Грађевински факултет
Универзитета у Београду

СИНТЕЗНИ ПРОЈЕКАТ

ПРОЈЕКАТ ДВОБРОДНЕ ИНДУСТРИЈСКЕ ХАЛЕ

Ментор:
Проф. др Драган Буђевац

Кандидат:
Мирослав Марјановић

Асистент:
мр Јелена Добрић

Београд, 2009.

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

ОДСЕК: ЗА КОНСТРУКЦИЈЕ
ПРЕДМЕТ: МЕТАЛНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ У ЗГРАДАРСТВУ

С И Н Т Е З Н И   П Р О Ј Е К А Т

КАНДИДАТ: МАРЈАНОВИЋ МИРОСЛАВ
ГЛ.РЕГ.БР: 47/05

ТЕМА: ПРОЈЕКАТ ДВОБРОДНЕ ИНДУСТРИЈСКЕ ХАЛЕ

Пројектовати објекат двобродне индустријске хале укупног распона L = 2 x 22,0 = 44,0 m. Унутар једног распона предвиђена је мостна дизалица носивости Q=250 kN. Кота ГИШ-а је 6,0 m. Укупна дужина хале је 54,0 m. Хоризонтална оптерећења се прихватају спреговима. Кровни покривач као и фасадна облога су Fe сендвич панели. Објекат се налази у Београду. Дозвољен напон у тлу је 200 kN/m^2. Прорачун спровести према ЈУС-у.

Синтезни пројекат треба да садржи:

1. Технички извештај
2. Диспозицију конструкције
3. Статички прорачун следећих елемената:
- крански носач,
- типска међурожњача,
- фасадне ригле,
- поклапача,
- фасадни стубови у калкану,
- главни носачи,
- кровни спрегови,
- спрег за бочне ударе,
- вертикални спрегови.
4. Радионичку документацију карактеристичних детаља
5. Спецификацију материјала

Рок израде је 15 недеља од дана пријема задатка.
Задатак је издат 08.06.2009. године у Београду.

КАНДИДАТ	ПРЕДСЕДНИК НАСТАВНОГ ВЕЋА ОДСЕКА ЗА КОНСТРУКЦИЈЕ	ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК
Мирослав Марјановић	Проф. др Бранислав Ћорић дипл. инж. грађ.	Проф. др Драган Буђевац дипл. инж. грађ.

САДРЖАЈ

1. Усвајање економичнијег варијантног решења

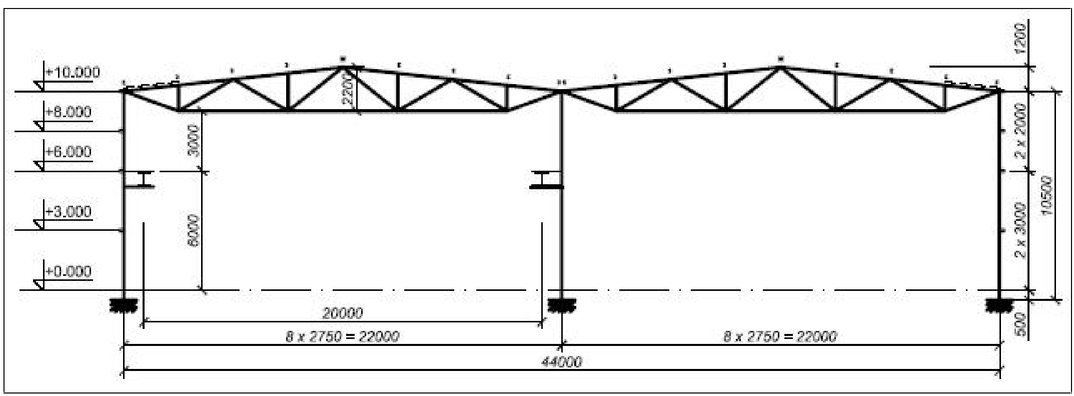
1.1. Диспозиционо решење хале

Предмет овог пројекта је двобродна индустријска хала, дужине 54,0 m, коју опслужује мостна дизалица носивости 250 kN, распона 20,0 m са горњом ивицом шине (ГИШ) на коти +6,00 m, која се налази само у једном броду хале. Предвиђено је да се ободна конструкција хале формира без секундарних стубова за пријем хоризонталних утицаја у подужним зидовима, тако да се главни стубови налазе на размаку од 6,0 m. Кровни покривач и фасадна облога су од челичних сендвич-панела са одговарајућом хидроизолацијом. Тло је добре носивости, а локација објекта је Београд.

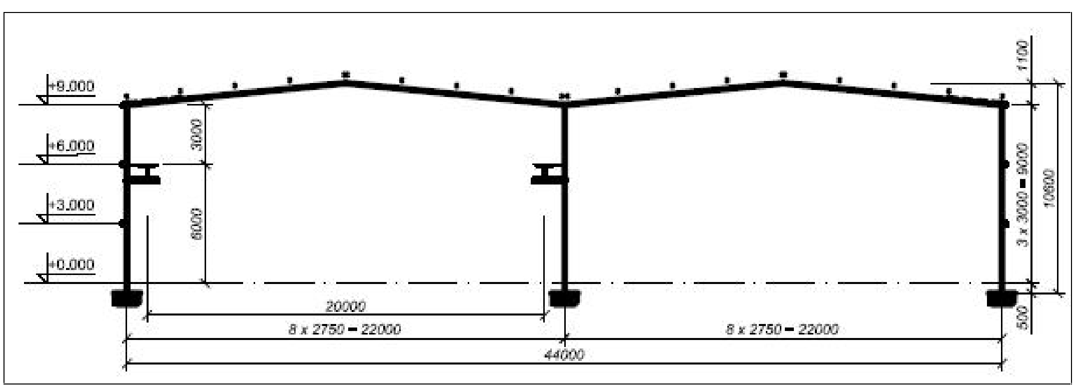
С обзиром на задате карактеристике мостне дизалице, ширина и висина хале су условљене габаритним димензијама мостне дизалице. Имајући ово у виду, усвојена је системна ширина хале од 2 × 22,0 = 44,0 m. За попречни пресек хале (главни везач) предложена су два варијантна решења (Слике 1.1 и 1.2).

1) **Решеткаст кровни везач** (од кутијастих хладно-обликованих профила), који се зглобно ослања на главне стубове хале, укљештене у темеље самце на коти -0,50 m

2) **Пун рамовски кровни везач** (од вруће ваљаних I-профила), укљештен у стубове који су укљештени у темеље самце на коти -0,50 m



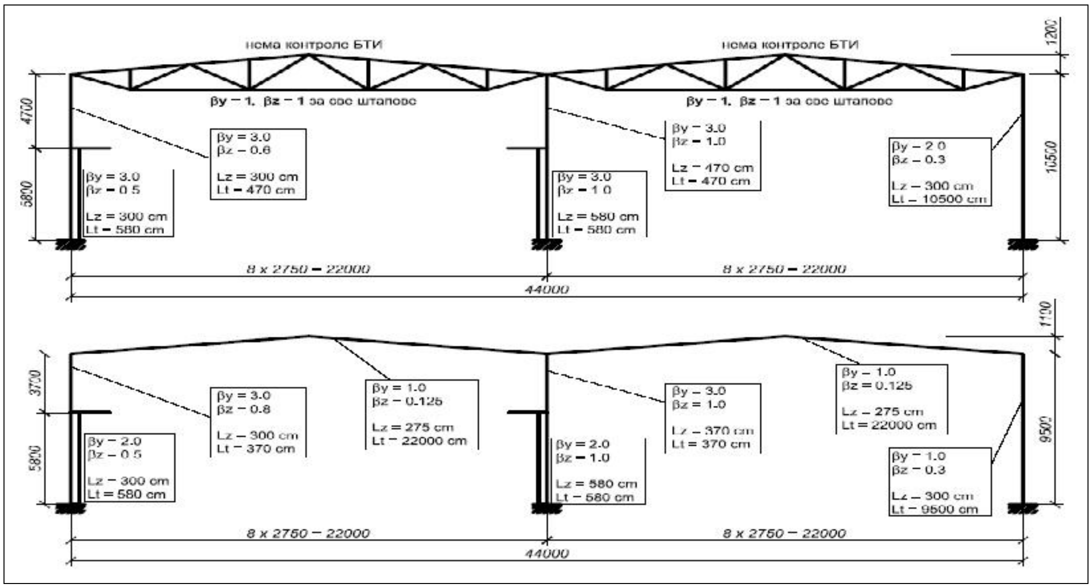
Слика 1.1. Варијанта са решеткастим кровним везачем



Слика 1.2. Варијанта са пуним рамовским кровним везачем

Избор варијантног решења првенствено зависи од утрошка челика за израду главног попречног рама хале. С тим у складу, потребно је извршити анализу оптерећења за оба варијантна решења, и димензионисањем орјентационо одредити димензије елемената који чине главни попречни рам хале. Такође, посебну пажњу треба обратити на деформације попречног рама хале, које морају бити у дозвољеним границама. Због мале висине хале може се догодити да услов померања врха стуба или релативног размицања тачака у нивоу ГИШ-а буде меродаван за избор профила који ће чинити главни попречни рам хале.

Прелиминарна контрола напона и стабилности у челичним елементима ће се извршити аутоматски, коришћењем програмског пакета TOWER 6. Приликом контроле стабилности челичних елемената потребно је претпоставити одговарајуће бездимензионалне коефицијенте извијања β_y и β_z за стубове хале, који су променљивог попречног пресека. Такође је потребно претпоставити и одговарајуће параметре потребне за контролу бочно-торзионог извијања челичних елемената. Претпостављени параметри приказани су на Слици 1.3.



Слика 1.3. Параметри на основу којих је, коришћењем програмског пакета TOWER 6, извршена прелиминарна контрола стабилности у попречном раму хале

На основу ових параметара, коришћењем програмског пакета TOWER 6, одредићемо степен искоришћења претпостављених попречних пресека у главном попречном раму хале, за оба варијантна решења.

Вертикално оптерећење са крова се на главни носач преноси преко рожњача система континуалних греда од вруће ваљаних профила, распона 6,0 m, постављених на растојању од 2,75 m. С обзиром да нису предвиђени секундарни стубови у подужним зидовима, хоризонталне силе (ветар) се на главни носач преносе директно преко фасадних ригли постављених по ободу објекта.

Пошто се не предвиђа продужење хале, калканску конструкцију чине главни и секундарни стубови, на које се уместо главног кровног везача ослања поклапача калканског зида. С обзиром да се у калкану предвиђају главни стубови идентични оним у осталим пољима хале, хоризонтални утицаји у равни калкана ће се примити помоћу ових стубова, тако да у равни калкана није неопходно формирање вертикалних спрегова.

Ветар на калкан се прима помоћу секундарних фасадних стубова, који су укљештени у подужном правцу хале. Реакције у врховима ових стубова се предају попречним кровним спреговима. Реакције ових попречних спрегова против ветра прихватају вертикални спрегови, и то: у крајњим подужним зидовима вертикални спрегови су формирани у крајњим пољима сваког зида, а у средњој подужној равни хале вертикални спрег формиран је у средини, тако да прима и силе од кочења мостне дизалице. Треба напоменути да се преношење реакције попречног кровног спрега до наведеног вертикалног спрега у средњој подужној равни хале врши помоћу посебно конструисане решеткасте рожњаче (POS R1), која се налази у средњој подужној оси хале.

Силе бочних удара се прихватају помоћу спрегова за бочне ударе формираних у нивоу ГИШ-а, у виду носача система просте греде од ребрастог лима.

1.2. Глобална квантитативна анализа оптерећења за халу

I) СТАЛНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ (ОСНОВНО)

а) Од облога (по основи, односно фасади)

1.	Кровни покривач	$\mathbf{g_{kp} = 0,35\ kN/m^2}$
2.	Фасадна облога	$\mathbf{g_{fo} = 0,35\ kN/m^2}$

б) Од конструкције на крову (по основи)

3.	Рожњаче	$\mathbf{g_{kr} = 0,10\ kN/m^2}$
4.	Спрегови, инсталације	$\mathbf{g_{ks} = 0,05\ kN/m^2}$
5.1	Решеткаста ригла везача	$\mathbf{g_{gv} = 0,10\ kN/m^2}$
5.2	Пуна ригла везача	$\mathbf{g_{gv} = 0,25\ kN/m^2}$

в) Од конструкције фасада (по фасади)

6.	Фасадне ригле	$\mathbf{g_{fr} = 0,10\ kN/m^2}$
7.	Спрегови, инсталације	$\mathbf{g_{fs} = 0,05\ kN/m^2}$
8.	Стубови главних везача	$\mathbf{g_{gs} = 0,20\ kN/m^2}$

г) Од носача дизалице (линијско, по носачу дизалице)

9.	Носач дизалице заједно са шином	$\mathbf{g_{nd} = 2,20\ kN/m}$
10.	Спрег за бочне ударе	$\mathbf{g_{bu} = 0,30\ kN/m}$

II) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД СНЕГА (ОСНОВНО)

а) Снег **$s = 1,00\ kN/m^2$**

III) КОРИСНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД МОСТНИХ ДИЗАЛИЦА (ОСНОВНО)

а) Усвојена мостна дизалица типа ”Иво Лола Рибар SEMD2K1” са следећим карактеристикама:

Q=250 kN	A=20,0 m	$\mathbf{P_{1L,max} / P_{1D,min} = 199,0 / 57,5\ kN}$
L=4600 mm	E=F=1600 mm	$\mathbf{P_{2L,max} / P_{2D,min} = 200,0 / 59,0\ kN}$

б) Коефицијенти удара и изравнања (за носећу конструкцију)

φ=1.30 ψ=1.10

IV) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД ТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОМЕНА (ДОПУНСКО)

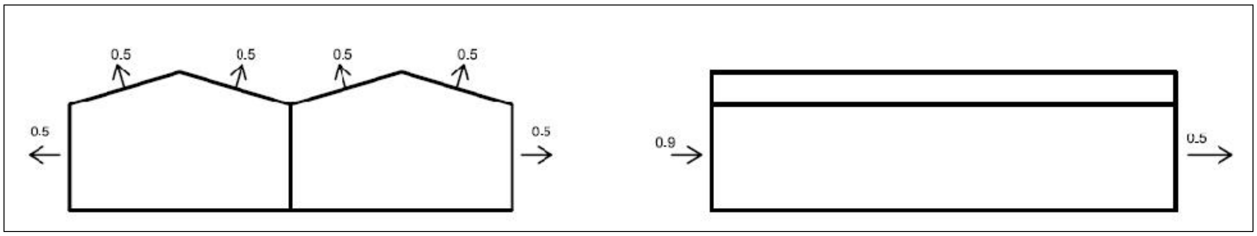
а) Конструкција је заштићена од директних спољних температурних утицаја, па је усвојено:

$\mathbf{\Delta t = {}^{+}/\!-\ 15\ ^{o}C}$

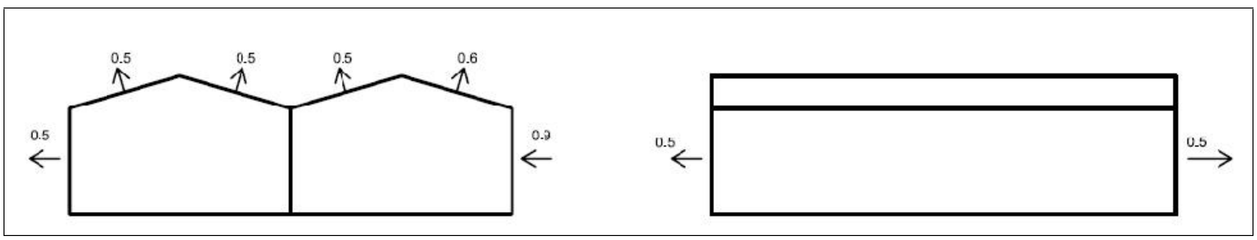
V) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД ВЕТРА (ДОПУНСКО)

- Локација: Београд	k_t = 1,0
	ρ = 1,225 kg/m^3
	v = 19 m/s
- Објекат (индустријски)	k_T = 1,0
- Терен (раван)	S_z = 1,0
- Категорија терена B, h ≤ 10,0 m	K_z^2 = 1,0
- Динамички коефицијент	G_z = 2,0

- Коефицијенти силе (притиска или облика):



Слика 1.3. Коефицијенти силе када ветар дува управно на калкански зид



Слика 1.4. Коефицијенти силе када ветар дува управно на подужни зид, са десна на лево

За кров (локално):	Ветар споља:	$C_{pe,max}$ = -0,5
		$C_{pe,min}$ = -0,6
	Ветар изнутра:	$C_{pi,max/min}$ = ±0,2

- Осредњени аеродинамички притисак ветра (јединствен за објекат као целину)

$$q_{m,T,z} = 0.5 \times \rho \times (v_{m,50,10} \times k_t \times k_T)^2 \times 10^{-3} \times S_z^2 \times K_z^2 =$$
$$= 0.5 \times 1,225 \times (19^2 \times 1,0 \times 1,0)^2 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 1,0 = \quad 0,22 \text{ kN/m}^2$$

- Аеродинамички притисак ветра

$q_{g,T,z} = q_{m,T,z}$ ò G_z = 0,22 ò 2,0 = 0,44 kN/m^2

VI) ОПТЕРЕЋЕЊЕ БОЧНИМ УДАРИМА (ДОПУНСКО)

Узима се да делује ”изнутра ка напоље”, управно на правац носача дизалица, као пар сила чији су интензитети 1/10 максималних притисака по точку, а делују у висини ГИШ-а. У обзир се не узимају динамички ударни коефицијенти.

VII) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД КОЧЕЊА (ДОПУНСКО)

Делује у висини ГИШ-а, у правцу носача дизалице, са интензитетом од 1/7 силе притиска по погонском точку.

$P_k = 1/7 \times (P_{1,max} + P_{2,max}) = 1/7 \times (199 + 200) =$ **57,0 kN**

VIII) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД НЕРАВНОМЕРНОГ СЛЕГАЊА (ИЗУЗЕТНО)

Тло је добре носивости, па ово оптерећење није меродавно.

IX) ОПТЕРЕЋЕЊЕ ОД СЕИЗМИЧКИХ УТИЦАЈА (ДОПУНСКО)

- Хоризонтална сеизмичка сила: $S = K \times G$
- Укупан сеизмички коефицијент: $K = K_o \times K_s \times K_d \times K_p$

- Категорија објекта: $K_o = 1,0$
- Локални услови тла (II): $K_d = 1,0$
- Зона сеизмике VIII: $K_s = 0,050$
- Коефицијент дуктилности:
  - а) попречни правац $K_p^{pop} = 1,0$
  - б) подужни правац $K_p^{pod} = 1,3$

- Укупан коефицијент сеизмичности
  - а) попречни правац $K_{pop} = 1,0 \times 0,050 \times 1,0 \times 1,0 =$ 0,050
  - б) подужни правац $K_{pod} = 1,0 \times 0,065 \times 1,0 \times 1,0 =$ 0,065

- Меродавна маса објекта у нивоу венца (по квадрату основе крова):

<u>а) Решеткаст кровни везач</u>

$m_k = (g_{kp} + g_{kr} + g_{ks} + g_{gv} + s) + 2 \times h/2 \times (g_{fo} + g_{fr} + g_{gs})/B + (g_{nd} + g_{bo})/B$

$m_k = (0,35+0,10+0,05+0,10+1,0) + 2 \times 10,0/2 \times (0,35 + 0,10 + 0,20)/44 + (2,20 + 0,30)/44$

$\mathbf{m_k = 1,8045\ kN/m^2}$

<u>б) Рамовски кровни везач</u>

$m_k = (g_{kp} + g_{kr} + g_{ks} + g_{gv} + s) + 2 \times h/2 \times (g_{fo} + g_{fr} + g_{gs})/B + (g_{nd} + g_{bo})/B$

$m_k = (0,35+0,10+0,05+0,25+1,0) + 2 \times 9,0/2 \times (0,35 + 0,10 + 0,20)/44 + (2,20 + 0,30)/44$

$\mathbf{m_k = 1,9398\ kN/m^2}$

- Сеизмичка сила у попречном правцу:

<u>а) Решеткаст кровни везач</u>

$S_1 = K_1 \times m_k \times B/2 \times l = 0,050 \times 1,8045 \times 44,0/2 \times 6,0$

$\mathbf{S_1 = 11,91\ kN}$

<u>б) Рамовски кровни везач</u>

$S_1 = K_1 \times m_k \times B/2 \times l = 0,050 \times 1,9398 \times 44,0/2 \times 6,0$

$\mathbf{S_1 = 12,80\ kN}$

1.3. Глобална квалитативна анализа оптерећења за халу

1.3.1 Анализа меродавности сеизмичког оптерећења

- Грубо свођење попречног ветра на меродавне силе у врху стуба:

а) Решеткаст кровни везач

$W_1 = q_{g,T,z} \times C_{pe,\,max} \times l \times h/2 = 0{,}44 \times 0{,}9 \times 6{,}0 \times 10{,}0/2 =$ **11,88 kN**

$W_2 = q_{g,T,z} \times C_{pe,\,min} \times l \times h/2 = 0{,}44 \times 0{,}5 \times 6{,}0 \times 10{,}0/2 =$ **6,60 kN**

б) Рамовски кровни везач

$W_1 = q_{g,T,z} \times C_{pe,\,max} \times l \times h/2 = 0{,}44 \times 0{,}9 \times 6{,}0 \times 9{,}0 =$ **10,69 kN**

$W_2 = q_{g,T,z} \times C_{pe,\,min} \times l \times h/2 = 0{,}44 \times 0{,}5 \times 6{,}0 \times 9{,}0 =$ **5,94 kN**

Попречни правац (главни попречни рам): еквивалентни коефицијенти сигурности

- За комбинације са ветром (II случај оптерећења) $\upsilon^{II} = 1{,}33$
- За комбинације са сеизмиком (III случај оптерећења) $\upsilon^{III} = 1{,}20$

а) Решеткаст кровни везач

$(2 \times S_1)/(W_1 + W_2) = (2 \times 11{,}91)/(11{,}88 + 6{,}60) = 1{,}289 > 1{,}108 = 1{,}33/1{,}20 = \upsilon^{II}/\upsilon^{III}$

б) Рамовски кровни везач

$(2 \times S_1)/(W_1 + W_2) = (2 \times 12{,}80)/(10{,}69 + 5{,}94) = 1{,}540 > 1{,}108 = 1{,}33/1{,}20 = \upsilon^{II}/\upsilon^{III}$

Сеизмика се НЕ МОЖЕ занемарити при анализи оптерећења и димензионисању главног попречног рама хале!

1.3.2 Анализа могућности одизања крова

а) Минимално стабилизирајуће дејство на кров

$\min q\downarrow = g_{kp} + g_{kr} = 0{,}35 + 0{,}10 =$ 0,45 kN/m²

б) Максимално дестабилизирајуће дејство на кров

$\max q\uparrow = q_{g,T,z} \times (C_{pe,min} - C_{pi,max}) = 0{,}44 \times (0{,}6 + 0{,}2) =$ 0,35 kN/m²

min qí > max që ì Не постоји могућност одизања крова!

1.3.3 Меродавне реакције кранских носача на конзоле главних носача

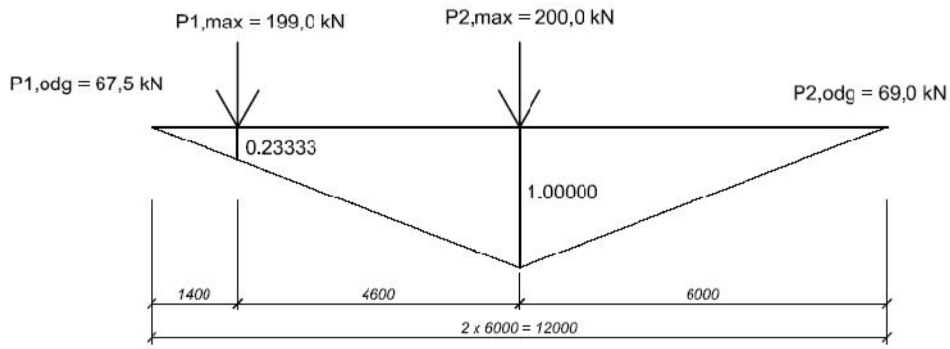
$P_{1,max}^{L} = 199{,}0$ kN $P_{1,min}^{D} = 57{,}5$ kN

$P_{2,max}^{L} = 200{,}0$ kN $P_{2,min}^{D} = 59{,}0$ kN

$P_{1,L,Q} = P_{2,L,Q} = 1/2 \times Q \times (A - E)/A = 1/2 \times 250 \times (20{,}0 - 1{,}6)/20{,}0 =$ **115,0 kN**

$P_{1,D,Q} = P_{2,D,Q} = 1/2 \times Q \times E/A = 1/2 \times 250 \times 1{,}6/20{,}0 =$ **10,0 kN**

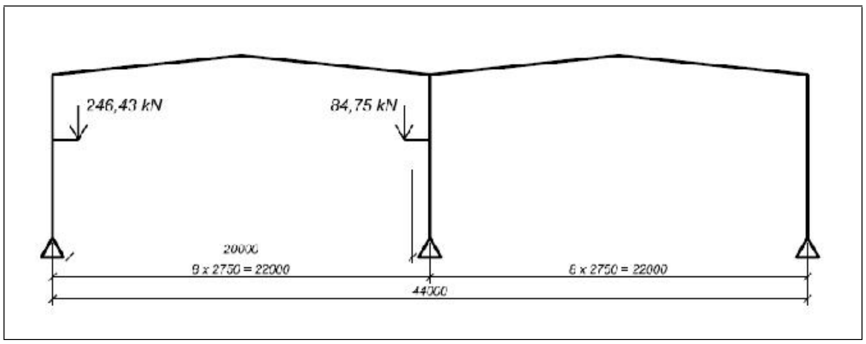
$$\mathbf{P_1^{D}{}_{,odg} = P_{1,min}^{D} + P_{1,D,Q} = 57{,}5 + 10{,}0 = 67{,}5\ kN}$$
$$\mathbf{P_2^{D}{}_{,odg} = P_{2,min}^{D} + P_{2,D,Q} = 59{,}0 + 10{,}0 = 69{,}0\ kN}$$



Слика 1.5. Крански носачи у меродавном положају за одређивање максималне реакције

$R_{max} = P_{1,max} \times 0{,}23333 + P_{2,max} \times 1{,}00000 = 199{,}0 \times 0{,}23333 + 200{,}0 \times 1{,}00000$
R_{max} = 246,43 kN

$R_{odg} = P_{1,odg} \times 0{,}23333 + P_{2,odg} \times 1{,}00000 = 67{,}5 \times 0{,}23333 + 69{,}0 \times 1{,}00000$
R_{odg} = 84,75 kN



Слика 1.6. Меродавне реакције кранског носача на конзоле главног носача

1.4 Анализа оптерећења за главни попречни рам хале

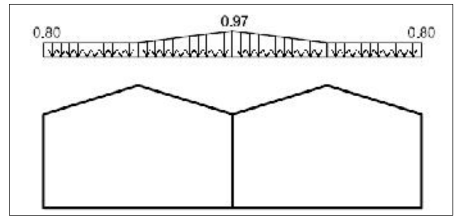
Напомена**:** У анализи оптерећења се не разматрају сопствене тежине елемената који чине главни попречни рам хале, јер ће се оне аутоматски генерисати помоћу програма TOWER.

1) **Оптерећење са крова (λ_{gv} = 6,0 m)**

• **Стално**	$(g_{kp} + g_{kr} + g_{ks}) \times \lambda_{gv}$ =	(0,35 + 0,10 + 0,05) x 6,0 =	**3,00 kN/m**
• **Снег**	$s \times \lambda_{gv}$ =	1,0 × 6,0 =	**6,00 kN/m**
• **Ветар споља**	$q_{g,T,z} \times C_{pe,min} \times \lambda_{gv}$ =	0,44 × (-0,6) × 6,0 =	**-1,58 kN/m**
	$q_{g,T,z} \times C_{pe,max} \times \lambda_{gv}$ =	0,44 × (-0,5) × 6,0 =	**-1,32 kN/m**
• **Ветар изнутра**	$q_{g,T,z} \times C_{pi,max/min} \times \lambda_{gv}$ =	0,44 × (±0,2) × 6,0 =	**±0,53 kN/m**

• **Одговарајуће концентрисане силе на местима рожњача, односно венчаница:**

G = 3,00 × 2,75 =	**8,25 kN**	(λ_{roz} = 2,75 m)
G/2 = 3,00 × 2,75/2 =	**4,12 kN**	(λ_{roz}/2 = 1,375 m)
S = 6,00 × 2,75 =	**16,50 kN**	(λ_{roz} = 2,75 m)
S/2 = 6,00 × 2,75/2 =	**8,25 kN**	(λ_{roz}/2 = 1,375 m)



- **Прорачун нагомилавања снега:**

  $\mu_1 = 0{,}80$

  $\mu_2 = 0{,}80 \times (30 + \beta)/30$ $(0^o \leq \beta \leq 30^o)$

  за $\beta = 6{,}23^o$ добија се:

  $\mu_2 = 0{,}80 \times (30 + 6{,}23)/30 =$ **0,97**

  $s_1 = \mu_1 \times s \times \lambda_{gv} = 0{,}80 \times 1{,}00 \times 6{,}0 =$ 4,80 kN/m

  $s_2 = \mu_2 \times s \times \lambda_{gv} = 0{,}97 \times 1{,}00 \times 6{,}0 =$ 5,82 kN/m

Шематски приказ оптерећења од нагомиланог снега дат је на претходној скици. Ово оптерећење се такође преводи у одговарајуће концентрисане силе на горњем појасу главног носача хале (урађено коришћењем опција програма TOWER 5.5).

2) **Оптерећење са фасаде (λ_{gv} = 6,0 m)**

• **Стално**	$(g_{fo} + g_{fr} + g_{fs}) \times \lambda_{gv} =$	$(0{,}35 + 0{,}10 + 0{,}05) \times 6{,}0 =$	**3,00 kN/m**
• **Ветар споља**	$q_{g,T,z} \times C_{pe,min} \times \lambda_{gv} =$	$0{,}44 \times 0{,}5 \times 6{,}0 =$	**1,32 kN/m**
	$q_{g,T,z} \times C_{pe,max} \times \lambda_{gv} =$	$0{,}44 \times 0{,}9 \times 6{,}0 =$	**2,38 kN/m**
• **Ветар изнутра**	$q_{g,T,z} \times C_{pi,max/min} \times \lambda_{gv} =$	$0{,}44 \times (\pm 0{,}2) \times 6{,}0 =$	**±0,53 kN/m**

3) **Оптерећење по конзоли (λ_{gv} = 6,0 m)**

• **Стално**	$\psi \times (g_{nd} + g_{bu}) \times \lambda_{gv} =$	$1{,}10 \times (2{,}20 + 0{,}30) \times 6{,}0 =$	**16,50 kN**
• **Покретно**	$Q_{max} = \varphi \times R_{max} =$	$1{,}30 \times 246{,}43 =$	**320,40 kN**
	$Q_{odg} = \varphi \times R_{odg} =$	$1{,}30 \times 84{,}75 =$	**110,20 kN**

4) **Оптерећење од бочних удара**

• **На страни са R_{max}**	$B_L = (Q_{max}/10)/\varphi =$	$(320{,}40/10)/1{,}30 =$	**24,60 kN**
• **На страни са R_{odg}**	$B_D = (Q_{odg}/10)/\varphi =$	$(110{,}20/10)/1{,}30 =$	**8,50 kN**

5) **Оптерећење од сеизмике (раније срачунато)**

- Решеткаст кровни везач **S1 = 11,91 kN**
- Рамовски кровни везач **S1 = 12,80 kN**

У наставку (стране 11-20) ће бити приказани могући случајеви оптерећења главног носача хале. При генерисању комбинација оптерећења узети су у обзир услови по којима неке случајеве оптерећења није могуће комбиновати. Ови услови гласе:

1) Стално оптерећење делује у свакој комбинацији.
2) Основно оптерећење снегом не делује истовремено са нагомиланим снегом. Такође, нити једно оптерећење од снега не може деловати истовремено са позитивном температурном променом.
3) Корисна оптерећења од мостних дизалица не могу деловати у пуном износу истовремено са леве и десне стране. Такође, оптерећење од бочних удара постоји само уколико постоји и корисно оптерећење од мостне дизалице. Ради лакшег генерисања комбинација оптерећења, у овом случају је додато 4 случаја оптерећења у којима је суперпонирано деловање бочних удара и мостне дизалице. Услов је да се 6 оптерећења у којима фигурише мостна дизалица не могу међусобно комбиновати.
4) Ветар не може истовремено деловати улево и удесно. Са тим у складу, ни ова оптерећења се не могу комбиновати. Такође, ветар изнутра постоји само уколико постоји ветар споља. И у овом случају је, ради лакшег генерисања комбинација оптерећења, извршено суперпонирање спољашњег и унутрашњег ветра и добијено је 6 случајева

оптерећења у којима фигурише ветар. Нити једно од ових оптерећења се међусобно не може комбиновати.

5) Ниједно од оптерећења ветром не може се комбиновати са сеизмичким оптерећењем.
6) Температурна промена не може у истом тренутку бити и позитивна и негативна, па се ни ова два случаја оптерећења не могу комбиновати.
7) Сеизмика не може истовремено деловати улево и удесно.

На основу горе наведених услова, опцијама програма је генерисана укупно 441 комбинација оптерећења. Свакој комбинацији додељен је одговарајући коефицијент сигурности, у зависности од природе дејстава, а све у складу са важећим ЈУС прописима. Након тога извршена је контрола напона и стабилности, а резултати ове контроле приказани су на Страни 20. Такође, услови које мора задовољити попречни рам хале у погледу деформација су:

1) Максимални хоризонтални отклон стуба

- Решеткаст главни везач

h_{dop} = h/150 = 10500/150 = 70,0 mm

- Рамовски главни везач

h_{dop} = h/150 = 9500/150 = 63,3 mm

2) Максимални угиб ригле

v_{dop} = B/300 = 22000/300 = 73,3 mm

3) Релативно размицање, односно примицање тачака у нивоу ГИШ-а

- Провера се врши само за променљива оптерећења, јер се након монтаже свих елемената хале и опреме врши центрисање шине)

Δh_{dop} = ï10,0 mm

I СЛУЧАЈ ОПТЕРЕЋЕЊА = ОСНОВНА ДЕЈСТВА

I Стално (g)
II Снег
III Снег Нагомилавање
IV Дизалица Лево
VII Дизалица Десно

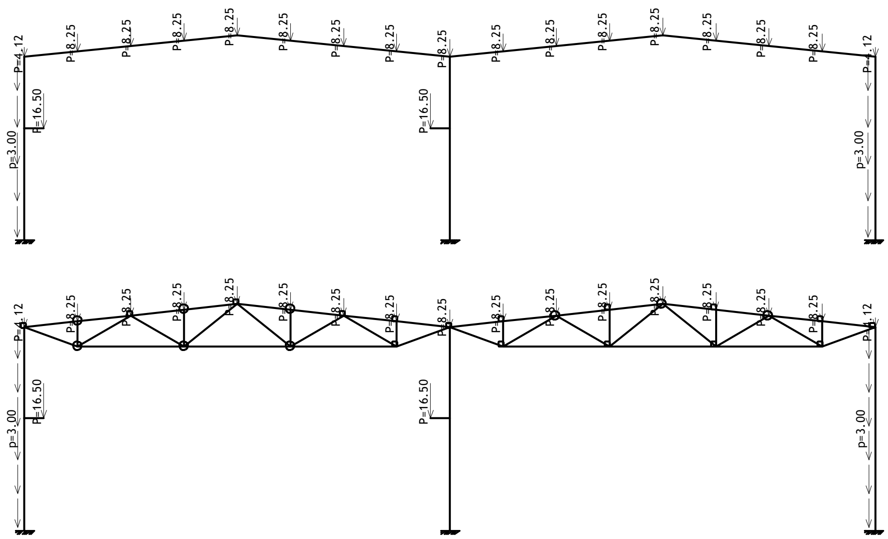
II СЛУЧАЈ ОПТЕРЕЋЕЊА = ОСНОВНА + ДОПУНСКА ДЕЈСТВА

→ *ОСНОВНА ДЕЈСТВА*
V Дизалица Лево Удар +
VI Дизалица Лево Удар -
VIII Дизалица Десно Удар +
IX Дизалица Десно Удар -
X Ветар Удесно
XI Ветар Удесно Изнутра +
XII Ветар Удесно Изнутра –
XIII Ветар Улево
XIV Ветар Улево Изнутра +
XV Ветар Улево Изнутра -
XVI Температура +
XVII Температура -

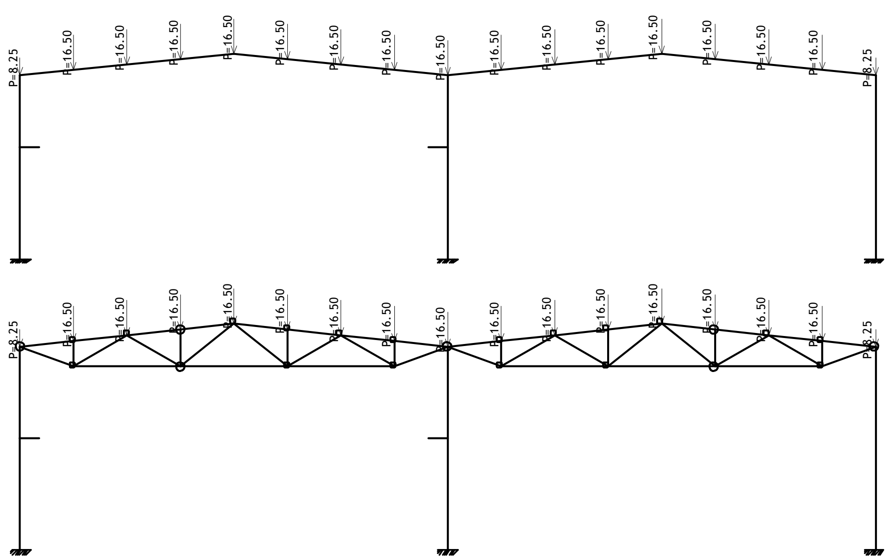
III СЛУЧАЈ ОПТЕРЕЋЕЊА = ОСНОВНА + ДОПУНСКА + ИНЦИДЕНТНА ДЕЈСТВА

→ *ОСНОВНА ДЕЈСТВА*
→ *ДОПУНСКА ДЕЈСТВА*
XVIII Сеизмика Улево
XIX Сеизмика Удесно

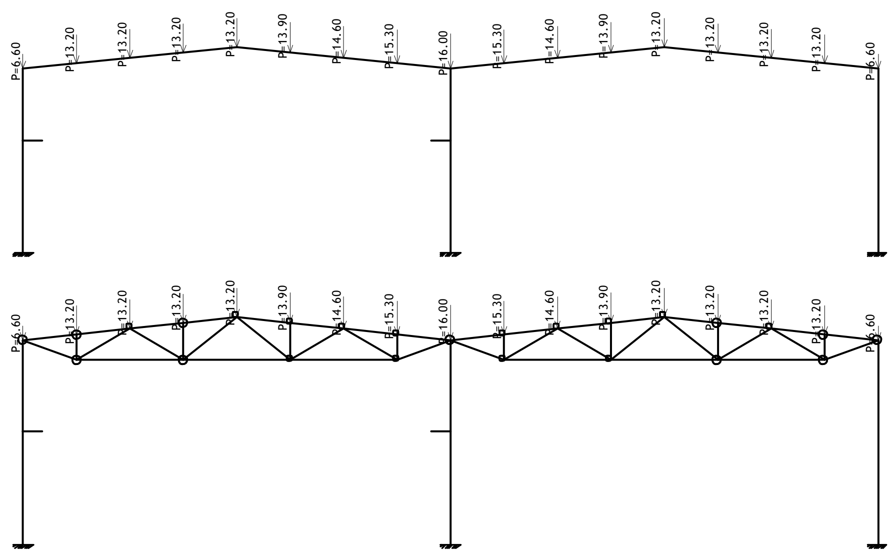
Оптерећење 1: Стално (g)



