



Универзитет у Београду – Грађевински  
факултет [www.grf.bg.ac.rs](http://www.grf.bg.ac.rs)

---

Студијски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО МАСТЕР АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ**

Модул: **КОНСТРУКЦИЈЕ**

Година/Семестар: **I година / I семестар**

Назив предмета (шифра): **БЕТОНСКИ МОСТОВИ (MOK1BM)**

Наставник: **асис. Стефан Ж. Митровић**

Наслов вежби: **Неопходне контроле.**

Датум:

---

Београд, 2024.

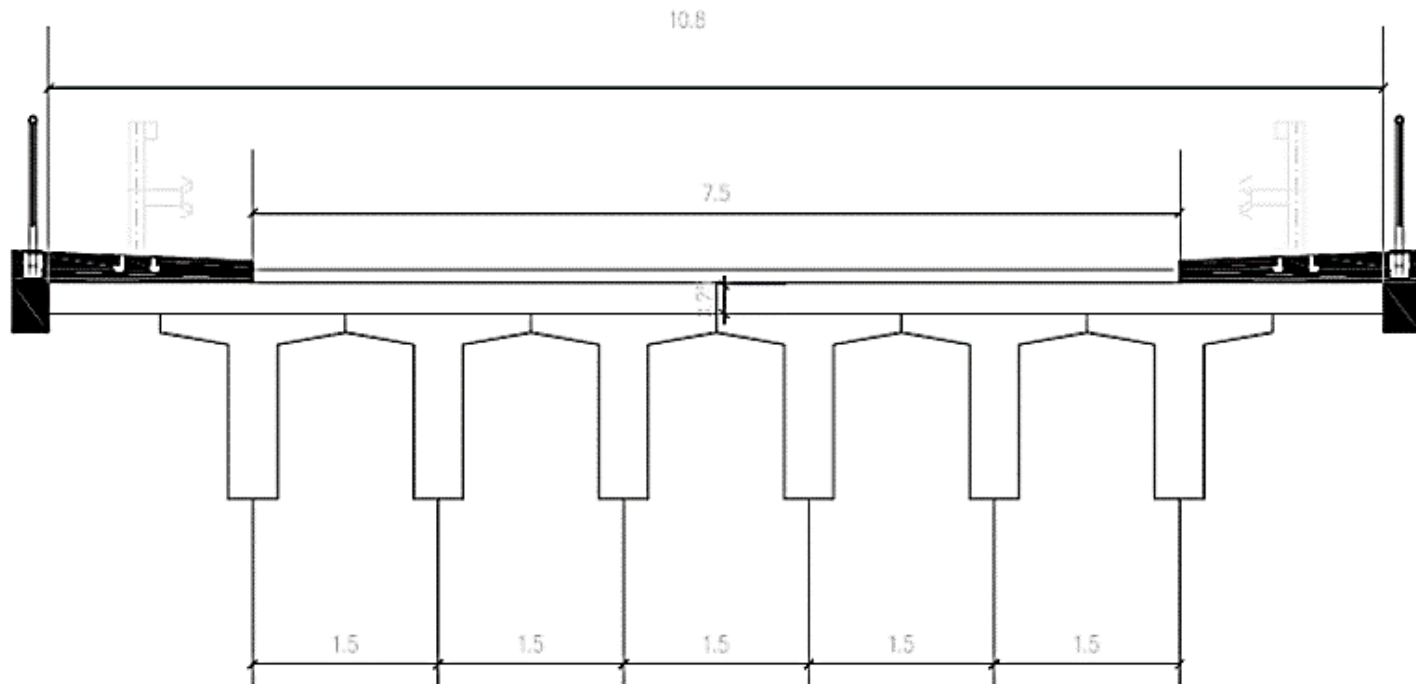
*Сва ауторска права аутора презентације и/или видео снимака су заштићена. Снимак или презентација се могу користити само за наставу студената Грађевинског факултета Универзитета у Београду у школској 2024/2025 и не могу се користити за друге сврхе без писмене сагласности аутора материјала.*

Грађевински факултет Универзитета у  
Београду, 2024.

## 8. Вежба

За друмски мост ребрастог попречног пресека приказаног испод потребно је извршити све неопходне контроле **граничног стања носивости и употребљивости** за најоптерећенији носач и коловозну плочу. Мост је статичког система континуалне греде на два поља са распоном од  $L = 25.00 \text{ m}$ , који се изводи фазно.

У првој фази се постављају префабриковани носачи на ослонце, док се у другој фази врши бетонирање коловозне плоче и споја између носача на месту средњих стубова.



# Фазност градње и анализа оптерећења

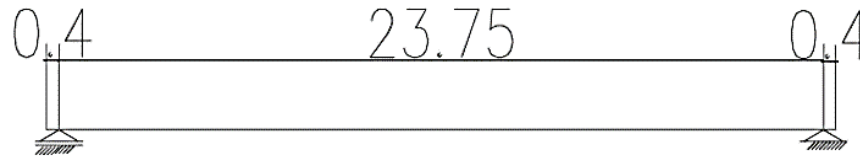
**У првој фази – проста греда** са малим препустима у односу на осу ослањања, на страни сигурност рачуната као проста греда **распона 25 m**.

Оптерећење: **сопствена тежина и тежина припадајуће плоче**

За носач 1:

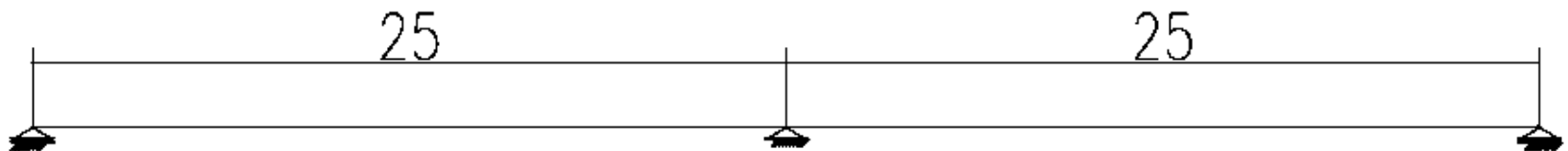
$$g = 26.25 \text{ kN/m}$$

$$g_p = 2.4 * 0.25 * 25 = 15 \text{ kN/m}$$

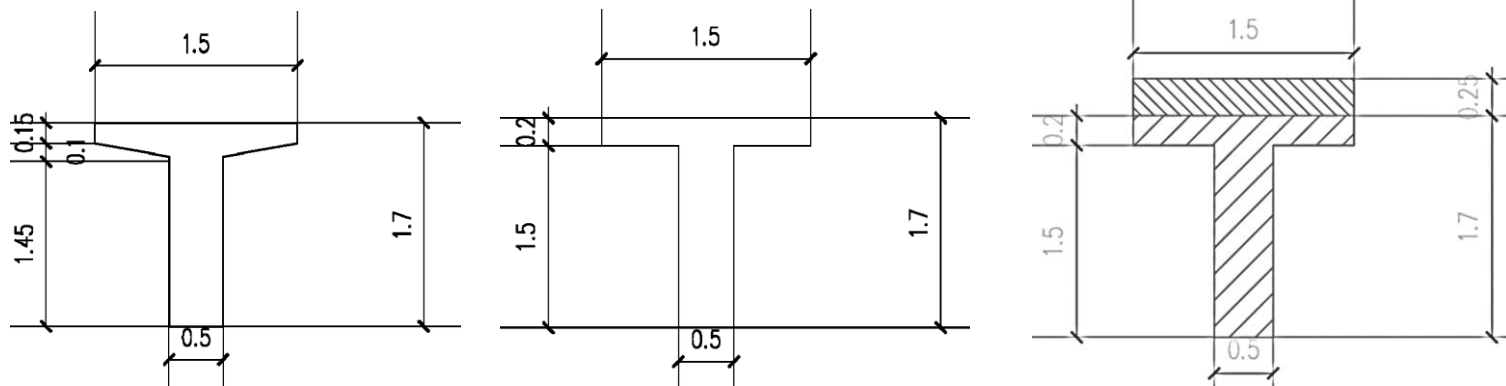


**У другој фази** се идеализује као **континуалац на два поља са распонима 2x25 m**

Оптерећење: **додатно стално оптерећење и покретно оптерећење LM1** (посебно се одређују ефекти TS на првом носачу – на коме се добију већи утицај и ефеката пратећег подељеног оптерећења јер коефициенти за комбинације нису исти)



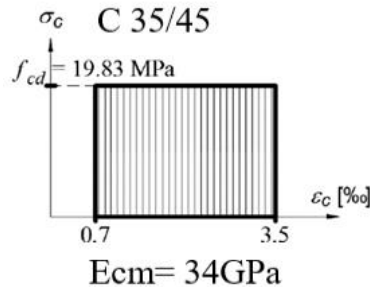
# Попречни пресеци по фазама



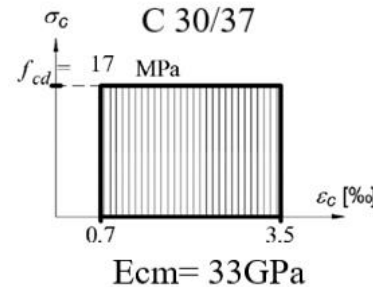
	Висина пресека	Тежиште од доње ивице	Површина	Момент инерције
Префабриковани носач	1.70 m	99.3 cm	1.05 m <sup>2</sup>	0.296 m <sup>4</sup>
Спрегнути пресек	1.95 m	120.0 cm	1.40 m <sup>2</sup>	0.481 m <sup>4</sup>

# Материјали и радни дијаграми

- Бетон

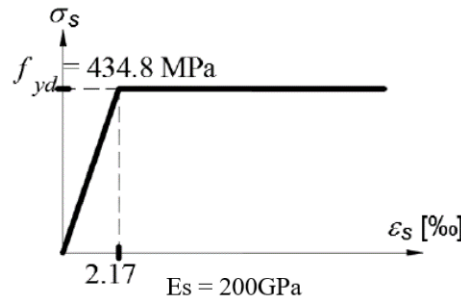


Префабриковани носач

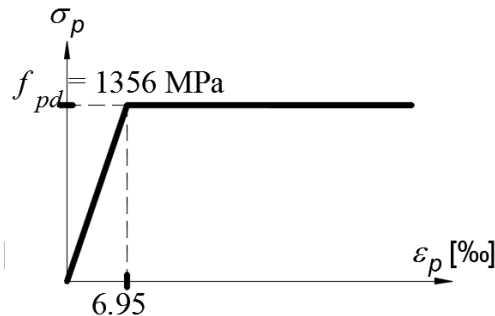


Коловозна плоча и попречно носач - чвор

- Мека арматура



- Каблови



Усвојена ужад  $\varnothing 12.5$  са површином од  $93 \text{ mm}^2$  (прекидна сила  $164 \text{ kN}$ ), карактеристична вредност силе при неповратној дилатацији од  $0.1\%$  ( $0.1\%$  proof stress)  $145 \text{ kN}$ , (издужење при максималној силили  $\epsilon_{uk} = 4.5 \%$ ), модул еластичности  $E_p = 195 \text{ GPa}$ ;  $f_{pd} = 1356 \text{ MPa}$ ,  $f_{pd}/E_p = 6.95\%$ .

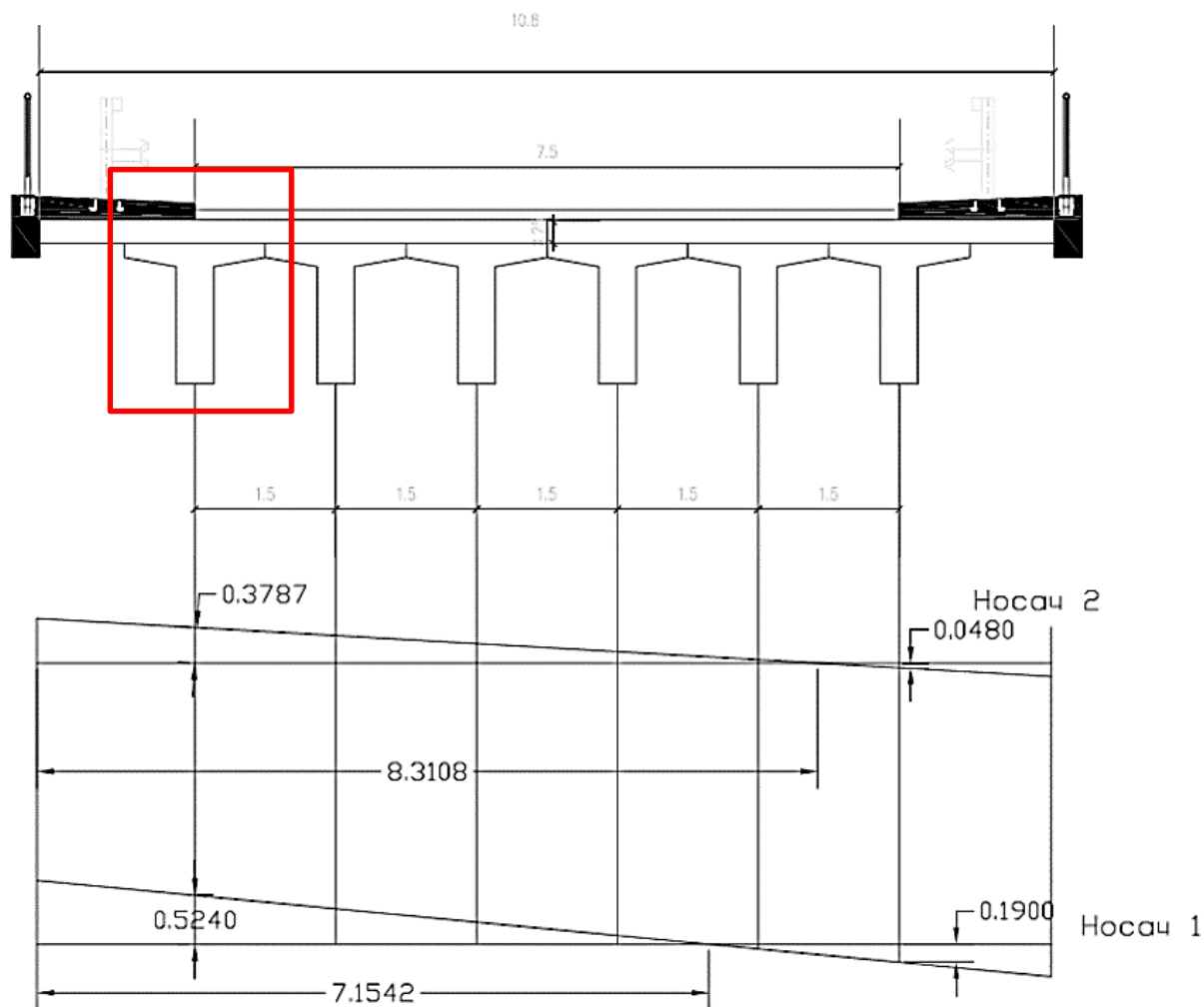
# Заштитни слојеви

Класа конструкције **S5 – употребни век: 100 година**

Елемнт	Влакн о	Класа бетона	Класа изложеност и	$c_{min}$ mm	$\Delta c_{dev}$ mm	$c_{nom}$ mm
Плоча	Горње	30/37	XC 3	30	10	40
	Доње	30/37	XD 1	40	10	50
Префабрико- вани носач	Горње	35/45	XD 1	40	10	50
	Доње	35/45	XD 1	40	10	50
Чвор за континуитет	Горње	30/37	XC 3	30	10	40
	Доње	30/37	XD 1	40	10	50

# Утицајне линије попречне прерасподеле

Разматрају се само утицаји у најоптерећенијем носачу (по правилу то је **ИВИЧНИ НОСАЧ**)



## Анализа додатног стално оптерећење (по промени статичког система)

- Обзиром на **симетричан попречни пресек, односно симетричан распоред сталног оптерећења**, сваки носач прихвата по 1/6 (6 префабрикованих носача) укупног додатног сталног оптерећења.
  - Пешачке стазе оgrade:  $(2 \times 0.536 \times 25 + 2 \times 0.7 + 2 \times 0.5) / 6 = 4.9 \text{ kN/m}$
  - Хидроизолација:  $0.01 \times 7.5 \times 16 / 6 = 0.2 \text{ kN/m}$
  - Асвалт:  $0.09 \times 7.5 \times 24 / 6 = 2.7 \text{ kN/m}$
  - Укупно: 7.8 kN/m
- Ово оптерећење делује на континуални систем дуж целе дужине моста, непрекидно.



