

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,
Smer operativno gradbeništvo

Kandidat:

Miha Jereb

Projektiranje armiranobetonske stropne konstrukcije v montažnem armiranobetonskem objektu

Diplomska naloga št.: 349

Mentor:

doc. dr. Jože Lopatič

Somentor:

doc. dr. Sebastjan Bratina

Ljubljana, 5. 11. 2009

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani **MIHA JEREB** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»PROJEKTIRANJE ARMIRANOBETONSKE STROPNE KONSTRUKCIJE V
MONTAŽNEM ARMIRANOBETONSKEM OBJEKTU«**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 10.10.2009

Podpis:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.0112.45:624.07(043.2)
Avtor:	Miha Jereb
Mentor:	doc. dr. Jože Lopatič
Somentor:	doc. dr. Sebastjan Bratina
Naslov:	PROJEKTIRANJE ARMIRANOBETONSKE STROPNE KONSTRUKCIJE V ARMIRANOBETONSKEM MONTAŽNEM OBJEKTU
Obseg in oprema:	103 str., 53sl., 3 pregl.
Ključne besede:	diafragma, strop, dimenzioniranje, razpoke, pomiki

Izvleček:

Diplomska naloga obravnava projektiranje toge šipe (diafragme) v stropni konstrukciji v armiranobetonski montažni izvedbi ter dimenzioniranje elementov, ki so sestavni deli stropne konstrukcije na mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti skladno z evropskim standardom Evrokod, z izjemo prednapetih votlih plošč. Tlorisne dimenzije objekta znašajo 36,0 m krat 15,5 m, višina pa je 9,7 m. Skozi medetažno konstrukcijo poteka stopniščno jedro, ki je postavljeno ekscentrično. Vertikalni nosilni elementi so armiranobetonski stebri dimenzij 50/50 cm, ki so vpeti v AB točkovne čašaste temelje. Za nosilno konstrukcijo strehe so postavljeni AB dvokapni strešni nosilci. Medetažna stropna konstrukcija sestoji iz dveh polj prednapetih votlih plošč dolžine 7,5 m in debeline 0,2 m. Plošče nalegajo na obodne L nosilce, dimenzij 65/45 cm in na sredinske T nosilce dimenzij 80/60 cm.

Lokacija, na kateri se objekt nahaja je v Ljubljani, s projektnim pospeškom tal 0,25g, tla so kategorije B z nosilnostjo 250 kN/m². Vetrovna cona je 1, za projektno hitrost vetra vzamemo 25 m/s, kategorija tal pa je 3. Koristna obtežba je za vse površine enaka in sicer 3 kN/m². Nosilna konstrukcija je izdelana iz betona C 35/45 in armirana z jeklom S 500.

BIBLIOGRAPHY AND ABSTRACT

UDC:	624.0112.45:624.07(043.2)
Author:	Miha Jereb
Mentor:	Jože Lopatič, D. Sc, university lecturer
Co-mentor:	Sebastjan Bratina, D. Sc, university assistant
Title:	DESIGN OF REINFORCED CONCRETE FLOOR PANEL IN THE PRECAST CONCRETE STRUCTURE
Contents:	103 p., 52 fig., 3 tab.
Key words:	diaphragm, floor panel, designing, crackes, deflections

Abstract:

The thesis deals with projecting a horizontal floor diaphragm in a precast concrete structure in a reinforced concrete construction and designing all the elements which are part of the floor panel construction on a limit state of carrying and limit state of serviceability according to European standard Eurocode with an exception of prestressed hollow core concrete slabs. Ground plans of the structure are 36,0 m per 15,5 m, and the height is 9,7 m. The staircase core is eccentrically positioned through the floor construction. Vertical carrying elements are reinforced concrete columns with dimensions 50/50 cm which are installed in the reinforced concrete point pocket foundation. For the roof supporting construction we have positioned reinforced concrete double-pitch roof carriers. Floor panel construction consists of two fields of prestressed hollow core slabs whose length is 7,5 m and thickness 0,2 m. Slabs are supported by the L circumferential beams of dimensions 65/45 cm and by the mid T beams of dimensions 80/60 cm. The building location is in Ljubljana, with projecting ground acceleration 0,25g. The ground category is B with carrying capacity of 250 kN/m². Wind zone in the area is 1, for projecting wind speed we have taken 25 m/s, and the ground category is 3. Useful load is 3,0 kN/m² and is the same for all the surfaces. The carrying construction is made of concrete C 35/45 and reinforced with steel S 500.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Jožetu Lopatiču in somentorju doc. dr. Sebastjanu Bratini za usmerjanje in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Iskrena hvala tudi direktorju podjetja za projektiranje in gradbeni inženiring Sector d.o.o. Nova Gorica, g. Aleksandru Gaberščiku in g. Andreju Koglotu iz podjetja Projekt d.d. Nova Gorica, za vso pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi svojim staršem za podporo in spodbudo pri celotnem študiju.

KAZALO VSEINE

1	UVOD	1
2	OSNOVNI PODATKI O KONSTRUKCIJI	3
2.1	Opis konstrukcije	3
2.2	Računski model konstrukcije	4
2.3	Uporabljeni materiali	4
2.3.1	Beton C35/45	4
2.3.2	Jeklo za armiranje	5
2.4	Določitev potrebnega krovnega sloja betona	5
3	VPLIVI NA KONSTRUKCIJO	8
3.1	Stalni vplivi	8
3.1.1	Strešna plošča	8
3.1.2	Medetažna stropna konstrukcija	8
3.1.3	Stopniščno jedro	8
3.1.4	Fasada	9
3.2	Koristna obtežba	9
3.2.1	Strešna plošča	9
3.2.2	Medetažna stropna konstrukcija	9
3.2.3	Stopniščno jedro	9
3.3	Obtežba snega	9
3.4	Obtežba vetra	10
3.4.1	Karakteristični največji tlak, pri sunkih vetra (konicah)	11
3.4.2	Vplivi vetra na vertikalne površine	11
3.4.3	Vplivi vetra na streho	14
3.4.4	Razdelitev horizontalne obtežbe vetra v nivoju stropne konstrukcije za (y) smer	16
3.5	Potresni vplivi	17
3.5.1	Metoda z vodoravnimi silami	17
3.5.2	Projektni spekter	18
3.5.3	Tip konstrukcije in faktor obnašanja q	18
3.5.4	Račun mas po etažah	19

3.5.5	Celotna potresna sila	22
3.5.6	Razdelitev potresne sile po etažah	23
3.6	Sila, ki jo uporabimo za izračun diafragme	23
4	Projektiranje elementov medetažne stropne konstrukcije	24
4.1	POZ: N1– AB »E« nosilec b/h = 65/45 cm, C35/45, S500	24
4.1.1	Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti	25
4.1.2	Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti	34
4.2	POZ: N2 – AB »T« nosilec; b/h = 80/60cm; C 35/45; S500	40
4.2.1	Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti	41
4.2.2	Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti	47
4.2.3	Element pravokotnega prereza; b/h = 80/40 cm, brez prisotnosti koristne obtežbe	52
4.2.4	Element (T) prereza; b/h = 80/60 cm , s prisotnostjo koristne obtežbe	56
4.3	POZ: N3– AB »E« nosilec b/h = 50/50 cm, C35/45, S500	64
4.3.1	Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti	64
4.3.2	Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti	66
4.4	POZ: N4 – AB »T« nosilec v stopniščnem jedru; b/h/d =40/50/286; S500	72
4.4.1	Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti	74
5	Zagotavljanje potrebne osne togosti medetažne stropne konstrukcije	77
5.1	Določitev horizontalnih reakcij v diafragmi na podlagi togosti vertikalnih Elementov, ki se upirajo horizontalni obtežbi	79
5.2	Diagram momentov in prečnih sil v diafragmi	84
5.3	Dimenzioniranje diafragme	85
6	ZAKLJUČEK	90
	VIRI	92
	GRAFIČNE PRILOGE	93

KAZALO SLIK

Slika 1: Računski model konstrukcije	4
Slika 2: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri	12
Slika 3: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri, na stene ki so vzporedne z smerjo vetra	12
Slika 4: Področja pri obtežbi z vetrom v y smeri	13
Slika 5: Področja pri obtežbi z vetrom v y smeri na stene, ki so vzporedne s smerjo vetra	13
Slika 6: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri na streho	14
Slika 7: Področja pri obtežbi z vetrom v y smeri na streho	15
Slika 8: Sodelujoči »masni deleži« za obe etaži pri določitvi pripadajočih potresnih sil in referenčna površina vetra, ki odpade na stropno konstrukcijo	16
Slika 9: Spoj med obodnim nosilcem in PVP ploščo	25
Slika 10: Računski model in obremenitve nosilca	25
Slika 11: Zunanji rob torzijsko učinkovitega prečnega prereza in razdalja od prijemališča sile, ki povzroča torzijo do osi	27
Slika 12: Mehanizem delovanja z razporami in vezmi	29
Slika 13: Skica stremenske armature v nosilcu	31
Slika 14: Modeliranje območja nosilca ob ležišču	31
Slika 15: Skica glavne natezne armature v območju ležišča nosilca	33
Slika 16: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune za MSU	34
Slika 17: Težišče nosilca	35
Slika 18: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	36
Slika 19: Osnova za pridobivanje nove lege nevtralne osi razpokanega prereza z vplivom lezenja	37
Slika 20: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	38
Slika 21: Spoj med sredinskim nosilcem in PVP ploščami	40
Slika 22: Računski model in obremenitve nosilca	41
Slika 23: Reduciranje prečne sile ob podpori, zaradi direktnega prenosa v podporo	42
Slika 24: Zunanji rob torzijsko učinkovitega prereza z ekscentrično prisotnostjo koristne obtežbe	43
Slika 25: Mehanizem delovanja z razporami in vezmi	45
Slika 26: Skica strižne armature	47

Slika 27: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU	48
Slika 28: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	49
Slika 29: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	51
Slika 30: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU	52
Slika 31: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	53
Slika 32: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	54
Slika 33: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU	57
Slika 34: Težišče prereza	58
Slika 35: Izračun lege nevtralne osi	58
Slika 36: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	59
Slika 37: Izračun lege nove nevtralne osi v razpokanem prerezu	61
Slika 38: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	61
Slika 39: Spoj med obodnim nosilcem in PVP ploščo, ki e prenaša obtežbe na nosilec	64
Slika 40: Računski model in obremenitve nosilca	65
Slika 41: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU	67
Slika 42: Težišče prereza	68
Slika 43: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	68
Slika 44: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu	70
Slika 45: Nosilec, na katerega se naslanjajo PVP plošče in stopniščna rama	72
Slika 46: Računski model in obremenitve nosilca	73
Slika 47: Razdalja, kjer ima moment maksimalno vrednost	74
Slika 48: Prikaz horizontalne obtežbe in vertikalnih elementov, ki obtežbo prenašajo	77
Slika 49: Diagram momentov in prečnih sil v etažni diafragmi	84
Slika 50: Postavitev strižnih in nateznih armaturnih palic v stropni konstrukciji	85
Slika 51: Detajli spoja med obodnimi nosilci in PVP ploščami v stropni konstrukciji	88
Slika 52: Detajli spoja med sredinskim nosilcem in PVP ploščami v stropni konstrukciji	89

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Najmanjša debelina krovnega sloja	5
Preglednica 2: Potresne sile v i-ti etaži	23
Preglednica 3: Horizontalne reakcije vertikalnih elementov v diafragmi	79

1 UVOD

Dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij zahteva veliko mero znanja ter razumevanja različnih predpisov in standardov.

V diplomski nalogi prikažemo projektiranje montažne stropne konstrukcije kot toge šipe oziroma diafragme v svoji ravnini. Stropna konstrukcija je del montažne hale, ki ima poleg pritličja še eno etažo. Potrebno togost medetažne stropne konstrukcije v svoji ravnini dosežemo s projektiranjem ustreznih veznih elementov. V diplomski nalogi prikažemo tudi projektiranje posameznih elementov montažne stropne konstrukcije skladno z določili evropskih standardov Evrokod. Pri tem pa ne dimenzioniramo prednapetih votlih plošč, pač pa povzamemo podatke o nosilnosti, ki jih podaja proizvajalec.

Pri zagotavljanju ustrezne togosti montažne stropne konstrukcije nad pritličjem na podlagi modela toge šipe uporabimo postopek, ki je predstavljen v knjigi *Precast Concrete Structures* (S. Elliot, 2002)

Bistvena značilnost, ki razlikuje montažni način gradnje od monolitnega je, da se pri montažni gradnji na gradbišče pripelje že vnaprej izdelane montažne elemente s katerimi sestavimo stropno konstrukcijo. Zaradi tega odpade potreba po izdelavi ustreznih opažev na gradbišču, prav tako pa ni potrebno čakati, da beton doseže zadostno trdnost preden nadaljujemo z gradnjo objekta, saj se betoniranje na gradbišču pri montažni gradnji omeji zgolj na območja stikov med elementi. Iz ekonomskega vidika to pomeni, da je objekt bistveno prej predan v uporabo. Kar se tiče projektantskega vidika pa mora biti v analizi objekta predvidena ustrezna povezanost oziroma spojenost montažnih elementov med seboj in sicer na tak način, da bo konstrukcija delovala kot celota ter brez nevarnosti poškodb prevzemala predvidene obremenitve.

Stabilnost montažnih armiranobetonskih konstrukcij zagotavljamo tudi z ustreznim prenosom vodoravne obremenitve, ki je posledica bodisi potresnih vplivov ali pa vplivov obtežbe vetra v navpične strižne stene in okvirje in sicer preko medetažnih stopov oziroma preko strešne konstrukcije. Pri tem običajno predpostavimo, da je posamezna stropna konstrukcija neskončno toga v svoji ravnini ter da je njena togost pravokotno na ravnino zanemarljiva. Takšna predpostavka pa velja predvsem za monolitne, dovolj masivne stropne konstrukcije, medtem ko pri stropu, ki ga sestavimo iz posameznih montažnih elementov predpostavka o

neskončni osni togosti ne velja. Potrebno togost montažnega stropa zagotovimo šele z ustreznimi povezavami med elementi stropa ter stenami in okvirji.

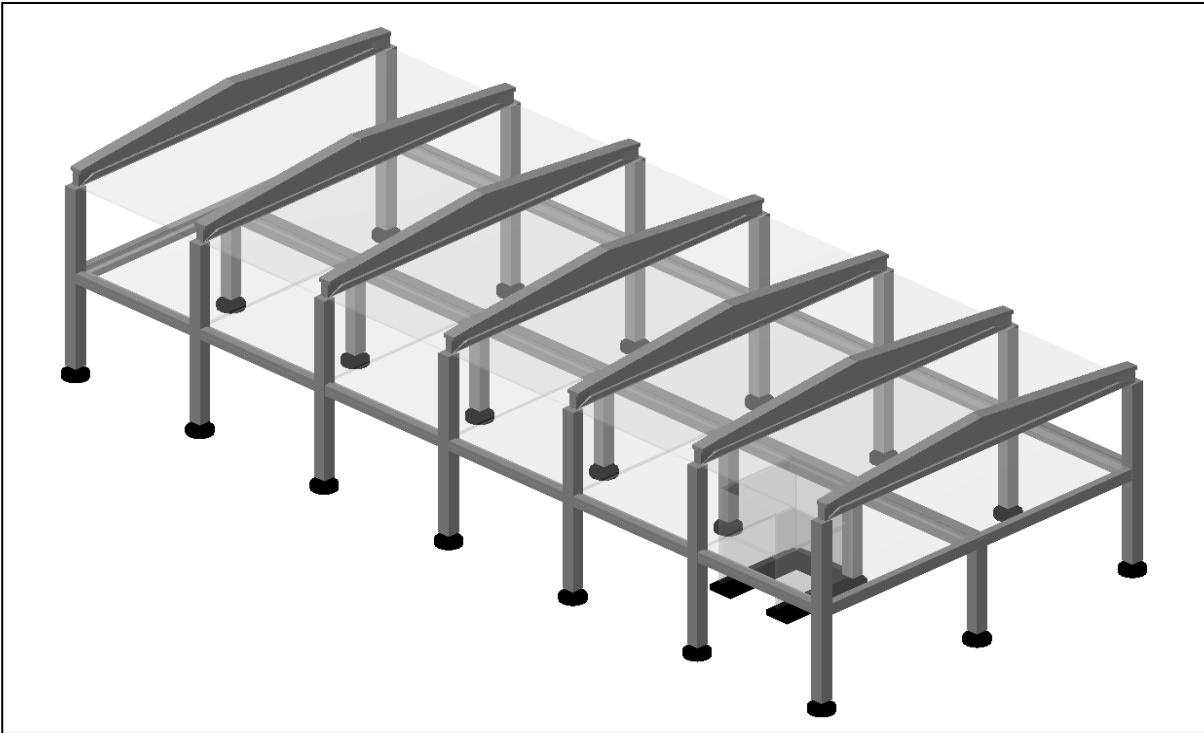
Diplomska naloga ima poleg uvoda še pet poglavij. V drugem poglavju podajamo osnovne podatke o konstrukciji. Konstrukcijo podrobneje opišemo, prikažemo računski model ter podatke o uporabljenih materialih. V tretjem poglavju predstavimo vse vplive, ki delujejo na konstrukcijo. To so stalni in koristni vplivi, vplivi snega in vetra ter potresni vplivi. V četrtem poglavju prikazujemo projektiranje elementov medetažne stropne konstrukcije in sicer nosilce na katere se prednapete votle plošče naslanjajo. Nosilci potekajo po celotnem obodu stropne konstrukcije, po sredini in na mestu stopniščnega jedra. V petem poglavju prikazujemo projektiranje veznih elementov v stropu s katerimi zagotovimo potrebno osno togost montažne stropne konstrukcije. Na koncu podajamo zaključke.

2. OSNOVNI PODATKI O KONSTRUKCIJI

2.1 Opis konstrukcije

Gre za tipično halo v montažni izvedbi. Hala ima poleg pritličja še eno etažo. Tlorisne dimenzije so 36,0 m za 15,5 m v višino pa meri 9,7 m. Poleg sten v stopniščnem jedru, ki dosegajo višino stropne konstrukcije cca 4,0 m in so dimenzij $a/b = 20/375$ cm in $/b = 20/286$ cm so za vertikalne nosilne elemente postavljeni armiranobetonski stebri dimenzij 50/50 cm. Višina obodnih stebrov je 7,9 m sredinskih pa 3,8 m. Raster stebrov je 6,0 m v smeri daljše stranice hale in 7,5 m v smeri krajše stranice. Na sredinske stebre so položeni T nosilci dimenzij $b/h = 80/60$ cm, kateri z obeh strani nudijo ustrezno ležišče PVP ploščam. Obodni stebri pa so medsebojno povezani z L nosilci dimenzij $b/h = 65/45$ cm, ki prav tako nudijo ustrezno ležišče za PVP plošče in potekajo le po daljših stranicah hale. Po krajših stranicah hale, pa se na obodu nahajajo nosilci dimenzij $b/h = 50/50$ cm, ki pa ne prevzemajo obtežbe PVP plošč, saj slednje prenašajo svojo obtežbo le v eni smeri. Na obodne stebre se na vrhu naslanjajo tudi armiranobetonski strešni dvokapni nosilci kot glavni nosilni elementi strešne konstrukcije. Dvokapni nosilci merijo v dolžino 15,5 m njihova največja (sredinska) višina pa je 143 cm. Stebri so vpeti v točkovne čašaste temelje tlorisnih dimenzij $a/b = 2,5/2,5$ m, debeline 0,5 m in višino čaše 1,0 m. Uporabljeni materiali so beton C 35/45 za vse elemente, razen za temelje je uporabljen C 25/30 in jeklo S 500.

2.2 Računski model konstrukcije



Slika 1: Računski model konstrukcije

2.3 Uporabljeni materiali

2.3.1 Beton C35/45

karakteristična tlačna trdnost: $f_{ck} = 3,5 \text{ kN/cm}^2$

povprečna natezna trdnost: $f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$

modul elastičnosti: $E_{cm} = 3400 \text{ kN/cm}^2$

specifična gostota: $\gamma = 25 \text{ kN/cm}^3$

Poissonov količnik: $\nu = 0,2$

Pri projektiranju na mejno stanje nosilnosti moramo za beton uporabiti varnostni faktor za material: $\gamma_c = 1,5$.

projektna tlačna trdnost: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{3,5 \text{ kN/cm}^2}{1,5} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$

2.3.2 Jeklo za armiranje

karakteristična meja elastičnosti: $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$

natezna trdnost: $f_t = f_{yk} = 40 \text{ kN/cm}^2$

projektna vrednost modula elastičnosti: $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$

gostota jekla: $\rho_s = 7850 \text{ kg/m}^3$

Pri projektiranju na mejno stanje nosilnosti moramo za jeklo uporabiti varnostni faktor za material: $\gamma_s = 1,15$.

projektna natezna trdnost: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50 \text{ kN/cm}^2}{1,15} = 43,48 \text{ kN/cm}^2$

2.4 Določitev potrebnega krovnega sloja betona

Krovni sloj betona je razdalja od skrajnega jeklenega elementa (palice, stremena), do površine betona. Največji premer uporabljene palice: $\phi^R = 22 \text{ mm}$

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

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

1. $c_{\text{min,b}}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprijemnosti
2. $c_{\text{min,dur}}$ najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja
3. $\Delta c_{\text{dur,\gamma}}$ dodatni varnostni sloj
4. $\Delta c_{\text{dur,st}}$ zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla
5. $\Delta c_{\text{dur,add}}$ zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite

1.Najmanjša debelina krovnega sloja glede na zahteve sprijemnosti

Preglednica 1: Najmanjša debelina krovnega sloja

Razvrstitev palic	Najmanjša deb. krovnega sloja ($c_{\text{min,b}}$)
<i>Posamična</i>	<i>premer palice</i>
<i>V svežmjih</i>	<i>nadomestni premer ϕ_n</i>

$$\phi_n = \phi \cdot \sqrt{n_b} \leq 55 \text{ mm}; \quad \phi_b = \text{št. palicv svežnju}; \quad \text{max 4 na območju preklpov, sicer max 3.}$$

Če je nazivni premer največjega zrna agregata večji od 32 mm se $c_{\min,b}$ poveča za 5mm

2. Najmanjša debelina krovnega sloja glede na pogoje okolja – razred izpostavljenosti in razred konstrukcije

Odčitki iz preglednic v standardu:

. klasifikacija iz preglednice 4.1: XC1 – suho ali trajno mokro

⇒ preglednica 4.3 ⇒ razred izpostavljenosti v preglednici 4.4N znižammo za 1

⇒ preglednica 4.4N ⇒ X0 je že najmanjši razred ⇒ S4 (X0) = 10mm

$$c_{\min,dur} = 10 \text{ mm}$$

3. Dodatni varnostni sloj

priporočena vrednost: $\Delta c_{dur,\gamma} = 0,0 \text{ mm}$

4. Zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi nerjavnega jekla

priporočena vrednost: $\Delta c_{dur,st} = 0,0 \text{ mm}$

5. Zmanjšanje najmanjše debeline krovne plasti pri uporabi dodatne zaščite

priporočena vrednost: $\Delta c_{dur,add} = 0,0 \text{ mm}$

Odstopanje debeline krovnega sloja pri projektiranju (Δc_{dev}):

Priporočeno:

-Povečanje:

- splošno: $\Delta c_{dev} = +10 \text{ mm}$

-Zmanjšanje:

- kadar je proizvodnja vključena v sistem kontrole kakovosti: $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 5 \text{ mm}$

- vnaprej izdelani (prefabricirani) elementi: $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$

Za naš primer velja:

1. $c_{\min,b} = 22 \text{ mm}$

2. klasifikacija iz preglednice 4.1: XC1 – suho ali trajno mokro

⇒ preglednica 4.3 ⇒ razred izpostavljenosti v preglednici 4.4N znižammo za 1

⇒ preglednica 4.4N ⇒ X0 je že najmanjši razred ⇒ S4 (X0) = 10mm

$$c_{\min,dur} = 10 \text{ mm}$$

$$3. \Delta c_{dur,\gamma} = 0,0 \text{ mm}$$

$$4. \Delta c_{dur,st} = 0,0 \text{ mm}$$

$$5. \Delta c_{dur,add} = 0,0 \text{ mm}$$

$$\text{Izberemo: } \Delta c_{dev} = 5,0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow c_{min} = \max c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}$$

$$c_{min} = \max 22 \text{ mm}; 10\text{mm} + 0 \text{ mm} - 0 \text{ mm} - 0 \text{ mm}; 10 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 22 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{nom} = 22 + 5 = 27 \text{ mm} \Rightarrow \text{izberem } 3 \text{ cm} - \text{ dejanski krovni sloj}$$

3 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO

Skladno z evropskimi standardi Evrokod lahko vplive na konstrukcijo razdelimo v tri sklope in sicer na stalne, spremenljive ter potresne vplive. Pri obravnavani montažni hali kot spremenljive vplive upoštevamo koristno obtežbo stropov, obtežbo snega na strehi ter vpliv vetra. V nadaljevanju podrobneje predstavimo vse omenjene vplive.

3.1 Stalni vplivi

3.1.1 Strešna plošča: $\alpha \cong 15^{\circ}$

- »Sika« strešna kritina (HI).....0,1 kN/m²
 - PVC
 - toplotna izolacija –15cm..... 0,15 m · 1,0 kN/m³ = 0,15 kN/m²
 - AB strešni elementi – 8,5cm..... 0,085 m · 25 kN/m³ = 2,125 kN/m²
- $g = 2,375 \text{ kN/m}^2$

3.1.2 Medetažna stropa konstrukcija:

- keramične ploščice – 2cm..... 0,02 m · 25 kN/m³ = 0,5 kN/m²
 - armirani estrih – 5cm..... 0,05 m · 25 kN/m³ = 1,25 kN/m²
 - PVC
 - toplotna izolacija – 10cm..... 0,1 m · 1,0 kN/m³ = 0,1 kN/m²
 - prednapeta plošča – 20cm..... 3,46 kN/m²
- $g = 5,31 \text{ kN/m}^2$

3.1.3 Stopniščno jedro:

Stopniščna rama:

- naravni kamen – 2cm..... 0,44 m · 0,02 m · 27 kN/m³ · 1/0,24 m = 1,0 kN/m²
- stopnice 24 x 20cm..... 0,2 m · 0,24 m · 0,5 · 25 kN/m³ · 1/0,24 m = 2,5 kN/m²

- AB plošča – 15cm..... $0,15 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot (1/\cos 39,8^\circ) = 4,88 \text{ kN/m}^2$
 $g = 8,4 \text{ kN/m}^2$

Podest:

- naravni kamen – 2cm..... $0,44 \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 27 \text{ kN/m}^3 \cdot 1/0,24 \text{ m} = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- AB plošča – 20cm..... $0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- omet – 2cm..... $0,02 \text{ m} \cdot 27 \text{ kN/m}^3 = 0,54 \text{ kN/m}^2$
 $g = 6,54 \text{ kN/m}^2$

3.1.4 Fasada:

- omet – 4cm $0,04 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 0,72 \text{ kN/m}^2$
- modularni blok – 19cm..... $0,19 \text{ m} \cdot 13,5 \text{ kN/m}^3 = 2,56 \text{ kN/m}^2$
- toplotna izolacija – 10cm..... $0,1 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ kN/m}^3 = 0,1 \text{ kN/m}^2$
- PVC
 $g_F = 3,385 \text{ kN/m}^2$

3.2 Koristna obtežba

3.2.1 Strešna plošča: $\alpha \cong 15^\circ$

- $q = 0,0 \text{ kN/m}^2$

3.2.2 Medetažna stropa konstrukcija:

- $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

3.2.3 Stopniščno jedro:

- $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

3.3 Obtežba snega

Lokacija: Ljubljana, nadmorska višina: A=298m (A2)

Obtežba snega na strehi za trajna / začasna projektna stanja:

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

μ_i - oblikovni koeficient snega $\mu_i = 0,8$

C_e - koeficient izpostavljenosti $C_e = 1,0$

C_t - toplotni koeficient $C_t = 1,0$

s_k - karakteristična obtežba snega na tleh

$$A_2 : s_k = 1,293 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] \quad s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,51 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k = 1,293 \cdot \left[1 + \left(\frac{298}{728} \right)^2 \right] \quad \underline{s = 1,21 \text{ kN/m}^2}$$

$$s_k = 1,51 \text{ kN/m}^2$$

3.4 Obtežba vetra

Objekt se nahaja na vetrovni coni 1, s projektno hitrostjo vetra $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$ na terenu 3

kategorije, kjer je višina hrapavosti ozirama neravnine $z_0 = 0,3$ in minimalna višina nad tlemi,

kjer je hitrost vetra konstantna pa je $z_{\min} = 5,0 \text{ m}$

Osnovna hitrost vetra:

$$v_b = C_{\text{dir}} \cdot C_{\text{season}} \cdot v_{b,0} \quad C_{\text{dir}} = 1,0 ; C_{\text{season}} = 1,0 \quad \text{priporočene vrednosti}$$

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 \text{ m/s}$$

$$\underline{v_b = 25 \text{ m/s}}$$

Referenčna višina z_e :

X – smer:

$$h = 7,9 \text{ m} < b = 36,5 \text{ m} \Rightarrow z_e = h = 7,9 \text{ m}$$

Y – smer:

$$h = 9,33 \text{ m} < b = 15,5 \text{ m} \Rightarrow z_e = h = 9,33 \text{ m}$$

3.4.1 Karakteristični največji tlak, pri sunkih vetra (konicah) q_p

$$q_p = C_{e,c} \cdot q_b$$

Osnovni tlak vetra:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (25 \text{ m/s})^2 = 390,6 \text{ kg/ms}^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Odčitki iz diagrama faktorja izpostavljenosti $c_e(z)$: za $c_0 = 1,0$ in $k_1 = 1,0$

$c_0 = 1,0$ - faktor hribovitosti, se lahko zanemari, če je privettni teren nagnjen za manj od 3^0

$k_1 = 1,0$ - faktor turbolence (priporočena vrednost)

X – smer: $z_e = 7,9 \text{ m}$; kategorija tal: 3 $\Rightarrow C_e = 1,5$

Y – smer: $z_e = 9,33 \text{ m}$; kategorija tal: 3 $\Rightarrow C_e = 1,65$

$$q_{p,x} = 1,5 \cdot 0,391 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{p,y} = 1,65 \cdot 0,391 \text{ kN/m}^2$$

$$\underline{q_{p,x} = 0,59 \text{ kN/m}^2}$$

$$\underline{q_{p,y} = 0,63 \text{ kN/m}^2}$$

3.4.2 Vplivi vetra na vertikalne površine

Notranji tlak: *posplošitev*

krajevni koeficienti notranjega tlaka:

za pritisk $\rightarrow C_{p,i} = +0,2$

$$w_i = q_p \cdot C_{p,i}$$

za srk $\rightarrow C_{p,i} = -0,3$

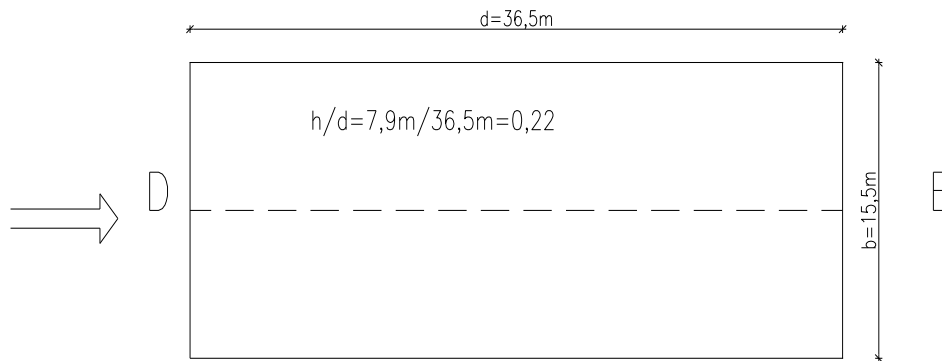
Pritisk $\rightarrow w_p = 0,63 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,2 = 0,13 \text{ kN/m}^2$

Srk $\rightarrow w_s = 0,63 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,3) = -0,19 \text{ kN/m}^2$

Zunanji tlak:

X – smer

Privetrna in zavetrna stran:



Slika 2: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri

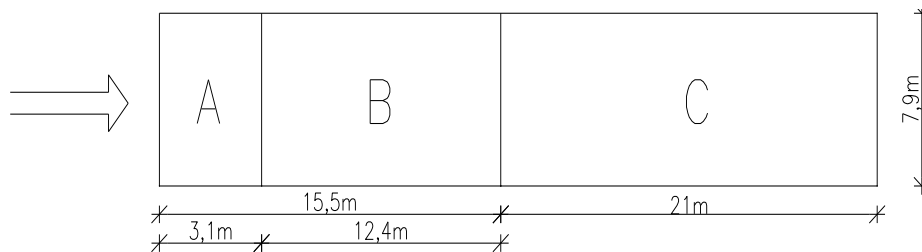
$$C_{pe,D} = 0,7 \rightarrow 0,7 \cdot 0,85 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = 0,35 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,E} = -0,3 \rightarrow -0,3 \cdot 0,85 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,15 \text{ kN/m}^2$$

Stran, ki je vzporedna z vetrom:

$$e = \min \begin{cases} b = 15,5 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 7,9 \text{ m} = 15,8 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow e = 15,5 \text{ m} ; d = 36,5 \text{ m}$$

e < d



Slika 3: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri, na stene ki so vzporedne z smerjo vetra

$$d - e = 36,5 \text{ m} - 15,5 \text{ m} = 21 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = \frac{15,5 \text{ m}}{5} = 3,1 \text{ m} \qquad \frac{4}{5} \cdot e = \frac{4}{5} \cdot 15,5 \text{ m} = 12,4 \text{ m}$$