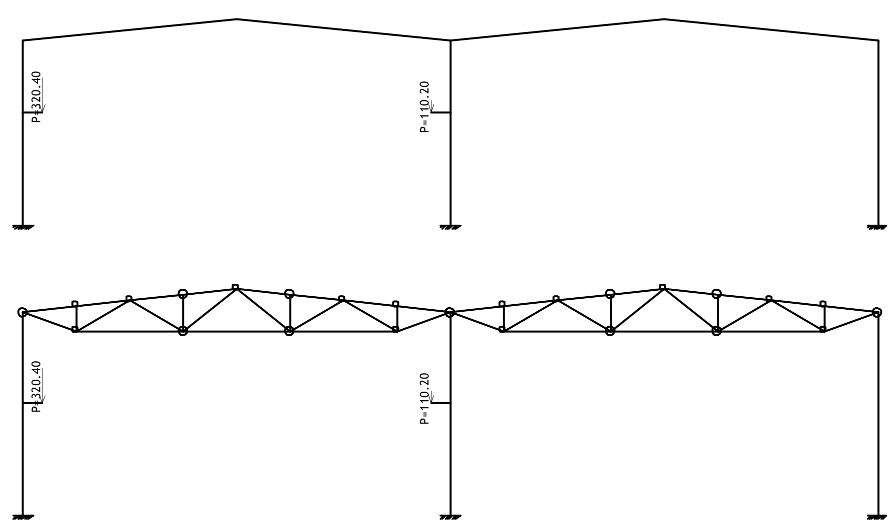
Оптерећење 2: Снег



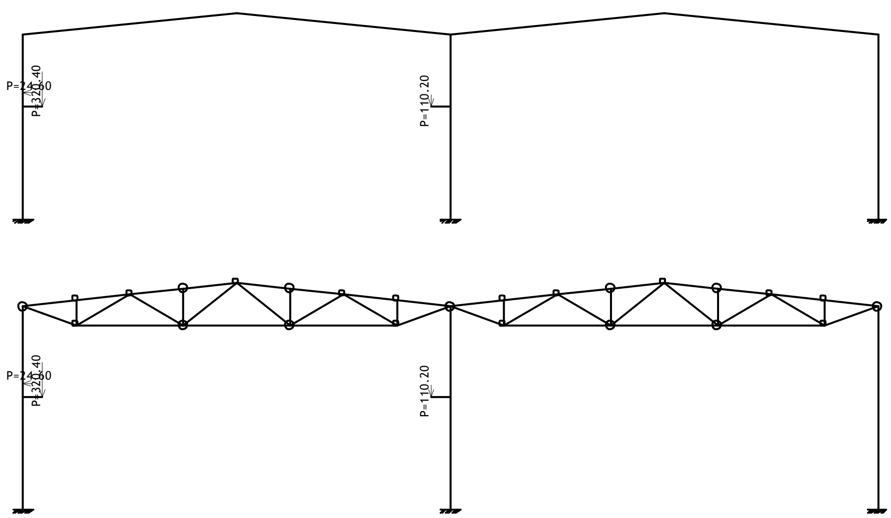
Оптерећење 3: Снег Нагомилавање



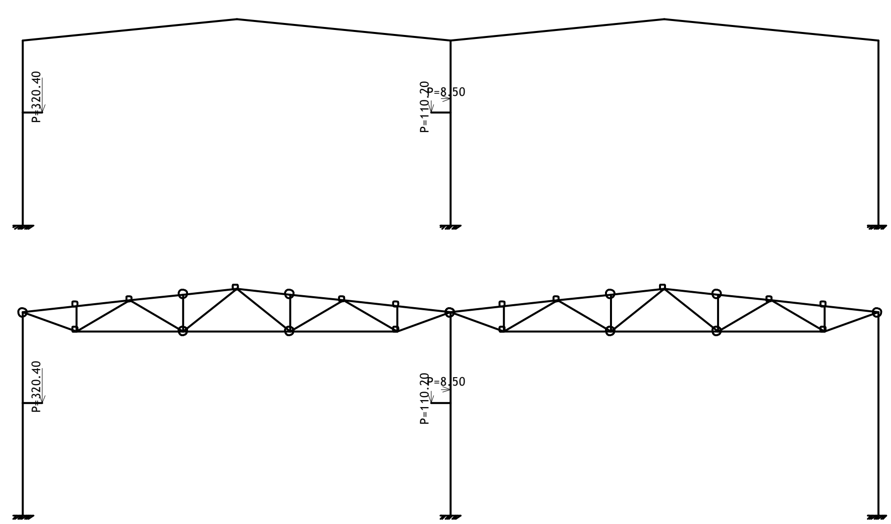
Оптерећење 4: Дизалица Лево



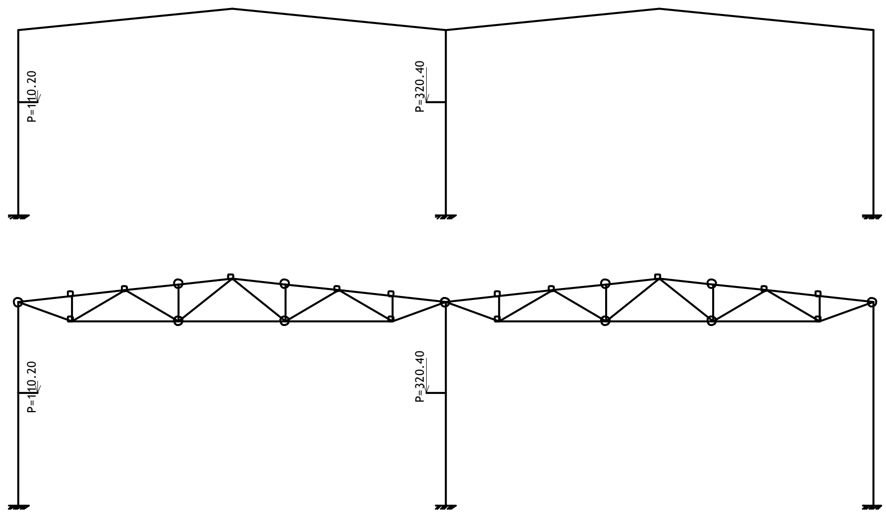
Оптерећење 5: Дизалица Лево Удар +



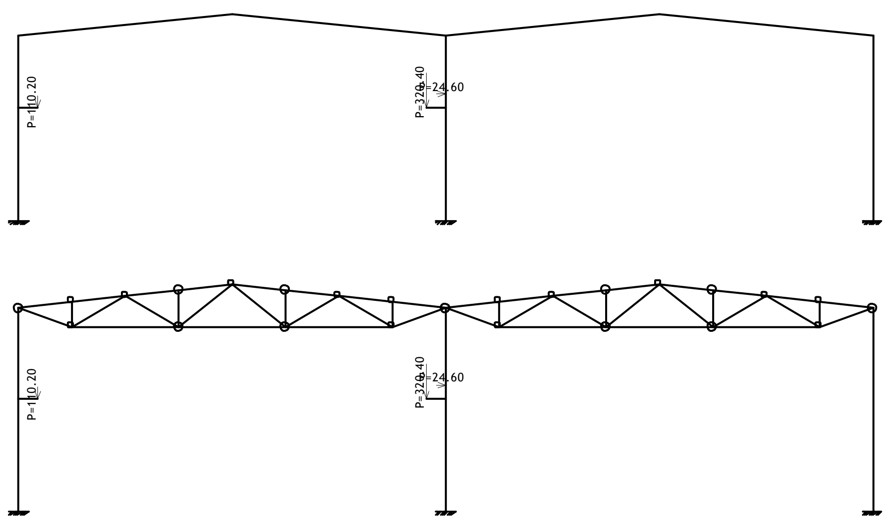
Оптерећење 6: Дизалица Лево Удар -



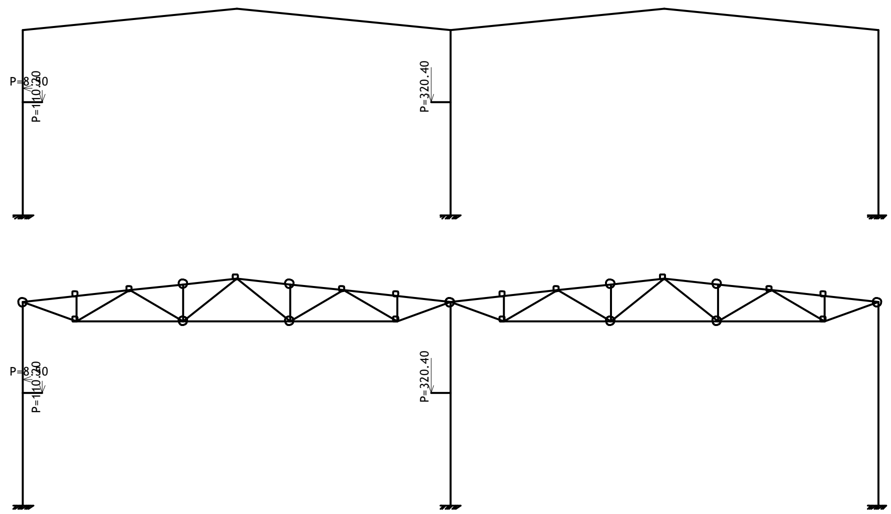
Оптерећење 7: Дизалица Десно



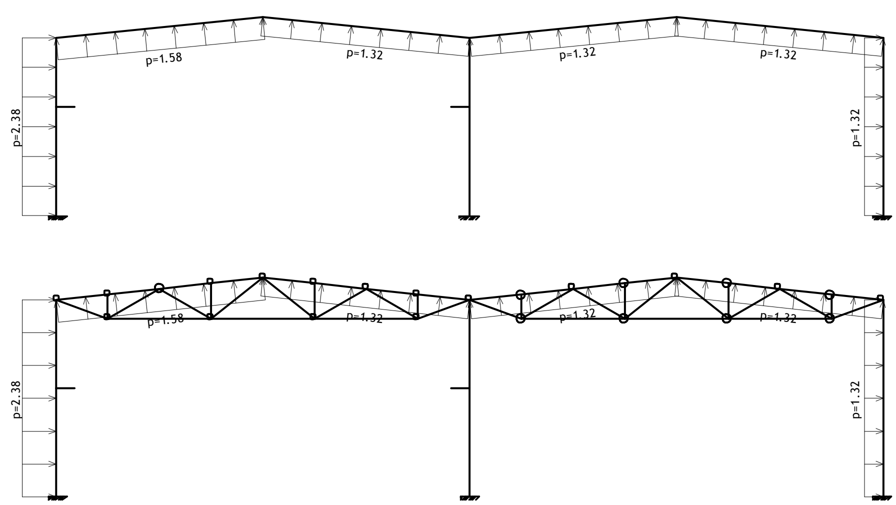
Оптерећење 8: Дизалица Десно Удар +



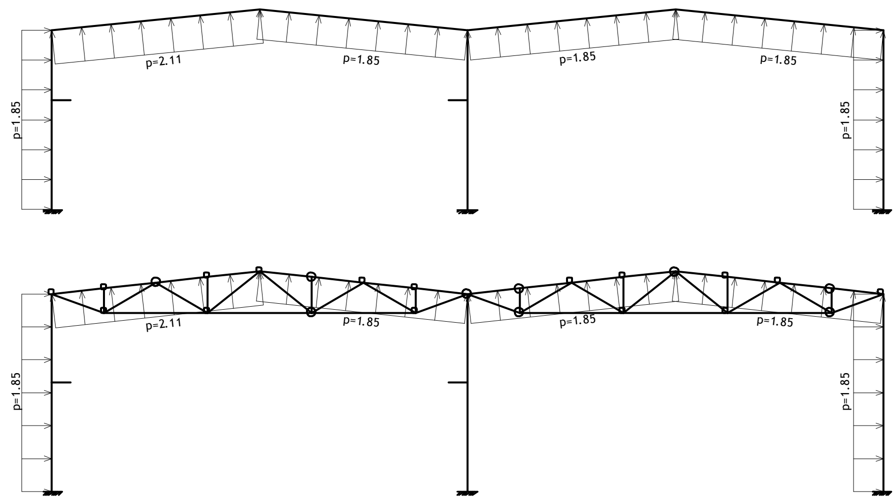
Оптерећење 9: Дизалица Десно Удар -



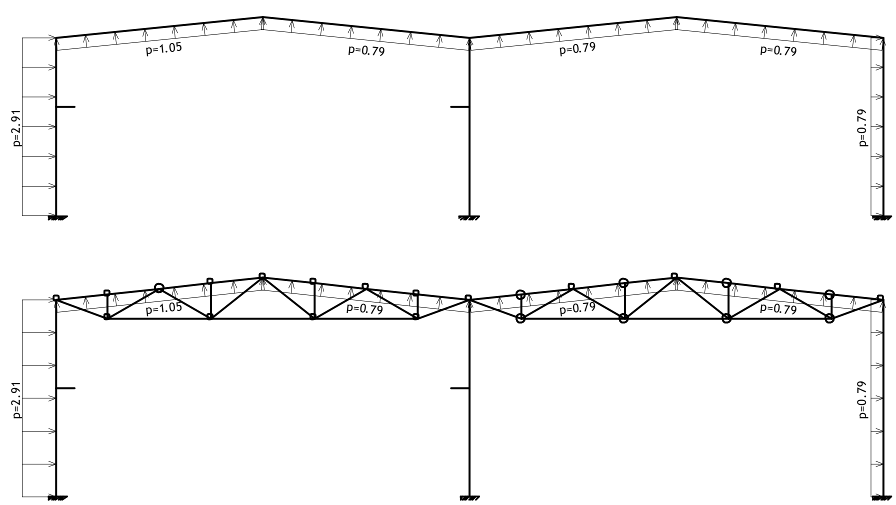
Оптерећење 10: Ветар Удесно



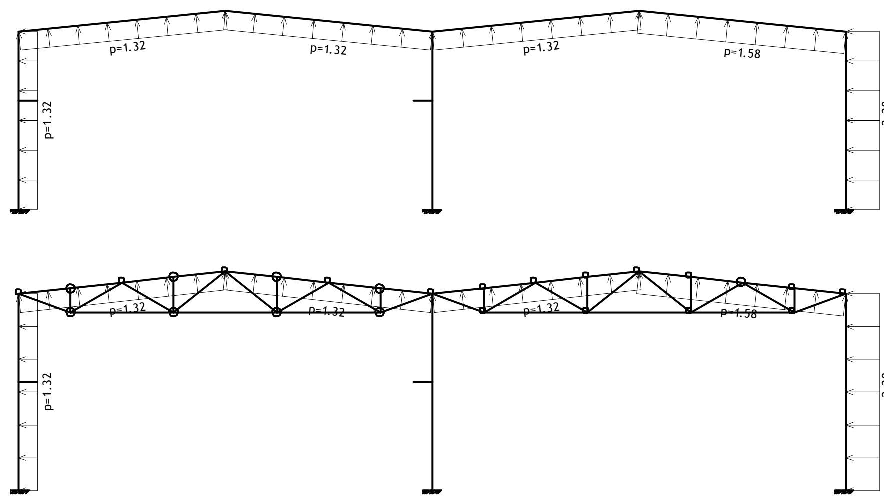
Оптерећење 11: Ветар Удесно Изнутра +



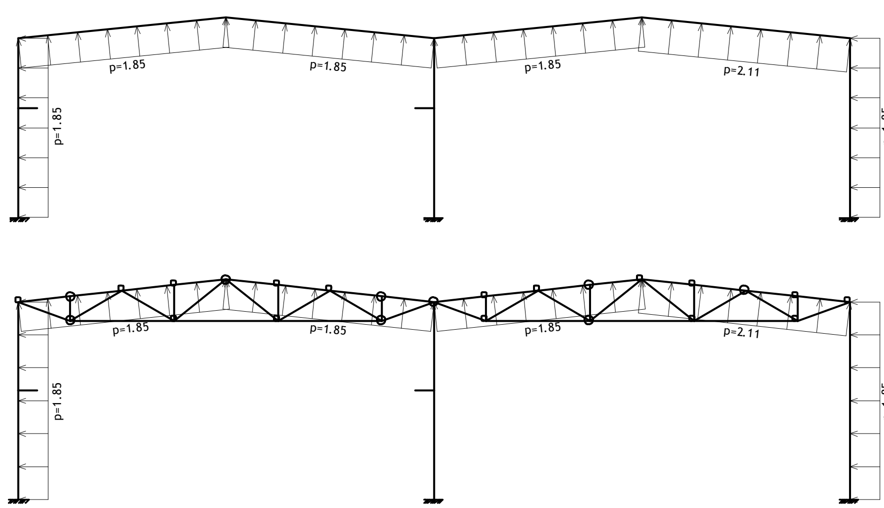
Оптерећење 12: Ветар Удесно Изнутра -



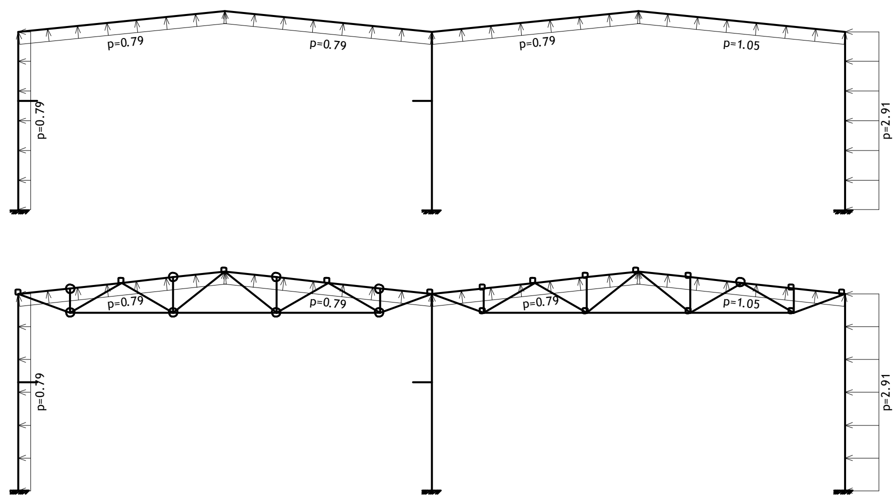
Оптерећење 13: Ветар Улево



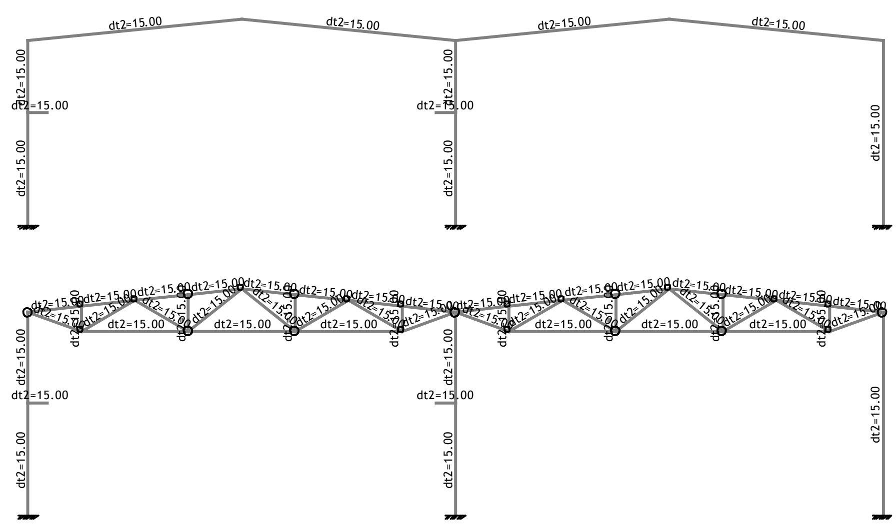
Оптерећење 14: Ветар Улево Изнутра +



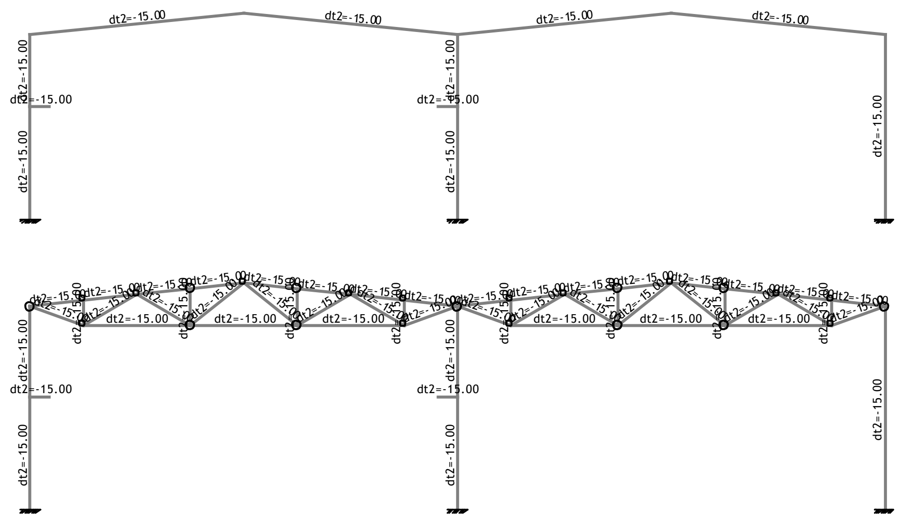
Оптерећење 15: Ветар Улево Изнутра -



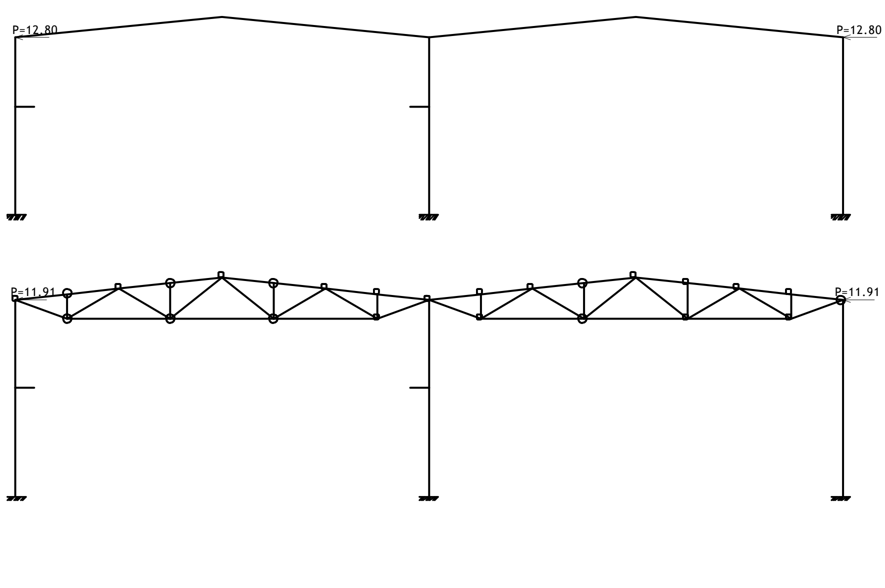
Оптерећење 16: Температура +

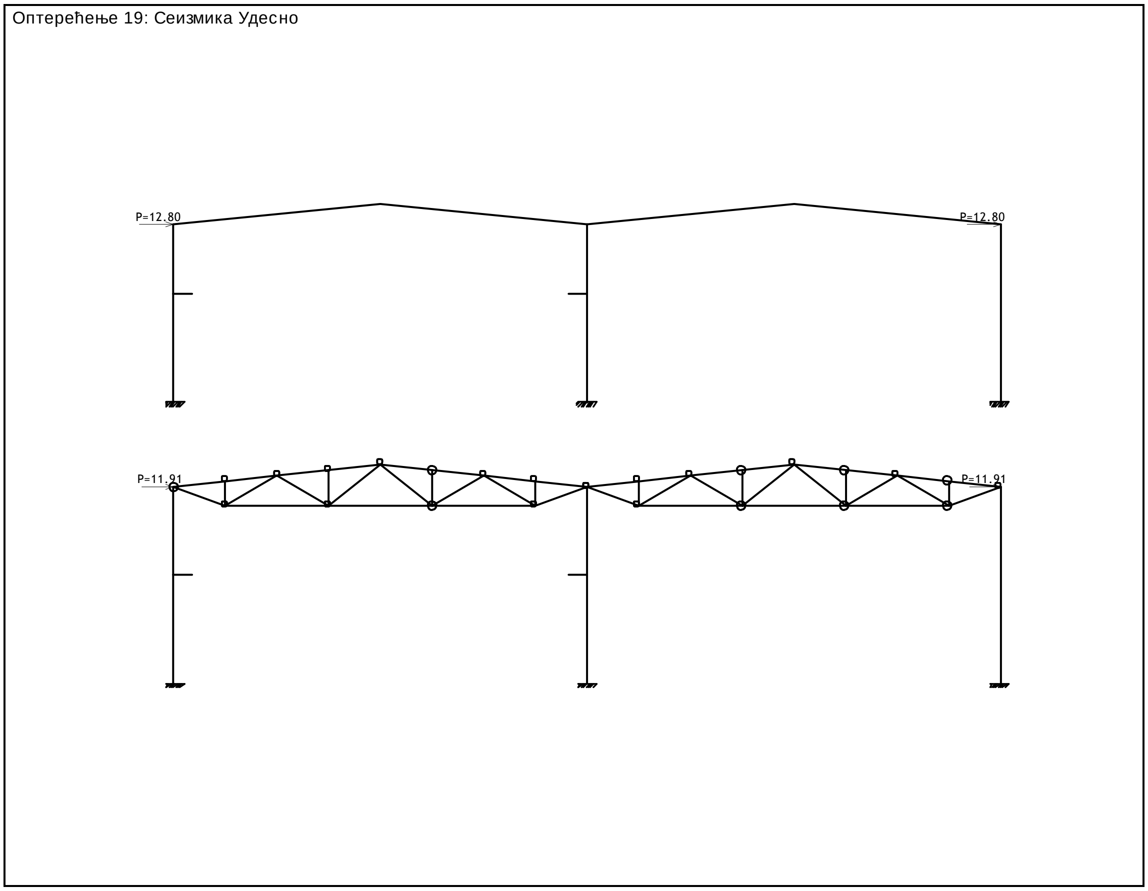


Оптерећење 17: Температура -

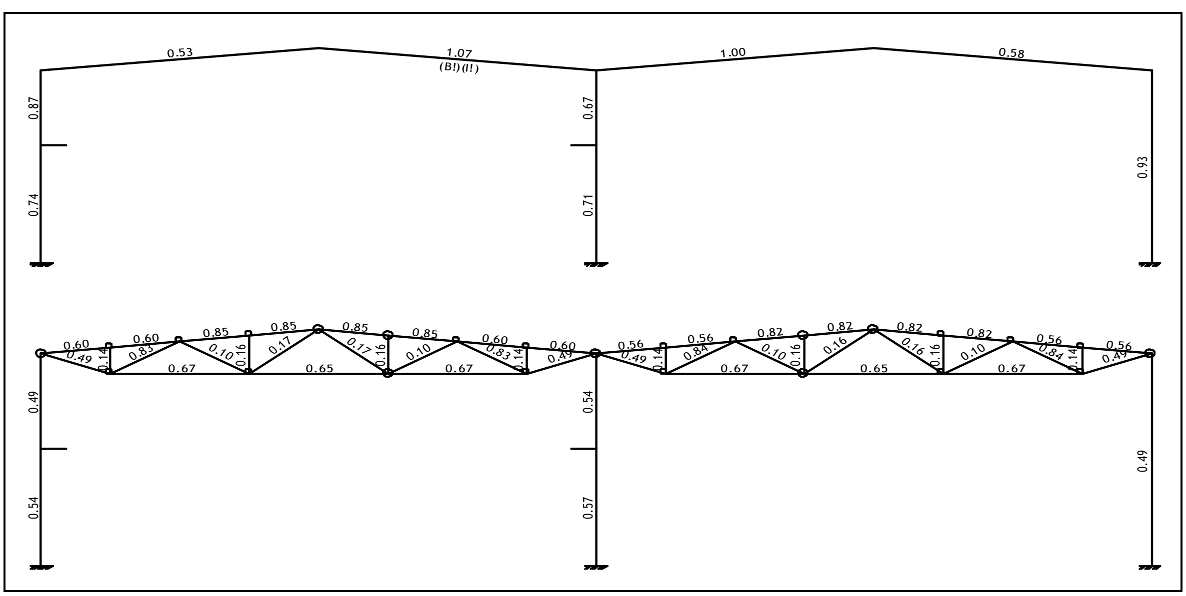


Оптерећење 18: Сеизмика Улево

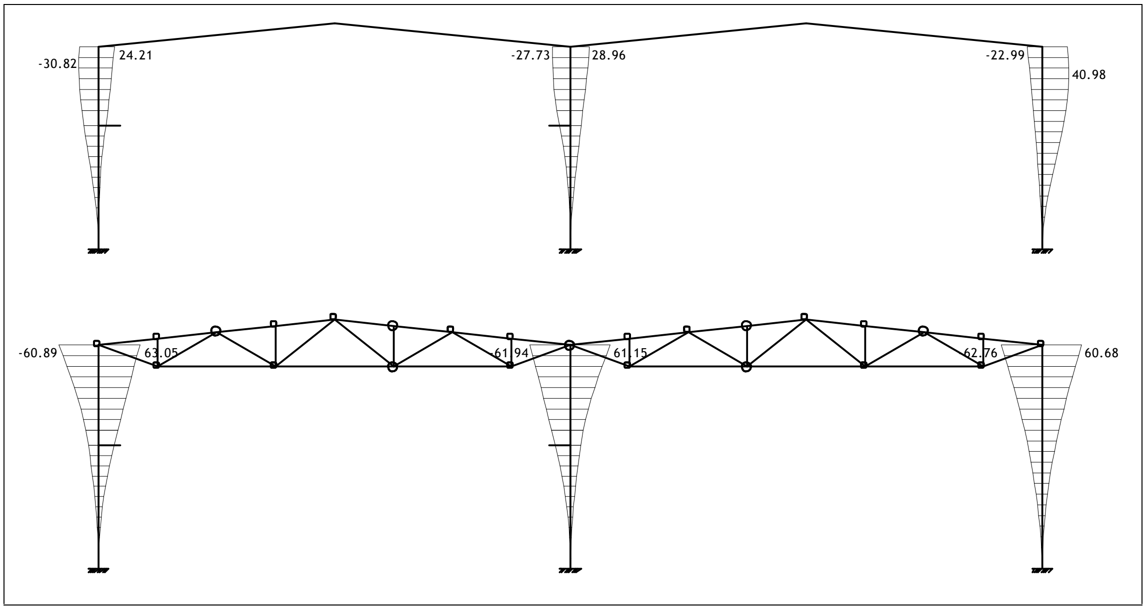




На следећој слици приказан је резултат **контроле стабилности** у штаповима главног носача хале. Бројеви поред штапова представљају степен искоришћења напона у носачу. Са приложене слике се може закључити да су напони боље искоришћени код рамовског главног носача. Разлог је у томе што су код варијанте са решетkастом риглом меродавне деформације, па су и елементи са тим у складу морали бити нешто већих димензија. Може се приметити и да је код рамовског типа у штаповима ригле прекорачен максимални допуштени напон за 7%, али овај проблем би се решио постављањем вута на местима споја ригле са стубовима. Иначе, сви штапови су моделовани као штапови константног попречног пресека.



Следећа слика приказује анвелопу померања врхова главних стубова у попречним рамовима хале. Величине померања су приказане у mm.



$$h_{max,\ ram} = 40,98 \text{ mm} < h_{dop} = 63,3 \text{ mm}$$
$$h_{max,\ resetka} = 63,05 \text{ mm} < h_{dop} = 70,0 \text{ mm}$$

У следећој табели дат је преглед усвојених профила при моделовању, и процењена укупна тежина главних носача хале:

Р Е Ш Е Т К А				
	Профил	**Дужина [m]**	**Тежина [kg/m]**	**Укупно [kg]**
Горњи појас	HOP 140 x 140 x 5	44,20	20,94	925,55
Испуна	HOP 100 x 80 x 4	52,40	10,60	555,44
Доњи појас	HOP 140 x 140 x 5	44,60	20,94	933,92
Једноделни стуб	HEA 320	10,00	97,60	976,00
Горњи део вишеделног стуба	HEA 320	10,00	97,60	976,00
Доњи део вишеделног стуба	HEA 550	10,00	166,00	1660,00
			УКУПНО:	**6026,91 kg**

Р А М				
	Профил	**Дужина [m]**	**Тежина [kg/m]**	**Укупно [kg]**
Ригла	IPE 600	44,20	122,00	5392,40
Једноделни стуб	HEA 340	9,00	105,00	945,00
Горњи део вишеделног стуба	HEA 340	8,00	105,00	840,00
Доњи део вишеделног стуба	HEA 450	10,00	140,00	1400,00
			УКУПНО:	**8577,40 kg**

На основу претходне анализе доноси се одлука да се за главни носач хале усвоји **решеткасти носач**, зглобно ослоњен на укљештене стубове. Даља разматрања у оквиру овог Пројекта ће се односити само на усвојено конструктивно решење. У наставку текста следи димензионисање носећих елемената челичне конструкције.

2. Димензионисање носећих елемената челичне конструкције

2.1 Крански носач (POS ND)

- Крански носач је статичког система просте греде, распона L = 6,0 m.
- Коефицијент удара: φ=1.30
- Коефицијент изравнања: ψ=1.10

- Дозвољени угиб кранског носача: f_{dop} = L/750 = 6000,0/750 = 8,0 mm

- Горња ножица кранског носача је континуално бочно придржана спрегом за бочне ударе од челичног лима. Попречна укрућења се предвиђају на сваких L/6 = 1000 mm.

2.1.1 Анализа оптерећења

g = 3,50 kN/m (сопствена тежина носача заједно са шином, укрућењима, делом спрега за бочне ударе и евентуалним корисним оптрећењем на ревизионој стази)

Карактеристике крана

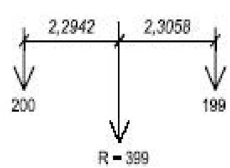
Q=250 kN A=20,0 m L=4600 mm E=F=1600 mm

$P_{1,max}$ = 199,0 kN $P_{2,max}$ = 200,0 kN
$P_{1,min}$ = 57,5 kN $P_{2,min}$ = 59,0 kN

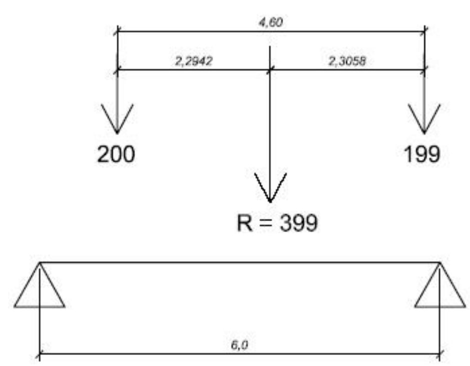
За димензионисање је меродаван I случај оптерећења.

σ_{dop} = 16,0 kN/cm^2
τ_{dop} = 9,0 kN/cm^2
$\sigma_{w,\,dop}$ = 12,0 kN/cm^2

Максимални утицаји у носачу



1) Случај са две силе на носачу:



max M_1 = ?
a_1 = 2,2942 m
R = 399,0 kN
M_1^1 = 0

$$\max M_1 = \frac{399{,}0}{6{,}0} \times \left(\frac{6{,}0 - 2{,}2942}{2} \right)^2 - 0 = 199{,}5 kNm$$

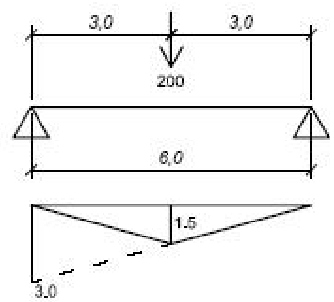
max M_2 = ?
a_2 = -2,3058 m
R = 399,0 kN
M_2^l = 200,0 x 4,60 = 920,0 kNm

$$\max M_2 = \frac{399{,}0}{6{,}0} \times \left(\frac{6{,}0 + 2{,}3058}{2} \right)^2 - 920{,}0 = 226{,}9 kNm$$

abs M_{max} = 226,90 kNm

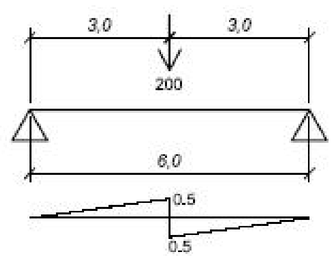
<u>2) Случај са једном силом на носачу</u>

Меродаван положај је када се већа сила нађе у средини распона, као на слици:



M_{max} = 200,0 x 1,50 = 300,0 kNm

Закључујемо да је за димензионисање меродаван други случај, са једном (већом) силом на носачу, у средини распона l = 6,0 m (P = 200 kN).



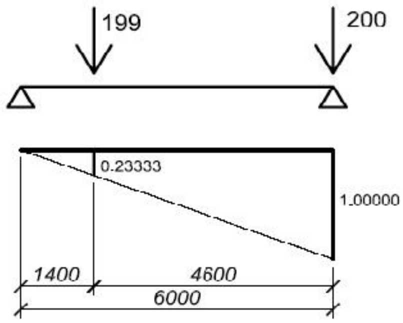
M_p = 300,0 kNm
$T_{p, odg}$ = 200,0 x 0,5 = 100,0 kN

M_g = 1,50 x ql/2 = 1,50 x (3,5 x 6,0)/2 = **15,75 kNm**
$T_{g, odg}$ = ql/2 – 3,0 x q = (3,5 x 6,0)/2 – 3,0 x 3,5 = **0**

M_{max} = ψ x M_g + φ x M_p = 1,10 x 15,75 + 1,30 x 300,0
M_{max} = 407,3 kNm

T_{odg} = ψ x $T_{g, odg}$ + φ x $T_{p, odg}$ = 0 + 1,30 x 100,0
T_{odg} = 130,0 kN

Максимална трансверзална сила



T_p = 1,0 x 200,0 + 0,233 x 199,0 = 246,43 kN
T_g = ql/2 = (3,5 x 6,0)/2 = 10,5 kN

T_{max} = ψ x T_g + φ x M_p = 1,10 x T_g + 1,30 x T_p
T_{max} = 331,9 kN

2.1.2 Обликовање попречног пресека

$$W_{pot} = \frac{M_{\max}}{\pm_{dop}} = \frac{407{,}3 \times 100}{16} = 2546 cm^3$$

Усваја се вруће ваљани профил IPE600 са следећим карактеристикама:

h = 600 mm	I_y = 92080 cm^4	W_y = 3070 cm^3	i_y = 24,3 cm
b = 220 mm	I_z = 3390 cm^4	W_z = 308 cm^3	i_z = 4,66 cm
t_w = 12 mm		S_y = 1760 cm^3	
t_f = 19 mm			

2.1.3 Контрола напона

1) Контрола напона на месту максималног момента

$$\pm = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{407{,}3 \times 100}{3070} = 13{,}27 \frac{kN}{cm^2} < 16{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

$$2 = \frac{T_{odg} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{130{,}0 \times 1760{,}0}{92080 \times 1{,}2} = 2{,}07 \frac{kN}{cm^2} < 9{,}0 \frac{kN}{cm^2} = 2_{dop}$$

2) Контрола упоредног напона

$$\pm_x = \frac{M_{\max} \times h_w}{I_y \times 2} = \frac{407{,}3 \times 100 \times 56{,}2}{92080 \times 2} = 12{,}43 \frac{kN}{cm^2} < 16{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

$$2_{xz} = \frac{T_{\max} \times S_{y,0}}{I_y \times t_w}$$

$$S_{y,0} = t_f \times b_f \times \left(\frac{h_w + t_f}{2} \right) = 1{,}9 \times 22 \times \left(\frac{56{,}2 + 1{,}9}{2} \right)$$

$S_{y,0} = 1241,3\ cm^3$

$$\tau_{xz} = \frac{130 \times 1241,3}{92080 \times 1,2} = 1,43 \frac{kN}{cm^2} < \tau_{dop}$$

<u>Напон услед локалног притиска точка дизалице:</u>

$$b_{eff} = 3,2 \times \sqrt[3]{\frac{I_{y,f}}{t_w}}$$ (шина није заварена)

Шина тип 49. → $\mathbf{I_{y,s} = 1819\ cm^4}$

$$I_{y,f} = I_{y,s} + \frac{b_f \times t_f^{\ 3}}{12} = 1819 + \frac{22 \times 1,9^3}{12}$$

$$I_{y,f} = 1831,6 cm^4$$

$$b_{eff} = 3,2 \times \sqrt[3]{\frac{1831,6}{1,2}} = 36,84 cm$$

$$\sigma_z = \frac{\psi \times P}{b_{eff} \times t_w} = \frac{1,30 \times 200}{36,84 \times 1,2} = 5,88 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{dop}$$

$$\tau_{xz} = 0,2 \times \sigma_z = 0,2 \times 5,88 = 1,18 \frac{kN}{cm^2} < \tau_{dop}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_x^{\ 2} + \sigma_z^{\ 2} - \sigma_x \sigma_z + 3 \times (\tau_{zx} + \tau_{xz})^2}$$

$$\sigma_u = \sqrt{12,43^2 + 5,88^2 - 12,43 \times 5,88 + 3 \times (1,18 + 1,43)^2} = 1,68 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{dop}$$

<u>3) Контрола напона на месту максималне трансверзалне силе</u>

$$\tau = \frac{T_{max} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{331,9 \times 1760}{92080 \times 1,2} = 5,29 \frac{kN}{cm^2} < \tau_{dop}$$

<u>2.1.4 Контрола деформација</u>

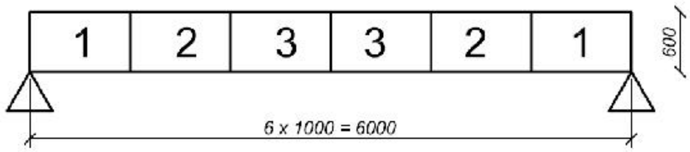
$$\max f = \frac{5,50 \times M \times l^2}{48 \times EI_y} = \frac{5,50 \times (Mg + Mp) \times l^2}{48 \times EI_y} = \frac{5,50 \times (300,00 + 15,75) \times 100 \times 600^2}{48 \times 21000 \times 92080} = 0,67 cm < f_{dop}$$

<u>2.1.5 Контрола носача на бочно-торзионо извијање</u>

Носач је у горњој (притиснутој) зони континуално бочно придржан спрегом за бочне ударе од челичног лима, па ову контролу није неопходно вршити.

2.1.6 Контрола стабилности

Распоред попречних укрућења приказан је на следећој слици:



Контрола стабилности ребра у ПОЉУ 1

a = 1000 mm
b = 562 mm α = a/b = 1000/562 = 1,7794 > 1

T = 331,9 kN
T* = 1,50 x T = 1,50 x 331,9 = 498,0 kN

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4{,}0}{\alpha^2} = 5{,}34 + \frac{4{,}0}{1{,}7794^2} = 6{,}603$$

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \times E}{12(1-\nu^2)} \times \left(\frac{t_w}{b}\right)^2 = \frac{\pi^2 \times 21000}{12(1-0{,}3^2)} \times \left(\frac{1{,}2}{56{,}2}\right)^2 = 8{,}65\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_{kr} = k_\tau \times \sigma_E = 6{,}603 \times 8{,}65 = 57{,}14\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{kr} \times \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{24{,}0}{57{,}14 \times \sqrt{3}}} = 0{,}492 < 0{,}7$$

$$\chi_p = 1{,}0$$

$$\tau_u = c_\tau \times \chi_p \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} \le \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_u = 1{,}25 \times 1{,}0 \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} > \frac{f_y}{\sqrt{3}} \qquad (c_\tau = 1{,}25)$$

Усвојено:

$$\tau_u = \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{24{,}0}{\sqrt{3}} = 13{,}86\,\frac{kN}{cm^2}$$

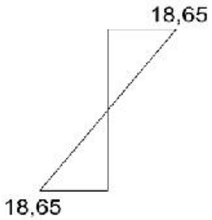
$$\tau^* = \frac{T^* \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{498{,}0 \times 1760}{92080 \times 1{,}2} = 7{,}93\,\frac{kN}{cm^2} < \tau_u$$

Контрола стабилности ребра у ПОЉУ 3

a = 1000 mm
b = 562 mm α = a/b = 1000/562 = 1,7794 > 1

T = 130,0 kN T* = 1,50 x T = 1,50 x 130,0 = 195,0 kN
M = 407,3 kNm M* = 1,50 x M = 1,50 x 407,3 = 611,0 kNm

$$\pm * = \frac{M * \times b}{I_y \times 2} = \frac{611{,}0 \times 56{,}2}{92080 \times 2} = 18{,}65 \frac{kN}{cm^2}$$



$\cdot$ = -1

$K_{\pm}$ = 23,9

$$\pm_E = \frac{\text{®}^2 \times E}{12(1-\text{«}^2)} \times \left(\frac{t_w}{b}\right)^2 = \frac{\text{®}^2 \times 21000}{12(1-0{,}3^2)} \times \left(\frac{1{,}2}{56{,}2}\right)^2 = 8{,}65 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_{kr} = k_{\pm} \times \pm_E = 23{,}9 \times 8{,}65 = 206{,}81 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{{}^{a}p} = \sqrt{\frac{f_y}{\pm_{kr}}} = \sqrt{\frac{24{,}0}{206{,}81}} = 0{,}341 < 0{,}7$$

$$¡_p = 1{,}0$$

$$k_{\pm} \times \sim^2 = 23{,}9 \times 1{,}7794^2 = 75{,}67 > 2$$

Важи критеријум чистог избочавања!

$$\overline{\pm_u} = (1 - f^2) \times ¡_p + f^2 \times ¡_c = 1$$

$$\pm_u = c_{\pm} \times \overline{\pm_u} \times f_y \leq f_y$$

$$c_{\pm} = 1{,}25 - 0{,}25 \times \cdot \leq 1{,}25$$

$$c_{\pm} = 1{,}25 + 0{,}25 = 1{,}50 > 1{,}25$$

Усвојено $c_{\pm}$ = 1,25

$$\pm_u = 1{,}25 \times \overline{1{,}0} \times f_y = 1{,}25 \times f_y > f_y = 24{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

Усвојено $\pm_u = f_y$

$$\pm * = 18{,}65 \frac{kN}{cm^2} < \pm_u$$

НИСУ ПОТРЕБНА ПОДУЖНА УКРУЋЕЊА РЕБРА!

$$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4{,}0}{\alpha^2} = 5{,}34 + \frac{4{,}0}{1{,}7794^2} = 6{,}603$$

$$\tau_{kr} = k_\tau \times \sigma_E = 6{,}603 \times 8{,}65 = 57{,}14 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{kr} \times \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{24{,}0}{57{,}14 \times \sqrt{3}}} = 0{,}492 < 0{,}7$$

¡$_p = 1{,}0$

$$\tau_u = 1{,}25 \times 1{,}0 \times \frac{f_y}{\sqrt{3}} > \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Усвојено:

$$\tau_u = \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{24{,}0}{\sqrt{3}} = 13{,}86 \frac{kN}{cm^2}$$

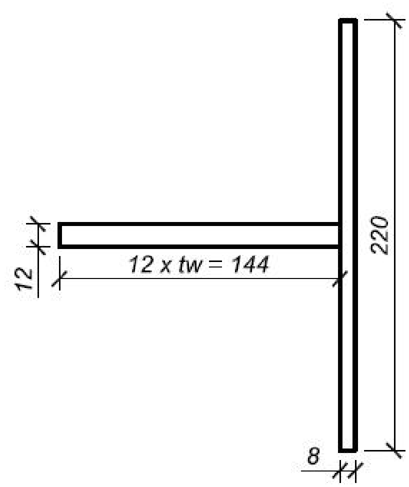
$$\tau^* = \frac{T^* \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{195{,}0 \times 1760}{92080 \times 1{,}2} = 3{,}11 \frac{kN}{cm^2} < \tau_u$$

Контрола упоредног напона

$$\left(\frac{\sigma^*}{\sigma_u}\right)^2 + \left(\frac{\tau^*}{\tau_u}\right)^2 = \left(\frac{18{,}65}{24{,}00}\right)^2 + \left(\frac{3{,}11}{13{,}86}\right)^2 = 0{,}65 < 1{,}0$$

2.1.7 Прорачун ослоначког попречног укрућења

A = 22,0 x 0,8 + 14,4 x 1,2 = 34,88 cm^2



$$I = \frac{22^3 \times 0{,}8}{12} = 710 cm^4$$

$$i = \sqrt{\frac{710}{34{,}88}} = 4{,}51 cm$$

l_i = 0,75 x b = 0,75 x 56,2 = 42,15 cm

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{42{,}15}{4{,}51} = 9{,}35$$

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_v} = \frac{9{,}35}{92{,}9} = 0{,}100 < 0{,}2$$

$\chi = 1$

$\sigma_{i,\,dop} = \chi \times \sigma_{dop} = 16{,}0$ kN/cm^2

$$\pm = \frac{T_{max}}{A} = \frac{331{,}9}{34{,}88} = 9{,}52\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{i,dop} = 16{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$$

Ослоначко попречно укрућење је чеона плоча ≠ 220 x 8 mm.

Контрола напона у шавовима

$a_w = 4\ mm$ $\quad\quad$ $l_w = 100\ x\ a_w = 100\ x\ 4{,}0 = 400\ mm < 562\ mm = h_w$

$$V_{II} = \frac{R}{2 \times lw \times aw} = \frac{331{,}9}{2 \times 40 \times 0{,}4} = 10{,}37\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop} = 12{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$$

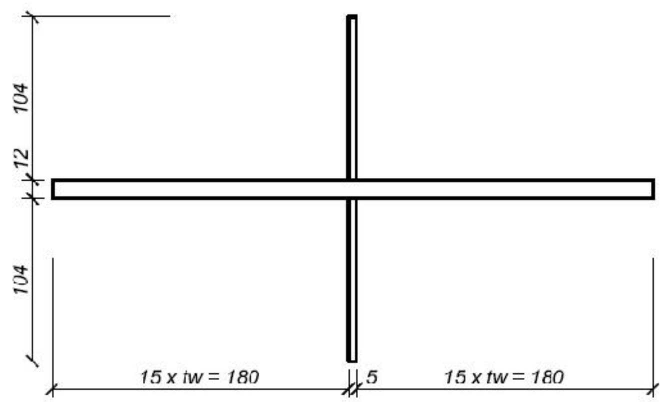
2.1.8 Прорачун попречног укрућења у пољу

$A = 2{\times}10{,}4{\times}0{,}5+1{,}2{\times}(2{\times}18+0{,}5)$

$A = 54{,}2\ cm^2$

$$I = \frac{22^3 \times 0{,}5}{12} + 2 \times \frac{1{,}2^3 \times 18}{12} = 448{,}9 cm^4$$

l_i=0,75 x b = 0,75 x 56,2 = 42,15 cm



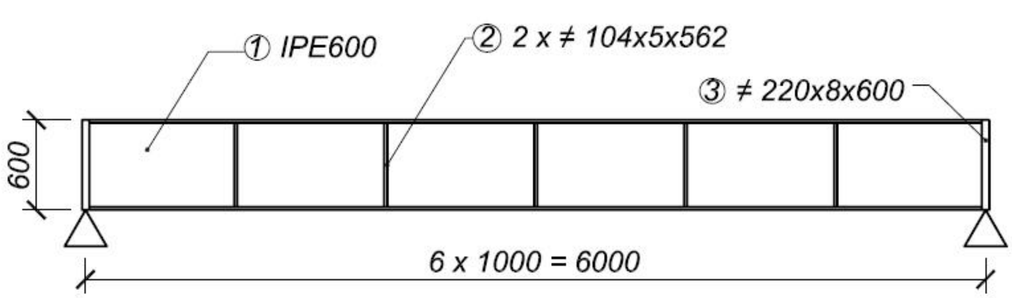
Према ISO/TC 167/SC1 N132 попречна укрућења на размаку **a** морају задовољавати следећи момент инерције:

$stv\ I > min\ I = 0{,}1{\times}bt^3{\times}k_t$

$$\frac{h}{a} = \frac{562}{1000} < 1 \Rightarrow k_t = 20$$

$min\ I = 0{,}1{\times}56{,}2{\times}1{,}2^3{\times}20 = 194{,}2\ cm^4$

Горе наведени услов је задовољен!



2.2 Поклапача калканског зида (POS P)

2.2.1 Анализа оптерећења

1. Стално оптерећење са крова $g = g_{kp}+g_{kr}+g_{ks}+g_{gv}$ = (0,35+0,10+0,05+0,10)
g = 0,60 kN/m²

2. Снег **s = 1,00 kN/m²**

3. Ветар – максимално притискујуће дејство

$q_{g,T,z} \times (C_{pe,min}-C_{pi,max}) = 0,44 \times (-0,5+0,2) =$ **0,13 kN/m²**

- Ветар није меродаван, јер не додаје верикално оптерећење на поклапачу, већ увек делује повољно!

Припадајућа ширина за поклапачу износи ª **= 3,00 m.** Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења**.**

g_{mer} = (g+s) ò ª = (0,60+1,00) ò 3,00 = 4,80 kN/m

2.2.2 Пресечне силе

Поклапача калканског зида се зглобно ослања на секундарне фасадне стубове у калкану. Статички систем је проста греда, распона ***l = 5,50 m***.

Максимални момент савијања:

$$M_{y,\max} = \frac{g_{mer} \times l^2}{8} = \frac{4,80 \times 5,50^2}{8} = 18,15 kNm$$

Реакције просте греде:

$R_{pk} = g_{mer} \times l/2 = 4,80 \times 5,50/2 = 13,2$ kN

2.2.3 Димензионисање

Усваја се вруће ваљани профил HEA140 са следећим карактеристикама:

A= 31,4 cm²	I_y = 1030 cm⁴	W_y = 155 cm³	i_y = 5,73 cm
h = 133 mm	I_z = 389 cm⁴	W_z = 55,6 cm³	i_z = 3,52 cm
b = 140 mm	I_t = 8,16 cm⁴	S_y = 86,7 cm³	

t_w = 5,5 mm t_f = 8,5 mm

$$\pm_{\max} = \frac{M_{y,\max}}{W_y} = \frac{18,15 \times 100}{155} = 11,71 \frac{kN}{cm^2} < 16,0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

$$²_{\max} = \frac{T \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{13,20 \times 86,7}{1030 \times 0,55} = 2,02 \frac{kN}{cm^2} < 9,0 \frac{kN}{cm^2} = ²_{dop}$$

2.2.4 Контрола деформација

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{g_{mer} \times l^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \times \frac{4{,}80 \times 10^{-2} \times 550^4}{21000 \times 1030} = 2{,}64cm < 2{,}75cm = \frac{550}{200} = f_{dop}$$

2.5.5 Контрола поклапаче на бочно торзионо извијање

l_T = 550 *cm*
l_z = 275 *cm*

$$\sim_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 86{,}7}{155} = 1{,}119$$

$$\pm_{DV} = \text{¦}_T \frac{\text{®}}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1{,}12 \frac{\text{®}}{550 \times 155} \sqrt{8100 \times 21000 \times 389 \times 8{,}16} = 30{,}33 \frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 14 \times 0{,}85 = 11{,}90cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 31{,}4 - 2 \times 11{,}9 = 7{,}60cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w / 6}} = \frac{14}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{11{,}9}{11{,}9 + 7{,}6/6}} = 3{,}84cm$$

$$\text{a}_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\text{¦}_z}} = \frac{275}{3{,}84\sqrt{1{,}12}} = 67{,}63$$

$$\pm_{DW} = \frac{\text{®}^2 \times E}{\text{a}_{kz}^2} = \frac{\text{®}^2 \times 21000}{67{,}63^2} = 45{,}31 \frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{275}{13{,}3}\right)^2 \times \frac{8{,}16}{389} = 2{,}399$$

$$\circ = 0{,}46$$

$$\text{¤} = \frac{\sqrt{K^2 + \circ^2} - \circ}{\sqrt{K^2 + \circ^2}} = \frac{\sqrt{2{,}399^2 + 0{,}46^2} - 0{,}46}{\sqrt{2{,}399^2 + 0{,}46^2}} = 0{,}781$$

$$\pm_{cr} = \text{¤}\sqrt{\pm_{DV}^2 + \pm_{DW}^2} = 0{,}781 \times \sqrt{30{,}33^2 + 45{,}31^2} = 42{,}58 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\text{a}}_D = \sqrt{\frac{\sim_P \times f_y}{\pm_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}119 \times 24}{42{,}58}} = 0{,}794$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + \overline{\text{a}}_D^{\,2n}}\right)^{1/n} \quad (n = 2)$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + 0{,}794^4}\right)^{1/2} = 0{,}846$$

$$\pm_D = \sim_p \times \text{¡}_D \times f_y = 1{,}119 \times 0{,}846 \times 24{,}0 = 22{,}72 \frac{kN}{cm^2} > \pm_{\max} = 11{,}71 \frac{kN}{cm^2}$$

2.3 Фасадна ригла у калкану (POS FR2)

2.3.1 Анализа оптерећења

1. Стално оптерећење са фасаде $g = g_{fo}+g_{fr}+g_{fs} = (0,35+0,10+0,05)$
   $g = 0,50$ kN/m²

2. Ветар $w = q_{g,T,z} \times (0,9+0,2) = 0,44 \times 1,1$
   $w = 0,484$ kN/m²

Припадајућа ширина за риглу износи ª **= 3,00 m.** Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.

g_{mer} = g ò ª = 0,50 ò 3,00 = 1,50 kN/m
w_{mer} = w ò ª = 0,484 x 3,00 = 1,45 kN/m

2.3.2 Пресечне силе

Фасадна ригла у калкану се зглобно ослања на фасадне, односно главне стубове у калкану. Статички систем је проста греда, распона ***l = 5,50 m***.

Максимални момент око y-y осе:

$$M_y = \frac{w \times l^2}{8} = \frac{1,45 \times 5,50^2}{8} = 5,48 kNm$$

Максимални момент око z-z осе:

$$M_z = \frac{g \times l^2}{8} = \frac{1,50 \times 5,50^2}{8} = 5,67 kNm$$

2.3.3 Димензионисање

Усваја се HOP 120x120x4,5 са следећим карактеристикама:

$I_y = I_z = 454$ cm⁴ $W_y = W_z = 75,66$ cm³

$$\pm_{max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{5,48 \times 100}{75,66} + \frac{5,67 \times 100}{75,66} = 14,74 \frac{kN}{cm^2} < 16,0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

2.3.4 Контрола деформација

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{w \times l^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1,45 \times 10^{-2} \times 550^4}{21000 \times 454} = 1,81 cm$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{g \times l^4}{EI_z} = \frac{5}{384} \times \frac{1,50 \times 10^{-2} \times 550^4}{21000 \times 454} = 1,88 cm$$

$$\max f = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} = \sqrt{1,81^2 + 1,88^2} = 2,61 cm < 2,75 cm = \frac{550}{200} = f_{dop}$$

2.4 Фасадна ригла у подужном зиду (POS FR1)

2.4.1 Анализа оптерећења

1. Стално оптерећење са фасаде $g = g_{fo}+g_{fr}+g_{fs} = (0,35+0,10+0,05)$

$g = 0,50$ kN/m^2

2. Ветар $w = q_{g,T,z} \times (0,9+0,2) = 0,44 \times 1,1$

$w = 0,484$ kN/m^2

Припадајућа ширина за риглу износи ª **= 3,00 m.** Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења**.**

g_{mer} = g ò ª = 0,50 ò 3,00 = 1,50 kN/m
w_{mer} = w ò ª = 0,484 ò 3,00 = 1,45 kN/m

2.4.2 Пресечне силе

Фасадна ригла у калкану се зглобно ослања на стубове главних везача у подужном зиду. Статички систем је проста греда, распона ***l = 6,00 m***.