# Анализа саобраћајног оптерећења

- За ширину коловоза од **7.50 m**, коловоз је подељен на **две номиналне траке ширине од 3.00 m** и **преостали део коловоза у ширини од 1.50 m**.
- За **магистрални пут**  $\alpha$  коефицијенти износе 0.8 за траку 1 и 1 за све остале траке.
  - Оптерећење од TS у првој и другој траци (одређено на основу утицајне линије попречне расподеле за носач 1)  
 $Q=110.52 \text{ kN}$
  - Подељено оптерећење (по саобраћајним тракама и пешаким стазама сходно утицајној попречне расподеле)  
 $q= 8.98 \text{ kN/m}$

# Комбинације оптерећења

- При пројектовању мостова разматра се **гранично стање носивости ULS**.
- Такође, разматра се и **гранично стање употребљивости SLS** кроз три комбинације:
  - **Карактеристична комбинација**: као највећи ниво оптерећења коме конструкција може бити изложена,
  - **Честа комбинација**: као највећи ниво оптерећења коме је конструкција редовно изложена,
  - **Квази-стална комбинација**: као ниво оптерећења којим је конструкција изложена скоро увек.
  - Зависно од разматране комбинације карактеристичне вредности дејстава се множе са одговарајућим фактором за комбинације.
- *При изради годишњег задатка из Бетонских мостова од повременог оптерећења разматраће се само саобраћајно оптерећење, док се ефекти скупљања и течења неће разматрати.*

# Тип контрола и комбинације оптерећења

Пресек	Тип контроле	Положај влакна у пресеку	Комбинација оптерећења	Старост при контроли
Пресек у средини распона	ULS	-	ULS	Током експлоатације
	Декомпресија	Доње влакно	Честа	Током експлоатације
	Ограничење напона	Горње влакно, плоча, каблови	Карактеристична	Током експлоатације
Пресек на крају префабрикованог носача	ULS	-	ULS	Током експлоатације
	Ширина прслина	Плоча (АБ елемент)	Квази-стална	Без саобраћаја и са саобраћајем
	Ограничење напона	На доњој ивици префабрикованог носача и арматуре у плочи	Карактеристична	Без саобраћаја и са саобраћајем
У чвору	ULS	-	ULS	Током експлоатације
	Ширина прслина	Плоча (АБ елемент)	Квази-стална	Без саобраћаја и са саобраћајем
	Ограничење напона	Бетон на доњој ивици и арматура у плочи	Карактеристична	Без саобраћаја и са саобраћајем

## Статички тицаји у средини поља (прва фаза – проста греда) и одређивање силе претходног напрезања

- $M_g = 2051 \text{ kNm}$
- $M_{gpl} = 1172 \text{ kNm}$

Претпостављени положај каблова у средини распона  $a_p = 15 \text{ cm}$  ( $e_p = 84.3 \text{ cm}$ ).

Напон на горњој ивици пресека под почетном силом ПН (пре бетонирања плоче):

$$\sigma_{g,n} = \frac{N_0}{A_I} + \frac{M_g - N_0 \cdot e_p}{I_I} \cdot y_{g,n,I} \geq 0$$

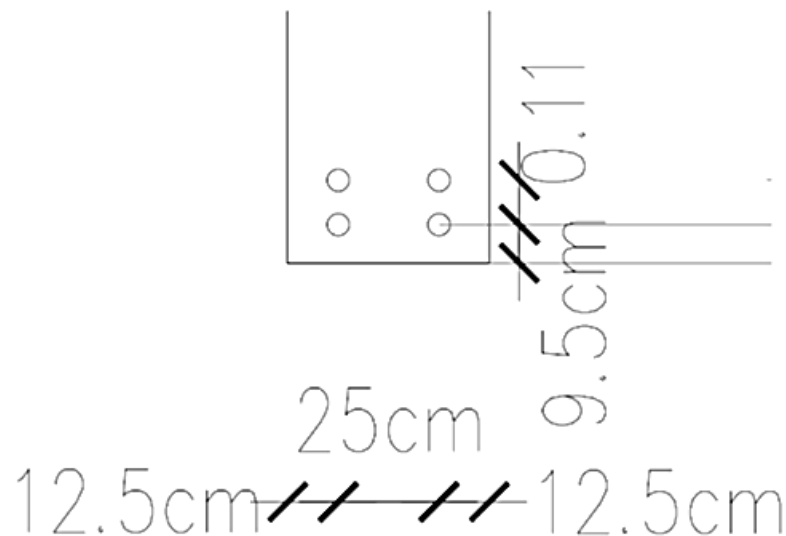
$*N_0 < 5552 \text{ kN}$  ако се допусти  $1.0 \text{ MPa}$  затезања на горњој ивици

$$\frac{N_0}{1,05} + \frac{2051 - N_0 \cdot 0.843}{0.2964} \cdot 0.7071 \geq 0 \Rightarrow N_0 \leq 4660 \text{ kN}$$

## Каблови прве групе – утежу се на префабрикованом носачу

Усвојени каблови прве фазе: 4 кабла  $10\emptyset 12.5$  са пречником заштитне цеви 55 mm. Почетна сила на преси 1148kN. Укупна почетна сила 4592 kN < 4660 kN.

$C_{nom} = 55 + 10 = 65$  mm. Котве S11/13 са потребним размаком котви од ивица носача 160 mm и размаком између суседних котви 250 mm. Пресек се код ослоњања шири на 60 cm, ради смештаја котви и пријема транверзалних сила.



# Статички утицаји након остварења континуитета (друга фаза – континуалац)

Под додатним сталним и саобраћајним оптерећењем максимални утицаји у пољу се не налазе на средини распона (ближе су крајњем ослонцу) као упрошћење у годишњем задатку усвојиће се максималне вредност ових утицаја у комбинацији са утицајима у средини поља из прве фазе.

Пресек	Утицаји прве фазе	Утицаји у другој фази
Средина распона	$M_g = 2051 \text{ kNm}$ $M_{pl} = 1172 \text{ kNm}$	$M_{g,st} = 343.95 \text{ kNm}$ $\max M_{UDL} = 538 \text{ kNm}; \max M_{TS} = 1085 \text{ kNm}$ $\min M_{UDL} = -175 \text{ kNm}; \min M_{TS} = -264 \text{ kNm}$
Крајњи ослонац	$T_g = 328 \text{ kN}$ $T_{pl} = 187.5 \text{ kN}$	$T_{g,st} = 73.25 \text{ kN}$ $\max T_{UDL} = 98.3 \text{ kN}; \max T_{TS} = 211 \text{ kN}$ $\min T_{UDL} = -13 \text{ kN}; \min T_{TS} = -21 \text{ kN}$
Средњи ослонац	$T_g = 328 \text{ kN}$ $T_{pl} = 187.5 \text{ kN}$	$M_{g,st} = -606 \text{ kNm}$ $\min M_{UDL} = -698 \text{ kNm}; \min M_{TS} = -528 \text{ kNm}$ $T_{g,st} = 122 \text{ kN}$ $\max T_{UDL} = 140 \text{ kN}; \max T_{TS} = 217 \text{ kN}$

# Напонски услови у експлоатацији

- У овој фази разраде уобичајено је да се контролишу напони на доњој ивици пресека у средини распона са претпостављеним губицима силе ПН. Користи се карактеристична комбинација (избегава се контрола прслина и декомпресије).
- Претпоставља се да су укупни губици силе ПН прве фазе 20% (од чега се 15% обави пре бетонирања плоче и 5% након очвршћавања плоче у континуалном систему).

$$\sigma_{d,s} = \frac{0.85 \cdot N_0}{A_I} - \frac{M_g - 0.85 \cdot N_0 \cdot e_p}{I_I} \cdot y_{d,n,I} - \frac{0.05N_0}{A_{II}} - \frac{0.05M_{\kappa 1}}{I_{II}} - \frac{M_{g,st} + \max M_{UDL} + \max M_{TS}}{I_{II}} \cdot y_{d,n,II} \geq 0$$

$$\frac{0.85 \cdot N_0}{1,05} - \frac{2051+1127 - 0.85 \cdot N_0 \cdot 0.843}{0.2964} \cdot 0.7071 - \frac{0.05N_0}{1.4025} - \frac{N_0 \cdot 0.0325}{0.481} \cdot 1.2 - \frac{334.95 + 538 + 1085}{0.481} \cdot 1.2 \geq 0$$

$$\Rightarrow N_0 \geq 5190kN$$

- Како су напонски услови несагласни мора се увести друга група каблова. Ова група каблова се уводи након очвршћавања плоче (дакле на композитни пресек), и претпостављају се њени губици у износу од 15% који се остваре након очвршћавања плоче и остварења континуитета

## Потребна сила ПН друге фазе

- Напон на доњем влакну префабрикованог носача, са претпостављеним губицима (до након очврћавања бетона плоче) од 15%.

$$\sigma_{d,u} = \frac{0.85 \cdot 4592}{1,05} - \frac{2051 + 1127 - 0.85 \cdot 4592 \cdot 0.843}{0,2964} \cdot 0,7071 = 3954 \text{ kN} / \text{m}^2 = 3.954 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d,s} = 3954 - \frac{334.95 + 538 + 1085}{0.481} \cdot 1.2 + \frac{0.85 \cdot N_{o,II}}{1.4025} + \frac{(1.2 - 0.095) \cdot N_{o,II}}{0.481} \cdot 1.2 - \frac{0.090125 \cdot N_{o,II}}{0.481} \cdot 1.2 \geq 0 \Rightarrow N_{o,II} \geq 304.5 \text{ kN}$$

- Усваја се 1 кабл 7 $\emptyset$ 12.5 са пречником заштитне цеви 46mm. Почетна сила на преси 804kN. Котва је иста као и за 10 $\emptyset$ 12.5.

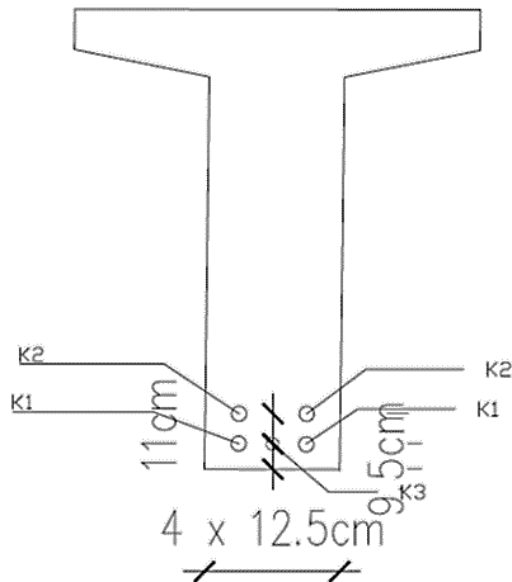


# Напони по фазама за пресек у средини распона

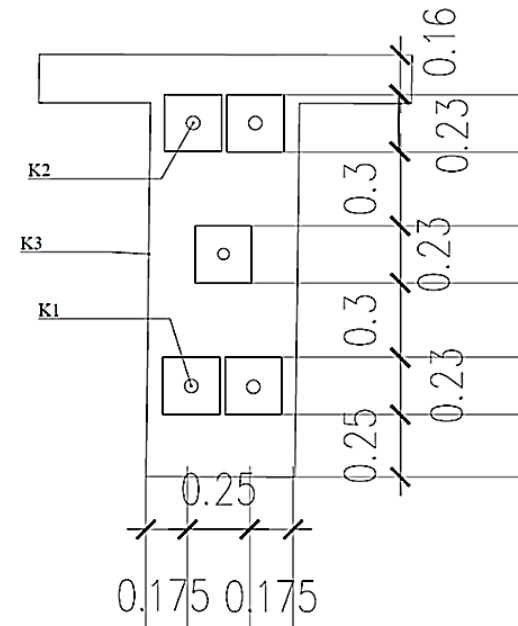
- Претпостављају се губици прве фазе 20% (од чега 15% је у основном пресеку и 5% у спрегнутом пресеку), друге фазе 15%.

Фаза	спољње оптерећење		претходно напрезање		геометријске карактеристике				напонски скокови				напони збирно по завршеној фази			
	M	N	M	F	I	W доње	W споја	W горе	$\Delta\sigma$ доле	$\Delta\sigma$ споја доле	$\Delta\sigma$ споја горе	$\Delta\sigma$ горе	$\sigma$ доле	$\sigma$ споја доле	$\sigma$ споја горе	$\sigma$ горе
утезање прва фаза	2050.78125	4592	-3870.6	1.05	0.30	0.30	0.42		10.47	0.03	0.00	0.00	10.47	0.03	0.00	0.00
губици пре плоче		-688.8	580.59	1.05	0.30	0.30	0.42		-2.60	0.73	0.00	0.00	7.87	0.76	0.00	0.00
тежина плоче	1172			1.05	0.30	0.30	0.42		-3.93	2.80	0.00	0.00	3.94	3.56	0.00	0.00
утезање друге фазе	0	804	-890.03	1.40	0.48	0.40	0.97	1.88	2.80	-0.35	0.00	0.00	6.74	3.21	0.00	0.00
додатни губици	0	-350.2	-48.969	1.40	0.48	0.40	0.97	1.88	-0.13	-0.30	-0.30	-0.28	6.61	2.91	-0.30	-0.28
стални терет	343.95	0	0	1.40	0.48	0.40	0.97	1.88	-0.86	0.36	0.36	0.18	5.75	3.26	0.06	-0.09
саобраћајно max	1623	0	0	1.40	0.48	0.40	0.97	1.88	-4.06	1.68	1.68	0.87	1.70	4.94	1.74	0.77

# Положај каблова обе фазе са распоредом КОТВИ КОД ОСЛОНАЧКИХ ПРЕСЕКА



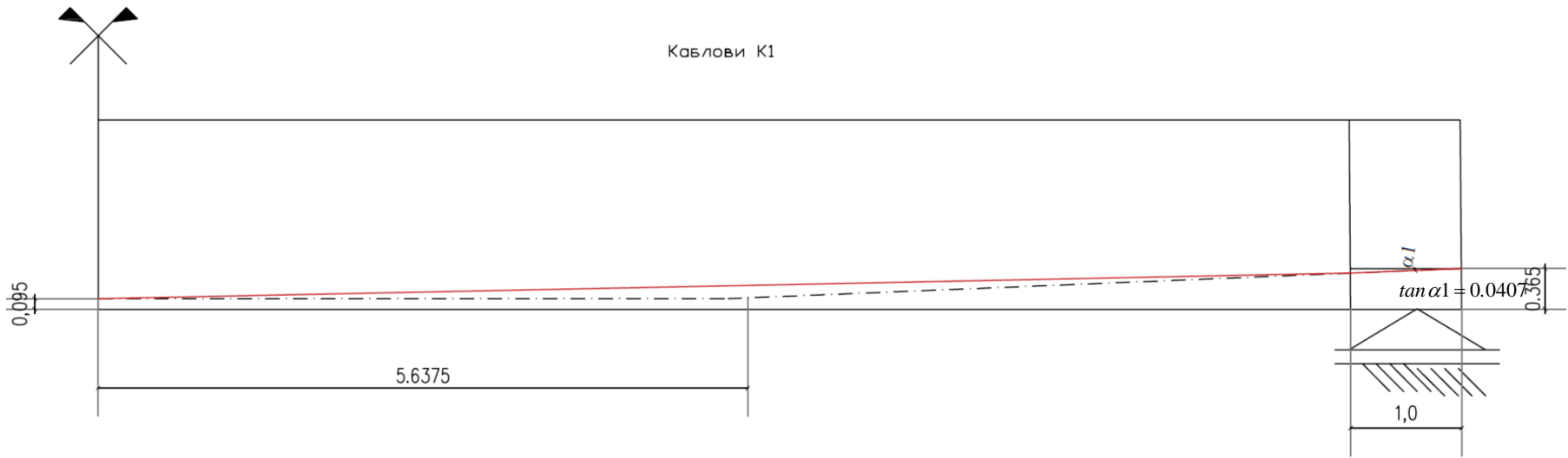
Пресек у средини распона



Пресек код ослоња

Каблови K1 и K2 су каблови прве фазе, кабл K3 је кабл друге фазе који се утежу након очвршћавања плоче.