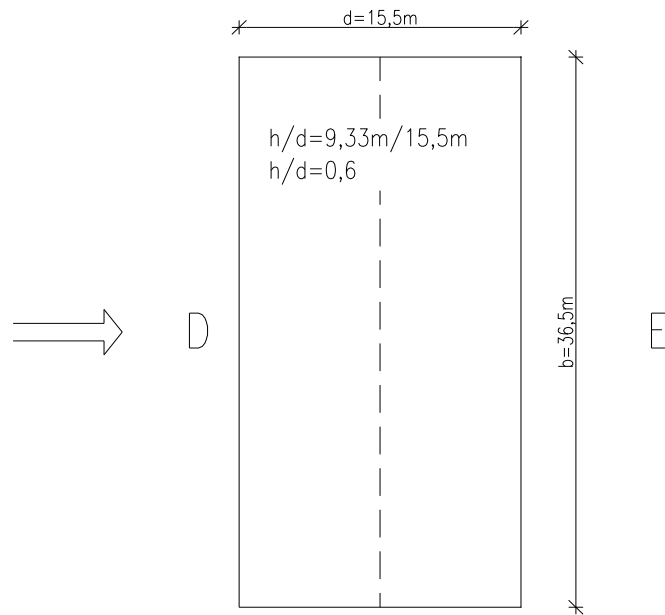
$$C_{pe,A} = -1,2 \rightarrow -1,2 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,71 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,B} = -0,8 \rightarrow -0,8 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,C} = -0,5 \rightarrow -0,5 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,3 \text{ kN/m}^2$$

Y – smer

Privetrna in zavetrna stran:



Slika 4: Področja pri obtežbi z vetrom v y smeri

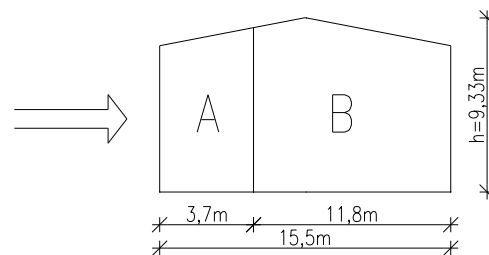
$$C_{pe,D} = 0,8 \rightarrow 0,8 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,E} = -0,5 \rightarrow 0,5 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,32 \text{ kN/m}^2$$

Stran, ki je vzporedna z vetrom:

$$e = \min \begin{cases} b = 36,5 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 9,33 \text{ m} = 18,66 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow e = 18,7 \text{ m} ; d = 15,5 \text{ m}$$

$$\underline{e > d}$$



Slika 5: Področja pri obtežbi z vetrom v y smeri na stene, ki so vzporedne s smerjo vetra

$$\frac{e}{5} = \frac{18,7 \text{ m}}{5} = 3,7 \text{ m}$$

$$d - \frac{e}{5} = 15,5 \text{ m} - 3,7 \text{ m} = 11,8 \text{ m}$$

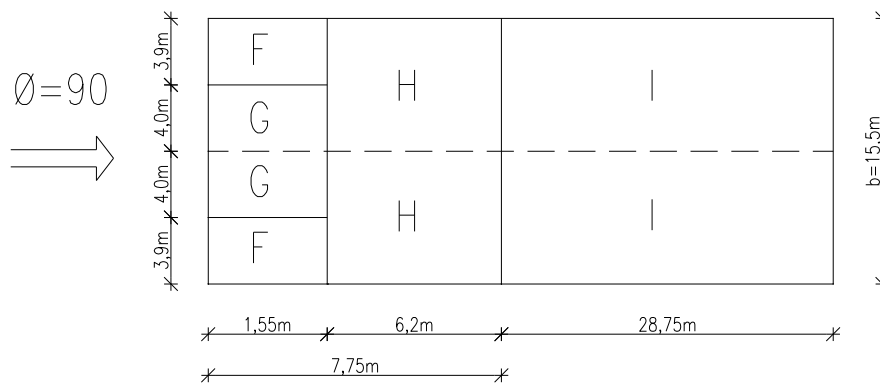
$$C_{pe,A} = -1,2 \rightarrow -1,2 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,B} = -0,8 \rightarrow -0,8 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,5 \text{ kN/m}^2$$

3.4.3 Vplivi vetra na streho

X – smer

$$e = \min \begin{cases} b = 15,5 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 9,33 \text{ m} = 18,66 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow e = 15,5 \text{ m}$$



Slika 6: Področja pri obtežbi z vetrom v x smeri na streho

$$\frac{e}{4} = \frac{15,5 \text{ m}}{4} = 3,9 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{15,5 \text{ m}}{10} = 1,55 \text{ m}$$

$$; \quad \frac{e}{2} = \frac{15,5 \text{ m}}{2} = 7,75 \text{ m}$$

$$\alpha \cong 15^\circ$$

$$C_{pe,F} = -1,3 \rightarrow -1,3 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,77 \text{ kN/m}^2$$

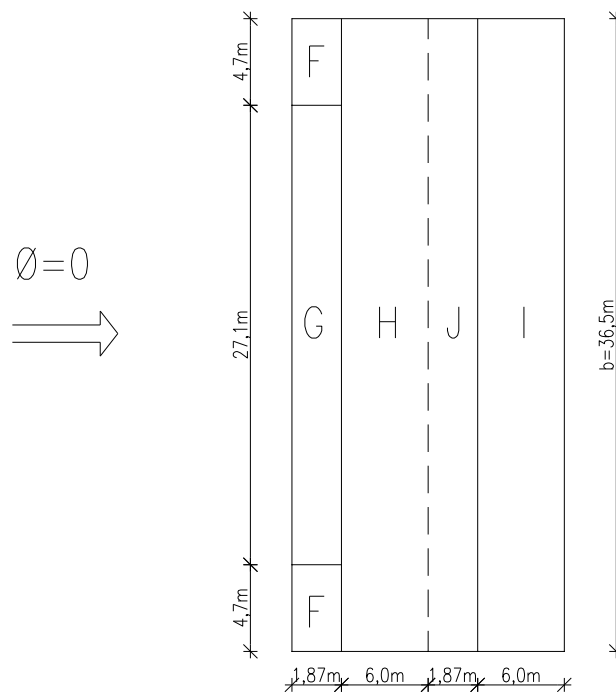
$$C_{pe,G} = -1,3 \rightarrow -1,3 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,77 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,H} = -0,6 \rightarrow -0,6 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,35 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,I} = -0,5 \rightarrow -0,5 \cdot 0,59 \text{ kN/m}^2 = -0,3 \text{ kN/m}^2$$

Y – smer

$$e = \min \begin{cases} b = 36,5 \text{ m} \\ 2h = 2 \cdot 9,33 \text{ m} = 18,66 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow e = 18,7 \text{ m}$$



Slika 7: Področja pri obtežbi z vetrom v smeri na streho

$$\frac{e}{4} = \frac{18,7 \text{ m}}{4} = 4,7 \text{ m} \quad ; \quad \frac{e}{2} = \frac{18,7 \text{ m}}{2} = 9,4 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{18,7 \text{ m}}{10} = 1,87 \text{ m}$$

$$\alpha \cong 15^\circ$$

$$C_{pe,F} = -0,9 \rightarrow -0,9 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,F} = 0,2 \rightarrow 0,2 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,G} = -0,8 \rightarrow -0,8 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,G} = 0,2 \rightarrow 0,2 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,H} = -0,3 \rightarrow -0,3 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,19 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,H} = 0,2 \rightarrow 0,2 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = 0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,I} = -0,4 \rightarrow -0,4 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$C_{pe,J} = -1,0 \rightarrow -1,0 \cdot 0,63 \text{ kN/m}^2 = -0,63 \text{ kN/m}^2$$

Stropna konstrukcija mora poleg drugih obremenitev prenašati tudi horizontalne obremenitve in pri tem ohranjati želeno togost v svoji ravnini.

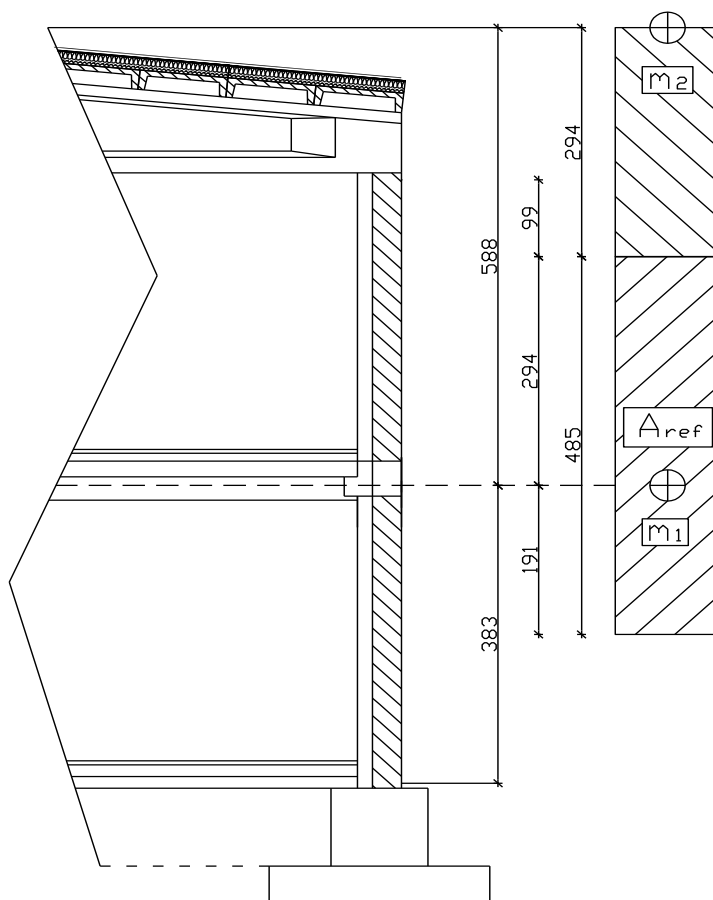
Za vzpostavitev toge šipe (diafragme) je merodajna največja horizontalna obtežba, ki deluje na konstrukcijo. Z namenom pridobitve le-te nas zanima horizontalna obtežba zaradi vetra, ki odpade na obravnavano montažno ploščo in kasneje še potresna obremenitev. Po pridobitvi obeh, obravnavamo le večjo in nato lahko pričnemo z pridobivanjem notranjih sil in napetosti in končno z dimenzioniranjem.

Z omenjeno obtežbo obremenimo le daljšo stranico objekta, saj je le-ta merodajna. Ugotoviti moramo torej, velikost horizontalne linijsko razporejene obtežbe vetra le v (y) smeri in le v nivoju obravnavane stropne konstrukcije.

3.4.4 Razdelitev horizontalne obtežbe vetra v nivoju stropne konstrukcije za (y) smer

Maksimalna obtežba zaradi vetra je:

$$\sigma_{\text{vetra},y} = 0,5 + 0,32 = 0,82 \text{ kN/m}^2 \dots \text{glej sliko v nadaljevanju}$$



Slika 8: Sodelujoči »masni deleži« za obe etaži pri določitvi pripadajočih potresnih sil in referenčna površina vetra, ki odpade na stropno konstrukcijo

$$\sigma_{\text{vetra}} = 0,82 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,85 \text{ m} = 3,97 \text{ kN/m}$$

3.5 Potresni vplivi

3.5.1 Metoda z vodoravnimi silami

Za določitev potresne obtežbe poznamo več vrst analiz. Nekatere, kot denimo modalna analiza, so natančnejše in zato primerne za vse tipe konstrukcij. Metoda z vodoravnimi silami, kot smo jo tukaj uporabili, je ena izmed poenostavljenih metod in zato manj natančna. Ta analiza se lahko uporablja za konstrukcije, kjer višje nihajne oblike ne vplivajo pomembno na odziv. Pri tem morata biti izpolnjena dva pogoja. Prvi pogoj je, da imajo osnovne nihajne čase T_1 v dveh glavnih smereh manjše od 2 sekund. Drugi pogoj pa je, da ustrezajo kriterijem za pravilnost po višini (jedra, stene in okvirji potekajo neprekinjeno od temeljev do vrha stavbe, masa in togost sta konstantni oz. ni nenadnih sprememb...)

Celotno potresno silo izračunamo z izrazom:

$$F_b = S_d \cdot T_1 \cdot W \cdot \lambda$$

Osnovni nihajni čas konstrukcije T_1 v dveh glavnih smereh za stavbe višine do 40 m lahko ocenimo z izrazom:

$$T_1 = C_t \cdot H^{3/4}$$

Kjer je: $H = 9,72 \text{ m}$ – višina stavbe v metrih, merjena od vrha temeljev ali od vrha toge kleti

$C_t = 0,05$ – priporočljiva vrednost

Osnovni nihajni čas

$$T = T_{1,x} = T_{1,y} = 0,05 \cdot 9,72 \text{ m}^{3/4} = 0,275 \text{ s}$$

$$T_1 \leq \begin{cases} 4 \cdot T_C = 4 \cdot 0,5 = 2,0 \text{ s} \\ 2,0 \text{ s} \end{cases}$$

Dobili smo: $T_{1,x} = T_{1,y} = 0,275 \text{ s} < 2,0 \text{ s} \Rightarrow$ metoda z vodoravnimi silami je ustrezna

3.5.2 Projektni spekter

Identifikacija tipa tal

Obravnavana konstrukcija se nahaja na območju tipa tal (B), katerega značilnosti so: zelo gost pesek, prod ali zelo toga glina, debeline vsaj nekaj deset metrov, pri katerih mehanske značilnosti z globino postopoma naraščajo.

Vrednosti parametrov, ki opisujejo priporočen elastični spekter odziva tipa 1 v odvisnosti od tipa tal (odčitki iz preglednice)

Tip tal: B → $S = 1,2$; $T_B = 0,15 \text{ s}$; $T_C = 0,5 \text{ s}$; $T_D = 2,0 \text{ s}$

S - faktor tal

T_B - spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

T_C - zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost

T_D - vrednost nihajnega časa, pri kateri se začne območje konstantne vrednosti spektralnega pomika

Projektni pospešek tal, ki ga odčitamo iz karte projektnih pospeškov za lokacijo, na kateri se objekt nahaja (Ljubljana) znaša: $a_g = 0,25g$

Za vodoravni komponenti potresnega vpliva, glede na značilnosti tal, je projektni spekter $S_d(T)$ določen z izrazom:

Projektni spekter: $T_B \leq T \leq T_C \rightarrow S_d \approx a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$

3.5.3 Tip konstrukcije in faktor obnašanja q

Faktor obnašanja je približek k razmerju med potresnimi silami, ki bi delovale na konstrukcijo s 5% viskoznega dušenja, če bi se obnašala povsem elastično in najmanjšimi potresnimi silami, ki se lahko uporabijo pri projektiranju – ob uporabi običajnega elastičnega modela, a vendar še zagotovijo zadovoljivo obnašanje konstrukcije.

Konstrukcijo uvrstimo v mešani sistem, saj se potresni obtežbi upirajo tako okvirji kot stene. Predpostavimo, da je pogoj o minimalni torzijski togosti izpolnjen.

Faktor obnašanja je podan z izrazom:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

V našem primeru gre za montažno konstrukcijo, zato moramo faktor duktilnosti pomnožiti še z redukcijskim faktorjem faktorjem k_p , ki je odvisen od sposobnosti sipanja energije montažnega sistema. Za naš primer izberemo $k_p = 0,75$ in končno dobimo izraz:

$$q = k_p \cdot q_0 \cdot k_w \geq 1,5$$

Konstrukcijo uvrstimo v DCM stopnjo duktilnosti, kjer je za mešani sistem osnovna vrednost faktorja obnašanja q_0 določena z izrazom:

DCM: $q_0 = 3 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$ - okvirni sistem, mešani sistem, sistem povezanih sten (sten z odprtinami)

Izberemo: $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,0$

k_w – faktor, ki upošteva prevladujoč način rušenja

$k_w = 1,0$ – za okvirne in okvirom enakovredne mešane sisteme

$$q_0 = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0$$

$$q = 0,75 \cdot 1,0 \cdot 3,0 = 2,25 \text{ - za obe smeri enak}$$

Sedaj, lahko izračunamo projektni spekter:

$$S_d T = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{2,25} = 0,333$$

Celotna potresna prečna sila: $F_b = S_d T_1 \cdot W \cdot \lambda$; $\lambda = 1,0$ - korekcijski faktor

Izračunati moramo še maso konstrukcije, ki sodeluje pri potresu.

3.5.4 Račun mas po etažah

Kombinacije vplivov pri računu mase:

Pri določanju projektne potresne obtežbe je upoštevana verjetnost, da bo v času potresa na konstrukciji deloval samo del spremenljive obtežbe. Teža konstrukcije se računa po pravilu:

$$W = G + \sum_i \psi_{Ei} \cdot Q_{Ki}$$

G..... karakteristična vrednost stalne obtežbe

Q_{Ki} karakteristične vrednosti spremenljive obtežbe

ψ_{Wi} koeficient za kombinacijo $\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$

Masa na koti 9,70m:

A – površina strehe → $A = 36,50 \text{ m} \cdot 7,80 \text{ m} \cdot 2 = 569,40 \text{ m}^2$

Stalna in lastna obtežba:

- toplotna izolacija (15 cm) $0,15 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ kN/m}^3 \cdot A = 85,41 \text{ kN}$

-Strešna kritina – »Sika«..... $0,1 \text{ kN/m}^2 \cdot A = 56,94 \text{ kN}$

- AB elementi (0,085 m)..... $0,085 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot A = 1212,833 \text{ kN}$

- AB dvokapni strešni nosilci..... $92,5 \text{ kN} \cdot 7 = 647,5 \text{ kN}$

- stebri..... $0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 14 = 87,50 \text{ kN}$

- fasada $\left(3,40 \text{ kN/m}^2 \right)$ $\left(3,5 \text{ m} \cdot 6 \cdot 2 + 14,5 \text{ m} \cdot 2 \right) \cdot 1,0 \text{ m} = 95 \text{ m}^2 \cdot 3,40 \text{ kN/m}^2 = 323 \text{ kN}$

- predelne stene $\left(0,5 \text{ kN/m}^2 \right)$ $15,0 \text{ m} \cdot 36,0 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1/2 = 135 \text{ kN}$

$$G_2 = 2548,20 \text{ kN}$$

Koristna obtežba: Sneg → se ne upošteva pri potresu

Masa na koti 3,80 m:

$$B - \text{površina etaže} \rightarrow B = 36,0 \text{ m} \cdot 15,0 \text{ m} - 2,8 \text{ m} \cdot 3,7 \text{ m} = 530,0 \text{ m}^2$$

Stalna in lastna obtežba:

- keramične ploščice (2 cm)..... $0,02 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot B = 265 \text{ kN}$
- armirani estrih (5 cm)..... $0,05 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot B = 662,50 \text{ kN}$
- toplotna izolacija (10 cm)..... $0,1 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ kN/m}^3 \cdot B = 53 \text{ kN}$
- prednapeta plošča (20 cm)..... $3,46 \text{ kN/m}^2 \cdot B = 1834 \text{ kN}$
- obodni »E« nosilci (65/45 cm).. $\left(0,65 \cdot 0,45 - 0,15 \cdot 0,20 \right) \text{ m} \cdot 36,0 \text{ m} \cdot 2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 472,5 \text{ kN}$
- obodni nosilci (50/50 cm)..... $\left(0,5 \cdot 0,5 - 0,1 \cdot 0,2 \right) \text{ m} \cdot 15,0 \text{ m} \cdot 2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 172,50 \text{ kN}$
- sredinski »T« nosilci (80/60 cm)..... $\left(0,8 \cdot 0,4 + 0,2 \cdot 0,5 \right) \text{ m} \cdot 36,0 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 378 \text{ kN}$
- fasada $h = (4,85 - 0,45) \text{ m} = 4,40 \text{ m}$
..... $\left(6,5 \text{ m} \cdot 6 \cdot 2 + 14,5 \text{ m} \cdot 2 \right) \cdot 4,40 \text{ m} \cdot 3,40 \text{ kN/m}^2 = 1414,93 \text{ kN}$
- stebri ($h = 4,85 \text{ m}$)..... $\left(4,85 - 0,45 \right) \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 14 = 385 \text{ kN}$
- stebri ($h = 1,54 \text{ m}$)..... $1,54 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 67,40 \text{ kN}$
- stopniščna rama..... $\left(6,1 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} + 10 \cdot 1/2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,24 \text{ m} \right) \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 21,15 \text{ kN}$
- naravni kamen na rami..... $\left(0,18 + 0,26 \right) \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 27 \text{ kN/m}^3 = 2,85 \text{ kN}$
- podest..... $2,56 \text{ m} \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 15,36 \text{ kN}$
- stene v stopnišču..... $\left(6,75 \cdot 2 + 2,56 \right) \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 2,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 83 \text{ kN}$

- naravni kamen na podestu..... $1,18 \text{ m} \cdot 2,56 \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 1,51 \text{ kN}$

- nosilec »T« v stopniščnem jedru..... $\left(0,40 \cdot 0,20 + 0,30 \cdot 0,10 \right) \text{ m} \cdot 2,56 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 7,0 \text{ kN}$

$$G_1 = 5835,7 \text{ kN}$$

Koristna obtežba: ($q = 3,0 \text{ kN/m}^2$)

- medetažna pohodna plošča $B \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 1590 \text{ kN}$

- stopniščna rama..... $1,20 \text{ m} \cdot 3,10 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 11,16 \text{ kN}$

- podest..... $2,56 \text{ m} \cdot 1,20 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 9,22 \text{ kN}$

$$Q_1 = 1610,38 \text{ kN}$$

Masa na koti 9,70 m:

$$G_2 = 2548,20 \text{ kN}; \quad W_2 = G_2 = 2548,20 \text{ kN};$$

$$m_2 = \frac{W_2 \cdot 10^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{2548,20 \text{ kN} \cdot 10^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = 259755,35 \text{ kg} = 259,755 \text{ t}$$

Masa na koti 3,80 m:

$$G_1 = 5835,70 \text{ kN}; \quad Q_1 = 1610,38 \text{ kN}$$

$$W_1 = G_1 + 0,3 \cdot Q_1 = 2548,20 \text{ kN} + 0,3 \cdot 1610,38 \text{ kN} = 6318,81 \text{ kN}$$

$$m_1 = \frac{W_1 \cdot 10^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = \frac{6318,81 \text{ kN} \cdot 10^3}{9,81 \text{ m/s}^2} = 644119,67 \text{ kg} = 644,12 \text{ t}$$

3.5.5 Celotna potresna sila

$$F_b = S_d \cdot T_1 \cdot W \cdot \lambda = 0,333 \cdot 8867,01 \text{ kN} \cdot 1,0$$

$$\underline{F_b = 2952,7 \text{ kN}}$$

3.5.6 Razdelitev potresne sile po etažah

Sile v i-ti etaži:
$$F_i = F_b \cdot \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i};$$

$$F_2 = 2952,7 \text{ kN} \cdot \frac{24717,54 \text{ kNm}}{48729,02 \text{ kNm}} = 1497,74 \text{ kN};$$

$$F_1 = 2952,7 \text{ kN} \cdot \frac{24011,48 \text{ kNm}}{48729,02 \text{ kNm}} = 1455,0 \text{ kN}$$

Preglednica 2: Potresne sile v i-ti etaži

etaža	Wi (kN)	hi (m)	Wih _i (kNm)	Wih _i /ΣW _j h _j	Fi (kN)
2	2548,2	9,7	24717,54	0,507	1497,74
1	6318,8	3,8	24011,48	0,493	1455,0
Σ	8867	/	48729,02	1	2952,7

3.6 Sila, ki jo uporabimo za izračun diafragme

⇒ $F_1 = 1455,0 \text{ kN}$ - stropna konstrukcija, $h = 3,8 \text{ m}$

$F_2 = 1497,74 \text{ kN}$ - streha $h = 7,9 \text{ m}$

$$q = \frac{1455,0 \text{ kN}}{36 \text{ m}} = 40,4 \text{ kN/m}$$

4. PROJEKTIRANJE ELEMENTOV MEDETAŽNE STROPNE KONSTRUKCIJE

Sledi dimenzioniranje sestavnih delov stropne konstrukcije (nosilcev) na stalno in spremenljivo obtežbo, ki deluje v vertikalni smeri.

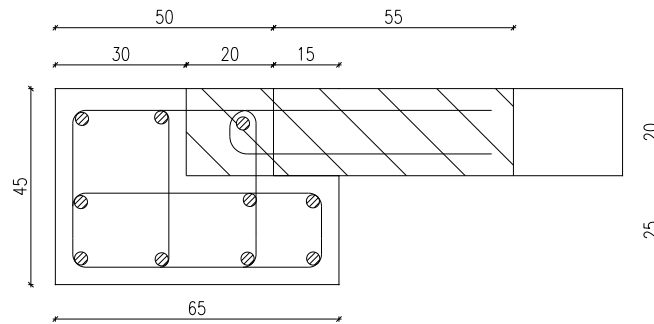
Nosilci so razporejeni po celotnem obodu in tudi po sredini objekta. Slednji imajo zelo pomembno funkcijo, saj so poleg dinamične obremenitve (sile v diafragmi) kot posledica potresnega vpliva izpostavljeni tudi statični obremenitvi lastne teže, obremenitvi prednapetih votlih plošč, teži fasade in koristne obtežbe. Nosilci imajo ustrezno oblikovana ležišča, na katera se prednapete votle plošče naslanjajo.

Po namestitvi plošč na vnaprej pripravljena ležišča, stikovane elemente medsebojno povežemo z ustrezno armaturo, nakar odprtine na mestu povezav zalijemo z betonom z namenom doseganja kompaktnosti spojev. Pri dimenzioniranju na mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti smo upoštevali geometrijo (dimenzije) nosilcev, brez na mestu litega dela. Kljub temu, da so nekateri elementi nesimetrični glede na vertikalno os, jih obravnavamo kot enosno obremenjene, ker jih z ostalimi stropnimi elementi prisilimo v deformacije zgolj v vertikalni smeri. Pri dimenzioniranju na mejno stanje uporabnosti smo izračunali vertikalne pomike razpokanega prereza pri čemer smo upoštevali tudi vpliv lezenja, nato prekontroliramo še širine razpok.

V nadaljevanju smo pri določenih elementih (pozicijah) izvedli določene kontrole, ki jih pri drugih nismo, pa čeprav bi bilo potrebno. To pa z namenom, da se stvari ne bi toliko ponavljale. Bistveni izračuni (kontrole) pa so prisotni pri vseh. Natančna lokacija zgoraj omenjenih nosilcev v konstrukciji je razvidna iz pozicijskega načrta.

4.1 POZ: N₁– AB »E« nosilec b/h = 65/45 cm, C35/45, S500

POZ: N₁ predstavlja nosilec »L« oblike, ki se nahaja na obodu obeh daljših stranic objekta. Poleg svoje lastne teže prevzema še obtežbo fasade in obtežbo prednapetih votlih plošč. V dolžino meri 5,5 m, naslanja se na kratke konzole, ki so sestavni del stebrov.



Slika 9: Spoj med obodnim nosilcem in PVP ploščo

Obtežba plošče:

- stalna in lastna..... $g = 5,31 \text{ kN/m}^2$

- koristna obtežba..... $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

→ razpon plošče: 7,0 m → $g = 7,0 \text{ m} \cdot 5,31 \text{ kN/m}^2 \cdot 1/2 = 18,585 \text{ kN/m}$

→ $q = 7,0 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1/2 = 10,50 \text{ kN/m}$

Lastna teža nosilca:

$$A = 0,65 \text{ m} \cdot 0,45 \text{ m} - 0,2 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} = 0,2685 \text{ m}^2$$

$$g = 0,2685 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 6,7125 \text{ kN/m}$$

Teža fasade:

$$g_0 = 3,4 \text{ kN/m}^2 ; \text{ višina fasade } h = 3,9 \text{ m}; \quad g_f = 3,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,9 \text{ m} = 13,26 \text{ kN/m}$$

Skupna končna obtežba:

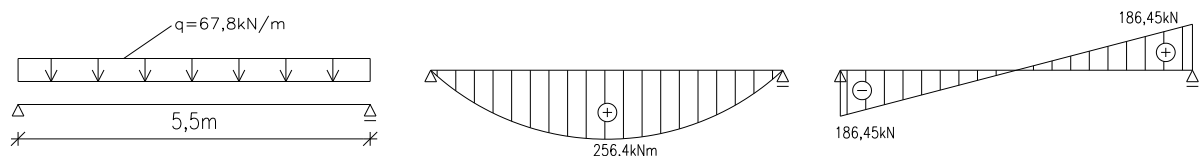
$$g = 18,585 \text{ kN/m} + 6,7125 \text{ kN/m} + 13,26 \text{ kN/m} = 38,55 \text{ kN/m}$$

$$q = 10,5 \text{ kN/m}$$

4.1.1 Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 38,55 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 10,50 \text{ kN/m} = 67,8 \text{ kN/m}$$

Računski model in obremenitve nosilca:



Slika 10: Računski model in obremenitve nosilca

$$M_{d,MAX} = \frac{q_{Ed}l^2}{8} = \frac{67,8 \text{ kN/m} \cdot (5,5\text{m})^2}{8} = 256,4 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{q_{Ed}l}{2} = \frac{67,8 \text{ kN/m} \cdot 5,5 \text{ m}}{2} = 186,45 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje:

Upogib:

$$k_h = \frac{M_{Ed}}{f_{cd} \cdot b \cdot h^2} = \frac{256,4 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 30 \text{ cm} \cdot (41 \text{ cm})^2} = 0,218 \rightarrow k_s = 1,150$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_{Ed}}{h \cdot f_{yd}} = 1,150 \cdot \frac{256,4 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{41 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2} = 16,5 \text{ cm}^2 \quad \frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{0,335\%}{0,7\%}$$

Izberemo: $10\phi^R 18$; $A_{s,dej} = 25,45 \text{ cm}^2$

Strig $V_{Ed} = 186,45 \text{ kN}$

Strižna nosilnost elementa, brez strižne armature

$$V_{Rd,c} = \left[k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \right)^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq \left[v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12 \quad b_w = 300 \text{ mm} \quad d = 410 \text{ mm} \quad f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} \leq 2 \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{410 \text{ mm}}} = 1,698$$

$$A_{sl} = 25,45 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = \frac{25,45 \text{ cm}^2}{30 \text{ cm} \cdot 41 \text{ cm}} = 0,0207$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,698^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,458$$

$$V_{Rd,c} = \left[1,12 \cdot 1,698 \cdot \left(100 \cdot 0,0207 \cdot 35 \right)^{1/3} + 0 \right] \cdot 300 \cdot 410 \geq \left[0,458 + 0 \right] \cdot 300 \cdot 410$$

$$V_{Rd,c} = 104331,8 \text{ N} = 104,3 \text{ kN} \geq 56,334 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c} = 104,3 \text{ kN} < V_d = 186,45 \text{ kN} \Rightarrow$ potrebujemo strižno armaturo

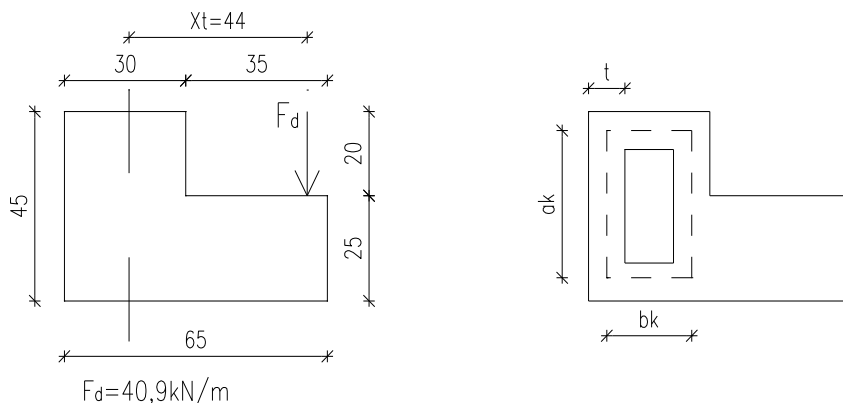
Strižna nosilnost z vertikalno strižno armaturo:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d(\text{kN})}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta} \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{186,45 \text{ kN}}{0,9 \cdot 41 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,116 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Torzija:

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot 5,513 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 11,67 \text{ kN/m}^2$$

$$F_d = 11,67 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,0 \text{ m} \cdot 1/2 = 40,875 \text{ kN/m}$$



Slika 11: Zunanji rob torzijsko učinkovitega prečnega prereza in razdalja od prijemališča sile, ki povzroča torzijo do osi

$$X_T - \text{glej nadaljevanje} - \text{MSU} \quad T_{Ed} = 40,9 \text{ kN} \cdot 0,44 \text{ m} \cdot 5,5 \text{ m} \cdot 1/2 = 49,5 \text{ kNm}$$

$$t = \frac{A}{u} \leq t_{dej} \quad A = 30 \text{ cm} \cdot 45 \text{ cm} = 1350 \text{ cm}^2 \quad u = 2 \cdot (30 + 45) \text{ cm} = 150 \text{ cm}$$

$$t = \frac{1350 \text{ cm}^2}{150 \text{ cm}} = 9,0 \text{ cm} \quad a_k = 45 \text{ cm} - 9 \text{ cm} = 36 \text{ cm} \quad b_k = 30 \text{ cm} - 9 \text{ cm} = 21 \text{ cm}$$

$$A_k = 36 \text{ cm} \cdot 21 \text{ cm} = 756 \text{ cm}^2 \quad u_k = 2 \cdot (36 + 21) \text{ cm} = 114 \text{ cm}$$

Ploščina prereza vzdolžne armature:

$$\frac{\sum A_{sl} \cdot f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed} \cdot \cot\theta}{2 \cdot A_k} \rightarrow \sum A_{sl} = \frac{u_k \cdot T_{Ed} \cdot \cot\theta}{f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k} = \frac{114 \text{ cm} \cdot 49,5 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 1,0}{43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2 \cdot 756 \text{ cm}^2} = 8,6 \text{ cm}^2$$

$$\phi^R 18 \rightarrow A_s = 2,54 \text{ cm}^2 \rightarrow \frac{8,6 \text{ cm}^2}{2,54 \text{ cm}^2} = 3,4$$

Izberemo: $4\phi^R 18$ v vogale $A_{s,dej} = 10,18 \text{ cm}^2$

Največja odpornost prereza, ki je izpostavljena torziji in prečni sili je omejena z odpornostjo betonskih razpor:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0 \quad T_{Ed} = 4950 \text{ kNcm} \quad V_d = 186,45 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad \alpha_{cw} = 1,0; \quad v = 0,516; \quad \varphi = 45^\circ$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0,516 \cdot 1,0 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 756 \text{ cm}^2 \cdot 9,0 \text{ cm} \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = 8177,8 \text{ kNcm}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 30 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 41 \text{ cm} \cdot 0,516 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 / (1 + 1) = 665,5 \text{ kN}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} \text{ [Mpa]}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 665,5 \text{ kN}$$

$$\frac{4950 \text{ kNcm}}{8177,8 \text{ kNcm}} + \frac{186,45 \text{ kN}}{665,5 \text{ kN}} = 0,88 < 1,0$$

Pri približno pravokotnih prečnih prerezih se zahteva le najmanjša armatura, če je izpolnjen pogoj:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} \leq 1,0 \quad V_{Ed} = 186,45 \text{ kN} \quad T_{Ed} = 49,50 \text{ kNm} \quad V_{Rd,c} = 104,3 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,c} = 2A_k t_{ef,i} f_{ctd} = 2A_k t_{ef,i} \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_C} = 2 \cdot 756 \cdot 9 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,22}{1,5} = 1995,8 \text{ kNcm} = 20,0 \text{ kNm}$$

$$\frac{186,45}{104,3} + \frac{49,5}{20,0} = 1,82 + 2,48 = 4,30 > 1$$

Potrebujemo strižno armaturo tako zaradi prečne sile V_{Ed} , kot tudi zaradi torzijskega momenta T_{Ed} .