Максимални момент око y-y осе:

$$M_y = \frac{w \times l^2}{8} = \frac{1,45 \times 6,00^2}{8} = 6,52 kNm$$

Максимални момент око z-z осе:

$$M_z = \frac{g \times l^2}{8} = \frac{1,50 \times 6,00^2}{8} = 6,75 kNm$$

2.4.3 Димензионисање

Усваја се HOP 140x140x4 са следећим карактеристикама:

$I_y = I_z = 661,5$ cm^4 $W_y = W_z = 94,51$ cm^3

$$\pm_{\max} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} = \frac{6,52 \times 100}{94,51} + \frac{6,75 \times 100}{94,51} = 14,04 \frac{kN}{cm^2} < 16,0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

2.4.4 Контрола деформација

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{w \times l^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1,45 \times 10^{-2} \times 600^4}{21000 \times 661,5} = 1,76 cm$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{g \times l^4}{EI_z} = \frac{5}{384} \times \frac{1,50 \times 10^{-2} \times 600^4}{21000 \times 661,5} = 1,82 cm$$

$$\max f = \sqrt{f_y{}^2 + f_z{}^2} = \sqrt{1,76^2 + 1,82^2} = 2,53 cm < 3,00 cm = \frac{600}{200} = f_{dop}$$

2.5 Фасадни стуб у калкану (POS FS)

За анализу је меродаван највиши стуб, чији је врх у слемену. Системна висина стуба је 11,20 m.

2.5.1 Анализа оптерећења

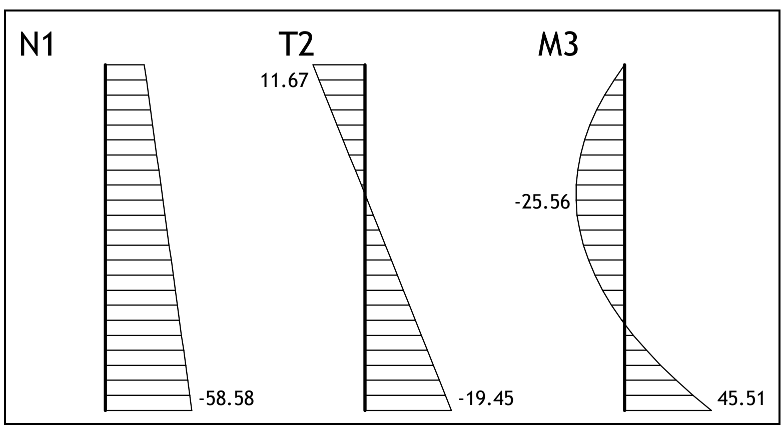
1. Стално оптерећење са фасаде $g = g_{fo}+g_{fr}+g_{fs}$ = (0,35+0,10+0,05)
   g = 0,50 kN/m^2
   са поклапаче $R_{pk} = 2 \times 13{,}20$
   R_{pk} = 26,40 kN
2. Ветар $w = q_{g,T,z} \times (0{,}9+0{,}2) = 0{,}44 \times 1{,}1$
   w = 0,484 kN/m^2

Припадајућа ширина за један стуб износи ª **= 5,50 m.**

g_{mer} = g ò ª = 0,50 ò 5,50 = 2,75 kN/m
w_{mer} = w ò ª = 0,484 x 5,50 = 2,66 kN/m

2.5.2 Пресечне силе

Статички систем фасадног стуба у калкану за дејство ветра је Г-штап, укљештен у темељ на коти -0,50 m. Поред темеља, стуб се у врху ослања на попречни кровни спрег (на коти +11,20). Дакле, системна висина Г-штапа износи 11,70 m. На следећој слици приказани су дијаграми пресечних сила у стубу:



Хоризонтална реакција услед оптерећења ветром која се преноси у темељ стуба:
R_A = 19,45 kN

Момент савијања услед оптерећења ветром која се преноси у темељ стуба:
M_A = 45,41 kNm

Хоризонтална реакција услед оптерећења ветром која се преноси у попречни кровни спрег:
R_B = 11,67 kN

Максимални момент савијања у стубу услед оптерећења ветром износи:
M_{max} = 45,41 kNm

Максимална апсолутна вредност нормалне силе у стубу услед вертикалног оптерећења:
N_{max} = 58,58 kN

2.5.3 Контрола напона

За димензионисање је меродаван **ПРВИ** случај оптерећења, јер се ветар посматра као доминантно оптерећење за овај елемент конструкције.

Усваја се вруће ваљани профил HEA200 са следећим карактеристикама:

$A = 53{,}8\ cm^2$	$I_y = 3690\ cm^4$	$W_y = 389\ cm^3$	$i_y = 8{,}28\ cm$
$h = 190\ mm$	$I_z = 1340\ cm^4$	$W_z = 134\ cm^3$	$i_z = 4{,}98\ cm$
$b = 200\ mm$	$I_t = 21{,}1\ cm^4$	$S_y = 215\ cm^3$	

$t_w = 6{,}5\ mm$ $t_f = 10\ mm$

$l_{iy} = 0{,}707 \times l = 0{,}707 \times 1170 = 827\ cm$
$l_{iz} = 470\ cm$ (отвор у калкану висине 4,20 m)

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{827}{8{,}28} = 99{,}88 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{99{,}88}{92{,}9} = 1{,}075$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{470}{4{,}98} = 94{,}38 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_z}{\lambda_v} = \frac{94{,}38}{92{,}9} = 1{,}016$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} + \frac{M_{max}}{W_y} = \frac{58{,}58}{53{,}8} + \frac{45{,}41 \times 100}{389} = 12{,}76\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma^{I}_{dop}$$

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \bar{} \times \sigma_{My} \leq \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: $l_z = 470\ cm$
Размак виљушкастих ослонаца: $l_T = 1170\ cm$

$\alpha_y = 0{,}339$ (крива извијања B)
$\alpha_z = 0{,}489$ (крива извијања C)

$\sigma_N = N_{max}/A = 58{,}58/53{,}8 = 1{,}089\ kN/cm^2$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_N}{\sigma_{dop}} = \frac{1{,}089}{16{,}0} = 0{,}0680$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0{,}2)}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0{,}339 \times (1{,}075 - 0{,}2)}{1 - 1{,}075^2 \times 0{,}068} = 1{,}322$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0{,}2)}{1 - \bar{\lambda}_z^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0{,}489 \times (1{,}016 - 0{,}2)}{1 - 1{,}016^2 \times 0{,}0680} = 1{,}429$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1{,}322; 1{,}429\} = 1{,}429$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је **$_y$ = 0,85**.

$$k_{my} = \frac{y}{1-\overline{\text{ª}}_y^{\,2} \times \text{±}} = \frac{0,85}{1-1,075^2 \times 0,0680} = 0,922 < 1 \Rightarrow k_{my} = 1$$

$$- = \frac{f_y}{\text{±}_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\text{~}_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 215}{389} = 1,105$$

$$\text{±}_{DV} = \text{¦}_T \frac{\text{®}}{l_T \times W_y}\sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1,12\frac{\text{®}}{1170 \times 389}\sqrt{8100 \times 21000 \times 1340 \times 21,1} = 16,95\frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 20 \times 1,00 = 20,0 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 53,8 - 2 \times 20 = 13,8 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w/6}} = \frac{20}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{20}{20+13,8/6}} = 5,47 cm$$

$$\text{ª}_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\text{¦}_z}} = \frac{470}{5,47\sqrt{1,12}} = 81,18$$

$$\text{±}_{DW} = \frac{\text{®}^2 \times E}{\text{ª}_{kz}^{\,2}} = \frac{\text{®}^2 \times 21000}{81.18^2} = 31,45\frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0,156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0,156 \times \left(\frac{470}{19}\right)^2 \times \frac{21,1}{1340} = 2,503$$

$$\text{°} = 0,46$$

$$\text{¤} = \frac{\sqrt{K^2 + \text{°}^2} - \text{°}}{\sqrt{K^2 + \text{°}^2}} = \frac{\sqrt{2,503^2 + 0,46^2} - 0,46}{\sqrt{2,503^2 + 0,46^2}} = 0,819$$

$$\text{±}_{cr} = \text{¤}\sqrt{\text{±}_{DV}^{\,2} + \text{±}_{DW}^{\,2}} = 0,819 \times \sqrt{16,95^2 + 31,45^2} = 29,26\frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\text{ª}}_D = \sqrt{\frac{\text{~}_P \times f_y}{\text{±}_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,105 \times 24}{29,26}} = 0,952$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + \overline{\text{ª}}_D^{\,2n}}\right)^{1/n} (n = 2)$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + 0,952^4}\right)^{1/2} = 0,741$$

$$\pm_D = \sim_p \times ¡_D \times f_y = 1{,}105 \times 0{,}741 \times 24{,}0 = 19{,}65 \frac{kN}{cm^2}$$

$$– = \frac{f_y}{\pm_D} = \frac{24}{19{,}65} = 1{,}221$$

Контрола услова из JUS U.E7.096:

$$1{,}429 \times 1{,}089 + 1{,}0 \times 1{,}221 \times \frac{45{,}41 \times 100}{389} = 15{,}81 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}$$

Контрола смичућих напона:

$$² = \frac{T_{max} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{19{,}45 \times 215}{3690 \times 0{,}65} = 1{,}74 \frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

2.4.4 Контрола деформација

$$f_y = \frac{2}{369} \times \frac{w \times l^4}{EI_y} = \frac{2}{369} \times \frac{2{,}66 \times 10^{-2} \times 1170^4}{21000 \times 3690} = 3{,}49cm < 5{,}85cm = \frac{1170}{200} = f_{dop}$$

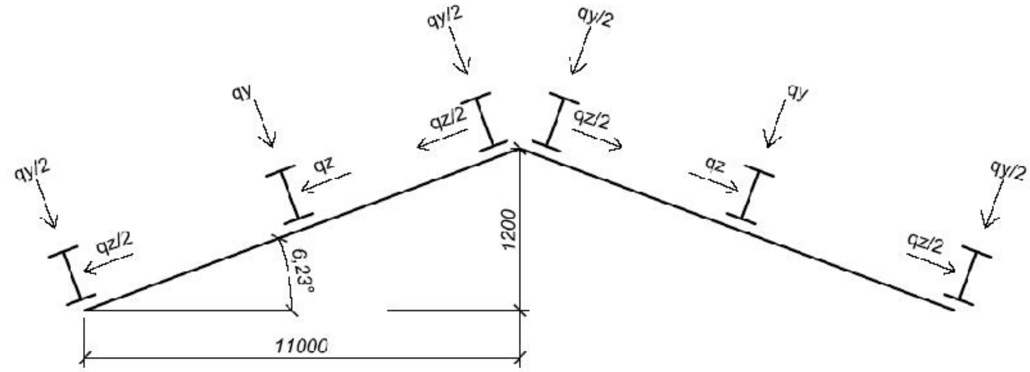
2.6 Угаони стубови у калкану (POS GS1, POS GS3)

Као што је раније речено, калканска конструкција формирана је од главних стубова који су идентични стубовима из главног попречног рама хале. Стубови су укљештени у темеље на коти -0,50 m. Ови стубови примају хоризонталне утицаје (ветар, сеизмика) у равни калканске конструкције. Како је утицајна површина за калканску конструкцију двоструко мања од утицајне површине за главни попречни рам хале, следи да су ови стубови у попречном правцу двоструко мање оптерећени хоризонталним утицајима него стубови у главном попречном раму хале. Са тим у складу, није потребно вршити поновни прорачун ових стубова, већ констатујемо да ће ови стубови бити у могућности да прихвате све утицаје у равни калкана.

Такође, овакво конструктивно решење искључује потребу за формирањем вертикалних спрегова у равни калкана.

2.7 Типска међурожњача и венчаница (POS R)

Типска међурожњача је континуални носач распона 9 x l = 9 x 6,0 = 54,0 m.



2.7.1 Анализа оптерећења

1. Стално оптерећење са крова $g = g_{kp}+g_{kr}+g_{ks} = (0,35+0,10+0,05)$
$g = 0,50\ kN/m^2$

2. Снег **$s = 1,00\ kN/m^2$**

3. Ветар – максимално притискујуће дејство

$q_{g,T,z} \times (C_{pe,min}-C_{pi,max}) = 0,44 \times (-0,5+0,2) = -0,13\ kN/m^2$

- Ветар није меродаван, јер не додаје верикално оптерећење на рожњаче и венчанице, већ увек делује повољно!

Припадајућа ширина за рожњачу износи ª **= 2,75 m.** Припадајућа ширина за венчаницу износи ª **= 1,375 m.** Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења**.** Прво ћемо извршити димензионисање **типске међурожњаче**.

g_{mer} = (g+s) ò ª = (0,50+1,00) ò 2,75 = 4,12 kN/m

2.7.2 Оптерећење међурожњаче

а) Управно на кровну раван:

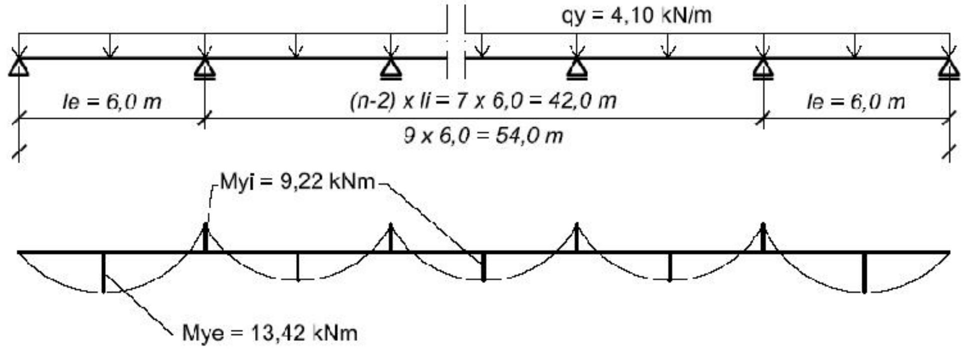
$$q_y = q_{mer} \times \cos\sim = 4{,}12 \times 0{,}9941 = 4{,}10 \frac{kN}{m}$$

б) У равни крова:

$$q_z = q_{mer} \times \sin\sim = 4{,}12 \times 0{,}1084 = 0{,}45 \frac{kN}{m}$$

2.7.3 Пресечне силе

На основу прорачуна по теорији пластичности, који се може применити за прорачун рожњача, дијаграм момената M_y изгледа као на следећој слици:



а) Моменти у крајњим пољима:

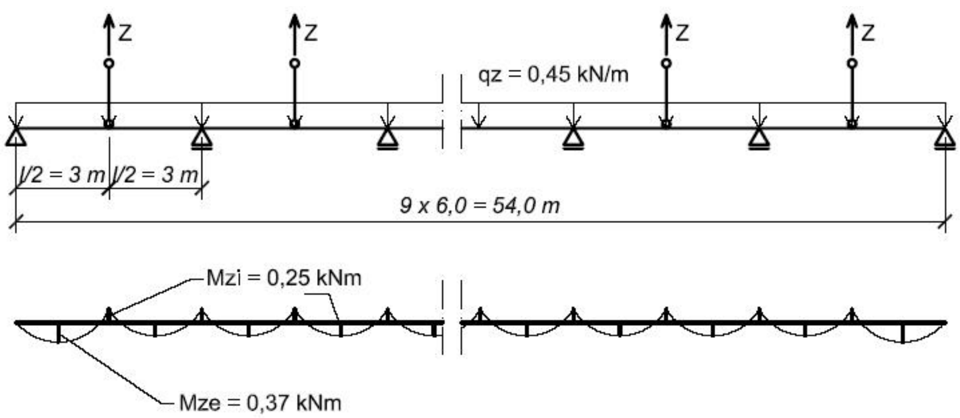
$$M_{y,e} = \frac{q_y \times l^2}{11} = \frac{4{,}10 \times 6{,}0^2}{11} = 13{,}42 kNm$$

б) Моменти у средњим пољима:

$$M_{y,i} = \pm \frac{q_y \times l^2}{16} = \pm \frac{4{,}10 \times 6{,}0^2}{16} = \pm 9{,}22 kNm$$

У циљу осигуравања пројектованог геометријског облика рожњача, као и у циљу спречавања бочно торзионог извијања рожњаче у фази монтаже, предвиђено је уграђивање затега на срединама распона рожњаче (слика доле), тј. на:

$$\frac{l}{2} = \frac{6{,}0}{2} = 3{,}0m$$



а) Моменти у крајњим пољима:

$$M_{z,e} = \frac{q_z \times l^2}{44} = \frac{0{,}45 \times 6{,}0^2}{44} = 0{,}37 kNm$$

б) Моменти у средњим пољима:

$$M_{z,i} = \pm \frac{q_z \times l^2}{64} = \pm \frac{0{,}45 \times 6{,}0^2}{64} = \pm 0{,}25 kNm$$

2.7.4 Контрола напона

Усваја се вруће ваљани профил IPE180 са следећим карактеристикама:

$A = 23{,}9\ cm^2$	$I_y = 1320\ cm^4$	$W_y = 146\ cm^3$	$i_y = 7{,}42\ cm$
$h = 180\ mm$	$I_z = 101\ cm^4$	$W_z = 22{,}2\ cm^3$	$i_z = 2{,}05\ cm$
$b = 91\ mm$	$I_t = 4{,}80\ cm^4$	$S_y = 83{,}2\ cm^3$	

$t_f = 8{,}0\ mm$

$$\pm_{max} = \frac{M_{y,e}}{W_y} + \frac{M_{z,e}}{W_z} = \frac{13{,}42 \times 100}{146} + \frac{0{,}37 \times 100}{22{,}2} = 10{,}86\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}$$

2.7.5 Контрола деформација

а) Угиб у средњем пољу

K=1,33 $l_y = 600$ cm $l_z = 300$ cm

$$f_y = K \times \frac{q_y \times l_y^{\ 4}}{I_y} = 1{,}33 \times \frac{4{,}10 \times 6{,}0^4}{1320} = 5{,}35mm$$

$$f_z = K \times \frac{q_z \times l_z^{\ 4}}{I_z} = 1{,}33 \times \frac{0{,}45 \times 3{,}0^4}{101} = 0{,}48mm$$

$$f = \sqrt{f_y^{\ 2} + f_z^{\ 2}} = \sqrt{5{,}35^2 + 0{,}48^2} = 5{,}37mm < 30mm = \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = f_{dop}$$

а) Угиб у крајњем пољу

K=3,04 $l_y = 600$ cm $l_z = 300$ cm

$$f_y = K \times \frac{q_y \times l_y^{\ 4}}{I_y} = 3{,}04 \times \frac{4{,}10 \times 6{,}0^4}{1320} = 12{,}24mm$$

$$f_z = K \times \frac{q_z \times l_y^{\ 4}}{I_z} = 3{,}04 \times \frac{0{,}45 \times 3{,}0^4}{101} = 1{,}10mm$$

$$f = \sqrt{f_y^{\ 2} + f_z^{\ 2}} = \sqrt{12{,}24^2 + 1{,}10^2} = 12{,}29mm < 30mm = \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = f_{dop}$$

2.7.6 Контрола стабилности рожњаче на бочно торзионо извијање:

$l_{iy} = 600$ cm	$l_z = 300$ cm
$l_{iz} = 300$ cm	$l_T = 600$ cm

$$a_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{600}{7{,}42} = 80{,}86 \rightarrow \overline{a}_y = \frac{80{,}86}{92{,}9} = 0{,}870$$

$$a_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{300}{2{,}05} = 146{,}34 \rightarrow \overline{a}_z = \frac{146{,}34}{92{,}9} = 1{,}575$$

$$A_f = b_f \times t_f = 9{,}1 \times 0{,}8 = 7{,}28 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 23{,}9 - 2 \times 7{,}28 = 9{,}34 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w/6}} = \frac{9{,}1}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{7{,}28}{7{,}28 + 9{,}34/6}} = 2{,}38 cm$$

$$\lambda_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\eta_z}} = \frac{300}{2{,}38\sqrt{1{,}12}} = 118{,}89$$

$$\sigma_{DV} = \eta_T \frac{\pi}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1{,}12 \frac{\pi}{600 \times 146} \sqrt{8100 \times 21000 \times 101 \times 4{,}80} = 11{,}53 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{DW} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda_{kz}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{118{,}89^2} = 14{,}66 \frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{300}{18}\right)^2 \times \frac{4{,}8}{101} = 3{,}060$$

$$\xi = 0{,}46$$

$$\theta = \frac{\sqrt{K^2 + \xi^2} - \xi}{\sqrt{K^2 + \xi^2}} = \frac{\sqrt{3{,}060^2 + 0{,}46^2} - 0{,}46}{\sqrt{3{,}060^2 + 0{,}46^2}} = 0{,}851$$

$$\sigma_{cr} = \theta \sqrt{\sigma_{DV}^2 + \sigma_{DW}^2} = 0{,}851 \times \sqrt{11{,}53^2 + 14{,}66^2} = 15{,}87 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\alpha_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 83{,}2}{146} = 1{,}140$$

$$\overline{\lambda}_D = \sqrt{\frac{\alpha_P \times f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}140 \times 24}{15{,}87}} = 1{,}313$$

$$\chi_D = \left(\frac{1}{1 + \overline{\lambda}_D^{2n}}\right)^{1/n} \quad (n = 2)$$

$$\chi_D = \left(\frac{1}{1 + 1{,}313^4}\right)^{1/2} = 0{,}502$$

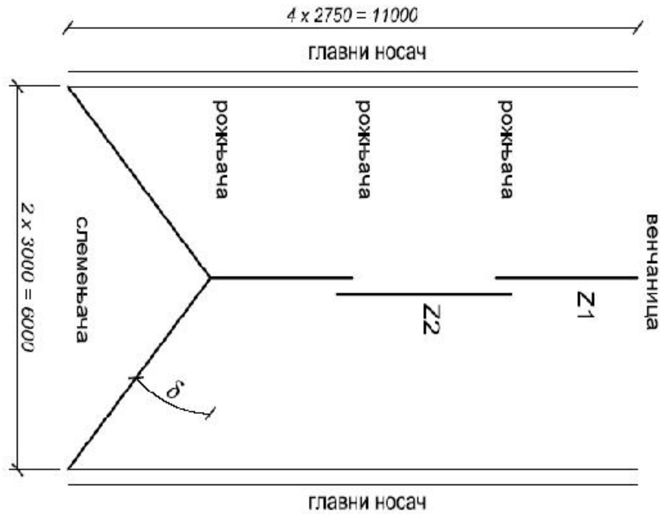
$$\sigma_D = \alpha_p \times \chi_D \times f_y = 1{,}140 \times 0{,}502 \times 24{,}0 = 13{,}73 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{y,e}}{W_y} + \frac{M_{z,e}}{W_z} = \frac{13{,}42 \times 100}{146} + \frac{0{,}37 \times 100}{22{,}2} = 10{,}86 \frac{kN}{cm^2} < 13{,}73 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_D$$

$$\nu = \frac{f_y}{\sigma_D} = \frac{24{,}0}{13{,}73} = 1{,}748$$

2.7.7 Димензионисање затега

Распоред затега приказан је на следећој слици:



$$tg\alpha = \frac{a}{\frac{l}{2}} = \frac{275}{300} = 0{,}917 \Rightarrow \sin\alpha = 0{,}6757$$

$Z_1 = 1{,}25 \times q_z \times l/2 = 1{,}25 \times 0{,}45 \times 3{,}0$

$Z_1 = 1{,}69 kN$

$$Z_n = \frac{Z_1}{2} \times \frac{1}{\sin\alpha} = \frac{1{,}69}{2 \times 0{,}6757} = 1{,}25 kN$$

$$Z_1 \le A_s \times \sigma_{z,dop}$$

A_s = испитни пресек затеге $\rightarrow$ $A_s \approx (0{,}89)^2 \times \pi/4$

$\sigma_{z,dop} = 11\ kN/cm^2$

$$(0{,}89)^2 \frac{\pi}{4} \ge \frac{Z_1}{\sigma_{z,dop}} = 0{,}1536 cm^2$$

$$d \ge \frac{1}{0{,}89}\sqrt{\frac{4}{\pi} \times 0{,}1536} \Rightarrow d \ge 0{,}50 cm$$

Усвајају се затеге Ø10 mm у средини распона l = 6,0 m.

2.7.8 Монтажни наставак рожњаче

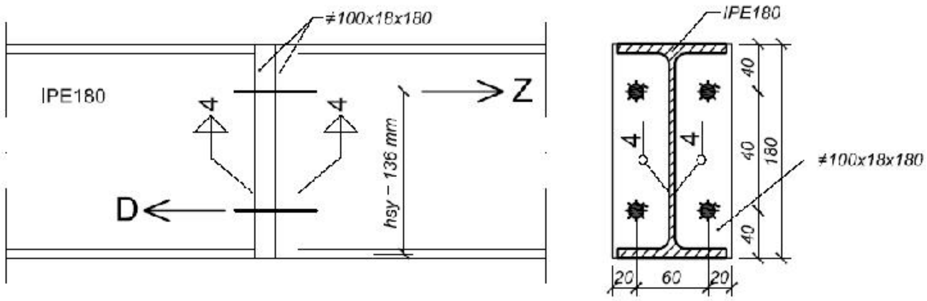
Настављање рожњача се врши у близини сваког ослонца, тј. везача. Удаљење наставка од ослонца је обично **0,15 – 0,20 l**.

Наставак се димензионише према следећим моментима:

$$M_{y,nast} = \frac{q_y \times l_i^2}{32} = \frac{4{,}10 \times 6{,}0^2}{32} = 4{,}61 kNm$$

$$M_{z,nast} = \frac{q_z \times l_i^2}{128} = \frac{0{,}45 \times 6{,}0^2}{128} = 0{,}13 kNm \rightarrow \textit{занемарити}$$

Наставак ће бити извршен чеоним плочама и преднапрегнутим завртњевима **M12òl**, класе чврстоће **10.9** са **Fp** ¼ **0**. За тзв. кратку чеону плочу као на слици, са краком сила $\mathbf{h_{sy}}$ **= 136mm** - удаљење од осе затегнутих вијака који преносе силу затезања Z до нападне линије силе притиска D у средини ножице рожњаче **IPE180**, величине сила су:



$$h_{sy} = 180{,}0 – 40{,}0 - 8{,}0/2 = 140{,}0 – 4{,}0 = 136 \text{ mm}$$

$$Z_{(M_y)} = -D = \frac{M_{y,nast}}{h_{s,y}} = \frac{4{,}61}{0{,}136} = 33{,}90kN$$

Дебљина чеоне плоче: $t \sim 1{,}5\ d = 1{,}5 \times 1{,}2 = 18$ mm

За усвојена **4M12òl ... 10.9** са **Fp ¼ 0** (без припреме површине) на један затегнут вијак M12 отпада:

$$Z_1 = \frac{Z}{2} = \frac{33{,}90}{2} = 16{,}95kN < 30{,}2kN = 0{,}84 \times 36 = A_s \times \pm_{t,dop} = F_t$$

2.7.9 Контрола рожњаче на одизање ветром

а) Минимално стабилизирајуће дејство на рожњачу

min q↓ = $g_{kp} + g_{kr}$ = 0,35 + 0,10 = 0,45 kN/m^2

б) Максимално дестабилизирајуће дејство на рожњачу

max w↑ = $q_{g,T,z} \times (C_{pe,min} – C_{pi,max})$ = 0,44 × (0,6 + 0,2) = 0,35 kN/m^2

Не постоји опасност од одизања рожњаче!

2.7 Решеткаста рожњача у средњој подужној равни хале (POS R1)

Прихватање хоризонталних реакција попречног кровног спрега и њихово преношење до вертикалног спрега за ветар и кочење у средњој подужној равни хале потребно је извршити помоћу посебно конструисане рожњаче у средњој подужној равни хале. Како раније срачуната типска међурожњача није у стању да прихвати значајну средњу реакцију попречног кровног спрега, одлучено је да се ова рожњача конструише у виду решеткастог носача.

Системна висина решеткасте рожњаче одговара растојању од врха стуба У СРЕДИНИ до доњег појаса решеткастог носача (**h = 1,0 m**). Статички систем је проста греда, чији распон одговара размаку главних попречних рамова, тј. **l = 6,0 m**.

2.7.1 Анализа оптерећења

1. Стално оптерећење са крова $g = g_{kp}+g_{kr}+g_{ks}$ = (0,35+0,10+0,05)
g = 0,50 kN/m^2

2. Снег **s = 1,00 kN/m^2**

3. Ветар – максимално притискујуће дејство

$q_{g,T,z} \times (C_{pe,min}-C_{pi,max}) = 0,44 \times (-0,5+0,2) = -0,13$ kN/m^2

- Ветар није меродаван, јер не додаје верикално оптерећење на рожњаче и венчанице, већ увек делује повољно!

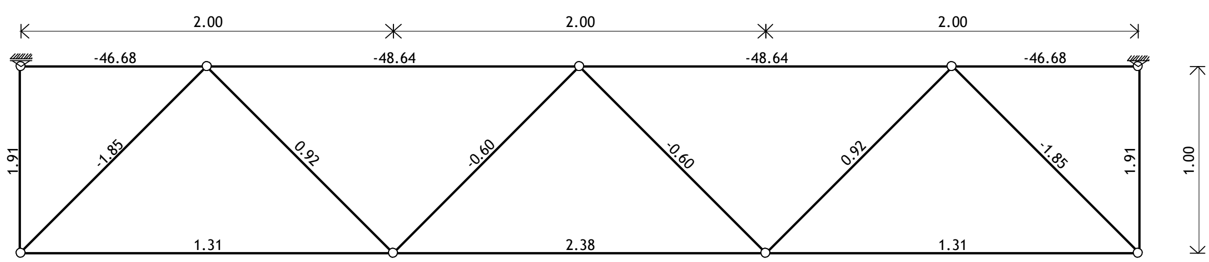
4. Реакција попречног кровног спрега **R = 2 ò 23,34 = 46,68 kN**

Припадајућа ширина за рожњачу износи ª **= 2,75 m.** Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења**.**

g_{mer} = (g+s) ò ª = (0,50+1,00) ò 2,75 = 4,12 kN/m

2.7.3 Пресечне силе

Дијаграм нормалних сила у решеткастој рожњачи:



Горњи појас овог носача чине два профила **IPE180** (раније усвојено за типске међурожњаче POS R) који су међусобно спојени одговарајућим кутијастим профилом. Штапови испуне и доњег појаса се такође предвиђају од кутијастих профила. Како са дијаграма видимо да су величине пресечних сила у доњем појасу и у штаповима испуне веома мале, то ће се величине ових штапова усвојити из услова максималне дозвољене виткости за конструктивне елементе (λ_{max} = 250).

Штапове горњег појаса је потребно димензионисати као ексцентрично притиснуте елементе, обзиром да се у њима јављају моменти савијања (приказани при анализи пресечних сила у типским међурожњачама) од вертикалног оптерећења са крова, као и аксијална сила од реакције попречног кровног спрега.

Детаљно димензионисање елемената решеткасте рожњаче није предмет овог Пројекта.

3. Димензионисање главног попречног рама хале

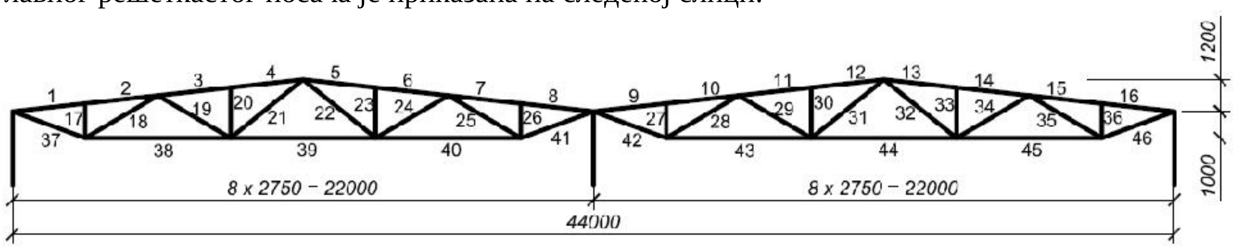
3.1 Решеткасти носач

3.1.1 Анализа оптерећења

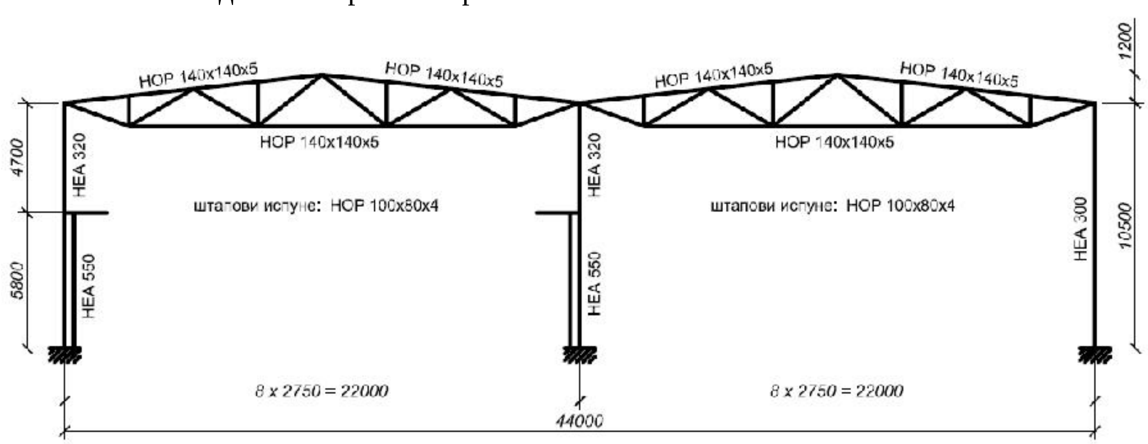
Детаљна анализа оптерећења за главни попречни рам хале дата је у фази усвајања економичнијег варијантног решења. Сада ћемо искористити раније дату анализу.

3.1.2 Статички утицаји

Главни решеткасти носач хале састоји се од две решетке од кутијастих хладно обликованих профила, које се зглобно ослањају на конзолне главне стубове. Диспозиција главног решеткастог носача је приказана на следећој слици:

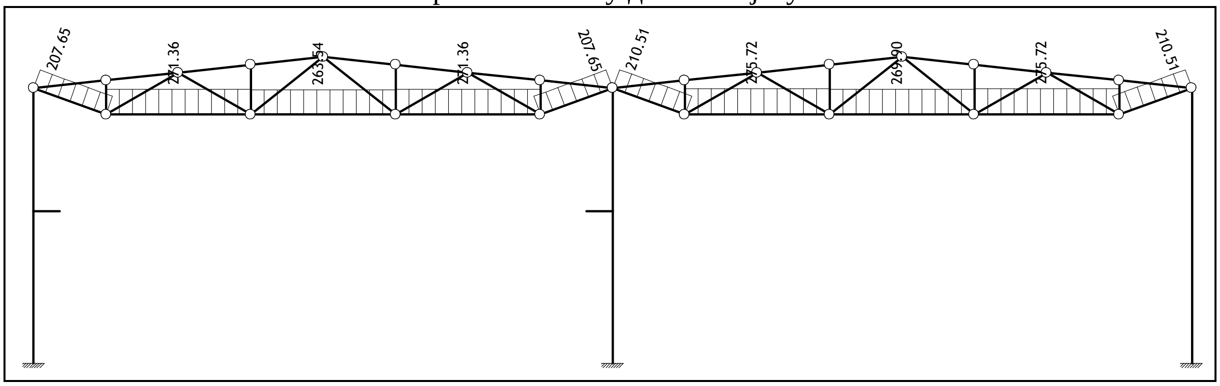


Прорачун статичких утицаја је извршен у програмском пакету TOWER 6. При прорачуну су искоришћени резултати анализе оптерећења дате у првом делу овог Пројекта. Приликом моделирања решеткастог носача су све везе у чворовима претпостављене као зглобне. Ово је урађено из разлога што је уобичајено да се утицај секундарних момената у штаповима занемарује при димензионисању. Такође, моделирање и прорачун је извршен уз претпостављање следећих попречних пресека штапова:

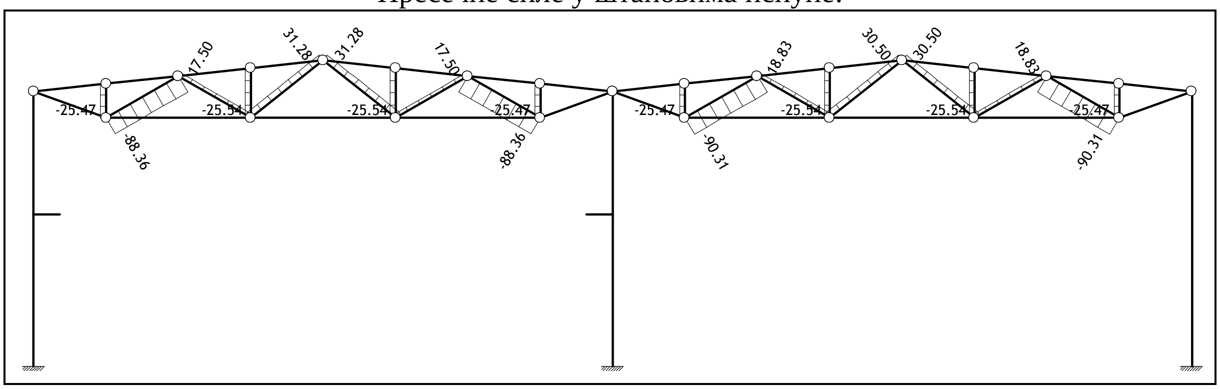


На следећим сликама приказане су анвелопе дијаграма пресечних сила у штаповима главног решеткастог носача. Са дијаграма се може закључити да је горњи појас решетке увек притиснут, док је доњи појас увек затегнут, што су битни параметри за димензионисање штапова. Треба напоменути да ће се горњи и доњи појас изводити као штапови константног попречног пресека, а у случају штапова испуне ће бити извршена оптимизација попречног пресека, у складу са величином пресечних сила.

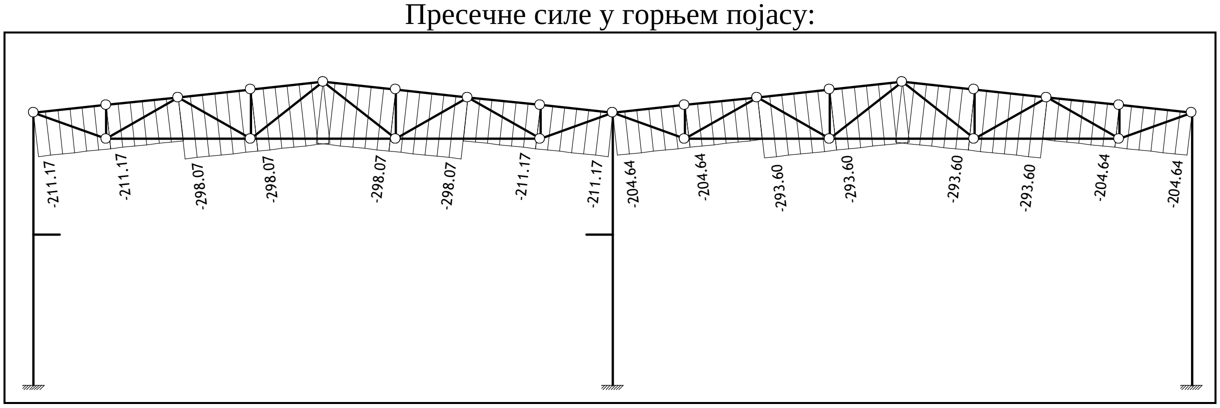
Пресечне силе у доњем појасу:



Пресечне силе у штаповима испуне:



Пресечне силе у горњем појасу:



3.1.3 Димензионисање горњег појаса

Максимална нормална сила је у штаповима 3, 4, 5, 6

N_{min} = 298,07 kN (Стално + Снег + Дизалица Лево) **– ПРВИ** случај оптерећења

Дужине извијања: $l_{iy} = l_{iz} = 276$ cm

Усваја се НОР 140x140x5 са следећим карактеристикама:

$i_y = i_z = 5{,}50$ cm $A = 26{,}67\ cm^2$

$$\lambda = \frac{l_i}{i} = \frac{276}{5,50} = 50,2 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_v} = \frac{50,2}{92,9} = 0,540$$

α = 0,489 (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489(0,54 - 0,2) + 0,54^2 = 1,458$$

$$\kappa = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{1,458 + \sqrt{1,458^2 - 4 \times 0,54^2}} = 0,821$$

$$\sigma_{i,dop} = \kappa \times \sigma_{dop} = 0,821 \times 16 = 13,13 \frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона:

$$\sigma = \frac{N_{\min}}{A} = \frac{298,07}{26,67} = 11,18 \frac{kN}{cm^2} < 13,13 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

3.1.4 Димензионисање доњег појаса

Максимална сила затезања је у штаповима 43, 45

N_{max} = 275,72 kN (Стално + Снег) **– ПРВИ** случај оптерећења

С обзиром да доњи појас не може бити притиснут ни у једној комбинацији оптерећења, потребно је извршити контролу напона, као и контролу виткости штапа доњег појаса која не сме бити већа од 300. Ради смањења дужине извијања доњег појаса управно на раван решетке предвиђа се постављање косника у средини сваке решетке, чиме ће се доњи појас везати за слеме главног везача.

Дужине извијања: у равни решетке: $l_{iy,max}$ = 550 cm
Управно на раван решетке: l_{iz} = 1100 cm

Усваја се HOP 120x120x4 са следећим карактеристикама:

$i_y = i_z$ = 4,72 cm A = 18,35 cm^2

$$\lambda_{\max} = \frac{l_{iz}}{i} = \frac{1100}{4,72} = 233,1 < 300$$

Контрола напона:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} = \frac{275,72}{18,35} = 15,03 \frac{kN}{cm^2} < 16,0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

3.1.5 Димензионисање штапова испуне

1) Штапови 37, 41, 42, 46

Штапови су затегнути, $\mathbf{N_{max} = 210,51\ kN}$ (Стално + Снег + Дизалица Десно)
Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.
Дужине извијања: $l_{iy} = l_{iz} = 293$ cm

Усваја се HOP 100x80x4 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = i_y = 3,17$ cm $\qquad$ $A = 13,35\ cm^2$

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{293}{3,17} = 92,4 < 300$$

Контрола напона:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{210,51}{13,35} = 15,77\frac{kN}{cm^2} < 16,0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

2) Штапови 18, 25, 28, 35

Штапови су притиснути, $\mathbf{N_{min} = 90,31\ kN}$ (Стално + Снег)
Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.
Дужине извијања: $l_{iy} = l_{iz} = 318$ cm

Усваја се HOP 100x80x4 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = i_y = 3,17$ cm $\qquad$ $A = 13,35\ cm^2$

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{318}{3,17} = 100,32 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{100,32}{92,9} = 1,080$$

$\alpha = 0,489$ (крива извијања C)

$$= 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489(1,080 - 0,2) + 1,080^2 = 2,597$$

$$\chi = \frac{2}{\ + \sqrt{\ ^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{2,597 + \sqrt{2,597^2 - 4 \times 1,080^2}} = 0,495$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \times \sigma_{dop} = 0,495 \times 16 = 7,92\frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{90,31}{13,35} = 6,76\frac{kN}{cm^2} < 7,92\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

3) Штапови 17, 20, 23, 26, 27, 30, 33, 36 (вертикале)

Штапови су притиснути, $\mathbf{N_{min} = 25,54\ kN}$ (Стално + Снег)
Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.
Максималне дужине извијања: $l_{iy,max} = l_{iz,max} = 190$ cm

Усваја се НОР 80x60x3 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = i_y = 2{,}37$ cm $\qquad$ $A = 7{,}81$ cm^2

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{190}{2{,}37} = 80{,}17 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{80{,}17}{92{,}9} = 0{,}863$$

$\alpha = 0{,}489$ (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0{,}489(0{,}863 - 0{,}2) + 0{,}863^2 = 2{,}069$$

$$\chi = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{2{,}069 + \sqrt{2{,}069^2 - 4 \times 0{,}863^2}} = 0{,}623$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \times \sigma_{dop} = 0{,}623 \times 16 = 9{,}97 \frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{25{,}54}{7{,}81} = 3{,}27 \frac{kN}{cm^2} < 9{,}97 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

4) Штапови 19, 21, 22, 24, 29, 31, 32, 34

Штапови су затегнути, **N_{max} = 31,28 kN** (Стално + Снег)
Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.
Максималне дужине извијања: $l_{iy} = l_{iz} = 352$ cm

Усваја се НОР 80x60x3 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = i_y = 2{,}37$ cm $\qquad$ $A = 7{,}81$ cm^2

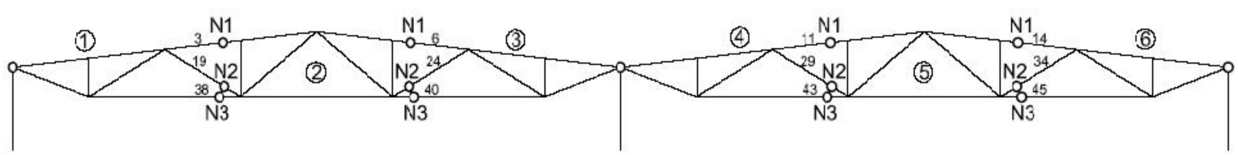
$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{352}{2{,}37} = 148{,}5 < 300$$

Контрола напона:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{31{,}28}{7{,}81} = 4{,}01 \frac{kN}{cm^2} < 16{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

3.1.6 Димензионисање монтажних наставака штапова

Због великог габарита решеткастог носача, који превазилази капацитет стандардних транспортних средстава, предвиђено је да се решеткаста конструкција изради из 6 монтажних комада. Наставци се изводе са чеоним плочама које се спајају помоћу високовредних завртњева класе чврстоће **10.9** без контролисане силе притезања (**F_p = 0**). Положај монтажних наставака је приказан на следећој слици (бројеви означавају бројеве штапова):



1) Монтажни наставак горњег појаса (N1) – штапови 3, 6, 11 и 14

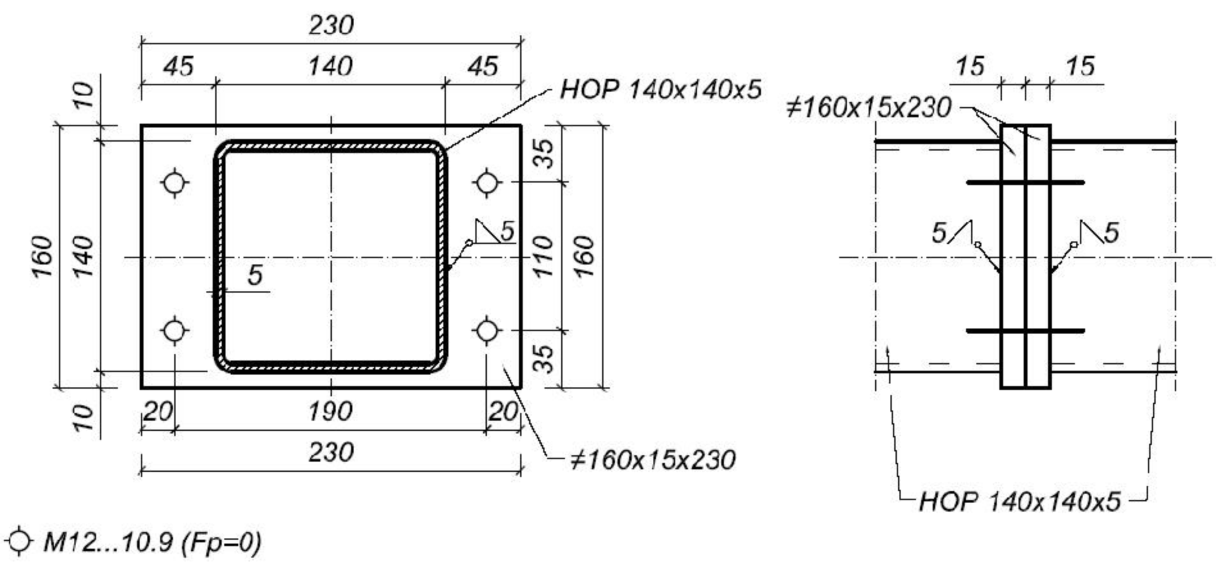
Горњи појас увек је оптерећен силама притиска. Максимална сила притиска у горњем појасу износи:

N_{min} = 298,07 kN (Стално + Снег + Дизалица Лево).

Дакле, за димензионисање је меродаван **ПРВИ** случај оптерећења.

Усваја се чеона плоча дебљине **d_{pl} = 15 mm** и завртњеви **4M12...10.9 (F_p¼0)**, који су конструктивног карактера. Притискујућа сила N_{min} се преноси прего належних површина чеоних плоча ÷ **160ò15ò230.**

Решење монтажног наставка дато је на следећој слици:



Шав за везу горњег појаса и чеоне плоче:

Усваја се угаони шав заварен у круг по читавом обиму пресека, дебљине 5mm, чија је носивост:

$$F_w = a_w \times l_w \times \sigma_{w,dop} = 0,5 \times (4 \times 14,0) \times 12,0 = 336,0 \text{ kN} > 298,07 \text{ kN} = N_{min}$$

2) Монтажни наставак дијагонале (N2) – штапови 21 и 32

Наведене дијагонале су увек затегнуте. Максимална сила затезања у овим штаповима износи:

N_{max} = 18,83 kN (Стално + Снег)

Дакле, за димензионисање је меродаван **ПРВИ** случај оптерећења.