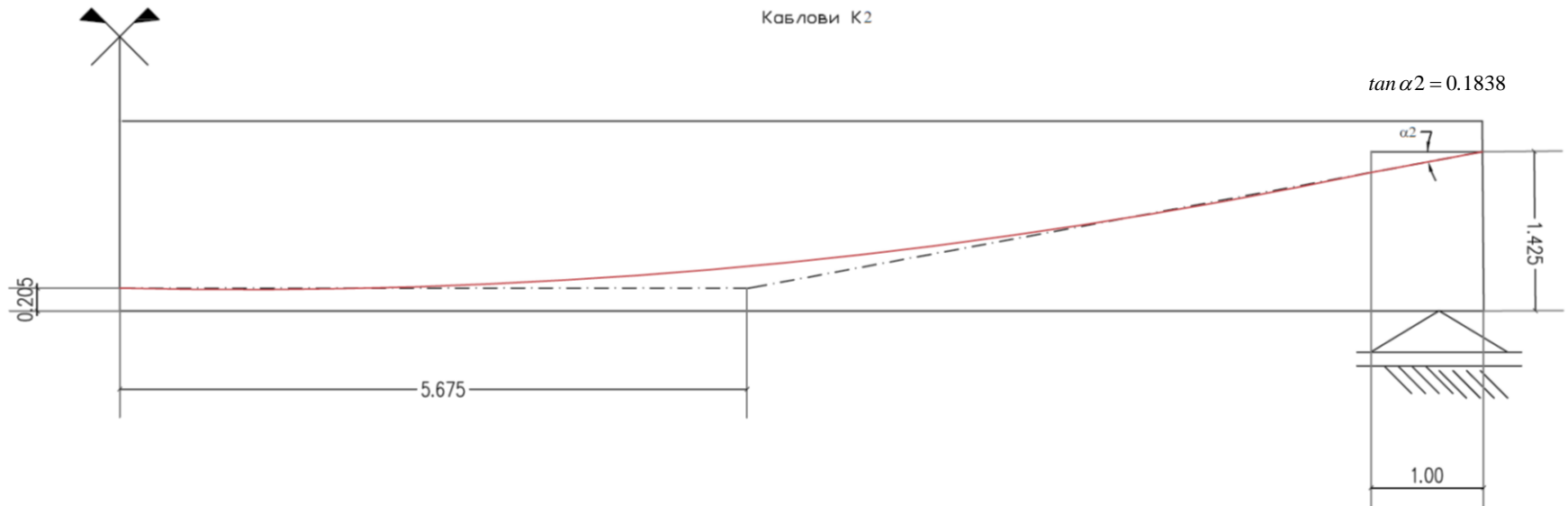
# Траса каблова К1



Једначина трасе мерено од средине распона ( $x$  у cm)

$$y_1 = 1.804 \cdot 10^{-5} x^2 + 9.5$$

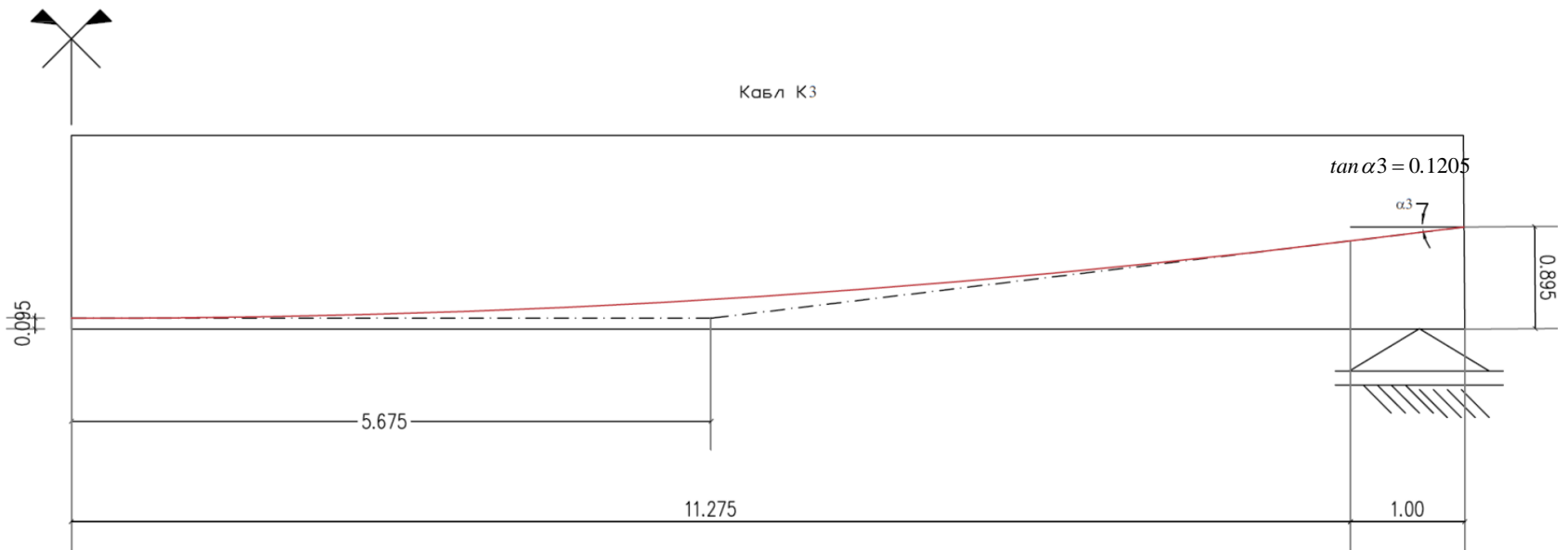
# Траса каблова К2



Једначина трасе мерено од средине распона (x у cm)

$$y_2 = 5.345 \cdot 10^{-5} x^2 + 20.5$$

# Траса кабла КЗ



Једначина трасе мерено од средине распона ( $x$  у cm)

$$y_3 = 5.345 \cdot 10^{-5} x^2 + 9.5$$

# Трасе каблова



x (cm)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1127.5	1227.5
y1	9.5	9.68039	10.22156	11.12351	12.38624	14.00975	15.99404	18.33911	21.04497	24.1116	27.53901	31.3272	32.4322	36.5
y2	20.5	21.3151	23.76038	27.83586	33.54154	40.8774	49.84346	60.4397	72.66614	86.52277	102.0096	119.1266	124.1196	142.5
y3	9.5	10.03449	11.63796	14.3104	18.05183	22.86223	28.74161	35.68997	43.70731	52.79362	62.94892	74.17319	77.44727	89.5
yr	13.33	13.80302	15.22209	17.58721	20.89837	25.15557	30.35882	36.50812	43.60347	51.64486	60.63229	70.56577	73.46333	84.13

Ординате траса мерено од средине распона (x у cm) у односу на доњу ивицу.

# Прорачунски модел

- Пресеци се разматрају као испрскали уколико је чврстоћа бетона на затезање савијањем превазиђена ( $f_{ct,eff}$  (СРПС ЕН 1992-1-1 - 7.1(2))). Ово захтева једноставне итерације за одређивање момента носивости.
- Сила преднапрезања се не може бити одредити директно (слично је и са контолом ширине прслина код АБ елемената), потребно је претпоставити димензије и затим их проверити.
- Погодно је започети провером декомпресије – за типичне носаче са кабловима у близини затегнуте ивице уобичајено је да се пројектује пресек без прслина (тако да контрола декомпресије није потребна).
- Комбиновање момената који затеже горњу страну из континуалног носача над средњим ослонцем са моментом од претходног напрезања модела просте греде даје конзервативне утицаје у пресеку у околини средњег ослонца.

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола напона

- **SLS границе напона су  $0.6f_{ck}$  за бетон,  $0.8f_{yk}$  за арматуру и  $0.75f_{pk}$  за каблове. У пројекту је усвојено:**

1. Бетон префабрикованог носача (C 35/45) =  $0.6 \times 35 = 21$  МПа, за бетон плоче (C 30/37) =  $0.6 \times 30 = 18$  МПа
2. Мека арматуре =  $0.8 \times 500 = 400$  МПа
3. Арматура за претходно напрезање =  $0.75 \times 1770 = 1328$  МПа

највећи напон којим је кабл затегнут:  $\min \{ 0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k} \}$ .

напон у каблу непосредно после затезања или преношења силе:  $\min \{ 0,8 \cdot f_{pk}; 0,9 \cdot f_{p0,1k} \}$ .

- Ове границе се контролишу под карактеристичном комбинацијом оптерећења. Иако Еврокод не тражи пожељно је усвојити силу претходног напрезања тако да се не јаве прслине под овом комбинацијом оптерећења. Тада, наравно изостаје контрола декомпресије.
- Течење и одговарајућа прерасподела напона са основног на спрегнути пресек током времена се најчешће у пракси занемарује. Ова прерасподела би имала ефекат смањења нормалне силе у основном пресеку, те долази до повећања напона затезања на доњој ивици префабрикованог носача уз повећење напона притиска у накнадно бетонираној плочи.
- У подручју где моменти затезу горњу ивицу, премашена је затезна чврстоћа бетона, тако да се напони морају израчунати на основу модела пресека са прслинама.
- За чвор (накнадно бетониран) директно изнад стуба, прорачун је једноставан јер се ради о армирано-бетонским елементима. Количина арматуре се може одредити према ULS прорачуну и касније се контролишу напони под карактеристичном комбинацијом.
- У близини чвора за континуитет, мора се узети у обзир расподела напона која је резултат бетонирања плоче након постављања префабрикованог носача. Потребно је у анализи пресека водити рачуна о почетним напонима у делу пресека – префабриковани носач. Ова почетна напрезања су услед сопствене тежине префабрикованог носача, претходног напрезања и тежине плоче.



# Гранично стање употребљивости SLS – контрола прслина

- **Потребно је проверити ширину прслина у областима негативних момената, где ће плоча изведена на лицу места испрскати.** Контрола се ради као за армирано бетонске пресеке са ограничењем прслина на 0.3 mm под квази-сталним оптерећење и са арматуром одређеном према SLS прорачуну.
- Често је могуће употребити индиректну контролу прслина према одредби 7.3.3 Еврокода 2. Ова одредба даје табеларни приказ потребног пречника шипке или њиховог међусобног растојања у зависности од напона у арматури под квази-сталним оптерећењем.
- Према одредби 9.3.1.1 у зонама највећих напрезања растојање шипки арматуре не сме бити веће од 250 mm.
- Само области негативних момената (у околини средњег стуба) треба да се контролошу на прслине јер су моменти у околини крајњих ослонаца знатно мањи. Међутим уколико се смањује подужна арматура у плочи у пресецима удаљеним од средњег стуба, може се десити да је и овде потребна арматура већа од минималне.

# Глобална ULS анализа – Гранично стање

## НОСИВОСТИ

- Ефекти скупљања, температуре, диференцијалног слегања и секундарних ефеката услед преднапрезања (услед прерасподеле) се обично занемарују при ULS прорачунима. Разлог је што ниједно од побројаних оптерећења не изазива додатне пресечне силе код дуктилних конструкција (као што је правилно армирани или преднапрегнути бетонски мост) које могу да прихвате ова оптерећења кроз прерасподелу без икаквог губитка у носивости.
- Неопходно је обезбедити минималну површину арматуре у свим армирано-бетонским пресецима тако да не дође до течења арматуре одмах по формирању прслине, што би резултирало стварањем малог броја широких прслина и довело до кртог лома елемента конструкције. Услов је да се одреди колико је арматуре потребно да би се прихватио напон затезања који је носио бетон пре отварања прслине.
- У преднапрегнутим бетонским елементима овај минимални захтев за армирање не мора да буде испуњен под условом да при карактеристичној комбинацији максимална вредност напона затезања у пресеку не прелази средњу затезну чврстоћу бетона, другим речима, под условом да је бетон (номинално) без прслина, нема потребе за армирањем да би се ограничио отвор прслина. Међутим, клаузула 5.10.1(5(П)) ЕН 1991-1-1 захтева да „треба избећи крти лом елемента услед прекида каблова“.

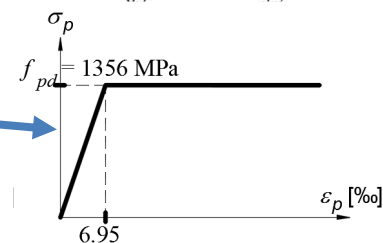
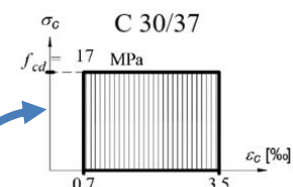
# Гранично стање носивости ULS - Контрола носивости за пресек у средини распона (поље)

$$M_{Ed} = 1.35(2051 + 1172 + 344) + 1.35(538 + 1085) = 7006.5 \text{ kNm}$$

Претпоставке:

- неутрална линија у добетонираној плочи C 30/37  $f_{cd} = 17 \text{ MPa}$
- занемарује се и притиснута и затегнута арматура (на страни сигурности)
- користи се блок радни дијаграм бетона
- радни дијаграм челика за претходно напрезање
- занемарује се прерасподела услед скупљања и течења

$$\varepsilon_{p,dec} = \frac{P_t}{E_p \cdot A_p} + \frac{1}{E_{cm}} \left( \frac{P_t}{A_i} + \frac{P_t \cdot z_p^2}{I_i} \right) \quad \Delta \varepsilon_p = \frac{d-x}{x} \cdot \varepsilon_{ct3} (\text{‰}), \quad \varepsilon_p = \varepsilon_{p,dec} + \Delta \varepsilon_p$$



Након итерација добија се  $x=21.36 \text{ cm}$  – што одговара претпоставци да је неутрална линија у добетонираној плочи али је  $M_{Rd} = 6949 \text{ kNm}$  па је потребно узети у обзир и меку арматуру. Са додатне 2 шипке  $\varnothing 16$  постављене на  $78 \text{ mm}$  од доње ивице имамо:  $x=22.24 \text{ cm}$  и  $M_{Rd} = 7205 \text{ kNm} > M_{Ed}$

# Гранично стање носивости ULS - Арматура за континуитет (ослонац)

- Временом ће се код средњег стуба појавити додатни момент савијања услед течења и диференцијалног скупљања. Овај момент ће бити позитиван ако преовлађује претходно напрезање у односу на стално оптерећење, а у супротном расте негативни момент.
- Процена овог ефекта се може извршити помоћу одговарајућих прорачуна течења и скупљања, а резултирајући моменат укључити у анализу конструкције. Међутим, тачност таквих прорачуна је слаба, због непоузданости у погледу својстава бетона и прецизности предвиђеног распореда извођења.
- Алтернатива је занемарити ове ефекте и једноставно осигурати да постоји адекватан количина арматуре у доњој зони чвора греда како би се обезбедила контрола прслина над средњим стубом у случају да доминира течење услед преднапрезања. SRPS EN 15050:2014 захтева да се минимална површина арматуре континуитета израчунава према клаузули 7.3.2 SRPS EN 1992-1-1:2015.

# Гранично стање носивости ULS - Количина арматуре за континуитет (ослонац)

$$M_{Ed} = 1.35 \cdot 606 + 1.35(689 + 528) = 2461 \text{ kNm}$$

$$d = 1.95 - \frac{0.25}{2} = 1.825 \text{ m}; \quad z \cong 0.9 \cdot 1.825 \text{ m} = 1.624 \text{ m}$$

$$F_a = \frac{246100}{162.4 \cdot 43.5} = 34.44 \text{ cm}^2 \quad \text{поставити на 1,5m ширине плоче у обе зоне}$$

$$34.33 / 1.5 / 2 = 11.5 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Усвојено  $\emptyset 14/10$  ( $15.4 \text{ cm}^2/\text{m}$ ) у горњој и доњој зони плоче над средњим ослоном – усвојено  $F_a = 46 \text{ cm}^2$

# Гранично стање употребљивости SLS - Минимална доња армаура у чвору ради ограничења прслина

$$A_{s,min} \sigma_s \geq k_c k A_{ct} f_{ct,eff}$$

$$k_c = 0.4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 \quad \sigma_c = \frac{N_{Ed}}{bh}$$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct,eff} / \sigma_s$$

$$k_c = 0.4 \quad k = 0.65 \quad f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 2.9 \text{ MPa}$$

$$A_{s,min} = 0.4 \cdot 0.65 \cdot 588900 \cdot 2.9 / 400 = 1110 \text{ mm}^2 = 11.1 \text{ cm}^2$$