Združitev strižne armature zaradi striga in torzije:

Strižni tok v i-ti steni ($i=1,2$) nadomestnega zaprtega tankostenskega prereza, ki je izpostavljen čisti torziji:

$$\tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} = \frac{49,5 \text{ kN} \cdot 100 \text{ cm}}{2 \cdot 756 \text{ cm}^2} = 3,27 \text{ kN/cm}$$

Prečna sila v i-ti steni ($i=1,2$) zaradi torzijske obremenitve:

$$V_{Ed,1} = \tau_{t,1} \cdot t_{ef1} \cdot z_1; \quad z_1 = a_k = 36 \text{ cm} \quad V_{Ed,1} = 3,27 \cdot 36 = 117,72 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2} = \tau_{t,2} \cdot t_{ef2} \cdot z_2; \quad z_2 = b_k = 21 \text{ cm} \quad V_{Ed,2} = 3,27 \cdot 21 = 68,67 \text{ kN}$$

Prečna sila v navpični steni ($i=1$) zaradi strižne obremenitve:

$$V_d = 186,45 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_d}{n} = \frac{186,45 \text{ kN}}{2} = 93,23 \text{ kN}$$

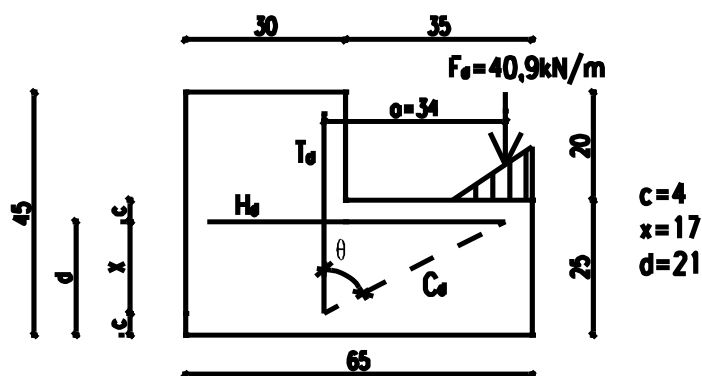
Skupna prečna sila

$$V_{Ed} = 117,72 \text{ kN} + 93,23 \text{ kN} = 210,95 \text{ kN}$$

Določitev strižne armature:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d (\text{kN})}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta} \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{210,95 \text{ kN}}{0,9 \cdot 41 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,13 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Oblikovanje ležišča za plošče:



Slika 12: Mehanizem delovanja z razporami in vezmi

$$\theta = \arctg \frac{a}{x} = \arctg \frac{34}{17} = 63,43^\circ \quad F_d = 40,9 \text{ kN/m}$$

Nateg:

$$H_d = F_d \cdot \text{tg}\theta + \frac{x+c}{x} \cdot \mu \cdot F_d \quad \text{povečana vrednost natezne sile zaradi morebitnih premikov}$$

$$H_d = 40,9 \text{ kN} \cdot \text{tg}63,4 + \frac{21}{17} \cdot 0,7 \cdot 40,9 \text{ kN} = 117,04 \text{ kN/m} \quad \mu = 0,7 - \text{koeficient trenja}$$

$$A_{sh} = \frac{H_d}{f_{yd}} = \frac{117,04 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 2,69 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{2,69}{100} = 0,027 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Tlak:

$$C_{dej} = \frac{F_d}{\cos\theta} = \frac{40,9 \text{ kN}}{\cos 63,4} = 91,34 \text{ kN/m}$$

$$C_{dop} = 0,2 \cdot d \cdot \sin\theta \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 21 \text{ cm} \cdot \sin 63,4 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 = 8,75 \text{ kN/cm} = 875 \text{ kN/m}$$

$$C_{dej} = 91,34 \text{ kN/m} < C_{dop} = 875 \text{ kN/m}$$

Nateg:

$$T_d = F_d + \frac{0,5 \cdot \mu \cdot F_d}{\text{tg}45} = F_d \cdot 1 + 0,5 \cdot \mu = 40,9 \text{ kN} \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,7 = 55,215 \text{ kN/m}$$

$$A_{sv} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{55,215 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,27 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \rightarrow \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{1,27}{100} = 0,0127 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Vertikalna stremenska armatura – Strig (V_d), torzija (T_{ed}) in natezna sila (T_d):

$$\sum \frac{A_{sw}}{s} = 0,13 + 0,0127 = 0,143 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \text{ - enostrižno streme}$$

$$\phi^R 12 \rightarrow A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2 \quad s = \frac{A_{sw}}{0,077} = \frac{1,13}{0,143} = 8,0 \text{ cm}$$

Izberemo: $\phi^R 12 / 8 \text{ cm}$

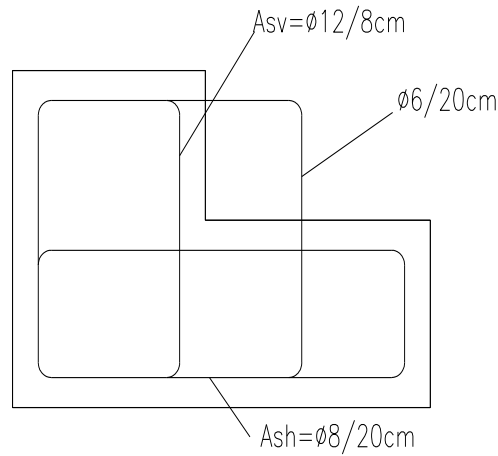
Horizontalna stremenska armatura – natezna sila (H_d):

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0,027 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \text{ - enostrižno streme}$$

$$\phi^R 6 \rightarrow A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2 \quad s = \frac{A_{sw}}{0,027} = \frac{0,28}{0,027} = 10,37 \text{ cm}$$

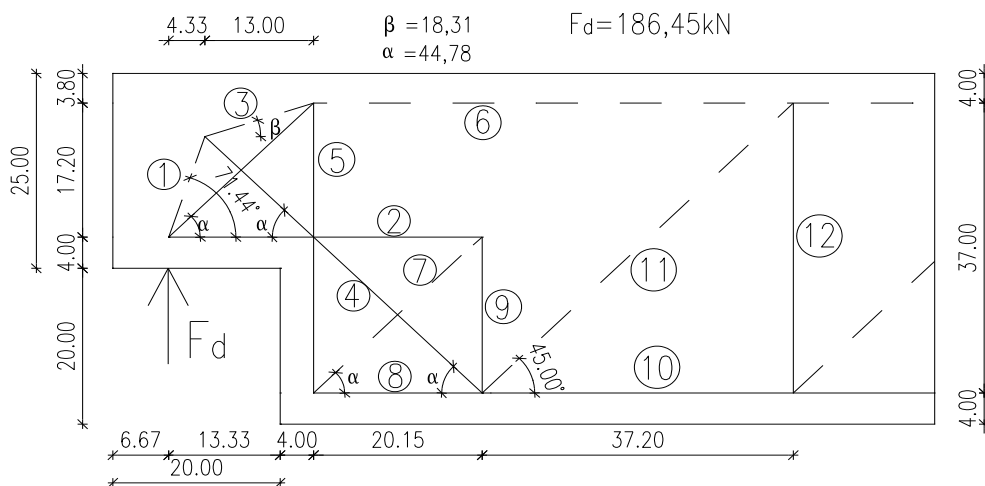
Izberemo: $\phi^R 6 / 10 \text{ cm}$

Poleg dimenzioniranja na upogib in strig smo izračunali vplive v nosilcu zaradi ekscentričnosti obtežbe, ki jo povzročajo plošče na ležišču. Slednje smo obravnavali na dva načina. Prvič, kot torzijski vpliv (slika 11) in drugič, kot z metodo tlačnih razpor in vezi (Slika 12). Dodali smo še konstruktivno armaturo , ki bo držala spoj s ploščami kompakten $\phi^R 6 / 20 \text{ cm}$.



Slika 13: Skica stremenske armature v nosilcu

Oblikovanje ležišča nosilca:



Slika 14: Modeliranje območja nosilca ob ležišču

Tlačna cona: $x = d - 0,9 \cdot h - a = 45 - 0,9 \cdot 41 - 4 \approx 4 \text{ cm}$

$$N_1 = \frac{F_d}{\sin 71,44} = \frac{186,45 \text{ kN}}{\sin 71,44} = -196,7 \text{ kN}$$

$$N_2 = N_1 \cdot \cos 71,44 = 196,7 \cdot \cos 71,44 = 62,6 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_2}{f_{yd}} = \frac{62,6 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,44 \text{ cm}^2$$

$$N_7 = \frac{N_2}{\cos 44,78} = \frac{62,6}{\cos 44,78} = -88,2 \text{ kN}$$

$$N_9 = N_7 \cdot \sin 44,78 = 88,2 \cdot \sin 44,78 = 62,13 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_9}{f_{yd}} = \frac{62,13 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,43 \text{ cm}^2$$

$$N_5 = N_9 = 62,13 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_5}{f_{yd}} = \frac{62,13 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,43 \text{ cm}^2$$

$$N_8 = N_7 \cdot \cos 44,78 = 88,2 \cdot \cos 44,78 = 62,6 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_8}{f_{yd}} = \frac{62,6 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,4 \text{ cm}^2$$

$$N_3 = \frac{N_5}{\sin 18,31} = \frac{62,13 \text{ kN}}{\sin 18,31} = -197,77 \text{ kN}$$

$$N_6 = N_3 \cdot \cos 18,31 = 197,77 \cdot \cos 18,31 = -187,75 \text{ kN}$$

$$N_4 = \frac{N_1 \cdot \cos 71,44 - N_3 \cdot \cos 18,31}{\cos 44,78} = \frac{196,7 \cdot \cos 71,44 - 197,77 \cdot \cos 18,31}{\cos 44,78} = 176,31 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_4}{f_{yd}} = \frac{176,31 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 4,05 \text{ cm}^2$$

$$N_{11} = \frac{N_4 \cdot \sin 44,78 + N_9}{\sin 45} = \frac{176,31 \cdot \sin 44,78 + 62,13}{\sin 45} = -263,5 \text{ kN}$$

$$N_{10} = N_8 + N_4 \cdot \cos 44,78 + N_{11} \cos 45 = 62,6 + 176,31 \cdot \cos 44,78 + 263,5 \cdot \cos 45 = 374,07 \text{ kN}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_{10}}{f_{yd}} = \frac{374,07 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 8,6 \text{ cm}^2$$

$$N_{12} = N_{11} \cdot \sin 45 = 263,5 \cdot \sin 45 = 186,3 \text{ kN} \cong 186,45 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{N_{12}}{f_{yd}} = \frac{186,45 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 4,3 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{186,45}{0,9 \cdot 41 \cdot 43,5} = 0,116 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \rightarrow \phi^R 10 \rightarrow A_{sw} = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{A_{sw}}{0,116} = \frac{1,57}{0,116} = 13,5 \text{ cm} \rightarrow \text{že določena stremena } \phi^R 10/10 \text{ cm}$$

Maksimalna tlačna sila:

$$N_{11} = -263,5 \text{ kN} \rightarrow \sigma_c = \frac{N_{11}}{b_{\min} \cdot \check{s}} = \frac{263,5 \text{ kN}}{0,2 \cdot 41 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm}} = 0,64 \text{ kN/cm}^2 < f_{cd} = 2,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{\min} = 50 \text{ cm}, \quad \check{s} = 0,2 \cdot d - \text{ocena}, \quad d = 41 \text{ cm}$$

Sidrna dolžina:

$$\text{Vse pokrijemo z } 4\phi^R 12 \rightarrow A_s = 4,52 \text{ cm}^2$$

Gledamo najbolj obremenjeno palico: $N_4 = 176,31 \text{ kN}$; N_{10} – že pokrito z glavno arm.

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{bd, \text{rqd}} \geq l_{bd, \text{min}} \quad l_{bd, \text{min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 l_{bd, \text{rqd}} = 0,3 \cdot 35,6 = 10,7 \text{ cm} \\ 10\phi = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

$$l_{bd, \text{rqd}} = \left(\frac{\phi}{4} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \right) = \left(\frac{1,2}{4} \right) \cdot \left(\frac{39,18}{0,33} \right) = 35,6 \text{ cm}$$

σ_{sd} - projektna napetost v palici na mestu od katerega se meri dolžina sidranja

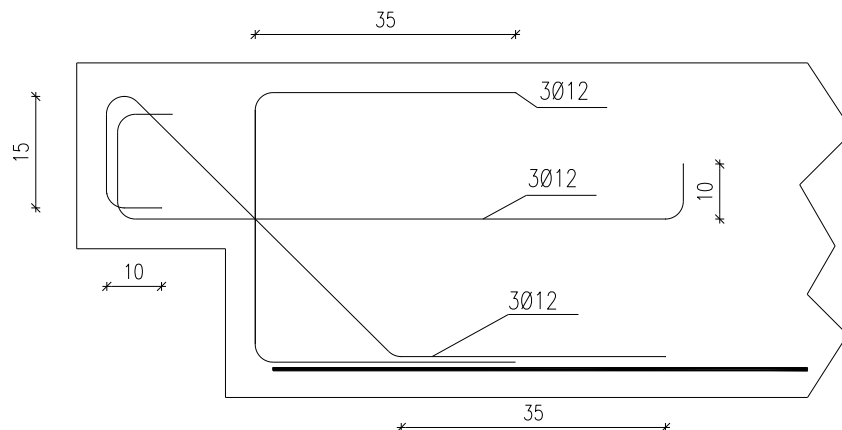
$$\sigma_{sd} = \frac{N_4}{A_s} = \frac{176,31 \text{ kN}}{4,5 \text{ cm}^2} = 39,18 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 0,22}{1,5} = 0,147$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,147 = 0,33$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \cdot l_{bd, \text{rqd}} \geq l_{bd, \text{min}} \rightarrow l_{bd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 35,6 = 35,6 \text{ cm} \geq 12 \text{ cm}$$

Sidrna dolžina: 35 cm

Maksimalno vreteno ukrivljanja: $D_{\text{MIN}} = 4 \cdot \phi = 4 \cdot 1,2 \text{ cm} = 4,8 \text{ cm}$



Slika 15: Skica glavne natezne armature v območju ležišča nosilca

4.1.2 Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti

Kombinacija vplivov za navidezno stalno projektno stanje:

$$E_d = E_d \left(\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

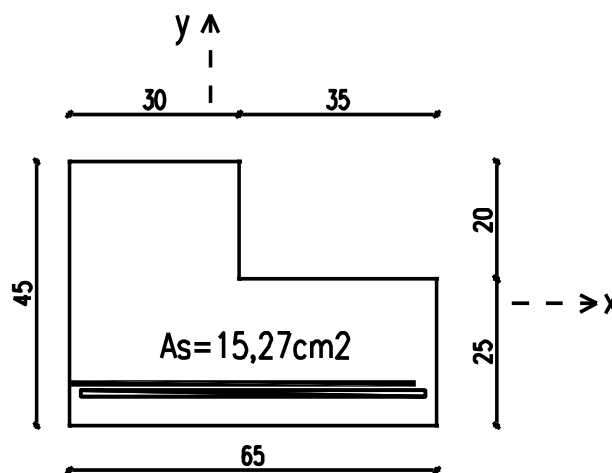
$$q_{Ed} = 1,0 \cdot g + 0,8 \cdot q$$

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot 38,55 \text{ kN/m} + 0,8 \cdot 10,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{Ed} = 46,95 \text{ kN/m}$$

Notranje statične količine:

$$M_{MAX} = \frac{q_{Ed} l^2}{8} = \frac{46,95 \text{ kN/m} \cdot (5,5 \text{ m})^2}{8} = 177,53 \text{ kNm}$$



Slika 16: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU

Izračun vertikalnih pomikov (poves):

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 326475,32 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 46,95 \text{ kN/m} \cdot (550 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 326475,32 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,50 \text{ cm}$$

$$E_{cm} = 22 \sqrt[3]{f_{cm}} = 22 \cdot \sqrt[3]{30} = 3400 \text{ kN/cm}^2$$

Izračun vztrajnostnega momenta prereza

$$x_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i}$$

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i}$$

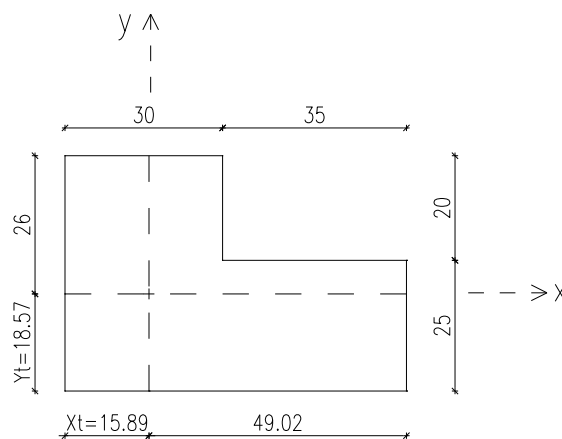
$$\sum F_i \cdot y_i = 65 \cdot 25 \cdot 12,5 + 30 \cdot 20 \cdot 35 \text{ cm}^3 = 41312,5 \text{ cm}^3$$

$$\sum F_i = (65 \cdot 25 + 30 \cdot 20) \text{ cm}^2 = 2225 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{41312,5 \text{ cm}^3}{2225 \text{ cm}^2} = 18,57 \text{ cm}$$

$$\sum F_i \cdot x_i = 45 \cdot 30 \cdot 15 + 25 \cdot 35 \cdot 17,5 \text{ cm}^3 = 35562,5 \text{ cm}^3$$

$$x_T = \frac{35562,5 \text{ cm}^3}{2225 \text{ cm}^2} = 15,98 \text{ cm}$$



Slika 17: Težišče nosilca

Vztrajnostni moment:

$$I_x = \left(25 \cdot 65 \cdot 6,07^2 + \frac{65 \cdot 25^3}{12} + 30 \cdot 20 \cdot 16,43^2 + \frac{30 \cdot 20^3}{12} \right) = 326475,32 \text{ cm}^4$$

Odpornostni moment:

$$W_x = \frac{I_x}{y_T} = \frac{326475,32 \text{ cm}^4}{18,57 \text{ cm}} = 17580,79 \text{ cm}^3$$

Določitev lege nevtralne osi:

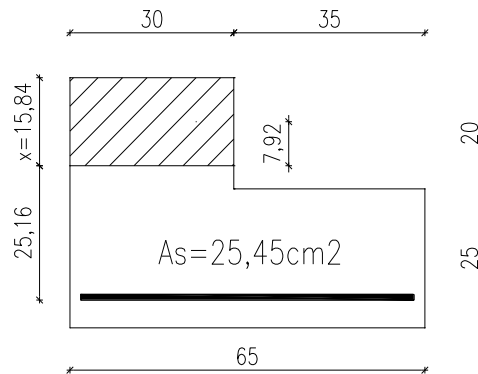
$$A_s = 25,45 \text{ cm}^2; \quad \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20.000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{30} \cdot \left(5,88 \cdot 25,45 + \sqrt{5,88 \cdot 25,45 \cdot 30 \cdot 41 + 5,88 \cdot 25,45} \right) = 15,84 \text{ cm}$$

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:

Steinerjev stavek: $I = I_{cm} + m \cdot d^2$ $\alpha = 5,88$ $A_s = 25,45 \text{ cm}^2$



Slika 18: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

$$I_2 = \frac{30 \cdot 15,84^3}{12} + 30 \cdot 15,84 \cdot 7,92^2 + \alpha \cdot A_s \cdot 25,16^2 = 134473,19 \text{ cm}^4$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 134473,19 \text{ cm}^4$$

$$w_2 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I_2} = \frac{5 \cdot 46,95 \text{ kN/m} \cdot (550 \text{ m})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 134473,19 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,22 \text{ cm}$$

Račun trenutnega pomika:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{dop}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right)^2; \quad \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right) = \left(\frac{M_{cr}}{M} \right); \quad M_{cr} - \text{moment, ki povzroči prvo razpoko}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W; \quad W = 17580,79 \text{ cm}^3; \quad f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C35/45)}$$

$$M_{cr} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \cdot 17580,79 \text{ cm}^3 = 5625,853 \text{ kNcm}; \quad M = 17753 \text{ kNcm}$$

$\beta_1 = 0,5$ – dolgotrajna obtežba

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{5625,853}{17753} \right)^2 = 0,94 \quad w_{dop} = \frac{1}{300} = \frac{550}{300} = 1,83 \text{ cm}$$

$$w_{c,inst} = 0,94 \cdot 1,22 \text{ cm} + (1 - 0,94) \cdot 0,50 \text{ cm} = 1,17 \text{ cm} < w_{dop}$$

Pomiki z upoštevanjem lezenja betona:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} - \text{nazivna velikost prereza}$$

$$A_c = 65 \cdot 45 - 35 \cdot 20 \text{ cm}^2 = 2225 \text{ cm}^2$$

$$u = 45 + 65 + 30 + 20 + 35 + 25 \text{ cm} = 220 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot 2225 \text{ cm}^2}{220 \text{ cm}} = 20,23 \text{ cm}$$

podatki za določitev koeficienta lezenja ϕ s pomočjo slike 3.1, str 34 v EN 1992-1-1:2005

RH = 50% ; $t \geq 28$ dni ; $h_0 = 202,3 \text{ mm}$; C(35/45) ; krivulja N

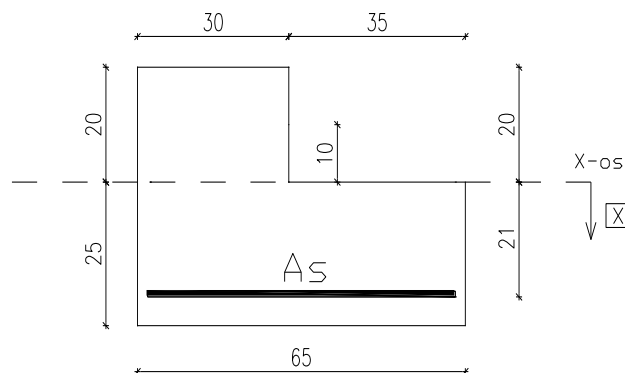
odčitek: $\phi \cong 2,1$

$$\Rightarrow E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi} = \frac{3400 \text{ kN/cm}^2}{1 + 2,1} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000}{1096,77} = 18,24$$

Spremeni se α in posledično tudi lega nevtralne osi!

$$A_s = 25,45 \text{ cm}^2 ; \quad \alpha = 18,24$$



Slika 19: Osnova za pridobivanje nove lege nevtralne osi razpokanega prereza z vplivom lezenja

→ določitev nove nevtralne osi, ravnotežje statičnih momentov:

$$30 \cdot 20 \text{ cm} \cdot x + 10 \text{ cm} + 65 \cdot x \cdot x / 2 \text{ cm} = \alpha \cdot A_s \cdot 21 - x \text{ cm}$$

$$600 \cdot (10 + 32,5 \cdot x^2) = 18,24 \cdot 25,45 \cdot (1 - x)$$

$$600 \cdot x + 6000 + 32,5 \cdot x^2 = 9748,4 - 464,21 \cdot x$$

$$32,5 \cdot x^2 + 1064,21 \cdot x - 3748,4 = 0$$

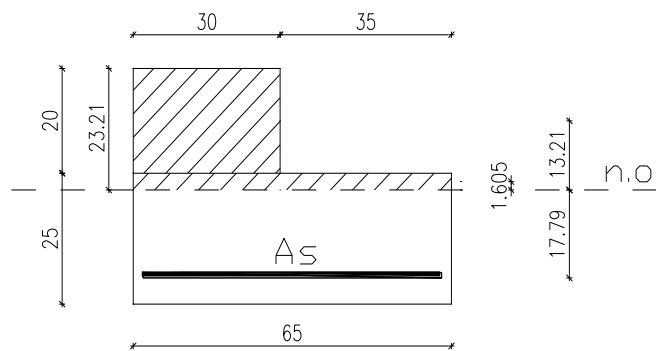
Rešitev kvadratne enačbe:

$$D = 1064,21^2 + 4 \cdot 32,5 \cdot 3748,4 = 1619834,9$$

$$x_{1,2} = \frac{-1064,21 \pm \sqrt{1619834,9}}{2 \cdot 32,5} = 3,21 \text{ cm}$$

Nova nevtralna os leži 20+3,21=23,21cm od zgornjega roba prereza

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:



Slika 20: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

Steinerjev stavek: $I = I_{cm} + m \cdot d^2$ $\alpha = 18,24$ $A_s = 25,45 \text{ cm}^2$

$$I_2'' = \frac{30 \cdot 20^3}{12} + 30 \cdot 20 \cdot 13,21^2 + \frac{65 \cdot 3,21^3}{12} + 3,21 \cdot 65 \cdot 1,605^2 + \alpha \cdot A_s \cdot 17,79^2 = 272333,56 \text{ cm}^4$$

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 326475,32 \text{ cm}^4$$

$$w_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 46,95 \text{ kN/m} \cdot (550 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \cdot 326475,32 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,56 \text{ cm}$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 272333,56 \text{ cm}^4$$

$$w_2 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 46,95 \text{ kN/m} \cdot (550 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \cdot 272333,56 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,87 \text{ cm}$$

Račun pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{dop}; \quad w_{dop} = \frac{1}{300} = \frac{550 \text{ cm}}{300} = 1,833 \text{ cm}; \quad \zeta = 0,94$$

$$w_{c,fin} = 0,94 \cdot 1,87 \text{ cm} + (1 - 0,94) \cdot 1,56 \text{ cm} = 1,83 \text{ cm} < w_{dop}$$

Izračun širine razpok:

$$q_{Ed} = 46,95 \text{ kN/m}$$

Povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok:

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

Napetost v natezni armaturi razpokanega prereza:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot A_s} = \frac{177,53 \cdot 100}{36,9 \cdot 25,45} = 18,90 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Ed} = 177,53 \text{ kNm}; \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 41 = 36,9 \text{ cm}; \quad A_s = 25,45 \text{ cm}^2$$

Razmerje med armaturo in efektivnim sodelujočim betonskim prerezom:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,ef}} = \frac{25,45 \text{ cm}^2}{65 \text{ cm} \cdot 7,26 \text{ cm}} = 0,054$$

$$h_{c,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{h - x}{3} \right] \\ \left[2,5 \cdot (h - d) \right] \end{array} \right.$$

$$x_2 = 23,21 \text{ cm} - \text{razpokan prerez} \rightarrow \left[\frac{h - x}{3} \right] = \left[\frac{45 - 23,21}{3} \right] = 7,26 \text{ cm}$$

$$2,5 \cdot \left[h - d \right] \rightarrow 2,5 \cdot \left[45 - 41 \right] = 10 \text{ cm}$$

Razmerje med elastičnima moduloma materialov:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

Faktor v odvisnosti od trajanja obtežbe:

$$k_t = 0,4 - \text{dolgotrajna obtežba}$$

Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami:

$$\left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}}{E_s} \right] \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{18,90 - 0,4 \cdot \frac{0,32}{0,054} + 5,88 \cdot 0,054}{20000} \geq 0,6 \cdot \frac{18,90}{20000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000788 \geq 0,000567$$

Maksimalna razdalja med razpokami $(s_{r,max})$, če je razmak med palicami $\leq 5 \cdot c + \phi/2$

$\phi = 1,8 \text{ cm}$; $c = 3 \text{ cm}$ (dejanski); dejanski razmak = 4,33 cm

$$4,33 \text{ cm} \leq 5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) = 19,5 \text{ cm}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3 \text{ cm} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,8 \text{ cm}}{0,054} = 15,87 \text{ cm}$$

$k_1 = 0,8$ – rebrasta armatura

$k_2 = 0,5$ – upogibna obremenitev

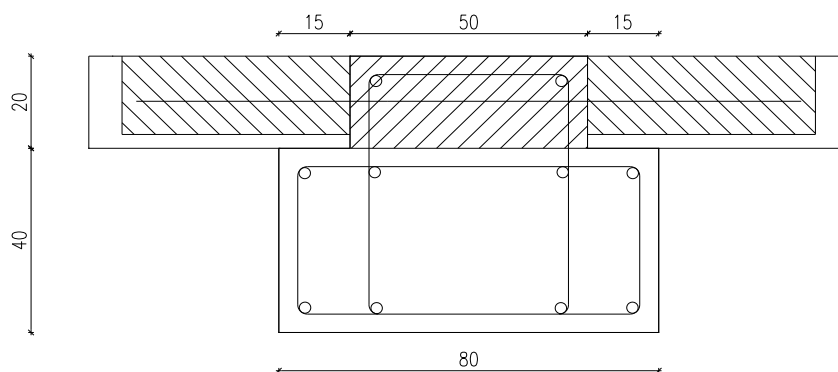
$k_3 = 3,4$ in $k_4 = 0,425$ – priporočljive vrednosti

Računska širina razpok:

$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 15,87 \text{ cm} \cdot 0,000788 = 0,0125 \text{ cm} = 0,125 \text{ mm} < w_{k,max} = 0,24 \text{ mm}$$

4.2 POZ: N2 – AB »T« nosilec; b/h = 80/60cm; C 35/45; S500

POZ: N₂ predstavlja nosilec »T« oblike, ki poteka po sredini objekta, vzporedno s POZ: N₁
 Poleg svoje lastne teže prevzema še obtežbo prednapetih votlih plošč, ki se nanj naslanjajo iz obeh strani. V dolžino meri 6,0 m, naslanja se na stebre.



Slika 21: Spoj med sredinskim nosilcem in PVP ploščami

Obtežba plošče:

- stalna in lastna..... $g = 5,31 \text{ kN/m}^2$

- koristna obtežba..... $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$

→ razpon plošče: $7,0 \text{ m} \rightarrow g_p = 7,0 \text{ m} \cdot 5,31 \text{ kN/m}^2 = 37,17 \text{ kN/m}$

→ $q_p = 7,0 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ kN/m}^2 = 21,0 \text{ kN/m}$

Lastna teža nosilca:

$$A = 0,8 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,42 \text{ m}^2$$

$$g_n = 0,42 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 10,5 \text{ kN/m}$$

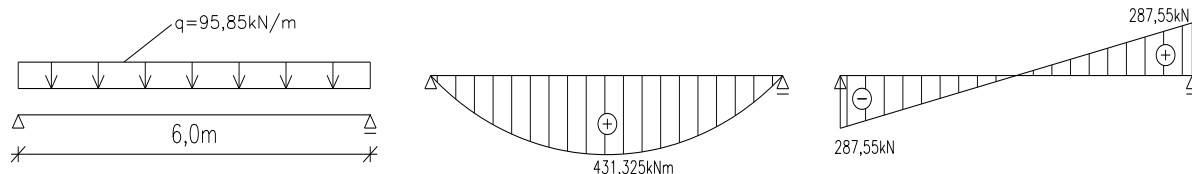
Končna obtežba:

$$g = 10,5 \text{ kN/m} + 37,17 \text{ kN/m} = 47,67 \text{ kN/m} \quad q = 21,0 \text{ kN/m}$$

4.2.1 Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 47,67 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 21,0 \text{ kN/m} = 95,85 \text{ kN/m}$$

Računski model in obremenitve nosilca:



Slika 22: Računski model in obremenitve nosilca

$$M_{d,MAX} = \frac{q_{Ed} l^2}{8} = \frac{95,85 \text{ kN/m} \cdot 6,0 \text{ m}^2}{8} = 431,325 \text{ kNm}$$

$$V_d = \frac{q_{Ed} l}{2} = \frac{95,85 \text{ kN/m} \cdot 6,0 \text{ m}}{2} = 287,55 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje:

Pri dimenzioniranju nosilca smo upoštevali kot, da nosi le spodnji del, saj zgornji pride zalit kasneje. Na tak način smo na varni strani.