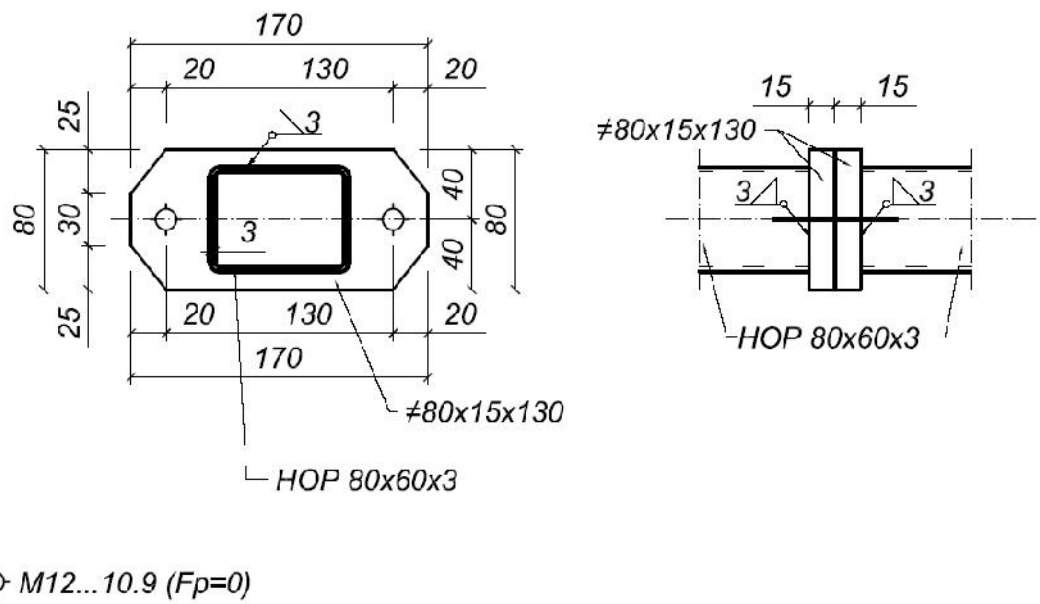
Усвајају се високовредни завртњеви **M12...10.9 (F_p¼0)** чија носивост на затезање (за први случај оптерећења) сходно тачки 7.2.2 стандарда JUS U.E7.140 износи:

$F_{t,dop} = \sigma_{t,dop} \times A_s = 36{,}0 \times 0{,}843 = 30{,}35$ kN

Потребан број ових завртњева је:

$$n = \frac{N_{max}}{F_{t,dop}} = \frac{18{,}83}{30{,}35} = 0{,}62$$

Усваја се **2M12...10.9 (F_p¼0)**. Усваја се чеона плоча дебљине **d_{pl}=1,5d = 1,5ò12,0 = 18mm**. Решење монтажног наставка је дато на следећој слици:



Шав за везу дијагонале и чеоне плоче:

Усваја се угаони шав заварен у круг по читавом обиму пресека, дебљине 3mm, чија је носивост на затезање:

$F_w = a_w \times l_w \times \sigma_{w,dop} = 0{,}3 \times 2 \times (8{,}0 + 6{,}0) \times 12{,}0 = 100{,}8 \text{ kN} > 18{,}83 \text{ kN} = N_{max}$

Прорачун чеоне плоче:

$$\max \pm_{pl} = \frac{0{,}5 \times N_{max} \times e}{W} = \frac{0{,}5 \times 18{,}83 \times 2{,}5 \times 6}{8{,}0 \times 1{,}5^2} = 7{,}85 \frac{kN}{cm^2} < 16{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

3) Монтажни наставак доњег појаса (N3) – штапови 38, 40, 43 и 45

Доњи појас решеткастог носача је увек затегнут. Максимална сила затезања износи:

N_{max} = 275,72 kN (Стално + Снег)

Дакле, за димензионисање је меродаван **ПРВИ** случај оптерећења.

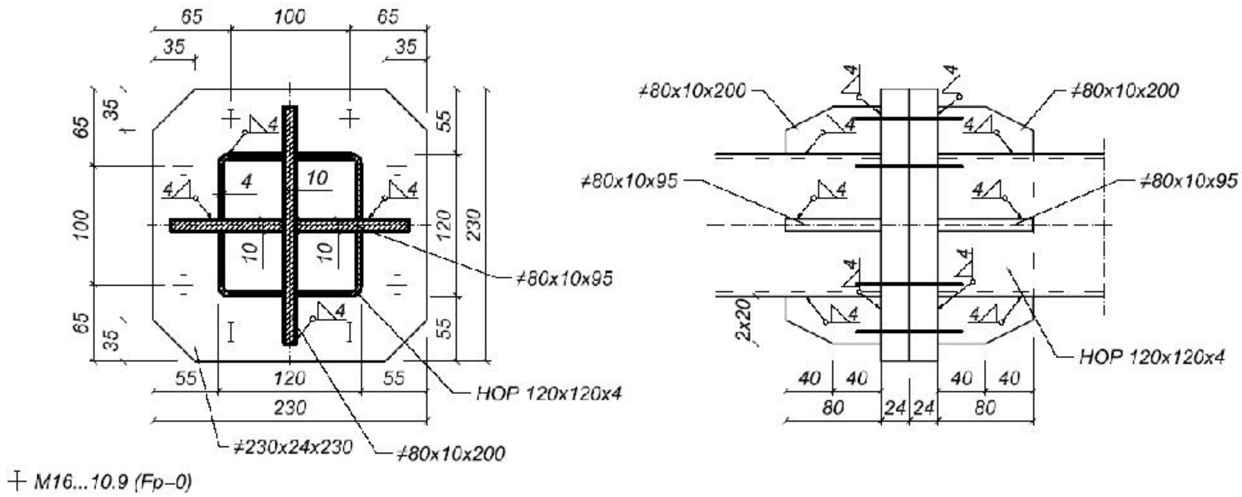
Усвајају се високовредни завртњеви **M16...10.9 (F_p¼0)** чија носивост на затезање (за први случај оптерећења) сходно тачки 7.2.2 стандарда JUS U.E7.140 износи:

$F_{t,dop} = \sigma_{t,dop} \times A_s = 36{,}0 \times 1{,}57 = 56{,}52$ kN

Потребан број ових завртњева је:

$$n = \frac{N_{\max}}{F_{t,dop}} = \frac{275{,}72}{56{,}52} = 4{,}87$$

Усваја се **8M16...10.9 (F_p¼0)**. Усваја се чеона плоча дебљине **d_{pl}=1,5d = 1,5ò16,0 = 24mm**. Решење монтажног наставка је дато на следећој слици:



<u>Шав за везу доњег појаса за чеону плочу</u>

Угаони шав по читавом обиму пресека HOP120x120x4 није у стању да прихвати целокупну силу затезања из појасног штапа, јер је носивост споја са угаоним шавом (a_w = 4mm):

$F_w = a_w \times l_w \times \sigma_{w,dop} = 0{,}4 \times (4\times12{,}0 - 4\times1{,}0) \times 12{,}0 = 211{,}2$ kN < 275,72 kN = N_{max}

Остатак од износа вредности силе **aN = 275,72 - 211,2 = 64,52 kN** преноси се преко пљоснатих челика који формирају крст и заварени су за појасни штап и за чеону плочу угаоним шавовима (дебљине 4mm).

<u>Контрола напона у укрућењима и у шавовима за везу са чеоном плочом:</u>

<u>Пресек на месту споја укрућења и чеоне плоче:</u>

$A_{ukr} = 3{,}5 \times 1{,}0 = 3{,}5\ cm^2$

$N_{ukr} = \Delta N/4 = 64{,}52/4 = 16{,}13$ kN

$$\max \pm_{ukr} = \frac{N_{ukr}}{A_{ukr}} = \frac{16{,}13}{3{,}5} = 4{,}61\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$$\max \pm_{w} = n = \frac{N_{ukr}}{A_w} = \frac{16{,}13}{2\times0{,}4\times3{,}5} = 5{,}76\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}$$

<u>Пресек на месту споја укрућења и појасног штапа:</u>

$A_{ukr} = 7{,}5 \times 1{,}0 = 7{,}5\ cm^2$

$$W_{ukr} = \frac{7{,}5^2 \times 1{,}0}{6} = 9{,}38cm^3$$

$M_{ukr} = \Delta N \times e = 16{,}13 \times 3{,}5 = 56{,}46$ kNcm
$T_{ukr} = 16{,}13$ kN

$$\pm_{ukr} = \frac{56{,}46}{9{,}38} = 6{,}02\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$$^{2}{}_{ukr} = \frac{16{,}13}{7{,}5} = 2{,}15\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_{u,ukr} = \sqrt{6{,}02^2 + 2{,}15^2} = 6{,}39\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$A_w = 2 \times 0{,}4 \times 7{,}5 = 6{,}0\ cm^2$

$$W_w = \frac{2 \times 0{,}4 \times 7{,}5^2}{6} = 7{,}50cm^3$$

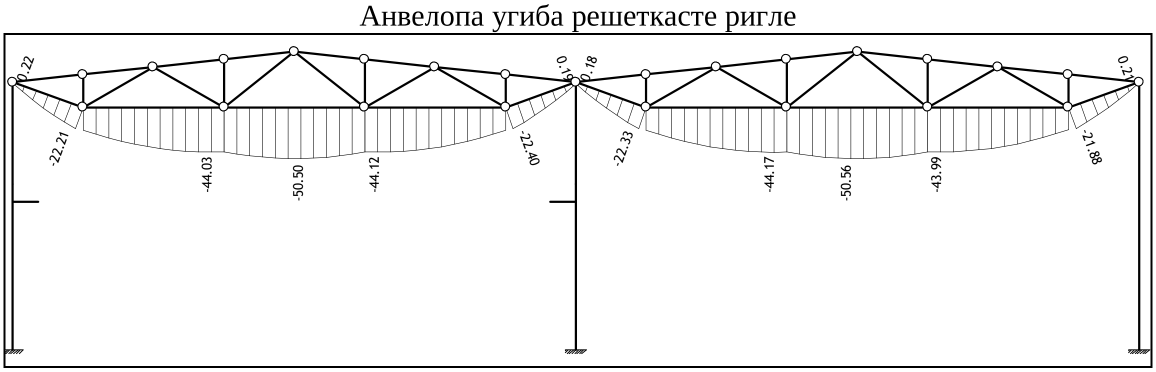
$$n = \frac{56{,}46}{7{,}50} = 7{,}53\frac{kN}{cm^2}$$

$$V_{II} = \frac{16{,}13}{6{,}0} = 2{,}69\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_{u,w} = \sqrt{7{,}53^2 + 2{,}69^2} = 8{,}00\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}$$

3.1.7 Деформација решеткасте ригле

Анвелопа угиба решеткасте ригле



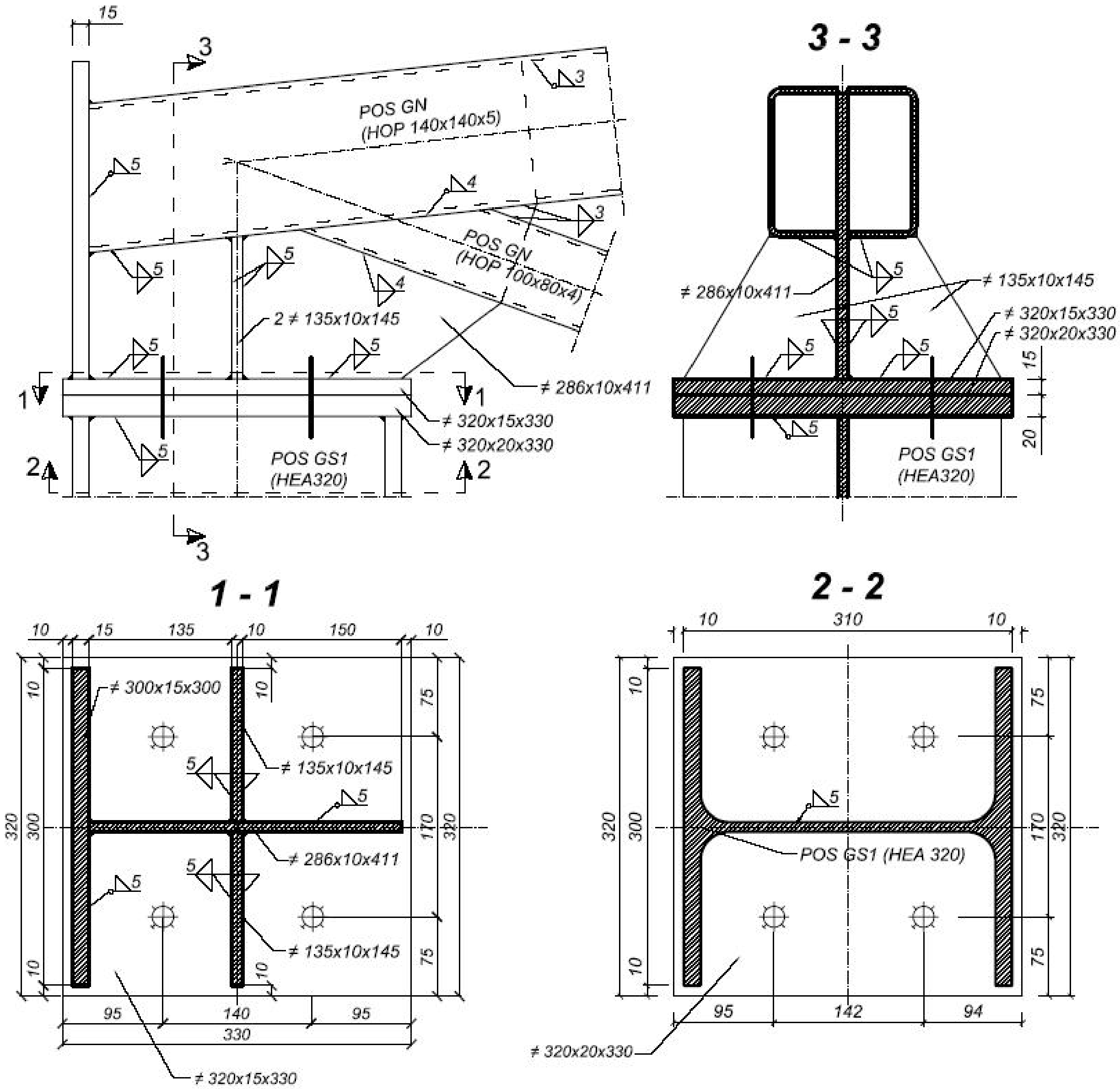
Максимални угиб јавља се у средини решетке и износи:

$f_{max} = 50{,}56$ mm < 73,33 mm = L/300 = 22000/300 = f_{dop}

Компензација угиба решеткасте ригле може се извршити компензација угиба (обично од сталног оптерећења и половине снега). Надвишење се остварује кориговањем геометрије решеткастог система, приближно по квадратној параболи.

3.1.8 Веза ригле и стуба лево

Детаљ везе решеткасте ригле за стуб ЛЕВО приказан је на следећој слици:



1) Статички утицаји

Веза ригле и стуба треба да пренесе следеће статичке утицаје:

- Вертикална реакција ригле: R_v = 103,80 kN (Стално + Снег)
- Хоризонтална реакција ригле R_h = 31,40 kN

При овом прорачуну занемарује се чињеница да R_v и R_h **не потичу** од исте комбинације оптерећења. То је на страни сигурности. Димензионисање ћемо извршити за **ПРВИ** случај оптерећења.

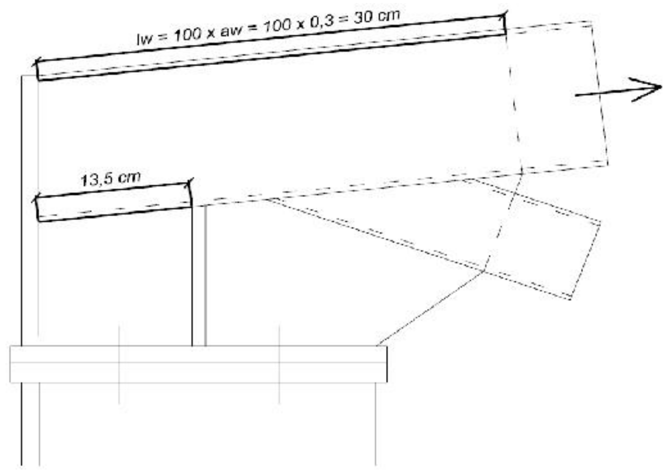
2) Веза решеткасте ригле за вертикални лим чвора

Веза решеткасте ригле за вертикални лим чвора ће се извршити угаоним шавовима. На сликама које следе ће се приказати само дужине угаоних шавова које узимам у обзир приликом прорачуна, али из конструктивних разлога се сви елементи везе заварују један за други по читавом обиму, односно дужини елемента.

- Веза горњег појаса (штап 1)

N_{min} = 211,17 kN

Веза ће се остварити угаоним шавовима дебљине **3 mm,** односно **5 mm**, који су приказани на следећој слици:



$l_{w1} = 2 \times 30{,}0 = 60{,}0$ cm

$a_{w1} = 0{,}3$ cm

$l_{w2} = 2 \times 13{,}5 = 27{,}0$ cm

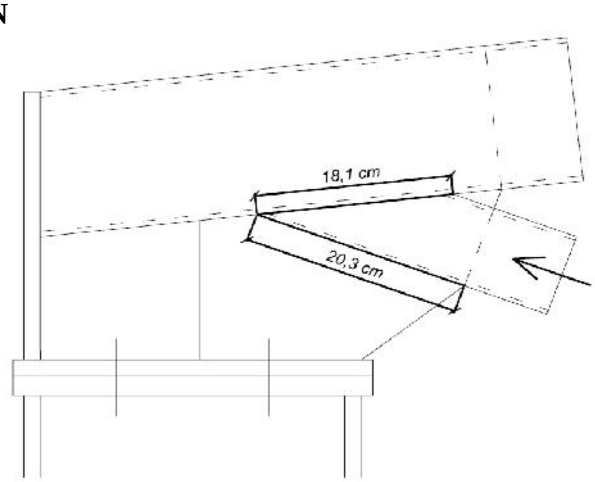
$a_{w1} = 0{,}5$ cm

$A_w = a_{w1} \times l_{w1} + a_{w2} \times l_{w2} = 0{,}3 \times 60{,}0 + 0{,}5 \times 27{,}0 = 31{,}5\ cm^2$

$$\sigma_w = \frac{211{,}17}{31{,}5} = 6{,}70\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{w,dop}$$

- Веза штапа испуне (штап 37)

N_{max} = 207,65 kN



$l_w = 2 \times (20,3 + 18,1) = 2 \times 38,4 = 76,8$ cm
$a_w = 0,4$ cm

$A_w = a_w \times l_w = 0,4 \times 76,8 = 30,7$ cm^2

$$\pm_{w} = \frac{207,65}{30,7} = 6,76\frac{kN}{cm^2} < 12,0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}$$

3) Плоча главе стуба

Усваја се плоча главе стуба дебљине 20 mm. Извршићемо контролу напона у шавовима за везу плоче главе стуба са належућом површином пресека стуба (шав дебљине 5 mm по читавом обиму):

$l_w = 2 \times (22,5 + 2\times11,9 + 30,0) = 152,6$ cm
$a_w = 0,5$ cm

$A_w = a_w \times l_w = 0,5 \times 152,6 = 76,3$ cm^2

$$\pm_{w} = \frac{R_v}{A_w} = \frac{103,80}{76,3} = 0,14\frac{kN}{cm^2} < 12,0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}$$

4) Ослоначки део ригле

Прихватање дејства вертикалне реакције ригле преко лежишне плоче ригле (дебљине 15mm) на ослоначки чвор врши се преко вертикалног лима чвора (дебљине 10mm) и лимова ослоначког укрућења (такође дебљине 10mm).

Димензије вертикалног лима чвора усвајам с обзиром на смичуће напоне услед дејства R_v и R_h.

$$potA_v = \frac{R_v}{2_{dop}} = \frac{103,80}{9,0} = 11,53cm^2$$

$$potA_h = \frac{R_h}{2_{dop}} = \frac{31,40}{9,0} = 3,49cm^2$$

Усваја се вертикални лим чвора димензија (у вертикалној оси):

t = 10 mm, h = 270 mm, b = 295 mm

$$A_v = 1,0 \times 27,0 = 27,0cm^2 > potA_v = 11,53cm^2$$
$$A_h = 1,0 \times 29,5 = 29,5cm^2 > potA_h = 3,49cm^2$$

Површина пресека лимова (дебљине 10mm) на које делује реакција R_v:

$$A_{\lim} = 1,0 \times 29,5 + 2 \times 1,0 \times 14,5 = 58,5cm^2$$

Контрола напона:

$$\pm = \frac{R_v}{A_{\lim}} = \frac{103{,}80}{58{,}5} = 1{,}77\,\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона у угаоним шавовима (дебљине 5 mm) за везу лимова ослоначког укрућења са лежишном плочом ригле:

$$\pm_w = n = \frac{R_v}{A_w} = \frac{103{,}80}{0{,}5\times 4\times 14{,}5} = 3{,}58\,\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона у угаоним шавовима (дебљине 5 mm) за везу лимова ослоначког укрућења са вертикалним лимом чвора:

$$\pm_w = V_{II} = \frac{R_v}{A_w} = \frac{103{,}80}{0{,}5\times 4\times 13{,}5} = 3{,}84\,\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\,\frac{kN}{cm^2}$$

Угаони шавови за везу вертикалног лима чвора са лежишном плочом ригле усвајају се такође дебљине 5 mm и они прихватају хоризонталну реакцију ригле.

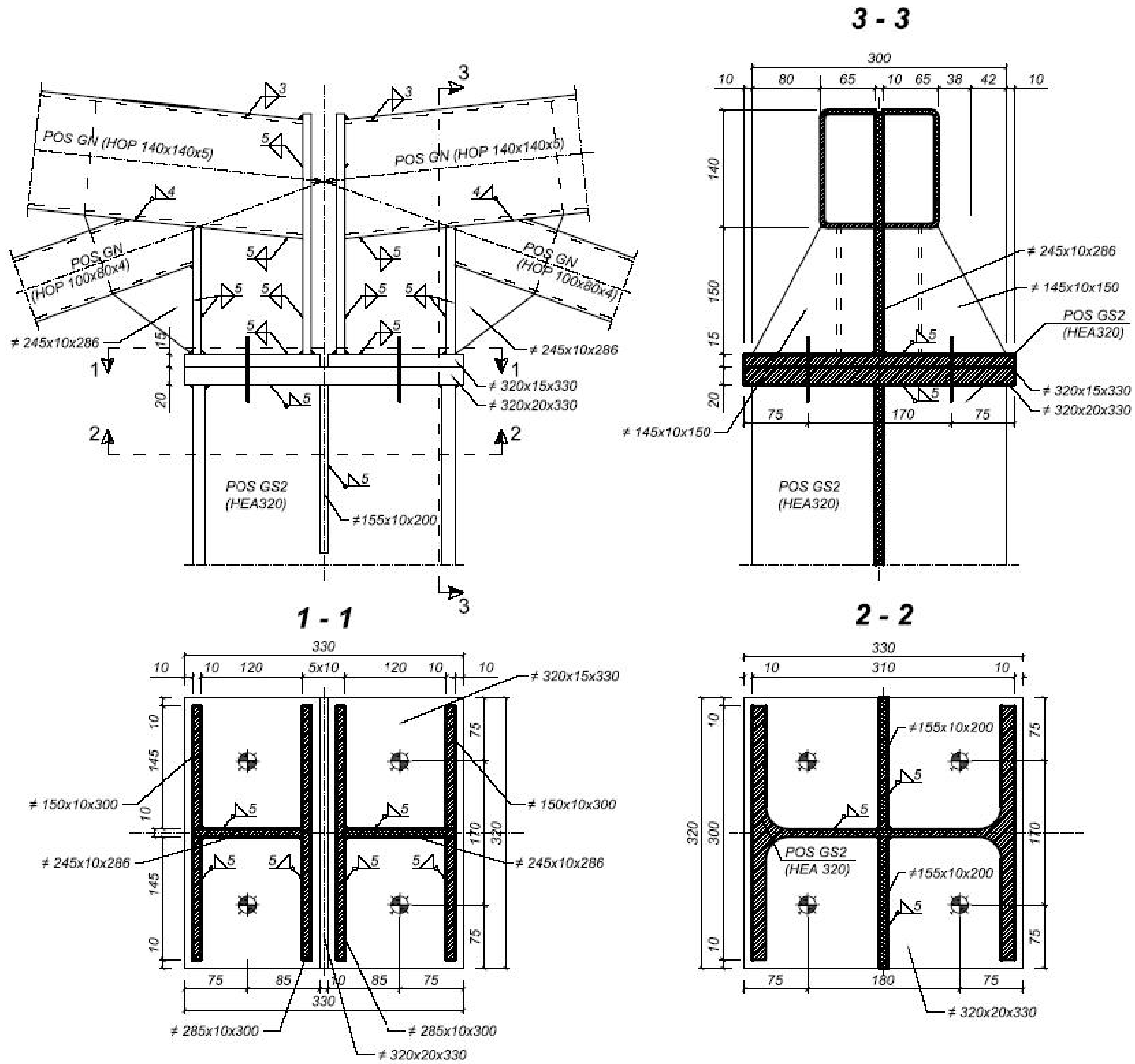
5) Завртњеви за везу

Из конструктивних разлога се усвајају завртњеви **4M20...10.9 (F_p¼0)**.

3.1.9 Веза ригле и стуба десно

Обзиром да су стуб десно и решеткасти носач истог попречног пресека као и горњи део стуба лево, за ову везу се усваја исто решење као и за решење везе решеткасте ригле и стуба ЛЕВО, које је описано у претходном одељку. На следећој страни приказана је веза ригле и стуба у средини хале.

3.1.10 Веза ригле и стуба у средини



1) Статички утицаји

Веза ригле и стуба треба да пренесе следеће статичке утицаје:

- Вертикална реакција ригле: R_v = 211,48 kN (Стално + Снег)
- Хоризонтална реакција ригле R_h = 31,43 kN

При овом прорачуну занемарује се чињеница да R_v и R_h **не потичу** од исте комбинације оптерећења. То је на страни сигурности. Димензионисање ћемо извршити за **ПРВИ** случај оптерећења.

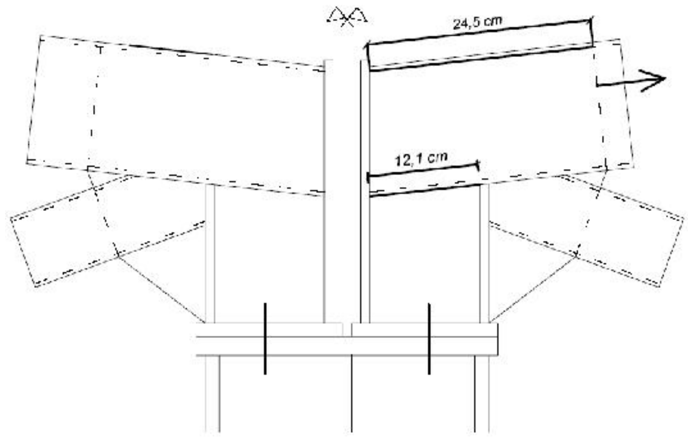
2) Веза решеткасте ригле за вертикални лим чвора

Веза решеткасте ригле за вертикални лим чвора ће се извршити угаоним шавовима. На сликама које следе ће се приказати само дужине угаоних шавова које узимам у обзир приликом прорачуна, али из конструктивних разлога се сви елементи везе заварују један за други по читавом обиму, односно дужини елемента, са максималном дозвољеном дебљином шавова.

- Веза горњег појаса (штапови 8 и 9)

N_{min} = 211,17 kN

Веза ће се остварити угаоним шавовима дебљине **3 mm,** односно **5 mm**, који су приказани на следећој слици:



$l_{w1} = 2 \times 24{,}5 = 49{,}0$ cm
$a_{w1} = 0{,}3$ cm
$l_{w2} = 2 \times 12{,}1 = 24{,}2$ cm
$a_{w1} = 0{,}5$ cm

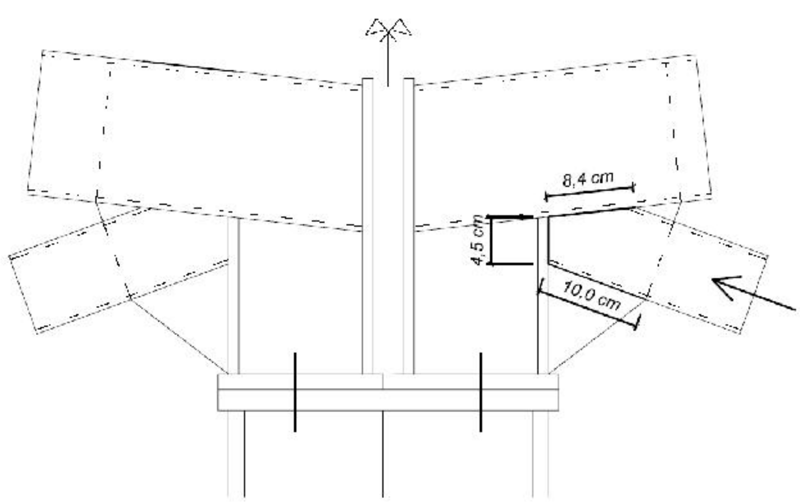
$A_w = a_{w1} \times l_{w1} + a_{w2} \times l_{w2} = 0{,}3 \times 49{,}0 + 0{,}5 \times 24{,}2 = 26{,}8\ cm^2$

$$\pm_w = \frac{211{,}17}{26{,}8} = 7{,}88\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

- Веза штапа испуне (штапови 41 и 42)

N_{max} = 210,51 kN

Веза ће се остварити угаоним шавовима дебљине **4 mm**, који су приказани на следећој слици:



$l_w = 2 \times (8{,}4 + 4{,}5 + 10{,}0) = 2 \times 22{,}9 = 45{,}8$ cm
$a_w = 0{,}4$ cm

$A_w = a_w \times l_w = 0{,}4 \times 45{,}8 = 18{,}3\ cm^2$

$\sigma_w = 207{,}65 / 18{,}3 = 11{,}3\ kN/cm^2 < \sigma_{w,dop}$

3) Плоча главе стуба

Усваја се плоча главе стуба дебљине 20 mm. Извршићемо контролу напона у шавовима за везу плоче главе стуба са належућом површином пресека стуба (шав дебљине 5 mm по читавом обиму):

$l_w = 2 \times (22{,}5 + 2\times 11{,}9 + 30{,}0) = 152{,}6\ cm$
$a_w = 0{,}5\ cm$

$A_w = a_w \times l_w = 0{,}5 \times 152{,}6 = 76{,}3\ cm^2$

$$\pm_w = \frac{R_v}{A_w} = \frac{103{,}80}{76{,}3} = 0{,}14\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}$$

4) Ослоначки делови ригли

Прихватање дејства вертикалне реакције ригле преко лежишне плоче ригле (дебљине 15mm) на ослоначки чвор врши се преко вертикалног лима чвора дебљине 10mm.

Димензије вертикалног лима чвора усвајам с обзиром на смичуће напоне услед дејства R_v и R_h.

$$potA_v = \frac{R_v / 2}{2_{dop}} = \frac{211{,}48}{2\times 9{,}0} = 11{,}75 cm^2$$

$$potA_h = \frac{R_h / 2}{2_{dop}} = \frac{31{,}43}{2\times 9{,}0} = 1{,}75 cm^2$$

Усваја се вертикални лим чвора димензија (на споју са поклопцем):
t = 10 mm, h = 278 mm, b = 130 mm

$$A_v = 1{,}0\times 27{,}8 = 27{,}8 cm^2 > potA_v = 11{,}75 cm^2$$
$$A_h = 1{,}0\times 13{,}0 = 13{,}0 cm^2 > potA_h = 1{,}75 cm^2$$

Површина пресека лимова (дебљине 10mm) на које делује реакција R_v:

$$A_l = 2\times 1{,}0\times (30{,}0 + 13{,}0) = 86{,}0 cm^2$$

Контрола напона:

$$\pm = \frac{R_v}{A_l} = \frac{211{,}48}{86{,}0} = 2{,}46\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

Угаони шавови за везу вертикалног лима чвора са лежишном плочом ригле усвајају се такође дебљине 5 mm и они прихватају хоризонталну реакцију ригле.

5) Завртњеви за везу

Из конструктивних разлога се усвајају завртњеви **2M20...10.9 (F_p¼0)**.

3.1.11 Косници за стабилизацију доњег појаса решетке

Косници који повезују доњи појас решеткастог носача са рожњачама у слемену су конструктивног карактера. Димензије попречног пресека косника усвајам из услова максималне дозвољене виткости за конструктивне елементе ($\lambda_{max} = 250$).

Системна дужина косника:

$$l = 220 \times \sqrt{2} = 311{,}0cm$$

$$i_{pot} = \frac{l}{a_{max}} = \frac{311}{250} = 1{,}24cm$$

Усваја се вруће ваљани L70ò70ò7 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = 1{,}37$ cm > $i_{pot} = 1{,}24$ cm

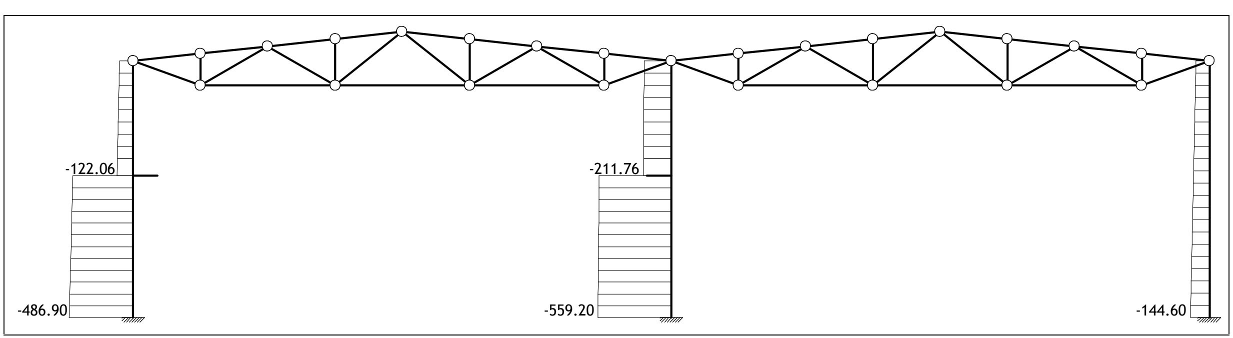
Повезивање косника у чворовима извршиће се помоћу чворних лимова ÷ **8 mm** и завртњева **2M12...4.6.**

3.2 Стубови (POS GS1, POS GS2, POS GS3)

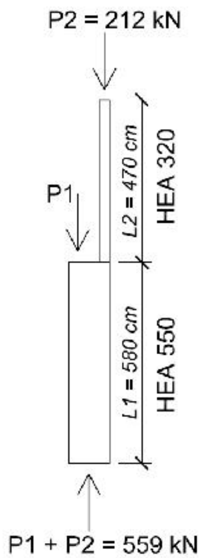
Основни проблем приликом димензионисања стубова представља одређивање бездимензионалног коефицијента извијања стубова променљивог попречног пресека, са скоковитом променом нормалне силе дуж стубова. Наши прописи не покривају толико детаљно ову проблематику, па ћемо се послужити руским СНиП прописима.

Други проблем представља одређивање меродавне комбинације оптерећења за димензионисање стубова. Меродавну комбинацију оптерећења за димензионисање сваког дела стуба проналазим помоћу програмског пакета TOWER 6. Програм узима у обзир природу оптерећења (основно, допунско, инцидентно) и свакој комбинацији оптерећења додељује одговарајући коефицијент сигурности. Напомињем да меродавна комбинација није она која даје $\pm_{max}$ у неком пресеку штапа, већ она са најнеповољнијим односом ±/³.

На следећој слици приказана је анвелопа нормалних сила у стубовима, на основу које ћемо одредити бездимензионалне коефицијенте извијања стубова.



3.2.1 Главни стуб у средини (POS GS2)



$I_1 = 111900\ cm^4$
$I_2 = 22930\ cm^4$

Бездимензионални изрази, према СНиП-у:

$$n = \frac{I_2 \times l_1}{I_1 \times l_2} = \frac{111900 \times 580}{22930 \times 470} = 0{,}25287$$

$$m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} = \frac{559}{212} = 2{,}63679$$

$$\alpha_1 = \frac{l_2}{l_1}\sqrt{\frac{I_1}{I_2 \times m}} = \frac{470}{580}\sqrt{\frac{111900}{22930 \times 2{,}63679}} = 1{,}10241$$

Из таблица СНиП-а очитавам: $\beta_1 = 3{,}064$ $\beta_2 = 2{,}779$

Димензионисање горњег дела стуба:

$l_{iy} = \beta_2 \times l_2 = 2{,}779 \times 470 = 1306\ cm$
$l_{iz} = 1{,}0 \times l_2 = 1{,}0 \times 470 = 470\ cm$

Усваја се вруће ваљани профил HEA320 са следећим карактеристикама:

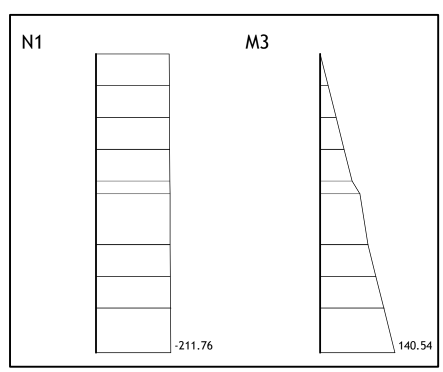
$A = 124\ cm^2$	$I_y = 22930\ cm^4$	$W_y = 1480\ cm^3$	$i_y = 13{,}6\ cm$
$h = 310\ mm$	$I_z = 6990\ cm^4$	$W_z = 466\ cm^3$	$i_z = 7{,}49\ cm$
$b = 300\ mm$	$I_t = 108\ cm^4$	$S_y = 814\ cm^3$	

$t_w = 9{,}0\ mm$ $t_f = 15{,}5\ mm$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1306}{13{,}6} = 96{,}03 \Rightarrow \overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{96{,}03}{92{,}9} = 1{,}034$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{470}{7{,}49} = 62{,}75 \Rightarrow \overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_z}{\lambda_v} = \frac{62{,}75}{92{,}9} = 0{,}675$$

За димензионисање горњег дела стуба меродаван је случај оптерећења **БРОЈ 453** (Стално + Снег + Дизалица Десно + Температура- + Сеизмика Удесно). Дакле, меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.



$N = 211{,}76\ kN$
$M_y = 140{,}54\ kNm$

$T_{max} = 50{,}11\ kN$ (апсолутно највећа вредност трансверзалне силе у стубу)

$$\pm_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{211{,}76}{124} + \frac{140{,}54 \times 100}{1480} = 11{,}20\,\frac{kN}{cm^2} < 20{,}0\,\frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}^{III}$$

<u>Контрола ексцентрично притиснутог штапа</u>

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \pm_N + k_{my} \times ^{-} \times \pm_{My} \le \pm_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: l_z = 470 cm
Размак виљушкастих ослонаца: l_T = 470 cm

$\sim_y$ = 0,339 (крива извијања B)
$\sim_z$ = 0,489 (крива извијања C)

$\sigma_N = N_{max}/A$ = 211,76/124 = 1,708 kN/cm^2

$$\overline{\pm} = \frac{\pm_N}{\pm_{dop}} = \frac{1{,}708}{20{,}0} = 0{,}0854$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\sim_y \times (\overline{ª}_y - 0{,}2)}{1 - \overline{ª}_y^{\,2} \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0{,}339 \times (1{,}034 - 0{,}2)}{1 - 1{,}034^2 \times 0{,}0854} = 1{,}311$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\sim_z \times (\overline{ª}_z - 0{,}2)}{1 - \overline{ª}_z^{\,2} \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0{,}489 \times (0{,}675 - 0{,}2)}{1 - 0{,}675^2 \times 0{,}0854} = 1{,}242$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1{,}311; 1{,}242\} = 1{,}311$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је $_y$ **= 0,85**.

$$k_{my} = \frac{_y}{1 - \overline{ª}_y^{\,2} \times \overline{\pm}} = \frac{0{,}85}{1 - 1{,}034^2 \times 0{,}0854} = 0{,}935 < 1 \Rightarrow k_{my} = 1$$

$$^{-} = \frac{f_y}{\pm_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\sim_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 814}{1480} = 1{,}100$$

$$\pm_{DV} = ¦_T \frac{®}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1{,}77\,\frac{®}{470 \times 1480} \sqrt{8100 \times 21000 \times 6990 \times 108} = 90{,}59\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 30 \times 1{,}55 = 46{,}5 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 124 - 2 \times 46{,}5 = 31{,}0 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w/6}} = \frac{30}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{46{,}5}{46{,}5+31{,}0/6}} = 8{,}22cm$$

$$\lambda_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\beta_z}} = \frac{470}{8{,}22\sqrt{1{,}77}} = 43{,}00$$

$$\sigma_{DW} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda_{kz}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{43{,}00^2} = 112{,}09\frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0{,}156\times\left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1+0{,}156\times\left(\frac{470}{31}\right)^2\times\frac{108}{6990} = 1{,}554$$

$$\eta = 0{,}00$$

$$\vartheta = \frac{\sqrt{K^2+\eta^2}-\eta}{\sqrt{K^2+\eta^2}} = 1$$

$$\sigma_{cr} = \vartheta\sqrt{\sigma_{DV}^2+\sigma_{DW}^2} = 1{,}0\times\sqrt{90{,}00^2+112{,}09^2} = 142{,}75\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{\gamma_P \times f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}100\times 24}{142{,}75}} = 0{,}430$$

$$\kappa_D = \left(\frac{1}{1+\bar{\lambda}_D^{2n}}\right)^{1/n} \quad (n=2)$$

$$\kappa_D = \left(\frac{1}{1+0{,}430^4}\right)^{1/2} = 0{,}983$$

$$\sigma_D = \gamma_p \times \kappa_D \times f_y = 1{,}100\times 0{,}983\times 24{,}0 = 25{,}96\frac{kN}{cm^2} > f_y$$

Усвојено $\sigma_D = f_y = 24{,}0$ kN/cm^2

¯ $= 1$

<u>Контрола услова из JUS U.E7.096:</u>

$$1{,}311\times 1{,}708 + 1{,}0\times 1{,}0\times\frac{140{,}54\times 100}{1480} = 11{,}74\frac{kN}{cm^2} < \sigma_{dop}$$

<u>Контрола смичућих напона:</u>

$$\tau = \frac{T_{\max}\times S_y}{I_y\times t_w} = \frac{50{,}11\times 814}{22930\times 0{,}90} = 1{,}98\frac{kN}{cm^2} < \tau_{dop}$$

Димензионисање доњег дела стуба:

$l_{iy} = \beta_1 \times l_1 = 3{,}064 \times 580 = 1777$ cm
$l_{iz} = 1{,}0 \times l_1 = 1{,}0 \times 580 = 580$ cm

Усваја се вруће ваљани профил HEA550 са следећим карактеристикама:

$A = 212\ cm^2$	$I_y = 111900\ cm^4$	$W_y = 4150\ cm^3$	$i_y = 23{,}0$ cm
$h = 540$ mm	$I_z = 10820\ cm^4$	$W_z = 721\ cm^3$	$i_z = 7{,}15$ cm
$b = 300$ mm	$I_t = 353\ cm^4$	$S_y = 2310\ cm^3$	
$t_w = 12{,}5$ mm	$t_f = 24$ mm		

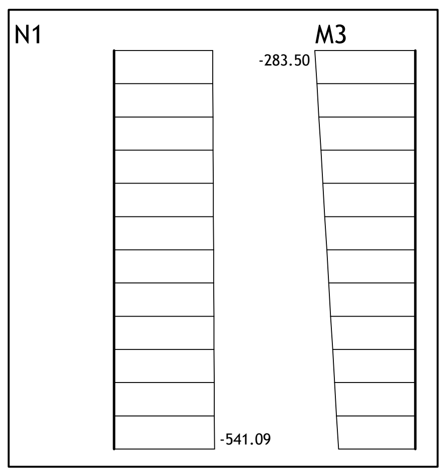
$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1777}{23{,}0} = 77{,}26 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{77{,}26}{92{,}9} = 0{,}832$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{580}{7{,}15} = 81{,}12 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_z}{\lambda_v} = \frac{81{,}12}{92{,}9} = 0{,}873$$

За димензионисање доњег дела стуба меродаван је случај оптерећења **БРОЈ 165** (Стално + Снег + Дизалица Десно Удар- + Ветар Улево Изнутра-). Дакле, меродаван је **ДРУГИ** случај оптерећења.

$N = 541{,}09$ kN
$M_y = 283{,}50$ kNm

$T_{max} = 50{,}11$ kN (апсолутно највећа вредност трансверзалне силе у стубу)



Ексцентрицитет силе P_2 у односу на доњи део стуба:

$$e = \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{54 - 31}{2} = 11{,}5cm$$

$$M_e = P_2 \times e = 212 \times 11{,}5 / 100 = 24{,}4kNm$$

$M = M_y + M_e = 283{,}50 + 24{,}4 = 307{,}9$ kNm

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{541{,}09}{212} + \frac{307{,}9 \times 100}{4150} = 9{,}97 \frac{kN}{cm^2} < 18{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}^{II}$$

Контрола ексцентрично притиснутог штапа

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \bar{\beta} \times \sigma_{My} \le \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: $l_z = 580$ cm
Размак виљушкастих ослонаца: $l_T = 580$ cm

$\beta_y = 0,206$ (крива извијања А)
$\beta_z = 0,339$ (крива извијања В)

$\sigma_N = N_{max}/A = 541,09/212 = 2,552\ kN/cm^2$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_N}{\sigma_{dop}} = \frac{2,552}{18,0} = 0,1418$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\beta_y \times (\bar{\lambda}_y - 0,2)}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0,206 \times (0,832 - 0,2)}{1 - 0,832^2 \times 0,1418} = 1,144$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\beta_z \times (\bar{\lambda}_z - 0,2)}{1 - \bar{\lambda}_z^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0,339 \times (0,873 - 0,2)}{1 - 0,873^2 \times 0,1418} = 1,256$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1,144; 1,256\} = 1,256$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је $\boldsymbol{\beta_y = 0,85}$.

$$k_{my} = \frac{\beta_y}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = \frac{0,85}{1 - 0,832^2 \times 0,1418} = 0,943 < 1 \Rightarrow k_{my} = 1$$

$$\nu = \frac{f_y}{\sigma_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\beta_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 2310}{4150} = 1,113$$

$$\sigma_{DV} = \eta_T \frac{\pi}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1,30 \frac{\pi}{580 \times 4150} \sqrt{8100 \times 21000 \times 10820 \times 353} = 43,25 \frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 30 \times 2,40 = 72,0 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 212 - 2 \times 72 = 68,0 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w/6}} = \frac{30}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{72}{72 + 68/6}} = 8,05 cm$$

$$\lambda_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\eta_z}} = \frac{580}{8,05\sqrt{1,30}} = 63,19$$

$$\sigma_{DW} = \frac{\pi^2 \times E}{\lambda_{kz}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{63,19^2} = 51,90 \frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0{,}156 \times \left(\frac{570}{54}\right)^2 \times \frac{353}{10820} = 1{,}567$$

$$\text{°} = 0{,}00$$

$$\text{¤} = \frac{\sqrt{K^2 + \text{°}^2} - \text{°}}{\sqrt{K^2 + \text{°}^2}} = 1$$

$$\pm_{cr} = \text{¤}\sqrt{\pm_{DV}{}^2 + \pm_{DW}{}^2} = 1{,}0 \times \sqrt{43{,}25^2 + 51{,}90^2} = 67{,}56\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\text{ª}}_D = \sqrt{\frac{\sim_P \times f_y}{\pm_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}113 \times 24}{67{,}56}} = 0{,}629$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + \overline{\text{ª}}_D^{\,2n}}\right)^{1/n} \quad (n = 2)$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + 0{,}629^4}\right)^{1/2} = 0{,}930$$

$$\pm_D = \sim_p \times \text{¡}_D \times f_y = 1{,}113 \times 0{,}930 \times 24{,}0 = 24{,}84\,\frac{kN}{cm^2} > f_y$$

Усвојено $\pm_D = f_y = 24{,}0$ kN/cm^2

$$\text{¯} = 1$$

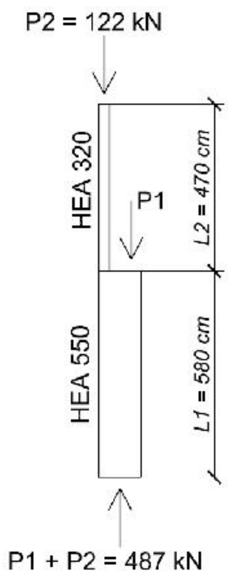
Контрола услова из JUS U.E7.096:

$$1{,}256 \times 2{,}552 + 1{,}0 \times 1{,}0 \times \frac{307{,}9 \times 100}{4150} = 10{,}62\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}$$

Контрола смичућих напона:

$$\text{²} = \frac{T_{\max} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{50{,}11 \times 2310}{111900 \times 1{,}25} = 0{,}83\,\frac{kN}{cm^2} < \text{²}_{dop}$$

3.2.2 Главни стуб лево (POS GS1)



$I_1 = 111900 \text{ cm}^4$
$I_2 = 22930 \text{ cm}^4$

Бездимензионални изрази, према СНиП-у:

$$n = \frac{I_2 \times l_1}{I_1 \times l_2} = \frac{111900 \times 580}{22930 \times 470} = 0{,}25287$$

$$m = \frac{P_1 + P_2}{P_2} = \frac{487}{122} = 3{,}99180$$

$$\sim_1 = \frac{l_2}{l_1}\sqrt{\frac{I_1}{I_2 \times m}} = \frac{470}{580}\sqrt{\frac{111900}{22930 \times 3{,}99180}} = 0{,}89598$$

Из таблица СНиП-а очитавам: $\beta_1 = 2{,}666$ $\beta_2 = 2{,}976$

Димензионисање горњег дела стуба:

$l_{iy} = \beta_2 \times l_2 = 2{,}976 \times 470 = 1399$ cm
$l_{iz} = 1{,}0 \times l_2 = 1{,}0 \times 470 = 470$ cm

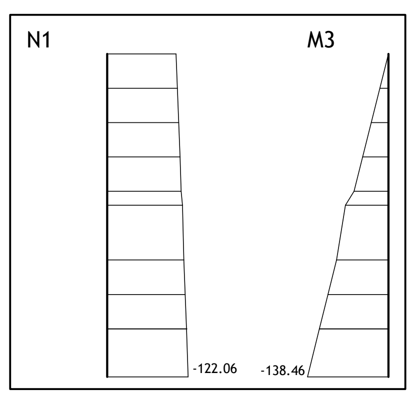
Усваја се вруће ваљани профил HEA320 са следећим карактеристикама:

$A = 124 \text{ cm}^2$	$I_y = 22930 \text{ cm}^4$	$W_y = 1480 \text{ cm}^3$	$i_y = 13{,}6$ cm
$h = 310$ mm	$I_z = 6990 \text{ cm}^4$	$W_z = 466 \text{ cm}^3$	$i_z = 7{,}49$ cm
$b = 300$ mm	$I_t = 108 \text{ cm}^4$	$S_y = 814 \text{ cm}^3$	
$t_w = 9{,}0$ mm	$t_f = 15{,}5$ mm		

$$a_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1399}{13{,}6} = 102{,}87 \Rightarrow \overline{a}_y = \frac{a_y}{a_v} = \frac{102{,}87}{92{,}9} = 1{,}107$$

$$a_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{470}{7{,}49} = 62{,}75 \Rightarrow \overline{a}_z = \frac{a_z}{a_v} = \frac{62{,}75}{92{,}9} = 0{,}675$$

За димензионисање горњег дела стуба меродаван је случај оптерећења **БРОЈ 367** (Стално + Снег + Дизалица Лево + Сеизмика Улево). Дакле, меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.



