9	91,8	91,7	52,4	51,9	24,6	32,6	3,86	5,02
	ZGORAJ	30,5	30,5	40,2	40,4	30,9	31,0	50,4	50,9	6,12	9,39	-3,91	-3,74
6	SPODAJ	6,36	6,34	5,26	5,23	6,32	6,30	5,05	5,01	4,67	5,05	3,70	4,03
	ZGORAJ	-3,65	-3,63	-2,08	-2,06	-3,72	-3,70	-1,34	-1,30	-4,11	-4,20	-4,00	-4,26
7	SPODAJ	-104	-104	-137	-136	-104	-104	-136	-136	-45,0	-52,5	-46,6	-56,0
	ZGORAJ	107	107	116	116	107	107	117	117	42,8	51,4	42,3	50,8
8	SPODAJ	131	131	212	212	133	133	234	234	41,8	53,0	24,5	29,5
	ZGORAJ	-5,65	-5,50	-7,45	-7,49	-7,27	-7,15	-10,3	-10,4	-18,8	-18,6	-29,9	-33,8

Preglednica 17: Notranje sile stebrov obtežbe s snegom S

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-81,1	-81,1	-80,9	-80,9	-81,1	-81,1	-80,9	-80,9	-77,4	-77,9	-77,5	-78,0
	ZGORAJ	-81,1	-81,1	-80,9	-80,9	-81,1	-81,1	-80,9	-80,9	-77,4	-77,9	-77,5	-78,0
6	SPODAJ	-102	-102	-103	-103	-102	-102	-103	-103	-106	-105	-106	-105
	ZGORAJ	-102	-102	-103	-103	-102	-102	-103	-103	-106	-105	-106	-105
7	SPODAJ	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-107	-106	-108	-108
	ZGORAJ	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-104	-107	-106	-108	-108
8	SPODAJ	-80,6	-80,6	-79,8	-79,8	-80,6	-80,6	-79,8	-79,8	-77,0	-77,5	-77,0	-77,5
	ZGORAJ	-80,6	-80,6	-79,8	-79,8	-80,6	-80,6	-79,8	-79,8	-77,0	-77,5	-77,0	-77,5
V [ kN ]													
5	SPODAJ	0,00	0,00	-1,97	-1,97	0,00	0,00	-2,83	-2,86	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	-1,97	-1,97	0,00	0,00	-2,83	-2,86	0,00	0,00	0,00	0,00
6	SPODAJ	0,00	0,00	-0,06	-0,06	0,00	0,00	-0,08	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	-0,06	-0,06	0,00	0,00	-0,08	-0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
7	SPODAJ	0,00	0,00	-1,02	-1,01	0,00	0,00	-0,98	-0,98	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	-1,02	-1,01	0,00	0,00	-0,98	-0,98	0,00	0,00	0,00	0,00
8	SPODAJ	0,00	0,00	3,05	3,05	0,00	0,00	3,89	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	3,05	3,05	0,00	0,00	3,89	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	0,00	0,00	-8,61	-8,60	0,00	0,00	-11,6	-11,6	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	0,43	0,46	0,00	0,00	1,43	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00
6	SPODAJ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,00	0,27	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00
7	SPODAJ	0,00	0,00	-4,06	-4,04	0,00	0,00	-3,97	-3,95	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	0,61	0,61	0,00	0,00	0,54	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
8	SPODAJ	0,00	0,00	12,13	12,10	0,00	0,00	14,9	15,0	0,00	0,00	0,00	0,00
	ZGORAJ	0,00	0,00	-1,86	-1,90	0,00	0,00	-2,97	-3,03	0,00	0,00	0,00	0,00

Preglednica 18: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	80,2	80,2	80,1	80,1	80,5	80,5	80,4	80,4	74,3	75,3	73,2	71,0
	ZGORAJ	80,2	80,2	80,1	80,1	80,5	80,5	80,4	80,4	74,3	75,3	73,2	71,0
6	SPODAJ	72,9	72,9	73,1	73,1	72,8	72,8	72,9	72,9	75,1	74,7	75,5	80,7
	ZGORAJ	72,9	72,9	73,1	73,1	72,8	72,8	72,9	72,9	75,1	74,7	75,5	80,7
7	SPODAJ	56,7	56,7	57,4	57,4	56,8	56,8	57,6	57,6	58,5	58,4	57,8	70,2
	ZGORAJ	56,7	56,7	57,4	57,4	56,8	56,8	57,6	57,6	58,5	58,4	57,8	70,2
8	SPODAJ	31,2	31,2	30,4	30,4	30,8	30,8	30,0	30,0	33,9	33,4	36,5	35,4
	ZGORAJ	31,2	31,2	30,4	30,4	30,8	30,8	30,0	30,0	33,9	33,4	36,5	35,4
V [ kN ]													
5	SPODAJ	33,3	33,3	34,7	34,7	33,3	33,3	35,4	35,4	35,3	35,0	7,22	6,70
	ZGORAJ	33,3	33,3	34,7	34,7	33,3	33,3	35,4	35,4	35,3	35,0	7,22	6,70
6	SPODAJ	3,97	3,96	3,87	3,86	4,07	4,06	3,98	3,98	2,55	2,80	0,54	0,72
	ZGORAJ	3,97	3,96	3,87	3,86	4,07	4,06	3,98	3,98	2,55	2,80	0,54	0,72
7	SPODAJ	5,18	5,17	5,79	5,78	5,28	5,28	5,89	5,88	3,18	3,61	0,21	0,21
	ZGORAJ	5,18	5,17	5,79	5,78	5,28	5,28	5,89	5,88	3,18	3,61	0,21	0,21
8	SPODAJ	35,8	35,8	33,9	33,9	35,6	35,6	33,0	33,0	37,0	37,0	9,19	8,68
	ZGORAJ	35,8	35,8	33,9	33,9	35,6	35,6	33,0	33,0	37,0	37,0	9,19	8,68
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	191	191	198	198	188	188	196	196	245	236	90,9	91,9
	ZGORAJ	38,4	38,4	38,1	38,1	35,1	35,0	33,9	33,8	83,2	75,8	61,8	61,1
6	SPODAJ	11,0	11,0	10,8	10,8	11,0	11,0	10,8	10,8	10,8	11,0	3,40	3,72
	ZGORAJ	-7,20	-7,17	-6,98	-6,97	-7,70	-7,69	-7,51	-7,50	-0,88	-1,88	0,93	0,42
7	SPODAJ	19,1	19,1	21,4	21,4	18,7	18,8	21,0	21,1	20,4	20,6	6,43	6,61
	ZGORAJ	-4,70	-4,67	-5,18	-5,16	-5,50	-5,48	-5,98	-5,96	5,79	4,07	5,45	5,66
8	SPODAJ	198	198	191	191	194	194	184	184	251	242	96,4	97,4
	ZGORAJ	33,8	33,8	35,2	35,2	30,8	30,8	32,7	32,7	79,4	72,0	57,5	57,5

Preglednica 19: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W2

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	27,3	27,3	27,3	27,3	27,6	27,6	27,7	27,7	23,7	24,4	22,4	20,3
	ZGORAJ	27,3	27,3	27,3	27,3	27,6	27,6	27,7	27,7	23,7	24,4	22,4	20,3
6	SPODAJ	1,24	1,24	0,62	0,62	1,20	1,20	0,45	0,45	1,43	1,31	1,76	0,89
	ZGORAJ	1,24	1,24	0,62	0,62	1,20	1,20	0,45	0,45	1,43	1,31	1,76	0,89
7	SPODAJ	-32,7	-32,7	-32,1	-32,1	-32,6	-32,6	-31,9	-31,9	-33,8	-33,4	-35,7	-35,6
	ZGORAJ	-32,7	-32,7	-32,1	-32,1	-32,6	-32,6	-31,9	-31,9	-33,8	-33,4	-35,7	-35,6
8	SPODAJ	-40,2	-40,2	-40,2	-40,2	-40,6	-40,6	-40,6	-40,7	-34,1	-35,2	-31,3	-32,1
	ZGORAJ	-40,2	-40,2	-40,2	-40,2	-40,6	-40,6	-40,6	-40,7	-34,1	-35,2	-31,3	-32,1
V [ kN ]													
5	SPODAJ	38,9	39,0	39,0	39,0	38,8	38,8	38,7	38,7	40,9	40,5	10,8	10,1
	ZGORAJ	38,9	39,0	39,0	39,0	38,8	38,8	38,7	38,7	40,9	40,5	10,8	10,1
6	SPODAJ	4,23	4,22	4,16	4,15	4,34	4,33	4,26	4,26	2,79	3,05	0,60	0,73
	ZGORAJ	4,23	4,22	4,16	4,15	4,34	4,33	4,26	4,26	2,79	3,05	0,60	0,73
7	SPODAJ	5,67	5,66	5,20	5,20	5,78	5,78	5,34	5,35	3,40	3,88	0,18	0,30
	ZGORAJ	5,67	5,66	5,20	5,20	5,78	5,78	5,34	5,35	3,40	3,88	0,18	0,30
8	SPODAJ	36,5	36,5	37,0	37,0	36,5	36,5	37,0	37,0	38,7	38,3	8,12	7,85
	ZGORAJ	36,5	36,5	37,0	37,0	36,5	36,5	37,0	37,0	38,7	38,3	8,12	7,85
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	215	215	216	216	211	211	211	211	274	264	106	106
	ZGORAJ	36,5	36,5	36,7	36,7	33,2	33,1	33,3	33,3	86,5	78,3	58,1	60,0
6	SPODAJ	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	11,8	11,7	11,6	11,8	12,0	3,73	3,95
	ZGORAJ	-7,57	-7,54	-7,37	-7,35	-8,11	-8,09	-7,91	-7,90	-0,98	-2,03	1,00	0,62
7	SPODAJ	20,8	20,8	19,2	19,2	20,4	20,4	18,9	18,9	22,1	22,4	6,88	7,13
	ZGORAJ	-5,25	-5,21	-4,73	-4,70	-6,14	-6,11	-5,65	-5,63	6,5	4,60	6,03	5,77
8	SPODAJ	208	208	210	210	204	204	206	206	268	258	99,1	99,4
	ZGORAJ	40,4	40,4	40,2	40,2	36,8	36,8	36,5	36,4	90,1	81,9	61,8	63,3