Upogib:

$$k_h = \frac{M_d}{f_{cd} \cdot b \cdot h^2} = \frac{431,325 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 80 \text{ cm} \cdot (36 \text{ cm})^2} = 0,1785 \rightarrow k_s = 1,113$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{h \cdot f_{yd}} = 1,113 \cdot \frac{431,325 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{36 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2} = 30,66 \text{ cm}^2 \quad \frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{0,3\%}{0,9\%}$$

Max (%) armiranja: $0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 4200 \text{ cm}^2 = 168 \text{ cm}^2$

Izberemo: $15\phi^R 18$; $A_{s,dej} = 38,1 \text{ cm}^2$

Strig: $V_d = 287,55 \text{ kN}$

Strižna nosilnost prereza, brez strižne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck} \right)^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq \left[k_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$ $b_w = 500 \text{ mm}$ $d = 560 \text{ mm}$ $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} \leq 2 \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{360 \text{ mm}}} = 1,745 \quad A_{sl} = 38,1 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = \frac{38,1 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm} \cdot 56 \text{ cm}} = 0,013$$

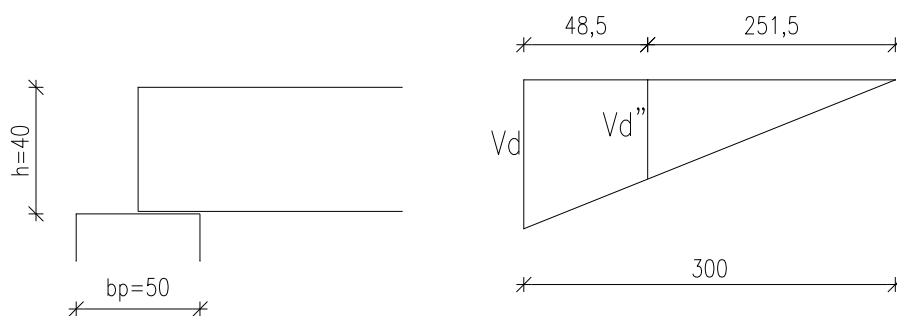
$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,745^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,477$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,59 \cdot 100 \cdot 0,013 \cdot 35^{1/3} + 0 \right] \cdot 500 \cdot 560 \geq 0,477 + 0 \cdot 500 \cdot 560$$

$$V_{Rd,c} = 190482,1 \text{ N} = 190,5 \text{ kN} \geq 133,56 \text{ kN}$$

$V_{Rd,c} = 190,5 \text{ kN} < V_{Ed} = 287,55 \text{ kN} \Rightarrow$ potrebujemo strižno armaturo

Redukcija prečne sile na koncu nosilca zaradi direktnega prenosa v podporo:



Slika 23: Reduciranje prečne sile ob podpori, zaradi direktnega prenosa v podporo (steber)

$$\frac{b_p}{2} + d = \frac{25}{2} + 36 = 48,5 \text{ cm} \qquad \frac{V_d}{300} = \frac{V_d''}{251,5} \rightarrow V_d'' = \frac{285,55 \text{ kN} \cdot 251,5 \text{ cm}}{300 \text{ cm}}$$

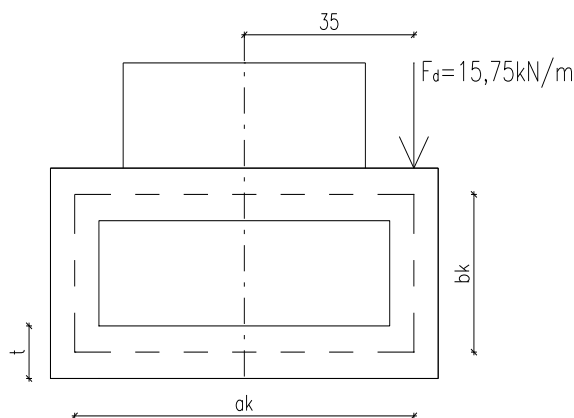
$$V_d'' = 239,4 \text{ kN}$$

Strižna nosilnost z vertikalno strižno armaturo:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d(\text{kN})}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta} \qquad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{239,4 \text{ kN}}{0,9 \cdot 56 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,11 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Torzija:

Obravnavamo kot, da je torzijski obremenitvi izpostavljen le spodnji del nosilca, saj zgornji pride zalit na mestu kasneje, tako smo na varni strani.



Slika 24: Zunanji rob torzijsko učinkovitega prereza z ekscentrično prisotnostjo koristne Obtežbe

Obravnavamo kot, da je koristna obtežba prisotna le na eni strani:

$$q_{pl} = 3,0 \text{ kN/m}^2 \rightarrow q_{Ed} = 3,0 \text{ kN/m} \cdot 1,5 = 4,5 \text{ kN/m} \quad \text{razpon plošče je } 7,0 \text{ m}$$

$$F_d = 4,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,0 \text{ m} \cdot 1/2 = 15,75 \text{ kN/m} \quad \text{dolžina nosilca je } 6,0 \text{ m}$$

$$T_{Ed} = 15,75 \text{ kN} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m} \cdot 1/2 = 16,54 \text{ kNm}$$

$$t = \frac{A}{u} \leq t_{dej} \quad A = 40 \text{ cm} \cdot 80 \text{ cm} = 3200 \text{ cm}^2 \quad u = 2 \cdot \left(40 + 80 \right) \text{ cm} = 240 \text{ cm}$$

$$t = \frac{3200 \text{ cm}^2}{240 \text{ cm}} = 13,33 \text{ cm} \quad a_k = 80 \text{ cm} - 13,33 \text{ cm} = 66,67 \text{ cm}$$

$$b_k = 40 \text{ cm} - 13,33 \text{ cm} = 26,7 \text{ cm}$$

$$A_k = 66,67 \text{ cm} \cdot 26,7 \text{ cm} = 1780,09 \text{ cm}^2 \quad u_k = 2 \cdot 66,67 + 26,7 \text{ cm} = 186,7 \text{ cm}$$

Ploščina prereza vzdolžne armature:

$$\frac{\sum A_{sl} \cdot f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed} \cdot \cot\theta}{2 \cdot A_k} \rightarrow$$

$$\sum A_{sl} = \frac{u_k \cdot T_{Ed} \cdot \cot\theta}{f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k} = \frac{186,7 \text{ cm} \cdot 16,54 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 1,0}{43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2 \cdot 1780,09 \text{ cm}^2} = 2,0 \text{ cm}^2$$

$$\phi^R 10 \rightarrow A_s = 1,13 \text{ cm}^2 \rightarrow \frac{2,0 \text{ cm}^2}{1,13 \text{ cm}^2} = 1,77$$

Izberemo: $4\phi^R 10$ v vogalih $A_{s,dej} = 3,14 \text{ cm}^2$

Največja odpornost prereza, ki je izpostavljena torziji in prečni sili je omejena z odpornostjo betonskih razpor:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0 \quad T_{Ed} = 1654 \text{ kNcm} \quad V_{Ed} = 239,4 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad \alpha_{cw} = 1,0; \quad v = 0,516; \quad \phi = 45^\circ$$

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot 0,516 \cdot 1,0 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1780,09 \text{ cm}^2 \cdot 13,33 \text{ cm} \cdot \sin 45 \cdot \cos 45 = 28519,8 \text{ kNcm}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 56 \text{ cm} \cdot 0,516 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 / (1+1) = 1817,8 \text{ kN}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} \text{ [Mpa]}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 1817,7 \text{ kN}$$

$$\frac{1654 \text{ kNcm}}{28519,8 \text{ kNcm}} + \frac{239,4 \text{ kN}}{1817,7 \text{ kN}} = 0,19 < 1,0$$

Pri približno pravokotnih prečnih prerezi se zahteva le najmanjša armatura, če je izpolnjen pogoj:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} \leq 1,0 \quad V_{Ed} = 239,4 \text{ kN} \quad T_{Ed} = 16,54 \text{ kNm} \quad V_{Rd,c} = 190,5 \text{ kN}$$

$$T_{Rd,c} = 2A_k t_{ef,i} f_{ctd} = 2A_k t_{ef,i} \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_C} = 2 \cdot 1780,09 \cdot 13,33 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,22}{1,5} = 6960,4 \text{ kNcm} = 69,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{239,4}{190,5} + \frac{16,54}{69,6} = 1,26 + 0,23 = 1,49 > 1$$

Potrebujemo strižno armaturo.

Strižna armatura zaradi torzije:

Prečna sila zaradi torzije:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} \cdot z_i; \quad z_i = a_k = 66,67 \text{ cm}$$

Strižni tok v i-ti steni ($i=1,2$) nadomestnega zaprtega tankostenskega prereza, ki je izpostavljen čisti torziji:

$$\tau_{t,i} \cdot t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k} = \frac{16,54 \text{ kN} \cdot 100 \text{ cm}}{2 \cdot 1780,09 \text{ cm}^2} = 0,46 \text{ kN/cm}$$

Prečna sila v i-ti steni ($i=1,2$) zaradi torzijske obremenitve:

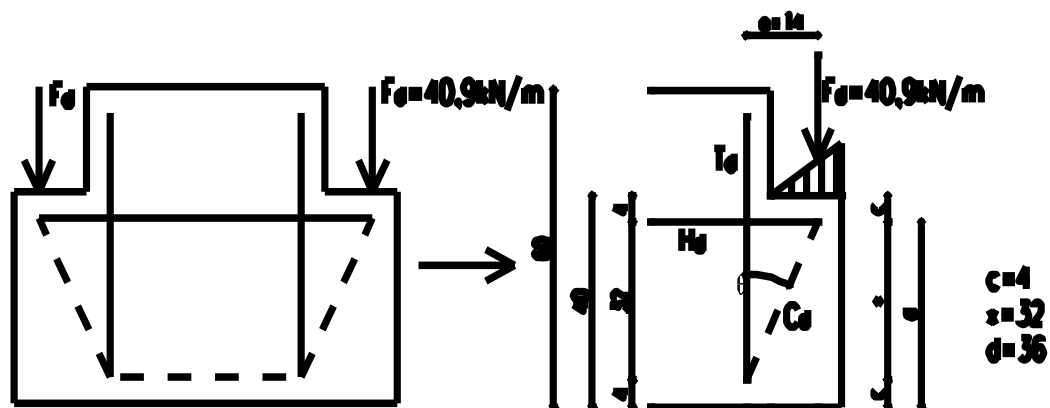
$$V_{Ed,1} = \tau_{t,1} \cdot t_{ef,1} \cdot z_1; \quad z_1 = a_k = 66,67 \text{ cm} \quad V_{Ed,1} = 0,46 \cdot 66,67 = 30,7 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,2} = \tau_{t,2} \cdot t_{ef,2} \cdot z_2; \quad z_2 = b_k = 26,7 \text{ cm} \quad V_{Ed,2} = 0,46 \cdot 26,7 = 12,28 \text{ kN}$$

Določitev strižne armature:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d \text{ (kN)}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta} \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{30,7 \text{ kN}}{0,9 \cdot 36 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,022 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Oblikovanje ležišča za plošče:



Slika 25: Mehanizem delovanja z razporami in vezmi

$$\theta = \arctg \frac{a}{x} = \arctg \frac{14}{32} = 23,63^\circ \quad F_d = 40,9 \text{ kN/m}$$

Nateg:

$$H_d = F_d \cdot \operatorname{tg} \theta + \frac{x+c}{x} \cdot \mu \cdot F_d \quad \text{povečana vrednost natezne sile zaradi morebitnih premikov}$$

$$H_d = 40,9 \text{ kN} \cdot \operatorname{tg} 23,63 + \frac{36}{32} \cdot 0,7 \cdot 40,9 \text{ kN} = 50,072 \text{ kN/m} \quad \mu = 0,7 - \text{koeficient trenja}$$

$$A_{sh} = \frac{H_d}{f_{yd}} = \frac{50,072 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,15 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{1,15}{100} = 0,0115 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Tlak:

$$C_{dej} = \frac{F_d}{\cos \theta} = \frac{40,9 \text{ kN}}{\cos 23,63} = 44,64 \text{ kN/m}$$

$$C_{dop} = 0,2 \cdot d \cdot \sin \varphi \cdot f_{cd} = 0,2 \cdot 36 \text{ cm} \cdot \sin 23,63 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 = 6,72 \text{ kN/cm} = 672 \text{ kN/m}$$

$$C_{dej} = 44,64 \text{ kN/m} < C_{dop} = 672 \text{ kN/m}$$

Nateg:

$$T_d = F_d + \frac{0,5 \cdot \mu \cdot F_d}{\operatorname{tg} 45} = F_d \cdot 1 + 0,5 \cdot \mu = 40,9 \text{ kN} \cdot 1 + 0,5 \cdot 0,7 = 55,215 \text{ kN/m}$$

$$A_{sv} = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{55,215 \text{ kN}}{43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,27 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{1,27}{100} = 0,0127 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Horizontalna stremena - torzija in H_d :

$$\sum \frac{A_{sw}}{s} = 0,022 + 0,0115 = 0,0335 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$\phi^R 6 \rightarrow A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2 - \text{eno strižno streme (n=1)} \quad s = \frac{A_{sw}}{0,022} = \frac{0,28}{0,0335} = 8,36 \text{ cm}$$

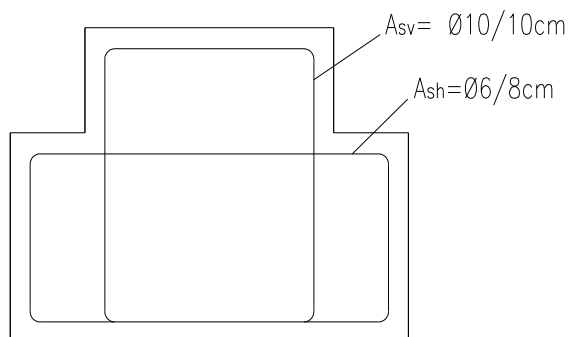
Izberemo: $\phi^R 6/8 \text{ cm}$

Vertikalna stremena - prečna sila in T_d :

$$\sum \frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,11}{2} + 0,0127 = 0,067 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$\phi^R 10 \rightarrow A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2 - \text{eno strižno streme (n=1)} \quad s = \frac{A_{sw}}{0,0976} = \frac{0,79}{0,067} = 11,8 \text{ cm}$$

Izberemo: $\phi^R 10/10$ cm



Slika 26: Skica strižne armature

4.2.2 Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti

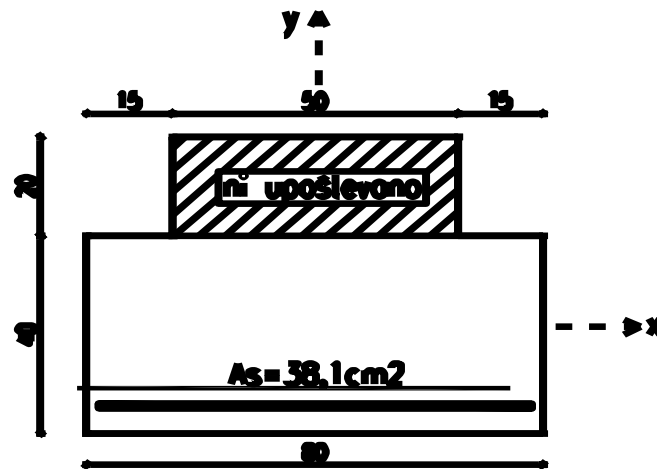
Kombinacija vplivov za navidezno stalno projektno stanje:

$$E_d = E_d \left(\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$q_{Ed} = 47,67 \text{ kN/m} \cdot 1,0 + 21,0 \cdot 0,8 \text{ kN/m} = 64,47 \text{ kNm}$$

Notranje statične količine:

$$M_{d,MAX} = \frac{q_{Ed} l^2}{8} = \frac{64,47 \text{ kN/m} \cdot 6,0 \text{ m}^2}{8} = 290,12 \text{ kNm}$$



Slika 27: Geometrija in količina armature v nosilcu kot osnova za izračune v MSU

Izračun vertikalnih pomikov (poves):

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 426666,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 426666,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,75 \text{ cm}$$

$$E_{cm} = 22 \sqrt[3]{f_{cm}} / 10^3 = 22 \cdot \sqrt[3]{3} / 10^3 = 3400 \text{ kN/cm}^2$$

Izračun vztrajnostnega momenta prereza:

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i}$$

$$\sum F_i \cdot y_i = 80 \cdot 40 \cdot 20 \text{ cm}^3 = 64000 \text{ cm}^3$$

$$\sum F_i = (80 \cdot 40) \text{ cm}^2 = 3200 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{64000 \text{ cm}^3}{3200 \text{ cm}^2} = 20 \text{ cm}$$

Vztrajnostni moment:

$$I_x = \frac{80 \cdot 40^3}{12} = 426666,7 \text{ cm}^4$$

Odpornostni moment:

$$W_x = \frac{I_x}{y_T} = \frac{426666,7 \text{ cm}^4}{20 \text{ cm}} = 21333,3 \text{ cm}^3$$

Določitev lege nevtralne osi:

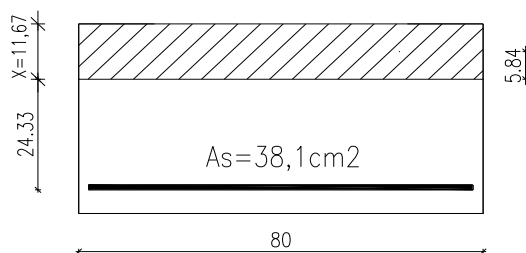
$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2; \quad \alpha = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{20.000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{80} \cdot \left(5,88 \cdot 38,1 + \sqrt{5,88 \cdot 38,1 \cdot 80 \cdot 36 + 5,88 \cdot 38,1} \right) = 11,67 \text{ cm}$$

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:

$$\text{Steinerjev stavek: } I = I_{cm} + m \cdot d^2 \quad \alpha = 5,88 \quad A_s = 38,1 \text{ cm}^2$$



Slika 28: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

$$I_2 = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot (d - x)^2 = \frac{80 \cdot 11,67^3}{3} + 5,88 \cdot 38,1 \cdot 24,33^2 = 174995,114 \text{ cm}^4$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 174995,114 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 174995,114 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,83 \text{ cm}$$

Račun trenutnega pomika:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{\text{dop}}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{\sigma} \right)^2; \quad \left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{\sigma} \right) = \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right); \quad M_{\text{cr}} - \text{moment, ki povzroči prvo razpoko}$$

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot W; \quad W = 21333,3 \text{ cm}^3; \quad f_{\text{ctm}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C35/40)}$$

$$M_{cr} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \cdot 21333,3 \text{ cm}^3 = 6826,7 \text{ kNcm}; \quad M = 29012 \text{ kNcm}$$

$$\beta_1 = 0,5 - \text{dolgotrajna obtežba} \quad \zeta = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{6826,7}{29012} \right)^2 = 0,97$$

$$w_{dop} = \frac{1}{300} = \frac{600}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$w_{c,inst} = 0,97 \cdot 1,83 \text{ cm} + (1 - 0,97) \cdot 0,75 \text{ cm} = 1,79 \text{ cm} < w_{dop}$$

Pomiki nosilca z upoštevanjem lezenja betona:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} - \text{nazivna velikost prereza}$$

$$A_c = 40 \cdot 80 \text{ cm}^2 = 3200 \text{ cm}^2$$

$$u = 2 \cdot 40 + 80 \text{ cm} = 240 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot 3200 \text{ cm}^2}{240 \text{ cm}} = 26,67 \text{ cm}$$

podatki za določitev koeficienta lezenja φ s pomočjo slike 3.1, str 34 v EN 1992-1-1:2005

$$RH = 50\% ; \quad t \geq 28 \text{ dni} ; \quad h_0 = 266,7 \text{ mm} ; \quad C(35/40) ; \quad \text{krivulja N}$$

odčitek: $\varphi \cong 2,0$

$$\Rightarrow E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{3400 \text{ kN/cm}^2}{1 + 2,0} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2$$

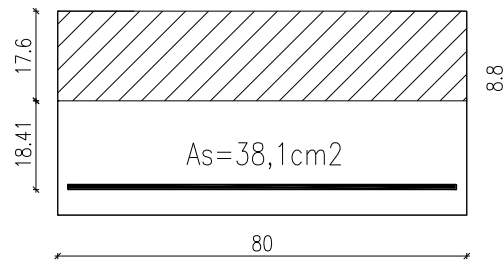
$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000}{1133,33} = 17,65$$

Spremeni se α in posledično tudi lega nevtralne osi!

$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2 ; \quad \alpha = 17,65$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{80} \cdot \left(17,65 \cdot 38,1 + \sqrt{17,65 \cdot 38,1 \cdot 80 \cdot 36 + 17,65 \cdot 38,1} \right) = 17,59 \text{ cm}$$



Slika 29: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

Vztrajnostni moment:

$$I_2'' = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot (-x)^2 = \frac{80 \cdot 17,6^3}{3} + 17,65 \cdot 38,1 \cdot 18,41^2 = 373297,98 \text{ cm}^4$$

Ne razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 426666,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 426666,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 2,25 \text{ cm}$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 373297,98 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 373297,98 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 2,57 \text{ cm}$$

Račun pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{dop} \quad w_{dop} = \frac{l}{300} = \frac{600 \text{ cm}}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$\zeta = 0,97;$$

$$w_{c,fin} = 0,97 \cdot 2,57 \text{ cm} + (1 - 0,97) \cdot 2,25 \text{ cm} = 2,56 \text{ cm} > w_{dop}$$

POMIKI SO PREKORAČENI

Na gradbišče prinesemo prefabriciran element dimenzij $b/h = 80/60$ cm. Na element položimo PVP plošče z ležiščem 15 cm iz obeh strani. Nato prazen prostor med ploščami, dimenzij $b/h = 50/20$ cm zalijemo z betonom, predhodno pa vanj vstavimo povezovalno armaturo za vzpostavitev toge šipe. Povezovalno armaturo namestimo v vnaprej pripravljene luknje v ploščah skozi na mestu liti del nosilca, pravokotno na glavno (daljšo) os nosilca – *glej detajle v načrtu*.

Iz izračuna pomikov je razvidno, da so pomiki elementa dimenzij $b/h = 80/60$ cm prekoračeni. Za zmanjšanje pomikov bi morali povečati dimenzije nosilca, lahko pa pristopimo tudi drugače: Glede na to, da smo v računu upoštevali tudi koristno obtežbo, kateri element nazadnje omenjenih dimenzij dejansko ni izpostavljen, bomo račun ponovili in sicer za dva primera. Kontrola povesov in razpok za:

- 1.) 4.2.3 Element kvadratnega prereza; $b/h = 80/40$ cm, brez prisotnosti koristne obtežbe
- 2.) 4.2.4 Element (T) prereza; $b/h = 80/60$ cm, s prisotnostjo koristne obtežbe

Konstrukcijo lahko polno obremenjujemo s koristno obtežbo ($q = 3,0 \text{ kN/m}^2$) šele 28 dni po izvršitvi na mestu litega dela.

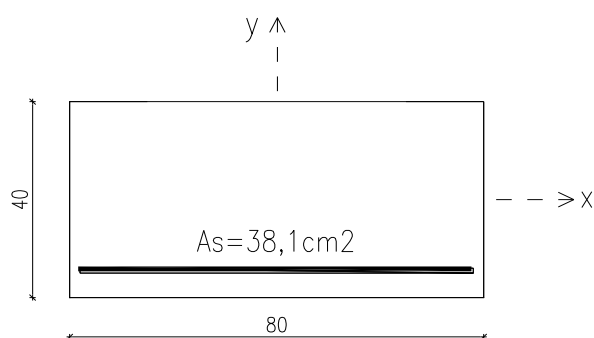
4.2.3 Element pravokotnega prereza; $b/h = 80/40$ cm, brez prisotnosti koristne obtežbe

Kombinacija vplivov za navidezno stalno projektno stanje:

Brez prisotnosti koristne obtežbe:

$$E_d = E_d \left(\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right) \quad E_d = E_d \left(\sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$q_{Ed} = 47,67 \text{ kN/m}$$



Slika 30: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune za MSU

Notranje statične količine:

$$M_{d,MAX} = \frac{q_{Ed} l^2}{8} = \frac{47,67 \text{ kN/m} \cdot 6,0^2 \text{ m}^2}{8} = 214,52 \text{ kNm}$$

Izračun vertikalnih pomikov (poves):

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 426666,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 47,67 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 426666,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,55 \text{ cm}$$

$$E_{cm} = 22 \sqrt[3]{\frac{f_{cm}}{10}} = 22 \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{10}} = 3400 \text{ kN/cm}^2$$

Vztrajnostni moment: – enako kot pri predhodnem izračunu

$$I_x = \frac{80 \cdot 40^3}{12} = 426666,7 \text{ cm}^4$$

Odpornostni moment

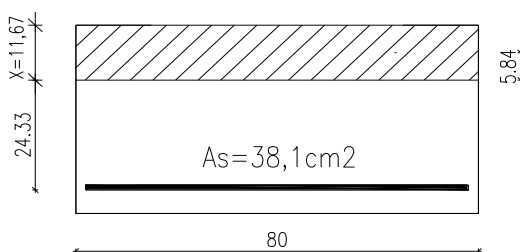
$$W_x = \frac{I_x}{y_T} = \frac{426666,7 \text{ cm}^4}{20 \text{ cm}} = 21333,3 \text{ cm}^3$$

Določitev lege nevtralne osi: – enako kot pri predhodnem izračunu

$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2; \quad \alpha = 5,88 \quad X = 11,67 \text{ cm}$$

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:

– enako kot pri predhodnem izračunu



Slika 31: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

$$I_2 = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot (-x)^2 = \frac{80 \cdot 11,67^3}{3} + 5,88 \cdot 38,1 \cdot 24,33^2 = 174995,114 \text{ cm}^4$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 174995,114 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 47,67 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 174995,114 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,35 \text{ cm}$$

Račun trenutnega pomika:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{dop}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right)^2; \quad \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right) = \left(\frac{M_{cr}}{M} \right); \quad M_{cr} - \text{moment, ki povzroči prvo razpoko}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W; \quad W = 21333,3 \text{ cm}^3; \quad f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C35/40)}$$

$$M_{cr} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \cdot 21333,3 \text{ cm}^3 = 6826,7 \text{ kNcm}; \quad M = 21452,0 \text{ kNcm}$$

$\beta_1 = 0,5$ – dolgotrajna obtežba

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{6826,7}{21452,0} \right)^2 = 0,95 \quad w_{dop} = \frac{1}{300} = \frac{600}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$w_{c,inst} = 0,95 \cdot 1,35 \text{ cm} + (1 - 0,95) \cdot 0,55 \text{ cm} = 1,31 \text{ cm} < w_{dop}$$

Pomiki nosilca z upoštevanjem lezenja betona:

podatki za določitev koeficienta lezenja φ – enako kot pri predhodnem izračunu

$$RH = 50\%; \quad t \geq 28 \text{ dni}; \quad h_0 = 266,7 \text{ mm}; \quad C(35/40); \quad \text{krivulja N}$$

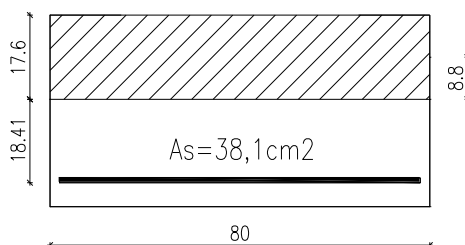
odčitek: $\varphi \cong 2,0$

$$\Rightarrow E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{3400 \text{ kN/cm}^2}{1 + 2,0} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{1133,33 \text{ kN/cm}^2} = 17,65$$

Spremeni se α in posledično tudi lega nevtralne osi! – enako kot pri predhodnem izračunu

$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2; \quad \alpha = 17,65 \quad X = 17,59 \text{ cm}$$



Slika 32: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

Vztrajnostni moment: – enako kot pri predhodnem izračunu

$$I_2'' = 373297,98 \text{ cm}^4$$

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 426666,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I} = \frac{5 \cdot 47,67 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 426666,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,66 \text{ cm}$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 373297,98 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I} = \frac{5 \cdot 47,67 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1133,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 373297,98 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,9 \text{ cm}$$

Račun končnega pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{\text{dop}} \quad \zeta = 0,95 \quad w_{\text{dop}} = \frac{l}{300} = \frac{600 \text{ cm}}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$w_{c,\text{fin}} = 0,95 \cdot 1,9 \text{ cm} + (1 - 0,95) \cdot 1,66 \text{ cm} = 1,89 \text{ cm} < w_{\text{dop}}$$

Izračun širine razpok:

$$q_{\text{Ed}} = 47,67 \text{ kN/m}$$

Povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok:

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{\text{ct,eff}} = f_{\text{ctm}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

Napetost v natezni armaturi razpokanega prereza:

$$\sigma_s = \frac{M_{\text{Ed}}}{z \cdot A_s} = \frac{214,52 \cdot 100}{32,4 \cdot 38,1} = 17,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{\text{Ed}} = 214,52 \text{ kNm}; \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 36 = 32,4 \text{ cm}; \quad A_s = 38,1 \text{ cm}^2$$

Razmerje med armaturo in efektivnim sodelujočim betonskim prerezom:

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,\text{ef}}} = \frac{38,1 \text{ cm}^2}{80 \text{ cm} \cdot 7,47 \text{ cm}} = 0,064$$

$$h_{c,\text{ef}} = \min \begin{cases} h - x / 3 \\ 2,5 \cdot h - d \end{cases}$$

$$x_2 = 17,59 \text{ cm} - \text{razpokan prerez} \rightarrow h - x / 3 = 40 - 17,59 / 3 = 7,47 \text{ cm}$$

$$2,5 \cdot h - d \rightarrow 2,5 \cdot 40 - 36 = 10 \text{ cm}$$

Razmerje med elastičnima moduloma materialov:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

Faktor v odvisnosti od trajanja obtežbe:

$$k_t = 0,4 \text{ - dolgotrajna obtežba}$$

Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}}}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{17,38 - 0,4 \cdot \frac{0,32}{0,064}}{20000} \geq 0,6 \cdot \frac{17,38}{20000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00073 \geq 0,00052$$

Maksimalna razdalja med razpokami $s_{r,max}$, če je razmak med palicami $\leq 5 \cdot c + \phi / 2$

$$\phi = 1,8 \text{ cm}; \quad c = 3 \text{ cm (dejanski)}; \quad \text{dejanski razmak} = 9,24 \text{ cm}$$

$$5,3 \text{ cm} \leq 5 \cdot 3 + 1,8 / 2 = 19,5 \text{ cm}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3 \text{ cm} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,8 \text{ cm}}{0,064} = 14,98 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0,8 \text{ - rebrasta armatura}; \quad k_2 = 0,5 \text{ - upogibna obremenitev}$$

$$k_3 = 3,4 \text{ in } k_4 = 0,425 \text{ - priporočljive vrednosti}$$

Računska širina razpok:

$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 14,98 \text{ cm} \cdot 0,00073 = 0,0109 \text{ cm} = 0,109 \text{ mm} < 0,24 \text{ mm}$$

4.2.4 Element (T) prereza; $b/h = 80/60 \text{ cm}$, s prisotnostjo koristne obtežbe

Kombinacija vplivov za navidezno stalno projektno stanje:

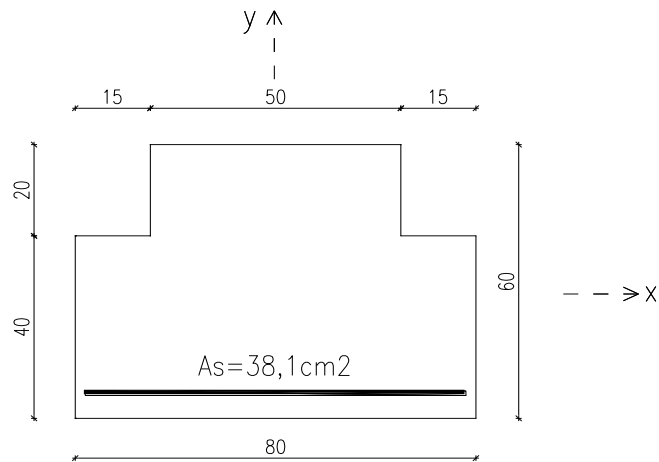
S prisotnostjo koristne obtežbe:

$$E_d = E_d \left(\sum_{j>1} G_{k,j} + "P" + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot 47,67 \text{ kN/m} + 0,8 \cdot 21,0 \text{ kN/m} = 64,47 \text{ kNm}$$

Notranje statične količine:

$$M_{\text{MAX,Ed}} = \frac{q_{\text{Ed}} l^2}{8} = \frac{64,47 \text{ kN/m} \cdot 6,0 \text{ m}^2}{8} = 290,12 \text{ kNm}$$



Slika 33: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU

Izračun vertikalnih pomikov (poves):

$$E_{\text{cm}} = 22 f_{\text{cm}} / 10^{0,3} = 22 \cdot 43 / 10^{0,3} = 3400 \text{ kN/cm}^2$$

Nerazpokan prerez:

$$E_{\text{cm}} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 1146537,5 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1146537,5 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,279 \text{ cm}$$

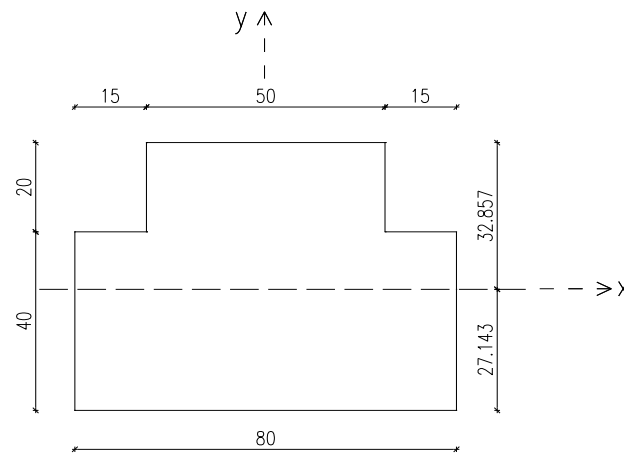
Izračun vztrajnostnega momenta prereza:

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i}$$

$$\sum F_i \cdot y_i = 80 \cdot 40 \cdot 20 + 50 \cdot 20 \cdot 50 \text{ cm} = 114000 \text{ cm}^3$$

$$\sum F_i = (80 \cdot 40 + 50 \cdot 20) \text{ cm} = 4200 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{114000 \text{ cm}^3}{4200 \text{ cm}^2} = 27,143 \text{ cm}$$



Slika 34: Težišče prereza

Vztrajnostni moment:

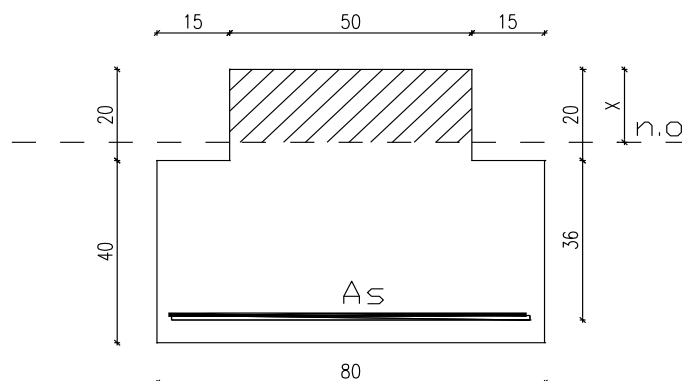
$$I_x = \left(40 \cdot 80 \cdot 7,143^2 + \frac{80 \cdot 40^3}{12} + 50 \cdot 20 \cdot 22,857^2 + \frac{50 \cdot 20^3}{12} \right) = 1146537,5 \text{ cm}^4$$

Odpornostni moment:

$$W_x = \frac{I_x}{y_T} = \frac{1146537,5 \text{ cm}^4}{27,143 \text{ cm}} = 42240,6 \text{ cm}^3$$

Določitev lege nevtralne osi:

$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2; \quad \alpha = 5,88$$

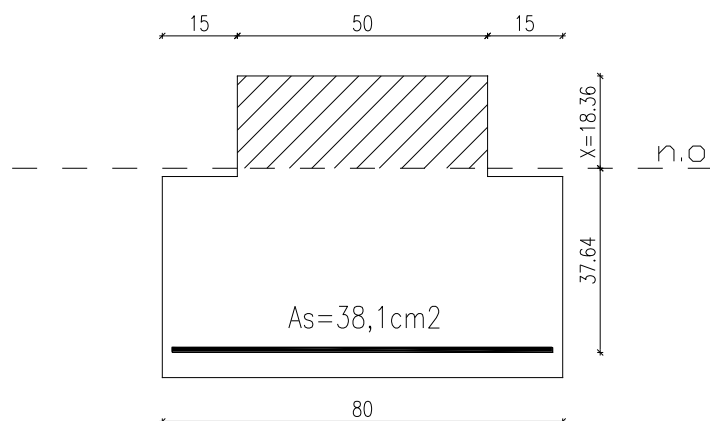


Slika 35: Izračun lege nevtralne osi

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(-\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot 2 \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{50} \cdot \left(-5,88 \cdot 38,1 + \sqrt{5,88 \cdot 38,1 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 56 + 5,88 \cdot 38,1} \right) = 18,36 \text{ cm}$$

Izračun vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:



Slika 36: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

$$I_2 = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot (d - x)^2 = \frac{50 \cdot 18,36^3}{3} + 5,88 \cdot 38,1 \cdot 37,64^2 = 420545,5 \text{ cm}^4$$

Razpokan prerez:

$$E_{cm} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 420545,5 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 420545,5 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,76 \text{ cm}$$

Račun trenutnega pomika:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{dop}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right)^2; \quad \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma} \right) = \left(\frac{M_{cr}}{M} \right); \quad M_{cr} - \text{moment, ki povzroči prvo razpoko}$$

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot W; \quad W = 42240,6 \text{ cm}^3; \quad f_{ctm} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C35/40)}$$

$$M_{cr} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \cdot 42240,6 \text{ cm}^3 = 13517,0 \text{ kNcm}; \quad M = 29012 \text{ kNcm}$$

$\beta_1 = 0,5$ – dolgotrajna obtežba

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{13517}{29012} \right)^2 = 0,89 \quad w_{dop} = \frac{1}{300} = \frac{600}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$w_{c,inst} = 0,89 \cdot 0,76 \text{ cm} + (1 - 0,89) \cdot 0,279 \text{ cm} = 0,71 \text{ cm} < w_{dop}$$

Pomiki nosilca z upoštevanjem lezenja betona:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} - \text{nazivna velikost prereza}$$

$$A_c = 40 \cdot 80 + 20 \cdot 50 \text{ cm} = 4200 \text{ cm}^2$$

$$u = 40 + 80 + 40 + 15 + 20 + 50 + 20 + 15 = 280 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot 4200 \text{ cm}^2}{280 \text{ cm}} = 30 \text{ cm}$$

podatki za določitev koeficienta lezenja φ – enako kot pri predhodnem izračunu

$$RH = 50\% ; \quad t \geq 28 \text{ dni} ; \quad h_0 = 300 \text{ mm} ; \quad C(35/45) ; \quad \text{krivulja N}$$

odčitek: $\varphi \cong 2,1$

$$\Rightarrow E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{3400 \text{ kN/cm}^2}{1 + 2,1} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{1096,77 \text{ kN/cm}^2} = 18,23$$

Spremeni se α in posledično tudi lega nevtralne osi!

Izračun nove nevtralne osi:

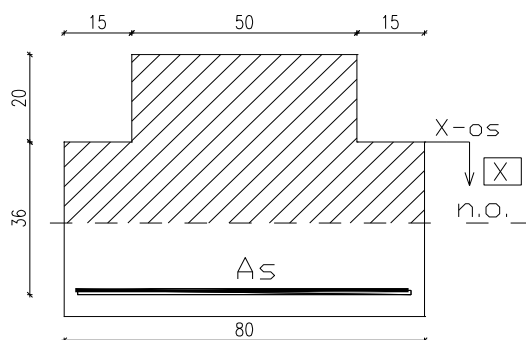
$$A_s = 38,1 \text{ cm}^2 ; \quad \alpha = 18,23$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(-\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot 2 \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{50} \cdot \left(-18,23 \cdot 38,1 + \sqrt{18,23 \cdot 38,1 \cdot 2 \cdot 50 \cdot 56 + 18,23 \cdot 38,1} \right) = 27,92 \text{ cm}$$

Prekoračena je meja širine $b = 50 \text{ cm} \rightarrow 27,93 \text{ cm} > 20 \text{ cm}$

\rightarrow Izračun nove nevtralne osi



Slika 37: Izračun lege nove nevtralne osi v razpokanem prerezu

Ravnotežje statičnih momentov: $A_s = 38,1 \text{ cm}^2$; $\alpha = 18,23$

$$50 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 10 + x \text{ cm} + 80 \cdot x \cdot x / 2 \text{ cm} = \alpha \cdot A_s \cdot 36 - x \text{ cm}$$

$$10000 + 1000 \cdot x + 45 \cdot x^2 = 18,23 \cdot 38,1 \cdot 36 - x$$

$$10000 + 1000 \cdot x + 45 \cdot x^2 = 25004,27 - 694,56 \cdot x$$

$$45 \cdot x^2 + 1694,56 \cdot x - 15004,27 = 0$$

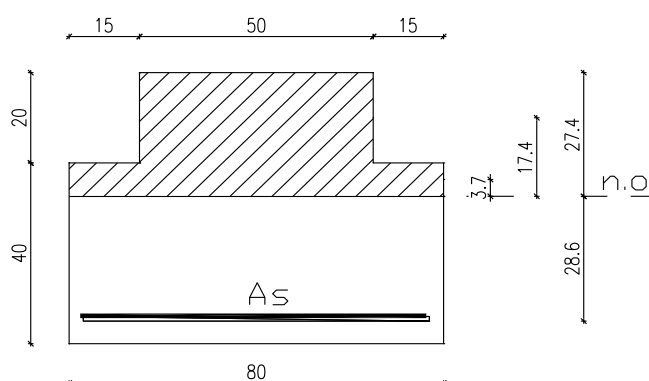
Rešitev kvadratne enačbe:

$$D = 1694,56^2 + 4 \cdot 45 \cdot 15004,27 = 5572302,19$$

$$x_{1,2} = \frac{-1694,56 \pm \sqrt{5572302,19}}{2 \cdot 45} = 7,4 \text{ cm}$$

Nova nevtralna os leži $20 + 7,4 = 27,4 \text{ cm}$ od zgornjega roba prereza

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:



Slika 38: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

Steinerjev stavek: $I = I_{cm} + m \cdot d^2$ $\alpha = 18,24$ $A_s = 38,1 \text{ cm}^2$

$$I_2'' = \frac{50 \cdot 20^3}{12} + 50 \cdot 20 \cdot 17,4^2 + \frac{80 \cdot 7,4^3}{12} + 80 \cdot 7,4 \cdot 3,7^2 + \alpha \cdot A_s \cdot 28,6^2 = 915335,7 \text{ cm}^4$$

Nerazpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 1146537,5 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1146537,5 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,86 \text{ cm}$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 1146537,5 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 64,47 \text{ kN/m} \cdot (600 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1096,77 \text{ kN/cm}^2 \cdot 915335,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,08 \text{ cm}$$

Račun pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{\text{dop}} \quad w_{\text{dop}} = \frac{l}{300} = \frac{600 \text{ cm}}{300} = 2,0 \text{ cm}$$

$$\zeta = 0,89;$$

$$w_{c,\text{fin}} = 0,89 \cdot 1,08 \text{ cm} + (1 - 0,89) \cdot 0,86 \text{ cm} = 1,05 \text{ cm} < w_{\text{dop}}$$

Izračun širine razpok:

$$q_{\text{Ed}} = 64,47 \text{ kN/m}$$

Povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok:

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{\text{ct,eff}} = f_{\text{ctm}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

Napetost v natezni armaturi razpokanega prereza:

$$\sigma_s = \frac{M_{\text{Ed}}}{z \cdot A_s} = \frac{290,12 \cdot 100}{50,4 \cdot 38,1} = 15,11 \text{ N/cm}^2$$

$$M_{\text{Ed}} = 290,12 \text{ kNm}; \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 56 = 50,4 \text{ cm}; \quad A_s = 38,1 \text{ cm}^2$$

Razmerje med armaturo in efektivnim sodelujočim betonskim prerezom:

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,\text{ef}}} = \frac{38,1 \text{ cm}^2}{80 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}} = 0,0476$$

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} h - x / 3 \\ 2,5 \cdot h - d \end{cases}$$

$$x_1 = 18,36 \text{ cm} - \text{razpokan prerez} \rightarrow h - x / 3 = 60 - 18,36 / 3 = 13,88 \text{ cm}$$

$$x_2 = 27,4 \text{ cm} - \text{razpokan prerez} \rightarrow h - x / 3 = 60 - 27,4 / 3 = 10,87 \text{ cm}$$

$$2,5 \cdot h - d \rightarrow 2,5 \cdot 60 - 56 = 10 \text{ cm}$$

Razmerje med materialnima elastičnima moduloma:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

Faktor v odvisnosti od trajanja obtežbe:

$$k_t = 0,4 - \text{dolgotrajna obtežba}$$

Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{15,11 - 0,4 \cdot \frac{0,32}{0,0476} (1 + 5,88 \cdot 0,0476)}{20000} \geq 0,6 \cdot \frac{15,11}{20000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000583 \geq 0,000453$$

Maksimalna razdalja med razpokami $s_{r,max}$, če je razmak med palicami $\leq 5 \cdot c + \phi / 2$

$$\phi = 1,8 \text{ cm}; \quad c = 3 \text{ cm (dejanski)}; \quad \text{dejanski razmak} = 3,2 \text{ cm}$$

$$3,2 \text{ cm} \leq 5 \cdot 3 + 1,8 / 2 = 19,5 \text{ cm}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3 \text{ cm} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,8 \text{ cm}}{0,0476} = 16,66 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0,8 - \text{rebrasta armatura}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{upogibna obremenitev}$$

$$k_3 = 3,4 \text{ in } k_4 = 0,425 - \text{priporočljive vrednosti}$$

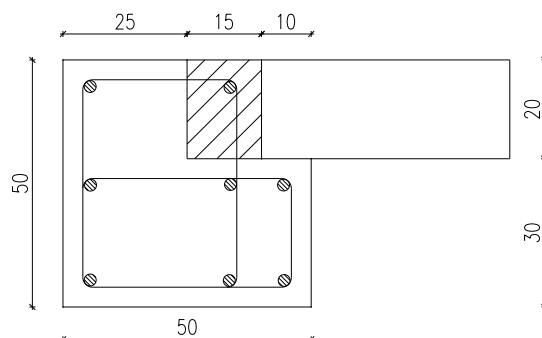
Računska širina razpok

$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 16,6 \text{ cm} \cdot 0,000583 = 0,0096 \text{ cm} = 0,096 \text{ mm} < 0,24 \text{ mm}$$

4.3 POZ: N₃– AB »E« nosilec b/h = 50/50 cm, C35/45, S500

POZ: N₃ predstavlja nosilec »L« oblike, dimenzij b/h = 50/50cm, ki se nahaja na obodu obeh krajših stranic objekta. Poleg svoje lastne teže prevzema še obtežbo fasade. Prednapete votle plošče se sicer nanj naslanjajo, vendar obtežba slednjih se na nosilec ne prenaša, saj so plošče nosilne v eni smeri.

Nosilec meri v dolžino 7,0 m naslanja se na kratke konzole, ki so sestavni del stebrov.



Slika 39: Spoj med obodnim nosilcem in PVP ploščo, ki ne prenaša obtežbe na nosilec

Obtežba :

Lastna teža nosilca:

$$A = 0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$$

$$g_0 = 0,23 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN} / \text{m}^3 = 6,25 \text{ kN} / \text{m}$$

Stalna in lastna teža fasade:

$$g_f = 3,4 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad \text{višina fasade} \quad h = 3,9 \text{ m}$$

$$g_f = 3,4 \text{ kN} / \text{m}^2 \cdot 3,9 \text{ m} = 13,26 \text{ kN} / \text{m}$$

Končna obtežba:

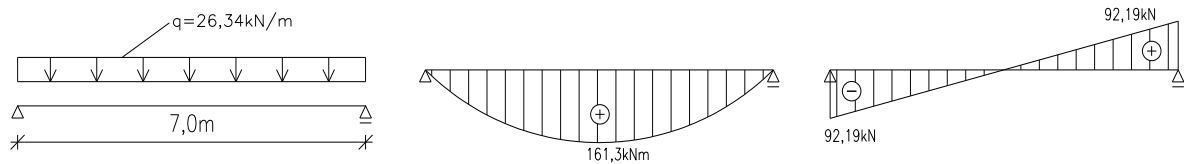
$$g = 6,25 \text{ kN} / \text{m} + 13,26 \text{ kN} / \text{m} = 19,51 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q = 0,0 \text{ kN} / \text{m}$$

4.3.1 Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot q = 1,35 \cdot 19,51 \text{ kN} / \text{m} + 1,5 \cdot 0,0 \text{ kN} / \text{m} = 26,34 \text{ kNm}$$

Računski model in obremenitve nosilca:



Slika 40: Računski model in obremenitve nosilca

$$M_{MAX} = \frac{q_{Ed} l^2}{8} = \frac{26,37 \text{ N/m} \cdot (7,0 \text{ m})^2}{8} = 161,3 \text{ kNm}$$

$$V = \frac{q_{Ed} l}{2} = \frac{26,34 \text{ kN/m} \cdot 7,0 \text{ m}}{2} = 92,19 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje:

Upogib:

$$k_h = \frac{M_d}{f_{cd} \cdot b \cdot h^2} = \frac{161,3 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 25 \text{ cm} \cdot 46^2} = 0,131 \rightarrow k_s = 1,083$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{h \cdot f_{yd}} = 1,083 \cdot \frac{161,3 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{46 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2} = 8,7 \text{ cm}^2 \quad \frac{\epsilon_c}{\epsilon_s} = \frac{0,225\%}{0,9\%}$$

Izberemo: $5\phi^R 18$; $A_{s,dej} = 12,72 \text{ cm}^2$

Strig: $V_d = 92,19 \text{ kN}$

Strižna nosilnost prereza, brez strižne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot 100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12 \quad b_w = 250 \text{ mm} \quad d = 460 \text{ mm} \quad f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} \leq 2 \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{460 \text{ mm}}} = 1,66$$

$$A_{sl} = 12,72 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = \frac{12,72 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm} \cdot 46 \text{ cm}} = 0,0111$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,66^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,443$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,66 \cdot 100 \cdot 0,0111 \cdot 35^{1/3} + 0 \right] \cdot 250 \cdot 460 \geq 0,443 + 0 \cdot 250 \cdot 460$$

$$V_{Rd,c} = 77491,55 \text{ N} = 77,5 \text{ kN} \geq 50,9 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 77,5 \text{ kN} < V_d = 92,19 \text{ kN} \Rightarrow \text{potrebujemo strižno armaturo}$$

Strižna nosilnost z vertikalno strižno armaturo:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_d \text{ (kN)}}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta} \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{92,19 \text{ kN}}{0,9 \cdot 46 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,051$$

$$\text{Izberemo: } \phi^R 6 \quad A_{sw} = 2 \cdot 0,28 \text{ cm}^2 = 0,57 \text{ cm}^2 \text{ - dvostrizno streme}$$

$$s = \frac{A_{sw}}{0,051} = \frac{0,57}{0,051} = 11,17 \text{ cm}$$

Izberem strižno armaturo: $\phi^R 6/10 \text{ cm}$

$$1,75 \text{ m od podpore} \rightarrow \phi^R 6/10 \text{ cm}; \quad 3,5 \text{ m sredinskega območja} \rightarrow \phi^R 6/20 \text{ cm}$$

Pogoj:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Rd,s,dej} = \frac{0,57 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 46 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1,0 = 102,65 \text{ kN}$$

Kontrola nosilnosti tlačnih razpor:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 25 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 46 \text{ cm} \cdot 0,516 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 / (1 + 1) = 622,2 \text{ kN}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} \text{ Mpa}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = 622,2 \text{ kN} > V_{Rd,s,dej} = 102,65 \text{ kN}$$

4.3.2 Dimenzioniranje na MSU – mejno stanje uporabnosti

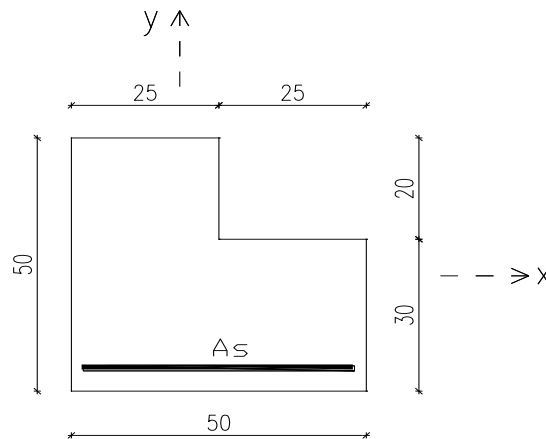
Kombinacija vplivov za navidezno stalno projektno stanje:

$$E_d = E_d \left(\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

$$q_{Ed} = 1,0 \cdot 19,51 \text{ kN/m} = 19,51 \text{ kNm}$$

Notranje statične količine:

$$M_{\text{MAX}} = \frac{q_{\text{Ed}} l^2}{8} = \frac{19,51 \text{ kN/m} \cdot (7,0 \text{ m})^2}{8} = 119,5 \text{ kNm}$$



Slika 41: Geometrija in količina armature v nosilcu, kot osnova za izračune v MSU

Izračun vertikalnih pomikov (poves):

Nerazpokan prerez:

$$E_{\text{c,eff}} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 363541,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I} = \frac{5 \cdot 19,51 \text{ kN/m} \cdot (700 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 363541,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 0,49 \text{ cm}$$

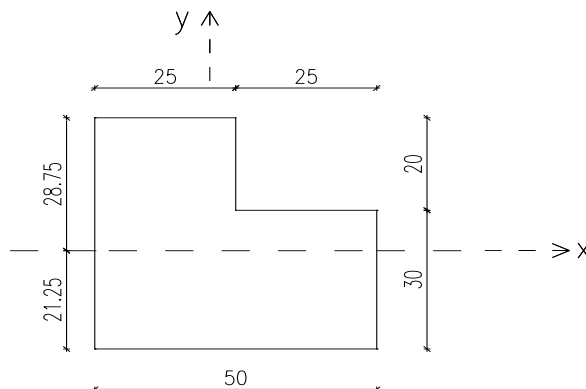
Izračun vztrajnostnega momenta prereza:

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i}; \quad \sum F_i \cdot y_i = 50 \cdot 30 \cdot 15 + 25 \cdot 20 \cdot 40 \text{ cm} = 42500 \text{ cm}^3$$

$$\sum F_i = (50 \cdot 30 + 25 \cdot 20) \text{ cm} = 2000 \text{ cm}^2$$

$$y_T = \frac{42500 \text{ cm}^3}{2000 \text{ cm}^2} = 21,25 \text{ cm}$$

Vztrajnostni moment:



Slika 42: Težišče prereza

$$I_x = 50 \cdot 30 \cdot 6,25^2 + \frac{50 \cdot 30^3}{12} + 20 \cdot 25 \cdot 18,75^2 + \frac{25 \cdot 20^3}{12} = 363541,7 \text{ cm}^4$$

Odpornostni moment:

$$W_x = \frac{I_x}{y_T} = \frac{363541,7 \text{ cm}^4}{21,25 \text{ cm}} = 17107,8 \text{ cm}^3$$

Določitev lege nevtralne osi:

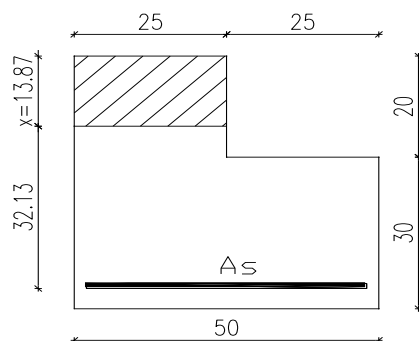
$$A_s = 12,72 \text{ cm}^2; \quad \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20.000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(-\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot 2 \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s^2} \right)$$

$$X = \frac{1}{25} \cdot \left(-5,88 \cdot 12,72 + \sqrt{5,88 \cdot 12,72 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 46 + 5,88 \cdot 12,72^2} \right) = 13,87 \text{ cm}$$

Določitev vztrajnostnega momenta ekvivalentnega (razpokanega) prereza:

Steinerjev stavek: $I = I_{cm} + m \cdot d^2$ $\alpha = 5,88$ $A_s = 12,72 \text{ cm}^2$



Slika 43: Lega nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

$$I_2 = \frac{b \cdot x^3}{3} + \alpha \cdot A_s \cdot d - x^2 = \frac{25 \cdot 13,87^3}{3} + 5,88 \cdot 12,72 \cdot 32,13^2 = 99447,8 \text{ cm}^4$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,\text{eff}} = 3400 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 99447,8 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{\text{Ed}} \cdot l^4}{384 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I} = \frac{5 \cdot 19,51 \text{ kN/m} \cdot (700 \text{ cm})^4}{384 \cdot 3400 \text{ kN/cm}^2 \cdot 99447,8 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,8 \text{ cm}$$

Račun trenutnega pomika:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{\text{dop}}$$

$$\zeta = 1 - \beta_1 \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{\sigma} \right)^2; \quad \left(\frac{\sigma_{\text{cr}}}{\sigma} \right) = \left(\frac{M_{\text{cr}}}{M} \right); \quad M_{\text{cr}} - \text{moment, ki povzroči prvo razpoko}$$

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot W; \quad W = 17107,8 \text{ cm}^3; \quad f_{\text{ctm}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (C35/40)}$$

$$M_{\text{cr}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2 \cdot 17107,8 \text{ cm}^3 = 5474,5 \text{ kNcm}; \quad M = 11950 \text{ kNcm}$$

$\beta_1 = 0,5$ – dolgotrajna obtežba

$$\zeta = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{5474,5}{11950} \right)^2 = 0,89 \quad w_{\text{dop}} = \frac{1}{300} = \frac{700 \text{ cm}}{300} = 2,33 \text{ cm}$$

$$w_{c,\text{inst}} = 0,89 \cdot 1,8 \text{ cm} + (1 - 0,89) \cdot 0,49 \text{ cm} = 1,66 \text{ cm} < w_{\text{dop}}$$

Izračun pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} - \text{nazivna velikost prereza}$$

$$A_c = 50 \cdot 30 + 25 \cdot 20 \text{ cm} = 2000 \text{ cm}^2$$

$$u = (50 + 50 + 30 + 25 + 20 + 25) \text{ cm} = 200 \text{ cm}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot 2000 \text{ cm}^2}{222 \text{ cm}} = 20 \text{ cm}$$

podatki za določitev koeficienta lezenja $\bar{\rho}$ s pomočjo slike 3.1, str 34 v EN 1992-1-1:2005

$$RH = 50\%; \quad t \geq 28 \text{ dni}; \quad h_0 = 200 \text{ mm}; \quad C(35/40); \quad \text{krivulja N}$$

odčitek: $\varphi \cong 2,2$

$$\Rightarrow E_{c,\text{eff}} = \frac{E_{\text{cm}}}{1 + \varphi} = \frac{3400 \text{ kN/cm}^2}{1 + 2,2} = 1062,5 \text{ kN/cm}^2$$

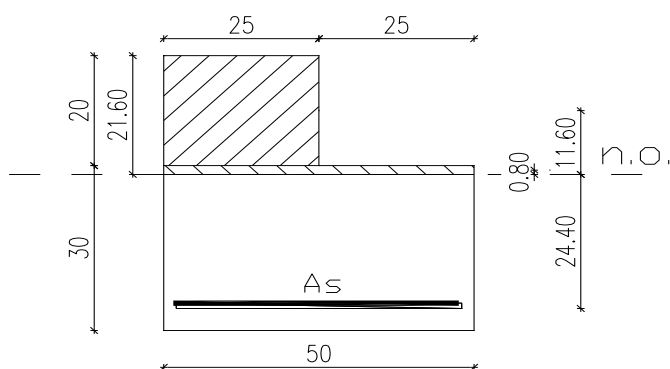
$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{1062,5 \text{ kN/cm}^2} = 18,82$$

Spremeni se α in posledično tudi lega nevtralne osi!

$$A_s = 12,72 \text{ cm}^2; \quad \alpha = 18,82$$

$$X = \frac{1}{b} \cdot \left(-\alpha \cdot A_s + \sqrt{\alpha \cdot A_s \cdot 2 \cdot b \cdot d + \alpha \cdot A_s} \right)$$

$$X = \frac{1}{25} \cdot \left(-18,82 \cdot 12,72 + \sqrt{18,82 \cdot 12,72 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 46 + 18,82 \cdot 12,72} \right) = 21,6 \text{ cm}$$



Slika 44: Lega nove nevtralne osi in tlačeno območje v razpokanem prerezu

Vztrajnostni moment:

$$\text{Steinerjev stavek: } I = I_{cm} + m \cdot d^2 \quad \alpha = 18,82 \quad A_s = 12,72 \text{ cm}^2$$

$$I_2 = \frac{25 \cdot 20^3}{12} + 25 \cdot 20 \cdot 11,6^2 + \frac{50 \cdot 1,6^3}{12} + 50 \cdot 1,6 \cdot 0,8^2 + \alpha \cdot A_s \cdot 24,4^2 = 226538,4 \text{ cm}^4$$

Ne razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1062,5 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 363541,7 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 19,51 \text{ kN/m} \cdot (700 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1062,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 363541,7 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 1,57 \text{ cm}$$

Razpokan prerez:

$$E_{c,eff} = 1062,5 \text{ kN/cm}^2 \quad I = 226538,4 \text{ cm}^4$$

$$w_c = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I} = \frac{5 \cdot 19,51 \text{ kN/m} \cdot (700 \text{ cm})^4}{384 \cdot 1062,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 226538,4 \text{ cm}^4 \cdot 100} = 2,5 \text{ cm}$$

Račun pomika z upoštevanjem lezenja betona:

$$w_c = \zeta \cdot w_2 + (1 - \zeta) \cdot w_1 \leq w_{\text{dop}} \qquad w_{\text{dop}} = \frac{1}{300} = \frac{700 \text{ cm}}{300} = 2,33 \text{ cm}$$

$$\zeta = 0,89 ;$$

$$w_{c,\text{fin}} = 0,89 \cdot 2,5 \text{ cm} + (1 - 0,89) \cdot 1,57 \text{ cm} = 2,32 \text{ cm} < w_{\text{dop}}$$

Izračun širine razpok:

$$q_{\text{Ed}} = 19,51 \text{ kN/m}$$

Povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok:

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{\text{ct,eff}} = f_{\text{ctm}} = 0,32 \text{ kN/cm}^2$$

Napetost v natezni armaturi razpokanega prereza:

$$\sigma_s = \frac{M_{\text{Ed}}}{z \cdot A_s} = \frac{119,5 \cdot 100}{41,4 \cdot 12,7} = 22,73 \text{ N/cm}^2$$

$$M_{\text{Ed}} = 119,5 \text{ kNm}; \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 46 = 41,4 \text{ cm}; \quad A_s = 12,7 \text{ cm}^2$$

Razmerje med armaturo in efektivnim sodelujočim betonskim prerezom:

$$\rho_{\text{p,eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{\text{c,ef}}} = \frac{12,72 \text{ cm}^2}{50 \text{ cm} \cdot 9,5 \text{ cm}} = 0,027$$

$$h_{\text{c,ef}} = \min \begin{cases} h - x / 3 \\ 2,5 \cdot h - d \end{cases}$$

$$x_1 = 21,6 \text{ cm} - \text{razpokan prerez} \rightarrow h - x / 3 = 50 - 21,6 / 3 = 9,5 \text{ cm}$$

$$2,5 \cdot h - d \rightarrow 2,5 \cdot 50 - 46 = 10 \text{ cm}$$

Razmerje med materialnima elastičnima moduloma:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{\text{cm}}} = \frac{20000 \text{ kN/cm}^2}{3400 \text{ kN/cm}^2} = 5,88$$

Faktor v odvisnosti od trajanja obtežbe

$$k_t = 0,4 - \text{dolgotrajna obtežba}$$

Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{22,73 - 0,4 \cdot \frac{0,32}{0,027} (1 + 5,88 \cdot 0,027)}{20000} \geq 0,6 \cdot \frac{22,73}{20000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,00086 \geq 0,000682$$

Maksimalna razdalja med razpokami $s_{r,max}$, če je razmak med palicami $\leq 5 \cdot c + \phi / 2$

$\phi = 1,8 \text{ cm}$; $c = 3 \text{ cm}$ (dejanski); dejanski razmak : $8,25 \text{ cm}$

$$8,25 \text{ cm} \leq 5 \cdot 3 + 1,8 / 2 = 19,5 \text{ cm}$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3 \text{ cm} + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,8 \text{ cm}}{0,027} = 21,53 \text{ cm}$$

$k_1 = 0,8$ – rebrasta armatura

$k_2 = 0,5$ – upogibna obremenitev

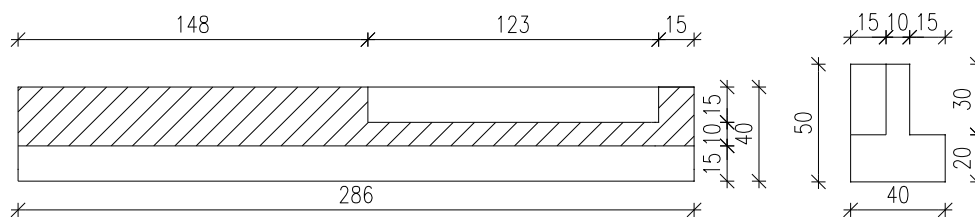
$k_3 = 3,4$ in $k_4 = 0,425$ – priporočljive vrednosti

Računska širina razpok:

$$w_k = s_{r,max} \cdot \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 21,53 \text{ cm} \cdot 0,00086 = 0,0185 \text{ cm} = 0,185 \text{ mm} < 0,24 \text{ mm}$$

4.4 POZ: N4 – AB »T« nosilec v stopniščnem jedru; b/h/d = 40/50/286; S500

POZ: N₄ predstavlja nosilec »T« oblike, dimenzij b/h = 40/50cm, ki se naslanja na vrh sten stopniščnega jedra. Poleg svoje lastne teže prevzema še obtežbo plošč in obtežbo ene stopniščne rame. V dolžino meri 2,86 m. Ta nosilec nismo dimenzionirali na mejno stanje uporabnosti, saj smo ta postopek izvedli že pri vseh predhodnih nosilcih.