Усвојене 6  $\emptyset$  16 у доњој зони пресека

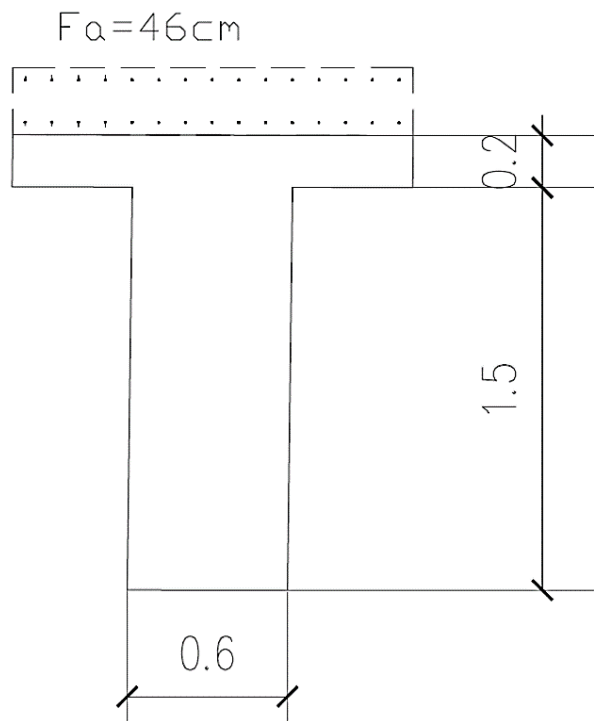
За напон у арматури, уз претпоставку да ће се поставити шипке  $\emptyset$  16, се усваја на основу табеле 7.2N – Највећи пречници шипки  $\emptyset s^*$  за контролу прслина (при чему је потребно извршити корекцију на основу):

$$\phi_s = \phi_s^* \left( f_{ct,eff} / 2.9 \right) \frac{k_c h_{cr}}{2(h-d)}$$

Те се усваја напон у арматури за индиректну контролу прслина од 400MPa

$$\emptyset_s^* = \emptyset \cdot \frac{2.9}{f_{ct,eff}} \cdot \frac{2(h-d)}{k_c \cdot h_{cr}} = 16 \cdot 1 \cdot \frac{2 \cdot 70}{0.4 \cdot 981} = 6 \text{ mm}$$

# Прорачунски пресек у чвору над средњим стубом



Карактеристике идеализованог пресека:

$$F_i^s = 1.227059 \text{ m}^2$$

$$y_d^s = 0.98152 \text{ m}$$

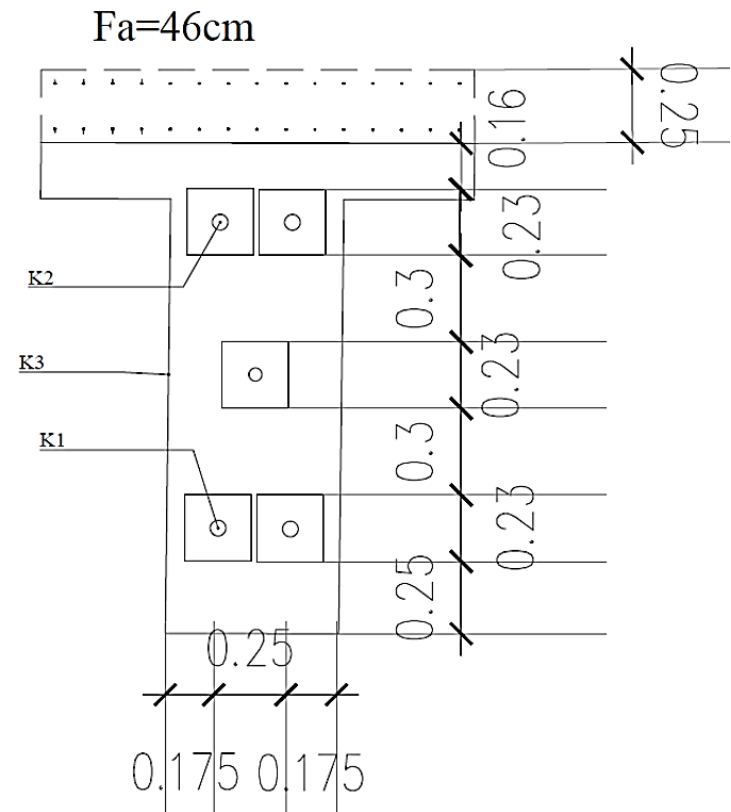
$$I_i^s = 0.351985 \text{ m}^4$$

Висина затегнуте зоне (са доње стране) је 98.15 cm

$$A_{c,t} = 981.5 \cdot 600 = 588900 \text{ mm}^2$$

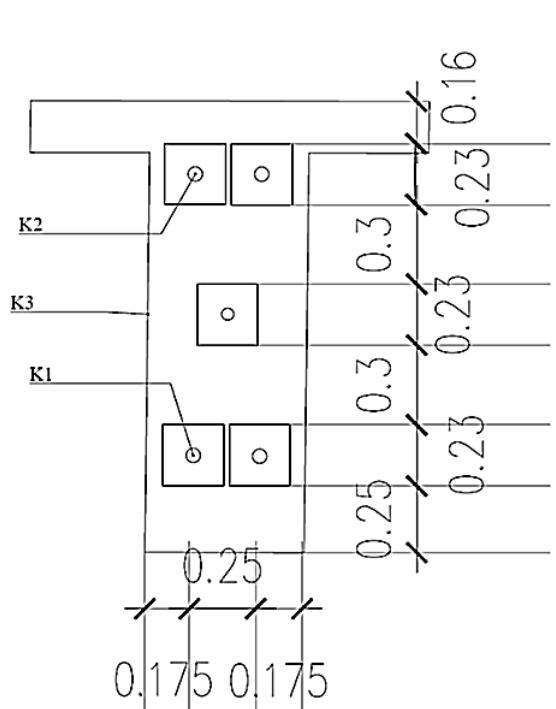
# Пресек у зони чвора који садржи префабриковани носач

- Овај пресек је спрегнути и изложен је преднапонима у делу префабрикованог носача. Одређивање активног пресека у фази лома треба да узме ову чињеницу у обзир. Претпоставка је да је плоча испрскала и у активни пресек улази подужна арматура плоче. На страни сигурности је да се усвоје исте вредности момента и трансверзалне силе као на средњем ослоњу (иако је пресек од сталног ослоња удаљен око 85cm).

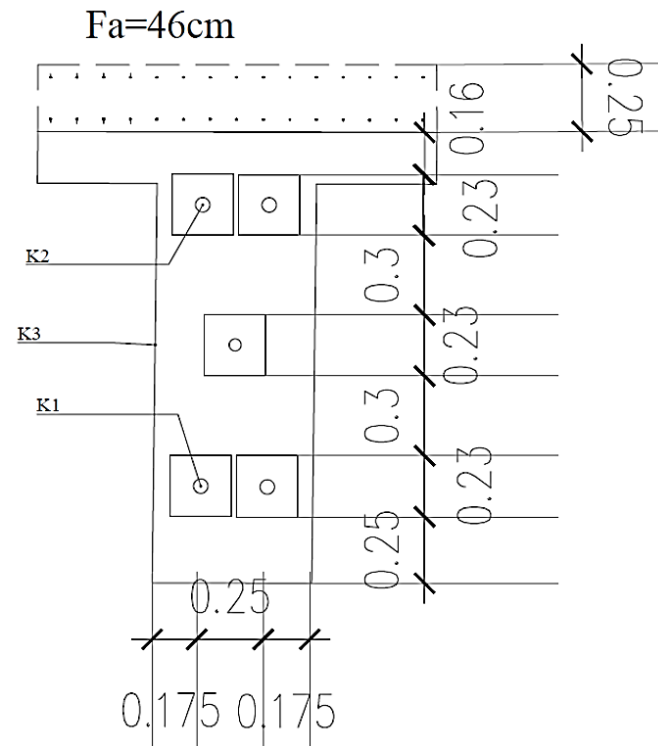




# Карактеристике пресека код чвора префабрикованог и спрегнутог носача



$$F_i^o = 1.2 \text{ m}^2 \quad y_d^o = 0.9625 \text{ m} \quad I_i^o = 0.3323 \text{ m}^4$$



$$F_i^s = 1.227059 \text{ m}^2 \quad y_d^s = 0.98152 \text{ m} \quad I_i^s = 0.351985 \text{ m}^4$$

# Гранично стање носивости ULS - Момент лома пресека у зони чвора који садржи префабриковани носач

- У посматраном спрегнутом пресеку тражи се момент лома који затеже горњу страну, а каблови су у близини тежишта префабрикованог носача. Идеализовани пресек садржи префабриковани носач и арматуру постављену у горњу плочу. Користи се блок радни дијаграм бетона са ширином притиснуте зоне од 60 cm.
- Итерацијама је одређен положај неутралне линије у фази лома (изједначавањем сила притиска и затетања у пресеку)
- Након тога је одређен је крак унутрашњих сила  $z = 96.14\text{cm}$  (који је и надаље потребан за одређивање носивости на смицање) са чиме је одређен и момент лома  $M_{Rd} = 5614\text{kNm}$  што је знатно веће од момента чвора у континуитету.

## Гранично стање употребљивости SLS

- Како је пресек у средини распона већ контролисан приликом усвајања броја каблова ова контрола није потребна у овом пресеку.
- Пресек у чвору – АБ пресек – врши се контрола напона при карактеристичној комбинацији и прслина при квазисталној комбинацији.

## Утицаји у чвору

- Карактеристична комбинација:
  - Како се од оптерећења разматра само једно промењиво оптерећење – саобраћајно, оно је истовремено доминантно тако да комбинација гласи:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad M_{\text{кар.}} = -606 - 698 - 528 = -1832 \text{ kNm} \quad \text{Затегнута горња страна}$$

- Квази стална комбинација:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}, \quad \text{односно како је } \psi_{2,1} = 0$$

$$M_{\text{ква.ста.}} = -606 \text{ kNm} \quad \text{Затегнута горња страна}$$

## Контрола напона у чвору

- Како је затегнута горња страна пресек се третира као правоугаони. Затегнута арматура -  $F_a=69\text{cm}^2$  (у оквиру 1.5m). Притиснута арматура  $6\emptyset 16 = 12.06 \text{ cm}^2$

$$\xi = \alpha(\rho_1 + \rho_2) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2\left(\rho_1 + \rho_2 \frac{d_2}{d}\right)}{\alpha(\rho_1 + \rho_2)^2}} \right]$$

$$x_{II} = \xi d$$

$$\sigma_c = \sigma_{c,2} = \frac{M}{bd^2} \frac{1}{\frac{\xi}{2}\left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha\rho_2\left(1 - \frac{d_2}{\xi d}\right)\left(1 - \frac{d_2}{d}\right)}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha\sigma_c \frac{1 - \xi}{\xi} \quad \sigma_{s2} = \alpha\sigma_c \frac{\xi - \frac{d_2}{d}}{\xi}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{33} = 6.06$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{69}{60 \cdot (195 - 25/2)} = 0.0063$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} = \frac{12.06}{60 \cdot (195 - 25/2)} = 0.0011; \quad d_2 = 7\text{cm}$$

$$\xi = \alpha(\rho_1 + \rho_2) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2\left(\rho_1 + \rho_2 \frac{d_2}{d}\right)}{\alpha(\rho_1 + \rho_2)^2}} \right] =$$

$$= 6.06 \cdot 0.0074 \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2\left(0.0063 + 0.0011 \cdot \frac{7}{182.5}\right)}{6.06 \cdot 0.0074^2}} \right] = 0.236$$

$$x_{II} = \xi \cdot d = 0.236 \cdot 182.5 = 43.01\text{cm}$$

## Контрола напона у чвору

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{M}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\frac{\xi}{2} \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \cdot \rho_2 \left(1 - \frac{d_2}{x_{II}}\right) \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)} = \\ &= \frac{183200}{60 \cdot 182.5^2} \frac{1}{\frac{0.236}{2} \left(1 - \frac{0.236}{3}\right) + 6.06 \cdot 0.0011 \left(1 - \frac{7}{43.01}\right) \left(1 - \frac{7}{182.5}\right)} = 0.8035 \text{ kN} / \text{cm}^2 = \\ &= 8.035 \text{ MPa} < 0.6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} = 6.06 \cdot 8.035 \frac{1 - 0.236}{0.236} = 157.64 \text{ MPa} < 0.8 \cdot 500 = 400$$

$$\sigma_{2s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{\xi - \frac{d_2}{d}}{\xi} = 6.06 \cdot 8.035 \frac{0.236 - \frac{7}{182.5}}{0.236} = 40.78 \text{ MPa}$$

# Контрола прслина у чвору

$$w_k = S_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$$h_{eff} = \min\{2.5(h-d), (h-x)/3, h/2\} = \min\{2.5 \cdot 182.5, (182.5 - 43.01)/3, 182.5/2\} = 46.5 \text{ cm}$$

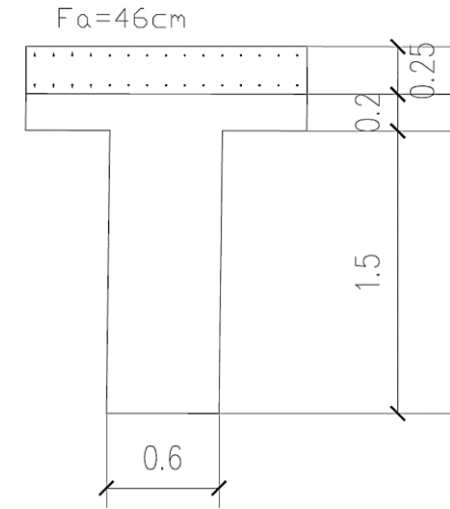
$$A_{c,eff} = 600 \cdot 465 = 278980 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{606}{1832} \cdot 157.64 = 52.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{6900}{278980} = 0.0247; \quad k_t = 0.4$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{52.14 - 0.4 \frac{2.9}{0.0247} (1 + 6.06 \cdot 0.0247)}{200 \cdot 10^3} =$$

$$= -9.02 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \text{не долази до отварања прслина под квазисталним оптерећењем}$$



$$A = 1.575 \text{ m}^2 \quad y_g = 0.7821 \text{ m} \\ I = 0.5468 \text{ m}^4$$

$$\sigma_{c,g} = -\frac{606}{0.546} \cdot 0.8721 / 1000 = -0.97 \text{ MPa} > -2.9 \text{ MPa}$$

*\*Напомена: Напон у затегнутој арматури је пропорционалан односу момената под карактеристичном или квазисталном оптерећењу под условом истог прорачунског пресека (пресек са прслином)*

# Гранично стање носивости ULS - Смицање

- Глобално смицање
  - Иако се користе слични изрази као за АБ елементе постоји мултипликатор којим се уводи утицај нормалне силе притиска (ПН).
  - Носачи које не захтевају посебну арматуру за смицање морају имати минималну количину узенгија према ставу 9.2.2, док се код плоча и осталих елемената које имају особину трансверзалне прерасподеле оптерећења ни минимална арматура за смицање није неопходна.
  - Крак унуташњих сила,  $z$ , се обично може усвојити као  $0.9d$  за АБ елементе без аксијалне силе. Овај модел се може користити у елементу чвора над средњим стубом.
  - Када постоји аксијална сила или преднапрезање, вредност  $z$  ће се вероватно разликовати од ове, па се мора прецизније израчунати.
  - Потребно је тада одредити тежиште притиснутог бетона у стању лома. Тада је крак  $z$ , растојање између овог тежишта и резултанте силе затезања у пресеку (узимајући у обзир и меку арматуру као и каблове).



# Носивост на смицање без арматуре за смицање – носивост бетона на смицање

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$$

$$\rho_l = \frac{A_{s1}}{b_w d} \leq 0.02$$

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad v_{min} = 0,035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$d = 1950 - 841.3 = 1108.7 \text{ mm} \quad b_w = 600 \text{ mm} \quad \rho_l = \frac{A_p}{b_w d} = \frac{47 \cdot 93}{600 \cdot 1108.7} = 0.0066 < 0.02$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{1024.4}} = 1.44 < 2 \quad \sigma_{cp} = \frac{4357}{1.503} / 1000 = 2.9 \text{ N/mm}^2 < 0.2 f_{cd} = 3.97 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{R,dc} = \left[ 0.12 \cdot 1.44 (100 \cdot 0.0066 \cdot 35)^{1/3} + 0.15 \cdot 2.9 \right] \cdot (600 - 2 \cdot 0.5 \cdot 55) \cdot 1108.7 / 1000 = \boxed{560.18 \text{ kN}}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot 1.44^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.358 \quad V_{R,dc} = (0.358 + 0.15 \cdot 2.9) \cdot 545 \cdot 1024.4 / 1000 = 442.6$$

# Одређивање минималне потребне арматуре за смицање

- Минимална попречна арматура:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \rho_{w,min} = 0,08 \frac{\sqrt{35}}{500} = 0,0095\%$$

$$s_{\rho w,min} = \frac{m a_{sw}^{(1)}}{\rho_{w,min} b_w} \quad s_{w,min} = \frac{2 \cdot 0,785}{0,00095 \cdot 60} = 27,5cm$$

Минимална количина попречне арматуре је  $\emptyset 10/25$ .