Preglednica 20: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W3

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
5	SPODAJ	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	-39,3	-39,3	-39,3	-39,3	-34,0	-35,0	-31,4	-32,2
	ZGORAJ	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	-39,3	-39,3	-39,3	-39,3	-34,0	-35,0	-31,4	-32,2
6	SPODAJ	-33,7	-33,7	-33,4	-33,4	-33,6	-33,6	-33,3	-33,3	-33,8	-33,4	-34,7	-35,1
	ZGORAJ	-33,7	-33,7	-33,4	-33,4	-33,6	-33,6	-33,3	-33,3	-33,8	-33,4	-34,7	-35,1
7	SPODAJ	-0,46	-0,46	-0,97	-0,97	-0,56	-0,56	-1,20	-1,22	1,08	0,84	2,28	0,51
	ZGORAJ	-0,46	-0,46	-0,97	-0,97	-0,56	-0,56	-1,20	-1,22	1,08	0,84	2,28	0,51
8	SPODAJ	28,7	28,7	28,9	28,9	29,0	29,0	29,3	29,3	24,0	24,8	22,4	20,5
	ZGORAJ	28,7	28,7	28,9	28,9	29,0	29,0	29,3	29,3	24,0	24,8	22,4	20,5
V [ kN ]													
5	SPODAJ	-36,3	-36,3	-36,5	-36,5	-36,3	-36,3	-36,6	-36,6	-38,7	-38,3	-8,06	-7,65
	ZGORAJ	-36,3	-36,3	-36,5	-36,5	-36,3	-36,3	-36,6	-36,6	-38,7	-38,3	-8,06	-7,65
6	SPODAJ	-4,29	-4,28	-4,20	-4,19	-4,40	-4,39	-4,31	-4,30	-2,79	-3,05	-0,59	-0,74
	ZGORAJ	-4,29	-4,28	-4,20	-4,19	-4,40	-4,39	-4,31	-4,30	-2,79	-3,05	-0,59	-0,74
7	SPODAJ	-5,60	-5,59	-5,52	-5,51	-5,74	-5,70	-5,65	-5,65	-3,44	-3,91	-0,21	-0,28
	ZGORAJ	-5,60	-5,59	-5,52	-5,51	-5,74	-5,70	-5,65	-5,65	-3,44	-3,91	-0,21	-0,28
8	SPODAJ	-39,2	-39,2	-39,1	-39,1	-38,9	-38,9	-38,8	-38,8	-40,9	-40,5	-10,2	-9,87
	ZGORAJ	-39,2	-39,2	-39,1	-39,1	-38,9	-38,9	-38,8	-38,8	-40,9	-40,5	-10,2	-9,87
M [ kNm ]													
5	SPODAJ	-208	-208	-210	-210	-205	-205	-206	-206	-268	-258	-99,0	-100
	ZGORAJ	-41,7	-41,7	-42,0	-42,0	-38,1	-38,1	-38,2	-38,2	-90,3	-82,2	-62,0	-65,0
6	SPODAJ	-11,9	-11,9	-11,7	-11,7	-11,9	-11,9	-11,7	-11,7	-11,8	-11,9	-36,9	-3,96
	ZGORAJ	7,76	7,73	7,54	7,52	8,31	8,29	8,09	8,08	0,99	2,06	-0,96	-0,57
7	SPODAJ	-20,8	-20,8	20,6	-20,6	-20,4	-20,5	-20,3	-20,3	-22,2	-22,5	-7,00	-7,27
	ZGORAJ	4,88	4,84	4,71	4,68	5,75	5,72	5,60	5,58	-6,46	-4,60	-6,04	-5,99
8	SPODAJ	-216	-216	-216	-216	-212	-212	-212	-212	-274	-264	-105	-106
	ZGORAJ	-36,5	-36,5	-36,7	-36,7	-33,2	-33,2	-33,4	-33,6	-86,5	-78,3	-58,2	-61,1



Preglednica 21: Notranje sile stebrov lastne teže in stalne obtežbe v kletni etaži

N [ kN ]		CENTRIČNO		TOGE POVEZAVE		CENT. - STENA		TOG. POV. - STENA		CENTRIČNO		CENTRIČNO	
		SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP	ESA PT	SAP pl.	ESA pl.	SAP 3D	ESA 3D
1	SPODAJ	-2225	-2225	-2198	-2198	-2246	-2246	-2232	-2232	-2178	-2178	-2200	-2201
	ZGORAJ	-2225	-2225	-2198	-2198	-2246	-2246	-2232	-2232	-2178	-2178	-2200	-2201
4	SPODAJ	-2218	-2218	-2176	-2175	-2238	-2238	-2207	-2207	-2172	-2171	-2193	-2194
	ZGORAJ	-2218	-2218	-2176	-2175	-2238	-2238	-2207	-2207	-2172	-2171	-2193	-2194
V [ kN ]													
1	SPODAJ	-70,7	-71,7	-538	-547	-51,1	-51,6	-375	-379	-20	-25,1	-5,86	-7,79
	ZGORAJ	-70,7	-71,7	-538	-547	-51,1	-51,6	-375	-379	-20	-25,1	-5,86	-7,79
4	SPODAJ	71,8	72,9	522	531	51,6	52,1	418	423	18,6	23,7	8,29	11,8
	ZGORAJ	71,8	72,9	522	531	51,6	52,1	418	423	18,6	23,7	8,29	11,8
M [ kNm ]													
1	SPODAJ	71,6	66,9	561	523	124	121	1144	1124	25,8	33,5	88,4	86,7
	ZGORAJ	375	375	2873	2873	344	343	2756	2754	112	141	96,3	120
4	SPODAJ	-73,1	-68,2	-522	-515	-129	-126	-864	-842	-21,4	-29,1	-50,5	-66,9
	ZGORAJ	-382	-382	-2767	-2768	-350	-350	-2661	-2659	-101	-131	-86,1	-118

### Primerjava rezultatov med posameznim ravninskimi modeli

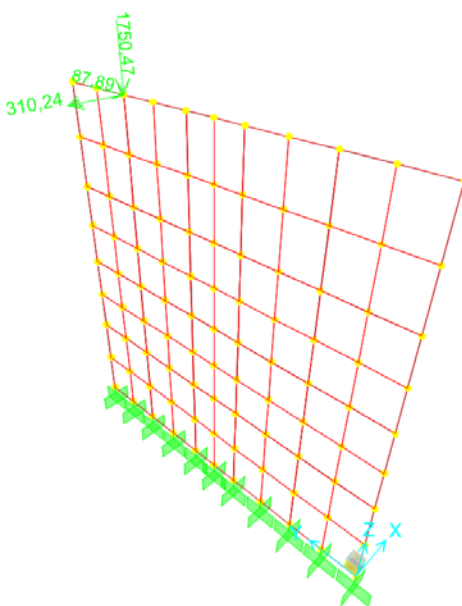
- Tipičen steber

Iz priloženih preglednic je razvidno, da se notranje sile v stebrih S6 in S7 bistveno ne razlikujejo.

- Obodni steber

Pri obodnih stebrih S1, S4, S5 in S8 se osne sile ne razlikujejo. Pri prečnih silah in upogibnih momentih pa so razlike med modeli, katerih stebri so centrično povezani, z modeli katerih stebri so ekscentrično povezani. Glavni razlog, da so razlike, je v stebrih S1 in S4 (glej preglednico 12). Stebra sta zamaknjena za 1.25 m od osi in togo povezana. Ugotovimo, da togo povezani stebri veliko vplivajo na prečne sile in upogibne momente. Poleg tega pa še ugotovimo, da se te vplivi togih povezav pri stebrih S5 in S8 občutno zmanjšujejo (glej preglednico 21).

Zato naredimo še en računalniški model, v računalniškem programu SAP 2000, za primer lastne teže in stalne obtežbe, kjer stebra S1 in S4 nadomestimo s steno, debeline 60 cm in širine 430 cm. Stebra S5 in S8 odstranimo, ter ju nadomestimo z notranjimi točkovnimi silami (Slika 5.22).



Slika 5.22: Računalniški model stene za primer lastne teže in stalne obtežbe v SAP 2000

Iz programa izpišemo notranje napetosti  $\sigma_y$  na posameznih odsekih  $y$ . Potem še interpoliramo posamezne odseke  $d_y$  in notranje napetosti  $\Delta\sigma_y$  med seboj. Nato pa še izračunamo ročice  $\Delta y_{ti}$  interpoliranih odsekov glede na težišče stene. Tako, da lahko izračunamo upogibni moment stene. Navedene rezultate smo podali v preglednico 22 in preglednico 23.

Preglednica 22: Izpis notranjih napetosti stene ob vpetju, s katerim smo izračunali upogibni moment, lastne teže in stalne obtežbe, v kletni etaži

bstene = 0,6 m  
dstene = 4,3 m  
yt = 2,15 m

y	$\sigma_y$	$d_y$	$\Delta\sigma_y$	$d_y\Delta\sigma_y$	$N = d_y \Delta\sigma_y * b_{stene}$	$\Delta y_{ti}$	$d_y\Delta\sigma_y * y_{ti}$	$M = d_y\Delta\sigma_y * y_{ti} * d$
[m]	[kN / m <sup>2</sup> ]	[m]	[kN / m <sup>2</sup> ]			[m]		
0,00	388	0,45	297	134	80,1	-1,9	-257	-154
0,45	205	0,45	117	52,7	31,6	-1,5	-77,7	-46,6
0,90	28,8	0,45	-118	-53,0	-31,8	-1,0	54,3	32,6
1,35	-264	0,45	-327	-147	-88,4	-0,58	84,7	50,8
1,80	-390	0,35	-549	-192	-115	-0,175	33,7	20,2
2,15	-709	0,35	-758	-265	-159	0,175	-46,4	-27,9
2,50	-808	0,45	-967	-435	-261	0,58	-250	-150
2,95	-1127	0,45	-1231	-554	-332	1,0	-568	-341
3,40	-1336	0,45	-1494	-672	-403	1,5	-992	-595
3,85	-1652	0,45	-1836	-826	-496	1,9	-1590	-954
4,30	-2020							

M [ kNm ] = **-2165**

Preglednica 23: Izpis notranjih napetosti stene na vrhu, s katerim smo izračunali upogibni moment, lastne teže in stalne obtežbe v kletni etaži

y	$\sigma_y$	$d_y$	$\Delta\sigma_y$	$d_y\Delta\sigma_y$	$N = d_y \Delta\sigma_y * b_{stene}$	$\Delta y_{ti}$	$d_y\Delta\sigma_y * y_{ti}$	$M = d_y\Delta\sigma_y * y_{ti} * d$
[m]	[kN / m <sup>2</sup> ]	[m]	[kN / m <sup>2</sup> ]			[m]		
0,00	-174	0,45	47,6	21,4	12,9	-1,9	-41,2	-24,7
0,45	270	0,45	-79,8	-35,9	-21,5	-1,5	53,0	31,8
0,90	-429	0,45	157	70,4	42,3	-1,0	-72,2	-43,3
1,35	742	0,45	-242	-109	-65,3	-0,58	62,6	37,5
1,80	-1226	0,35	494	173	104	-0,175	-30,3	-18,2
2,15	2214	0,35	-193	-67,4	-40,4	0,175	-11,8	-7,08
2,50	-2599	0,45	504	227	136	0,58	130	78,2
2,95	3607	0,45	-1866	-840	-504	1,0	-861	-516
3,40	-7340	0,45	-4772	-2148	-1289	1,5	-3168	-1901
3,85	-2205	0,45	-676	-304	-183	1,9	-586	-352
4,30	852							

M [ kNm ] = **-2714**

Iz preglednic 22 in 23 je razvidno, da se izračunani upogibni momenti, v primeru da nadomestimo stebre S1 in S4 s steno, le malenkost razlikujejo.