Slika 45: Nosilec, na katerega se naslanjajo PVP plošče in stopniščna rama

Obtežba:

Od Plošč: ($L = 3,3\text{m}$)

$$g = 5,31\text{kN/m}^2; \quad q = 3,0\text{kN/m}^2$$

$$q_d = 1,35 \cdot 5,31\text{kN/m}^2 + 1,5 \cdot 3,0\text{kN/m}^2 = 11,67\text{kN/m}^2$$

$$\rightarrow 11,67\text{kN/m}^2 \cdot 3,3\text{m} \cdot 1/2 = 19,3\text{kN/m}$$

Od stopniščne rame: ($L/\text{š} = 3,0\text{m} / 1,2\text{m}$)

$$g = 8,4\text{kN/m}^2; \quad q = 3,0\text{kN/m}^2$$

$$q_d = 1,35 \cdot 8,4\text{kN/m}^2 + 1,5 \cdot 3,0\text{kN/m}^2 = 15,84\text{kN/m}^2$$

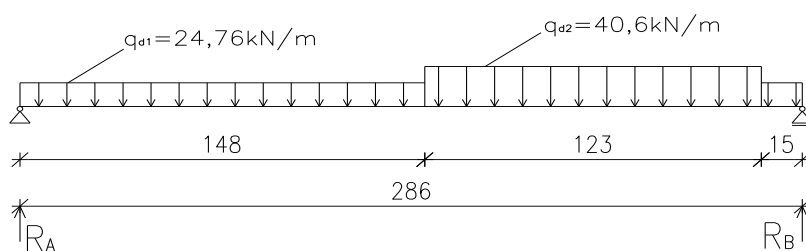
$$\rightarrow 15,84\text{kN/m}^2 \cdot 3,0\text{m} \cdot 1/2 = 23,76\text{kN/m}$$

Lastna teža nosilca: ($L=2,86\text{ m}$)

$$\rightarrow 0,4 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 25\text{kN/m}^3 = 3,87\text{kN/m}$$

$$q_d = 1,35 \cdot 3,87\text{kN/m} = 5,23\text{kN/m}$$

Računski model in obremenitve nosilca:



Slika 46: Računski model in obremenitve nosilca

Reakcije:

$$-q_{d1} \cdot 1,48^2 \cdot 1/2 - q_{d2} \cdot 1,23 \cdot 2,095 - 0,15 \cdot g_{d1} \cdot 2,785 + 2,86 \cdot R_B = 0$$

$$\underline{\sum M^A = 0}: -24,76 \cdot 1,48^2 \cdot 0,5 - 40,6 \cdot 1,23 \cdot 2,095 - 0,15 \cdot 24,76 \cdot 2,785 + 2,86 \cdot R_B = 0$$

$$R_B = \frac{142,08}{2,86} = 49,68 \text{ kN}$$

$$R_A = 1,48 + 0,15 \cdot q_{d1} + 1,23 \cdot q_{d2} - R_B$$

$$\underline{\sum F(Y) = 0}: R_A = 1,63 \cdot 24,76 + 1,23 \cdot 40,6 - 49,68$$

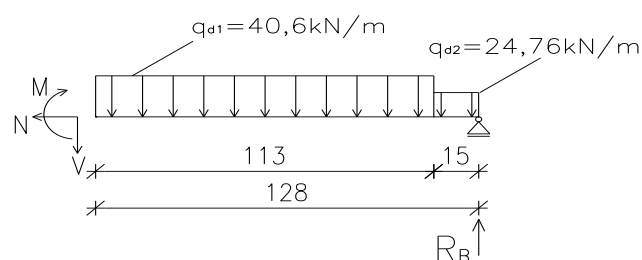
$$R_A = 40,62 \text{ kN}$$

Določitev mesta, kjer ima moment maksimalno vrednost:

$$0,15 \cdot q_{d1} + x \cdot q_{d2} = R_B$$

$$0,15 \cdot 24,76 + x \cdot 40,6 = 49,68$$

$$x = \frac{45,966}{40,6} = 1,132 \text{ m}$$



Slika 47: Razdalja, kjer ima moment maksimalno vrednost

$$M - 1,132^2 \cdot q_{d2} \cdot 1/2 - 0,15 \cdot q_{d1} \cdot 1,207 + 1,282 \cdot R_B = 0$$

$$M - 1,132^2 \cdot 40,6 \cdot 1/2 - 0,15 \cdot 24,76 \cdot 1,207 + 1,282 \cdot 49,68 = 0$$

$$M = 33,19 \text{ kNm}$$

4.4.1 Dimenzioniranje na MSN – mejno stanje nosilnosti

$$M_d = 33,19 \text{ kNm}; \quad V_d = 49,68 \text{ kN}$$

Upogib:

$$d = 47 \text{ cm}; \quad h = 50 \text{ cm}; \quad a = 3 \text{ cm}; \quad b = 10 \text{ cm}$$

$$k_h = \frac{M_d}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = \frac{33,19 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{2,33 \text{ kN/cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} \cdot (47 \text{ cm})^2} = 0,065 \rightarrow k_s = 1,05 \quad \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_s} = \frac{0,125\%}{0,8\%}$$

$$A_s = k_s \cdot \frac{M_d}{d \cdot f_{yd}} = 1,05 \cdot \frac{33,19 \text{ kNm} \cdot 100 \text{ cm}}{47 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_{s,\min} = 0,26 \cdot \frac{0,32}{50} \cdot 40 \cdot 47 = 3,13 \text{ cm}^2 > 0,0013 \cdot 40 \cdot 47 = 2,4 \text{ cm}^2$$

Izberemo: $2\phi^R 16$; $A_{s,\text{dej}} = 4,02 \text{ cm}^2 / \text{m}$

Strig: $V_d = 49,7 \text{ kN}$

Strižna nosilnost prereza, brez strižne armature:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot 100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12 \quad b_w = 100 \text{ mm} \quad d = 470 \text{ mm} \quad f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d(\text{mm})}} \leq 2 \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{470 \text{ mm}}} = 1,65$$

$$A_{sl} = 2,26 \text{ cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = \frac{2,26 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm} \cdot 47 \text{ cm}} = 0,0048$$

$$k_1 = 0,15$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,65^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,44$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,65 \cdot 100 \cdot 0,0048 \cdot 35^{1/3} + 0 \right] \cdot 100 \cdot 470 \geq 0,44 + 0 \cdot 100 \cdot 470$$

$$V_{Rd,c} = 23811,7 \text{ N} = 23,81 \text{ kN} \geq 20,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 23,8 \text{ kN} < V_d = 49,7 \text{ kN} \Rightarrow \text{potrebujemo strižno armaturo}$$

Strižna nosilnost z vertikalno strižno armaturo:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{Vd(\text{kN})}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta} \quad \frac{A_{sw}}{s} = \frac{49,7 \text{ kN}}{0,9 \cdot 47 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1} = 0,027 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

Izberem: $\phi^R 6$ $A_{sw} = 2 \cdot 0,28 \text{ cm}^2 = 0,57 \text{ cm}^2$ - dvostržno streme

$$s = \frac{A_{sw}}{0,027} = \frac{0,57}{0,027} = 21 \text{ cm}; \quad s_{\text{MAX}} = 0,75d = 0,75 \cdot 47 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$$

Izberemo strižno armaturo: $\phi^R 6 / 20 \text{ cm}$

$$V_{\text{Rd},s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta \leq V_{\text{Rd},\text{max}}$$

$$V_{\text{Rd},s,\text{dej}} = \frac{0,57 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 47 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1,0 = 52,4 \text{ kN}$$

Kontrola nosilnosti tlačnih razpor:

$$V_{\text{Rd},\text{max}} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \text{tg}\theta)$$

$$V_{\text{Rd},\text{max}} = 1 \cdot 10 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 47 \text{ cm} \cdot 0,516 \cdot 2,33 \text{ kN/cm}^2 / (1 + 1) = 254,3 \text{ kN}$$

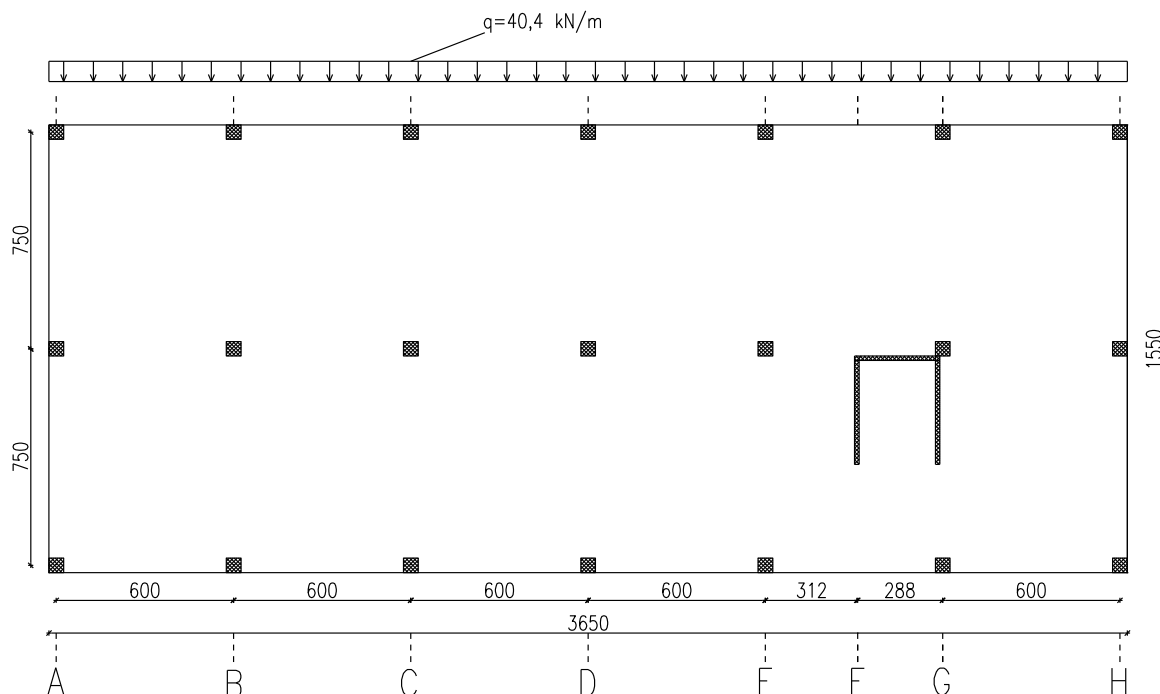
$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} \text{ Mpa}}{250} \right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{\text{Rd},\text{max}} = 254,3 \text{ kN} > V_{\text{Rd},s,\text{dej}} = 52,4 \text{ kN}$$

5 ZAGOTAVLJANJE POTREBNE OSNE TOGOSTI MEDETAŽNE STROPNE KONSTRUKCIJE

Skladno s postopkom iz knjige Precast Concrete Structures (S. Elliot, 2002)

Medetažna stropna konstrukcija bo torej izpostavljena horizontalni obremenitvi $F_1 = 1455,0 \text{ kN}$, ki bo razporejena linijsko po daljši stranici hale, saj je le-ta merodajna. Za krajšo stranico bomo uporabili enako natezno armaturo v območju obodnih nosilcev kot pri daljši, in tako bomo na varni strani.



Slika 48: Prikaz horizontalne obtežbe in vertikalnih elementov, ki obtežbo prenašajo

V vsaki konstrukciji so stropi in streha zelo pomembni za pravilno obnašanje celotne konstrukcije pri potresni obtežbi. Slednji delujejo kot horizontalna diafragma, ki zbira in prenaša vztrajnostne sile na navpične konstrukcijske sisteme ter zagotavlja, da ti sistemi pri prenosu vodoravnega potresnega vpliva delujejo kot celota. Ta način delovanja oz. prenašanja sil je še posebej pomemben pri nepravilnih navpičnih konstrukcijskih sistemih oz. mešanih sistemih, kjer so deformacijske značilnosti le-teh različne. Bistvena značilnost, ki jo morajo stropni sistemi izpolnjevati je, da imajo zadostno togost in nosilnost v svoji ravnini, ter da so

učinkovito spojeni z vertikalnimi konstrukcijskimi sistemi. Z drugimi besedami, diafragme morajo biti tako skonstruirane, da se v nadaljnjih analizah sme, brez večjih napak, predpostaviti njeno neskončno togost v svoji ravnini. Polna armiranobetonska plošča, se sme obravnavati kot toga v svoji ravnini (kot diafragma), če ni tanjša od 70 mm in je armirana v obeh smereh z minimalno armaturo, določeno v skladu s standardom. Zgoraj opisana problematika pride še toliko bolj do izraza, ko govorimo o montažnem načinu gradnje, saj je v tem primeru potrebno elemente, ki sestavljajo stropno konstrukcijo medsebojno povezati na tak način, da bodo izpolnjevali zahteve diafragme oz. uspešno prenašali horizontalne obremenitve na vertikalne konstrukcijske sisteme. Kadar pogoji diafragme niso izpolnjeni je deformabilnost v stikih in v ravnini stropa potrebno upoštevati v računskem modelu. Omenjena togost se lahko znatno izboljša, če uporabimo ustrezno krovno plast (tlačno ploščo) izdelano na mestu gradnje, ki pa mora seveda biti dobro povezana s prefabriciranimi elementi preko armature, ki je na ustreznih mestih puščena iz montažnih elementov. Minimalna debelina krovne plasti je 40 mm pri razponu do 8 m, za daljše razpone pa se vzame minimalno debelino 50 mm. V montažnih sistemih velja splošno pravilo, da se stropne konstrukcije obravnava kot diafragme, če izpolnjujejo tri zahteve: 1. imajo na mestu lito krovno ploščo, ki ni tanjša od 70 mm, 2. je projektirana tako, da sama zagotavlja zahtevano togost in nosilnost v svoji ravnini in 3. je beton krovne plasti zalit na čisto in grobo podlago ali pa je z njo povezan preko strižnih spojnih sredstev (moznikov). V obravnavanem objektu, ki je predmet diplomske naloge je predstavljen način vzpostavitve toge šipe (diafragme) brez prisotnosti krovne sloja, vendar s seveda ustreznim spajanjem vseh elementov, v skladu z že omenjenim postopkom iz knjige *Precast Concrete Structures* (S. Elliot, 2002).

5.1 Določitev horizontalnih reakcij v diafragmi na podlagi togosti vertikalnih elementov, ki se upirajo horizontalni obtežbi

Preglednica 3: Horizontalne reakcije vertikalnih elementov v diafragmi

element	l	X	lx	a	ela	Ia ²	Hi / H	Hn (kN)
A	0,19	0	0	27,92	52,62	148,1	0,149	216,8
B	0,19	6	1,14	21,92	41,31	91,3	0,11	174,6
C	0,19	12	2,28	15,92	30	48,15	0,088	128,0
D	0,19	18	3,42	9,92	18,7	18,7	0,058	84,4
E	0,19	24	4,56	3,92	7,39	2,92	0,028	40,74
F	10,5	27,1	284,5	0,82	85,4	7,06	0,698	1015,6
G	10,7	30	321	2,08	220,78	46,3	-0,11	-160,1
H	0,19	36	6,84	8,08	15,23	12,4	-0,032	-46,6
Σ	22,34	/	623,7	/	/	374,93	1	1455,0

Npr: Stebri: $a/b = (0,5/0,5)m$; $I_A = \frac{a \cdot b^3}{12} \rightarrow 12 = \text{const} \rightarrow I = 3 \cdot 0,5^4 = 0,1875 \simeq 0,19$ za tri stebre - ostalo so konstante

Stene: $a/b = (3,75 / 0,2)m$; $I_F = 3,75^3 \cdot 0,20 = 10,5$; ostalo so konstante

- x – oddaljenost posameznih osi od začetne osi

- $e = \frac{L}{2} - x = \frac{36}{2} - 27,9 = 9,92 m$ – ekscentričnost obtežbe

- $|a| = x - \bar{x}$

- $\bar{x} = \frac{\sum E_i \cdot I_i \cdot x_i}{\sum E_i \cdot I_i} = \frac{623,7}{22,34} = 27,92 m$ – center togosti

Reakcija posameznega elementa, ki se upira horizontalni obremenitvi je vsota translacije in

rotacije: $-\frac{H_n}{H} = \frac{E_n \cdot I_n}{\sum E_i \cdot I_i} \pm \frac{e \cdot E_n \cdot I_n \cdot a_n}{\sum E_i \cdot I_i \cdot a_i^2}$ če $x_i \leq \bar{x} \rightarrow +$
 $x_i > \bar{x} \rightarrow -$

$$- H_n = \frac{H_n}{H} \cdot F; \quad F = l \cdot q = 36 \text{ m} \cdot 40,4 \text{ kN/m} = F_1 = 1455 \text{ kN}$$

$$- \text{ročica notranjih sil: } z = 0,8 \cdot h = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ m}$$

Maksimalna natezna sila je na oddaljenosti: (x)

$$x = \frac{H_n}{q} - \frac{z}{(n+1) \cdot \mu''}; \quad n = 2 - \text{št. polj}; \quad \mu'' = 5 - \text{eksperimentalno določena konstanta}$$

$$x_1 = \frac{216 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 4,55 \text{ m}$$

$$x_2 = \frac{216 + 174,6 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 8,87 \text{ m}$$

$$x_3 = \frac{216 + 174,6 + 128 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 12,0 \text{ m}$$

$$x_4 = \frac{216 + 174,6 + 128 + 84,4 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 14,1 \text{ m}$$

$$x_5 = \frac{216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 15,1 \text{ m}$$

$$x_6 = \frac{216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 40,27 \text{ m - izven}$$

$$x_7 = \frac{216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 - 160,1 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 36,3 \text{ m - izven}$$

$$x_8 = \frac{216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 - 160,1 - 46,6 \text{ kN}}{40,4 \text{ kN/m}} - \frac{12 \text{ m}}{3 \cdot 5} = 35,2 \text{ m}$$

Momenti na izračunanih razdaljah

Med A in B

$$M = \frac{40,4 \cdot 4,55^2}{2} - 216 \cdot 4,55 = -564,6 \text{ kNm}$$

Med B in C

$$M = \frac{40,4 \cdot 8,87^2}{2} - 216 \cdot 8,87 - 174,6 \cdot 2,87 = -827,7 \text{ kNm}$$

Vtočki C

$$M = \frac{40,4 \cdot 12^2}{2} - 216 \cdot 12 - 174 \cdot 6,0 = -727,2 \text{ kNm}$$

Med C in D

$$M = \frac{40,4 \cdot 14,1^2}{2} - 216 \cdot 14,1 - 174,6 \cdot 8,1 - 128 \cdot 2,1 = -712,7 \text{ kNm}$$

Med C in D

$$M = \frac{40,4 \cdot 15,1^2}{2} - 216 \cdot 15,1 - 174,6 \cdot 9,1 - 128 \cdot 3,1 = -641,5 \text{ kNm}$$

še na mestu podpor

V točki B

$$M = \frac{40,4 \cdot 6^2}{2} - 216 \cdot 6 = -568,8 \text{ kNm}$$

V točki C

$$M = \frac{40,4 \cdot 12^2}{2} - 216 \cdot 12 - 174 \cdot 6,0 = -727,2 \text{ kNm}$$

V točki D

$$M = \frac{40,4 \cdot 18^2}{2} - 216 \cdot 18 - 174,6 \cdot 12 - 128 \cdot 6 = -206,4 \text{ Nm}$$

V točki E

$$M = \frac{40,4 \cdot 24^2}{2} - 216 \cdot 24 - 174,6 \cdot 18 - 128 \cdot 12 - 84,4 \cdot 6 = 1266 \text{ kNm}$$

V točki F

$$M = \frac{40,4 \cdot 27,12^2}{2} - 216 \cdot 27,12 - 174,6 \cdot 21,12 - 128 \cdot 15,12 - 84,4 \cdot 9,12 - 40,74 \cdot 3,12 = 2479,3 \text{ kNm}$$

V točki G

$$M = \frac{40,4 \cdot 30^2}{2} - 216 \cdot 30 - 174,6 \cdot 24 - 128 \cdot 18 - 84,4 \cdot 12 - 40,74 \cdot 6 - 1015,6 \cdot 2,88 = 1023,4 \text{ kNm}$$

Prečne sile

$$A \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 0 \text{ m} - 216 \text{ kN} = -216 \text{ kN}$$

$$B \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m} - 216 \text{ kN} = 26,4 \text{ kN}$$

$$B \rightarrow 40,6 \text{ kN/m} \cdot 6 \text{ m} - (216 + 174,6) \text{ kN} = -147 \text{ kN}$$

$$C \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 12 \text{ m} - (216 + 174,6) \text{ kN} = 94,2 \text{ kN}$$

$$C \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 12 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128) \text{ kN} = -33,8 \text{ kN}$$

$$D \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 18 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128) \text{ kN} = 208,6 \text{ kN}$$

$$D \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 18 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4) \text{ kN} = 124,2 \text{ kN}$$

$$E \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 24 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4) \text{ kN} = 366,6 \text{ kN}$$

$$E \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 24 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74) \text{ kN} = 325,86 \text{ kN}$$

$$F \rightarrow 40,4 \text{ kN/m} \cdot 27,12 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74) \text{ kN} = 451,91 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} F \rightarrow & 40,4 \text{ kN/m} \cdot 27,12 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6) \text{ kN} \\ & = -563,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

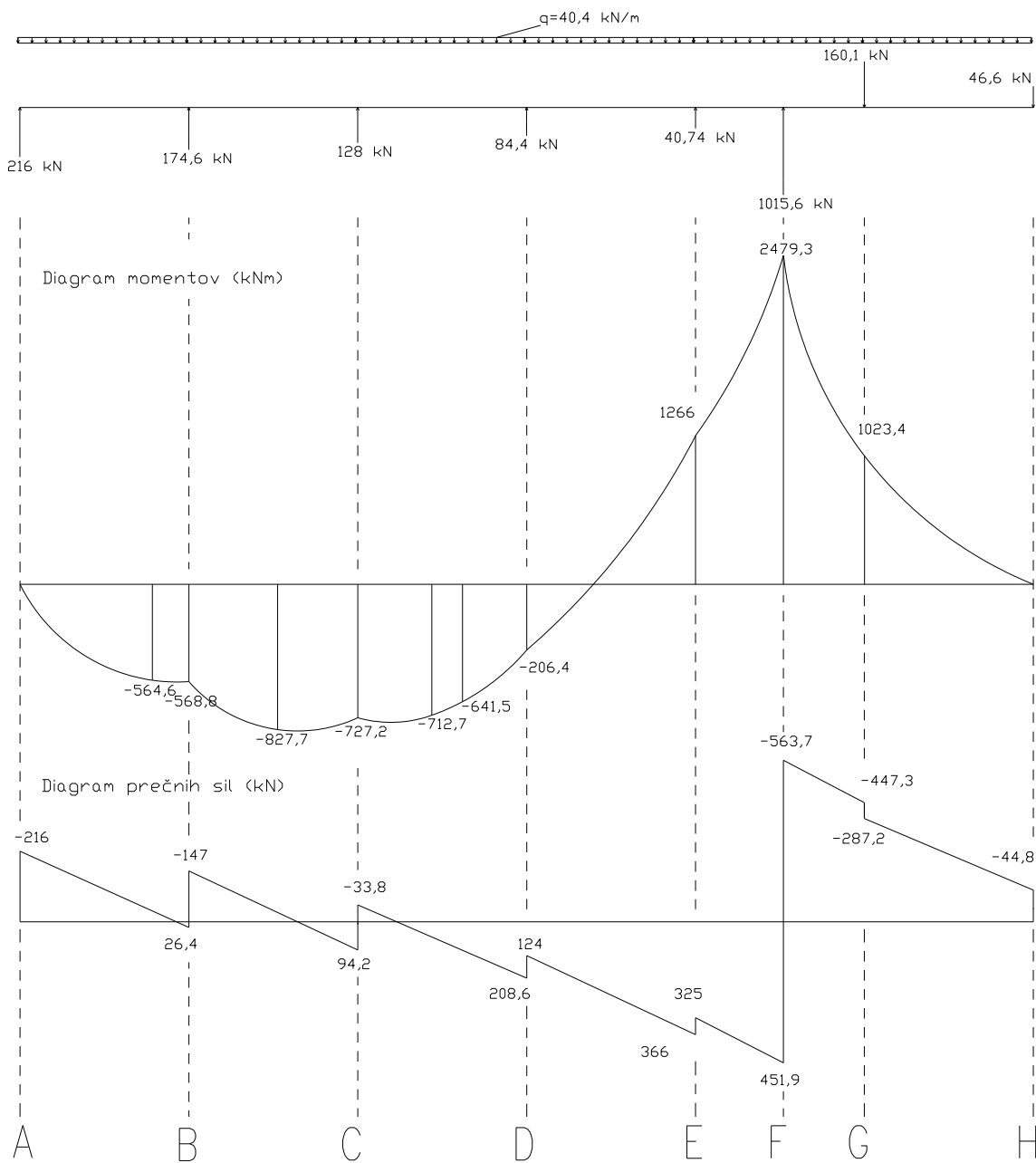
$$\begin{aligned} G \rightarrow & 40,4 \text{ kN/m} \cdot 30 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6) \text{ kN} \\ & = -447,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G \rightarrow & 40,4 \text{ kN/m} \cdot 30 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 - 160,1) \text{ kN} \\ & = -287,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \rightarrow & 40,4 \text{ kN/m} \cdot 36 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 - 160,1) \text{ kN} \\ & = -44,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H \rightarrow & 40,4 \text{ kN/m} \cdot 36 \text{ m} - (216 + 174,6 + 128 + 84,4 + 40,74 + 1015,6 - 160,1 - \\ & 46,6) \text{ kN} = -0,6 \text{ kN} \cong 0,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

5.2 Diagram momentov in prečnih sil v diafragmi



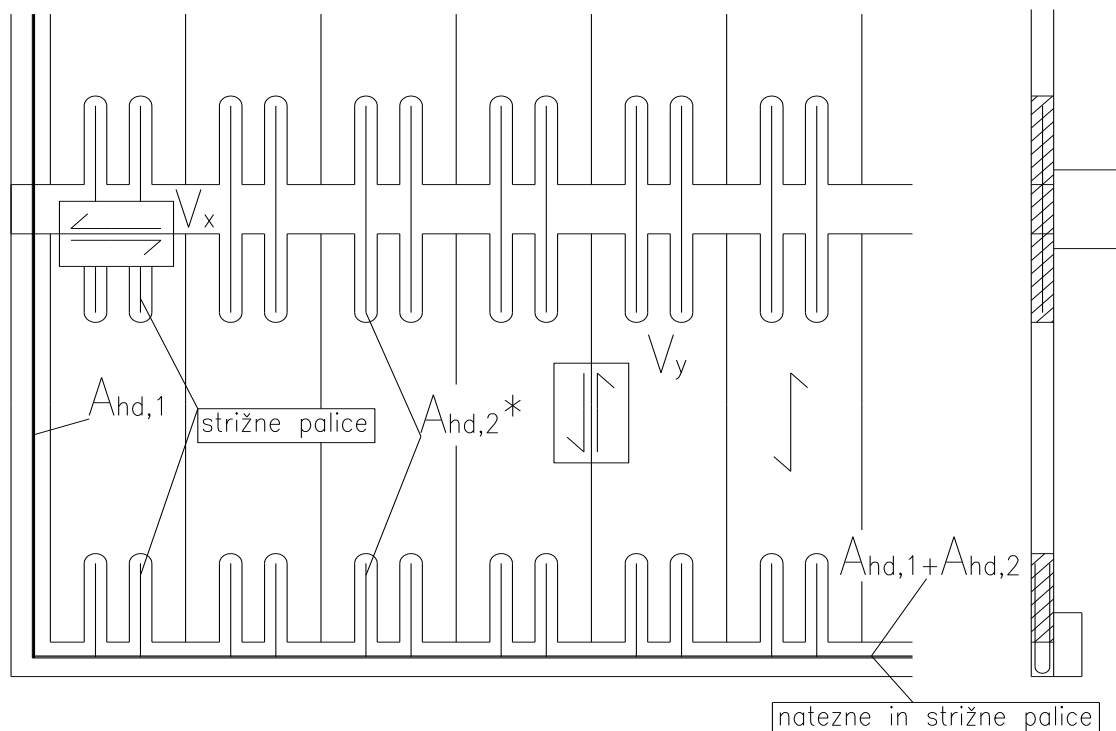
Slika 49: Diagram momentov in prečnih sil v etažni diafragmi

5.3 Dimenzioniranje diafragme

$$A_{hd} = A_{hd,1} + A_{hd,2}$$

Upogib: $M_{d,MAX} = 2479,3 \text{ kNm}$

$$A_{hd,1} = \frac{M_d}{z \cdot f_y} = \frac{2479,3 \text{ kNm} \cdot 100}{12 \text{ m} \cdot 100 \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2} = 4,75 \text{ cm}^2$$



Slika 50: Postavitev strižnih in nateznih armaturnih palic v stropni konstrukciji

Strig:

Strižne napetosti v vzdolžni smeri: $[\tau_y]$ $V_{d,y} = 563,7 \text{ kN}$ $\tau_{dop} = 0,23 \text{ N/mm}^2$

$$\tau_y = \frac{V_{d,y}}{B(D-30)} [\text{N/mm}^2] \leq \tau_{dop} \quad \tau_y = \frac{563,7 \text{ kN} \cdot 1000}{12 \text{ m} \cdot 1000 \cdot 200 - 30 \text{ mm}} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_y > \tau_{dop} \rightarrow$ Potrebne so strižne palice po obodu

$$A_{hd,2} = \frac{V_{d,y}}{\mu \cdot n + 1 \cdot 1/\sqrt{3} \cdot f_y} = \frac{563,7 \cdot 1000}{0,7 \cdot 3 \cdot 1/\sqrt{3} \cdot 435} = 1068 \text{ mm}^2;$$

$A_{hd,2}$ položimo v obe obodni vezi po daljši stranici objekta poleg armature zaradi upogiba in tudi v sredinski nosilec.