$N = 122{,}06$ kN
$M_y = 138{,}46$ kNm

$T_{max} = 50{,}09$ kN (апсолутно највећа вредност трансверзалне силе у стубу)

$$\pm_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{122{,}06}{124} + \frac{138{,}46 \times 100}{1480} = 10{,}34 \frac{kN}{cm^2} < 20{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}^{III}$$

<u>Контрола ексцентрично притиснутог штапа</u>

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \pm_N + k_{my} \times \overline{} \times \pm_{My} \leq \pm_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: l_z = 300 cm
Размак виљушкастих ослонаца: l_T = 470 cm

$\sim_y$ = 0,339 (крива извијања B)
$\sim_z$ = 0,489 (крива извијања C)

$\sigma_N = N_{max}/A$ = 122,06/124 = 0,984 kN/cm^2

$$\overline{\pm} = \frac{\pm_N}{\pm_{dop}} = \frac{0{,}984}{20{,}0} = 0{,}0492$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\sim_y \times (\overline{ª}_y - 0{,}2)}{1 - \overline{ª}_y^2 \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0{,}339 \times (1{,}107 - 0{,}2)}{1 - 1{,}107^2 \times 0{,}0492} = 1{,}327$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\sim_z \times (\overline{ª}_z - 0{,}2)}{1 - \overline{ª}_z^2 \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0{,}489 \times (0{,}675 - 0{,}2)}{1 - 0{,}675^2 \times 0{,}0492} = 1{,}238$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1{,}327; 1{,}238\} = 1{,}327$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је **$_y$ = 0,85**.

$$k_{my} = \frac{_y}{1 - \overline{ª}_y^2 \times \overline{\pm}} = \frac{0{,}85}{1 - 1{,}107^2 \times 0{,}0492} = 0{,}905 < 1 \Rightarrow k_{my} = 1$$

$$\overline{} = \frac{f_y}{\pm_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\sim_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 814}{1480} = 1{,}100$$

$$\pm_{DV} = ¦_T \frac{®}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1{,}77 \frac{®}{470 \times 1480} \sqrt{8100 \times 21000 \times 6990 \times 108} = 90{,}59 \frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 30 \times 1{,}55 = 46{,}5 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 124 - 2 \times 46{,}5 = 31{,}0 cm^2$$

$$i_{kz}=\frac{b_f}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{A_f}{A_f+A_w/6}}=\frac{30}{\sqrt{12}}\sqrt{\frac{46{,}5}{46{,}5+31/6}}=8{,}22cm$$

$$\lambda_{kz}=\frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\eta_z}}=\frac{300}{8{,}22\sqrt{1{,}77}}=27{,}45$$

$$\sigma_{DW}=\frac{\pi^2\times E}{\lambda_{kz}^2}=\frac{\pi^2\times 21000}{27{,}45^2}=275{,}14\frac{kN}{cm^2}$$

$$K=1+0{,}156\times\left(\frac{l_z}{h}\right)^2\times\frac{I_t}{I_z}=1+0{,}156\times\left(\frac{300}{31}\right)^2\times\frac{108}{6990}=1{,}226$$

$$\zeta=0{,}00$$

$$\eta=\frac{\sqrt{K^2+\zeta^2}-\zeta}{\sqrt{K^2+\zeta^2}}=1$$

$$\sigma_{cr}=\eta\sqrt{\sigma_{DV}^2+\sigma_{DW}^2}=1{,}0\times\sqrt{90{,}59^2+275{,}14^2}=289{,}67\frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\lambda}_D=\sqrt{\frac{\gamma_P\times f_y}{\sigma_{cr}}}=\sqrt{\frac{1{,}100\times 24}{289{,}67}}=0{,}302$$

$$\kappa_D=\left(\frac{1}{1+\bar{\lambda}_D^{2n}}\right)^{1/n}\quad(n=2)$$

$$\kappa_D=\left(\frac{1}{1+0{,}302^4}\right)^{1/2}=0{,}996$$

$$\sigma_D=\gamma_p\times\kappa_D\times f_y=1{,}100\times 0{,}996\times 24{,}0=26{,}29\frac{kN}{cm^2}>f_y$$

Усвојено $\sigma_D = f_y = 24{,}0\ kN/cm^2$

$$\beta=1$$

Контрола услова из JUS U.E7.096:

$$1{,}327\times 0{,}984+1{,}0\times 1{,}0\times\frac{138{,}46\times 100}{1480}=10{,}66\frac{kN}{cm^2}<\sigma_{dop}$$

Контрола смичућих напона:

$$\tau=\frac{T_{max}\times S_y}{I_y\times t_w}=\frac{50{,}09\times 814}{22930\times 0{,}9}=1{,}98\frac{kN}{cm^2}<\tau_{dop}$$

Димензионисање доњег дела стуба:

$l_{iy} = \beta_1 \times l_1 = 2{,}666 \times 580 = 1546$ cm
$l_{iz} = 300$ cm

Усваја се вруће ваљани профил HEA550 са следећим карактеристикама:

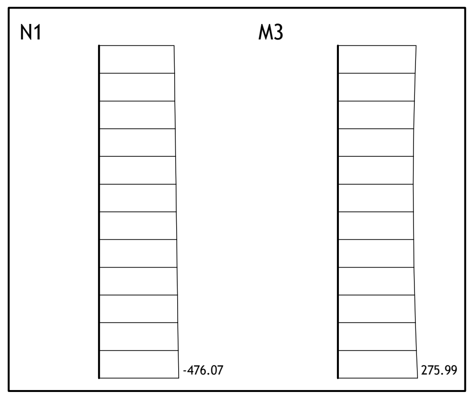
$A = 212\ cm^2$	$I_y = 111900\ cm^4$	$W_y = 4150\ cm^3$	$i_y = 23{,}0$ cm
h = 540 mm	$I_z = 10820\ cm^4$	$W_z = 721\ cm^3$	$i_z = 7{,}15$ cm
b = 300 mm	$I_t = 353\ cm^4$	$S_y = 2310\ cm^3$	

$t_w = 12{,}5$ mm $t_f = 24$ mm

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{1546}{23{,}0} = 67{,}23 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{67{,}23}{92{,}9} = 0{,}724$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{300}{7{,}15} = 41{,}96 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_z}{\lambda_v} = \frac{41{,}96}{92{,}9} = 0{,}452$$

За димензионисање доњег дела стуба меродаван је случај оптерећења **БРОЈ 289** (Стално + Снег + Дизалица Лево Удар- + Ветар Удесно Изнутра- + Температура-). Дакле, меродаван је **ДРУГИ** случај оптерећења.



N = 476,07 kN
$M_y = 275{,}99$ kNm

T_{max} = 58,64 kN (апсолутно највећа вредност трансверзалне силе у стубу)

Ексцентрицитет силе P_2 у односу на доњи део стуба:

$$e = \frac{h_1 - h_2}{2} = \frac{54-31}{2} = 11{,}5cm$$

$$M_e = P_2 \times e = 122 \times 11{,}5 / 100 = 14{,}03kNm$$

$M = M_y + M_e = 275{,}99 + 14{,}03 = 290{,}0$ kNm

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{476{,}07}{212} + \frac{290{,}0 \times 100}{4150} = 9{,}23 \frac{kN}{cm^2} < 18{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}^{II}$$

Контрола ексцентрично притиснутог штапа

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \beta \times \sigma_{My} \le \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: $l_z = 300$ cm
Размак виљушкастих ослонаца: $l_T = 580$ cm

$\sim_y$ = 0,206 (крива извијања А)

$\sim_z$ = 0,339 (крива извијања B)

$\sigma_N = N_{max}/A$ = 476,07/212 = 2,246 kN/cm^2

$$\overline{\pm} = \frac{\pm_N}{\pm_{dop}} = \frac{2,246}{18,0} = 0,1248$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\sim_y \times (\overline{\text{ª}}_y - 0,2)}{1 - \overline{\text{ª}}_y^2 \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0,206 \times (0,724 - 0,2)}{1 - 0,724^2 \times 0,1248} = 1,115$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\sim_z \times (\overline{\text{ª}}_z - 0,2)}{1 - \overline{\text{ª}}_z^2 \times \overline{\pm}} = 1 + \frac{0,339 \times (0,452 - 0,2)}{1 - 0,452^2 \times 0,1248} = 1,088$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1,115; 1,088\} = 1,115$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је $_y$ **= 0,85**.

$$k_{my} = \frac{_y}{1 - \overline{\text{ª}}_y^2 \times \overline{\pm}} = \frac{0,85}{1 - 0,724^2 \times 0,1248} = 0,909 < 1 \Rightarrow k_{my} = 1$$

$$- = \frac{f_y}{\pm_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\sim_p = \frac{2 \times S_y}{W_y} = \frac{2 \times 2310}{4150} = 1,113$$

$$\pm_{DV} = \text{¦}_T \frac{\text{®}}{l_T \times W_y} \sqrt{G \times E \times I_z \times I_t} = 1,30 \frac{\text{®}}{580 \times 4150} \sqrt{8100 \times 21000 \times 10820 \times 353} = 43,25 \frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \times t_f = 30 \times 2,40 = 72,0 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \times A_f = 212 - 2 \times 72 = 68,0 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w / 6}} = \frac{30}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{72}{72 + 68/6}} = 8,05 cm$$

$$\text{ª}_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz} \sqrt{\text{¦}_z}} = \frac{300}{8,05\sqrt{1,30}} = 32,68$$

$$\pm_{DW} = \frac{\text{®}^2 \times E}{\text{ª}_{kz}^2} = \frac{\text{®}^2 \times 21000}{32,68^2} = 194,02 \frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0,156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0,156 \times \left(\frac{300}{54}\right)^2 \times \frac{353}{10820} = 1,157$$

$$\circ = 0,00$$

$$\text{¤} = \frac{\sqrt{K^2 + \text{°}^2} - \text{°}}{\sqrt{K^2 + \text{°}^2}} = 1$$

$$\sigma_{cr} = \text{¤}\sqrt{\sigma_{DV}^2 + \sigma_{DW}^2} = 1{,}0 \times \sqrt{43{,}25^2 + 194{,}02^2} = 198{,}78 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\overline{\text{ª}}_D = \sqrt{\frac{\text{~}_P \times f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{1{,}113 \times 24}{198{,}78}} = 0{,}367$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + \overline{\text{ª}}_D^{\,2n}}\right)^{1/n} \quad (n = 2)$$

$$\text{¡}_D = \left(\frac{1}{1 + 0{,}367^4}\right)^{1/2} = 0{,}991$$

$$\sigma_D = \text{~}_p \times \text{¡}_D \times f_y = 1{,}113 \times 0{,}991 \times 24{,}0 = 26{,}47 \frac{kN}{cm^2} > f_y$$

Усвојено $\sigma_D = f_y = 24{,}0$ kN/cm^2

$$\text{¯} = 1$$

<u>Контрола услова из JUS U.E7.096:</u>

$$1{,}115 \times 2{,}246 + 1{,}0 \times 1{,}0 \times \frac{290{,}0 \times 100}{4150} = 9{,}49 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{dop}$$

<u>Контрола смичућих напона:</u>

$$\text{²} = \frac{T_{max} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{58{,}64 \times 2310}{111900 \times 1{,}25} = 0{,}97 \frac{kN}{cm^2} < \text{²}_{dop}$$

<u>3.2.3 Главни стуб десно (POS GS3)</u>

За разлику од претходна два стуба, овај стуб је константног попречног пресека. За димензионисање овог стуба усвајам следећи бездимензионални коефицијент извијања:

$\beta_y = 2{,}0$ (статички систем је конзола, висине 10,5 m)

<u>Димензионисање стуба:</u>

$l_{iy} = \beta_2 \times l = 2{,}0 \times 1050 = 2100$ cm
$l_{iz} = 300$ cm

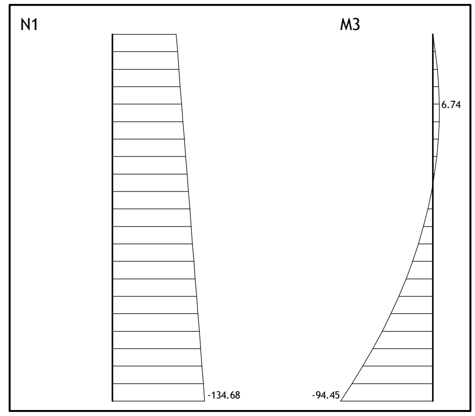
Усваја се вруће ваљани профил HEA320 са следећим карактеристикама:

A= 124 cm^2	I_y = 22930 cm^4	W_y = 1480 cm^3	i_y = 13,6 cm
h = 310 mm	I_z = 6990 cm^4	W_z = 466 cm^3	i_z = 7,49 cm
b = 300 mm	I_t = 108 cm^4	S_y = 814 cm^3	
t_w = 9,0 mm	t_f = 15,5 mm		

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{2100}{13,6} = 154,41 \Rightarrow \overline{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_v} = \frac{154,41}{92,9} = 1,662$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{300}{7,49} = 40,05 \Rightarrow \overline{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_v} = \frac{40,05}{92,9} = 0,431$$

За димензионисање стуба меродаван је случај оптерећења **БРОЈ 361** (Стално + Снег + Дизалица Десно Удар+ + Ветар Улево Изнутра- + Температура-). Дакле, меродаван је **ДРУГИ** случај оптерећења.



N = 134,68 kN
M_y = 94,45 kNm

T_{max} = 24,31 kN (апсолутно највећа вредност трансверзалне силе у стубу)

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{134,68}{124} + \frac{94,45 \times 100}{1480} = 7,47\,\frac{kN}{cm^2} < 18,0\,\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}^{III}$$

<u>Контрола ексцентрично притиснутог штапа</u>

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема момента савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \theta \times \sigma_{My} \le \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: l_z = 300 cm
Размак виљушкастих ослонаца: l_T = 1050 cm

χ_y = 0,339 (крива извијања B)
χ_z = 0,489 (крива извијања C)

$\sigma_N = N_{max}/A$ = 134,68/124 = 1,086 kN/cm^2

$$\overline{\sigma} = \frac{\sigma_N}{\sigma_{dop}} = \frac{1,086}{18,0} = 0,0603$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\chi_y \times (\overline{\lambda}_y - 0,2)}{1 - \overline{\lambda}_y^2 \times \overline{\sigma}} = 1 + \frac{0,339 \times (1,662 - 0,2)}{1 - 1,662^2 \times 0,0603} = 1,587$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\chi_z \times (\overline{\lambda}_z - 0,2)}{1 - \overline{\lambda}_z^2 \times \overline{\sigma}} = 1 + \frac{0,489 \times (0,431 - 0,2)}{1 - 0,431^2 \times 0,0603} = 1,114$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1,587; 1,114\} = 1,587$

За притиснут стуб, чији су крајеви бочно релативно померљиви може се апроксимативно користити прорачун са изразима из JUS U.E7.096 при чему је ψ_y **= 0,85**.

$$k_{my} = \frac{\psi_y}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \cdot \bar{\sigma}} = \frac{0,85}{1 - 1,662^2 \times 0,0603} = 1,020$$

$$\bar{\sigma} = \frac{f_y}{\sigma_D} = ?$$

<u>Контрола носача на бочно торзионо извијање:</u>

$$\beta_p = \frac{2 \cdot S_y}{W_y} = \frac{2 \times 814}{1480} = 1,100$$

$$\sigma_{DV} = \eta_T \frac{\pi}{l_T \cdot W_y} \sqrt{G \cdot E \cdot I_z \cdot I_t} = 1,77 \frac{\pi}{1050 \times 1480} \sqrt{8100 \times 21000 \times 6990 \times 108} = 40,55 \frac{kN}{cm^2}$$

$$A_f = b_f \cdot t_f = 30 \times 1,55 = 46,5 cm^2$$

$$A_w = A - 2 \cdot A_f = 124 - 2 \times 46,5 = 31,0 cm^2$$

$$i_{kz} = \frac{b_f}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{A_f}{A_f + A_w / 6}} = \frac{30}{\sqrt{12}} \sqrt{\frac{46,5}{46,5 + 31/6}} = 8,22 cm$$

$$\lambda_{kz} = \frac{l_z}{i_{kz}\sqrt{\eta_z}} = \frac{300}{8,22\sqrt{1,77}} = 27,45$$

$$\sigma_{DW} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{kz}^2} = \frac{\pi^2 \times 21000}{27,45^2} = 275,14 \frac{kN}{cm^2}$$

$$K = 1 + 0,156 \times \left(\frac{l_z}{h}\right)^2 \times \frac{I_t}{I_z} = 1 + 0,156 \times \left(\frac{300}{31}\right)^2 \times \frac{108}{6990} = 1,226$$

$$\zeta = 0,00$$

$$\vartheta = \frac{\sqrt{K^2 + \zeta^2} - \zeta}{\sqrt{K^2 + \zeta^2}} = 1$$

$$\sigma_{cr} = \vartheta \sqrt{\sigma_{DV}^2 + \sigma_{DW}^2} = 1,0 \times \sqrt{40,55^2 + 275,14^2} = 278,11 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\bar{\lambda}_D = \sqrt{\frac{\beta_P \cdot f_y}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,100 \times 24}{278,11}} = 0,308$$

$$\kappa_D = \left(\frac{1}{1 + \bar{\lambda}_D^{2n}}\right)^{1/n} \quad (n = 2)$$

$$\kappa_D = \left(\frac{1}{1 + 0,308^4}\right)^{1/2} = 0,996$$

$$\sigma_D = \beta_p \cdot \kappa_D \cdot f_y = 1,100 \times 0,996 \times 24,0 = 26,29 \frac{kN}{cm^2} > f_y$$

Усвојено $\pm_D = f_y = 24{,}0$ kN/cm^2

¯ $= 1$

Контрола услова из JUS U.E7.096:

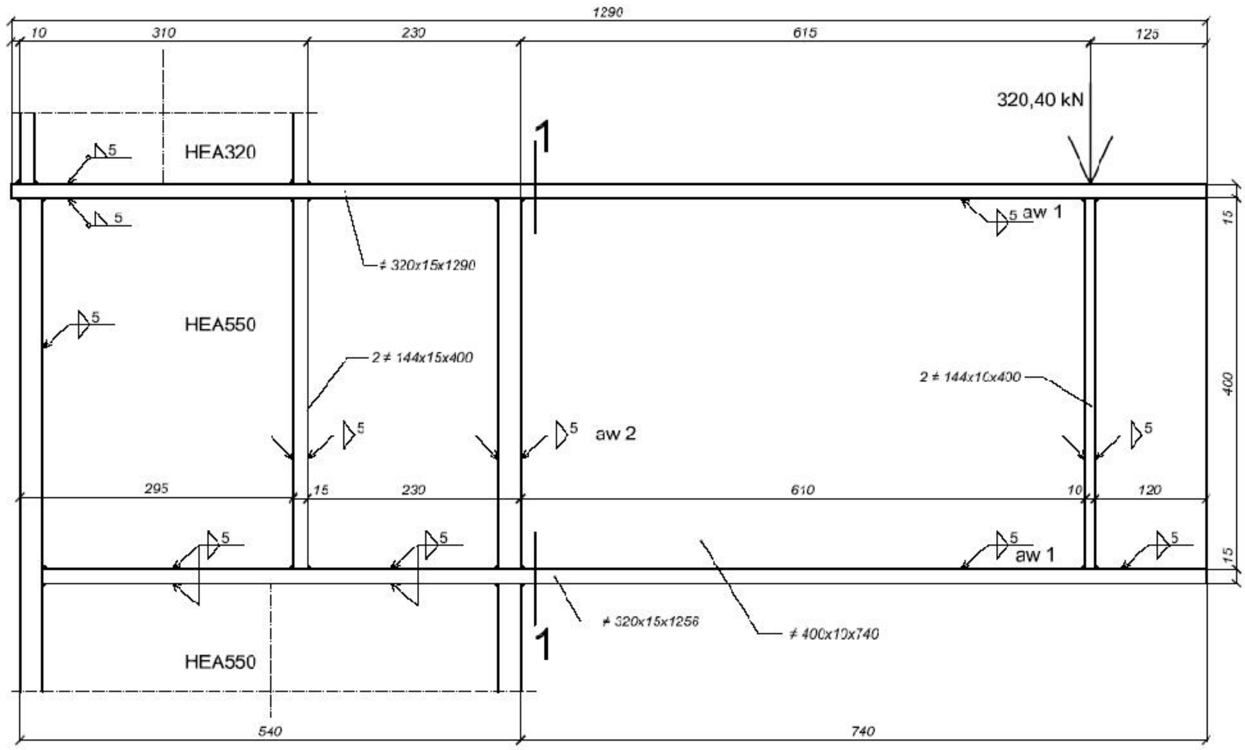
$$1{,}587 \times 1{,}086 + 1{,}020 \times 1{,}0 \times \frac{94{,}45 \times 100}{1480} = 8{,}23 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}$$

Контрола смичућих напона:

$$² = \frac{T_{\max} \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{24{,}31 \times 814}{22930 \times 0{,}9} = 0{,}96 \frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

3.2.4 Прорачун конзола за носаче дизалице

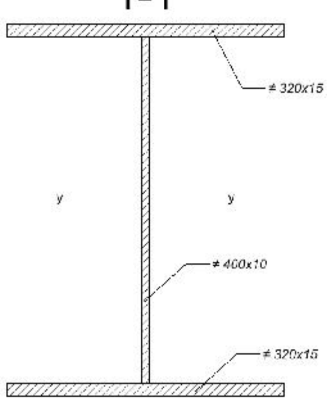
Носачи дизалице POS ND (раније усвојени носачи **IPE600**) ослањају се на конзолне носаче чије је диспозиционо решење дато на следећој слици (односи се на стуб ЛЕВО):



Пресечне силе у пресеку 1-1 са претходне слике: **T = 320,40 kN**

M = 320,40 ò 0,615 = 197,0 kNm

1-1



Геометријске карактеристике пресека 1-1 конзоле:

$$I_y = \frac{40{,}0^3 \times 1{,}0}{12} + 2 \times 32{,}0 \times 1{,}5 \times 20{,}75^2 = 5333 + 41334 = 46667 cm^4$$

$$S_y = 32{,}0 \times 1{,}5 \times 20{,}75 + 20{,}0 \times 1{,}0 \times 10{,}0 = 1196 cm^3$$

$$W_y = \frac{I_y \times 2}{d} = \frac{46667 \times 2}{43} = 2171 cm^3$$

$$S_p = 32{,}0 \times 1{,}5 \times 20{,}75 = 996 cm^3$$

Напони у пресеку 1-1:

За димензионисање је меродаван **ПРВИ** случај оптерећења.

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_y} = \frac{197{,}0 \times 100}{2171} = 9{,}07\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{,dop}^{I}$$

$$\tau_{\max} = \frac{T \times S_y}{I_y \times t_w} = \frac{320{,}40 \times 1196}{46667 \times 1{,}0} = 8{,}21\frac{kN}{cm^2} < 9{,}0\frac{kN}{cm^2} = \tau_{,dop}^{I}$$

$$\sigma_R = \sigma_{\max} \times \frac{d_w}{d} = 9{,}07 \times \frac{40{,}0}{43{,}0} = 8{,}44\frac{kN}{cm^2}$$

$$\tau_R = \frac{T \times S_p}{I_y \times t_w} = \frac{320{,}40 \times 996}{46667 \times 1{,}0} = 6{,}84\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_R^{\,2} + 3 \times \tau_R^{\,2}} = \sqrt{8{,}44^2 + 3 \times 6{,}84^2} = 14{,}55\frac{kN}{cm^2} < 16{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{u,dop}^{I}$$

Контрола напона у угаоним шавовима **a_1 = 5 mm**

$$V_{II} = \frac{320{,}40 \times 996}{46667 \times 2 \times 0{,}5} = 6{,}84\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{w,dop}^{I}$$

Контрола напона у угаоним шавовима **a_2 = 5 mm**

$A_w = 2 \times 0{,}5 \times 40{,}0 = 40{,}0\ cm^2$

$$W_w = 2 \times 0{,}5 \times \frac{40{,}0^2}{6} = 266{,}7cm^3$$

$$M_R = M \times \frac{I_{w,y}}{I_y} = 197{,}0 \times \frac{5333}{46667} = 22{,}51kNm$$

$$n = \frac{M_R}{W_w} = \frac{22{,}51 \times 100}{266{,}7} = 8{,}44\frac{kN}{cm^2}$$

$$V_{II} = \frac{T}{A_w} = \frac{320{,}40}{40{,}0} = 8{,}01\frac{kN}{cm^2}$$

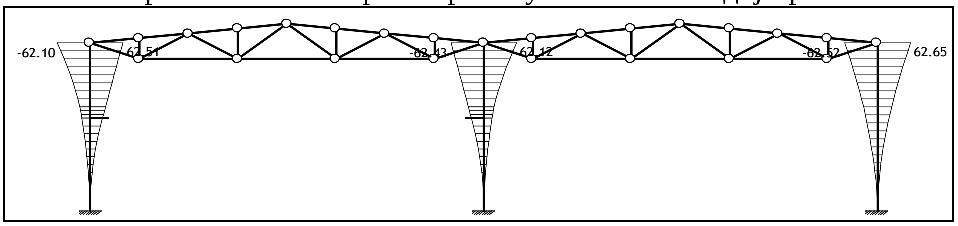
$$\sigma_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\,2}} = \sqrt{8{,}44^2 + 8{,}01^2} = 11{,}64\frac{kN}{cm^2} < 12{,}0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{w,dop}^{I}$$

Исто конструктивно решење конзола за носаче дизалице треба усвојити и за стуб У СРЕДИНИ хале.

3.2.5 Контрола померања стубова

1) Хоризонтално померање врха стуба

Хоризонтално померање врха стуба – анвелопа дијаграма



u_{max} = 62,65 mm < u_{dop} = 70,0 mm = 10500,0mm / 300

2) Размицање стубова у нивоу ГИШ-а

Стално + Снег + Дизалица Лево:

Δu_{max} = 10,2 mm ≈ 10,0 mm = Δu_{dop}

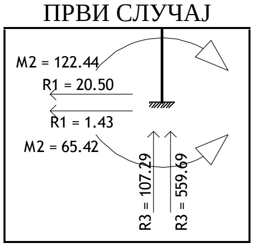
Мора се нагласити да при прорачуну деформација стубова није узет у обзир утицај спрега за бочне ударе и уопште рад конструкције као просторног система. Са узимањем ових параметара у обзир, реална померања у конструкцији ће бити знатно мања.

3.2.6 Прорачун веза стубова за темеље

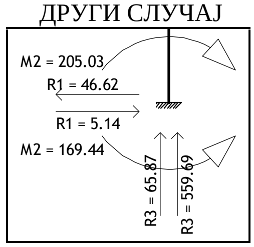
1) Стуб У СРЕДИНИ (POS GS2)

На почетку је потребно одредити меродаван случај оптерећења за димензионисање везе стуба за темељ. На следећим сликама приказане су реакције веза у укљештењу стуба у средини, за ПРВИ, ДРУГИ и ТРЕЋИ случај оптерећења:

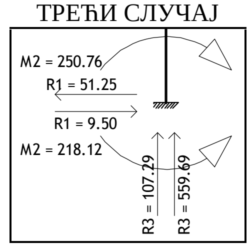
ПРВИ СЛУЧАЈ



ДРУГИ СЛУЧАЈ



ТРЕЋИ СЛУЧАЈ



Као што се може видети са слика, вертикална реакција има исту вредност за сва три случаја оптерећења, док величина хоризонталне реакције није од великог значаја. У вези је доминантно савијање, па одатле налазимо:

$$\frac{M_{\max}^{I}}{\pm_{dop}^{I}} = \frac{122,44}{16,0} = 7,65$$

$$\frac{M_{\max}^{II}}{\pm_{dop}^{II}} = \frac{205,03}{18,0} = 11,39$$

$$\frac{M_{\max}^{III}}{\pm_{dop}^{III}} = \frac{250,76}{20,0} = 12,54$$

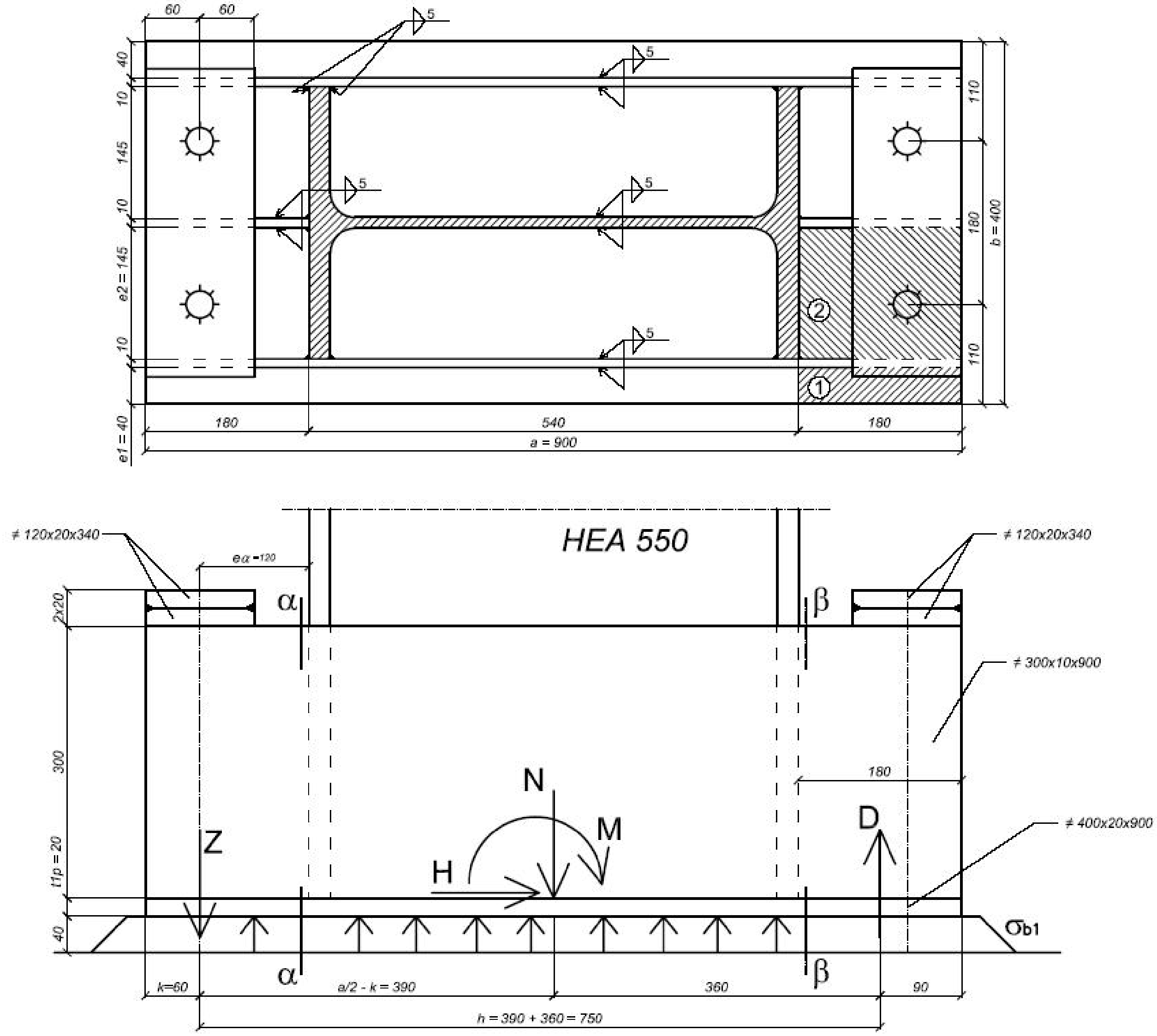
Одавде закључујемо да је за димензионисање меродаван **ТРЕЋИ** случај оптерећења.

Меродаван случај оптерећења за димензионисање анкера на затезање је **СЛУЧАЈ 449** (Стално + Дизалица Лево Удар+ + Температура- + Сеизмика Удесно) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 217,81 kNm

N = 217,49 kN

На следећој слици приказано је решење стопе стуба:



Усвајају се следеће мере у стопи стуба:

a = 0,90 m
b = 0,40 m
k = 0,06 m

Крак силе затезања Z и силе притиска D, за претпостављену расподелу (дату на претходној слици) износи: **h = 0,750 m**

Укупна сила затезања Z у анкерима износи:

$$Z = \frac{1}{h} \times (M - N \times 0{,}345) = \frac{1}{0{,}750} \times (217{,}81 - 217{,}49 \times 0{,}360) = 186{,}0kN$$

Усвајају се анкери **2M30...5.6** са површином испитног пресека по једном анкеру:

$A_s = 5{,}61\ cm^2$

Напон затезања у анкеру:

$$\pm_t = \frac{Z/2}{A_s} = \frac{186{,}0/2}{5{,}61} = 16{,}58 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{t,dop}^{III}$$

Допуштени напони затезања у анкерима $\sigma_{t,dop}$ према немачком стандарду DIN 18800 , за анкере класе чврстоће 5.6 износе:

$$\pm_{t,dop}^{I} = 15{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_{t,dop}^{II} = 17{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_{t,dop}^{III} = 19{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

Минимална дужина анкера:

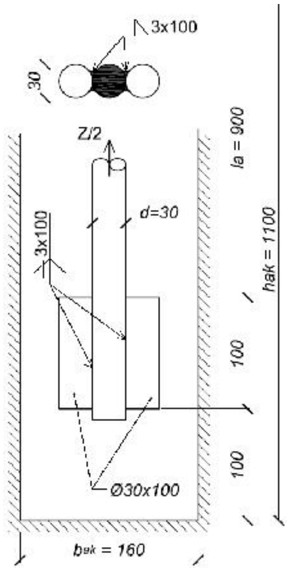
$$\min l_a = \frac{Z}{2} \times \frac{1}{d \times \text{®} \times {}^{2}{}_{p}} = \frac{186{,}0}{2} \times \frac{1}{3{,}0 \times \text{®} \times 0{,}11} = 89{,}70cm$$

Максимална дужина анкера:

$$\max l_a \approx 30 \times d = 30 \times 3{,}0 = 90{,}0cm$$

Усвојена дужина анкера $\mathbf{l_a = 90\ cm}$.

Детаљ доњег дела анкера приказан је на следећој слици:



Претпостављају се угаони шавови 4 × 3 × 100 mm.

Контрола напона у шавовима

$$V_{II} = \frac{Z/2}{4 \times a_w \times l_w'} = \frac{186{,}0/2}{4 \times 0{,}3 \times (10{,}0 - 2 \times 0{,}3)} = 8{,}24 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

Анкер-канали

Анкер канали се заливају цементним малтером чија је марка већа или једнака од МВ30. С обзиром да је међусобно растојање оса анкера:

$$e_{az} = 180mm < 7{,}5 \times d = 7{,}5 \times 30 = 225mm$$

не изводи се за сваки анкер посебан анкер-канал, већ се оба анкера **2M30...5.6** уграђују у **један заједнички анкер-канал**.
Ширина анкер-канала:

$$b_{ak} \approx 2{,}5 \times d + 80 = 2{,}5 \times 30 + 80 = 155 \rightarrow 160mm$$

Дужина анкер-канала:

$$l_{ak} \approx e_{az} + 2 \times \frac{b_{ak}}{2} = 180 + 2 \times \frac{160}{2} = 340mm$$

Дубина анкер-канала:

$$h_{ak} = l_a + l_w + \Delta l = 900 + 100 + 100 = 1100mm$$

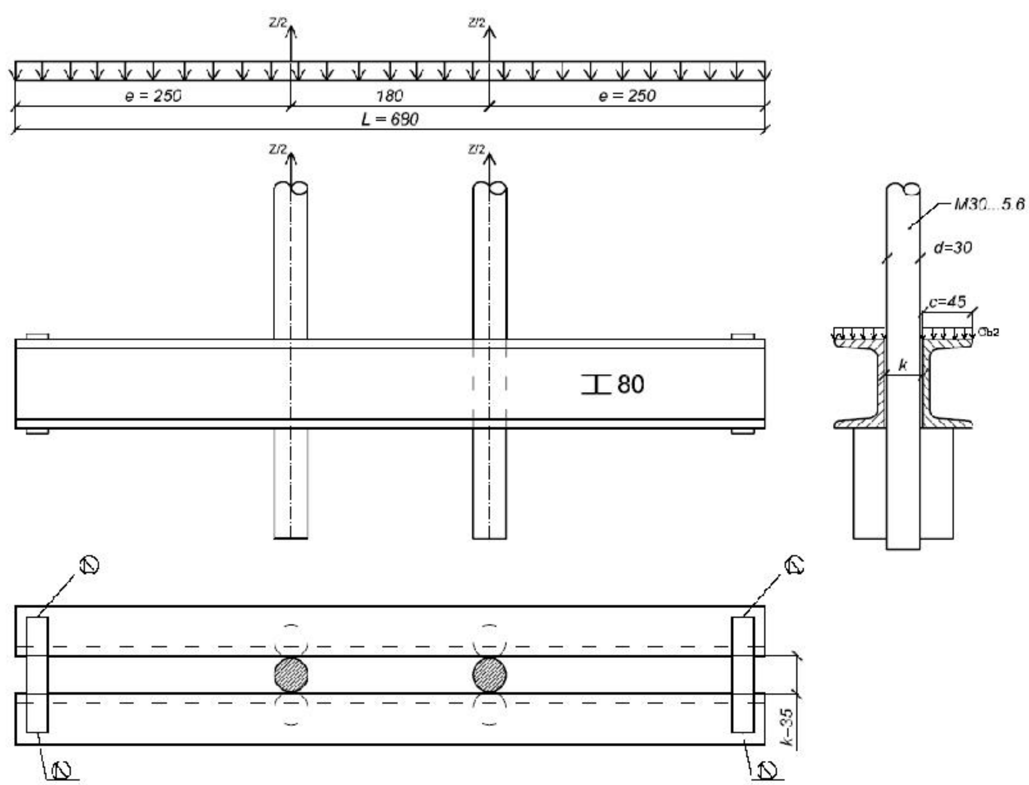
У темељној стопи се **УСВАЈАЈУ** два анкер-канала **дубине 110 cm**, правоугаоног попречног пресека **16ò34 cm**. Дебљина лежишне спојнице која се подлива цементним малтером марке не мање од **МВ30** износи **4 cm**.

Анкер-носачи

$$e \approx 5{,}5 \times d + \frac{b_{ak}}{2} = 5{,}5 \times 30 + \frac{160}{2} = 245mm \rightarrow 250mm$$

$$k \approx 1{,}17 \times d = 1{,}17 \times 30 = 35{,}1mm \rightarrow 35mm$$

Диспозиционо решење анкер-носача:



Максимални момент савијања у анкер-носачу:

$$\max M = \frac{Z}{L} \times \frac{e^2}{2} = \frac{186{,}0}{68{,}0} \times \frac{25{,}0^2}{2} = 855kNcm$$

Потребан отпорни момент анкер-носача:

$$W_{pot} = \frac{\max M}{\pm_{dop}^{III}} = \frac{855{,}0}{20{,}0} = 42{,}8cm^3$$

Усваја се вруће ваљани профил 2U 80x80x8 чији је отпорни момент:

$W_y = 2 \times 26{,}5 = 53{,}0\ cm^3$

$$\pm_{\max} = \frac{\max M}{W_y} = \frac{855{,}0}{53{,}0} = 16{,}1\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{III}$$

<u>Пренос хоризонталне силе на темељ</u>

T = 51,3 kN (апсолутно максимална вредност хоризонталне силе у тежишту спојнице)

Хоризонтална сила се са челичне стопе стуба преноси на темељ већим делом преко анкера 4M30...5.6, а мањим делом трењем између лежишне плоче и темељне спојнице. Зато је на страни сигурности ако претпоставимо да се целокупна хоризонтална сила преноси преко анкера. У анкеру се тада добијају следећа напрезања:

$$² = \frac{T}{4} \times \frac{1}{\frac{d^2 \times ®}{4}} = \frac{51{,}3}{4} \times \frac{1}{\frac{3{,}0^2 \times ®}{4}} = 1{,}81\frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

$$\pm_b = \frac{T}{4} \times \frac{1}{d \times t_{1p}} = \frac{51{,}3}{4} \times \frac{1}{3{,}0 \times 2{,}0} = 2{,}14\frac{kN}{cm^2} < 30{,}5\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop}$$

Упоредни напон:

$$\pm_u = \sqrt{\pm_t^{\ 2} + 2²^{\ 2}} = \sqrt{16{,}58^2 + 2 \times 1{,}81^2} = 16{,}78\frac{kN}{cm^2} < 20{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{u,dop}^{III}$$

<u>Притисак темеља на бетон</u>

1) Притисак на бетон испод лежишне плоче:

Меродаван случај оптерећења за контролу напона притиска на бетон испод лежишне плоче је **СЛУЧАЈ 382** (Стално + Снег + Дизалица Десно Удар- + Сеизмика Улево) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 245,24 kNm
N = 559,69 kN

Укупна сила притиска темеља на бетон износи (према слици на страни 79.):

$$D = \frac{1}{4} \times [M + N \times (h - 0{,}360)] = \frac{1}{4} \times [245{,}24 + 559{,}69 \times (0{,}750 - 0{,}360)] = 115{,}9kN$$

Напон притиска темељне стопе на бетон испод лежишне плоче износи:

$$\pm_{b1} = \frac{D}{18{,}0 \times b} = \frac{115{,}9}{18{,}0 \times 40{,}0} = 0{,}16\frac{kN}{cm^2} < 0{,}80\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop} \rightarrow MB30$$

За дозвољени напон притиска на бетон $\sigma_{b,dop}$ усвојено је **8,0 MPa**, што одговара дозвољеном ивичном напону за неармирани бетон МВ30. Сматра се да су напони притиска на бетон испод лежишне плоче локалног карактера с обзиром да напрежу само део пресека темељне стопе испод дела лежишне плоче.

2) Притисак на бетон изнад анкер-носача:

$$\pm_{b2} = \frac{Z}{2 \times c \times L} = \frac{186{,}0}{2 \times 4{,}5 \times 68{,}0} = 0{,}30\frac{kN}{cm^2} < 0{,}80\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop} \rightarrow MB30$$

Шавови за везу стуба са стопом

1) Расподела пресечних сила

Контрола ће се извршити за апсолутно највеће вредности пресечних сила у тежишту лежишне плоче (на страни сигурности, јер све силе не потичу од потпуно исте комбинације оптерећења):

N_{max} = 559,69 kN
T_{max} = 51,25 kN
M_{max} = 250,76 kNm

Статичке вредности пресека стуба изнад стопе стуба:

A_w = 68,0 cm^2 $I_{y,w}$ = 12406 cm^4
A = 212,0 cm^2 I_y = 111900 cm^4

Пресечне силе које прима ребро стуба:

$$N_w = N_{max} \times \frac{A_w}{A} = 559{,}69 \times \frac{68{,}0}{212{,}0} = 179{,}5kN$$

$$M_w = M_{max} \times \frac{I_w}{I} = 250{,}76 \times \frac{12406}{111900} = 27{,}8kNm$$

$$T_w = T_{max} = 51{,}25kN$$

Пресечне силе које примају ножице стуба:

$$N_f = N_{max} - N_w = 559{,}69 - 179{,}5 = 380{,}19kN$$

$$M_f = M_{max} - M_w = 250{,}76 - 27{,}8 = 222{,}96kNm$$

$$T_f = 0$$

Димензионисање угаоних шавова који спајају ребро стуба са лежишном плочом:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm целом дужином ребра:

$$A_w = 2 \times 0{,}5 \times 43{,}8 = 43{,}8cm^2$$

$$W_w = 2 \times 0{,}5 \times \frac{43{,}8^2}{6} = 320cm^3$$

Компонентални напони у угаоним шавовима:

$$V_{II} = \frac{T_w}{A_w} = \frac{51{,}25}{43{,}8} = 1{,}17\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{N_w}{A_w} + \frac{M_w}{W_w} = \frac{179{,}5}{43{,}8} + \frac{27{,}8 \times 100}{320} = 12{,}79\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\ 2}} = \sqrt{12{,}79^2 + 1{,}17^2} = 12{,}84\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}^{\ III}$$

Димензионисање угаоних шавова који спајају појасеве стуба са конзолним лимовима:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm целом висином конзолног лима:

Аксијална сила коју прима један шав:

$$S = \frac{N_f}{8} + \frac{M_f}{8 \times \frac{d}{2}} = \frac{381{,}19}{8} + \frac{222{,}96 \times 100}{8 \times \frac{54{,}0}{2}} = 150{,}8kN$$

$$V_{II} = \frac{S}{a_w \times l_w} = \frac{150{,}8}{0{,}5 \times 30{,}0} = 10{,}1\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

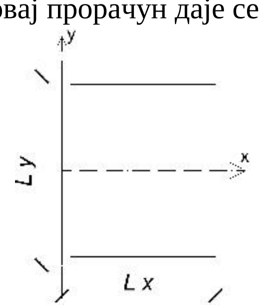
Лежишна плоча

За прорачун дебљине лежишне плоче t_{1p} потребно је срачунати моменте савијања у деловима лежишне плоче ① и ② (према слици са стране 79.).

У конзолном делу ① лежишне плоче момент савијања по 1 cm ширине је:

$$M_1 = \pm_{b1} \times \frac{e_1^{\ 2}}{2} = 0{,}16 \times \frac{4{,}0^2}{2} = 1{,}28\frac{kNcm}{cm}$$

У делу лежишне плоче означеном са ② срачунава се момент савијања $\mathbf{m_y}$ третирајући овај део плоче као плочу слободно ослоњену на три стране, а слободну на једној страни. За овај прорачун даје се следећа табела (према Гаљеркину).



l_x/l_y	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	2,00	>2,00
k	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

l_x = 180 mm l_y = 145 mm

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{180}{145} = 1{,}241 \rightarrow k = 0{,}122$$

$$m_y = k \times l_y^{\ 2} \times \pm_{b1} = 0{,}122 \times 14{,}5^2 \times 0{,}16 = 4{,}10kNcm/cm^1$$

maxM = m_y = 4,10 kNcm/cm[1]

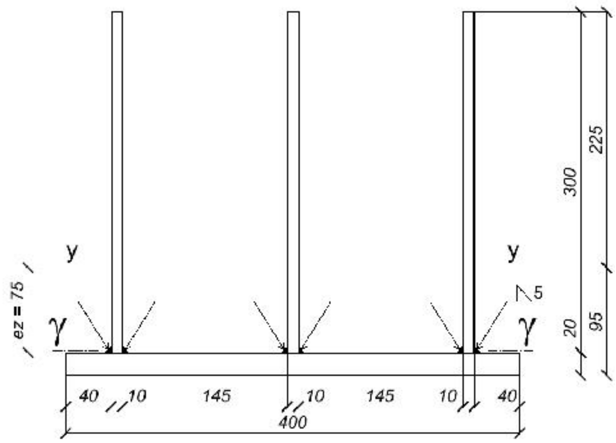
Дебљина лежишне плоче се срачунава на основу израза:

$$t_{1p} = \sqrt{\frac{6 \times \max M}{\pm_{dop}}} = \sqrt{\frac{6 \times 4{,}10}{20}} = 1{,}11cm$$

Усваја се лежишна плоча дебљине 20 mm.

Конзолни лимови

ПРЕСЕК β–β



Пресечне силе

$T_{\alpha\text{-}\alpha}$ = Z = 186,0 kN
$M_{\alpha\text{-}\alpha}$ = Z × e_α = 186,0 × 12,0 = 2232 kNcm

$T_{\beta\text{-}\beta}$ = 18,0 × 40,0 × σ_{b1}
$T_{\beta\text{-}\beta}$ = 720,0 × 0,16 = 115,2 kN
$M_{\beta\text{-}\beta}$ = 115,2 × 18,0^2/2 = 18662 kNcm

Контрола напона у конзолним лимовима

A = 3 × 1,0 × 30,0 + 40,0 × 2,0 = 170 cm^2

$S_{\gamma\text{-}\gamma}$ = 3 × 1,0 × 30,0 × 15,0 – 40,0 × 2,0 × 1,0 = 1270 cm^3

$$e_z = \frac{S_{¥-¥}}{A} = \frac{1270{,}0}{170{,}0} = 7{,}5cm$$

$$I_{¥-¥} = 3 \times \frac{1{,}0 \times 30{,}0^3}{3} + \frac{40{,}0 \times 2{,}0^3}{3} = 27107cm^4$$

$$I_y = I_{¥-¥} - A \times e_z = 27107 - 170{,}0 \times 7{,}5 = 25832cm^4$$

Контрола напона у конзолним лимовима у пресеку:

$$² \approx \frac{T_{-}}{3 \times 1{,}0 \times 30{,}0} = \frac{115{,}2}{90{,}0} = 1{,}28\frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

$$\pm_{,G} = \frac{M_{-}}{I_y} \times (30{,}0 - e_z) = \frac{18662}{25832} \times (30{,}0 - 7{,}5) = 16{,}25\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{III}$$

$$\pm_{,D} = \frac{M_{-}}{I_y} \times (e_z + 2{,}0) = \frac{18662}{25832} \times (7{,}5 + 2{,}0) = 6{,}86\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{III}$$

$$\pm_u = \sqrt{\pm_{,G}^2 + 3²^2} = \sqrt{16{,}25^2 + 3 \times 1{,}28^2} = 16{,}40\frac{kN}{cm^2} < \pm_{u,dop}^{III}$$

Контрола напона у шавовима који спајају конзолне лимове са лежишном плочом:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm, укупно 6 шавова (слика на страни 85.):

Статички момент лежишне плоче у односу на y-y осу:

$$S_{y,p} = 40,0 \times 2,0 \times (7,5 + 1,0) = 680\ cm^3$$

$$V_{II} = \frac{T_{-} \times S_{y,p}}{I_y \times 6 \times a_w} = \frac{115,2 \times 680,0}{25832 \times 6 \times 0,5} = 1,01 \frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{T_{-}}{6 \times a_w \times l_w} = \frac{115,2}{6 \times 0,5 \times 18,0} = 2,13 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\ 2}} = \sqrt{2,13^2 + 1,01^2} = 2,36 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

<u>Плочица испод навртки анкера:</u>

За усвојени анкер M30...5.6 предвиђа се рупа ∅32 у плочици испод наврткe анкера. Претпоставља се да ширина ове плочице износи b_p = 120 mm.