#### Primerjava rezultatov med prostorskimi modeli

- Tipičen steber in obodni steber

V stebrih se osne sile ne razlikujejo. Pri prečnih silah in upogibnih momentih pa so razlike majhne. V celotnem prostorskem modelu, se obtežbe porazdelijo na ostale okvirje (stebre), tako da se prečne sile in upogibni momenti nekoliko razlikujejo od prostorskega modela tipičnega okvirja. Poleg tega, pa v kleti, pri tipičnem okvirju ni upoštevana obodna stena.

#### Primerjava rezultatov med ravninskimi in prostorskimi modeli

- Tipičen steber

Tudi v tem primeru se osne sile ne razlikujejo. Opazimo, da so prečne sile in upogibni momenti v ravninskih modelih večji. Posledica je v samem porazdelitvi obtežbe, vsaj pri prostorskih modelih se obtežba porazdeli po površini pri linijskih pa ne. Zato so prečne sile in upogibni momenti manjši. Poleg tega je postopek izračunov notranjih sil med ravninskimi modeli in ploskovnimi modeli različen.

- Obodni steber

Poleg predhodno opisanega, pri prostorskih modelih nismo upoštevali ekscentrično povezanih stebrov. Zato so velika odstopanja, v primerjavi z ravninskimi modeli z togo povezanimi stebri.

#### Primerjava rezultatov obeh programov

- Tipičen steber in obodni steber

Iz preglednic je razvidno, da se notranje sile, pri ravninskih modelih, ne razlikujejo. Pri prostorskih modelih, pri osnih silah, prav tako ni razlik. Pri prečnih silah in upogibnih momentih pa so razlike majhne, kar je posledica mreže končnih elementov nad osjo stebra (glej poglavje 5.2).

Za kombinacije stebra S5 in S8, smo upoštevali ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I., računalniškega programa SAP 2000. Kombinacije so bile izpisane tako, da dobimo maksimalne notranje sile, ki najbolj neugodno delujejo na steber:

Kombinacija za  $N_{max}$ ,  $M_{prip}$  za steber S5

$$1,35 \times (G + F) + 1,5 \times Q4 + 1,5 \times 0,6 \times (S + W3)$$

$$N_{max} = -3562 \text{ kN}$$

$$M_{prip} = -395 \text{ kNm}$$

Kombinacija za  $N_{min}$ ,  $M_{prip}$  za steber S5

$$1,0 \times (G + F) + 1,5 \times 0,7 \times Q5 + 1,5 \times W$$

$$N_{min} = -1688 \text{ kN}$$

$$M_{prip} = 320 \text{ kNm}$$

Kombinacija za  $M_{max}$ ,  $N_{prip}$  za steber S8

$$1,0 \times (G + F) + 1,5 \times 0,7 \times Q4 + 1,5 \times W2$$

$$M_{max} = 509 \text{ kNm}$$

$$N_{prip} = -2564 \text{ kN}$$

Kombinacija za  $V_{max}$ ,  $N_{prip}$  za steber S5

$$1,35 \times (G + F) + 1,5 \times 0,7 \times Q1 + 1,5 \times W2$$

$$V_{max} = 133 \text{ kN}$$

$$N_{prip} = -3312 \text{ kN}$$

## 6 ZAKLJUČEK

V diplomski analizi smo analizirali poslovni objekt v Velenju s programoma SAP 2000 in ESA PT. Za analizo smo uporabili različne modele in rezultate primerjali med seboj. Obtežbo smo določili v skladu s standardom EC0 in EC1.

Ugotovili smo, da med programoma SAP 2000 in ESA PT večjih razlik v samem računu ni. Razlikujejo se predvsem v načinu vnosa podatkov in analizi rezultatov. SAP 2000 dopušča več možnosti pri vnosu podatkov, po drugi strani pa je v ESA PT vnos podatkov enostavnejši. Tako npr. pri določanju mreže ploskovnih elementov program ESA PT mrežo zgenerira samodejno, v programu SAP 2000 pa mrežo določa uporabnik. V določenih primerih je avtomatska generacija mreže moteča, saj lahko pripelje do neprimernih rešitev. Zato menimo, da je podajanje mreže v programu SAP 2000 boljše rešeno. Pri različno gostih mrežah končnih elementov, v točkovno podprti plošči, smo ugotovili, da rezultati izračuna upogibnih momentov pokaže večje razlike. Ker steber ima določene dimenzije, upoštevamo upogibne momente na robovih stebra. Poleg tega pa opazimo, da med programoma SAP 2000 in ESA PT, razmeroma veliko razliko upogibnih momentov le nad osjo stebra, ki se razmeroma hitro manjša, ko se oddaljujemo od tega prereza. To smo prikazali na poenostavljeni konstrukciji, da bi ocenili, kakšno velikost mreže potrebujemo za prostorskih modelih konstrukcije in izbrali mrežo končnih elementov velikosti 0.5 m x 0.5 m. Linijski elementi se v obeh programih podajajo na podoben način. Večjih razlik pri podajanju obtežb ravno tako ni.

Analiza rezultatov s programom ESA PT se nam zdi bolj pregledna, saj program nudi več različnih možnosti za prikaz izračunanih notranjih sil, kot je npr. prikaz globalnih ali lokalnih ekstremov. Za razliko od programa SAP 2000, kjer se vrednosti na diagramih pogosto prekrivajo. Poleg tega programa SAP 2000 in ESA PT omogočata tudi različne tabelarične izpise. S tem, da je v ESA PT možen izpis lokalnih ali globalnih ekstremov, samo v izbranih prerezih.

Analizirani poslovni objekt smo modelirali s šestimi različnimi modeli, ki so se med seboj razlikovali po stopnjah poenostavitve. Upoštevali smo različne ravninske in ploskovne modele. Zanimalo nas je koliko različne poenostavitve modelov vplivajo na notranje sile v konstrukcijskih elementih. Za določitev notranjih sil v tipičnem stebri je zadostovala že analiza z najbolj enostavnimi ravninskimi modeli. V stebrih in stenah, v bližini stopnic, odprtin in drugih posebnosti v objektu, so bili za določitev notranjih sil, potrebni bolj natančni modeli.

Vplive, ki smo jih določili z ravninskim modelom smo primerjali z rezultati prostorskih modelov, kjer je bila plošča modelirana s ploskovnimi elementi. V ta namen smo upogibne momente razdelili v prečni smeri v skladu s standardom Evrokod2 in DIN 1045. Razdelitev upogibnih momentov, v skladu z DIN 1045, se je v obravnavanem primeru bolj ujemala z razdelitvijo upogibnih momentov v bolj natančnih prostorskih modelih.

## **VIRI**

SAP 2000: Linear and Nonlinear, Static and Dynamic, Analysis and Design of Three – Dimensional Structures. 2002. Berkeley, California, USA, Computers and Structures, Inc.: Basic Analysis Reference.

SAP 2000: Integrated Software for Structural Analysis and Design. 2002. Berkeley, California, USA, Computers and Structures, Inc.: Analysis Reference Manual.

SCIA ESA PT: Engineering Structural Applications Professional Technology. 2004. Herk-de-Stad, België, SCIA International: Scientific Software.

SCIA ESA PT: Engineering Structural Applications Professional Technology. 2006. Herk-de-Stad, België, SCIA International: Reference manual.

## **Standardi in predpisi**

SIST EN 1990:2004/A1:2006 - Evrokod - Osnove projektiranja - Eurocode - Basis of structural design

SIST EN 1990:2004/A101:2005 - Evrokod – Osnove projektiranja – Nacionalni dodatek

SIST EN 1991-1-1:2004/A101:2005 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Postorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb – Nacionalni dodatek

SIST EN 1991-1-3:2003 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežbe s snegom - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow actions



SIST EN 1991-1-4:2005 - Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi –  
Obtežbe vetra - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions

SIST EN 1992-1-1:2005 - Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-1. del: Splošna  
pravila in pravila za stavbe - Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General  
rules and rules for buildings

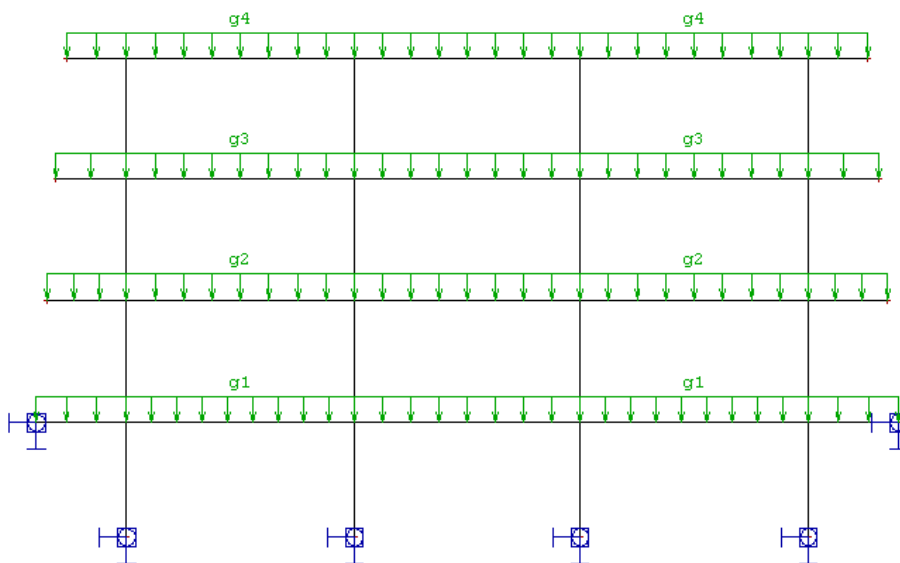
DIN 1045 1988 , Beton – und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung

## **PRILOGE**

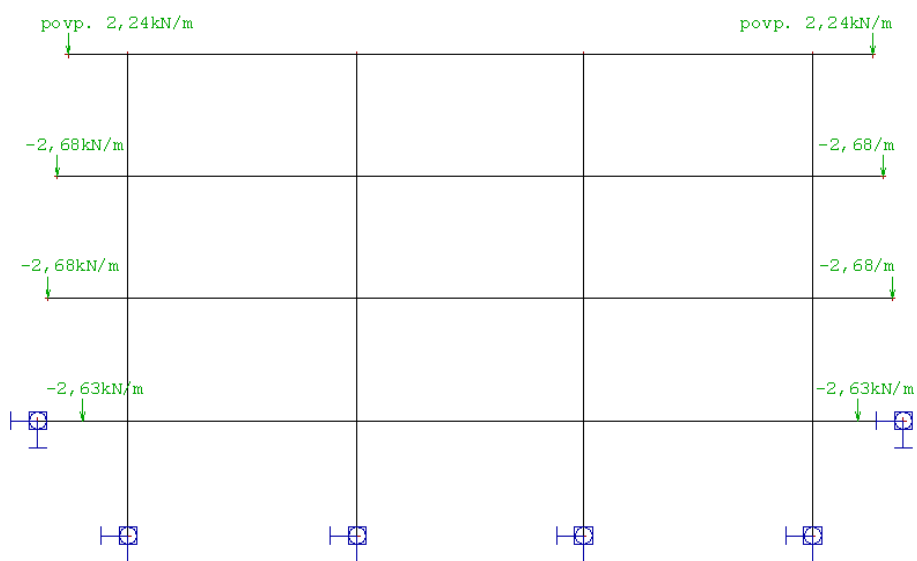
Priloga 1: Obtežbene sheme

**Priloga 1: Obtežbene sheme**

## LASTNA TEŽA IN STALNA OBTEŽBA



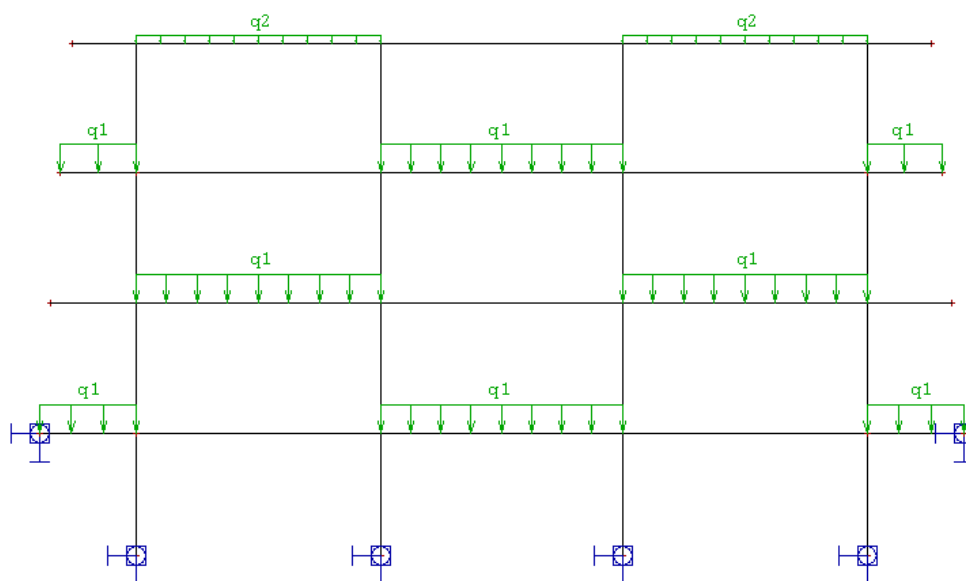
## OBTEŽBA FASADE



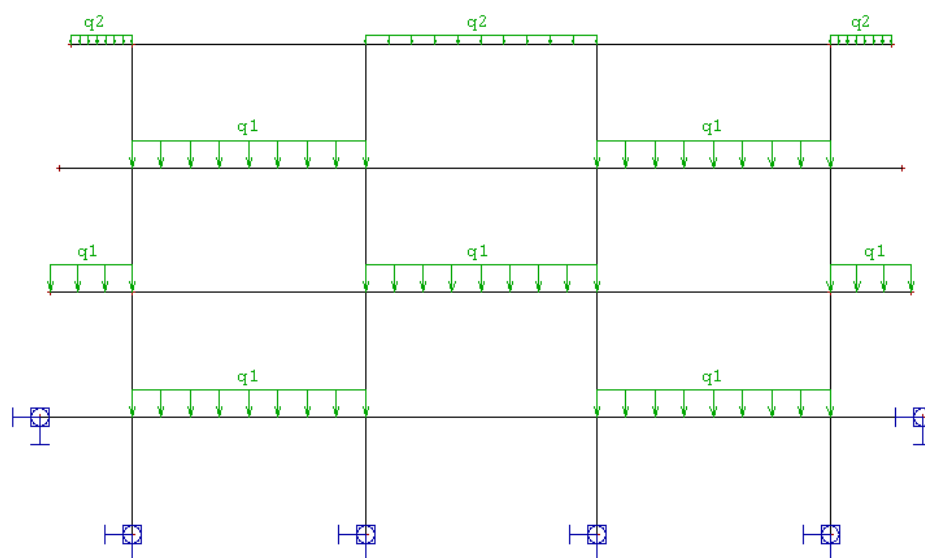
## SPREMENLJIVA OBTEŽBA

### KORISTNA OBTEŽBA

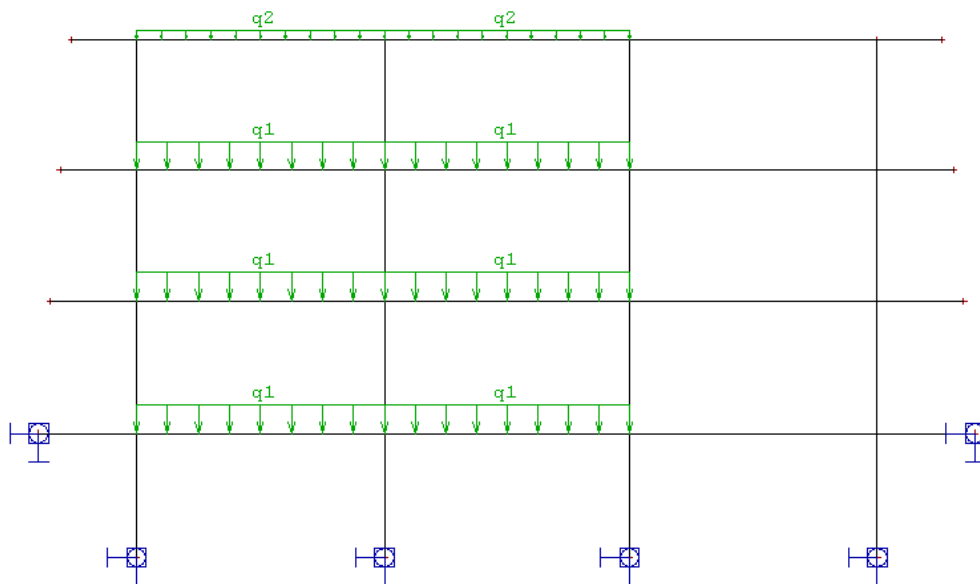
Q



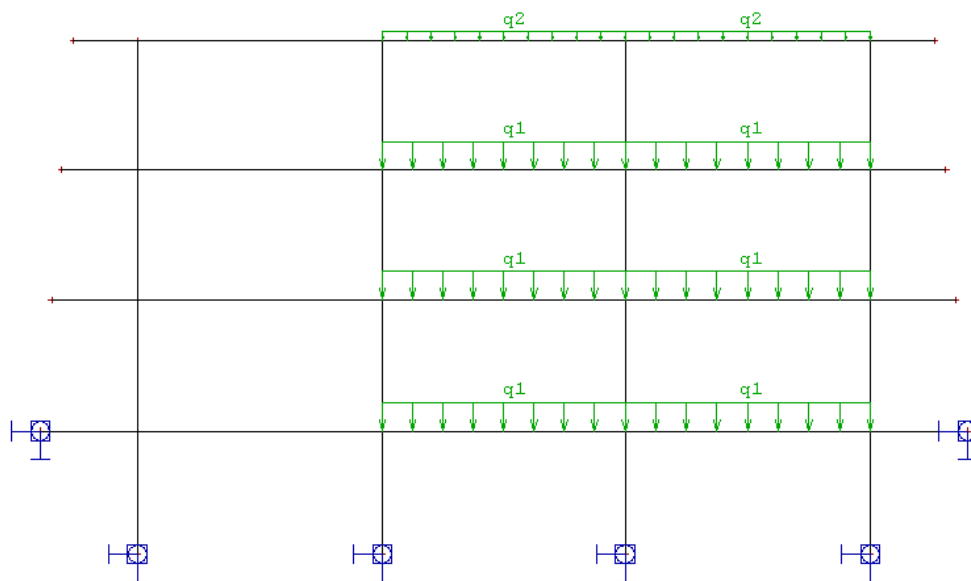
Q1



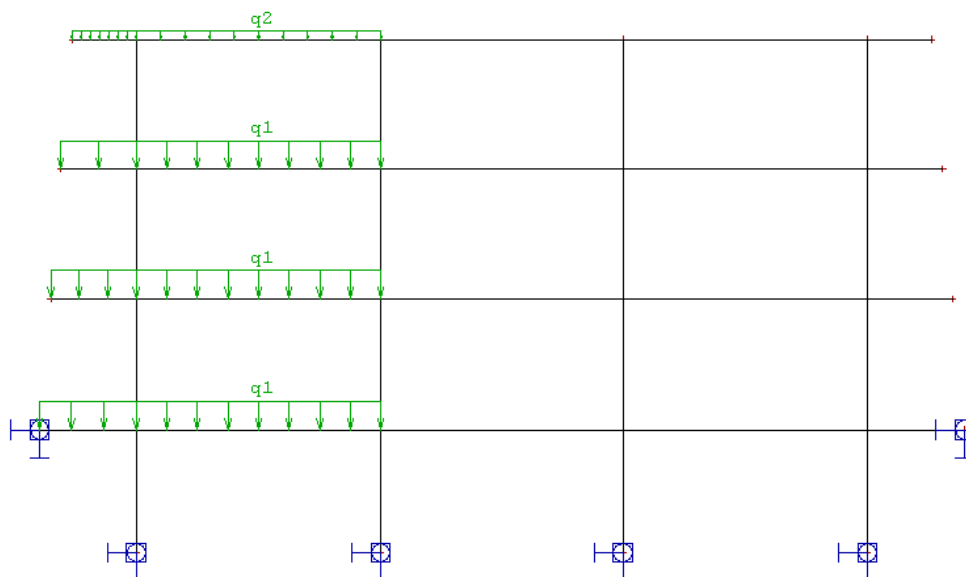
Q2



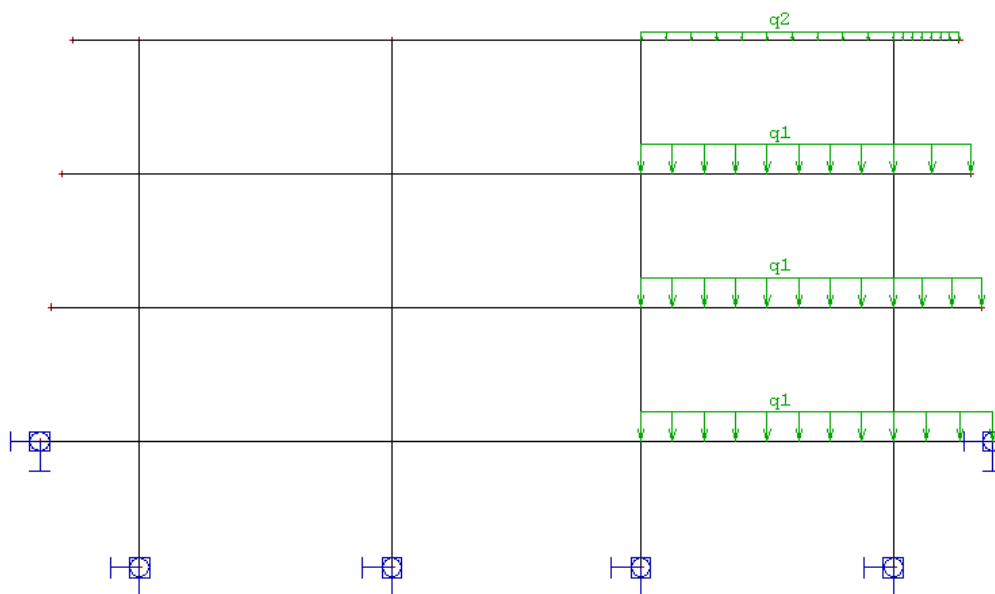
Q3



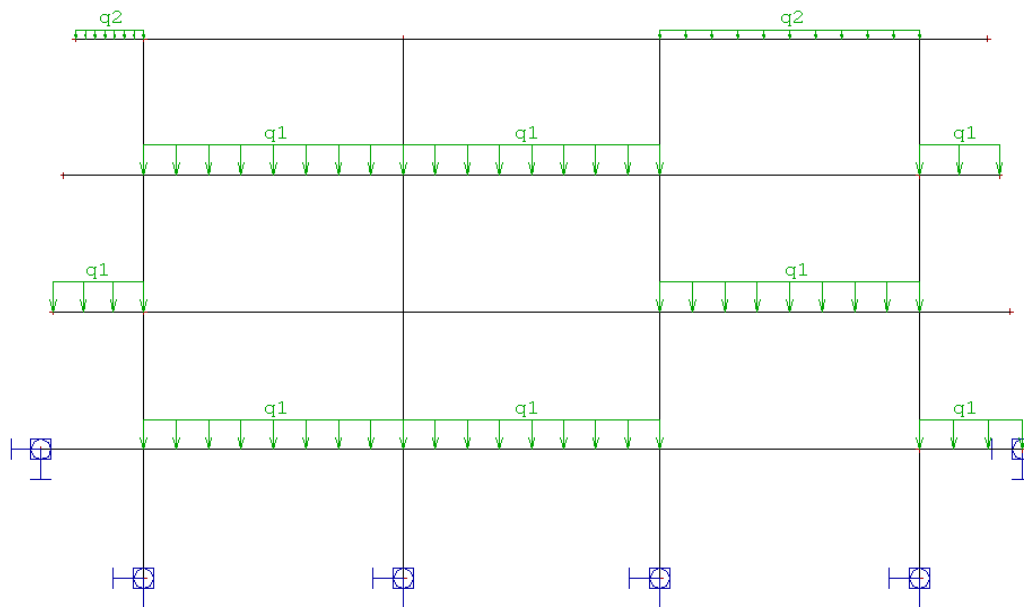
Q4



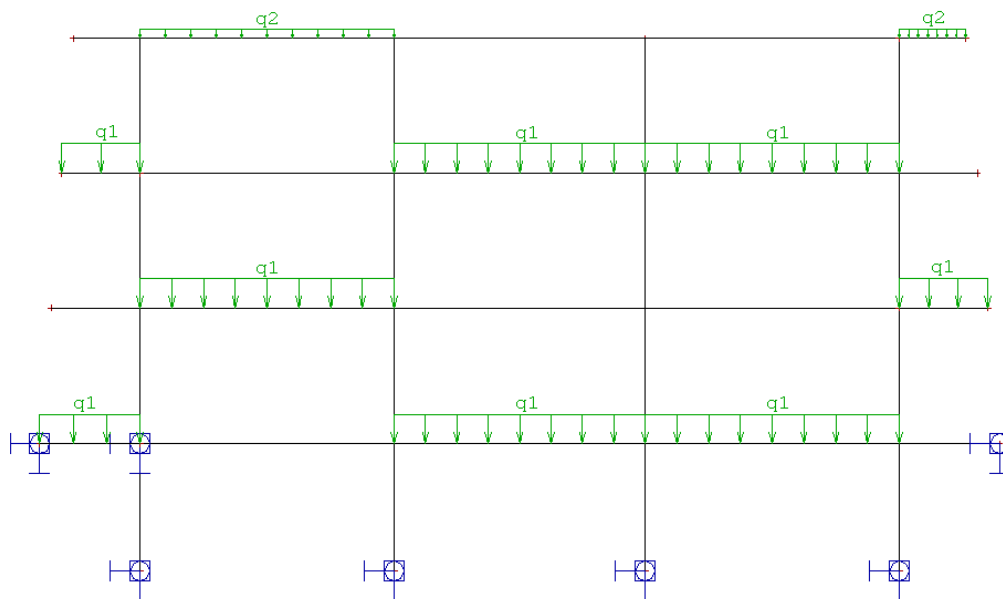
Q5



Q6

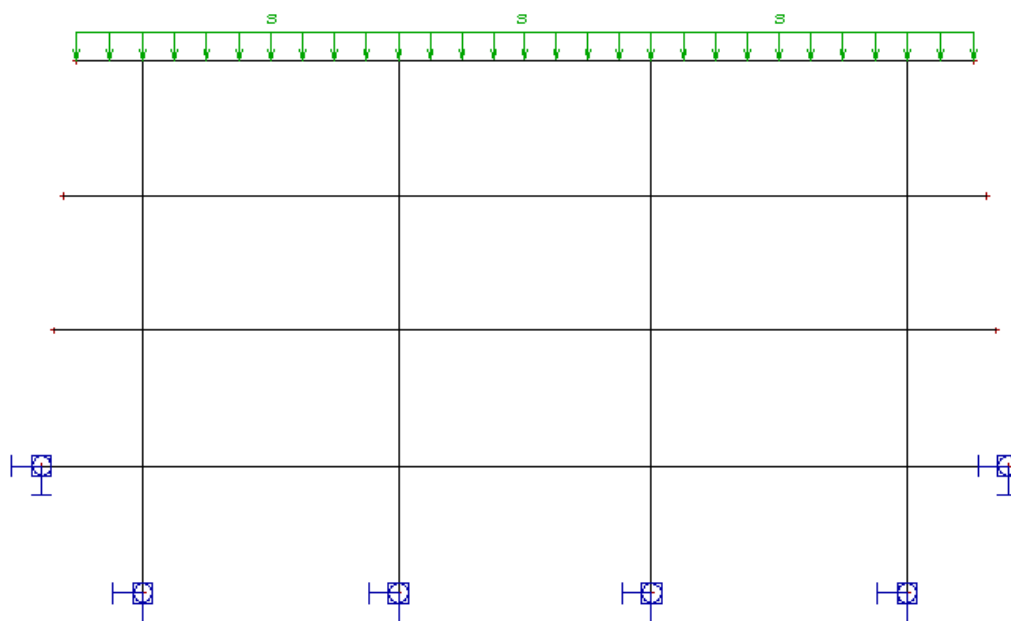


Q7

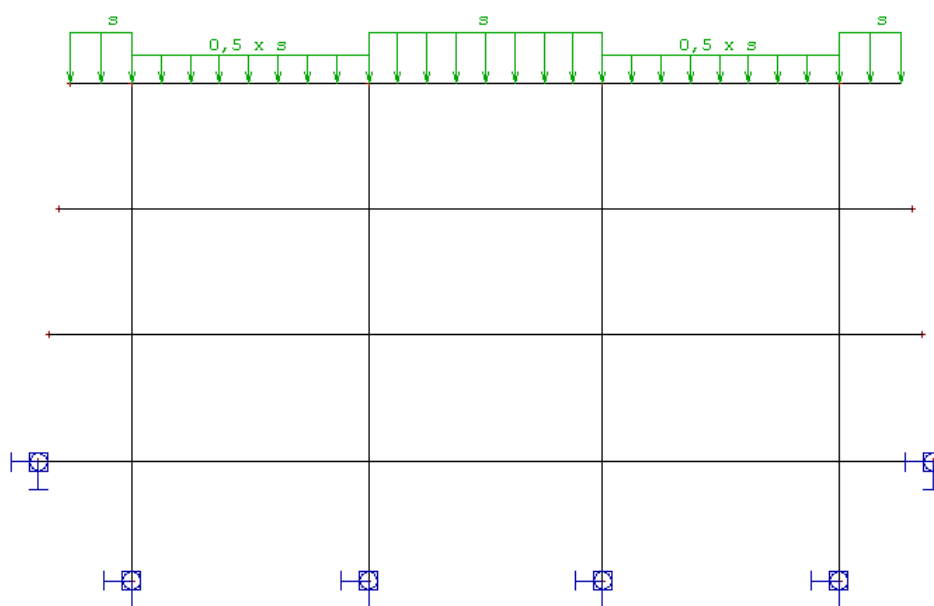


## OBTEŽBA S SNEGOM

S

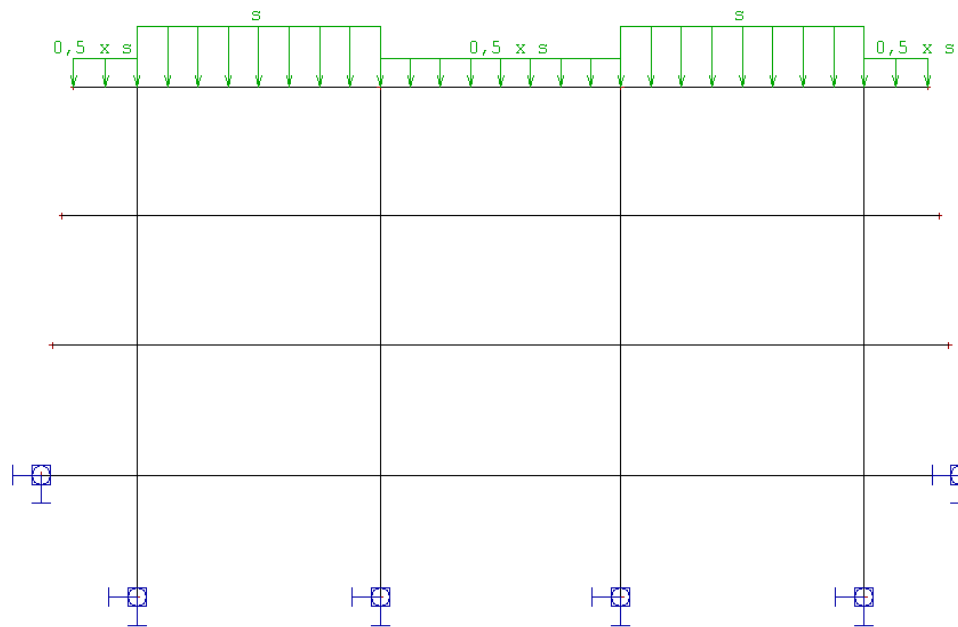


S1

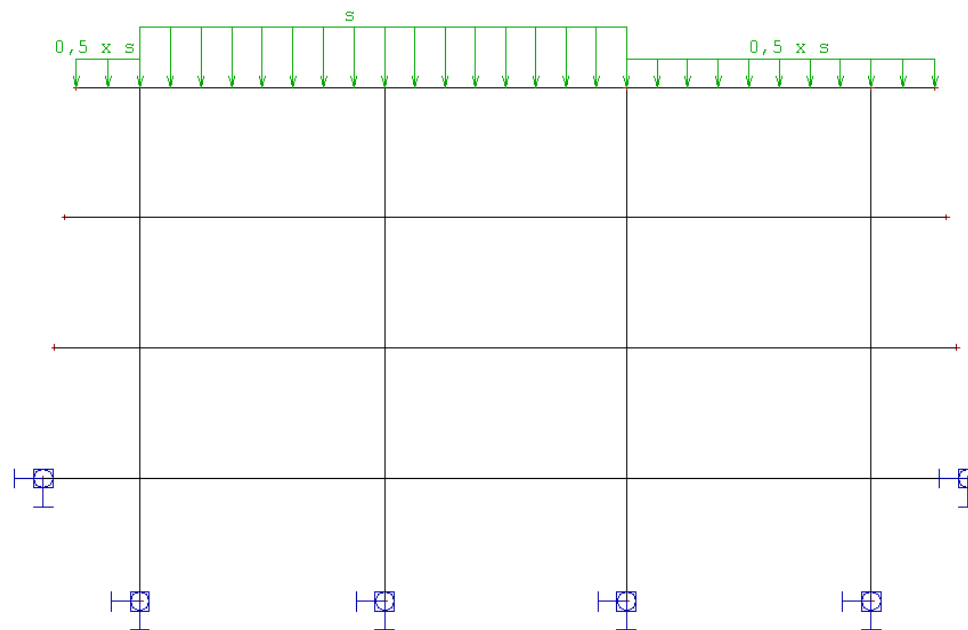