# Одређивање трансверзалних сила услед претходног напрезања – крајњи ослонац

- Утицаји се одређују узимајући у обзир:
  - прва група каблова:
    - 15% силе изгубљено у основном пресеку у систему просте греде;
    - наредних 5% силе изгуби у систему континуалног носача

$$V_{p,K1} = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot \sin\alpha_1 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.0025 = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.0029 = 73.69$$

$$V_{p,K2} = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot \sin\alpha_2 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.00115 = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.00115 = 356.06$$

– додатни кабл:

- Комплетни губици у износу 15% се остваре у систему континуалног носача

$$V_{p,K3} = 804 \cdot \sin\alpha_3 - 804 \cdot 0.00643 = 88.76 \cdot 0.1205 - 804 \cdot 0.00643 = 91.71$$

# Одређивање трансверзалних сила услед претходног напрезања – при средњем ослонцу

- Утицаји се одређују узимајући у обзир:
  - прва група каблова:
    - 15% силе изгубљено у основном пресеку у систему просте греде;
    - наредних 5% силе изгуби у систему континуалног носача

$$V_{p,K1} = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot \sin\alpha_1 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.00498 = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.00498 = 67.99$$

$$V_{p,K2} = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot \sin\alpha_2 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.0023 = 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 - 2 \cdot 1148 \cdot 0.0023 = 353.4$$

– додатни кабл:

- Комплетни губици у износу 15% се остваре у систему континуалног носача

$$V_{p,K3} = 804 \cdot 0.1205 - 804 \cdot 0.01285 = 86.55$$

# Одређивање прорачунске вредности трансверзалних сила

Крајњи ослонац

$$\begin{aligned}V_{Ed} &= 1.35 \cdot (V_g + V_{pl} + V_{\Delta g}) + 1.35 \cdot (\max V_{UDL} + \max V_{TS}) - 1.0 \cdot V_p \\ &= 1.35(328 + 187.5 + 73.25) + 1.35(98.3 + 211) - \\ &\quad - (73.69 + 356.06 + 91.71) = 690.91 \text{ kN}\end{aligned}$$

Близина средњег ослонца – део који  
садржи префабриковани носач

$$\begin{aligned}V_{Ed} &= 1.35 \cdot (V_g + V_{pl} + V_{\Delta g}) + 1.35 \cdot (\max V_{UDL} + \max V_{TS}) - 1.0 \cdot V_p \\ &= 1.35(328 + 187.5 + 122) + 1.35(140 + 217) - \\ &\quad - (69.99 + 353.4 + 86.55) = 832.63 \text{ kN}\end{aligned}$$

Средњи ослонац – АБ чвор

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (\max V_{UDL} + \max V_{TS}) = 1.35 \cdot 122 + 1.35(140 + 217) = 646.65 \text{ kN}$$

# Осигурање у чвору на средњем ослонцу

- Пресек у чвору (без нормалне силе – АБ пресек)

$$V_{Rd} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 \cdot 545 \cdot 0.9 \cdot 1825 \cdot \left(0.6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right)\right) 19.83 / 1000 = 5088 kN \gg 646,65 kN$$

$$V_{Rd} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} = \frac{1}{2} \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} \sin 2\theta$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{646.65 \cdot 1}{0.9 \cdot 182.5 \cdot 43.5} = 0.0905 cm^2 / cm = 9.05 cm^2 / m$$

Приликом израчунавања смичног капацитета пресека вредност  $\alpha_{cc}$  која се користи за израчунавање пројектне чврстоће бетона на притисак треба узети вредност од 0.85 према нашем националном анексу.

## Осигурање у околини средњег ослонца

- Близина средњег ослонца – део који садржи префабриковани носач
- Крак унутрашњих сила је одређен при одређивању граничне носивости и износи  **$z=96.14\text{cm}$**  па је потребна арматура:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{832.63 \cdot 1}{96.14 \cdot 43.5} = 0.1991 \text{cm}^2 / \text{cm} = 19.91 \text{cm}^2 / \text{m}$$

- Усвојена арматура  $m=2$ ,  $\emptyset 12/10$  ( $22.6 \text{cm}^2/\text{m}$ )

## Осигурање у околини средњег ослоња – део који садржи префабриковани носач

- Факторисано оптерећење у посматраном пресеку у првој фази са претпостављеним почетним губицима од 5% даје напон притиска на горњој ивици (тежише каблова испод тежишта  $e_k = 9.79\text{cm}$ ):

$C35/45 \Rightarrow f_{ctk,0.05} = 2.2\text{MPa}$   $f_{ct,d} = 2.2/1.5 = 1.5\text{MPa}$  допуштено затезање

$$\sigma_g = \frac{1 \cdot 4 \cdot 0.95 \cdot 1148}{12000} - \frac{1 \cdot 4 \cdot 0.95 \cdot 1148 \cdot 6.75}{33231250} \cdot 73.75 = 0.298\text{kN/cm}^2 = 2.98\text{MPa} > -1.5\text{MPa}$$

- Како нема прслина у зони контроле, носивост на смицање се рачуна:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{(f_{ct,d})^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ct,d}} = \frac{33231250 \cdot (60 - 5.5)}{60 \cdot (96.25)^2 / 2} \sqrt{0.15^2 + \frac{4 \cdot 0.95 \cdot 1148}{12000} \cdot 0.15} = 1808\text{kN}$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot 328 - 1 \cdot 0.95 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 1 \cdot 0.95 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 = -47\text{kN} \ll 1808\text{kN}$$



# Осигурање у околини средњег ослоња – део који садржи префабриковани носач

- Након губитака силе прве фазе од око 15% а са тежином свежег бетона плоче:

$$\sigma_g = \frac{1 \cdot 4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} - \frac{1 \cdot 4 \cdot 0.85 \cdot 1148 \cdot 6.75}{33231250} \cdot 73.75 = 0.267 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 2.67 \text{ MPa} > -1.5 \text{ MPa}$$

- Како нема прслина у зони контроле носивост на смицање се рачуна:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{(f_{ct,d})^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ct,d}} = \frac{33231250 \cdot (60 - 5.5)}{60 \cdot (96.25)^2 / 2} \sqrt{0.15^2 + \frac{4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} \cdot 0.15} = 1739.94 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (328 + 187.5) - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 = 257.79 \text{ kN} \ll 1739.94 \text{ kN}$$

# Осигурање у околини средњег ослоња – део који садржи префабриковани носач

- У другој фази затечени напони прве фазе износе:

$$\sigma_g = \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} - \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148 \cdot 6.75}{33231250} \cdot 73.75 = 0.298 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 2.98 \text{ MPa} = \sigma_{s,d}$$

$$\sigma_d = \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} + \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148 \cdot 6.75}{33231250} \cdot 96.25 = 0.402 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 4.02 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Tspr} = \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} + \frac{1.4 \cdot 0.85 \cdot 1148 \cdot 6.75}{33231250} \cdot (116.7 - 96.25) = 0.341 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 3.41 \text{ MPa}$$

116.7 cm је одстојање ттежишт спрегнутог пресека од доње ивице

- Услед утезања друге групе каблова (на спрегнутом пресеку) са претпостављеним почетним губицима друге фазе каблова од 5%

$$\sigma_{g,s} = \frac{1 \cdot 0.95 \cdot 804}{15705} - \frac{1 \cdot 0.95 \cdot 804 \cdot 27.2}{54630487.83} \cdot 53.31 = 0.028 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 0.28 \text{ MPa} > -1.5 \text{ MPa} \sigma_{s,d}$$

53.31 cm је одстојање ттежишт спрегнутог пресека од горње ивице префабрикованог носача

27.2 - одстојање кабла друге фазе од ттежишт спрегнутог пресека

- Нема прслина у зони контроле

$$\sigma_{c,s} = \sigma_{Tspr} + \frac{0.95 \cdot 804}{15705} = 0.341 + 0.048 = 0.389 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = \frac{54630487.83 \cdot 54.5}{116.69^2 / 2 \cdot 60} \sqrt{(0.15)^2 + 0.389 \cdot 0.15} = 2072 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (328 + 187.5) - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 - 0.95 \cdot 804 \cdot 0.1205 = 165.7 \text{ kN} \ll 2072 \text{ kN}$$

# Осигурање у околини средњег ослонца – део који садржи префабриковани носач

- У експлоатацији максимални напон услед факторисаног оптерећења:

$$\sigma_{g,s} = \frac{1 \cdot 0.85 \cdot 804}{15705} - \frac{1 \cdot 0.85 \cdot 804 \cdot 27.2}{54630487.83} \cdot 53.31 = 0.025 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 0.25 \text{ MPa} > -1.5 \text{ MPa} \sigma_{s,d}$$

53.31 cm је одстојање ттежишт спрегнутог пресека од горње ивице префабрикованог носача

27.2 - одстојање кабла друге фазе од ттежишт спрегнутог пресека

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{(f_{ct,d})^2 + \sigma_{cp} \cdot f_{ct,d}} = \frac{33231250 \cdot (60 - 5.5)}{60 \cdot (96.25)^2 / 2} \sqrt{0.15^2 + \frac{4 \cdot 0.85 \cdot 1148}{12000} \cdot 0.15} = 1739.94 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (328 + 187.5) - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.0407 - 1 \cdot 0.85 \cdot 2 \cdot 1148 \cdot 0.1838 = 257.79 \text{ kN} \ll 1739.94 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,s} = \sigma_{Tspr} + \frac{0.85 \cdot 804}{15705} = 0.341 + 0.043 = 0.384 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$V_{Rd,c} = \frac{54630487.83 \cdot 54.5}{116.69^2 / 2 \cdot 60} \sqrt{(0.15)^2 + 0.384 \cdot 0.15} = 2027 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (328 + 187.5 + 73.25) - 73.69 - 356.06 - 91.71 + 1.35 \cdot (98.3 + 211) = 690.91 \text{ kN} \ll 2027 \text{ kN}$$

# Смицање између фланше и ребра

Тамо где попречни пресек има танке фланше, постоји ризик од лома на споју фланше и ребра. Ако напон смицања између фланше и ребра прелази 40% пројектоване затезне чврстоће бетона, онда се мора обезбедити попречна арматура на споју фланше и ребра.

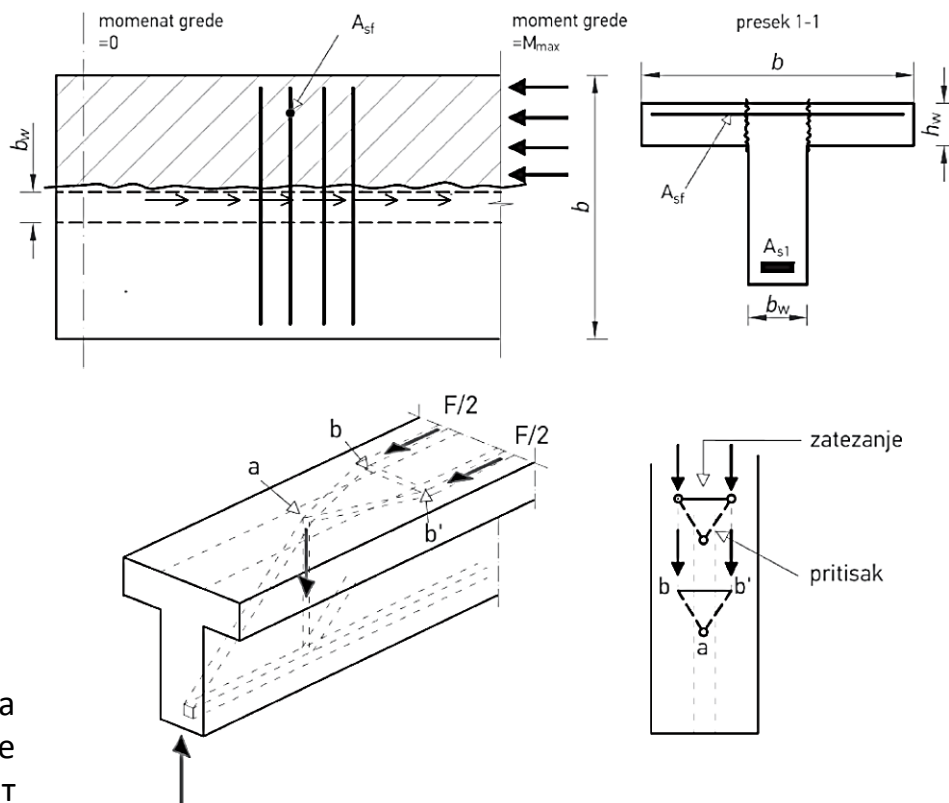
$$V_{Ed} = \Delta F_d \quad b_w = h_f \quad z = \Delta x$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w z} = \frac{\Delta F_d}{h_f \Delta x}$$

$$1.0 \leq \cot \theta_f \leq 2.0 \quad \left| \frac{A_{sf} f_{yd}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} h_f}{\cot \theta_f} \right.$$

$$v_{Ed} \leq v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f$$

Максимална вредност која се може претпоставити за  $\Delta x$  је половина растојања између пресека у коме је момент једнак нули и пресека у коме је момент максималан.



# Арматура на споју ребра и фланше

- У првој фази – крајњи ослонац:

$$h_f = 200mm; \Delta x_{max} = l/2 = 23750/2 = 11875mm$$

$$V_{Ed} = 1.35(328+187.5) - 1 \cdot (79.4 + 358.7) = 257.8kN$$

$$v_{Ed} = \frac{257800}{200 \cdot 11875} = 0.108MPa \quad f_{c,td} = 2.2/1.5 = 1.47MPa$$

$$0.4 \cdot f_{c,td} = 0.58 > 0.108$$

- У другој фази:

– Пресек код крајњег одлонца

$$h_f = 450mm; \Delta x_{max} = 0.7 \cdot l_2 / 2 = 0.7 \cdot 25000 / 2 = 8750mm$$

$$V_{Ed} = 257.79kN$$

$$v_{Ed} = \frac{257790}{450 \cdot 8750} = 0.065MPa \quad f_{c,td} = 2.0/1.5 = 1.33MPa$$

$$0.4 \cdot f_{c,td} = 0.53 > 0.065$$

– Пресек код средњег ослонца

$$h_f = 450mm; \Delta x_{max} = 0.7 \cdot l_2 / 2 = 0.25 \cdot 25000 / 2 = 3125mm$$

$$V_{Ed} = 832.63kN$$

$$v_{Ed} = \frac{832630}{450 \cdot 3125} = 0.59MPa \quad f_{c,td} = 2.0/1.5 = 1.33MPa$$

$$0.4 \cdot f_{c,td} = 0.53 < 0.59 \quad \text{треба осигурање}$$

# Потребна арматура на споју ребра и фланше

$$\frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{v_{Ed} \cdot h_f}{f_{yd} \cdot \cot \theta_f} = \frac{0.59 \cdot 450}{435 \cdot 1} = 0.61 \text{ mm}^2 / \text{ mm} = 6.1 \text{ cm}^2 / \text{ m}$$

Према утицајима у спрегнутом пресеку у околини средњег ослонца

Иако није потребна смичућа арматура у фланши основног пресека за пријем смицања, треба контролисати попречни момент у фланши под сопственим тежином и тежином плоче.

$$M_{Ed(f/r)} = 1.35 \cdot (0.2 \cdot 1.0 \cdot 25 \cdot 0.5^2 / 2 + 0.25 \cdot 1.0 \cdot 25 \cdot 0.5^2 / 2) = 1.9 \text{ kNm} / \text{ m}$$

$$A_s \cong \frac{190}{0.9 \cdot 15 \cdot 43.5} = 0.323 \text{ cm}^2 / \text{ m}$$

Укупна попречна арматура у плочи ће бити одређена након анализе плоче у попречном правцу.