μ - faktor, ki je odvisen od tipa površine (0,7; 1,4; 1,7)
izberemo: $\mu = 0,7$ - za primer z votlimi ploščami

$$A_{hd} = A_{hd,1} + A_{hd,2} = 4,75 \text{ cm}^2 + 10,68 \text{ cm}^2 = 15,43 \text{ cm}^2$$

Izberemo: $6\phi^R 20$; $A_{hd,dej} = 18,85 \text{ cm}^2$ - obodni nosilci na daljših stranicah objekta

$$A_{hd} > A_{hd,min} = \frac{40 \cdot 10^3}{1,0 \cdot f_y} = \frac{40000 \text{ N}}{435 \text{ N/mm}^2} = 91 \text{ mm}^2$$

Strižne napetosti v prečni smeri: τ_x $\tau_{dop} = 0,23 \text{ N/mm}^2$

$$\tau_x = \frac{V_{d,x}}{1,0 \cdot D}; \quad V_x = \frac{6 \cdot V_{d,y} \cdot B - L_1 \cdot L_1}{B^3} = \frac{6 \cdot 563,7 \text{ kN} \cdot 15 - 7,5 \text{ m} \cdot 7,5 \text{ m}}{(15 \text{ m})^3} = 56,37 \text{ kN}$$

$$\tau_x = \frac{56,37 \text{ kN} \cdot 1000}{1000 \cdot 200 \text{ mm}} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_x > \tau_{dop} \rightarrow$ Potrebne so strižne palice

$$A_{hd2*} = \frac{V_{d,x} \cdot a}{\mu \cdot (1/\sqrt{3}) \cdot f_y} = \frac{56,37 \cdot 1,2 \cdot 1000}{0,7 \cdot (1/\sqrt{3}) \cdot 435} = 385,0 \text{ mm}^2$$

Izberemo: $2\phi^R 16$ na ploščo (1,20m); $A_{s,dej} = 4,02 \text{ cm}^2$

Kontrola razpok:

l_s – elastični raztezek armature

$$l_s = \frac{T_d \cdot L_s}{A_{s,dej} \cdot E_s} + \delta_{ti} \leq \delta_{t,dop} = 0,5 \text{ mm} \quad L_s = \min \begin{cases} 30 \cdot d \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,dej}} = 30 \cdot 20 \cdot \frac{1543}{1885} = 491,14 \\ 0,8 \cdot W = 0,8 \cdot 1200 = 960 \end{cases}$$

$E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$; $\delta_{ti} = 0,15 \text{ mm}$ – začetna širina razpoke (tabela)

$d = \phi = 20 \text{ mm}$; $A_{s,req} = 1625 \text{ mm}^2$; $A_{s,dej} = 1885 \text{ mm}^2$; $W = 1200 \text{ mm}$ – širina plošče

$$T = \frac{V_{d,y}}{n+1 \cdot \mu} + \frac{M_d}{z} = \frac{563,7 \text{ kN}}{3 \cdot 5} + \frac{2479,3}{12} = 244,2 \text{ kN} \quad z = 0,8 \cdot B = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ m}$$

$$l_s = \frac{244,2 \cdot 1000 \cdot 491,14}{1885 \cdot 200 \cdot 1000} + 0,15 = 0,47 \text{ mm} < 0,5 \text{ mm}$$

Končna armatura v diafragmi:

Vez v obodnih nosilcih okoli stropne konstrukcije po daljših stranicah objekta je:

$$A_{hd,req} = 15,43 \text{ cm}^2 \quad \text{izberemo: } 6\phi^R 20 \quad A_{hd,dej} = 18,85 \text{ cm}^2 > A_{hd,min} = 0,91 \text{ cm}^2$$

Vez v obodnih nosilcih okoli stropne konstrukcije po krajših stranicah objekta je:

$$A_{hd,req} = 4,75 \text{ cm}^2 \quad \text{izberemo: } 4\phi^R 14 \quad A_{hd,dej} = 6,16 \text{ cm}^2 > A_{hd,min} = 0,91 \text{ cm}^2$$

Vez v sredinskem nosilcu:

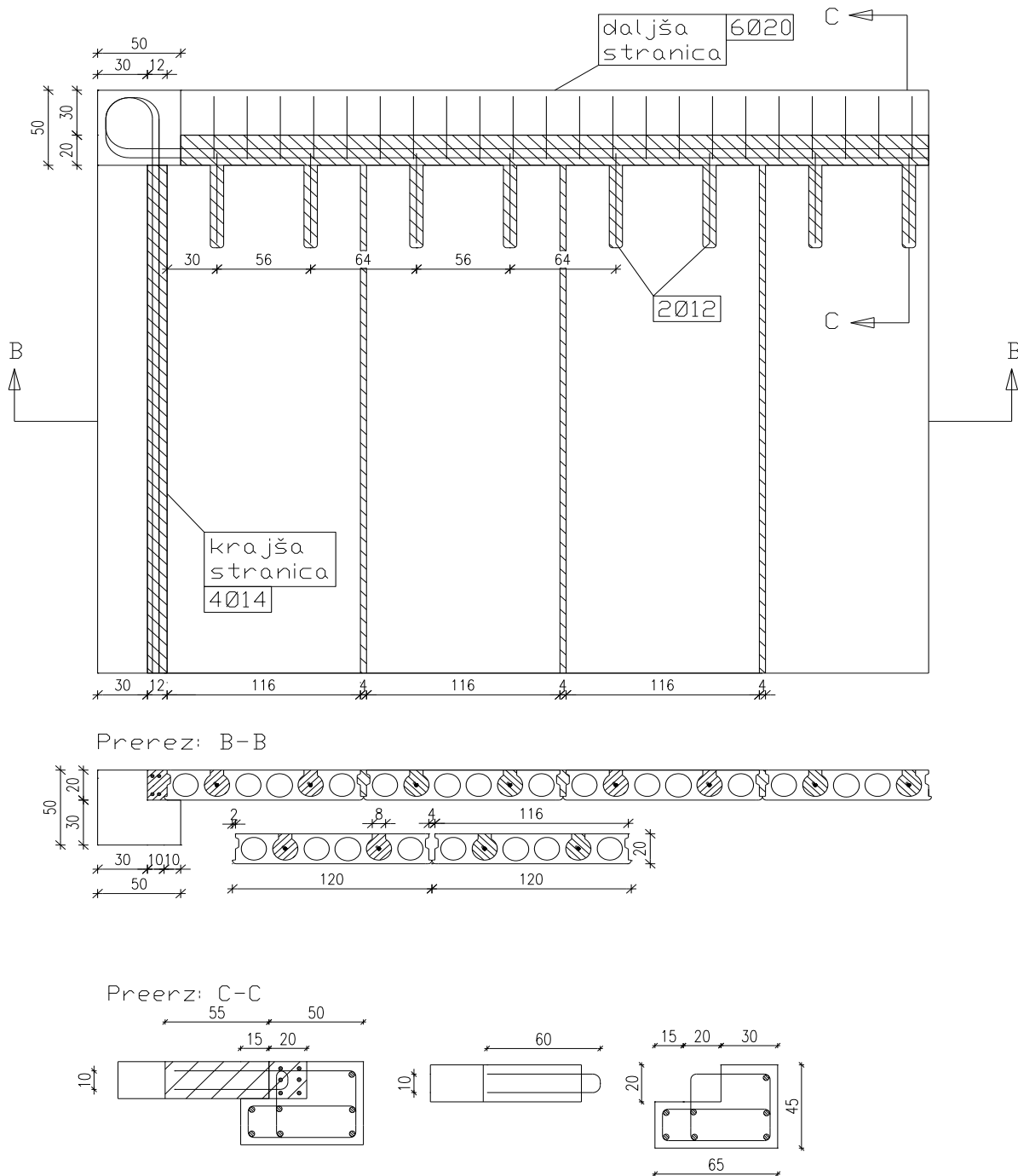
$$A_{hd,req} = 10,68 \text{ cm}^2 \quad \text{izberemo: } 4\phi^R 20 \quad A_{hd,dej} = 12,57 \text{ cm}^2 > A_{hd,min} = 0,91 \text{ cm}^2$$

Palice, ki povezujejo plošče z obodnimi nosilci, ki potekajo po daljših stranicah objekta in z sredinskimi nosilci:

$$A_{hd,req} = 3,85 \text{ cm}^2 / \text{ploščo} \quad \text{izberemo: } 2\phi^R 16 / \text{ploščo} \quad A_{hd,dej} = 4,02 \text{ cm}^2 / \text{ploščo} \quad \text{- sredinski}$$

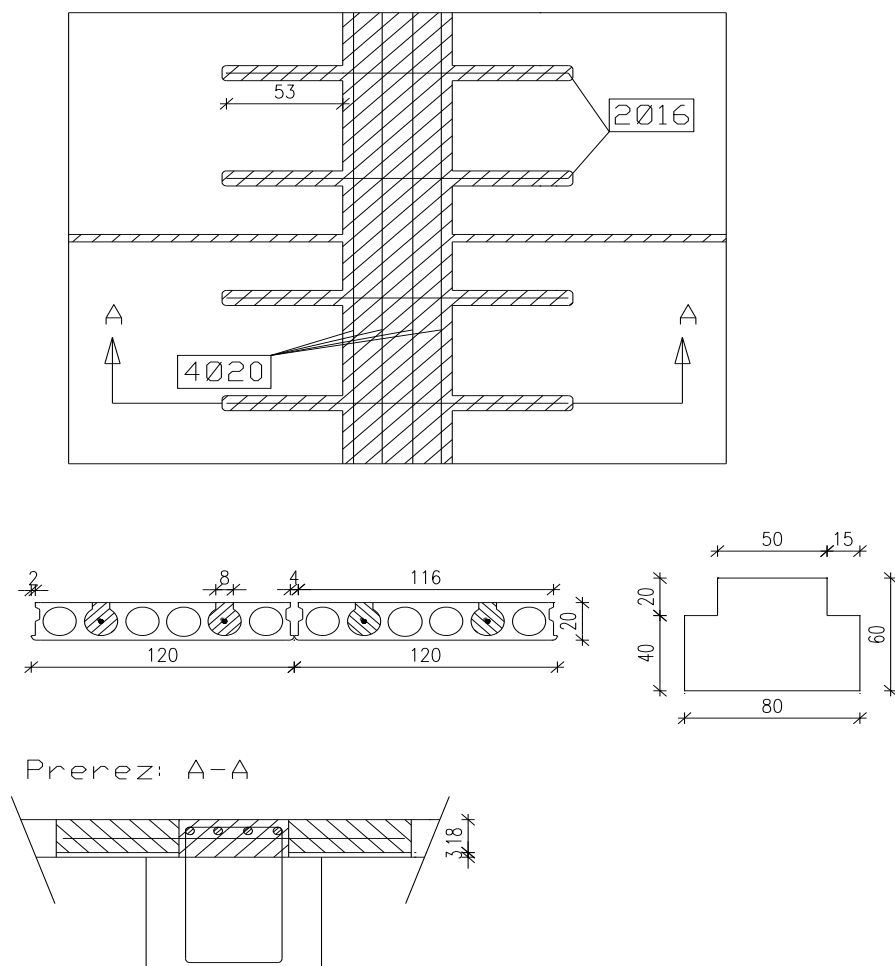
$$\text{dvostrizna U palica} \rightarrow \text{izberemo: } 2\phi^R 12 / \text{ploščo} \quad A_{hd,dej} = 4,52 \text{ cm}^2 / \text{ploščo} \quad \text{- krajni}$$

Prikaz armiranja spoja stropne konstrukcije med PVP ploščami in obodnimi nosilci v tlorisu in pripadajočih prerezih



Slika 51: Detajli spoja med obodnimi nosilci in PVP ploščami v stropni konstrukciji

Prikaz armiranja spoja stropne konstrukcije med PVP ploščami in sredinskim nosilcem v tlorisu in pripadajočih prerezih



Slika 52: Detajli spoja med sredinskim nosilcem in PVP ploščami v stropni konstrukciji

6 ZAKLJUČEK

Po določitvi vseh merodajnih obtežb smo pričeli z dimenzioniranjem nosilcev, na katere se naslanjajo prednapete votle plošče v mejnih stanjih nosilnosti in mejnih stanjih uporabnosti v skladu s določili evropskih standardov Evrokod. Pri tem smo upoštevali začetno geometrijo (dimenzije) brez povečanja dimenzij zaradi na mestu betoniranega dela, saj smo se tako postavili na varno stran. Pri dimenzioniranju na mejno stanje pomikov smo upoštevali tudi vpliv razpok in lezenja betona.

Skupno vsem nosilcem je, da so bile za zadostitev pogojev mejnega stanja uporabnosti potrebne dodatne količine armature, glede na mejno stanje nosilnosti, ponekod tudi do približno 60%.

Pri vzpostavitvi toge šipe oz. diafragme smo na podlagi določitve maksimalnih momentov in prečnih sil dimenzionirali stropno konstrukcijo v skladu s postopkom iz knjige Precast Concrete Structures (S. Elliot, 2002). Za določitev horizontalne obtežbe na diafragmo je merodajno potresno projektno stanje. Pri prevzemu horizontalne obtežbe participira poleg ostalih vertikalnih elementov (stebrov) tudi ekscentrično postavljeno stopniščno jedro. Stena stopniščnega jedra ima bistveno večjo togost v primerjavi z ostalimi elementi. Posledično je merodajna prečna sila in moment ravno na mestu tiste stene stopniščnega jedra, ki se nahaja bližje geometrijskemu središču objekta. Poleg tega je potrebno omeniti tudi, da se center togosti objekta nahaja v neposredni bližini zgoraj omenjene stene. V postopku analize diafragme, smo obremenili s horizontalno linijsko obtežbo 40,4 kN/m le daljšo stranico objekta, saj je analiza slednje merodajna. Potrebno armaturo, ki smo jo pri računanju dobili od upogiba, položimo v vse obodne nosilce enako. Nosilcem, ki potekajo po daljši stranici objekta, pa poleg armature zaradi upogiba dodamo še armaturo zaradi striga.

Pri dimenzioniranju stropne konstrukcije smo na podlagi izračunov dobili naslednje rezultate:

1. Glede na upogib stropa v svoji ravnini je potrebna natezna armatura v obodnih nosilcih 4,75 cm² po celotni dolžini.

2. Glede strig, so izračuni pokazali, da so tako vzdolžne kot prečne napetosti prekoračene.

V (y) smeri smo dobili potrebno strižno armaturo 10,68 cm², v (x) smeri pa 3,85 cm²/ploščo.

3. Pri kontroli razpok v vezeh so izračuni pokazali, da skupna armatura od upogiba in striga zadostuje za preprečitev nastanka prekomernih razpok. Iz diplomske naloge lahko potegnemo

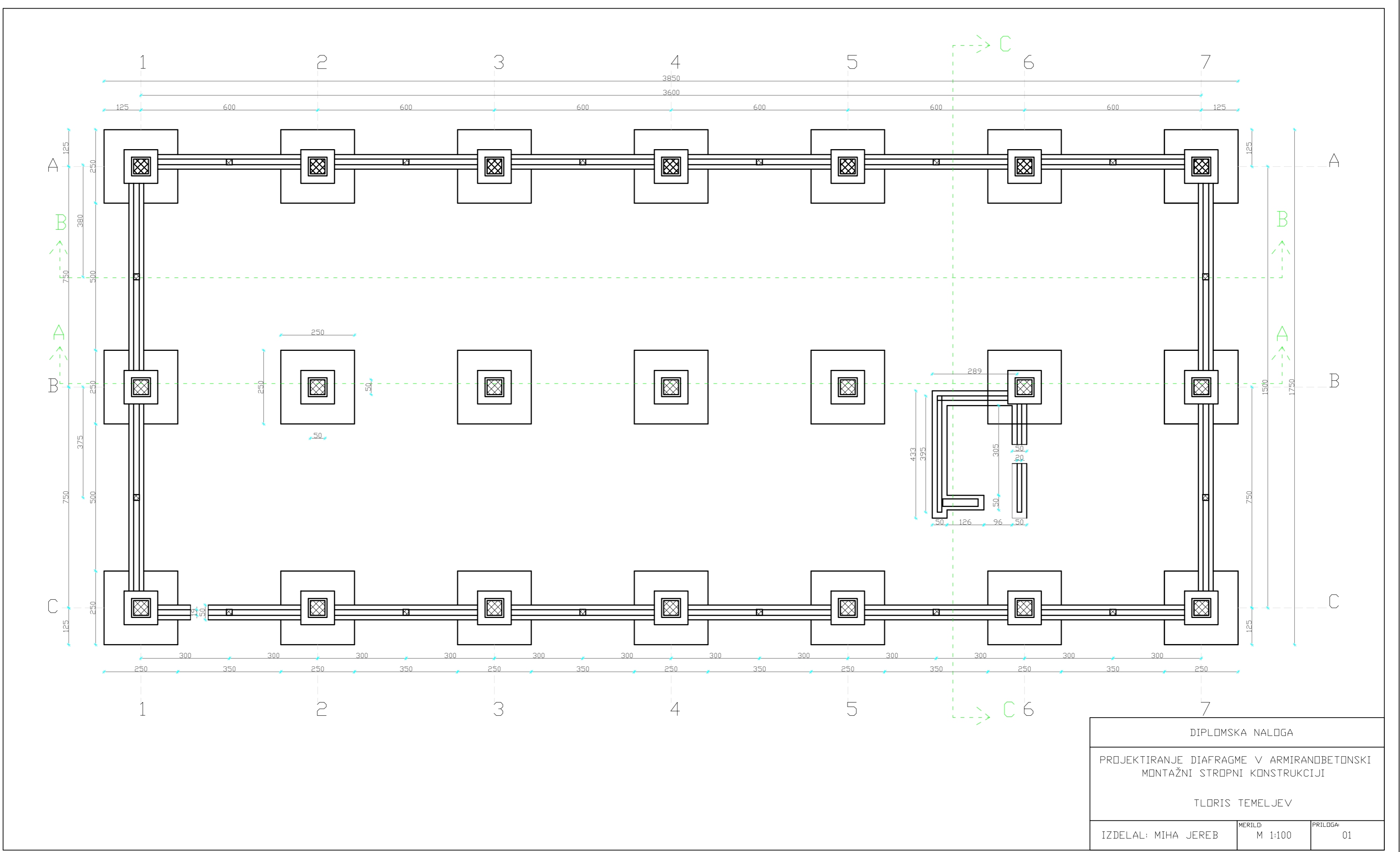
naslednja pomembnejša zaključka: potrebna armatura, ki smo jo dobili pri projektiranju na mejno stanje nosilnosti ni v nobenem primeru zadoščala zahtevam mejnega stanja uporabnosti. Pri monolitnih konstrukcijah, še posebej pa pri montažnih je projektiranje stropnih in strešnih konstrukcij z namenom doseganja toge šipe v svoji ravnini, nujno potrebno za doseganje enovitega obnašanja konstrukcije ter optimalnega prenosa horizontalnih obremenitev v vertikalne konstrukcijske elemente.

VIRI

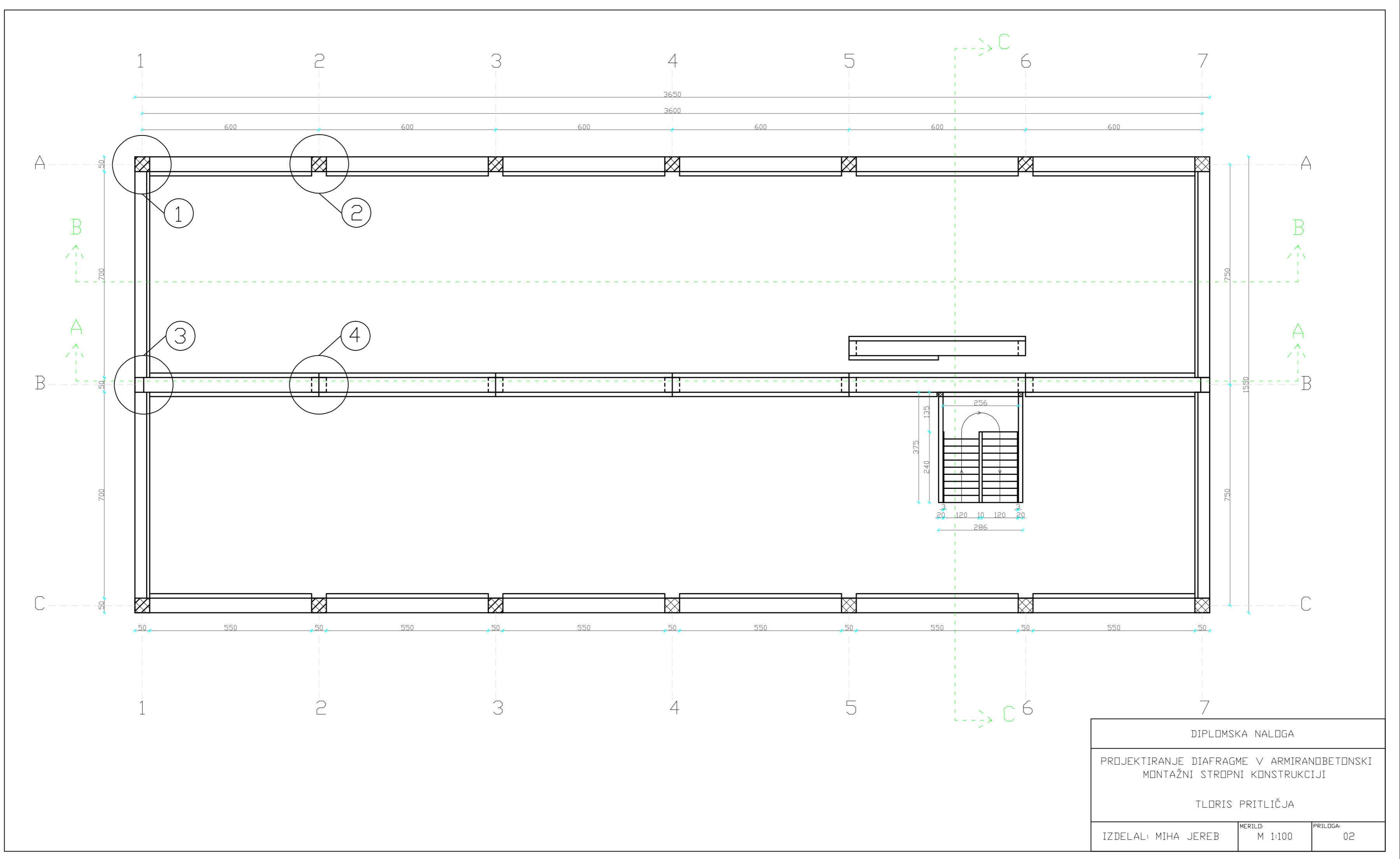
- SIST EN 1990 : 2004
- SIST EN 1991-1-3 : 2004
- SIST EN 1991-1-4 : 2005
- SIST EN 1992-1-1 : 2005
- SIST EN 1998-1 : 2006
- Kim S. Elliott. 2002. Precast Concrete Structures. Great Britain, Antony Rowe: 375 str.
- Berdajs Andrej...(et al.). 2001. Gradbeniški Priročnik. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 509 str

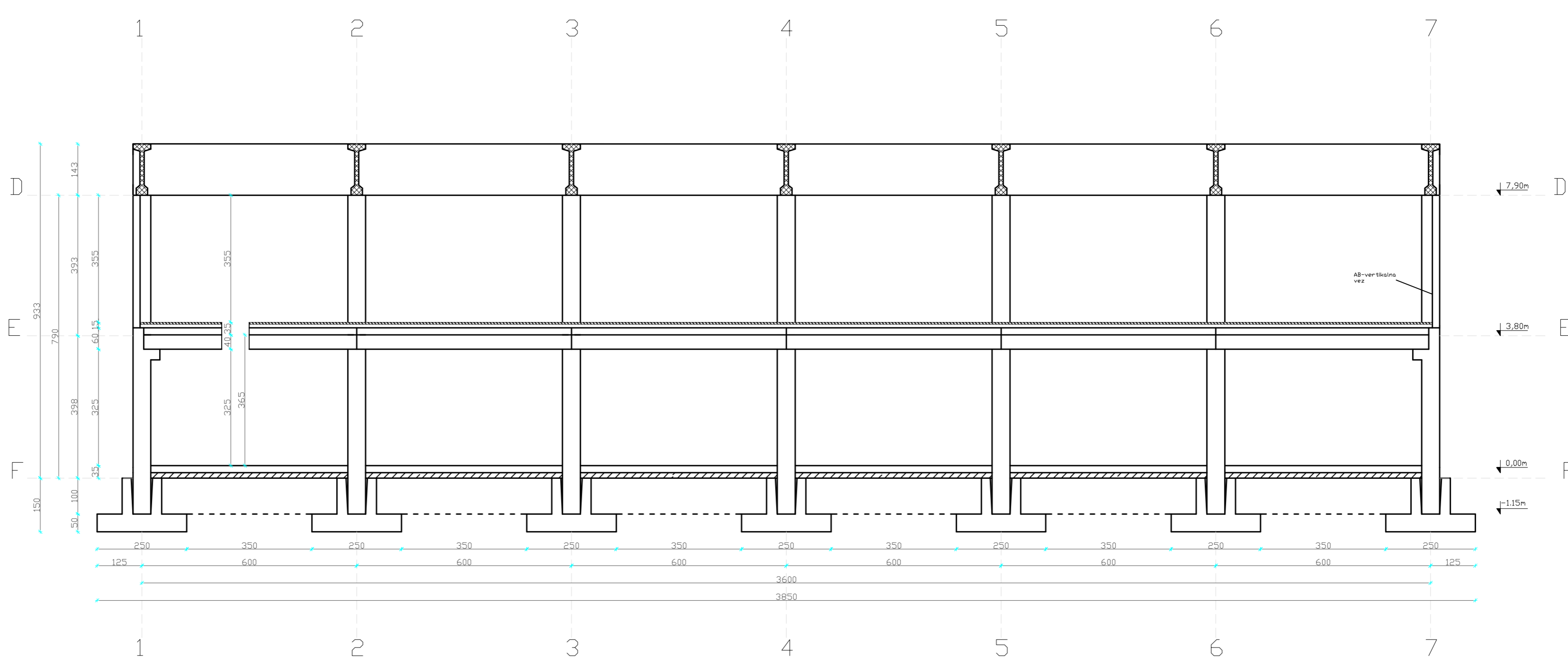
GRAFIČNE PRILOGE

1. TLORIS TEMELJEV	M 1:100
2. TLORIS PRITLIČJA	M 1:100
3. TLORIS NADSTROPJA	M 1:100
4. PREREZ A-A	M 1:100
5. PREREZ B-B	M 1:100
6. PREREZ C-C	M 1:100
7. SESTAVA FASADE, STREHE IN PLOŠČ	M 1:25
8. DETAJL 1,2	M 1:50
9. DETAJL 3,4	M 1:50
10. POVEZOVANJE ELEMENTOV V STROPNI KONSTRUKCIJI	M 1:100
11. DETAJLI STOPNIŠČA	M 1:50
12. POVEZOVANJE SPOJEV V STREŠNI KONSTRUKCIJI	M 1:50
13. DETAJLI TEMELJENJA	M 1:100/50
14. POZICIJSKI NAČRT – STROP NAD PRITLIČJEM	M 1:100
15. POZICIJSKI NAČRT – PREREZ C-C	M 1:100

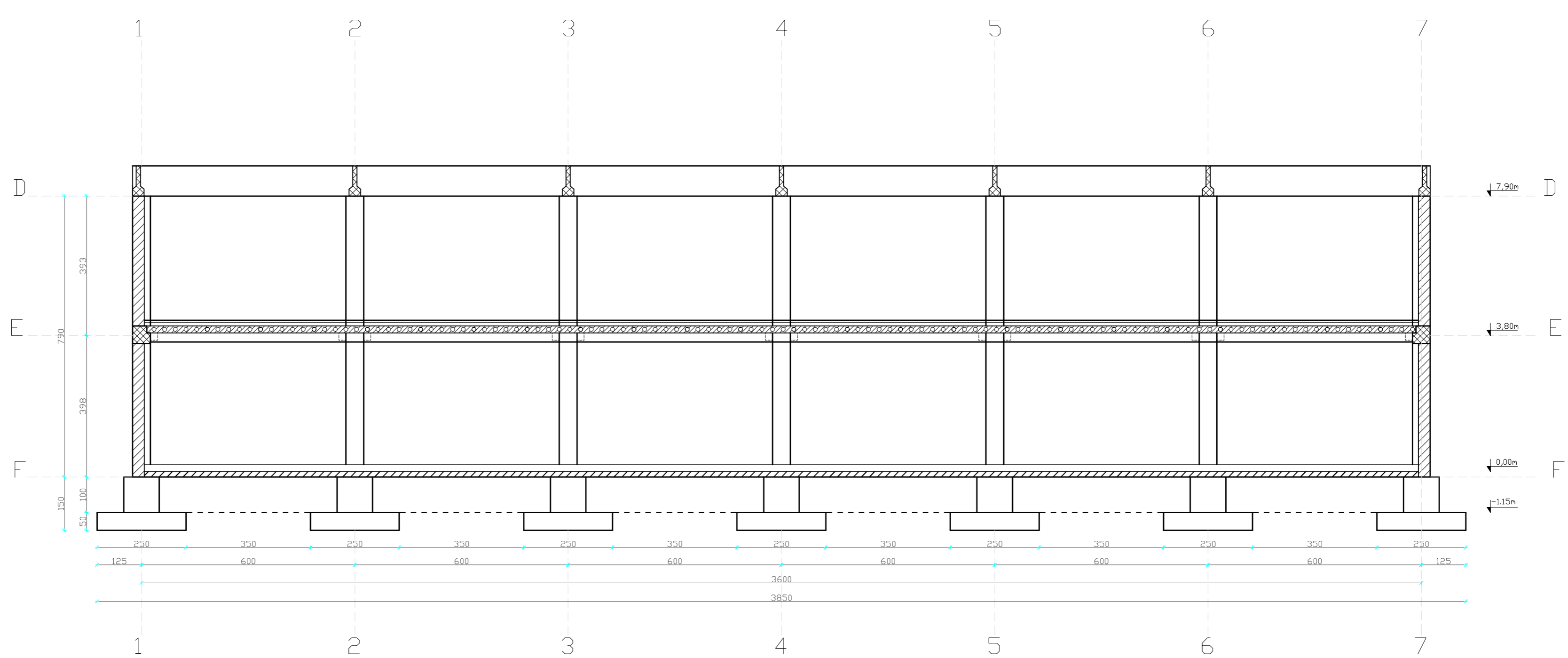


DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
TLORIS TEMELJEV		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO: M 1:100	PRILOGA: 01

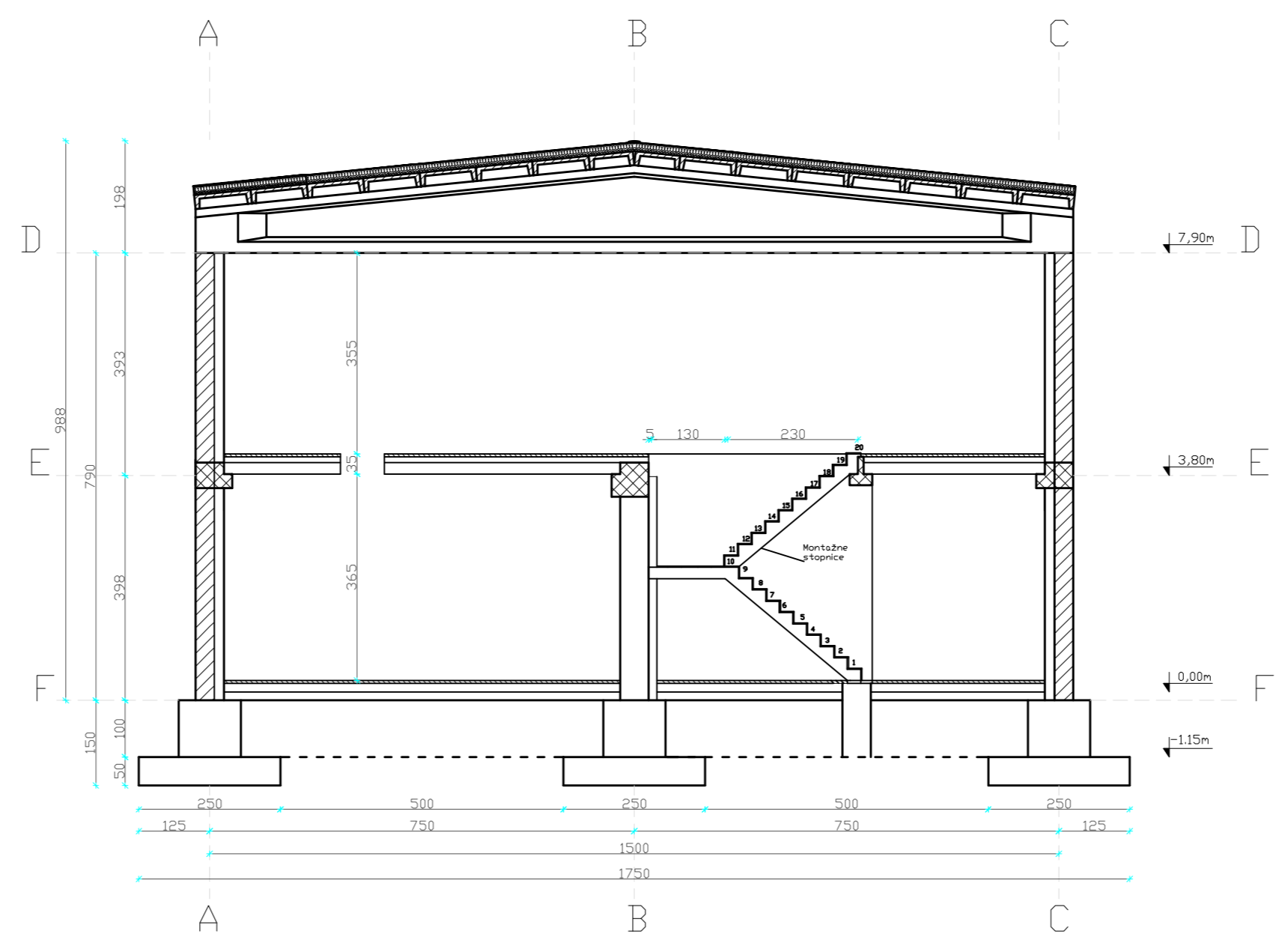




DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
PREZ A-A		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO: M 1:100	PRELOGA: 04

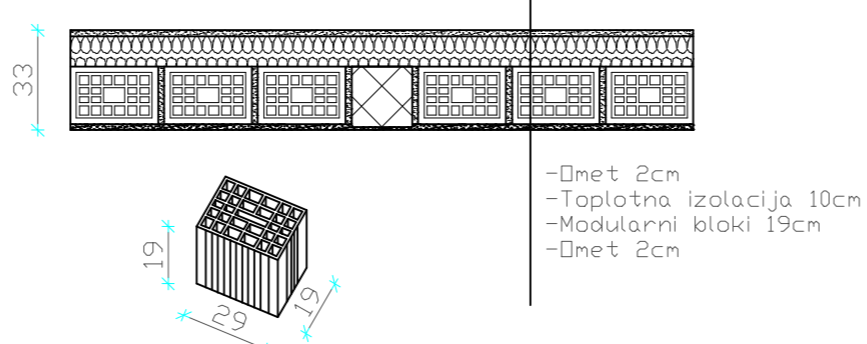


DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCiji		
PREREZ B-B		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO: M 1:100	PRILOGA: 05



DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCiji		
PREREZ C-C		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO: M 1:100	PRILOGA 06

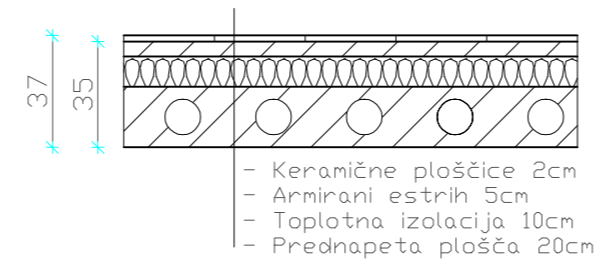
Sestava fasade



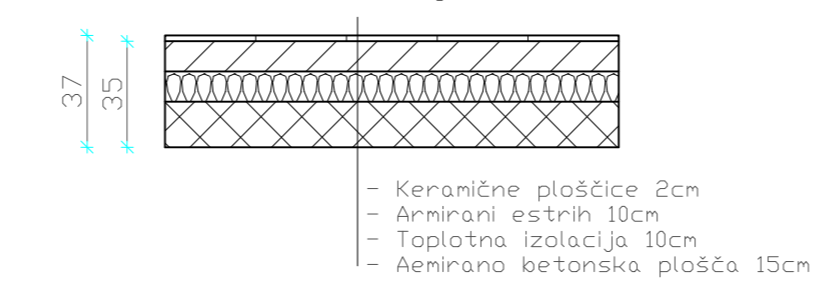
Sestava strehe



Plošča medetaža



Plošča na temeljnih tleh



DIPLOMSKA NALOGA

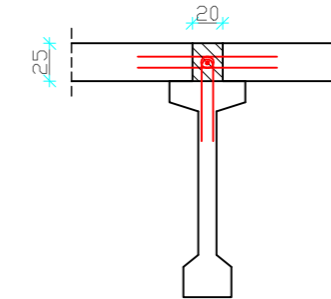
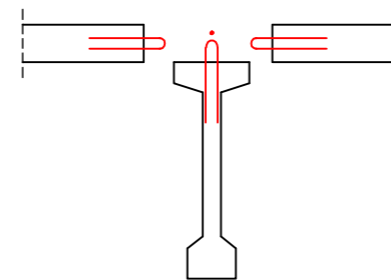
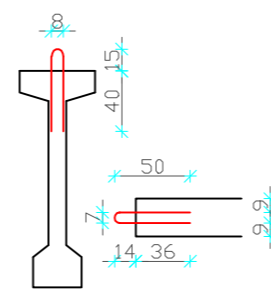
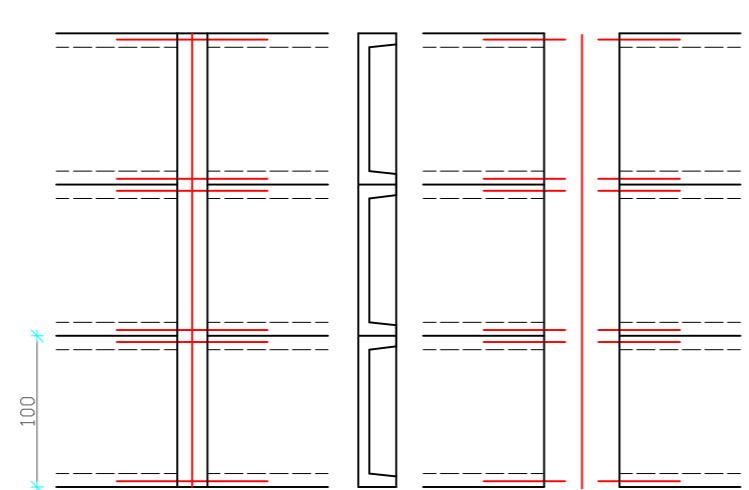
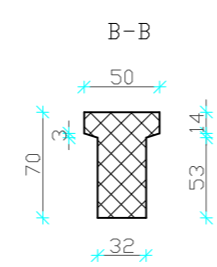
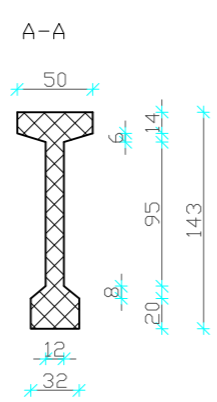
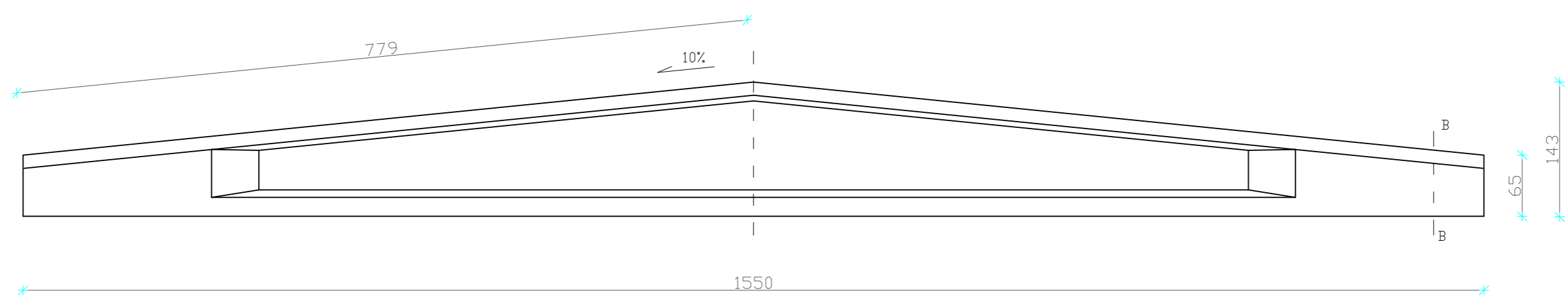
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANOBETONSKI
MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI

SESTAVA FASADE, STREHE IN PLOŠČ

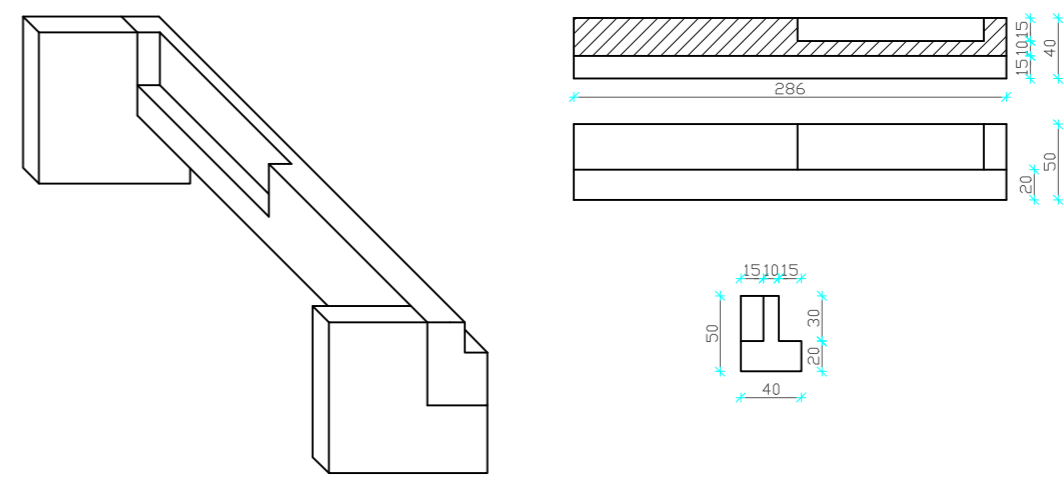
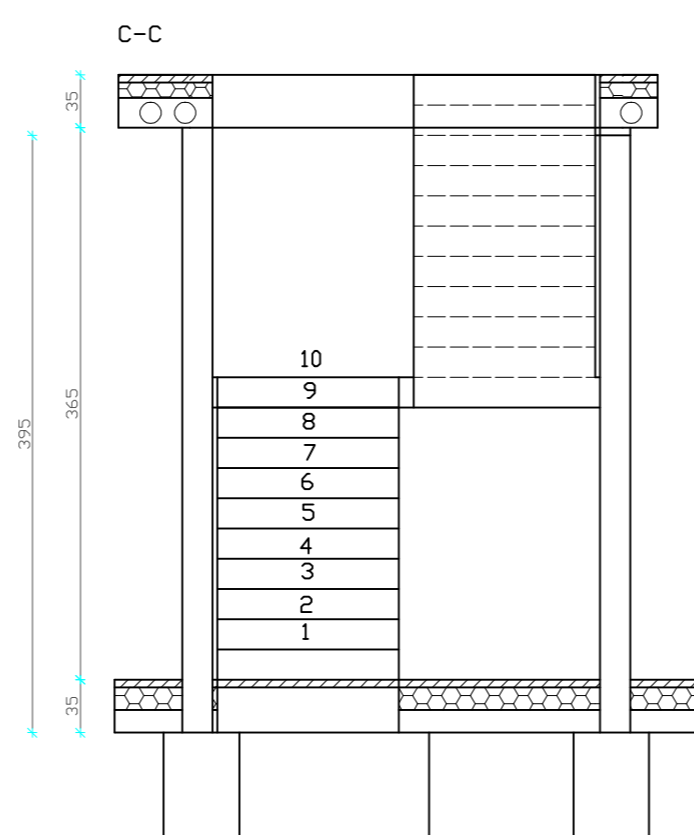
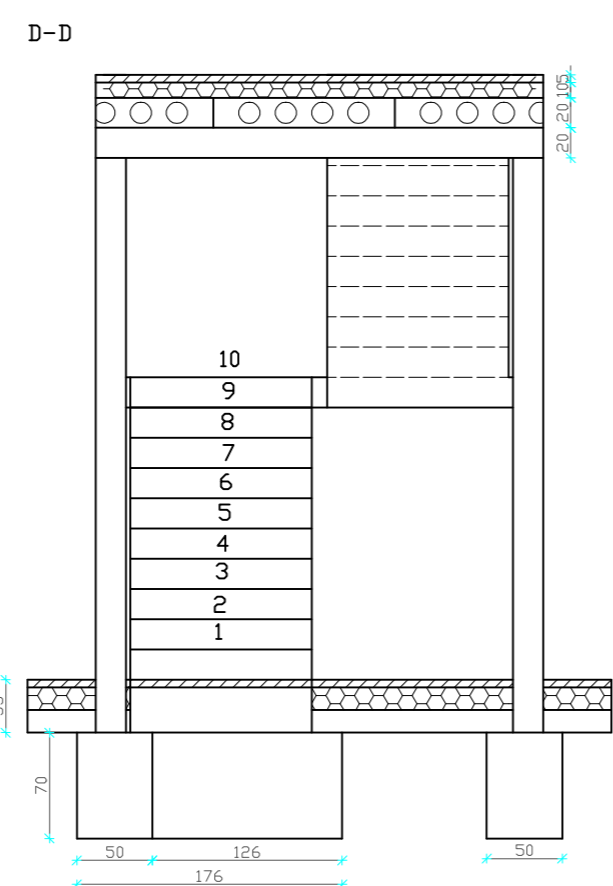
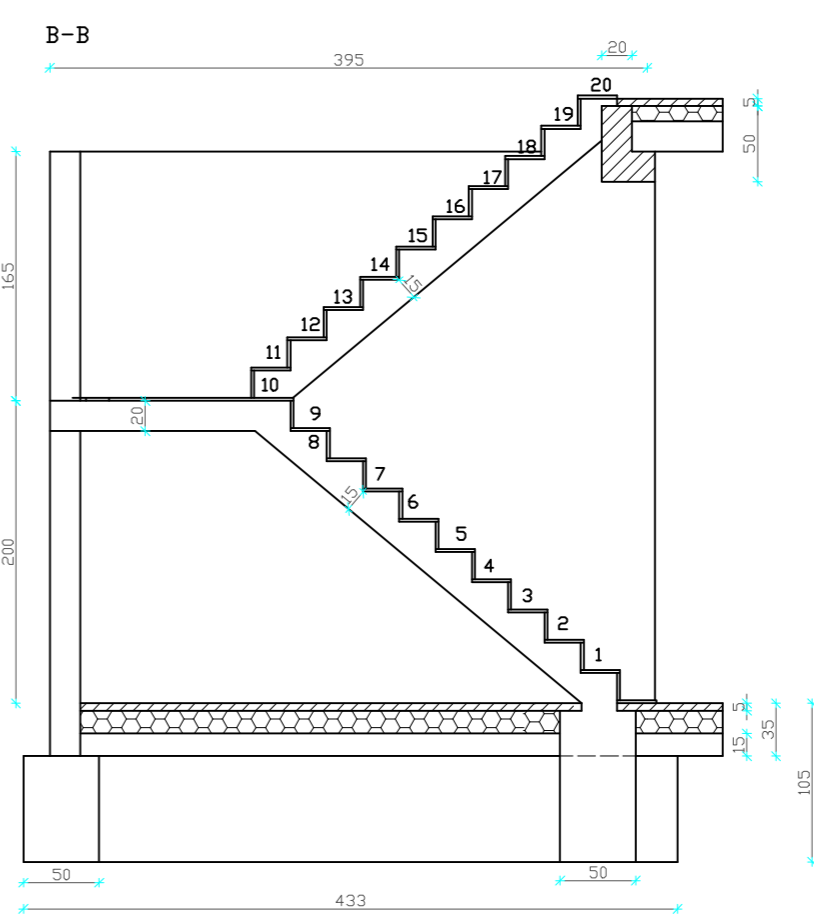
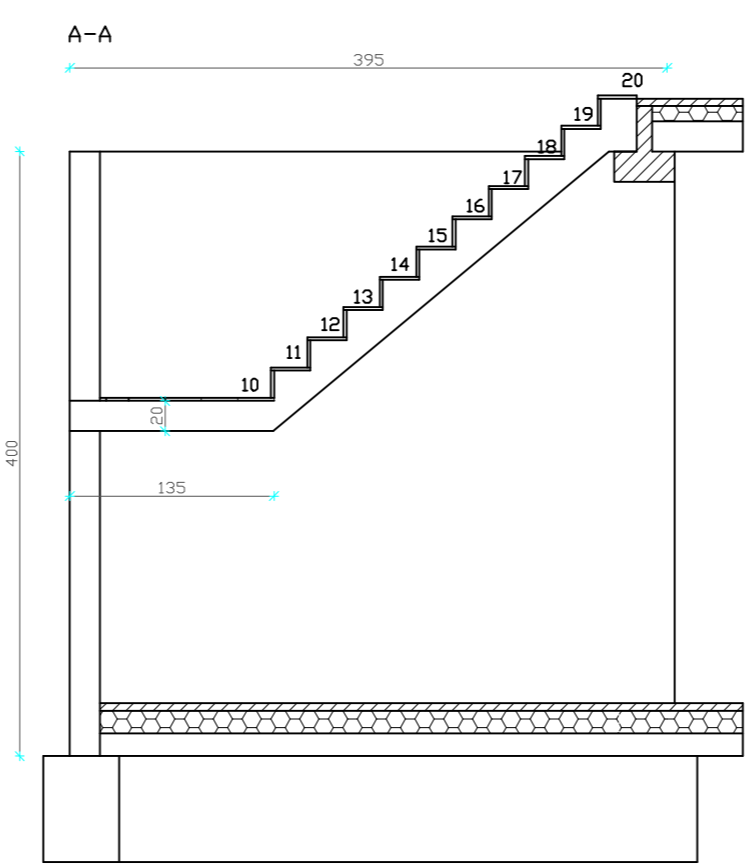
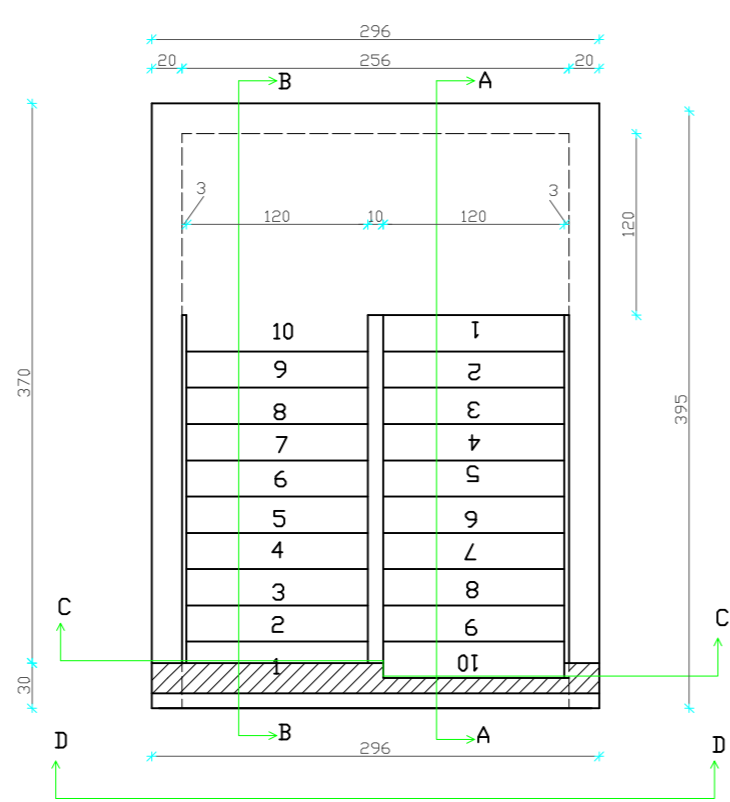
IZDELAL: MIHA JEREB

VERZIJA: M 1:25

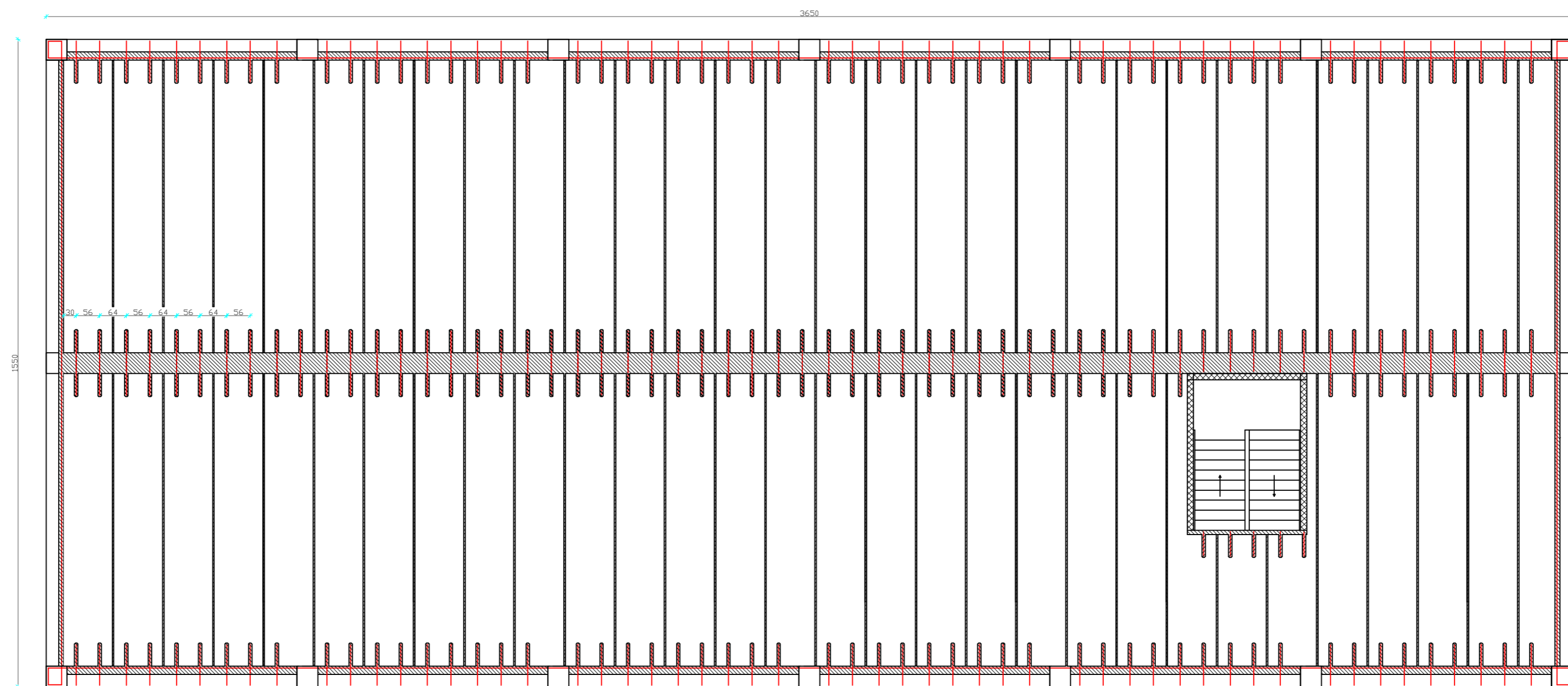
PRILOGA: 07



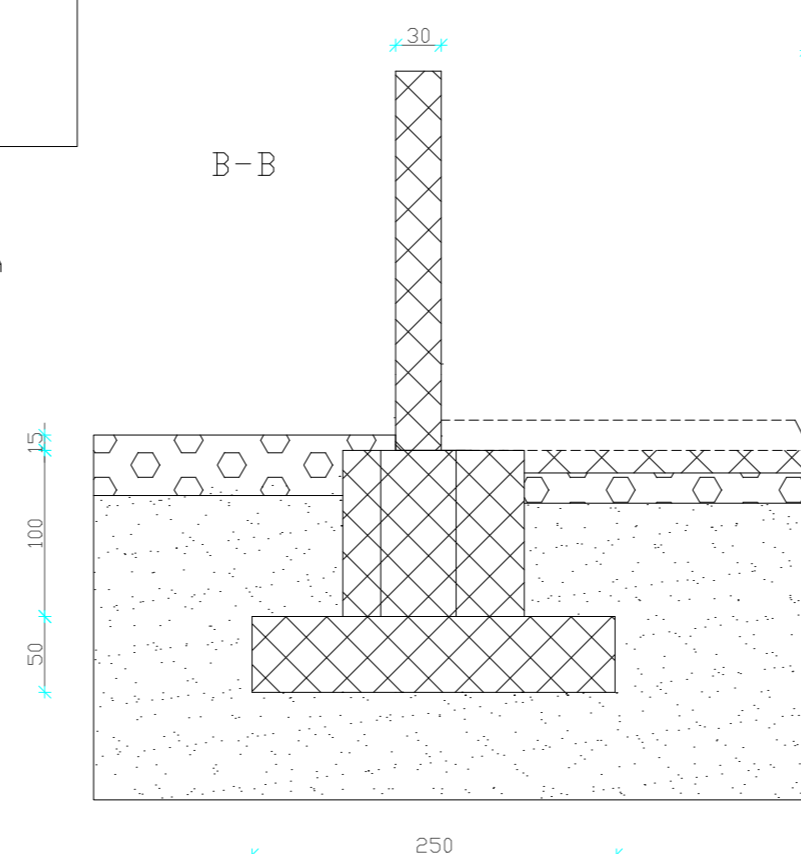
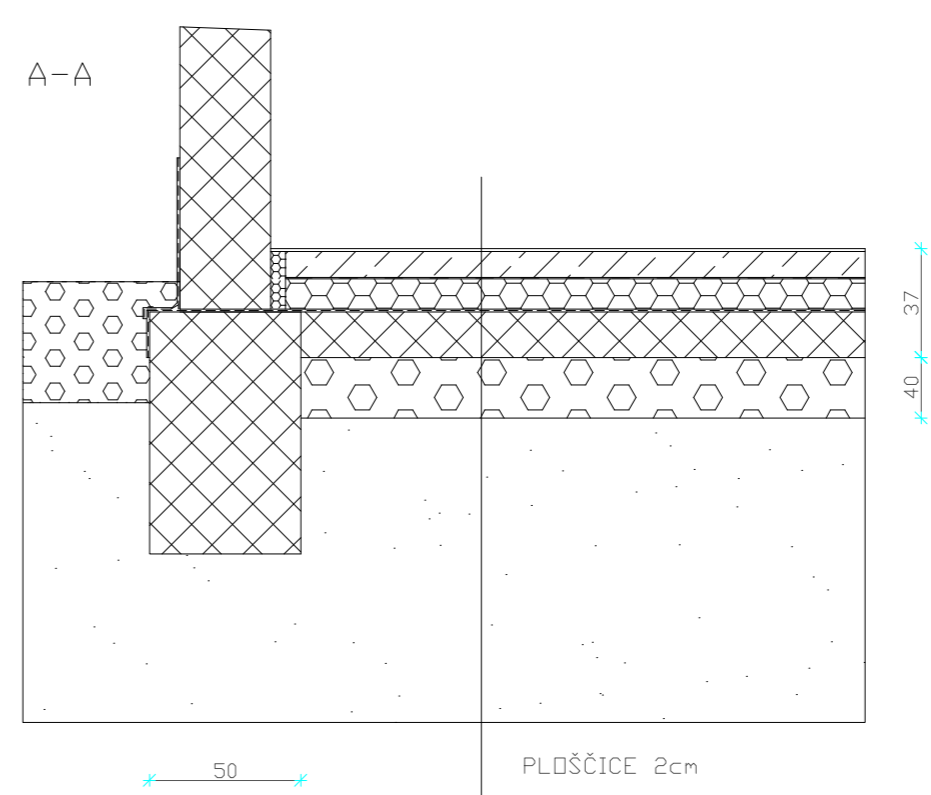
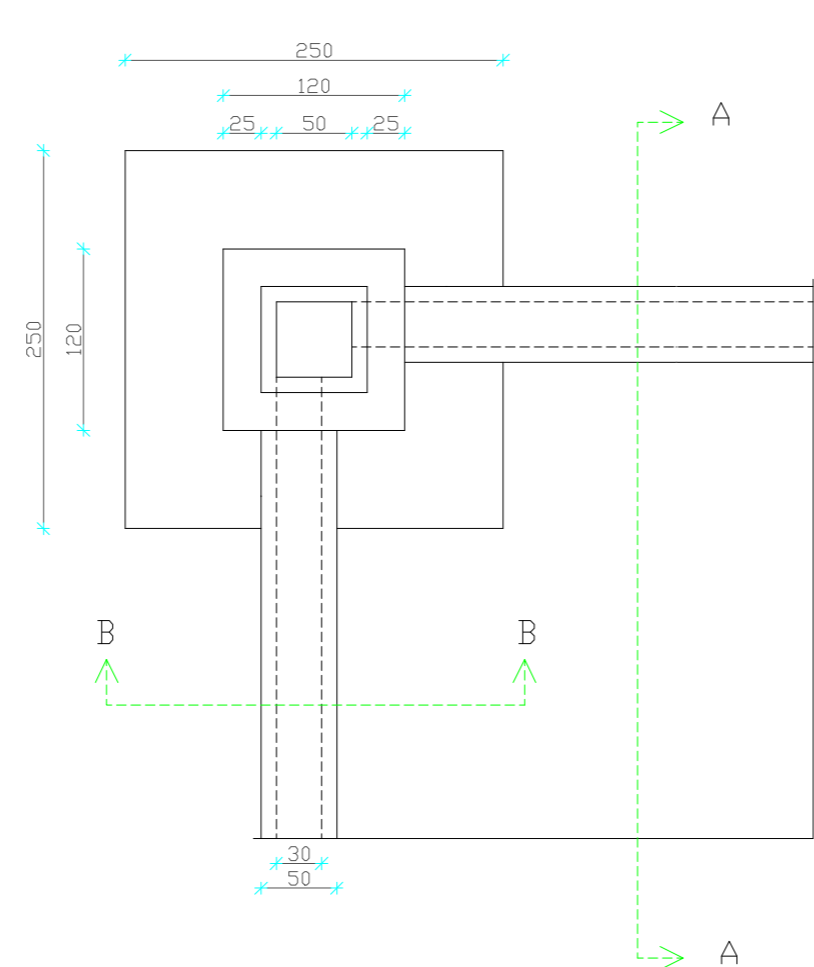
DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCiji		
POVEZOVANJE SPOJEV V STREŠNI KONSTRUKCiji		
IZDELAL: MIHA JEREB	ŠKALA: M 1:50	PRILOGA: 12



DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCiji		
DETAJLI STOPNIŠČA		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO: M 1:50	PRILOGA: 11

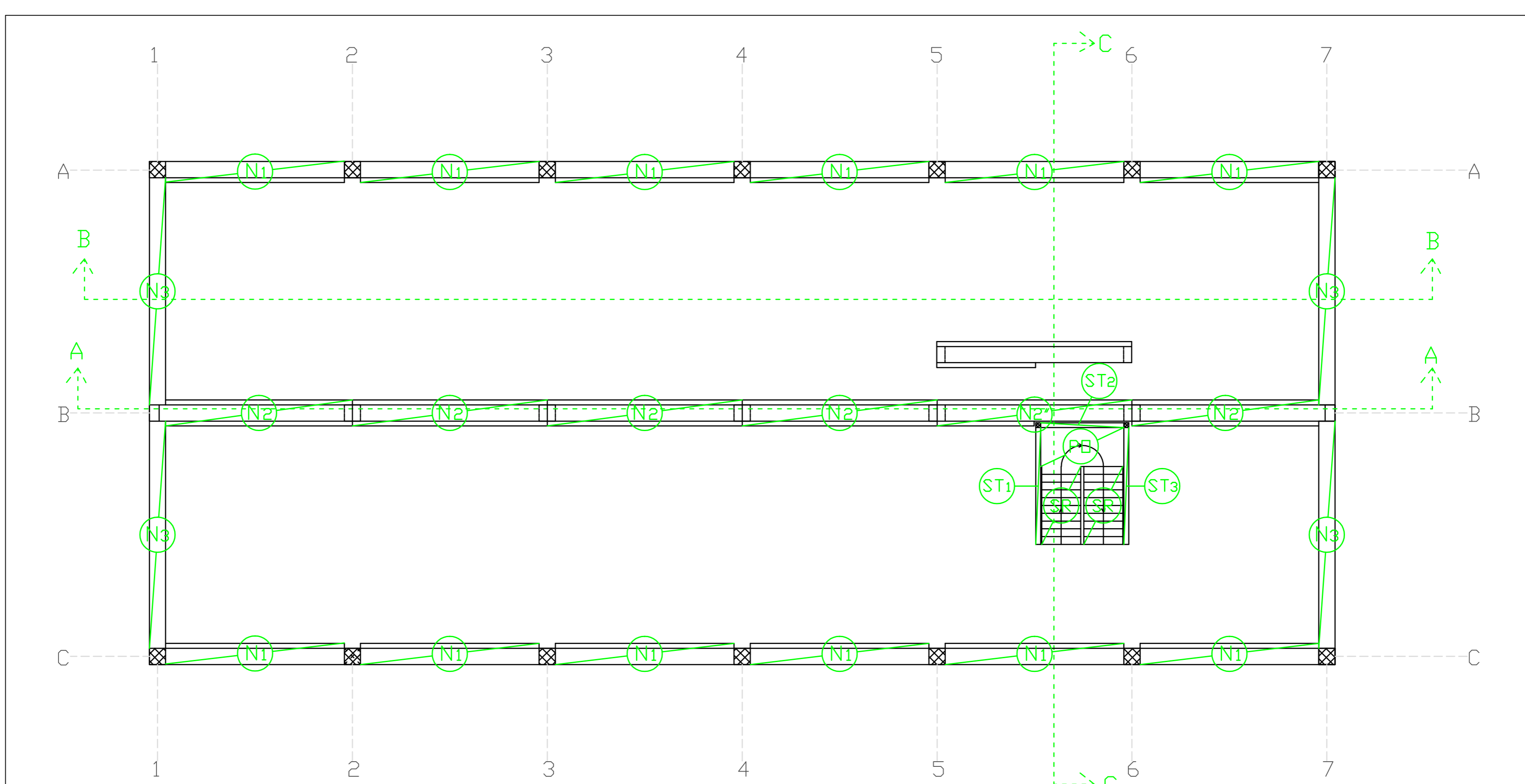


DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
POVEZOVANJE ELEMENTOV V STROPNI KONSTRUKCIJI		
IZDELAL: MIHA JEREB	ŠKALA: M 1:100	PRILOGA: 10

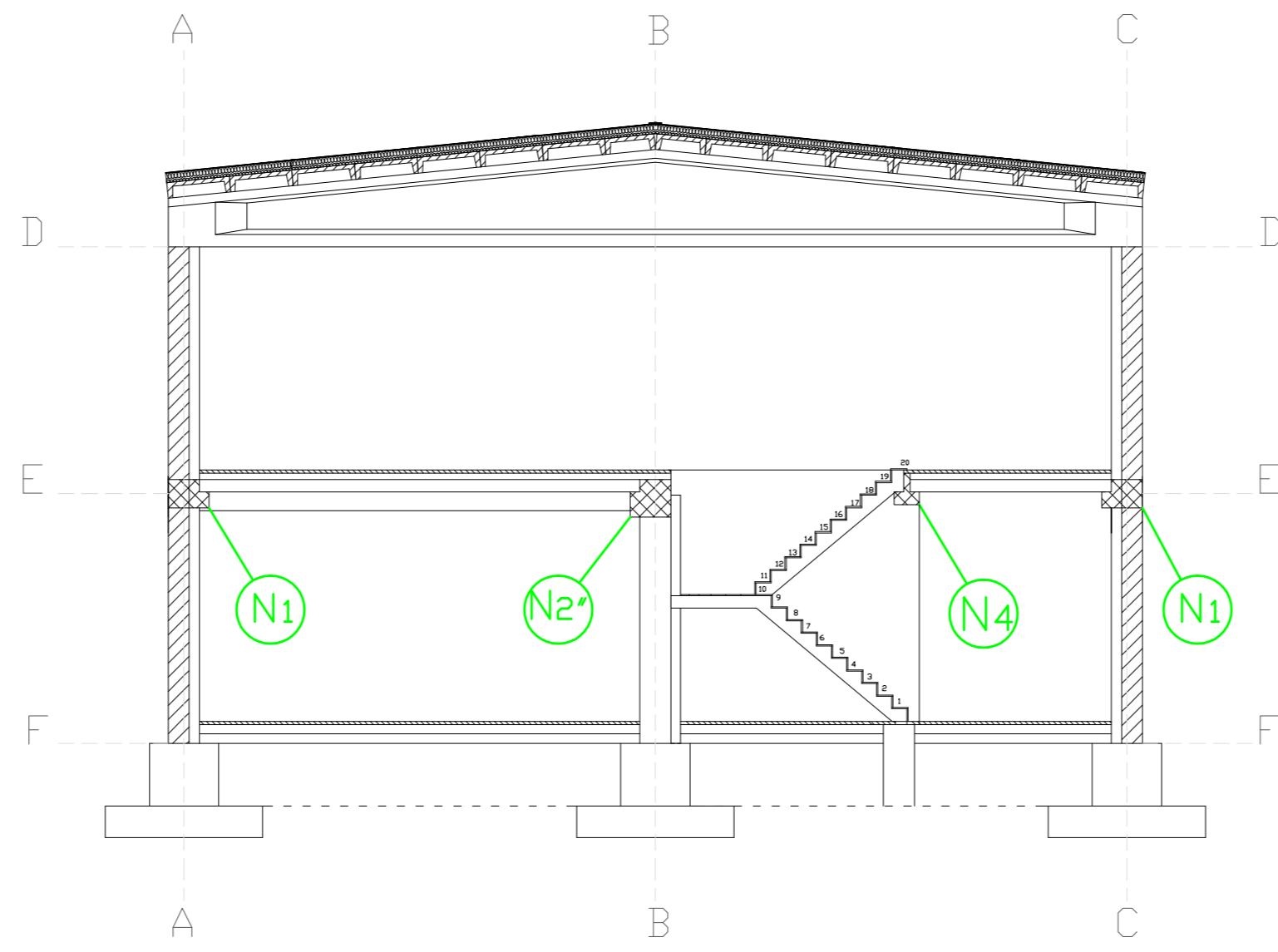


- PLOŠČICE 2cm
- ESTRIH 10cm
- LOČILNI SLOJ - PVC
- TOPLLOTNA IZOLACIJA 10cm
- HIDRO IZOLACIJA - BIT. TRAKOVI
- AB - PLOŠČA 15cm
- NASUTJE 20cm

DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
DETAJLI TEMELJENJA		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO M 1:50, 1:100	PRILOGA 13



DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
POZ. NAČRT-STROP NAD PRITLIČJEM		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILLO: M 1:100	PRILOGA: 14



DIPLOMSKA NALOGA		
PROJEKTIRANJE DIAFRAGME V ARMIRANBETONSKI MONTAŽNI STROPNI KONSTRUKCIJI		
POZ. NAČRT-PREREZ C-C		
IZDELAL: MIHA JEREB	MERILO M 1:100	PRILEGA 15