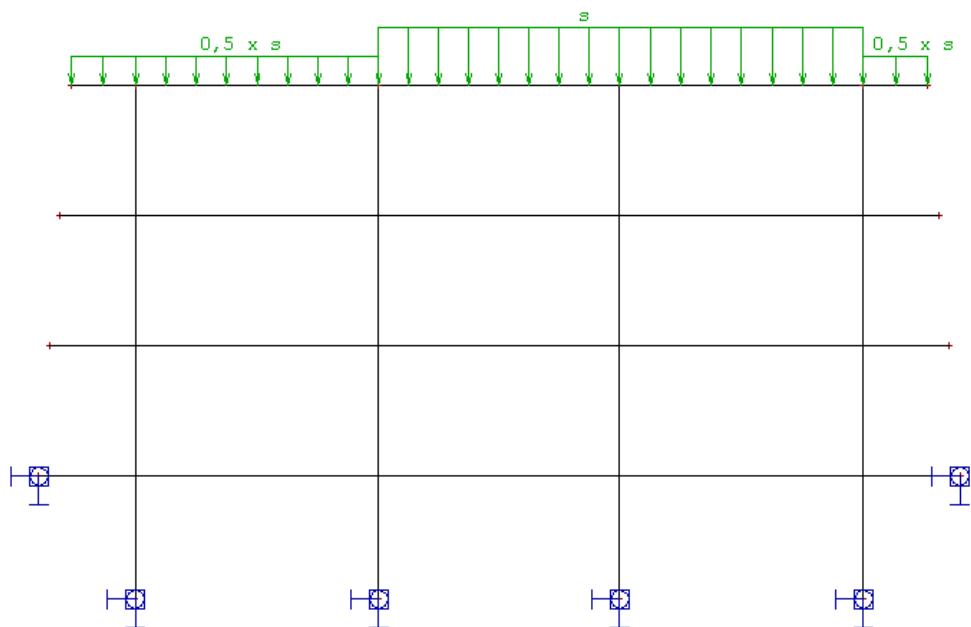
S2



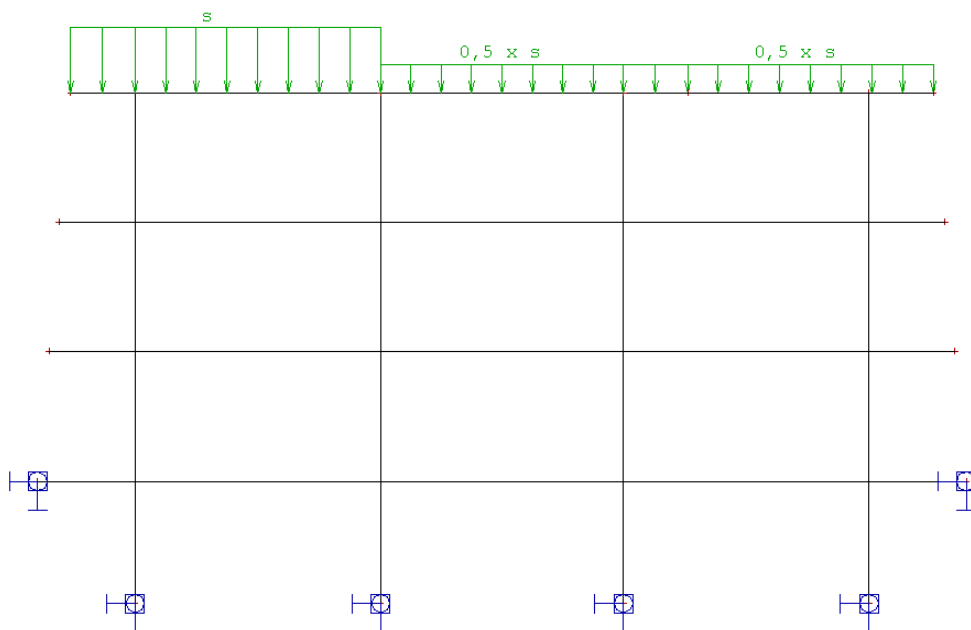
S3



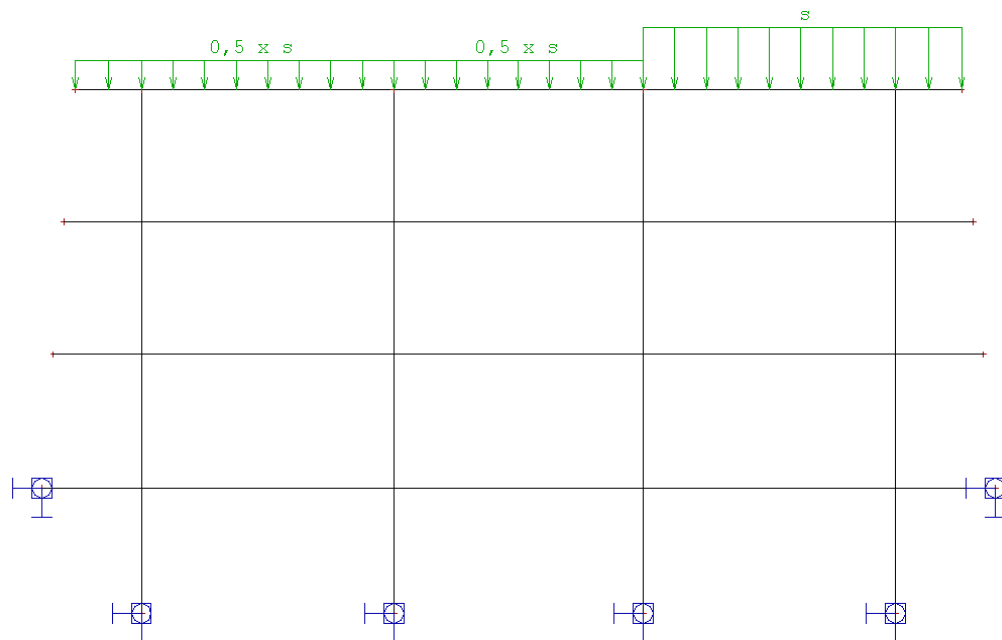
S4



S5

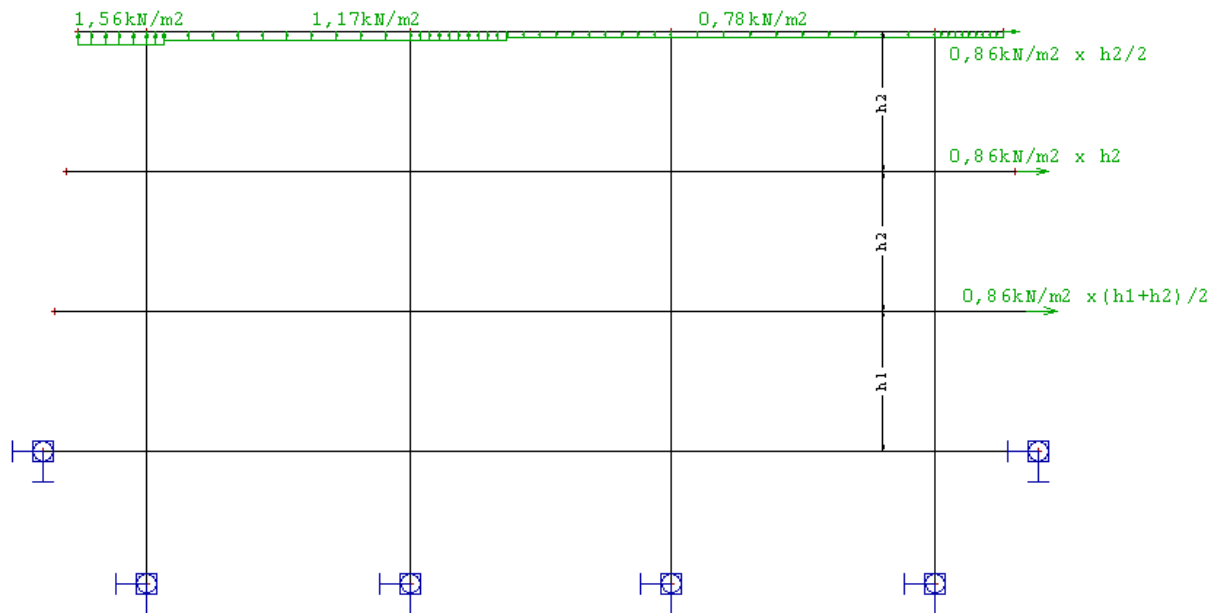


S6

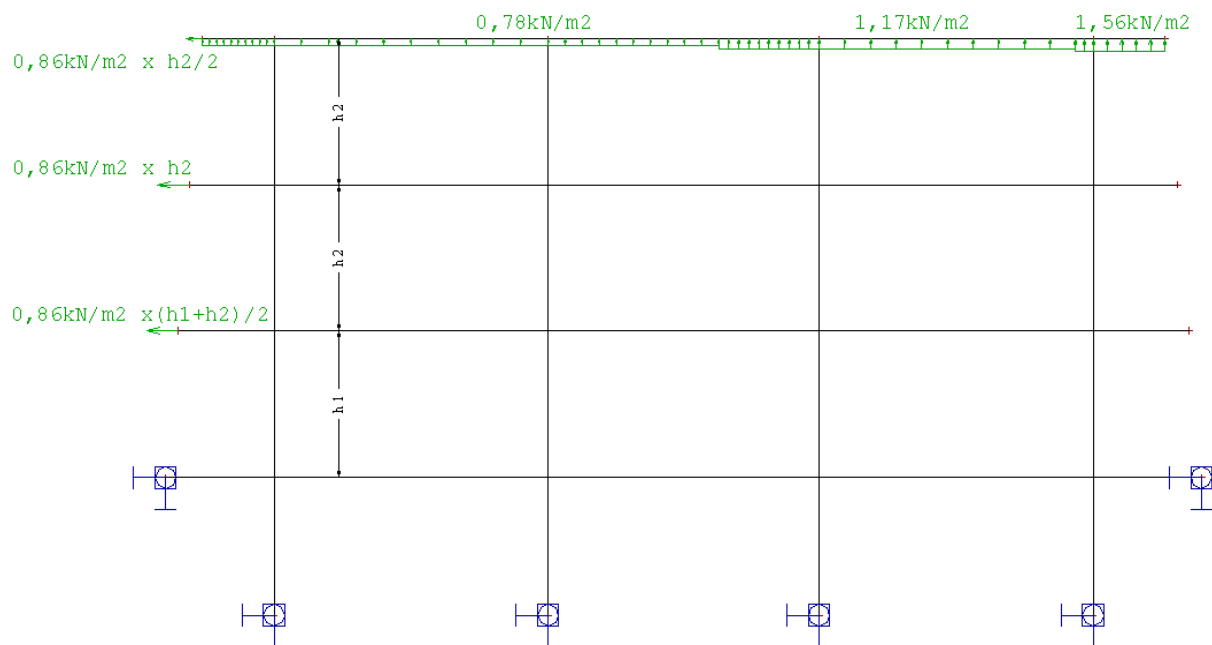


## OBTEŽBA Z VETEROM

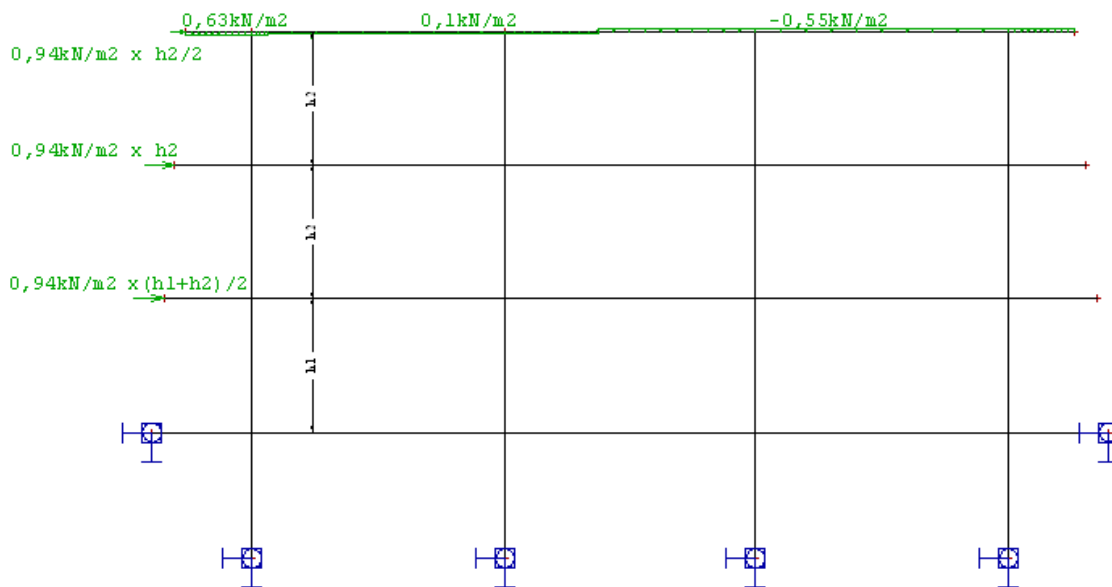
W



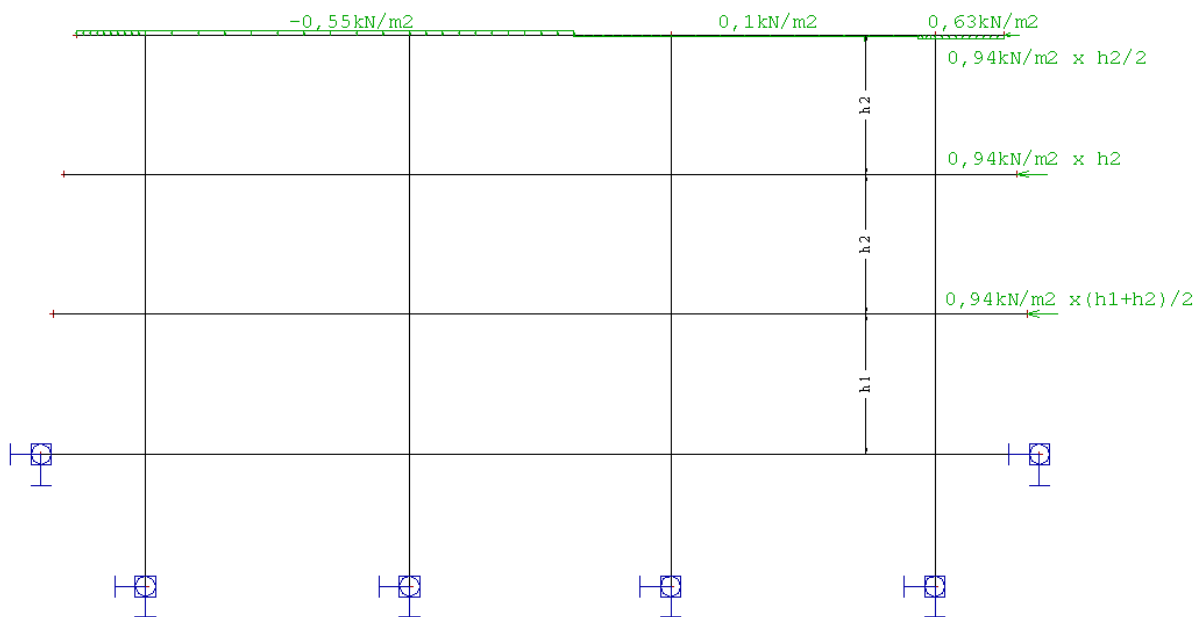
W1



W2



W3



## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 004.42:624.04(043.2)**

**Avtor: Vili Stojec**

**Mentor: izr. prof. dr. Tatjana Isaković**

**Naslov: Modeliranje in analiza poslovnega objekta s programoma SAP 2000 in ESA PT**

**Obseg in oprema: 78 str., 23 pregl., 69 sl., 1 priloga**

**Ključne besede: modeliranje, analiza, poslovni objekt, SAP 2000, ESA PT, primerjava**

### **Povzetek:**

V diplomski nalogi smo primerjali rezultate