# Смицање на споју бетона ливених у фазама

- Слично смицању између фланше и ребра пресека, до смицања може доћи и на споју између префабрикованог носача и in-situ плоче, где је затезна чврстоћа између старог и новог бетона нижа од одговарајуће монолитног бетонског пресека.

$$v_{Edi} = \beta \frac{V_{Ed}}{z \cdot b_i} \quad \text{са} \quad V_{Ed} = 832.63 \text{ kN} \quad z = 96.14 \text{ cm} \quad b_i = 150 \text{ cm} \quad \beta = 1.0$$

$$v_{Edi} = \frac{832.63}{96.14 \cdot 150} \cdot 10 = 0.57 \text{ MPa}$$

$$0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0.5 \cdot (0.6 \cdot (1 - 30 / 250)) \cdot \frac{30 \cdot 0.85}{1.5} = 4.9 \text{ MPa} > 0.57 \text{ MPa}$$

# Потребна арматура која пресеца спој

$$v_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$$
$$\rho = \frac{v_{Ed} - c \cdot f_{ctd} - \mu \cdot \sigma_n}{f_{yd} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha)} = \frac{0.57 - 0.1 \cdot 1.33 - 0.6 \cdot 0}{435(0.6 \cdot 1 + 0)} = 0.0017$$

$$A_s = 150 \cdot 100 \cdot 0.0017 = 25.0 \text{ cm}^2 / m$$

са усвојеним узенгијама двосечним  $\Phi 12$  на 10cm

и додатним двосечним  $\Phi 12$  на 20cm услов је задовољен ( $33.9 \text{ cm}^2 / m$ )

**As** - површина арматуре која пролази кроз контактну површину, укључујући обичну арматуру за смицање (уколико је има), која је одговарајуће усидрена са обе стране контактне површине

**Ai** површина контакта (споја)

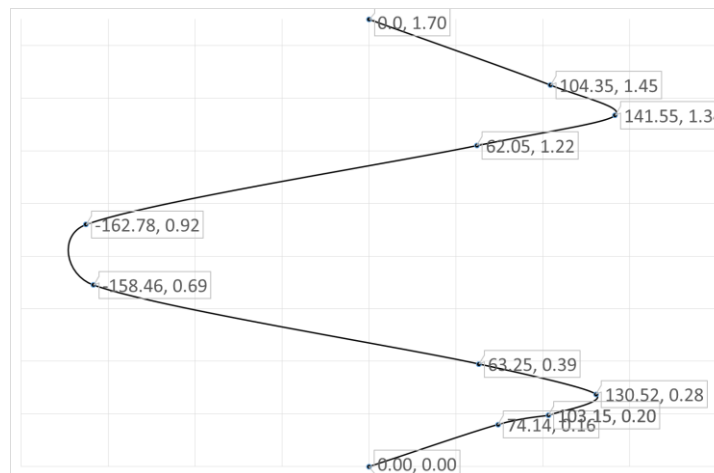
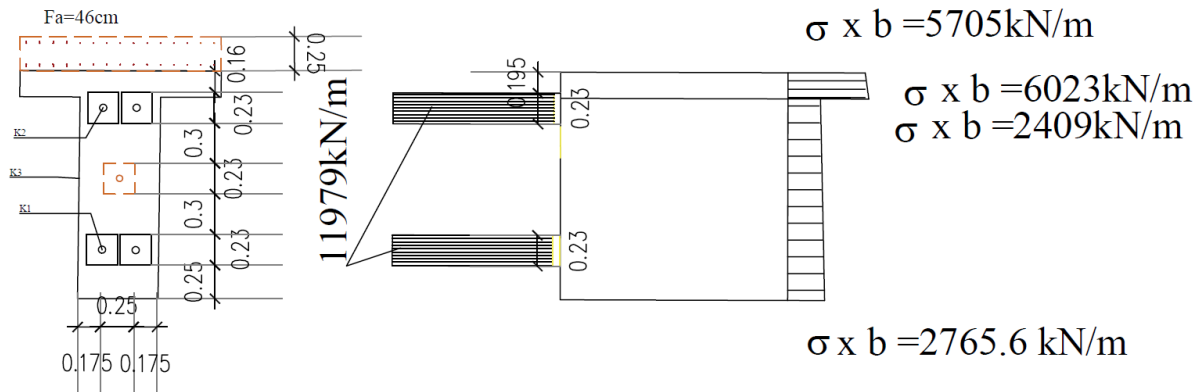
Глатке површине добијене клизном оплатом или екструдирањем, или слободне површине без накнадне обраде после вибрирања: **c = 0,20** и **μ = 0,6**

При оптерећењима на замор или динамичким оптерећењима, треба да се узму двоструко мање вредности за **c** у изразу



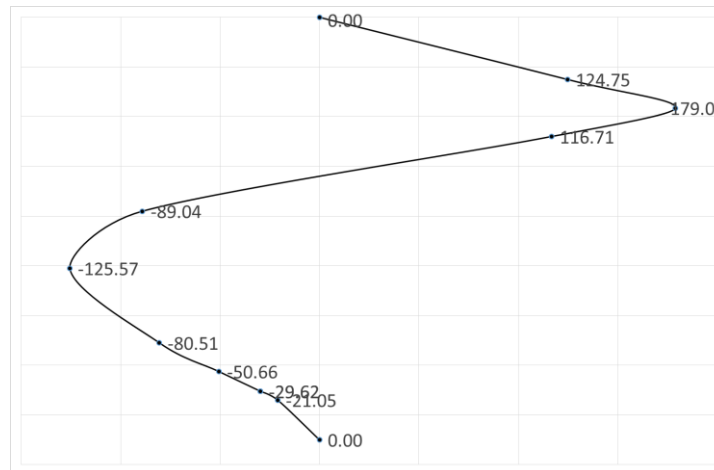
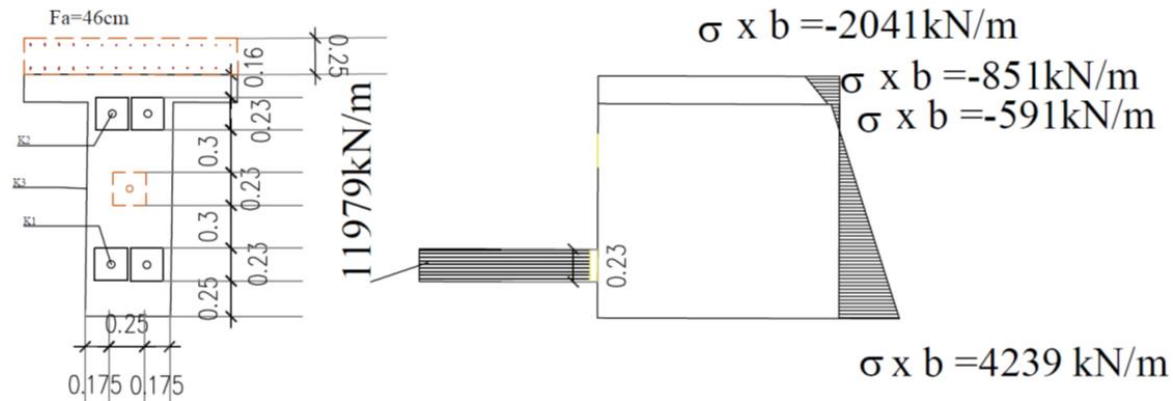
# Арматура у области уноса силе претходног напрезања

- Затегнута оба кабла фазе 1



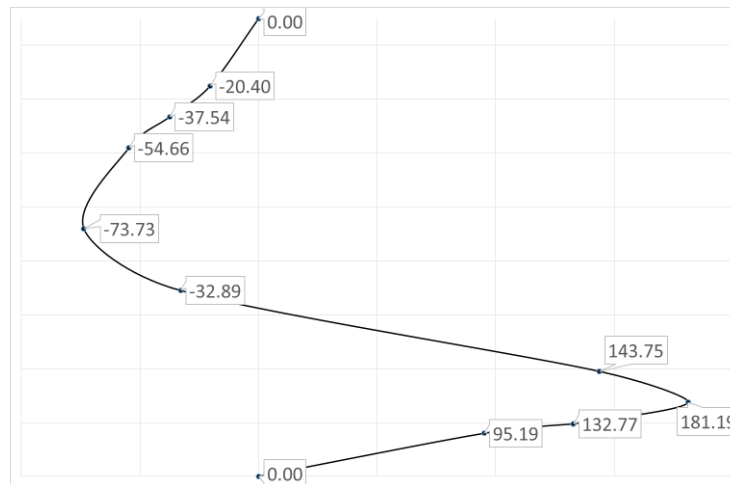
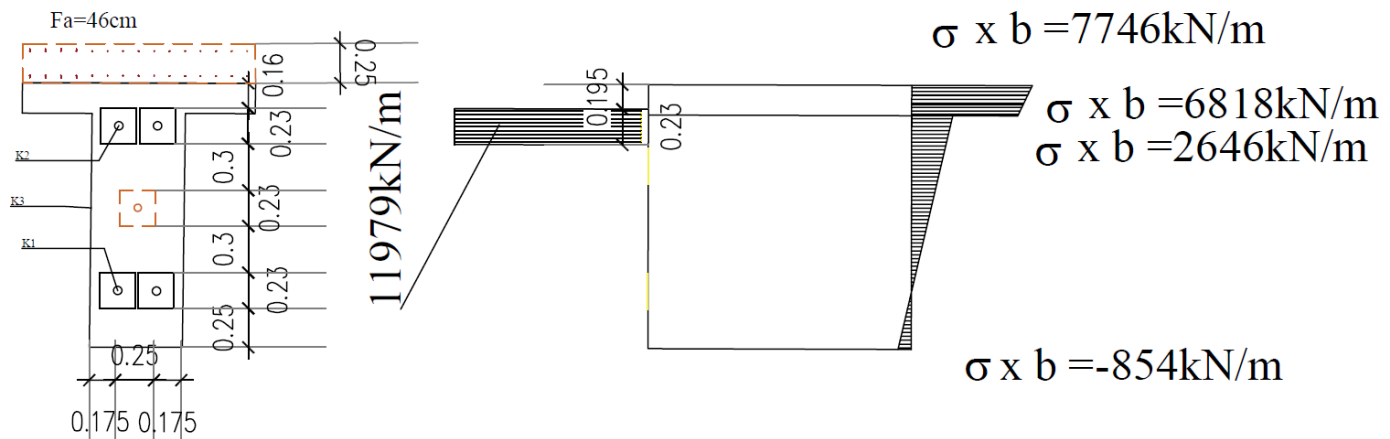
# Арматура у области уноса силе претходног напрезања

- Затегнути само каблови K1



# Арматура у области уноса силе претходног напрезања

- Затегнути само каблови К2



# Усвајање арматуре за анкеровање каблова прве групе

- Увидом у претходне дијаграме (арматура је постављена у префабрикованом носачу без испуштања преко горње ивице):

$$\max M = 181.2 \text{ kNm} \quad \min M = 163 \text{ kNm}$$

$$l_s = 0.6 \cdot 0.3 = 0.18 \text{ m} \quad A_{sp} = \frac{163 \cdot 100}{18 / 2 \cdot 30} = 60.3 \text{ cm}^2$$

Усвојене шестосечне узенгије 7 U  $\Phi$ 14 размаку 5cm

постављене на  $0.2 \cdot 170 = 35 \text{ cm}$  од чела носача

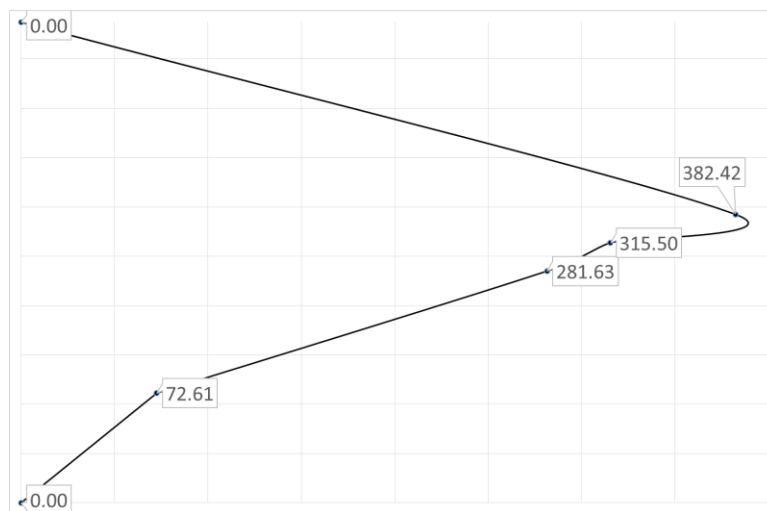
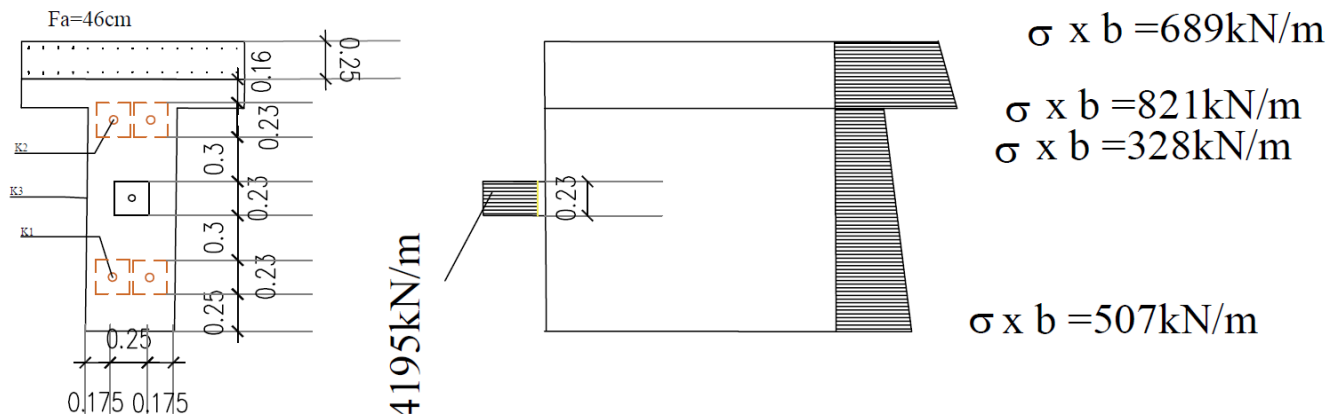
$$l_b = \frac{h}{2} = \frac{170}{2} = 85 \text{ cm} \quad A_{sp} = \frac{181.2 \cdot 100}{85 \cdot 30} = 7.1 \text{ cm}^2$$

Усвојене двосечне узенгије 5U  $\Phi$ 10 размаку 20cm

постављене на  $0.8 \cdot 170 = 136 \text{ cm}$  од почев од  $35 \text{ cm}$  од чела носача до  $170 \text{ cm}$  пд чела носача

# Арматура у области уноса силе претходног напрезања

- Затегнути каблови КЗ



# Усвајање арматуре за анкеровање каблова друге фазе

- Увидом у претходни дијаграм (арматура је постављена у префабрикованом носачу и испуштена преко горње ивице):

$$\max M = 382.42 \text{ kNm}$$

$$l_b = \frac{h}{2} = \frac{195}{2} = 97 \text{ cm} \quad A_{sp} = \frac{382.42 \cdot 100}{97 \cdot 30} = 13.14 \text{ cm}^2$$

Усвојене додатне двосечне 6U $\Phi$ 12 размаку 20cm

постављене на  $0.8 \cdot 195 = 156 \text{ cm}$  од почев од 39cm од чела носача до 195cm од чела носача

# Контрола напона у локалној призми бетона

$$F_{Rdu} = A_{c0}f_{cd}\sqrt{A_{c1}/A_{c0}} \leq 3.0f_{cd}A_{c0}$$

$$A_{c,o} = 230^2 - 155^2 * 3.14/4 = 34040.38mm^2$$

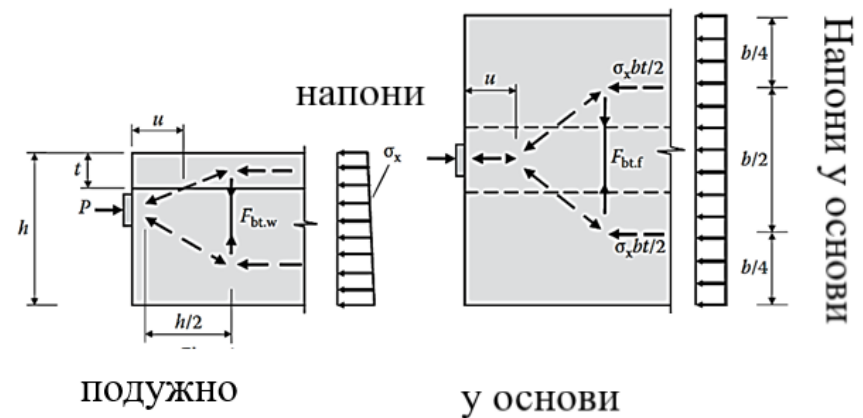
$$A_{c1} = (230 + 270)^2 = 250000mm^2$$

$$F_{Rd} = 34040.38 \cdot 35 \cdot 0.85 / 1.5 \cdot \sqrt{\frac{250000}{34040.38}} / 1000 = 1829.6kN$$

$$F_{Ed} = 1.2 \cdot 1148 = 1378kN < 1829.6kN$$

# Гранично стање носивости - Потребна арматура у фланши префабрикованог носача у анкерној зони

- Значајно попречно распростирање силе преднапрезања у основи се јавља у зони сидрења кад концентрисана сила преднапрезања улази у фланшу Т-пресека.
- Моменти који се јављају у хоризонталној равни се прихватају хоризонталним попречним затезањем и притиском у фланши. Узима се за крак унутрашњих сила једнак половини ширине фланше.