Максимални момент савијања у плочици износи:

$$M = \frac{Z}{2} \times \frac{(\frac{b - e_{az}}{2} - e_1 - t) \times (\frac{e_{az} - t}{2})}{e_2} = \frac{186,0}{2} \times \frac{(\frac{40,0 - 18,0}{2} - 4,0 - 1,0) \times (\frac{18,0 - 1,0}{2})}{14,5}$$

M = 327,0 kNcm

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6 \times M}{\pm_{dop} \times (b_p - d_1)}} = \sqrt{\frac{6 \times 327,0}{20,0 \times (12,0 - 3,2)}} = 3,34 cm$$

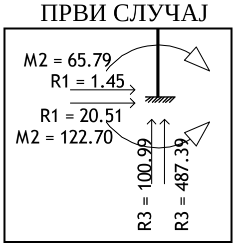
Усваја се плочица испод наврткe анкера састављена од **2 ÷120ò20ò340** које су међусобно по ободу спојене сучеоним U шавом.

t_{pl} = 2 ò 20 = 40 mm

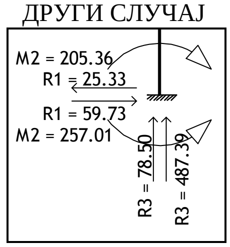
2) Стуб ЛЕВО (POS GS1)

На почетку је потребно одредити меродаван случај оптерећења за димензионисање везе стуба за темељ. На следећим сликама приказане су реакције веза у укљештењу стуба лево, за ПРВИ, ДРУГИ и ТРЕЋИ случај оптерећења:

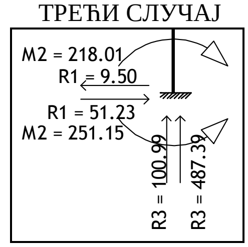
ПРВИ СЛУЧАЈ



ДРУГИ СЛУЧАЈ



ТРЕЋИ СЛУЧАЈ



Као што се може видети са слика, вертикална реакција има исту вредност за сва три случаја оптерећења, док величина хоризонталне реакције није од великог значаја. У вези је доминантно савијање, па одатле налазимо:

$$\frac{M_{\max}^{I}}{\pm_{dop}^{I}} = \frac{122{,}70}{16{,}0} = 7{,}67$$

$$\frac{M_{\max}^{II}}{\pm_{dop}^{II}} = \frac{257{,}01}{18{,}0} = 14{,}28$$

$$\frac{M_{\max}^{III}}{\pm_{dop}^{III}} = \frac{251{,}15}{20{,}0} = 12{,}56$$

Одавде закључујемо да је за димензионисање меродаван **ДРУГИ** случај оптерећења.

Меродаван случај оптерећења за димензионисање анкера на затезање је **СЛУЧАЈ 208** (Стално + Дизалица Десно Удар- + Ветар Улево Изнутра + Температура+) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 205,36 kNm

N = 190,84 kN

За диспозиционо решење стопе стуба се усваја исто решење као за стуб У СРЕДИНИ. У наставку ће се извршити одговарајуће потребне контроле напона, док се све геометријске карактеристике и сл. усвајају исте као код стуба У СРЕДИНИ.

Анкери

Укупна сила затезања Z у анкерима износи:

$$Z = \frac{1}{h} \times (M - N \times 0{,}345) = \frac{1}{0{,}750} \times (205{,}36 - 190{,}84 \times 0{,}360) = 182{,}2kN$$

Напон затезања у анкеру:

$$\pm_t = \frac{Z/2}{A_s} = \frac{182{,}2/2}{5{,}61} = 16{,}24\frac{kN}{cm^2} < 17{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{t,dop}^{II}\ (DIN18800)$$

У темељној стопи се **УСВАЈАЈУ** два анкер-канала **дубине 110 cm**, правоугаоног попречног пресека **16ò34 cm**. Дебљина лежишне спојнице која се подлива цементним малтером марке не мање од **MB30** износи **4 cm**.

Анкер-носачи

$$e \approx 5{,}5 \times d + \frac{b_{ak}}{2} = 5{,}5 \times 30 + \frac{160}{2} = 245mm \rightarrow 250mm$$

$$k \approx 1{,}17 \times d = 1{,}17 \times 30 = 35{,}1mm \rightarrow 35mm$$

Максимални момент савијања у анкер-носачу:

$$\max M = \frac{Z}{L} \times \frac{e^2}{2} = \frac{182{,}2}{68{,}0} \times \frac{25{,}0^2}{2} = 838kNcm$$

$$\pm_{\max} = \frac{\max M}{W_y} = \frac{838{,}0}{53{,}0} = 15{,}8\frac{kN}{cm^2} < 18{,}0\frac{kN}{cm^2} = \pm_{dop}^{II}$$

<u>Пренос хоризонталне силе на темељ</u>

T = 59,7 kN (апсолутно максимална вредност хоризонталне силе у тежишту спојнице)

$$² = \frac{T}{4} \times \frac{1}{\frac{d^2 \times ®}{4}} = \frac{59{,}7}{4} \times \frac{1}{\frac{3{,}0^2 \times ®}{4}} = 2{,}11\frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

$$\pm_b = \frac{T}{4} \times \frac{1}{d \times t_{1p}} = \frac{59{,}7}{4} \times \frac{1}{3{,}0 \times 2{,}0} = 2{,}49\frac{kN}{cm^2} < 30{,}5\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop}$$

$$\pm_u = \sqrt{\pm_t^{\,2} + 2²^{\,2}} = \sqrt{16{,}24^2 + 2 \times 2{,}11^2} = 16{,}51\frac{kN}{cm^2} < \pm_{u,dop}^{II}$$

<u>Притисак темеља на бетон</u>

1) Притисак на бетон испод лежишне плоче:

Меродаван случај оптерећења за контролу напона притиска на бетон испод лежишне плоче је **СЛУЧАЈ 289** (Стално + Снег + Дизалица Лево Удар- + Ветар Удесно Изнутра- + Температура-) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 256,36 kNm
N = 476,56 kN

Укупна сила притиска темеља на бетон износи (према слици на страни 79.):

$$D = \frac{1}{4} \times [M + N \times (h - 0{,}360)] = \frac{1}{4} \times [256{,}36 + 476{,}56 \times (0{,}750 - 0{,}360)] = 110{,}6kN$$

$$\pm_{b1} = \frac{D}{18{,}0 \times b} = \frac{110{,}6}{18{,}0 \times 40{,}0} = 0{,}15\frac{kN}{cm^2} < 0{,}80\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop} \rightarrow MB30$$

2) Притисак на бетон изнад анкер-носача:

$$\pm_{b2} = \frac{Z}{2 \times c \times L} = \frac{182{,}2}{2 \times 4{,}5 \times 68{,}0} = 0{,}30\frac{kN}{cm^2} < 0{,}80\frac{kN}{cm^2} = \pm_{b,dop} \rightarrow MB30$$

Шавови за везу стуба са стопом

1) Расподела пресечних сила

Контрола ће се извршити за апсолутно највеће вредности пресечних сила у тежишту лежишне плоче (на страни сигурности, јер све силе не потичу од потпуно исте комбинације оптерећења):

N_{max} = 487,39 kN
T_{max} = 59,73 kN
M_{max} = 257,01 kNm

Статичке вредности пресека стуба изнад стопе стуба:

$A_w = 68{,}0\ cm^2$ $I_{y,w} = 12406\ cm^4$
$A = 212{,}0\ cm^2$ $I_y = 111900\ cm^4$

$$N_w = N_{max} \times \frac{A_w}{A} = 487{,}39 \times \frac{68{,}0}{212{,}0} = 156{,}3kN$$

$$M_w = M_{max} \times \frac{I_w}{I} = 257{,}01 \times \frac{12406}{111900} = 28{,}5kNm$$

$$T_w = T_{max} = 59{,}73kN$$

$$N_f = N_{max} - N_w = 487{,}39 - 156{,}3 = 331{,}09kN$$

$$M_f = M_{max} - M_w = 257{,}01 - 28{,}5 = 228{,}51kNm$$

$$T_f = 0$$

Компонентални напони у угаоним шавовима који спајају ребро стуба са лежишном плочом:

$$V_{II} = \frac{T_w}{A_w} = \frac{59{,}73}{43{,}8} = 1{,}36\frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{N_w}{A_w} + \frac{M_w}{W_w} = \frac{156{,}3}{43{,}8} + \frac{28{,}5 \times 100}{320} = 12{,}47\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}{}^2} = \sqrt{12{,}47^2 + 1{,}36^2} = 12{,}54\frac{kN}{cm^2} < 13{,}5\frac{kN}{cm^2} = \pm_{w,dop}{}^{II}$$

Димензионисање угаоних шавова који спајају појасеве стуба са конзолним лимовима:

$$S = \frac{N_f}{8} + \frac{M_f}{8 \times \frac{d}{2}} = \frac{331{,}09}{8} + \frac{228{,}51 \times 100}{8 \times \frac{54{,}0}{2}} = 147{,}2kN$$

$$V_{II} = \frac{S}{a_w \times l_w} = \frac{147{,}2}{0{,}5 \times 30{,}0} = 9{,}8\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

<u>Лежишна плоча</u>

$$M_1 = \pm_{b1} \times \frac{e_1{}^2}{2} = 0{,}15 \times \frac{4{,}0^2}{2} = 1{,}20\frac{kNcm}{cm}$$

$$m_y = k \times l_y{}^2 \times \pm_{b1} = 0{,}122 \times 14{,}5^2 \times 0{,}15 = 3{,}85kNcm/cm^1$$

$\max M = m_y = 3{,}85\ kNcm/cm^1$

Дебљина лежишне плоче се срачунава на основу израза:

$$t_{1p} = \sqrt{\frac{6 \times \max M}{\pm_{dop}}} = \sqrt{\frac{6 \times 3{,}85}{18{,}0}} = 1{,}13cm$$

Усваја се лежишна плоча дебљине 20 mm.

Конзолни лимови

Пресечне силе

$T_{\alpha\text{-}\alpha} = Z = 182{,}2$ kN
$M_{\alpha\text{-}\alpha} = Z \times e_{\alpha} = 182{,}2 \times 12{,}0 = 2187$ kNcm

$T_{\beta\text{-}\beta} = 18{,}0 \times 40{,}0 \times \sigma_{b1}$
$T_{\beta\text{-}\beta} = 720{,}0 \times 0{,}15 = 108{,}0$ kN
$M_{\beta\text{-}\beta} = 108{,}0 \times 18{,}0^2/2 = 17496$ kNcm

Контрола напона у конзолним лимовима у пресеку:

$$^2 \approx \frac{T_{-}}{3\times 1{,}0\times 30{,}0} = \frac{108{,}0}{90{,}0} = 1{,}20\,\frac{kN}{cm^2} < {}^2{}_{dop}$$

$$\pm_{,G} = \frac{M_{-}}{I_y}\times(30{,}0 - e_z) = \frac{17496}{25832}\times(30{,}0-7{,}5) = 15{,}24\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{II}$$

$$\pm_{,D} = \frac{M_{-}}{I_y}\times(e_z + 2{,}0) = \frac{17496}{25832}\times(7{,}5+2{,}0) = 6{,}43\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{II}$$

$$\pm_u = \sqrt{\pm_{,G}^{\ 2} + 3{}^2{}^{\ 2}} = \sqrt{15{,}24^2 + 3\times 1{,}20^2} = 15{,}38\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{u,dop}^{II}$$

Контрола напона у шавовима који спајају конзолне лимове са лежишном плочом:

$$V_{II} = \frac{T_{-}\times S_{y,p}}{I_y\times 6\times a_w} = \frac{108{,}0\times 680{,}0}{25832\times 6\times 0{,}5} = 0{,}95\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{T_{-}}{6\times a_w\times l_w} = \frac{108{,}0}{6\times 0{,}5\times 18{,}0} = 2{,}00\,\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\ 2}} = \sqrt{2{,}00^2 + 0{,}95^2} = 2{,}21\,\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

Плочица испод навртки анкера:

$$M = \frac{Z}{2}\times\frac{(\frac{b-e_{az}}{2} - e_1 - t)\times(\frac{e_{az}-t}{2})}{e_2} = \frac{182{,}2}{2}\times\frac{(\frac{40{,}0-18{,}0}{2} - 4{,}0 - 1{,}0)\times(\frac{18{,}0-1{,}0}{2})}{14{,}5}$$

M = 320,0 kNcm

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6\times M}{\pm_{dop}\times(b_p - d_1)}} = \sqrt{\frac{6\times 320{,}0}{18{,}0\times(12{,}0-3{,}2)}} = 3{,}48cm$$

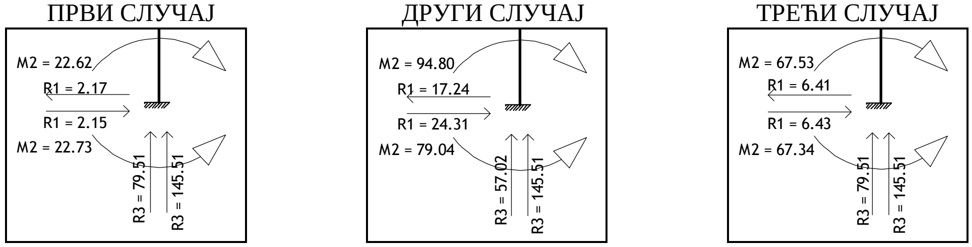
Усваја се плочица испод навртке анкера састављена од **2 ÷120ò20ò340** које су међусобно по ободу спојене сучеоним U шавом.

$\mathbf{t_{pl} = 2 \text{ ò } 20 = 40 \text{ mm}}$

3) Стуб ДЕСНО (POS GS3)

На почетку је потребно одредити меродаван случај оптерећења за димензионисање везе стуба за темељ. На следећим сликама приказане су реакције веза у укљештењу стуба у средини, за ПРВИ, ДРУГИ и ТРЕЋИ случај оптерећења:

ПРВИ СЛУЧАЈ ДРУГИ СЛУЧАЈ ТРЕЋИ СЛУЧАЈ



Као што се може видети са слика, вертикална реакција има исту вредност за сва три случаја оптерећења, док величина хоризонталне реакције није од великог значаја. У вези је доминантно савијање, па одатле налазимо:

$$\frac{M_{\max}^{I}}{\pm_{dop}^{I}} = \frac{22{,}73}{16{,}0} = 1{,}42$$

$$\frac{M_{\max}^{II}}{\pm_{dop}^{II}} = \frac{94{,}80}{18{,}0} = 5{,}27$$

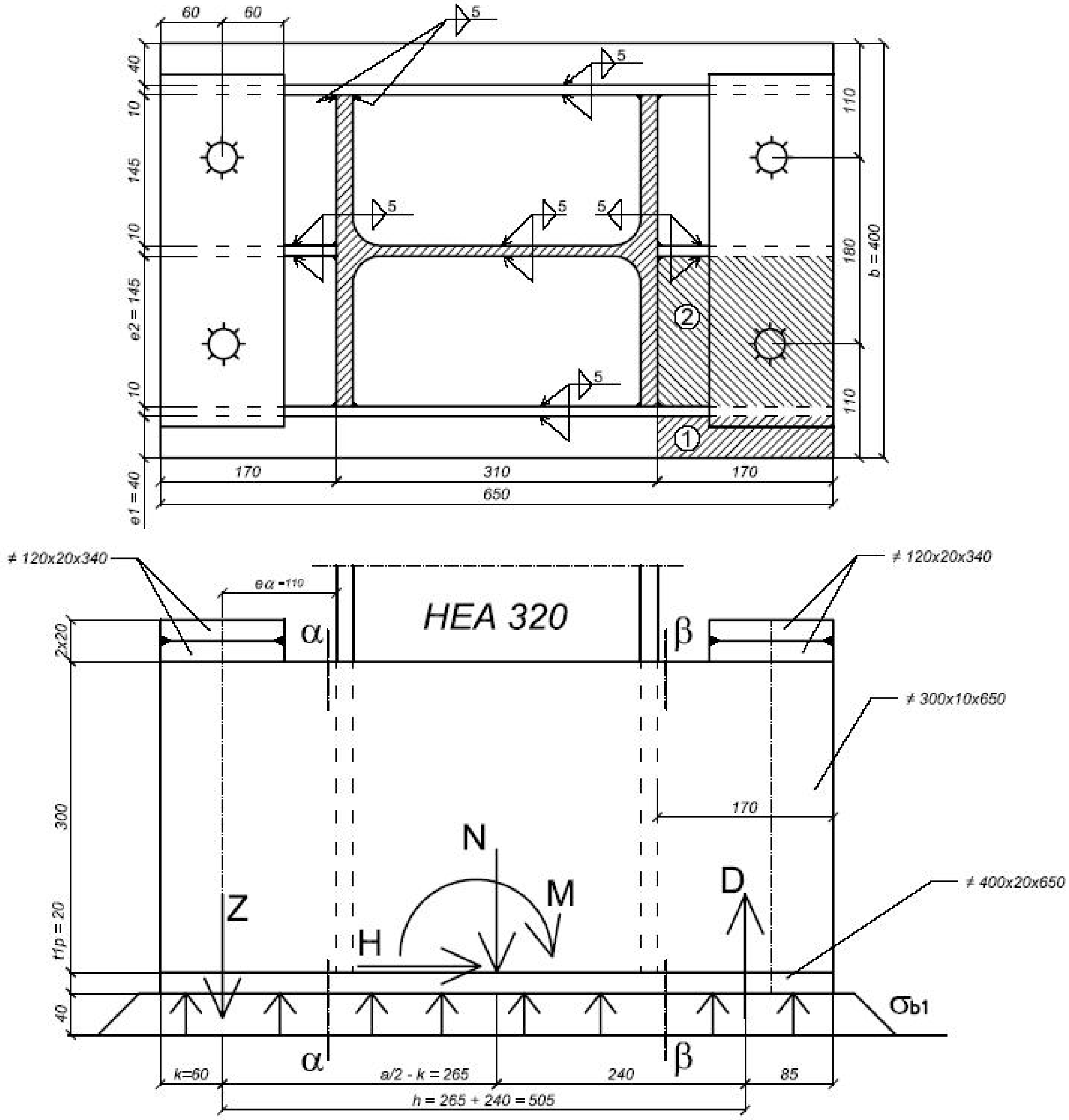
$$\frac{M_{\max}^{III}}{\pm_{dop}^{III}} = \frac{67{,}53}{20{,}0} = 3{,}38$$

Одавде закључујемо да је за димензионисање меродаван **ДРУГИ** случај оптерећења.

Меродаван случај оптерећења за димензионисање анкера на затезање је **СЛУЧАЈ 360** (Стално + Дизалица Десно Удар- + Ветар Улево Изнутра- + Температура-) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 94,80 kNm
N = 68,68 kN

На следећој страни ј
е приказано диспозиционо решење стопе стуба:



Усвајају се следеће мере у стопи стуба:

a = 0,65 m
b = 0,40 m
k = 0,05 m

Крак силе затезања Z и силе притиска D, за претпостављену расподелу (дату на претходној слици) износи:

h = 0,505 m

Анкери

Укупна сила затезања Z у анкерима износи:

$$Z = \frac{1}{h} \times (M - N \times 0{,}345) = \frac{1}{0{,}505} \times (94{,}80 - 68{,}68 \times 0{,}240) = 155{,}1 kN$$

Усвајају се анкери **2M30...5.6** са површином испитног пресека по једном анкеру:

$A_s = 5{,}61\ cm^2$

Напон затезања у анкеру:

$$\sigma_t = \frac{Z/2}{A_s} = \frac{155{,}1/2}{5{,}61} = 13{,}82\frac{kN}{cm^2} < \sigma_{t,dop}{}^{II}$$

Допуштени напони затезања у анкерима $\sigma_{t,dop}$ према немачком стандарду DIN 18800 , за анкере класе чврстоће 5.6 износе:

$$\sigma_{t,dop}{}^{I} = 15{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{t,dop}{}^{II} = 17{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{t,dop}{}^{III} = 19{,}0\frac{kN}{cm^2}$$

Минимална дужина анкера:

$$\min l_a = \frac{Z}{2}\times\frac{1}{d\times\pi\times\tau_p} = \frac{155{,}1}{2}\times\frac{1}{3{,}0\times\pi\times 0{,}11} = 74{,}80cm$$

Максимална дужина анкера:

$$\max l_a \approx 30\times d = 30\times 3{,}0 = 90{,}0cm$$

Усвојена дужина анкера $\mathbf{l_a = 90\ cm}$.

Детаљ доњег дела анкера истоветан је детаљу код претходно разматраних стубова. Извршићемо једино контролу напона у шавовима за везу:

Претпостављају се угаони шавови 4 × 3 × 100 mm.

$$V_{II} = \frac{Z/2}{4\times a_w\times l_w{}'} = \frac{155{,}1/2}{4\times 0{,}3\times(10{,}0-2\times 0{,}3)} = 6{,}88\frac{kN}{cm^2} < \sigma_{w,dop}$$

<u>Анкер-канали</u>

Анкер канали се заливају цементним малтером чија је марка већа или једнака од MB30. С обзиром да је међусобно растојање оса анкера:

$$e_{az} = 180mm < 7{,}5\times d = 7{,}5\times 30 = 225mm$$

не изводи се за сваки анкер посебан анкер-канал, већ се оба анкера **2M30...5.6** уграђују у **један заједнички анкер-канал**. Диспозиционо решење анкер-канала се усваја истоветно са решењем примењеним код већ разматраних стубова.

У темељној стопи се **УСВАЈАЈУ** два анкер-канала **дубине 110 cm**, правоугаоног попречног пресека **16ò34 cm**. Дебљина лежишне спојнице која се подлива цементним малтером марке не мање од **MB30** износи **4 cm**.

Анкер-носачи

Диспозиционо решење анкер-носача се усваја као за остале стубове, па ће се сада извршити контрола напона у анкер-носачу, без већег задржавања на геометријским карактеристикама:

Максимални момент савијања у анкер-носачу:

$$\max M = \frac{Z}{L} \times \frac{e^2}{2} = \frac{155{,}1}{68{,}0} \times \frac{25{,}0^2}{2} = 713 kNcm$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\max M}{W_y} = \frac{713{,}0}{53{,}0} = 13{,}45 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{dop}^{II}$$

Пренос хоризонталне силе на темељ

T = 24,31 kN (апсолутно максимална вредност хоризонталне силе у тежишту спојнице)

$$\tau = \frac{T}{4} \times \frac{1}{\frac{d^2 \times \pi}{4}} = \frac{24{,}31}{4} \times \frac{1}{\frac{3{,}0^2 \times \pi}{4}} = 0{,}86 \frac{kN}{cm^2} < \tau_{dop}$$

$$\sigma_b = \frac{T}{4} \times \frac{1}{d \times t_{1p}} = \frac{24{,}31}{4} \times \frac{1}{3{,}0 \times 2{,}0} = 1{,}01 \frac{kN}{cm^2} < 30{,}5 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{b,dop}$$

Упоредни напон:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_t^2 + 2\tau^2} = \sqrt{13{,}82^2 + 2 \times 0{,}86^2} = 13{,}87 \frac{kN}{cm^2} < \sigma_{u,dop}^{II}$$

Притисак темеља на бетон

1) Притисак на бетон испод лежишне плоче:

Меродаван случај оптерећења за контролу напона притиска на бетон испод лежишне плоче је **СЛУЧАЈ 361** (Стално + Снег + Дизалица Десно Удар- + Ветар Улево Изнутра- + Температура-) који даје следеће утицаје у тежишту лежишне плоче:

M = 94,45 kNm
N = 134,68 kN

Укупна сила притиска темеља на бетон износи:

$$D = \frac{1}{4} \times [M + N \times (h - 0{,}240)] = \frac{1}{4} \times [94{,}45 + 134{,}68 \times (0{,}505 - 0{,}240)] = 32{,}5 kN$$

Напон притиска темељне стопе на бетон испод лежишне плоче износи:

$$\sigma_{b1} = \frac{D}{17{,}0 \times b} = \frac{32{,}5}{17{,}0 \times 40{,}0} = 0{,}05 \frac{kN}{cm^2} < 0{,}80 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{b,dop} \rightarrow MB30$$

2) Притисак на бетон изнад анкер-носача:

$$\sigma_{b2} = \frac{Z}{2 \times c \times L} = \frac{155{,}1}{2 \times 4{,}5 \times 68{,}0} = 0{,}25 \frac{kN}{cm^2} < 0{,}80 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{b,dop} \rightarrow MB30$$

1) Расподела пресечних сила

Контрола ће се извршити за апсолутно највеће вредности пресечних сила у тежишту лежишне плоче (на страни сигурности, јер све силе не потичу од потпуно исте комбинације оптерећења):

N_{max} = 145,51 kN
T_{max} = 24,31 kN
M_{max} = 94,80 kNm

Статичке вредности пресека стуба изнад стопе стуба:

A_w = 31,0 cm^2 $I_{y,w}$ = 1629 cm^4
A = 124,0 cm^2 I_y = 22930 cm^4

$$N_w = N_{\max} \times \frac{A_w}{A} = 145{,}51 \times \frac{31{,}0}{124{,}0} = 36{,}4kN$$

$$M_w = M_{\max} \times \frac{I_w}{I} = 94{,}80 \times \frac{1629}{22930} = 6{,}73kNm$$

$$T_w = T_{\max} = 24{,}31kN$$

$$N_f = N_{\max} - N_w = 145{,}51 - 36{,}4 = 109{,}11kN$$

$$M_f = M_{\max} - M_w = 94{,}80 - 6{,}73 = 88{,}07kNm$$

$$T_f = 0$$

Димензионисање угаоних шавова који спајају ребро стуба са лежишном плочом:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm целом дужином ребра:

$$A_w = 2 \times 0{,}5 \times 22{,}5 = 22{,}5cm^2$$

$$W_w = 2 \times 0{,}5 \times \frac{22{,}5^2}{6} = 84cm^3$$

$$V_{II} = \frac{T_w}{A_w} = \frac{24{,}31}{22{,}5} = 1{,}08\frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{N_w}{A_w} + \frac{M_w}{W_w} = \frac{36{,}4}{22{,}5} + \frac{6{,}73 \times 100}{84} = 9{,}63\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\ 2}} = \sqrt{9{,}63^2 + 1{,}08^2} = 9{,}69\frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}^{II}$$

Димензионисање угаоних шавова који спајају појасеве стуба са конзолним лимовима:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm целом висином конзолног лима:

Аксијална сила коју прима један шав:

$$S = \frac{N_f}{8} + \frac{M_f}{8 \times \frac{d}{2}} = \frac{109{,}11}{8} + \frac{88{,}07 \times 100}{8 \times \frac{31{,}0}{2}} = 84{,}7kN$$

$$V_{II} = \frac{S}{a_w \times l_w} = \frac{84,7}{0,5 \times 30,0} = 5,65 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

Лежишна плоча

У конзолном делу ① лежишне плоче момент савијања по 1 cm ширине је:

$$M_1 = \pm_{b1} \times \frac{e_1^{\ 2}}{2} = 0,05 \times \frac{4,0^2}{2} = 0,4 \frac{kNcm}{cm}$$

l_x/l_y	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40	2,00	>2,00
k	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

l_x = 170 mm l_y = 145 mm

$$\frac{l_x}{l_y} = \frac{170}{145} = 1,241 \rightarrow k = 0,119$$

$$m_y = k \times l_y^{\ 2} \times \pm_{b1} = 0,119 \times 14,5^2 \times 0,05 = 1,25 kNcm / cm^1$$

maxM = m_y = 1,25 kNcm/cm^1

$$t_{1p} = \sqrt{\frac{6 \times \max M}{\pm_{dop}}} = \sqrt{\frac{6 \times 1,25}{18}} = 0,64 cm$$

Усваја се лежишна плоча дебљине 20 mm.

Конзолни лимови

Пресечне силе

$T_{\alpha\text{-}\alpha}$ = Z = 155,1 kN
$M_{\alpha\text{-}\alpha}$ = Z × e_α = 155,1 × 11,0 = 1706 kNcm

$T_{\beta\text{-}\beta}$ = 17,0 × 40,0 × σ_{b1}
$T_{\beta\text{-}\beta}$ = 680,0 × 0,05 = 34,0 kN
$M_{\beta\text{-}\beta}$ = 34,0 × $17,0^2$/2 = 4913 kNcm

Контрола напона у конзолним лимовима

A = 3 × 1,0 × 30,0 + 40,0 × 2,0 = 170 cm^2
$S_{\gamma\text{-}\gamma}$ = 3 × 1,0 × 30,0 × 15,0 – 40,0 × 2,0 × 1,0 = 1270 cm^3

$$e_z = \frac{S_{¥-¥}}{A} = \frac{1270,0}{170,0} = 7,5 cm$$

$$I_{¥-¥} = 3 \times \frac{1,0 \times 30,0^3}{3} + \frac{40,0 \times 2,0^3}{3} = 27107 cm^4$$

$$I_y = I_{¥-¥} - A \times e_z = 27107 - 170{,}0 \times 7{,}5 = 25832 cm^4$$

$$² \approx \frac{T_{-}}{3 \times 1{,}0 \times 30{,}0} = \frac{115{,}2}{90{,}0} = 1{,}28 \frac{kN}{cm^2} < ²_{dop}$$

$$\pm_{,G} = \frac{M_{-}}{I_y} \times (30{,}0 - e_z) = \frac{18662}{25832} \times (30{,}0 - 7{,}5) = 16{,}25 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{III}$$

$$\pm_{,D} = \frac{M_{-}}{I_y} \times (e_z + 2{,}0) = \frac{18662}{25832} \times (7{,}5 + 2{,}0) = 6{,}86 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{dop}^{III}$$

$$\pm_u = \sqrt{\pm_{,G}^{\;2} + 3²^{\;2}} = \sqrt{16{,}25^2 + 3 \times 1{,}28^2} = 16{,}40 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{u,dop}^{III}$$

Контрола напона у шавовима који спајају конзолне лимове са лежишном плочом:

Усвајају се угаони шавови a_w = 5 mm, укупно 6 шавова:

Статички момент лежишне плоче у односу на y-y осу:

$S_{y,p}$ = 40,0 × 2,0 × (7,5 + 1,0) = 680 cm^3

$$V_{II} = \frac{T_{-} \times S_{y,p}}{I_y \times 6 \times a_w} = \frac{34.0 \times 680{,}0}{25832 \times 6 \times 0{,}5} = 0{,}30 \frac{kN}{cm^2}$$

$$n = \frac{T_{-}}{6 \times a_w \times l_w} = \frac{34{,}0}{6 \times 0{,}5 \times 17{,}0} = 0{,}67 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm_u = \sqrt{n^2 + V_{II}^{\;2}} = \sqrt{0{,}67^2 + 0{,}3^2} = 0{,}73 \frac{kN}{cm^2} < \pm_{w,dop}$$

<u>Плочица испод наврткi анкера:</u>

За усвојени анкер М30...5.6 предвиђа се рупа ∅32 у плочици испод навртке анкера. Претпоставља се да ширина ове плочице износи b_p = 120 mm.

$$M = \frac{155{,}1}{2} \times \frac{(\frac{40{,}0 - 18{,}0}{2} - 4{,}0 - 1{,}0) \times (\frac{18{,}0 - 1{,}0}{2})}{14{,}5} = 273 kNcm$$

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6 \times M}{\pm_{dop} \times (b_p - d_1)}} = \sqrt{\frac{6 \times 273{,}0}{18{,}0 \times (12{,}0 - 3{,}2)}} = 3{,}21 cm$$

Усваја се плочица испод навртке анкера састављена од **2 ÷120ò20ò340** које су међусобно по ободу спојене сучеоним U шавом.

t_{pl} = 2 ò 20 = 40 mm

4. Димензионисање спрегова

4.1 Подужни кровни спрег (POS KS1)

С обзиром да у подужним зидовима нису предвиђени секундарни фасадни стубови и да се утицаји од ветра преносе преко фасадних ригли директно на стубове главних везача, подужни кровни спрег нема статичку већ конструктивну улогу. Са тим у складу, димензије елемената ћемо одредити из услова максималне дозвољене виткости:

$$\lambda_{max} = 300$$

Диспозиција спрега дата је на следећој слици:

Системна дужина дијагонале:

$$l = \sqrt{275{,}0^2 + 300^2} = 407cm$$

Усваја се вруће ваљани профил L80×80×8 са минималним полупречником инерције:

$$i_{\xi} = i_{min} = 1{,}55\ cm$$

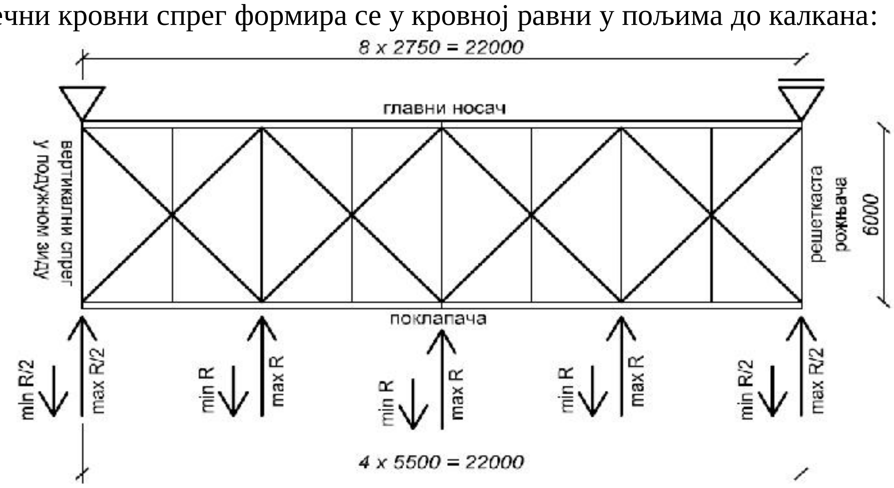
Виткост штапа:

$$\lambda = \frac{l_i}{i_{\xi}} = \frac{1{,}0 \times 407}{1{,}55} = 262{,}6 < 300 = \lambda_{max}$$

Везе у чворовима спрега ће се остварити помоћу **2M12...5.6** и одговарајућих чворних лимова.

4.2 Попречни кровни спрег (POS KS2)

Попречни кровни спрег формира се у кровној равни у пољима до калкана:



4.2.1 Анализа оптерећења

Статички систем спрега је решеткаста проста греда, распона **l = 22,0 m**, за хоризонтално оптерећење ветром на фасаду калканског зида. Хоризонтално оптерећење ветром на попречни кровни спрег делује као оптерећење концентрисаним хоризонталним силама R (реакције фасадних стубова у калкану). Ослоначке реакције попречног кровног спрега примају се преко вертикалног спрега у подужном зиду, односно путем решеткасте кровне рожњаче. Ова рожњача преноси хоризонталну реакцију попречног кровног спрега до вертикалног спрега за ветар и кочење у средњој подужној равни хале.

Максимална хоризонтална реакција калканског стуба **maxR** (за притискујуће дејство ветра споља) износи (тачка 2.5):

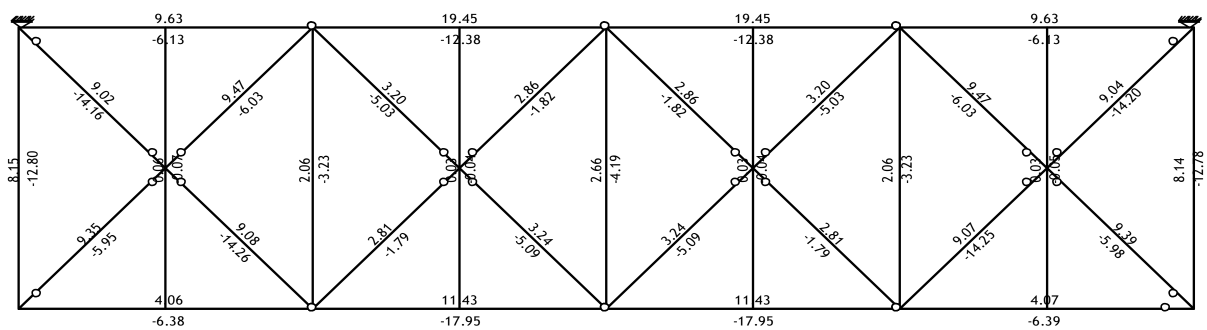
maxR = 11,67 kN

Минимална хоризонтална реакција калканског стуба **minR** (за сишуће дејство ветра споља) износи:

minR = maxR ò 0,7/1,1 = 11,67 ò 0,7/1,1 = 7,43kN

4.2.2 Силе у штаповима спрега

На следећој слици приказани су дијаграми пресечних сила у штаповима спрега:



4.2.3 Димензионисање

а) Дијагонале

Системна дужина дијагонале: **l = 407 cm**

min D = 14,26 kN
max D = 9,47 kN

Меродаван је **ПРВИ** случај оптерећења.
Дужине извијања: $l_{iy} = l_{iz} = 1,0 \times 407,0 = 407$ cm

Усваја се L90x90x9 са следећим карактеристикама:

$i_{min} = i_{\eta} = 1,76$ cm A = 15,50 cm^2

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{407}{1,76} = 231,2 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{231,2}{92,9} = 2,489$$

$\alpha = 0,489$ (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489(2,489 - 0,2) + 2,489^2 = 8,314$$

$$\kappa = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{8,314 + \sqrt{8,314^2 - 4 \times 2,489^2}} = 0,134$$

$$\sigma_{i,dop} = \kappa \times \sigma_{dop} = 0,134 \times 16 = 2,14 \frac{kN}{cm^2}$$

<u>Контрола напона притиска:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{\min D}{A} = \frac{14,26}{16,0} = 0,89 \frac{kN}{cm^2} < 2,14 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

<u>Контрола напона затезања:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{\max D}{A} = \frac{9,47}{16,0} = 0,59 \frac{kN}{cm^2} < 16,0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

б) Вертикале (рожњаче и венчанице, IPE180, POS R)

У ранијој фази прорачуна (тачка 2.7) извршено је димензионисање рожњача оптерећених на савијање око јаче односно око слабије осе инерције. Међутим, како рожњаче и венчанице ”раде” и као делови попречног кровног спрега POS KS2, то је потребно извршити контролу ексцентричног притиска ових елемената, јер су они истовремено изложени притиску и савијању.

Највећа сила притиска у рожњачи износи: **min R = 4,19 kN**

Међутим, при деловању ветра на калканску конструкцију, ветар истовремено делује и на кровну раван, врши одизање и растерећује рожњачу од вертикалног оптерећења. Ову повољност ћемо узети у обзир преко коефицијента редукције, кога ћемо сада срачунати:

Вертикално оптерећење рожњаче: g + s = 0,50 + 1,00 = 1,50 kN/m^2

Минимално сишуће дејство ветра: w = 0,44 × (-0,5 + 0,2) = -0,132 kN/m^2

$$k_{red} = \frac{g + s + w}{g + s} = \frac{1,50 - 0,132}{1,50} = 0,912$$

Утицаји у рожњачи (у крајњем пољу континуалног носача) сада износе:

$M_{y,e} = k_{red} \times M_{y,e} = 0,912 \times 13,42 = 12,24$ kNm
$M_{z,e} = 0,37$ kNm
N = 4,19 kN

На основу ових утицаја извршићемо контролу ексцентрично притиснуте рожњаче:

$\theta = 1,748$ (раније срачунато)
Меродаван је **ДРУГИ** случај оптерећења.

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 треба да буде задовољен следећи услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \beta \times \sigma_{My} + k_{mz} \times \sigma_{Mz} \le \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: l_z = 300 cm
Размак виљушкастих ослонаца: l_T = 600 cm

κ_y = 0,206 (крива извијања A)
κ_z = 0,339 (крива извијања B)

$\sigma_N = N_{max}/A = 4{,}19/23{,}9 = 0{,}175$ kN/cm^2

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_N}{\sigma_{dop}} = \frac{0{,}175}{18{,}0} = 0{,}0097$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\kappa_y \times (\bar{\lambda}_y - 0{,}2)}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0{,}206 \times (0{,}870 - 0{,}2)}{1 - 0{,}870^2 \times 0{,}0097} = 1{,}139$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\kappa_z \times (\bar{\lambda}_z - 0{,}2)}{1 - \bar{\lambda}_z^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0{,}339 \times (1{,}575 - 0{,}2)}{1 - 1{,}575^2 \times 0{,}0097} = 1{,}478$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1{,}139; 1{,}478\} = 1{,}478$

$$k_{my} = \frac{\beta_y}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = \frac{1{,}00}{1 - 0{,}870^2 \times 0{,}0097} = 1{,}007$$

$$k_{mz} = \frac{\beta_z}{1 - \bar{\lambda}_z^2 \times \bar{\sigma}} = \frac{1{,}00}{1 - 1{,}575^2 \times 0{,}0097} = 1{,}317$$

Контрола услова из JUS U.E7.096:

$$1{,}478 \times 0{,}175 + 1{,}007 \times 1{,}748 \times \frac{12{,}24 \times 100}{146} + 1{,}317 \times \frac{0{,}37 \times 100}{22{,}2} = 17{,}21 \frac{kN}{cm^2} < 18{,}0 \frac{kN}{cm^2}$$

в) Појасни штап (поклапача POS P, HEA140)

У ранијој фази прорачуна (тачка 2.2) извршено је димензионисање поклапаче калканског зида, оптерећене на савијање око јаче осе инерције. Међутим, како поклапача ”ради” и као део попречног кровног спрега, то је потребно извршити контролу ексцентричног притиска, јер је поклапача истовремено изложена притиску и савијању.

Највећа сила притиска у рожњачи износи: **min P = 17,95 kN**

Међутим, при деловању ветра на калканску конструкцију, ветар истовремено делује и на кровну раван, врши одизање и растерећује поклапачу од вертикалног оптерећења. Ову повољност ћемо узети у обзир преко коефицијента редукције, кога ћемо сада срачунати:

Вертикално оптерећење поклапаче: g + s = 0,60 + 1,00 = 1,60 kN/m^2
Минимално сишуће дејство ветра: w = 0,44 × (-0,5 + 0,2) = -0,132 kN/m^2

$$k_{red} = \frac{g + s + w}{g + s} = \frac{1{,}60 - 0{,}132}{1{,}60} = 0{,}918$$

Утицаји у рожњачи (у крајњем пољу континуалног носача) сада износе:

$M_{y,e} = k_{red} \times M_{y,e} = 0,918 \times 18,15 = 16,66$ kNm
$N = 17,95$ kN

На основу ових утицаја извршићемо контролу ексцентрично притиснуте поклапаче:

$\theta = 24,0/22,72 = 1,056$

Меродаван је **ДРУГИ** случај оптерећења.

Сходно тачки 3.2.1 JUS U.E7.096 (нема савијања око слабије z-z осе) треба да буде задовољен следећи услов:

$$k_{ny(z)} \times \sigma_N + k_{my} \times \theta \times \sigma_{My} \le \sigma_{dop}$$

Размак тачака бочног придржавања: $l_z = 275$ cm
Размак виљушкастих ослонаца: $l_T = 550$ cm

$\chi_y = 0,339$ (крива извијања B)
$\chi_z = 0,489$ (крива извијања C)

$\sigma_N = N_{max}/A = 17,95/31,4 = 0,572$ kN/cm^2

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma_N}{\sigma_{dop}} = \frac{0,572}{18,0} = 0,0318$$

$$\lambda_y = \frac{l_{iy}}{i_y} = \frac{550}{5,73} = 95,99 \rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{95,99}{92,9} = 1,033$$

$$\lambda_z = \frac{l_{iz}}{i_z} = \frac{275}{3,52} = 78,12 \rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{78,12}{92,9} = 0,841$$

$$k_{ny} = 1 + \frac{\chi_y \times (\bar{\lambda}_y - 0,2)}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0,339 \times (1,033 - 0,2)}{1 - 1,033^2 \times 0,0318} = 1,292$$

$$k_{nz} = 1 + \frac{\chi_z \times (\bar{\lambda}_z - 0,2)}{1 - \bar{\lambda}_z^2 \times \bar{\sigma}} = 1 + \frac{0,489 \times (0,841 - 0,2)}{1 - 0,841^2 \times 0,0318} = 1,321$$

Усвојено: $k_n = \max\{k_{ny}; k_{nz}\} = \max\{1,292; 1,321\} = 1,321$

$$k_{my} = \frac{\beta_y}{1 - \bar{\lambda}_y^2 \times \bar{\sigma}} = \frac{1,00}{1 - 0,841^2 \times 0,0318} = 1,290$$

<u>Контрола услова из JUS U.E7.096:</u>

$$1,321 \times 0,572 + 1,056 \times 1,290 \times \frac{16,66 \times 100}{155} = 15,40 \frac{kN}{cm^2} < 18,0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

в) Појасни штап (горњи појас решетке POS GN, HOP 140x140x5)

У ранијој фази прорачуна (тачка 3.1.3) извршено је димензионисање горњег појаса решетке. Међутим, како штапови горњег појаса ”раде” и као део попречног кровног спрега, то је потребно проверити колико се мења сила у штаповима решетке услед дејства ветра.

Највећа сила притиска у горњем појасу, услед ветра износи: **min P = 12,38 kN**

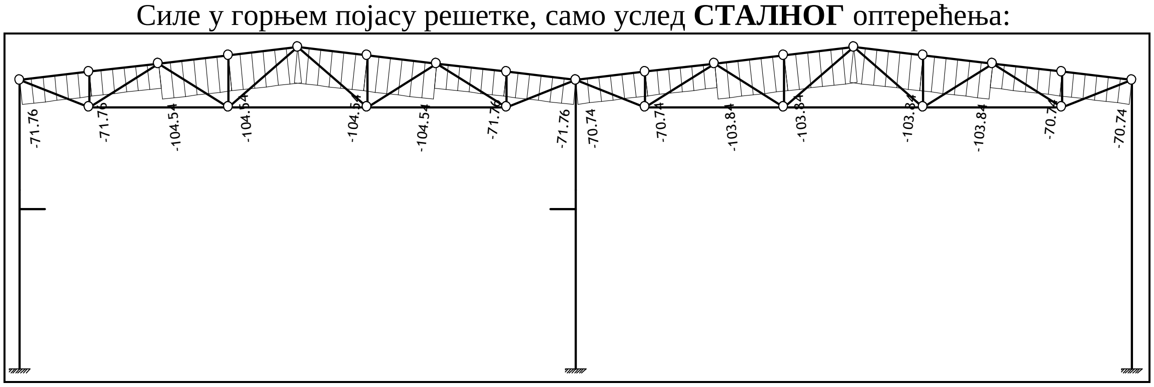
Међутим, при деловању ветра на калканску конструкцију, ветар истовремено делује и на кровну раван, врши одизање и растерећује решетку од вертикалног оптерећења. Ову повољност ћемо узети у обзир преко коефицијента редукције, кога ћемо сада срачунати:

Вертикално оптерећење решетке: g + s = 0,60 + 1,00 = 1,60 kN/m^2

Минимално сишуће дејство ветра: w = 0,44 × (-0,5 + 0,2) = -0,132 kN/m^2

$$k_{red} = \frac{g+s+w}{g+s} = \frac{1{,}60 - 0{,}132}{1{,}60} = 0{,}918$$

Силе у горњем појасу решетке, само услед **СТАЛНОГ** оптерећења:



Максимална сила притиска у горњем појасу, услед сталног оптерећења износи:

max P_g = k_{red} × max P_g = 0,918 × 104,54 = 95,97 kN

P_{spreg} = 12,38 kN

Укупна сила у горњем појасу решетке износи**:** **P_g + P_{spreg} = 95,97 + 12,38 = 108,35 kN**

Ова сила је приближно једнака ”старој” сили услед **сталног** оптерећења, тако да се слика утицаја у штаповима горњег појаса не мења значајно. Са тим у складу закључујемо да ће раније усвојено решење горњег појаса бити у стању да прихвати и утицаје услед ”рада” горњег појаса решетке у оквиру попречног кровног спрега.