analize poslovnega objekta z računalniškima programoma SAP 2000 in ESA PT. Za analizo smo izbrali poslovni objekt, ki je zgrajen v okolici Velenja. Konstrukcijo smo analizirali za vpliv navpičnih obtežb in vplive vetra, v skladu z Evrokod standardi. Analizirani poslovni objekt smo modelirali s šestimi različnimi modeli, ki so se med seboj razlikovali po stopnjah poenostavitve. Upoštevali smo različne ravninske in ploskovne modele. Zanimalo nas je koliko različne poenostavitve modelov vplivajo na notranje sile v konstrukcijskih elementih. Za določitev notranjih sil v tipičnem stebri je zadostovala že analiza z najbolj enostavnimi ravninskimi modeli. V stebrih in stenah, v bližini stopnic, odprtih in drugih posebnosti v objektu, so bili za določitev notranjih sil, potrebni bolj natančni modeli. Vplive, ki smo jih določili z ravninskim modelom smo primerjali z rezultati prostorskih modelov, kjer je bila plošča modelirana s ploskovnimi elementi. V ta namen smo upogibne momente razdelili v prečni smeri v skladu s standardom Evrokod2 in DIN 1045. Razdelitev upogibnih momentov, v skladu z DIN 1045, se bolj ujema z razdelitvijo upogibnih momentov v bolj natančnih prostorskih modelih. Poleg samega računa so nas zanimale tudi razlike glede vnosa podatkov o konstrukciji in obtežbi, ter razlike pri analizi rezultatov. Ugotovili smo, da med programoma SAP 2000 in ESA PT večjih razlik v samih računih ni. Razlikujejo se predvsem v načinu vnosa podatkov in analizi rezultatov. SAP 2000 dopušča več možnosti pri vnosu podatkov, po drugi strani pa je vnos podatkov v ESA PT enostavnejši.

**BIBLIOGRAFIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION****UDC: 004.42:624.04(043.2)****Author: Vili Stojec****Supervisor: Assoc. prof. dr Tatjana Isaković****Title: Modeling and analysis of a office building using the computer programs SAP 2000 and ESA PT****Notes: 78 p., 23 tab., 69 fig., 1 ins.****Key words: modeling, analysis, office building, SAP 2000, ESA PT, comparison****Abstract:**

The aim of the diploma thesis was to compare the results of an analysis of a office building located in the suburbs of the town of Velenje, which was performed using the computer programs SAP 2000 and ESA PT. The building's load-bearing structure was analysed with respect to vertical loads and wind loadings, in accordance with the relevant Eurocode standards. Six different models, which varied according to the degree of simplification involved, were investigated. Various planar and plate element models were taken into consideration. The aim of the investigation was to determine the extent to which simplifying the model would affect the internal forces in the structural elements. For the determination of the internal forces in typical columns, analysis using the simplest planar model was sufficient. For columns and walls near stairs, openings, and other irregularities in the structure, more accurate models were required. The results which were obtained using the planar model were compared with the results obtained using the 3D models, where the building's slabs were modeled by means of plate elements. For this purpose, the bending moments were distributed in the transverse direction in accordance with the provisions of Eurocode 2 and of the DIN 1045 standard. The results obtained when the bending moments were distributed according to DIN 1045 were in better agreement with those obtained in the more accurate 3D models. Apart from the calculations themselves, the differences occurring in the input of the data about the structure and its loads, as well as the differences in the results obtained, were also studied. It was found that there was not a great deal of difference between the calculations made using the computer program SAP 2000, and those made using the program ESA PT. The main differences occur in the method of inputting the data, and in the results of the analyses. The computer program SAP 2000 permits more options in the data input process, whereas this process is easier in the case of the program ESA PT.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se vsem, ki so mi s svojim delom in nasveti pomagali pri izdelavi diplomske naloge, še posebej mentorju prof. dr. Tatjani Isaković.



**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OSNOVNE ZNAČILNOSTI PROGRAMOV SAP 2000 IN ESA PT .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.</b>	<b>Povzetek analize konstrukcije s programoma.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Kratek opis računalniškega programa SAP 2000.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Kratek opis računalniškega programa ESA PT.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije s programom SAP 2000 .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b>Določitev in vnos lastnosti ploskovnih elementov s programom SAP 2000.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Vnos osnovnih lastnosti konstrukcije s programom ESA PT .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.2.1</b>	<b>Določitev in vnos lastnosti ploskovnih elementov s programom ESA PT .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3</b>	<b>Vnos podatkov o obtežbah .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Lastna teža in stalna obtežba .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1.1</b>	<b>Lastna teža in stalna obtežba v SAP 2000.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1.2</b>	<b>Lastna teža in stalna obtežba v ESA PT .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Spremenljiva obtežba .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Obtežba s snegom in obtežba z vetrom .....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Kombinacije obtežb .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Analiza in prikaz rezultatov.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Analiza in prikaz rezultatov v SAP 2000 .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Analiza in prikaz rezultatov v ESA PT.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>OPIS KONSTRUKCIJE ANALIZERANEGA POSLOVNEGA OBJEKTA IN ANALIZA OBTEŽBE .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Opis konstrukcije .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Analiza obtežb .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Lastna teža in stalna obtežba .....</b>	<b>31</b>

3.2.1.1	Plošča nad kletjo .....	31
3.2.1.2	Plošča nad pritličjem .....	31
3.2.1.3	Plošča nad 1. nadstropjem .....	32
3.2.1.4	Plošča nad 2. nadstropjem .....	33
3.2.2	Koristna obtežba.....	34
3.2.2.1	Plošča nad kletjo, nad pritličjem in 1. nadstropjem.....	34
3.2.2.2	Plošča nad 2. nadstropjem .....	34
3.2.3	Obtežba snega [ Evrokod 1 ( EC1/1-3 ) ].....	34
3.2.4	Obtežba vetra [ Evrokod 1 ( EC1/1-4 ) ].....	35
4.	OPIS MODELOV KONSTRUKCIJE.....	39
4.1	Ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri – model I. ....	39
4.2	Ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi obodnimi stebri – model II..	40
4.3	Ravninski okvir, model s centrično povezanimi stebri in obodnimi stenami– model III. ....	41
4.4	Ravninski okvir, model z ekscentrično povezanimi obodnimi stebri in obodnimi stenami – model IV. ....	41
4.5	Prostorski model tipičnega okvirja .....	42
4.6	Prostorski model celotne konstrukcije .....	43
5	PRIMERJAVE MODELOV IN PRIMERJAVA REZULTATOV OBEH PROGRAMOV .....	45
5.2	Plošča nad pritličjem .....	46
5.3	Steber .....	62
6	ZAKLJUČEK .....	77

**VIRI** ..... **79**

**PRILOGE** ..... **81**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primer upogibnih momentov za lastno težo in stalno obtežbo izpisanih iz SAP 2000 in ESA PT. ....	46
Preglednica 2: Primer upogibnih momentov za obtežbo 10 kN/m <sup>2</sup> za vrtljivo podprto ploščo .....	49
Preglednica 3: Primer upogibnih momentov za obtežbo 10 kN/m <sup>2</sup> za ploščo, na sredini podprto s stebrom. ....	50
Preglednica 4: Upogibni momenti plošče nad pritličjem, lastne teže in stalne obtežbe.....	52
Preglednica 5: Upogibni momenti plošče nad pritličjem obtežbe fasade.....	55
Preglednica 6: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q .....	56
Preglednica 7: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q1 .....	57
Preglednica 8: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q2 .....	58
Preglednica 9: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q3 .....	58
Preglednica 10: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q4 .....	59
Preglednica 11: Upogibni momenti plošče nad pritličjem koristne obtežbe Q5 .....	60
Preglednica 12: Notranje sile stebrov lastne teže in stalne obtežbe .....	63
Preglednica 13: Notranje sile stebrov obtežbe fasade .....	64
Preglednica 14: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q1.....	65
Preglednica 15: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q4.....	66
Preglednica 16: Notranje sile stebrov koristne obtežbe Q5.....	67
Preglednica 17: Notranje sile stebrov obtežbe s snegom S .....	68
Preglednica 18: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W.....	69
Preglednica 19: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W2.....	70
Preglednica 20: Notranje sile stebrov obtežbe z vetrom W3.....	71
Preglednica 21: Notranje sile stebrov lastne teže in stalne obtežbe v kletni etaži.....	72
Preglednica 22: Izpis notranjih napetosti stene ob vpetju, s katerim smo izračunali upogibni moment, lastne teže in stalne obtežbe v kletni etaži.....	74
Preglednica 23: Izpis notranjih napetosti stene na vrhu, s katerim smo izračunali upogibni moment, lastne teže in stalne obtežbe v kletni etaži.....	74

**KAZALO SLIK**

Slika 2: Osnovno okno računalniškega programa SAP 2000.....	4
Slika 2.1: Osnovno okno računalniškega programa ESA PT.....	5
Slika 2.2: Pogovorno okno za določanje lastnosti materiala.....	6
Slika 2.3: Pogovorno okno za določanje prereza stebrov in prečk .....	6
Slika 2.4: Pogovorno okno za določanje togih povezav .....	7
Slika 2.5: Pogovorno okno za določanje ploskovnega elementa .....	7
Slika 2.6: Pogovorno okno za določanje pogledov .....	8
Slika 2.7: Pogovorno okno za določanje lastnosti materiala.....	9
Slika 2.8: Pogovorno okno za določanje prereza stebrov in prečk .....	9
Slika 2.9: Pogovorno okno za določanje ploskovnega elementa .....	10
Slika 2.10: Pogovorno okno za določanje Layer -jev .....	11
Slika 2.11: Definiranje obtežb v programa SAP 2000 .....	12
Slika 2.12: Definiranje obtežb v programa ESA PT .....	12
Slika 2.13: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000.....	13
Slika 2.14: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000 .....	13
Slika 2.15: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000.....	14
Slika 2.16: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000 .....	14
Slika 2.17: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	15
Slika 2.18: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	15
Slika 2.19: Primer določanja lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	16
Slika 2.20: Primer prikaza lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	16
Slika 2.21: Primer postavitve linijske koristne obtežbe v programu SAP 2000 .....	17
Slika 2.22: Primer postavitve linijske koristne obtežbe v programu ESA PT .....	17
Slika 2.23: Primer postavitve ploskovne koristne obtežbe v programu SAP 2000.....	18
Slika 2.24: Primer postavitve ploskovne koristne obtežbe v programu ESA PT.....	18
Slika 2.25: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ravninskega elementa v programu SAP 2000 .....	20

Slika 2.26: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000.....	20
Slika 2.27: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ploskovnega elementa v programu SAP 2000.....	21
Slika 2.28: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu SAP 2000.....	21
Slika 2.29: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ravninskega elementa v programu ESA PT.....	22
Slika 2.30: Primer rezultatov upogibnih momentov lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	22
Slika 2.31: Primer za prikaz rezultatov notranjih sil lastne teže in stalne obtežbe ploskovnih elementov v programu ESA PT.....	23
Slika 2.32: Primer rezultatov upogibnih momentov v prerezih, lastne teže in stalne obtežbe v programu ESA PT.....	23
Slika 3: Tloris kleti.....	25
Slika 3.1: Tloris pritličja.....	26
Slika 3.2: Tloris 1. Nadstropja.....	27
Slika 3.3: Tloris 2. Nadstropja.....	28
Slika 3.4: Tloris Strehe.....	29
Slika 3.5: Vzdolžni prerez.....	30
Slika 4.1: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela I.....	40
Slika 4.2: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela II.....	40
Slika 4.3: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela III.....	41
Slika 4.4: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove modela IV.....	42
Slika 4.5: Shematski prikaz konstrukcijske zasnove prostorskega modela tipičnega okvirja.....	42
Slika 4.6: Prikaz prostorskega modela celotne konstrukcije.....	43
Slika 4.7: Shematski prikaz izseka prostorskega modela celotne konstrukcije.....	44
Slika 5: Geometrijski položaj stebrov in plošč.....	45
Slika 5.1: Geometrijski položaj osi.....	46
Slika 5.2: Porazdelitev upogibnih momentov nad stebrom in v polju po EC2 ( 5.3.2.1 ).....	47
Slika 5.3: Porazdelitev upogibnih momentov nad stebrom in v polju po DIN.....	47
Slika 5.4: Model vrtljivo podprte plošče.....	48

---

Slika 5.5: Model plošče, na sredini podprto s stebrom .....	49
Slika 5.6: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2 .....	53
Slika 5.7: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 3 .....	53
Slika 5.8: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 4 .....	53
Slika 5.9: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 5 .....	54
Slika 5.10: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 6 .....	54
Slika 5.11: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 7 .....	54
Slika 5.12: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8 .....	55
Slika 5.13: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2 .....	55
Slika 5.14: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8 .....	56
Slika 5.15: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 3 .....	56
Slika 5.16: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 7 .....	57
Slika 5.17: Diagram upogibnih momentov v polju v osi 5 .....	57
Slika 5.18: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 4 .....	58
Slika 5.19: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 6 .....	59
Slika 5.20: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 2 .....	59
Slika 5.21: Diagram upogibnih momentov nad stebrom v osi 8 .....	60
Slika 5.22: Računalniški model stene za primer lastne teže in stalne obtežbe v SAP 2000 ....	73