# У фланши префабрикованог носача од каблова К1

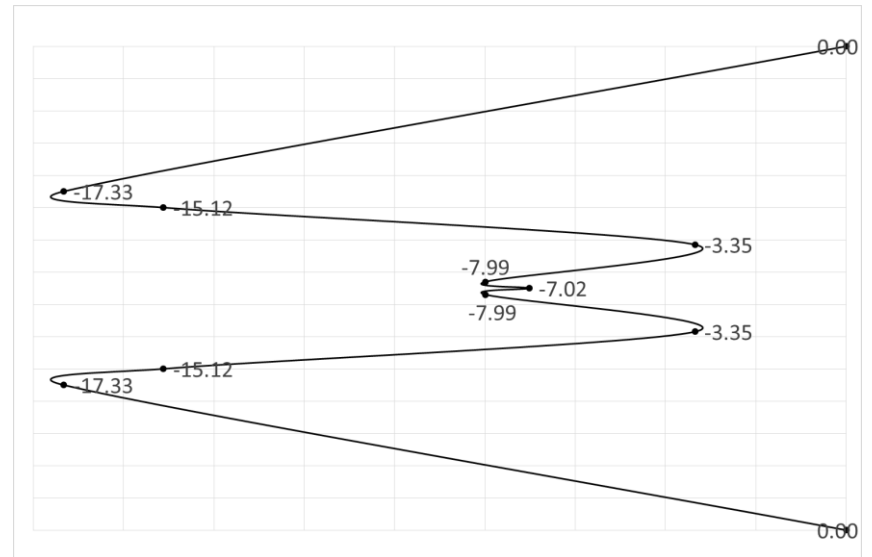
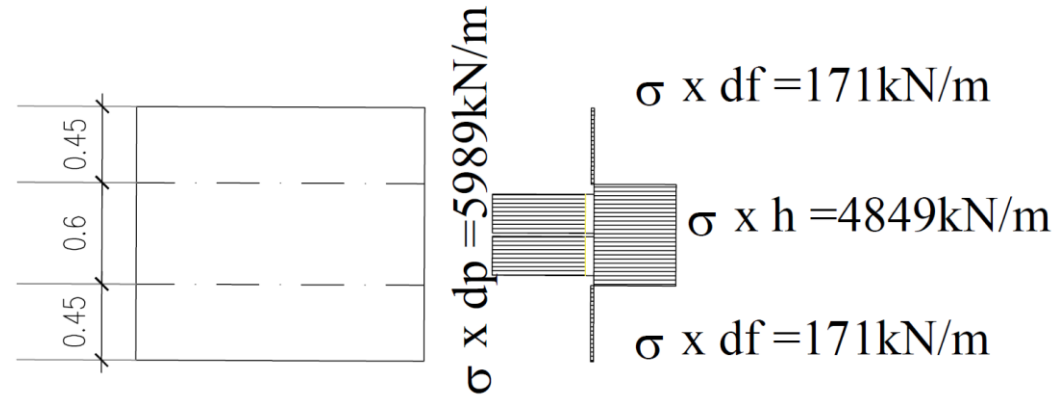
$$\min M = 17.4 \text{ kNm}$$

$$l_b = \frac{b_f}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ cm} \quad A_{sp} = \frac{17.4 \cdot 100}{75 \cdot 30} = 0.773 \text{ cm}^2$$

Усвојена  $\Phi 10$

постављена до  $0.2 \cdot 150 = 30 \text{ cm}$

од чеља носача



# У фланши префабрикованог носача од каблова К2

$$\max M = 177.6 \text{ kNm}$$

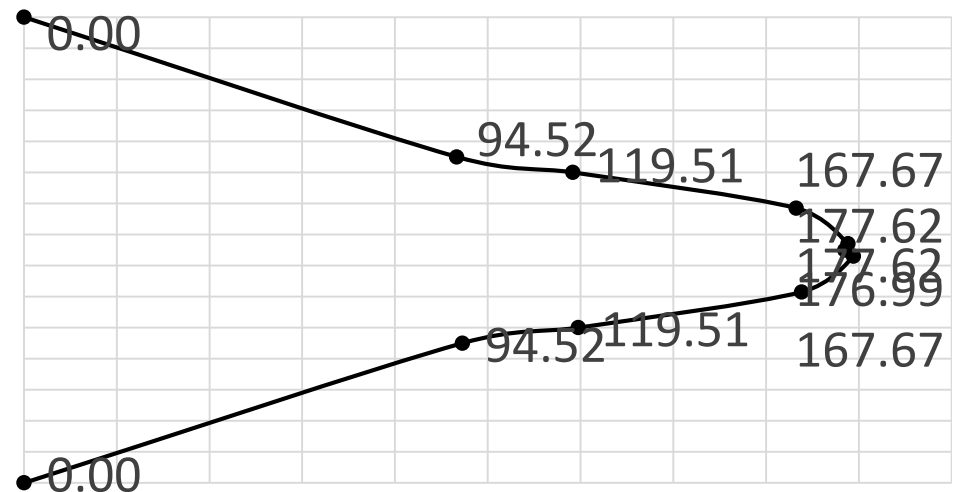
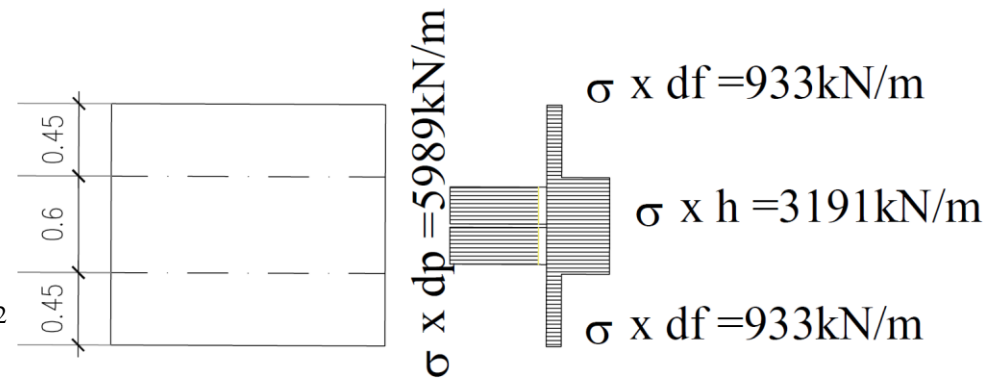
$$l_b = \frac{b_f}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ cm} \quad A_{sp} = \frac{177.6 \cdot 100}{75 \cdot 30} = 7.89 \text{ cm}^2$$

Усвојене двосечне 6 U $\Phi$ 10 размаку 20cm

постављене на 0.8 · 150 = 120cm

почев од 30cm од чела носача

до 150cm од чела носача

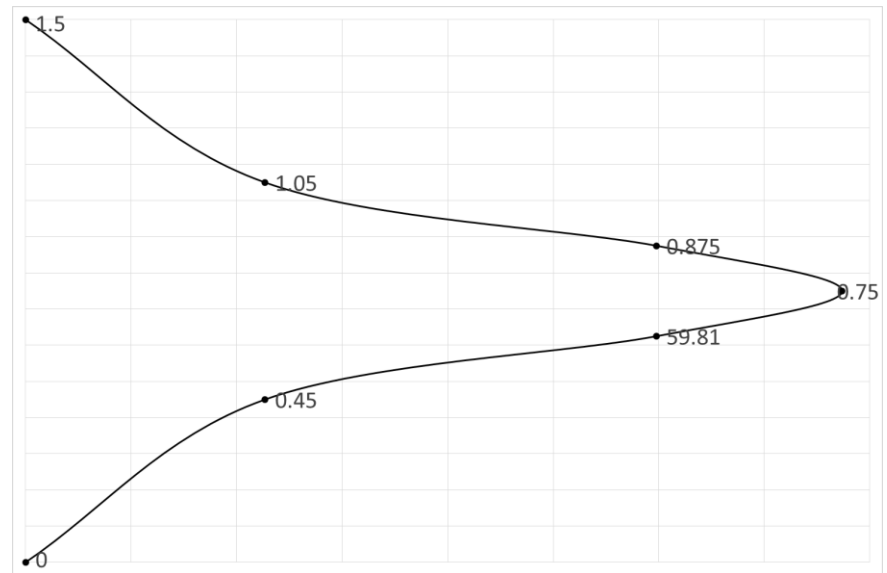
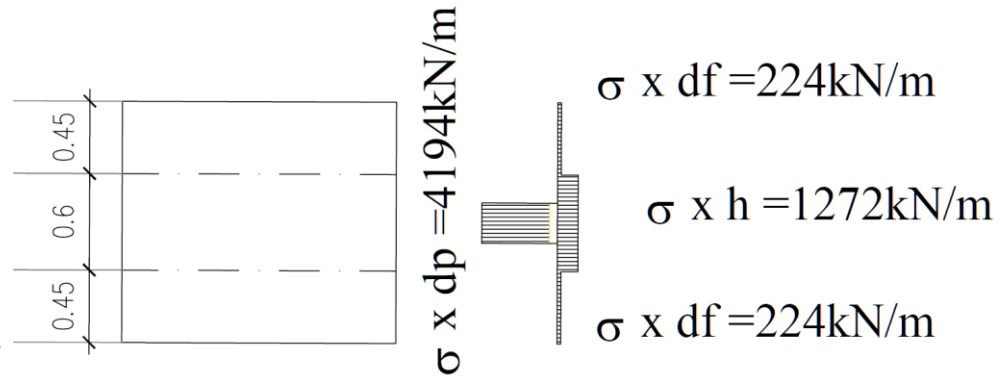


# У фланши у попречном правцу од кабла КЗ

$$\max M = 77 \text{ kNm}$$

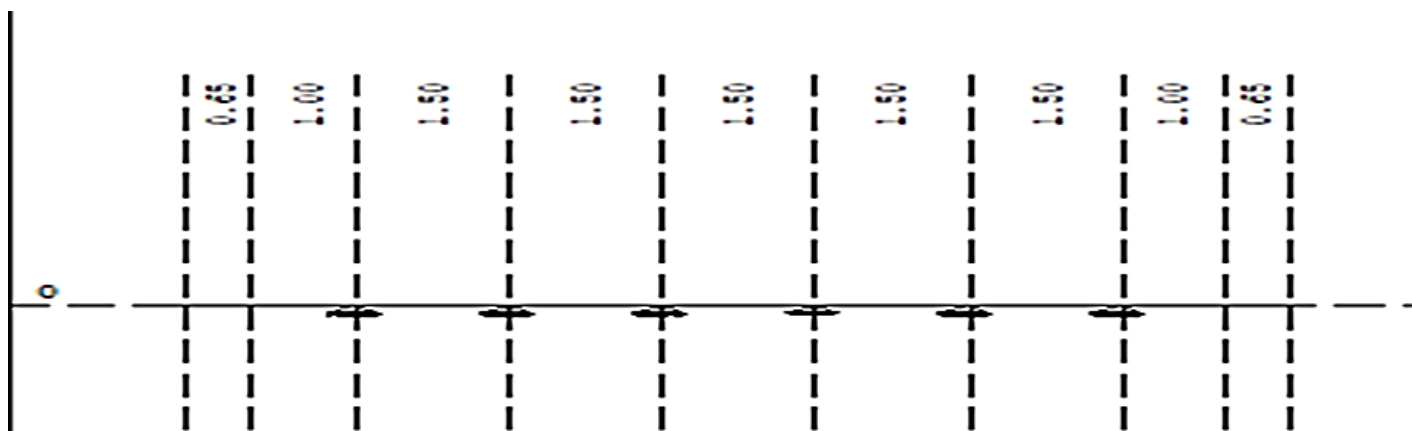
$$l_b = \frac{b_f}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ cm} \quad A_{sp} = \frac{77 \cdot 100}{75 \cdot 30} = 3.42 \text{ cm}^2$$

Усвојене 5  $\Phi 10$  размаку 20cm  
постављене на  $0.8 \cdot 150 = 120 \text{ cm}$   
почев од 30cm од чела носача  
до 150cm од чела носача



## Прорачун коловозне плоче

- За прорачунски модел коловозне плоче усвојен је **континуални носач на 5 поља** са обостраним препустима. Распони су по **1.5 m** док су препусти по 1.65 m. Плоча носи у попречном правцу.

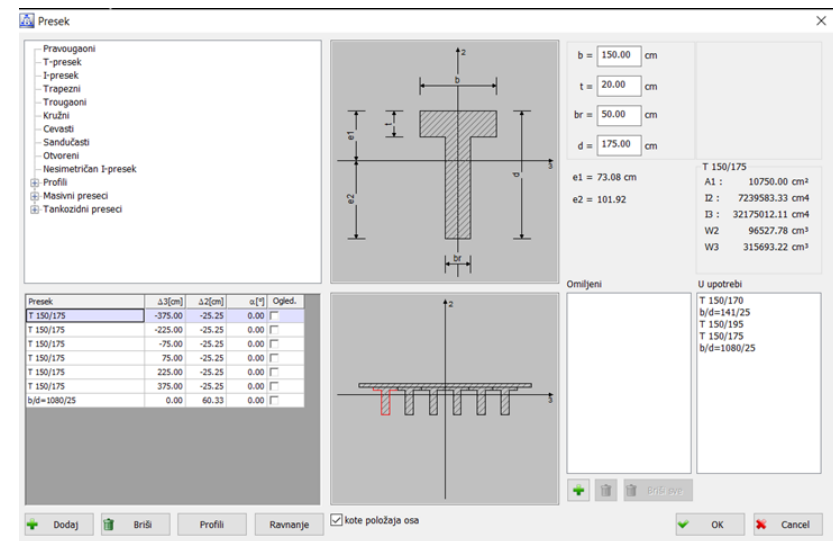


# Анализа оптерећења

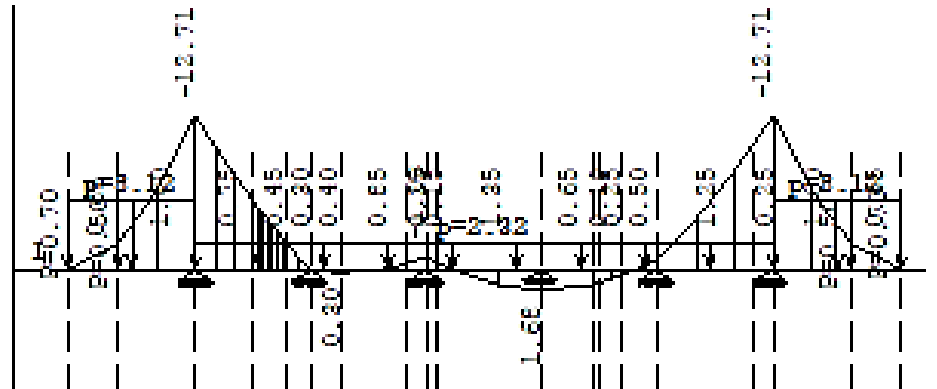
- Стални терет:
  - Сопствена тежина –  $0.25 \times 25 = 6.25 \text{ kN/m}^2$  (ово оптерећење је већ урачунато на главним носачима)
  - На крајевима препуста – венац са оградом  $0.7 \text{ kN/m}$
  - Дуж пешачке стазе – префабрикована стаза  
 $0.536 \times 25 / 1.65 = 8.12 \text{ kN/m}^2$
  - Заштитна ограда –  $0.5 \text{ kN/m}$
  - Асвалт и хидроизолација –  $0.01 \times 16 + 0.09 \times 24 = 2.32 \text{ kN/m}^2$
- Саобраћајно оптерећење (LM1)
  - Ефективна ширина плоче:  $b_{1,2} = 0.4 + 2 \cdot (0.1 + 0.25 / 2) = 0.85 \text{ m};$   
 $b_{1,2eff} = 0.85 + 0.3 \cdot 1.5 = 1.3 \text{ m} > 1.2 \text{ m}$  усвојено  $1.2 \text{ m}$
  - Оптерећење пешачке стазе  $5.0 \text{ kN/m}^2$   
 $Q_1 = 0.8 \cdot 150 / 1.2 = 100 \text{ kN/m}$   $q_1 = 0.8 \cdot 9.0 = 7.2 \text{ kN/m}^2$   
 $Q_2 = 100 / 1.2 = 83.33 \text{ kN/m}$   $q_2 = 2.5 \text{ kN/m}^2$

# Модел плоче ослоњене на еластичне ослонце – варијантно решење

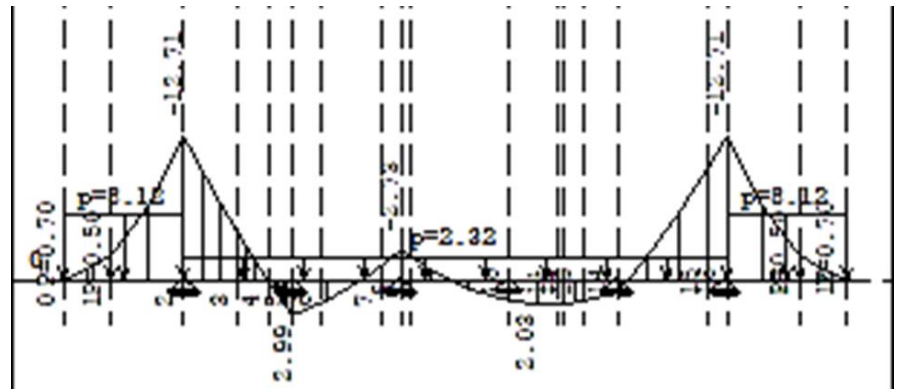
- Кад се оптерећење налази у средини распона плоча се понаша као да је ослоњена на еластичним ослонцима.
- Еластичност ослонца се одређује на основу екстремног померања у пољу (јединичне силе).
- Добија се да је највећи угиб (од силе од 1000kN): 2.20 mm
- $k = 1000/2.20 = 455 \text{ kN/mm}$