4.3 Спрег за бочне ударе (POS SBU)

4.3.1 Пресечне силе

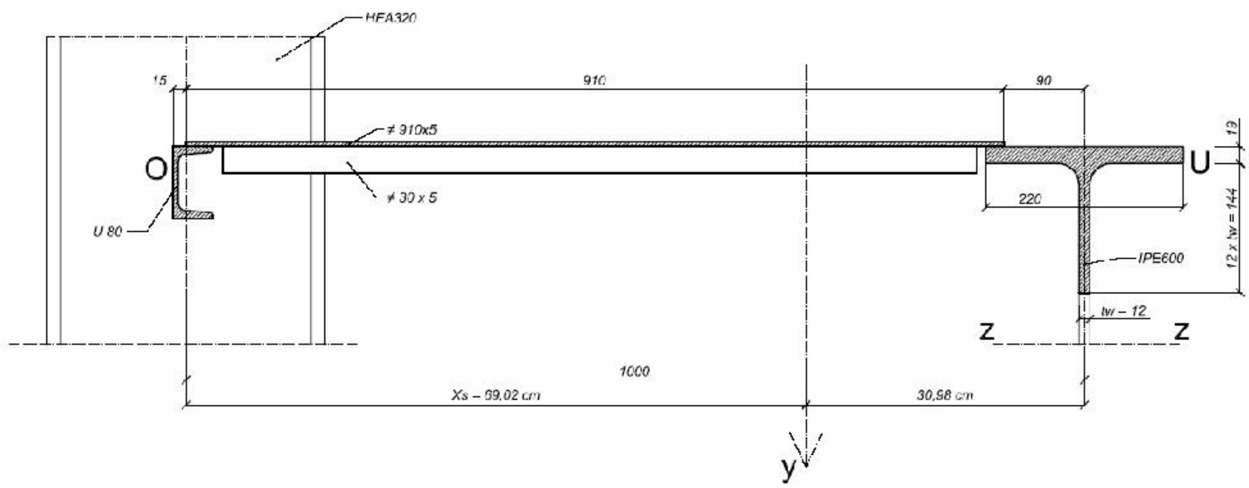
За усвојену мостну дизалицу силе бочних удара износе: **$P_{bu,max}$ = 24,60 kN**

Максимална вредност момента савијања у спрегу услед силе бочних удара дизалице:

M_{max} = 24,60 ò 1,50 = 36,90 kNm (из утицајне линије)

4.3.2 Димензионисање спрега

Попречни пресек спрега приказан је на следећој слици:



Спољни појас спрега	U80	11,0 cm^2
Ребро спрега	≠ 910 x 5	45,5 cm^2
Унутрашњи појас спрега – ножица носача дизалице IPE600		41,8 cm^2
Унутрашњи појас спрега – ребро носача дизалице IPE600		17,28 cm^2
	УКУПНО:	**115,58 cm^2**

$$z_s = \frac{11{,}0 \times (-0{,}05) + 45{,}5 \times 45{,}5 + (41{,}8 + 17{,}28) \times 100}{115{,}58} = 69{,}02cm$$

$$I_y = 19{,}4 + 11{,}0 \times 69{,}07^2 + \frac{0{,}5 \times 91{,}0^3}{12} + 45{,}5 \times 23{,}52^2 + \frac{1{,}9 \times 22{,}0^3}{12} +$$

$$+ 41{,}8 \times 30{,}98^2 + \frac{14{,}4 \times 1{,}2^3}{12} + 17{,}28 \times 30{,}98^2$$

$$I_y = 167456cm^4$$

$$W^O = \frac{167456}{69{,}02 + 1{,}5} = 2375cm^3$$

$$W^U = \frac{167456}{30{,}98 + 11{,}0} = 3989cm^3$$

Напони у спрегу услед бочних удара:

$$\pm^O = \frac{\max M}{W^O} = \frac{36{,}9 \times 100}{2375} = 1{,}55\frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm^U = \frac{\max M}{W^U} = \frac{36{,}9 \times 100}{3989} = 0{,}93\frac{kN}{cm^2}$$

Ове напоне треба суперпонирати са напонима у ивичном влакну горњег појаса носача дизалице (тачка ”U”) при савијању око јаче осе инерције услед вертикалних оптерећења притисцима точкова мостне дизалице и услед сталног оптерећења. При контроли опвих напона (види страну 25.) добијено је:

$$\pm_u = 11{,}68 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\pm = \pm_u + \pm^U = 11{,}68 + 0{,}93 = 12{,}61 \frac{kN}{cm^2} < 18{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \pm_{u,dop}^{II}$$

4.4 Вертикални спрегови

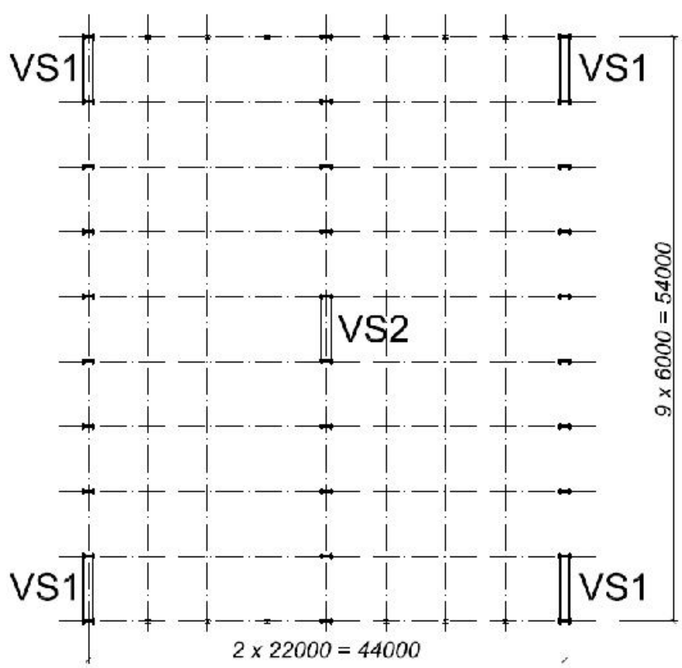
Функција вертикалних спрегова је пријем хоризонталних утицаја од ветра, сеизмике и сила кочења мостне дизалице, у подужном правцу хале.

Утицаји од ветра уносе се у вертикалне спрегове у виду концентрисаних сила у врховима спрегова (одговарајуће реакције попречних кровних спрегова, које су раније срачунате).

Утицаји од сеизмике су пропорционални припадајућој маси конструкције која ”отпада” на одговарајуће вертикалне спрегове, и уносе се у спрегове у виду концентрисаних сила у врховима спрегова. При прорачуну меродавне масе конструкције претпостављамо да је маса на коју ће деловати сеизмичка сила сконцентрисана у нивоу венца објекта, и да се ради о маси горње половине објекта.

Силе кочења прихватају се вертикалним спрегом у средњој подужној равни хале (**POS VS2**), и уносе се у спрег у виду одговарајуће концентрисане силе у нивоу носача дизалице.

Распоред вертикалних спрегова у основи хале је приказан на следећој слици:



4.4.1 Анализа оптерећења

Сеизмичка сила у подужном правцу коју прихвата спрег **POS VS1**:

$S_1 = \pm K_2 \text{ x } m_k \text{ x } B/4 \text{ x } \Sigma l/2 = \pm 0,065 \text{ x } 1,8045 \text{ x } 44,0/4 \text{ x } 54,0/2$

S_1 = ï 34,8 kN

Сеизмичка сила у подужном правцу коју прихвата спрег **POS VS2**:

$S_2 = \pm K_2 \text{ x } m_k \text{ x } B/2 \text{ x } \Sigma l = \pm 0,065 \text{ x } 1,8045 \text{ x } 44,0/2 \text{ x } 54,0$

S_2 = ï 139,3 kN

Реакција попречног кровног спрега коју прихвата спрег **POS VS1**:

$W_{1,max}$ = 23,34 kN

$W_{1,min}$ = -14,85 kN

Реакција попречног кровног спрега коју прихвата спрег **POS VS2**:

$W_{2,max}$ = 46,68 kN

$W_{2,min}$ = -29,70 kN

Сила кочења коју прихвата спрег **POS VS2**:

P_k = 57,0 kN

4.4.2 Еквивалентни коефицијенти сигурности

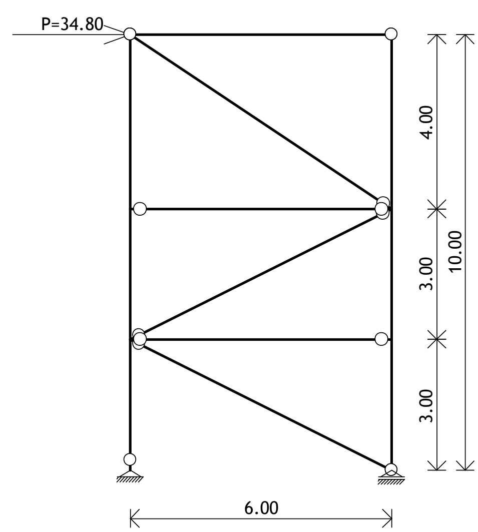
- За комбинације са ветром $\upsilon^{I} = 1,50$
- За комбинације са сеизмиком $\upsilon^{III} = 1,20$

$S_1/W_{1,max} = 34,8/23,34 = 1,491 > 1,250 = 1,50/1,20 = \upsilon^{I}/\upsilon^{III}$

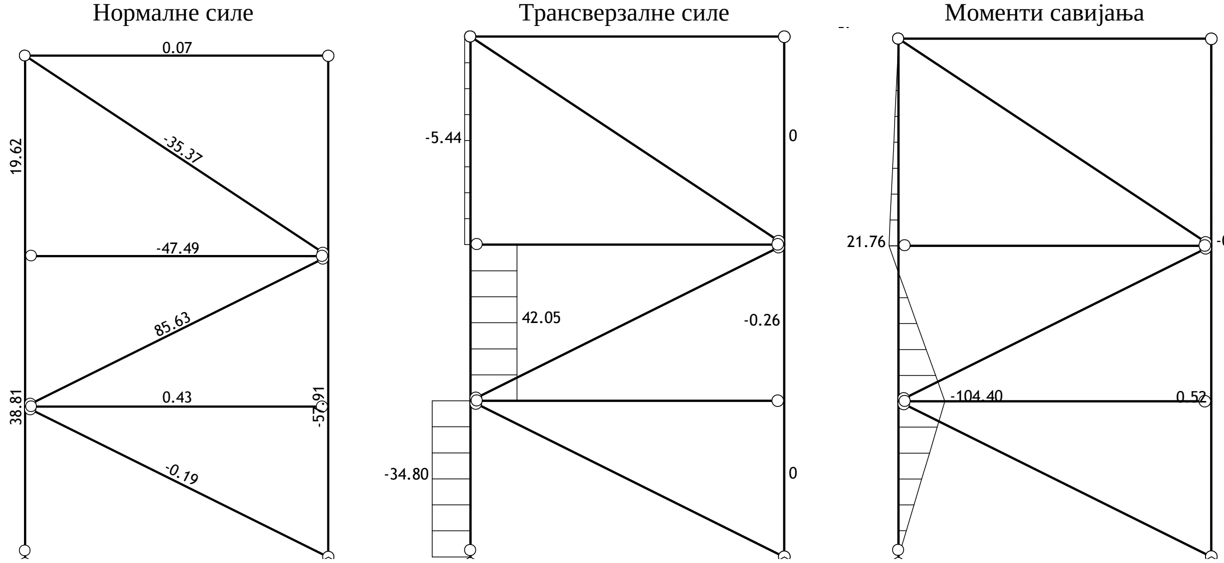
$S_2/W_{2,max} = 139,3/46,68 = 2,984 > 1,250 = 1,50/1,20 = \upsilon^{I}/\upsilon^{III}$

За димензионисање спрегова је меродавно сеизмичко оптерећење, па ветар неће бити разматран при анализи. Меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.

4.4.3 Димензионисање спрега **POS VS1**



Дијаграми пресечних сила у штаповима спрега (утицаји у штаповима су алтернативног знака због природе сеизмичког оптерећења):



Меродаван штап за димензионисање спрега **POS VS1** је **притиснута дијагонала**:

N_{min} = 85,63kN
Меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.
Максималне дужине извијања: $l_{iy,max} = l_{iz,max}$ = 721 cm

Усваја се HOP 120x120x5 са следећим карактеристикама:

$i_y = i_z = 4{,}68$ cm $\qquad A = 22{,}67\ cm^2$

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{721}{4{,}68} = 154{,}06 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{154{,}06}{92{,}9} = 1{,}658$$

α = 0,489 (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0{,}489(1{,}658 - 0{,}2) + 1{,}658^2 = 4{,}463$$

$$\chi = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{4{,}463 + \sqrt{4{,}463^2 - 4 \times 1{,}658^2}} = 0{,}268$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \times \sigma_{dop} = 0{,}268 \times 20{,}0 = 5{,}36 \frac{kN}{cm^2}$$

<u>Контрола напона:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{85{,}63}{22{,}67} = 3{,}78 \frac{kN}{cm^2} < 5{,}36 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

<u>Контрола напона у затегнутој дијагонали:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{85{,}63}{22{,}67} = 3{,}78 \frac{kN}{cm^2} < 20{,}0 \frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

Контрола напона у притиснутој хоризонтали спрега:

N_{min} = 47,49kN
Меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.
Максималне дужине извијања: $l_{iy,max} = l_{iz,max} = 600$ cm

Усваја се НОР 100x100x4 са следећим карактеристикама:

$i_y = i_z = 3{,}89$ cm A = 14,95 cm^2

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{600}{3{,}89} = 154{,}24 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{154{,}24}{92{,}9} = 1{,}660$$

$\alpha = 0{,}489$ (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0{,}489(1{,}660 - 0{,}2) + 1{,}660^2 = 4{,}470$$

$$\kappa = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{4{,}470 + \sqrt{4{,}470^2 - 4 \times 1{,}660^2}} = 0{,}199$$

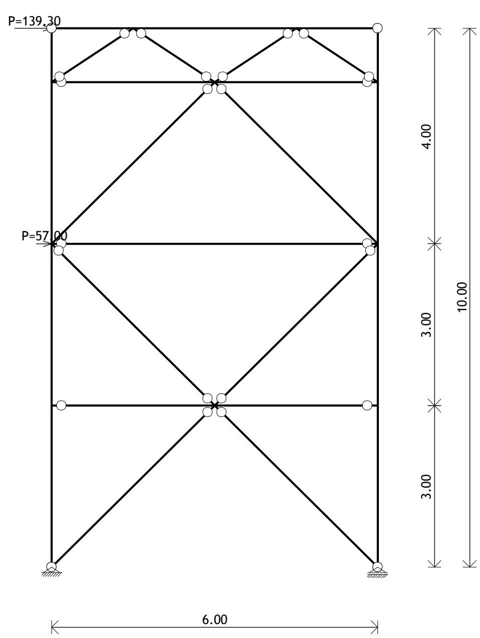
$$\sigma_{i,dop} = \kappa \times \sigma_{dop} = 0{,}199 \times 20{,}0 = 3{,}98\frac{kN}{cm^2}$$

Контрола напона:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{47{,}49}{14{,}95} = 3{,}18\frac{kN}{cm^2} < 3{,}98\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

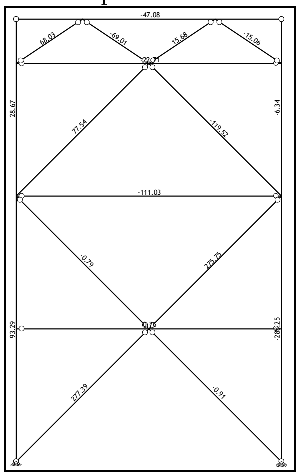
Од значаја је још да се напомене да се деловањем овог спрега уносе значајне пресечне силе у угаони стуб у калкану (пре свега моменти савијања). Међутим, већ раније је показано да су ови стубови двоструко мање оптерећени него стубови у главним попречним рамовима хале, тако да они поседују велику резерву носивости, која ће свакако бити довољна за прихватање додатних утицаја од "рада" стуба у оквиру вертикалног спрега **POS VS1**.

4.4.4 Димензионисање спрега **POS VS2**

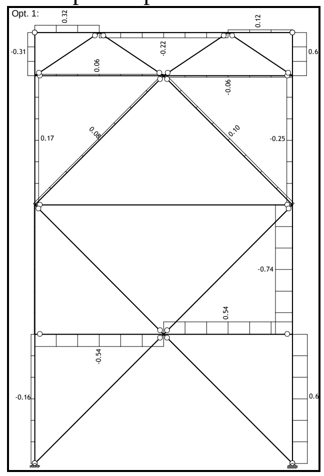


Дијаграми пресечних сила у штаповима спрега (утицаји у штаповима су алтернативног знака због природе сеизмичког оптерећења и сила од кочења):

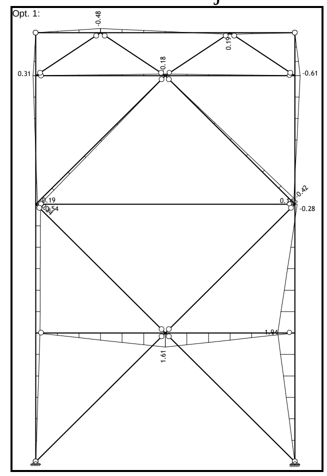
Нормалне силе



Трансверзалне силе



Моменти савијања



Меродаван штап за димензионисање спрега је **притиснута дијагонала**:

N_{min} = 275,75 kN
Меродаван је **ТРЕЋИ** случај оптерећења.
Максималне дужине извијања: $l_{iy,max} = l_{iz,max} = 424$ cm

Усваја се HOP 120x120x5,6 са следећим карактеристикама:

$i_y = i_z = 4,65$ cm $A = 25,22\ cm^2$

$$\lambda_{max} = \frac{l_i}{i_{min}} = \frac{424}{4,65} = 91,18 \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\lambda_{max}}{\lambda_v} = \frac{91,18}{92,9} = 0,982$$

$\alpha = 0,489$ (крива извијања C)

$$\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 = 1 + 0,489(0,982 - 0,2) + 0,982^2 = 2,346$$

$$\chi = \frac{2}{\beta + \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}} = \frac{2}{2,346 + \sqrt{2,346^2 - 4 \times 0,982^2}} = 0,551$$

$$\sigma_{i,dop} = \chi \times \sigma_{dop} = 0,551 \times 20,0 = 11,02\frac{kN}{cm^2}$$

<u>Контрола напона:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{275,75}{25,22} = 10,93\frac{kN}{cm^2} < 11,02\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{i,dop}$$

<u>Контрола напона у затегнутој дијагонали:</u>

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{275,75}{25,22} = 10,93\frac{kN}{cm^2} < 20,0\frac{kN}{cm^2} = \sigma_{dop}$$

За све штапове спрега усваја се попречни пресек **HOP 120x120x5,6**. Такође се исто решење усваја и за **спрег за кочење** (**POS SK**) у крајњим подужним зидовима хале. Треба напоменути да се деловањем вертикалног спрега **POS VS2** у средњој подужној равни хале уносе значајне пресечне силе у главне стубове У СРЕДИНИ **POS GS2** (пре свега аксијалне силе, остале силе су занемарљиво мале). Раније је показано да у овим стубовима постоји значајна резерва носивости, која ће бити довољна за прихватање додатних утицаја од ”рада” стуба у оквиру вертикалног спрега **POS VS2**. Проблем би могао да настане у димензионисању темељне спојнице, јер се радом овог спрега уносе додатне силе у лежишну плочу, али овај проблем је аналоган решавању темељне спојнице које је извршено у ранијем делу овог Пројекта. Такође, пожељно је проверити и ”рад” решеткасте рожњаче у средњој подужној равни хале у оквиру овог спрега.

5. Литература

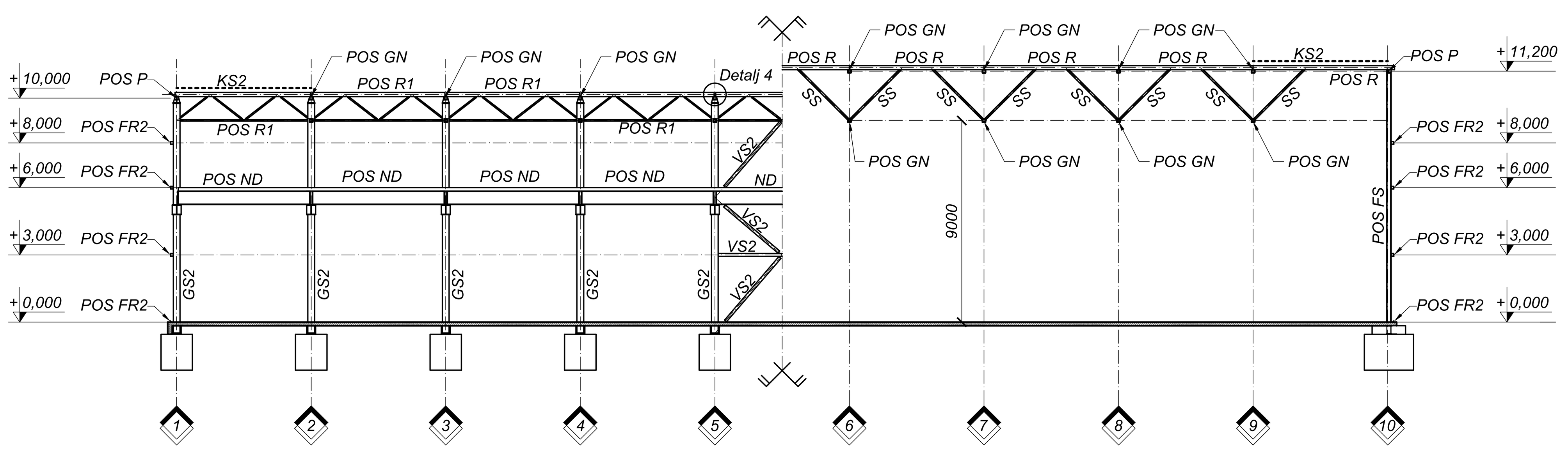
1) др Бранко Зарић, др Драган Буђевац, др Братислав Стипанић: Челичне конструкције у грађевинарству, Грађевинска књига, Београд, 2007.

2) др Драган Буђевац, др Златко Марковић, мр Драгана Чукић, мр Драгослав Тошић: Металне конструкције, Грађевинска књига, Београд, 2007.

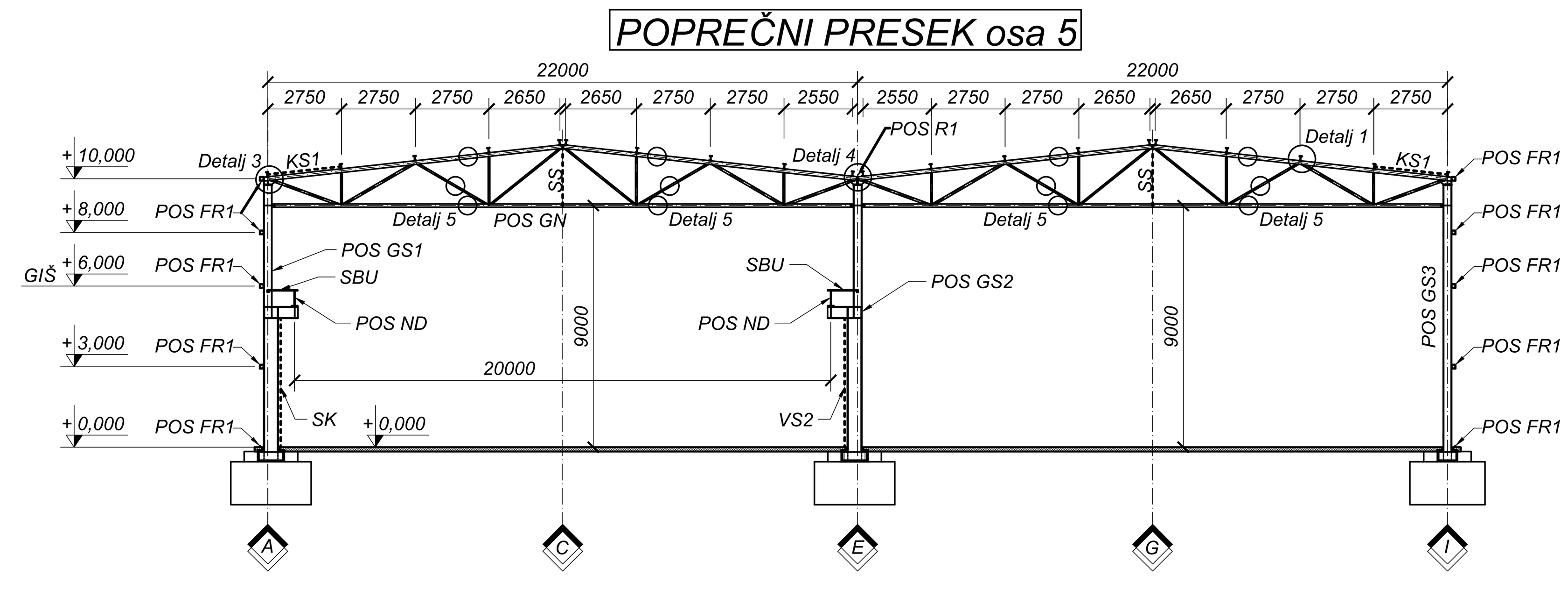
3) др Драган Буђевац: Металне конструкције у зградарству, Грађевинска књига, Београд, 2006,

4) Строителные нормы и правила II-23-81*, Москва, 2004.

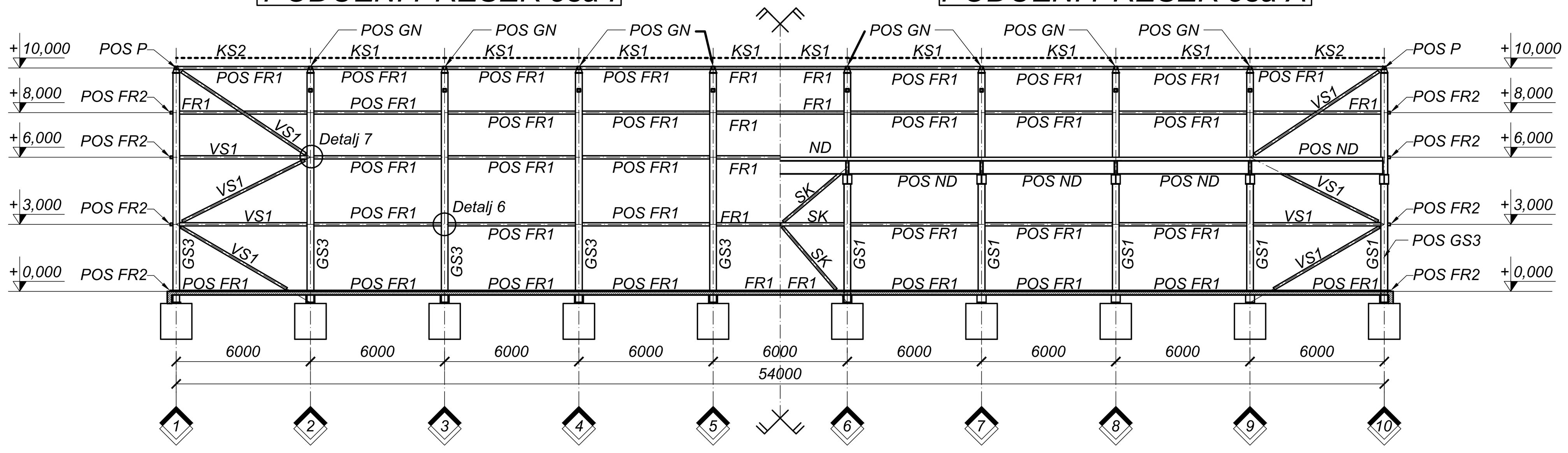
PODUŽNI PRESEK osa E · PODUŽNI PRESEK ose C i G



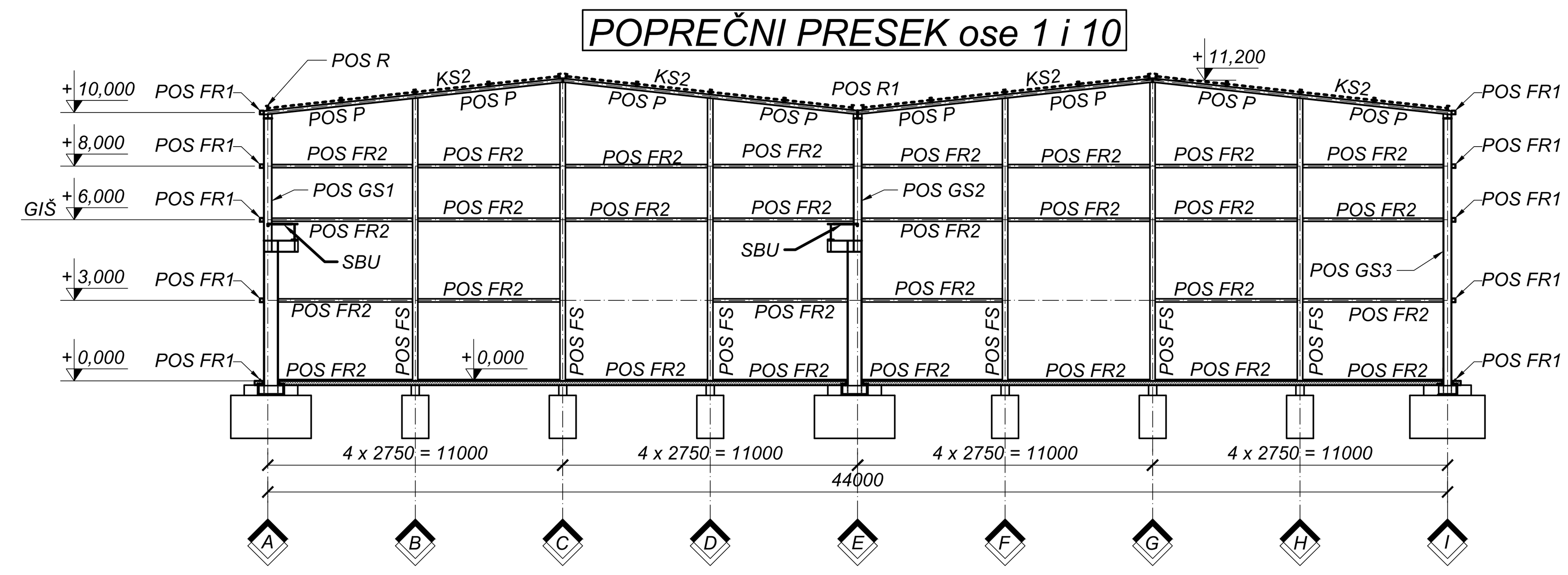
POPREČNI PRESEK osa 5



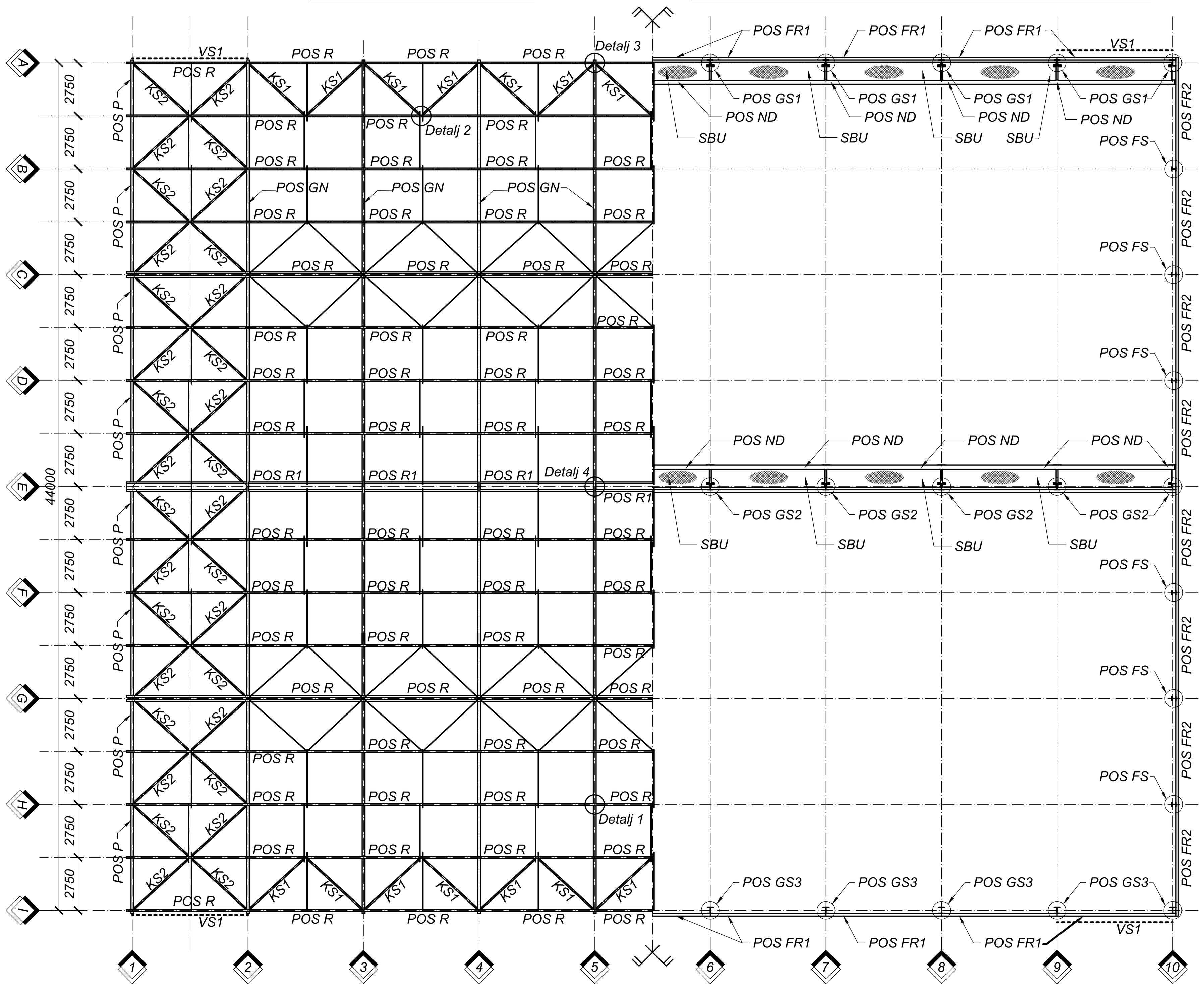
PODUŽNI PRESEK osa I · PODUŽNI PRESEK osa A



POPREČNI PRESEK ose 1 i 10



OSNOVA KROVA · OSNOVA NA KOTI GIŠ-A (+6,000 m)



ORJENTACIONA SPECIFIKACIJA MATERIJALA (komada 1)

- važi uz crtež dispozicije -

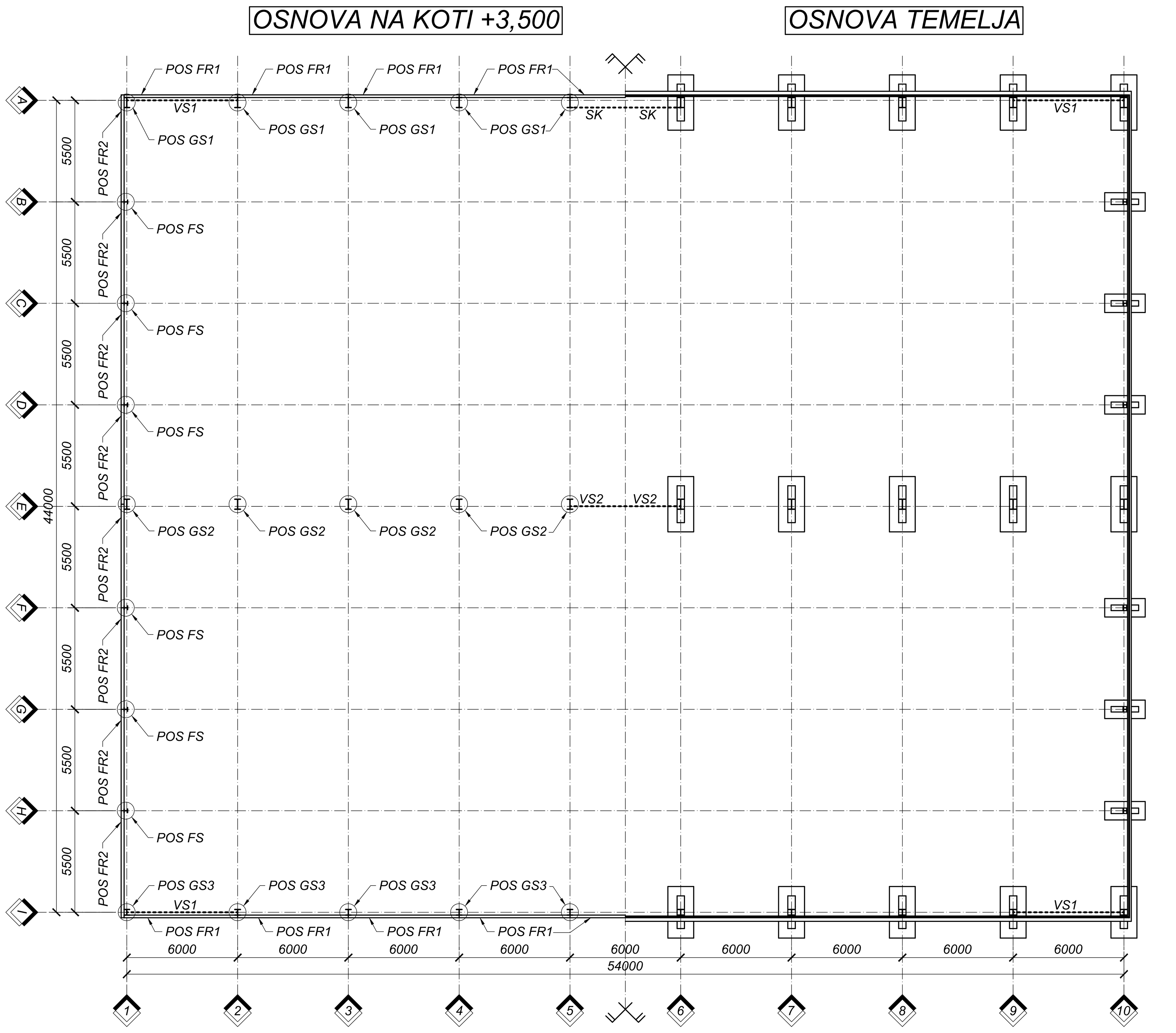
r. br.	P O S	materijal	kom.	tip	dimenzije elementa [mm] širina	debljina (zida)	dužina	po m' ili m² [kg]	za 1 komad	ukupno
1	POS R - rožnjače	S235	18	IPE180			54000	18,80	1015,20	18273,60
2	POS R1 - gornji pojas	S235	9	2 x IPE180			6000	37,60	225,60	2030,40
3	POS R1 - ispuna	S235	36	□60x60x4			1415	6,71	9,49	341,81
4	POS R1 - donji pojas	S235	9	□60x60x4			6000	6,71	40,26	362,34
5	Zatege u krovu	S235	164	Ø 10			6000	0,63	3,77	618,27
6	POS P - poklapača	S235	16	HEA140			5500	24,70	135,85	2173,60
7	POS GN - gornji pojas	S235	16	□140x140x5			22130	20,94	463,40	7414,40
8	POS GN - donji pojas	S235	16	□120x120x4			22000	14,41	317,02	5072,32
9	POS GN - ispuna 1	S235	16	□100x80x4			12216	10,60	129,49	2071,84
10	POS GN - ispuna 2	S235	16	□80x60x3			19808	6,13	121,42	1942,72
11	POS GS1 - donji deo	S235	10	HEA550			5800	166,00	962,80	9628,00
12	POS GS1 - gornji deo	S235	10	HEA320			4700	97,60	458,72	4587,20
13	POS GS2 - donji deo	S235	10	HEA550			5800	166,00	962,80	9628,00
14	POS GS2 - gornji deo	S235	10	HEA320			4700	97,60	458,72	4587,20
15	POS GS3	S235	10	HEA320			10500	97,60	1024,80	10248,00
16	POS FS	S235	8	HEA200			11100	42,30	469,53	3756,24
17	POS FS u sredini	S235	4	HEA200			11700	42,30	494,91	1979,64
18	POS FR1	S235	72	□140x140x4			6000	16,92	101,52	7309,44
19	POS FR1 na sokli	S235	18	L50x50x5			6000	3,77	22,62	407,16
20	POS FR2	S235	44	□120x120x4,5			5500	16,12	88,66	3901,04
21	POS FR2 na sokli	S235	16	L50x50x5			5500	3,77	20,74	331,76
22	POS ND - nosač	S235	18	IPE600			6000	122,00	732,00	13176,00
23	POS ND - šina	S235	18	šina tip 49			6000	49,43	296,58	5338,44
24	konzole stubova	S235	18	≠	400	10	740	32,00	23,68	426,24
25	POS KS1 - dijagonale	S235	28	L80x80x8			4070	9,66	39,32	1100,85
26	POS SBU - lim	S235	18	≠	910	5	6000	36,40	218,40	3931,20
27	POS SBU - pojas	S235	18	U80			6000	8,64	51,84	933,12
28	POS KS2 - dijagonale	S235	64	L90x90x9			4070	12,20	49,65	3177,86
29	POS VS1 - dijagonale	S235	12	□120x120x5			7210	17,80	128,34	1540,06
30	POS VS1 - horizontale	S235	12	□100x100x4			6000	11,73	70,38	844,56
31	POS VS2 - dijagonale 1	S235	4	□120x120x5,6			3605	19,80	71,38	285,52
32	POS VS2 - dijagonale 2	S235	4	□120x120x5,6			4240	19,80	83,95	335,80
33	POS VS2 - horizontale	S235	3	□120x120x5,6			6000	19,80	118,80	356,40
34	POS SK - dijagonale	S235	8	□120x120x5,6			4240	19,80	83,95	671,60
35	POS SK - horizontale	S235	2	□120x120x5,6			6000	19,80	118,80	237,60
36	POS SS - kosnici	S235	32	L70x70x7			3110	7,38	22,95	734,46

ukupno: 129 754,69 kg

procenjeni konstruktivni faktor (za čvorne limove, ankere, spojna sredstva, čeone ploče itd...) **ukupno + 10 %: 142 730,00 kg**

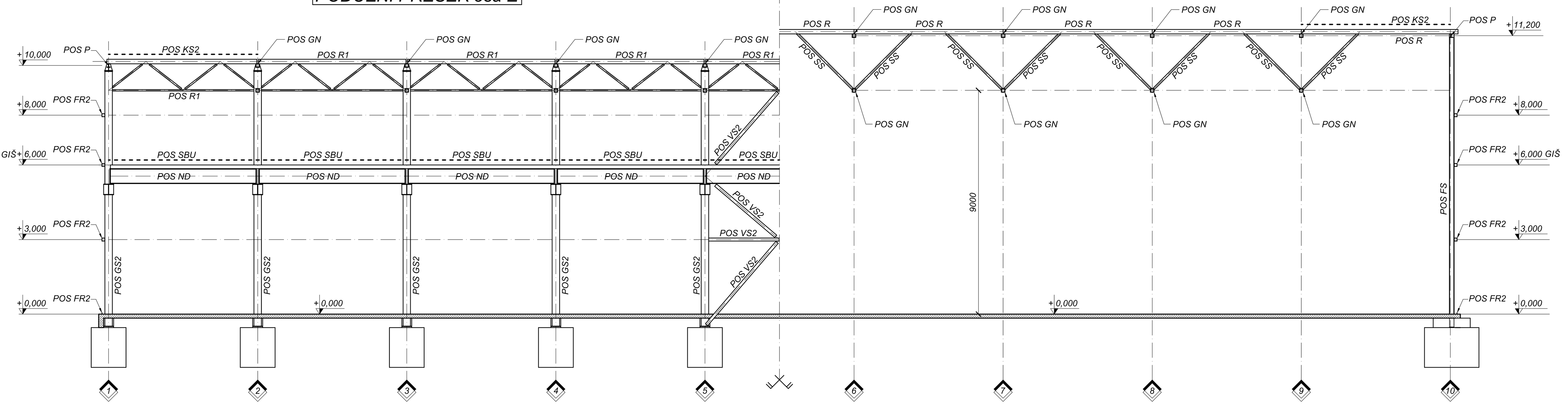
površina: 44,0 x 54,0 = 2376,0 m² **ukupno kg/m²:** 60,1
zapremina: 2376,0 x (10,0 + 11,2)/2 =25185,6 m³ **ukupno kg/m³:** 5,67

OSNOVA NA KOTI +3,500 · OSNOVA TEMELJA

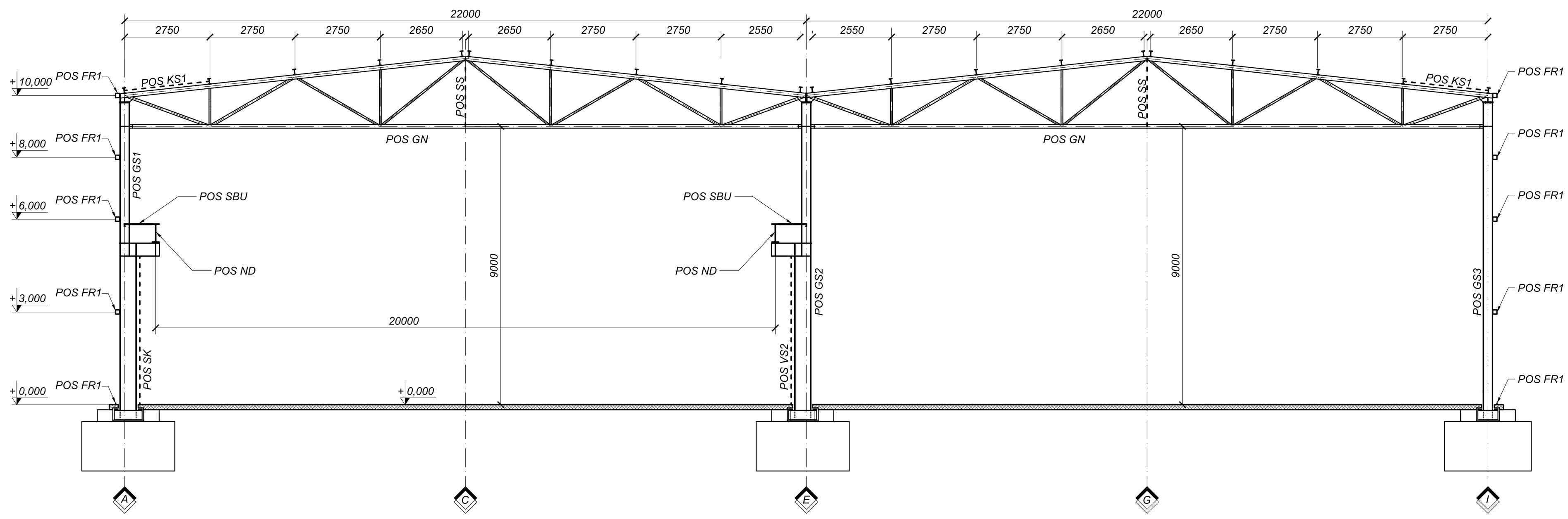


GRAĐEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU	
ODSEK ZA KONSTRUKCIJE	KATEDRA ZA MATERIJALE I KONSTRUKCIJE
S I N T E Z N I P R O J E K A T	
PREDMETNI PROFESOR : **dr DRAGAN BUĐEVAC**	OVERA :
KANDIDAT : **MIROSLAV MARJANOVIĆ**	
ASISTENT : **mr JELENA DOBRIĆ**	OVERA :
INDEKS : **47 / 05**	
DISPOZICIJA DVOBRODNE INDUSTRIJSKE HALE	
RAZMERA : 1:200	FORMAT : 841x720
DATUM : 02.07.2009.	BROJ CRTEŽA : 1
ŠKOLSKA GODINA : 2008 / 2009.	

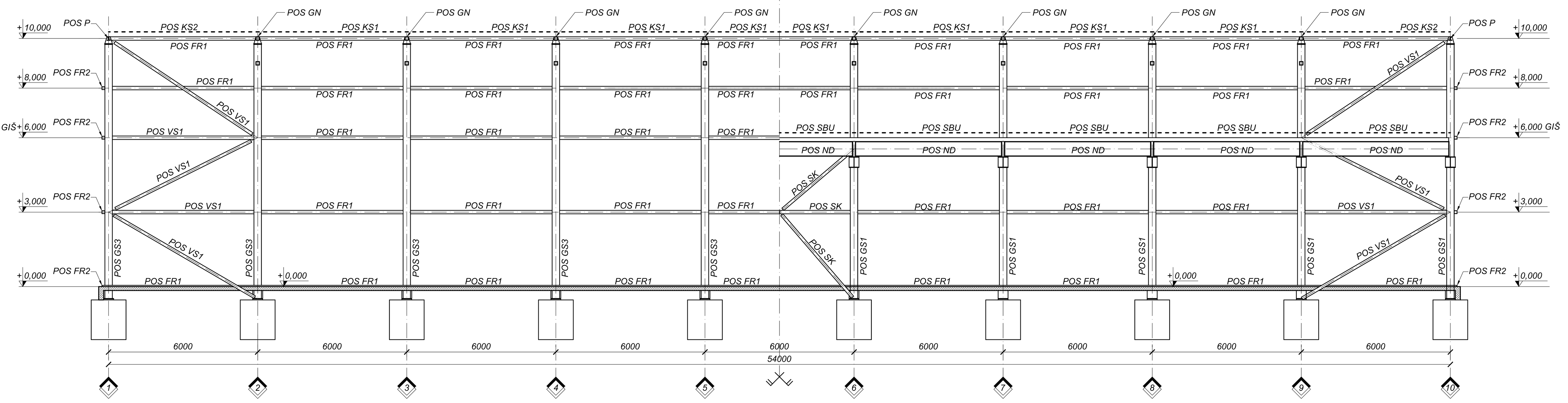
PODUŽNI PRESEK osa E — PODUŽNI PRESEK ose C i G



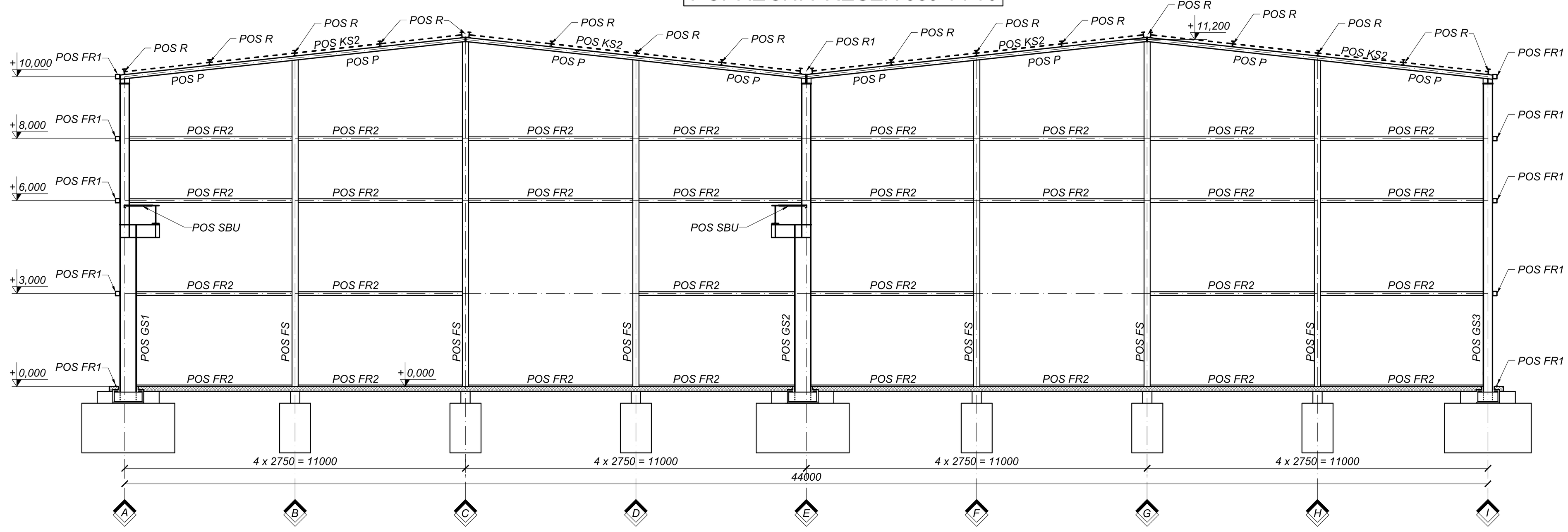
POPREČNI PRESEK osa 5



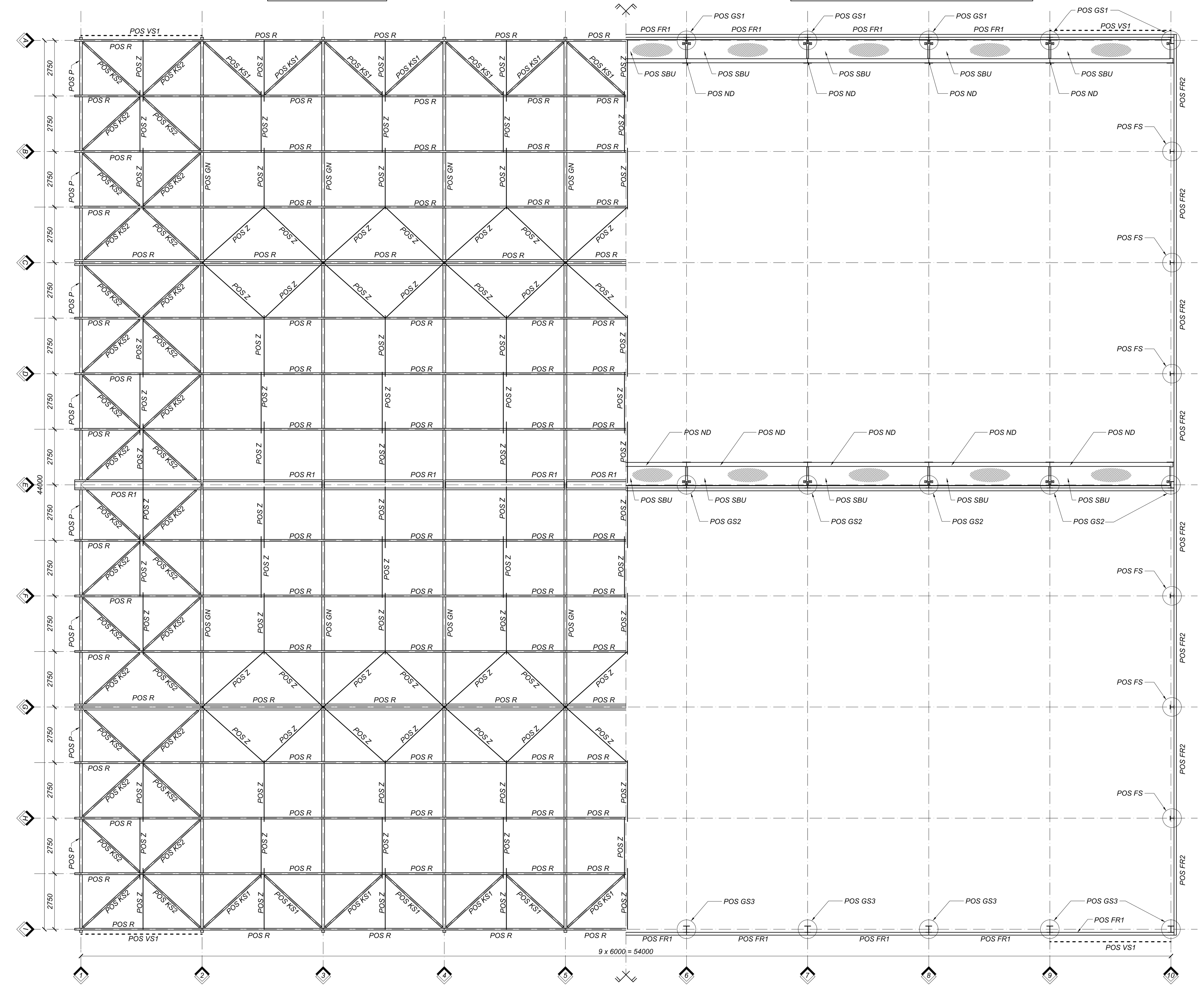
PODUŽNI PRESEK osa I — PODUŽNI PRESEK osa A



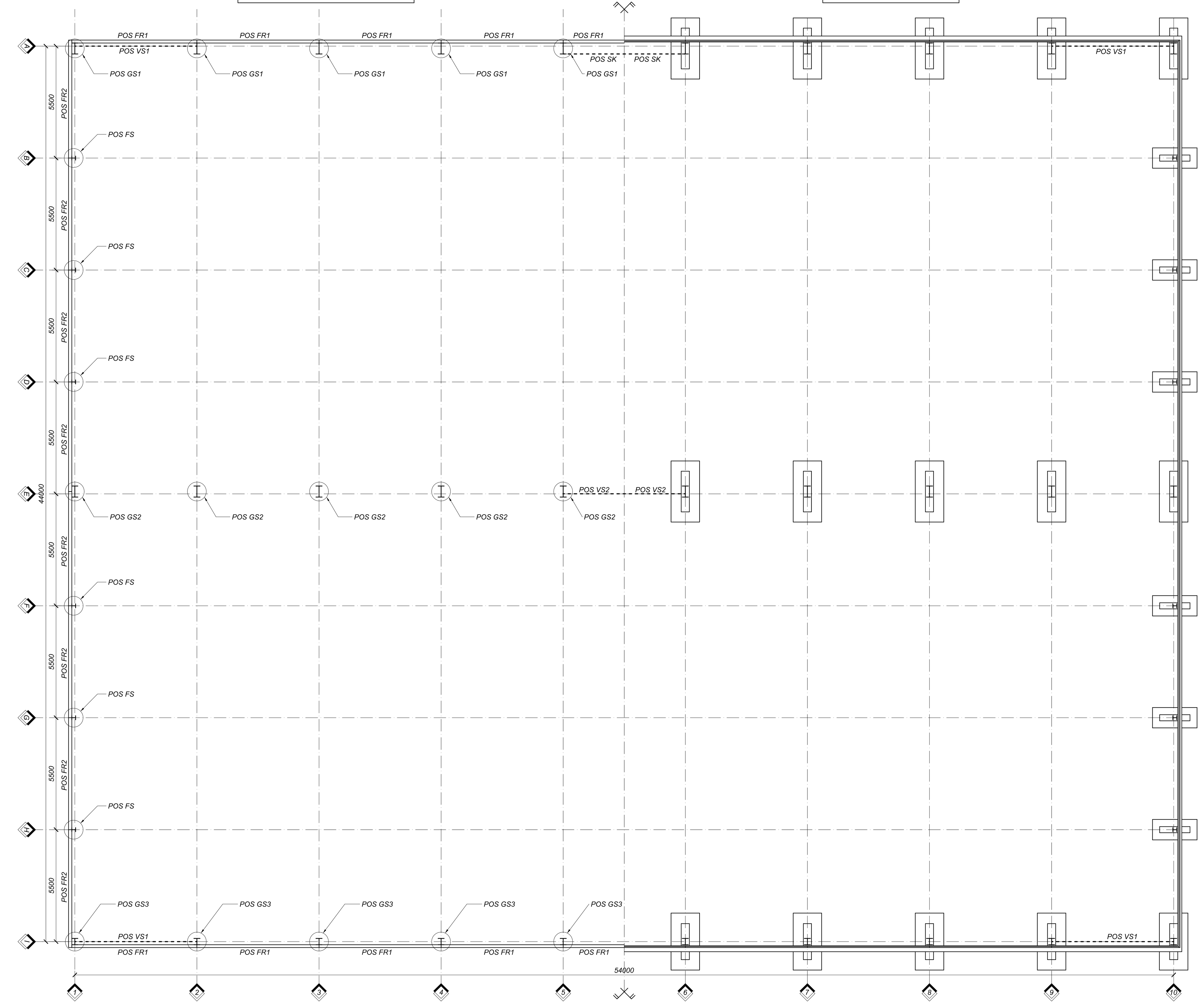
POPREČNI PRESEK ose 1 i 10



OSNOVA KROVA — OSNOVA NA KOTI GIŠ-A (+6,000 m)



OSNOVA NA KOTI +3,500 — OSNOVA TEMELJA



ORJENTACIONA SPECIFIKACIJA MATERIJALA (komada 1)

- važi uz crtež dispozicije -

r. br.	P O S	mater.	kom.	tip	dimenzije [mm]			po m' ili m² [kg]	za 1 komad	ukupno
					b	t	l			
1	POS R - rožnjače	S235	18	IPE180			54000	18,80	1015,20	18273,60
2	POS R1 - gornji pojas	S235	9	2 x IPE180			6000	37,60	225,60	2030,40
3	POS R1 - ispuna	S235	36	□60x60x4			1900	6,71	12,75	458,96
4	POS R1 - donji pojas	S235	9	□60x60x4			6000	6,71	40,26	362,34
5	POS Z - zatege u krovu	S235	164	Ø 10			6000	0,63	3,77	618,27
6	POS P - poklapača	S235	16	HEA140			5500	24,70	135,85	2173,60
7	POS GN - gornji pojas	S235	16	□140x140x5			22130	20,94	463,40	7414,40
8	POS GN - donji pojas	S235	16	□120x120x4			22000	14,41	317,02	5072,32
9	POS GN - ispuna 1	S235	16	□100x80x4			12216	10,60	129,49	2071,84
10	POS GN - ispuna 2	S235	16	□80x60x3			19808	6,13	121,42	1942,72
11	POS GS1 - donji deo	S235	10	HEA550			5800	166,00	962,80	9628,00
12	POS GS1 - gornji deo	S235	10	HEA320			4700	97,60	458,72	4587,20
13	POS GS2 - donji deo	S235	10	HEA550			5800	166,00	962,80	9628,00
14	POS GS2 - gornji deo	S235	10	HEA320			4700	97,60	458,72	4587,20
15	POS GS3	S235	10	HEA320			10500	97,60	1024,80	10248,00
16	POS FS	S235	8	HEA200			11100	42,30	469,53	3756,24
17	POS FS u sredini	S235	4	HEA200			11700	42,30	494,91	1979,64
18	POS FR1	S235	72	□140x140x4			6000	16,92	101,52	7309,44
19	POS FR1 na sokli	S235	18	L50x50x5			6000	3,77	22,62	407,16
20	POS FR2	S235	44	□120x120x4,5			5500	16,12	88,66	3901,04
21	POS FR2 na sokli	S235	16	L50x50x5			5500	3,77	20,74	331,76
22	POS ND - nosač	S235	18	IPE600			6000	122,00	732,00	13176,00
23	POS ND - šina	S235	18	šina tip 49			6000	49,43	296,58	5338,44
24	konzole stubova	S235	18	≠	400	10	740	32,00	23,68	426,24
25	POS KS1 - dijagonale	S235	28	L80x80x8			4070	9,66	39,32	1100,85
26	POS SBU - lim	S235	18	≠	910	5	6000	36,40	218,40	3931,20
27	POS SBU - pojas	S235	18	U80			6000	8,64	51,84	933,12
28	POS KS2 - dijagonale	S235	64	L90x90x9			4070	12,20	49,65	3177,86
29	POS VS1 - dijagonale	S235	12	□120x120x5			7210	17,80	128,34	1540,06
30	POS VS1 - horizontale	S235	12	□100x100x4			6000	11,73	70,38	844,56
31	POS VS2 - dijagonale 1	S235	4	□120x120x5,6			3605	19,80	71,38	285,52
32	POS VS2 - dijagonale 2	S235	4	□120x120x5,6			4240	19,80	83,95	335,80
33	POS VS2 - horizontale	S235	3	□120x120x5,6			6000	19,80	118,80	356,40
34	POS SK - dijagonale	S235	8	□120x120x5,6			4240	19,80	83,95	671,60
35	POS SK - horizontale	S235	2	□120x120x5,6			6000	19,80	118,80	237,60
36	POS SS - kosnici	S235	32	L70x70x7			3110	7,38	22,95	734,46

ukupno: 129 871,84 kg

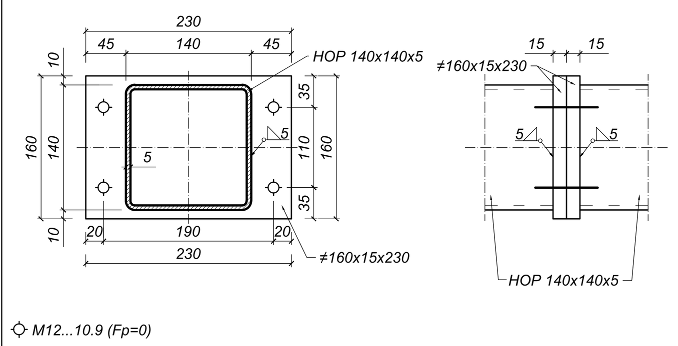
procenjeni konstruktivni faktor 10% **ukupno + 10 %: 142 859,00 kg**

površina: $44,0 \times 54,0 = 2376,0\ m^2$ **ukupno kg/m²:** 60,1

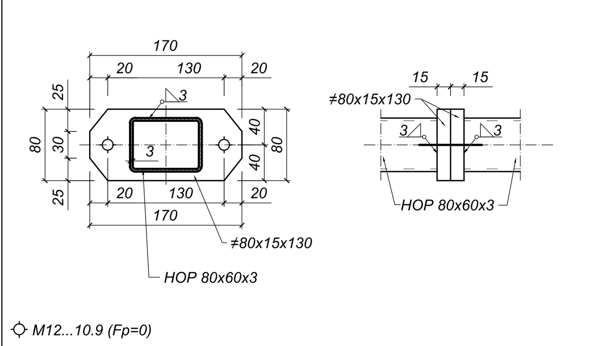
zapremina: $2376,0 \times (10,0 + 11,2)/2 = 25185,6\ m^3$ **ukupno kg/m³:** 5,67

GRAĐEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU				
ODSEK ZA KONSTRUKCIJE			KATEDRA ZA MATERIJALE I KONSTRUKCIJE	
S I N T E Z N I P R O J E K A T				
DISPOZICIJA DVOBRODNE INDUSTRIJSKE HALE				
PREDMETNI PROFESOR : **dr DRAGAN BUĐEVAC**		OVERA :	KANDIDAT : **MIROSLAV MARJANOVIĆ**	
ASISTENT : **mr JELENA DOBRIĆ**		OVERA :	INDEKS : **47 / 05**	
RAZMERA : **1:100**	FORMAT : **891 x 1600**	DATUM : **23.08.2009.**	BROJ CRTEŽA : **1**	ŠKOLSKA GODINA : **2008 / 2009.**

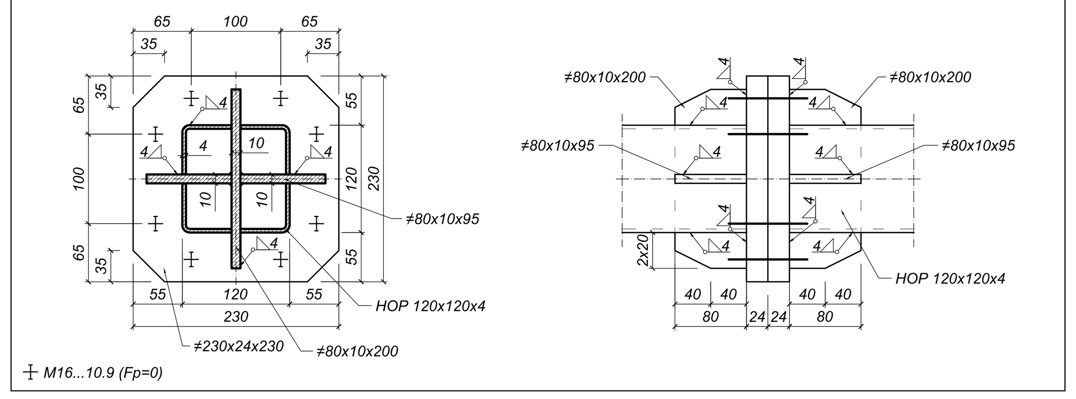
DETALJ 5 *- Montažni nastavak gornjeg pojasa glavnog nosača POS GN*



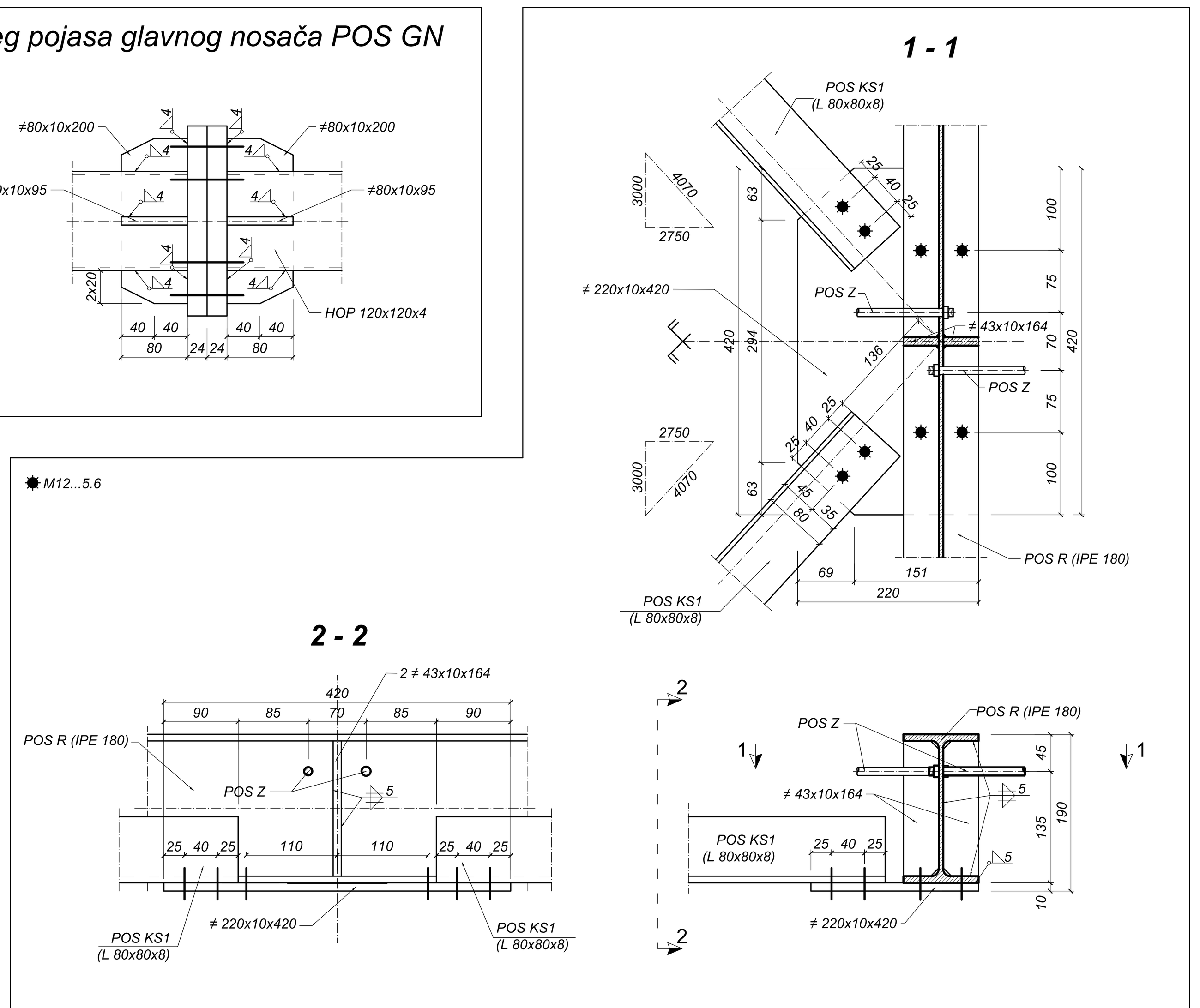
DETALJ 6 *- Montažni nastavak dijagonale glavnog nosača POS GN*



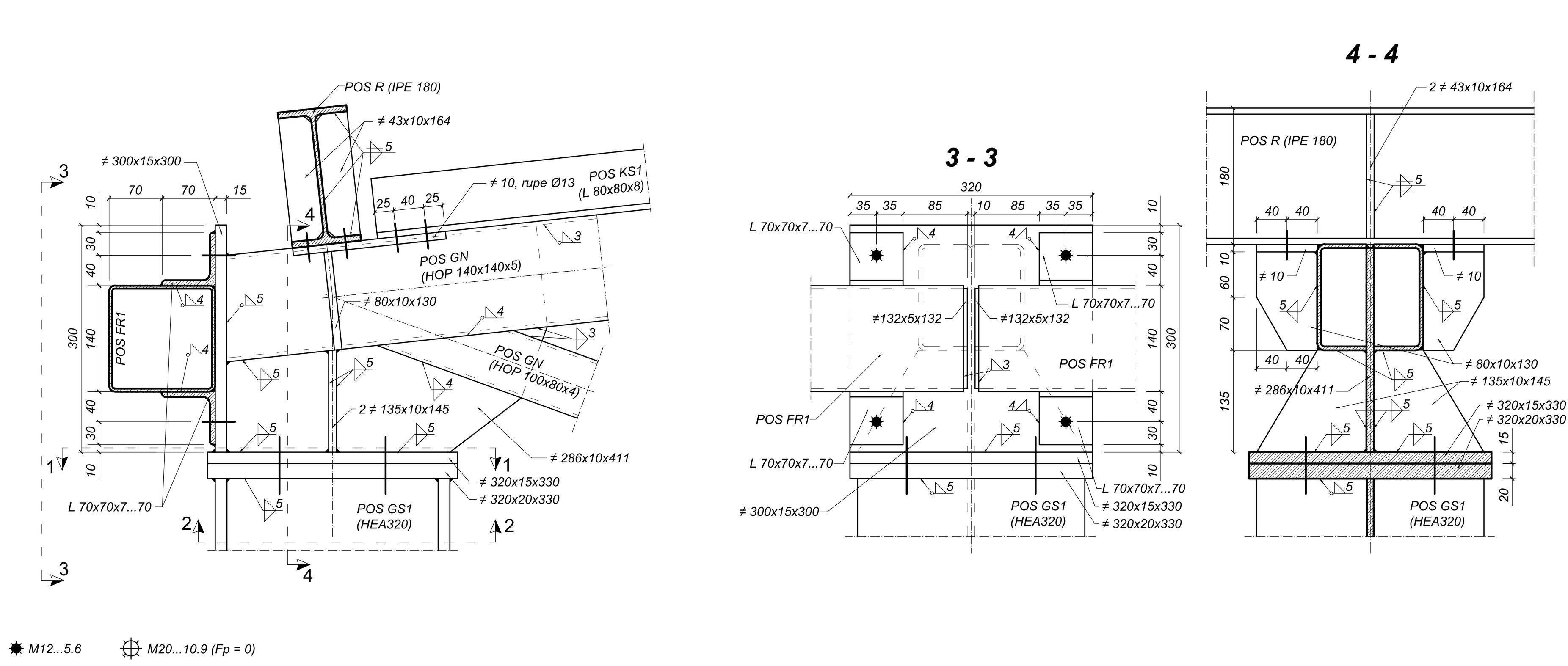
DETALJ 7 *- Montažni nastavak donjeg pojasa glavnog nosača POS GN*



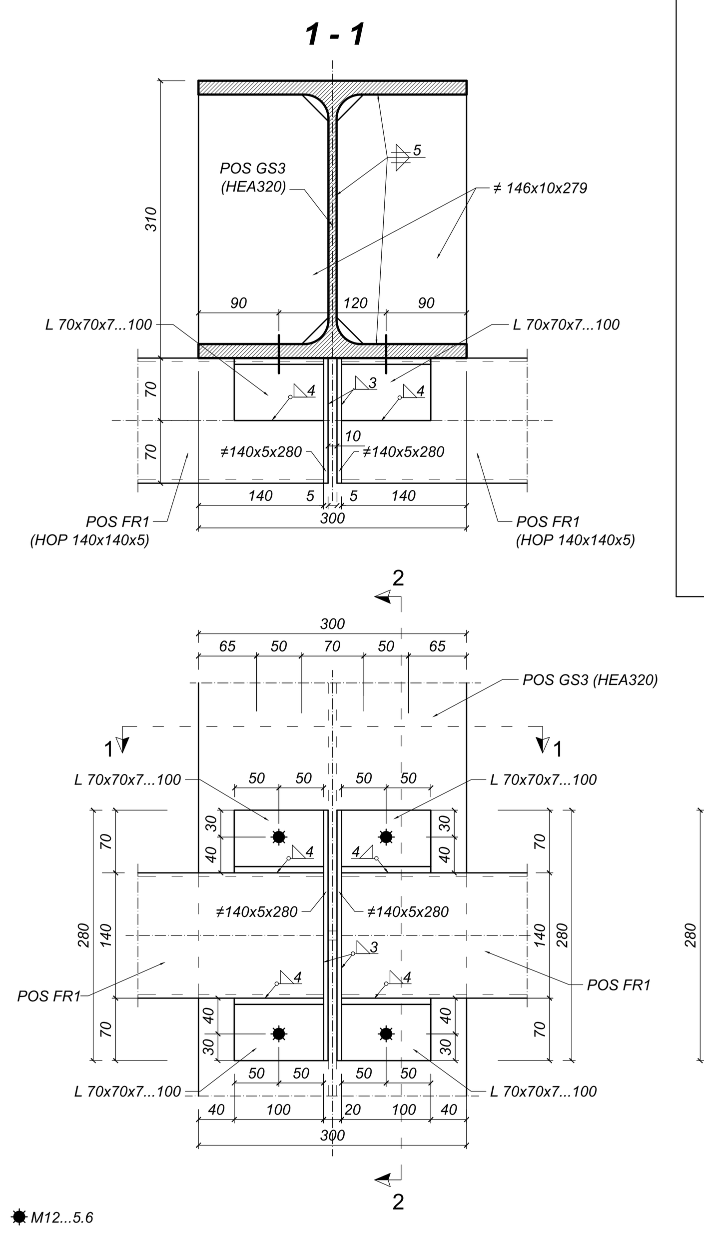
DETALJ 2 *- Veza podužnog krovnog sprega POS KS1 za rožnjaču POS R, sa detaljem zatege POS Z*



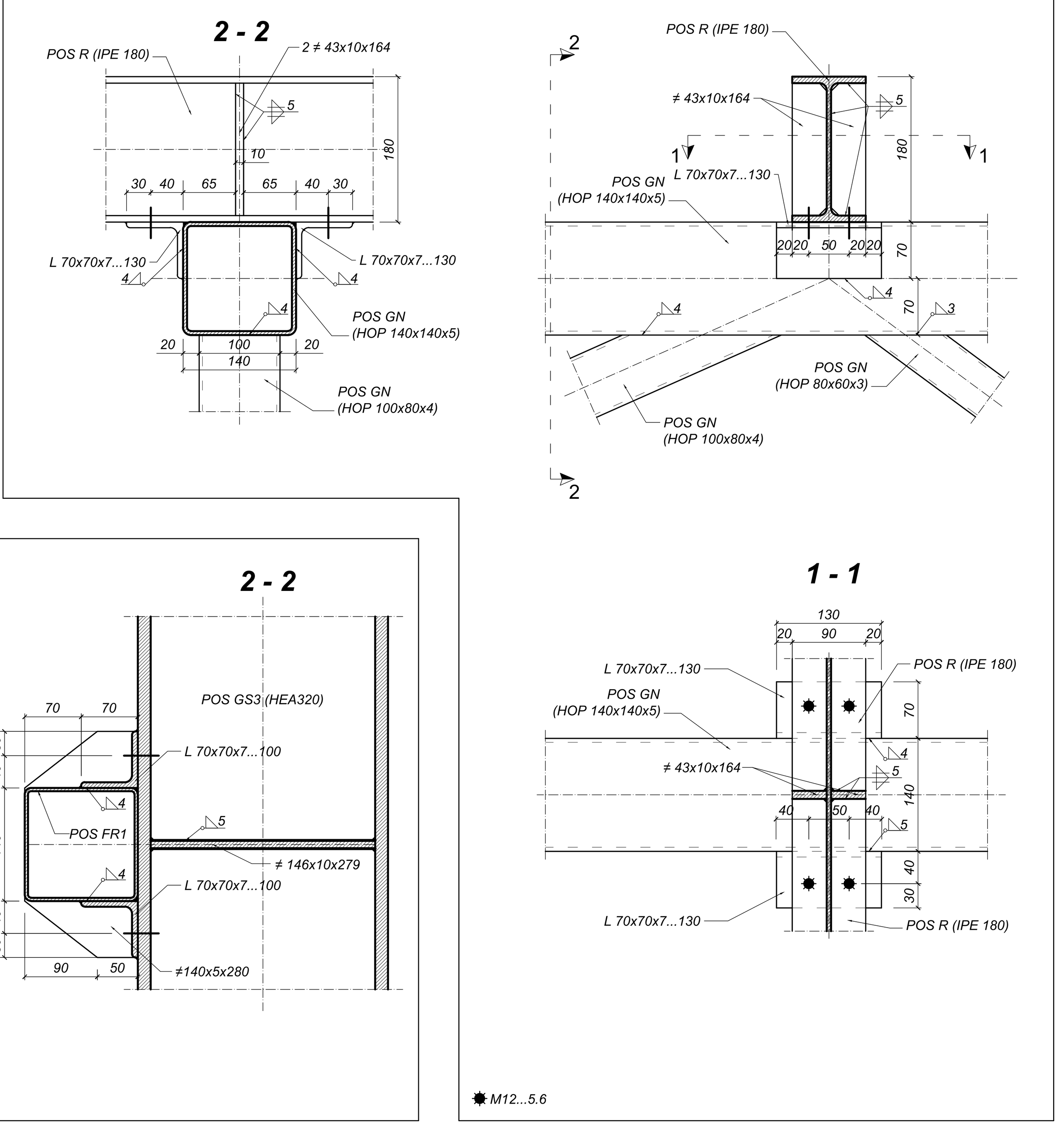
DETALJ 3 *- Oslanjanje glavnog nosača POS GN na glavni stub POS GS1 (sa rožnjačom POS R, fasadnom riglom POS FR1 i podužnim krovnim spregom POS KS1)*



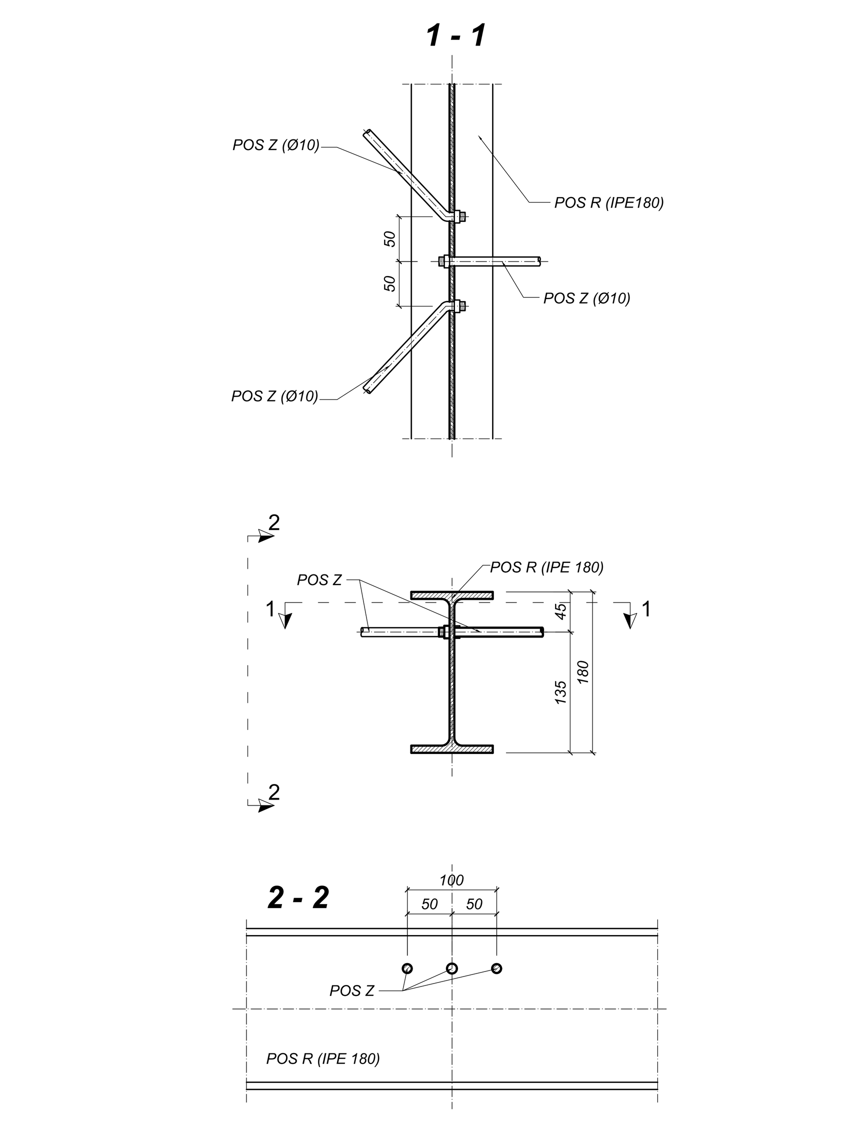
DETALJ 8 *- Veza fasadne rigle POS FR1 i glavnog stuba POS GS3*



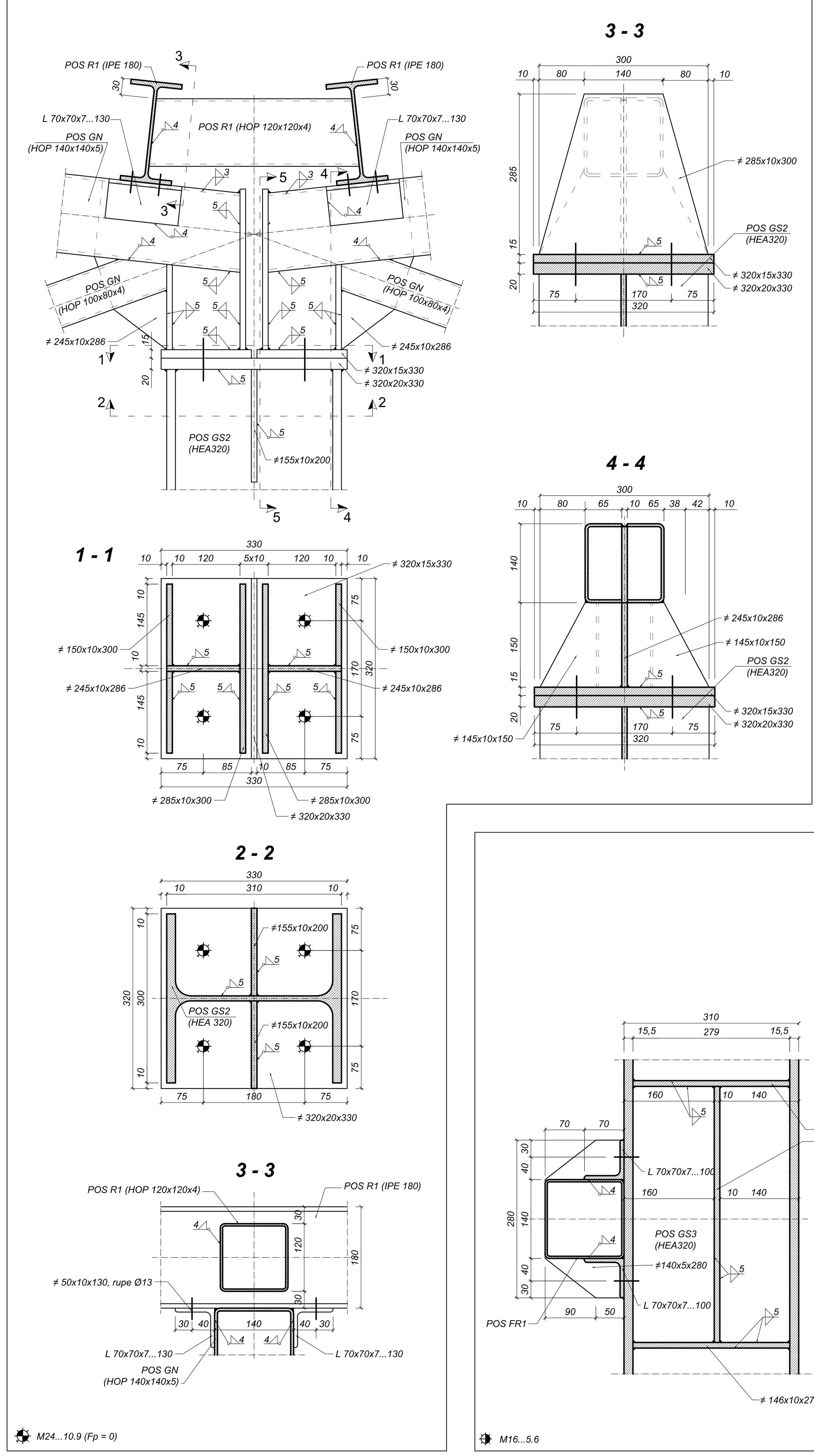
DETALJ 1 *- Oslanjanje rožnjače POS R na glavni nosač POS GN*



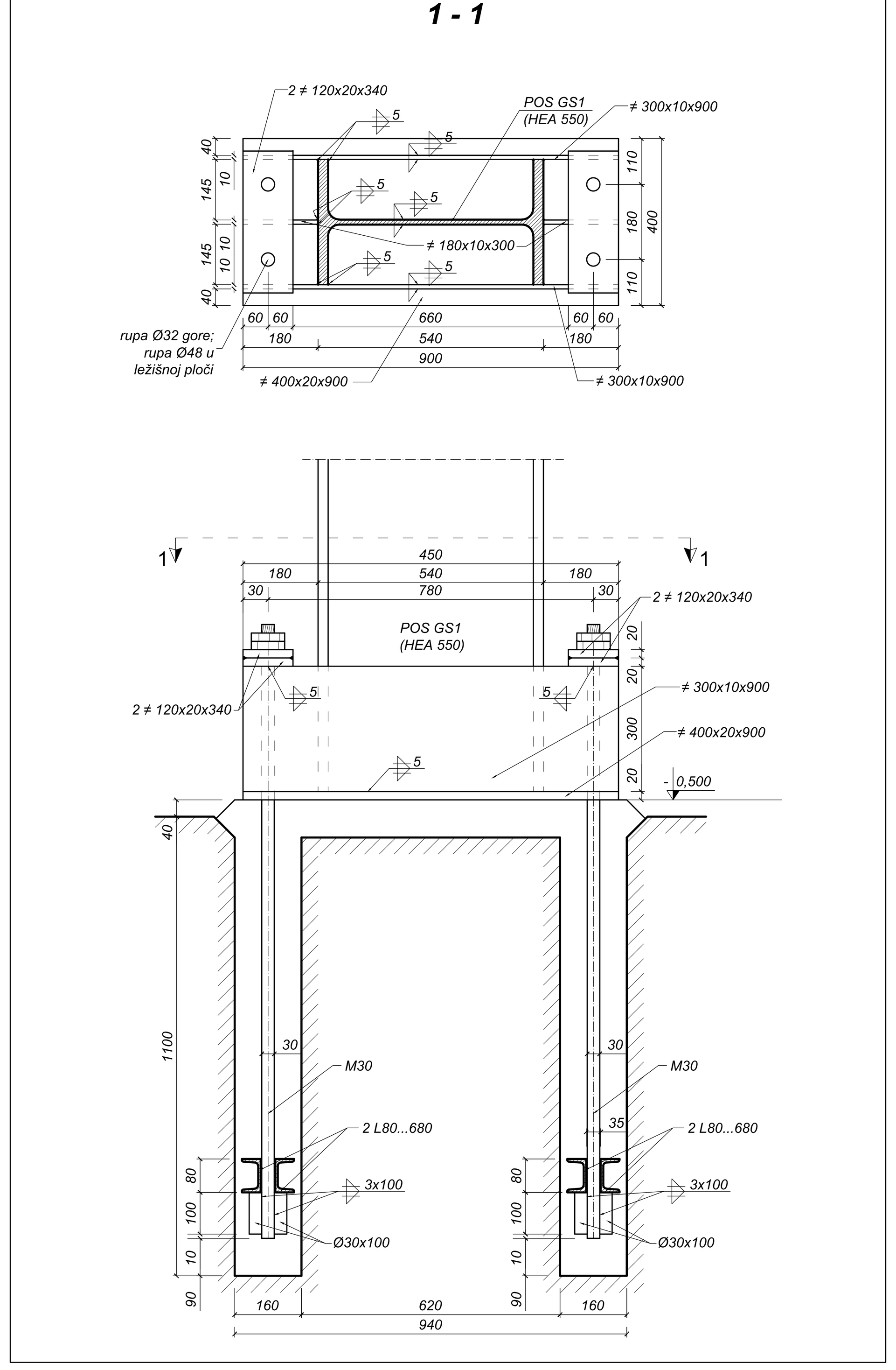
DETALJ 11 *- Veza tri zatege POS Z za rožnjaču POS R*



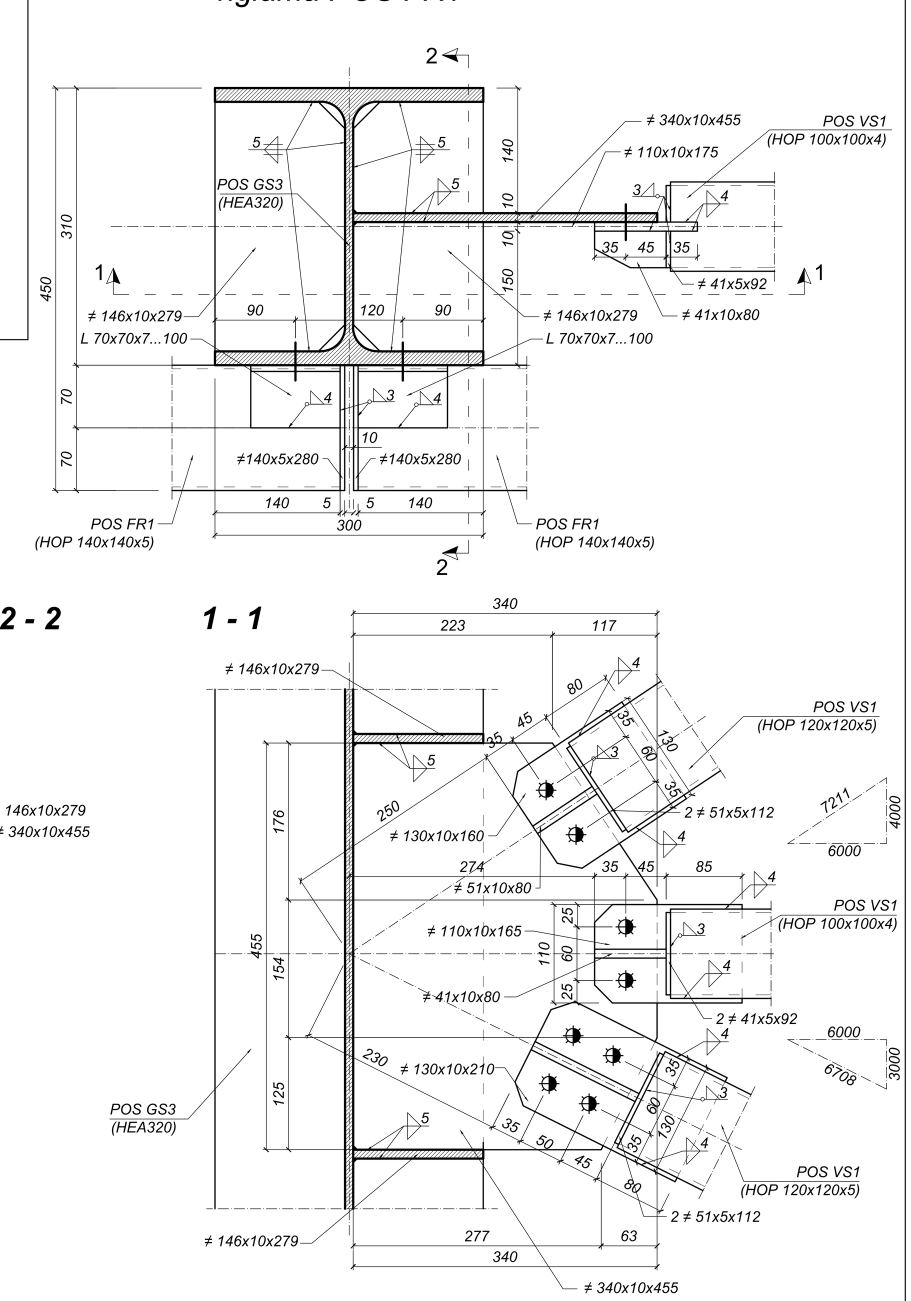
DETALJ 4 *- Oslanjanje rožnjače POS R1 na glavni nosač POS GN, sa detaljem oslanjanja glavnog nosača na glavni stub POS GS2*

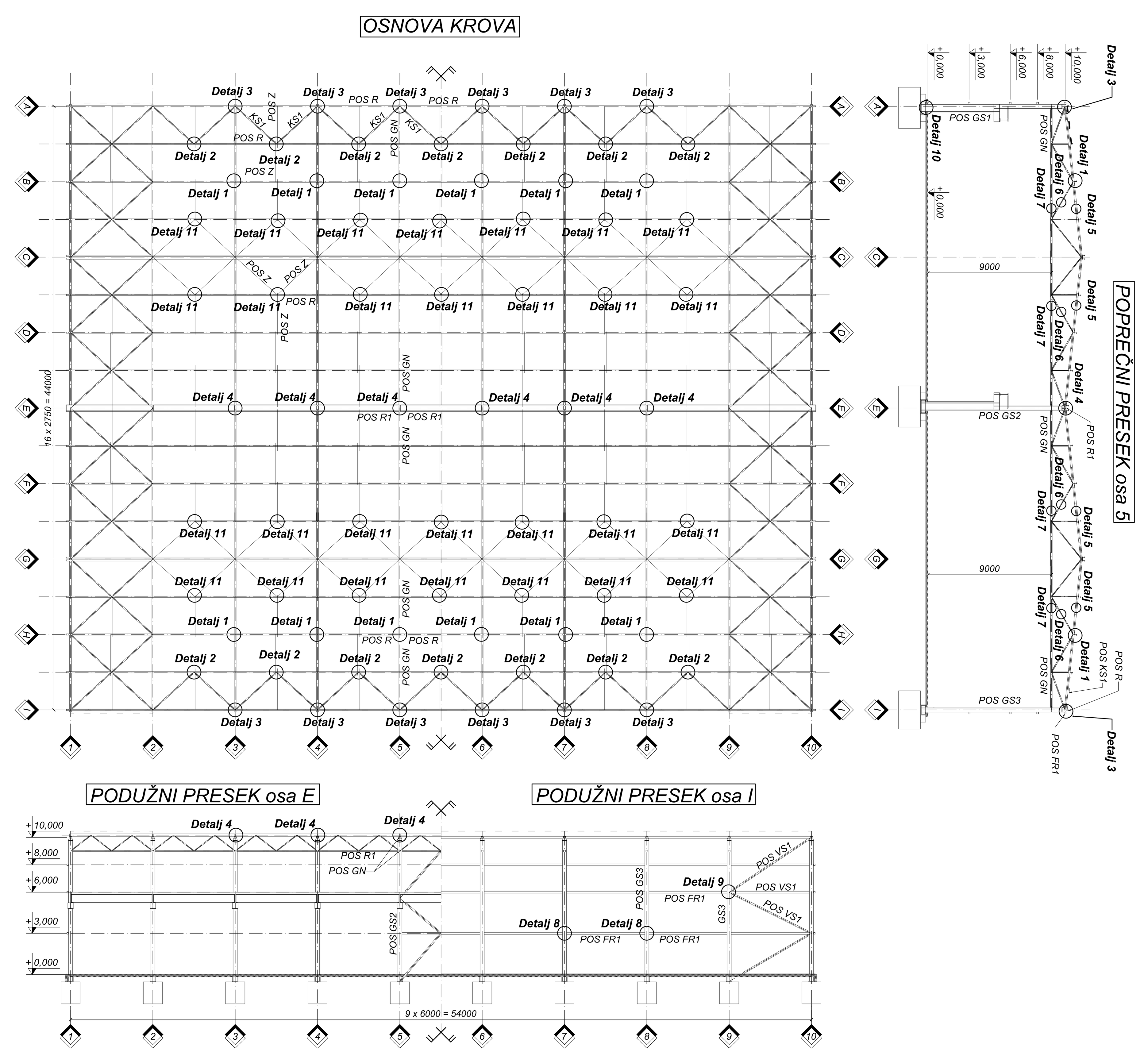


DETALJ 10 *- Ankerovanje glavnog stuba POS GS* **(R = 1:10)**



DETALJ 9 *- Čvor vertikalnog sprega POS VS1, sa fasadnim riglama POS FR1*





GRAĐEVINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU			
ODSEK ZA KONSTRUKCIJE		KATEDRA ZA MATERIJALE I KONSTRUKCIJE	
SINTEZNI PROJEKAT			
KARAKTERISTIČNI DETALJI			
PREDMETNI PROFESOR : dr DRAGAN BUĐEVAC	OVERA :	KANDIDAT : MIROSLAV MARJANOVIĆ	
ASISTENT : mr JELENA DOBRIĆ	OVERA :	INDEKS : 47 / 05	
RAZMERA : 1:5 / 1:10	FORMAT : 841x1189	DATUM : 23.08.2009.	BROJ CRTEŽA : 2 — ŠKOLSKA GODINA : 2008 / 2009.