# Статички утицаји – стално оптерећење



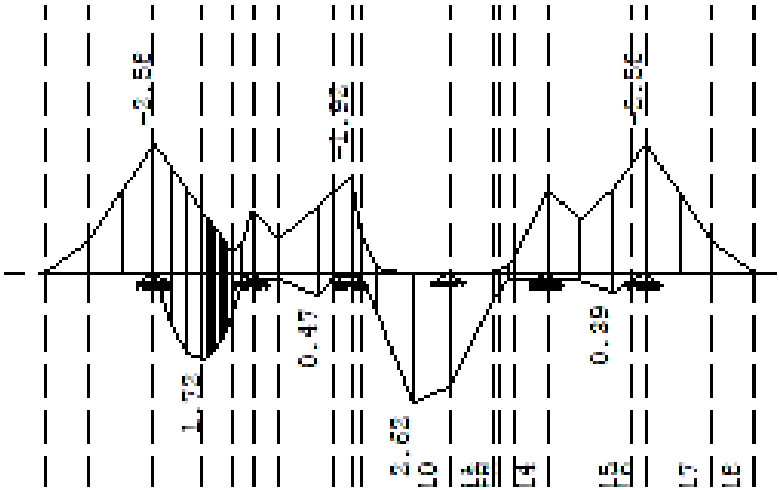
На еластичним ослонцима (поље)



На крутим ослонцима око ослонаца

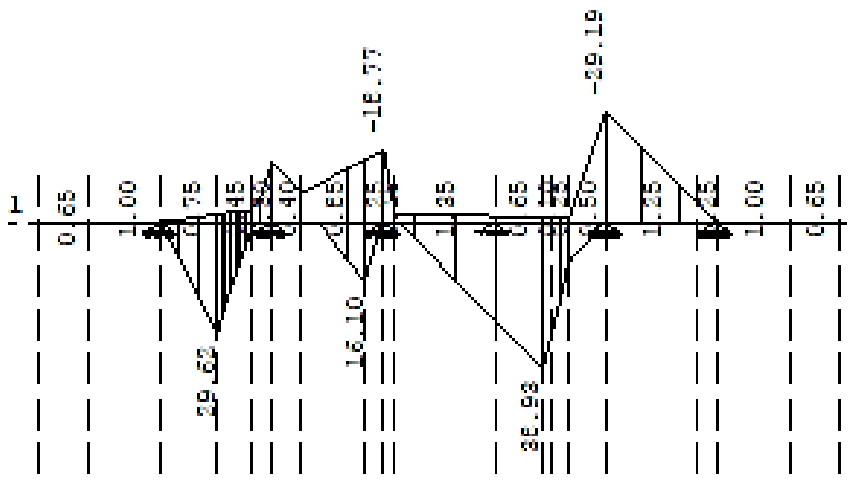
Услед сталног оптерећења  $G$   
 $\max M = 2.99 \text{ kNm/m}$ ;  
 $\min M = -12.71 \text{ kNm/m}$

# Статички утицаји – саобраћајно оптерећење



На еластичним ослонцима (поље)

Услед једнако подељеног UDL  
max M= 2.62 kNm/m;  
min M= -2.58 kNm/m



На крутим ослонцима око ослонаца

Услед тандем система TS  
max M= 29.19 kNm/m  
min M= -38.93 kNm/m



# Гранично стање носивости ULS – димензионисање коловозне плоче

- За вредности момената савијања усвајају се веће вредности од два коришћена модела:

$$M_{Ed}^{max} = 1.35 \cdot 2.99 + 1.35(2.6 + 38.93) = 60.1 \text{ kNm} / m$$

$$h = 250 \text{ mm} \quad d = 192 \text{ mm}$$

$$A_s^d = \frac{6010}{0.9 \cdot 19.2 \cdot 43.5} = 7.99 \text{ cm}^2 / m$$

$$M_{Ed}^{min} = 1.35 \cdot 12.71 + 1.35(2.58 + 32.78) = 64.9 \text{ kNm} / m$$

$$A_s^g = \frac{6490}{0.9 \cdot 19.2 \cdot 43.5} = 8.63 \text{ cm}^2 / m$$

Усвојено  $\emptyset$  16/20 ( $10.05 \text{ cm}^2 / m$ ) у обе зоне плоче у попречном правцу (правцу ношења)

Као подеона арматура усвојено  $\emptyset$ 10/20 у подужном правцу (изузев у околини средњег ослонца где се и у горњој и у доњој зони налазе  $\emptyset$ 14/10 у подужном правцу).

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола напона

$$M_{Ed}^{max} = 2.99 + 2.6 + 38.93 = 44.52 \text{ kNm} / m$$

$$h = 250 \text{ mm} \quad d = 192 \text{ mm}$$

$$M_{Ed}^{min} = 12.71 + 2.58 + 32.78 = 48.07 \text{ kNm} / m$$

$$\xi = \alpha(\rho_1 + \rho_2) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2(\rho_1 + \rho_2 \frac{d_2}{d})}{\alpha(\rho_1 + \rho_2)^2}} \right]$$

$$\sigma_c = \sigma_{c,2} = \frac{M}{bd^2} \frac{1}{\frac{\xi}{2} \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \rho_2 \left(1 - \frac{d_2}{\xi d}\right) \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \sigma_c \frac{1 - \xi}{\xi} \quad \sigma_{s2} = \alpha \sigma_c \frac{\xi - \frac{d_2}{d}}{\xi}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{33} = 6.06$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{10.05}{100 \cdot 19.2} = 0.0052$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} = \frac{10.05}{100 \cdot 19.2} = 0.0052; \quad d_2 = 5.8 \text{ cm}$$

$$\xi = \alpha(\rho_1 + \rho_2) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2(\rho_1 + \rho_2 \frac{d_2}{d})}{\alpha(\rho_1 + \rho_2)^2}} \right] =$$

$$= 6.06 \cdot 0.0104 \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2(0.0052 + 0.0052 \cdot \frac{5.8}{19.2})}{6.06 \cdot 0.0104^2}} \right] = 0.230$$

$$x_{II} = \xi \cdot d = 0.23 \cdot 19.2 = 4.42 \text{ cm}$$

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола напона

- Затегнута доња ивица:

$$\sigma_c = \frac{M}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\frac{\xi}{2} \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \cdot \rho_2 \left(1 - \frac{d_2}{x_{II}}\right) \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)} =$$

$$= \frac{4452}{100 \cdot 19.2^2} \frac{1}{\frac{0.23}{2} \left(1 - \frac{0.23}{3}\right) + 6.06 \cdot 0.0052 \left(1 - \frac{5.8}{4.42}\right) \left(1 - \frac{5.8}{19.2}\right)} = 1.22 \text{ kN} / \text{cm}^2 =$$

$$= 12.2 \text{ MPa} < 0.6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} = 6.06 \cdot 12.2 \frac{1 - 0.23}{0.23} = 246.8 \text{ MPa} < 0.8 \cdot 500 = 400$$

$$\sigma_{s2} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{\xi - \frac{d_2}{d}}{\xi} = 6.06 \cdot 12.2 \frac{0.23 - \frac{5.8}{19.2}}{0.23} = -23.2 \text{ MPa}$$

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола напона

- Затегнута горња ивица:

$$\sigma_c = \frac{M}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\frac{\xi}{2} \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \cdot \rho_2 \left(1 - \frac{d_2}{x_{II}}\right) \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)} =$$

$$= \frac{4807}{100 \cdot 19.2^2} \frac{1}{\frac{0.23}{2} \left(1 - \frac{0.23}{3}\right) + 6.06 \cdot 0.0052 \left(1 - \frac{5.8}{4.42}\right) \left(1 - \frac{5.8}{19.2}\right)} = 1.32 \text{ kN} / \text{cm}^2 =$$

$$= 13.2 \text{ MPa} < 0.6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} = 6.06 \cdot 13.2 \frac{1 - 0.23}{0.23} = 267.8 \text{ MPa} < 0.8 \cdot 500 = 400$$

$$\sigma_{s2} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{\xi - \frac{d_2}{d}}{\xi} = 6.06 \cdot 13.2 \frac{0.23 - \frac{5.8}{19.2}}{0.23} = -25.07 \text{ MPa}$$

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола прслина

- Затегнута доња ивица:

$$w_k = s_{r,\max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$$h_{eff} = \min\{2.5(h-d), (h-x)/3, h/2\} = \min\{2.5 \cdot 5.8, (19.2 - 4.42)/3, 19.2/2\} = 9.6 \text{ cm}$$

$$A_{c,eff} = 1000 \cdot 96 = 96000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{5.4}{46.6} \cdot 257.2 = 29.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{1005}{96000} = 0.0105; \quad k_t = 0.4$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{29.8 - 0.4 \frac{2.9}{0.0105} (1 + 6.06 \cdot 0.0105)}{200 \cdot 10^3} =$$

$$= -4.4 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \text{не долази до отварања прслина под квазисталним оптерећењем}$$

*\*Напомена: Напон у затегнутој арматури је пропорционалан односу момената под карактеристичном или квазисталном оптерећењу под условом истог прорачунског пресека (пресек са прслином)*

# Гранично стање употребљивости SLS – контрола прслина

- Затегнута горња ивица:

$$w_k = s_{r,\max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = A_s / A_{c,\text{eff}} \quad \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}} (1 + \alpha \rho_{p,\text{eff}})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$h_{\text{eff}} = \min\{2.5(h-d), (h-x)/3, h/2\} = \min\{2.5 \cdot 5.8, (19.2 - 4.42)/3, 19.2/2\} = 9.6 \text{ cm}$$

$$A_{c,\text{eff}} = 1000 \cdot 96 = 96000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{21.22}{56.6} \cdot 314.5 = 117.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{1005}{96000} = 0.0105; \quad k_t = 0.4$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}} (1 + \alpha \rho_{p,\text{eff}})}{E_s} = \frac{117.91 - 0.4 \frac{2.9}{0.0105} (1 + 6.06 \cdot 0.0105)}{200 \cdot 10^3} =$$

$$= -2.02 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \text{не долази до отварања прслина под квазисталним оптерећењем}$$

\*Напомена: Напон у затегнутој је пропорционалан односу момената под карактеристичном или квазисталном оптерећењу под условом истог прорачунског пресека (пресек са прслином)

# Контрола минималне арматуре у плочи

- Попречно:

$$f_{ctm} = 2.9MPa \quad f_{yk} = 500MPa \quad b = 1000mm \quad d = 250 - 50 = 200mm$$

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{2.9}{500} 1000 \cdot 200 = 301mm^2 = 0.036cm^2$$

$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot 1000 \cdot 200 = 260mm^2$$

- Подужно:

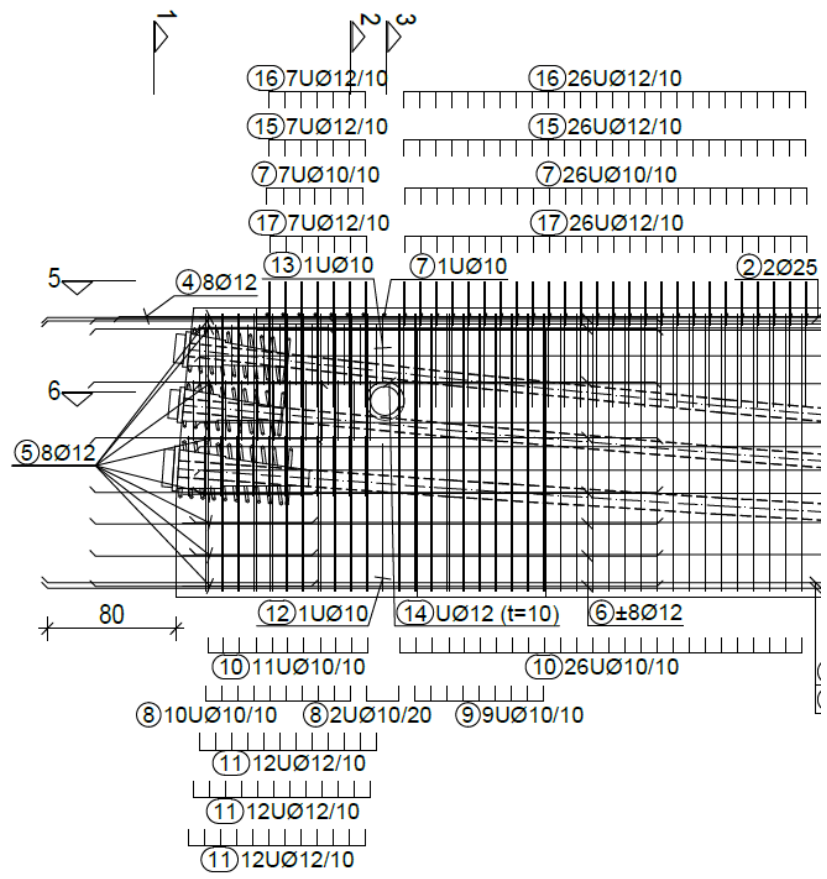
$$f_{ctm} = 2.9MPa \quad f_{yk} = 500MPa \quad b = 1500mm \quad d = 450 - 50 = 400mm$$

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{2.9}{500} 1500 \cdot 400 = 905mm^2 = 0.95cm^2$$

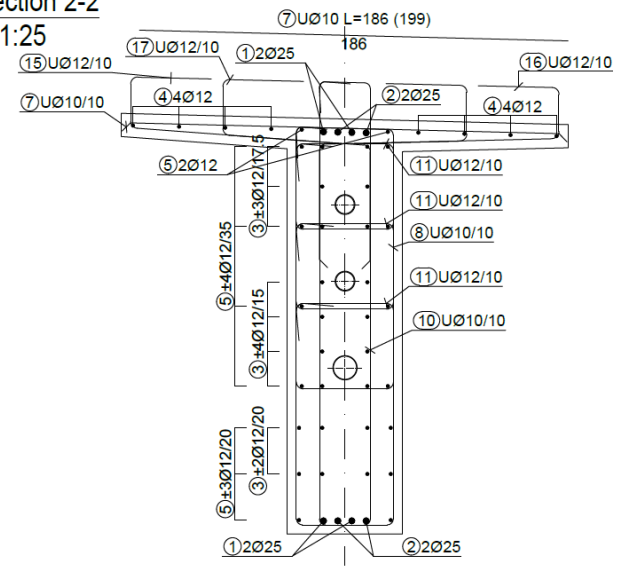
$$A_{s,min} = 0.0013 \cdot 1500 \cdot 400 = 780mm^2$$

- Усвојена арматура је већа од минималне арматуре у обе зоне.

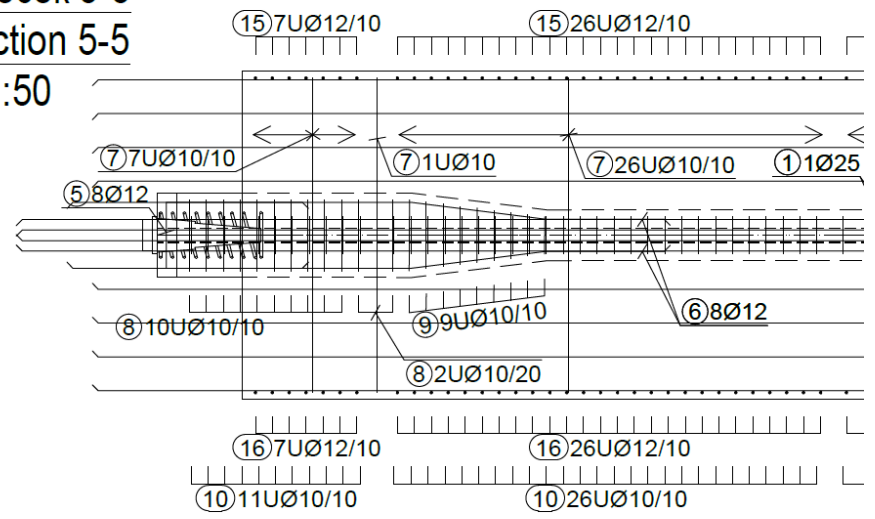
# План арматуре префабрикованог носача - пример



Пресек 2-2  
Section 2-2  
R 1:25



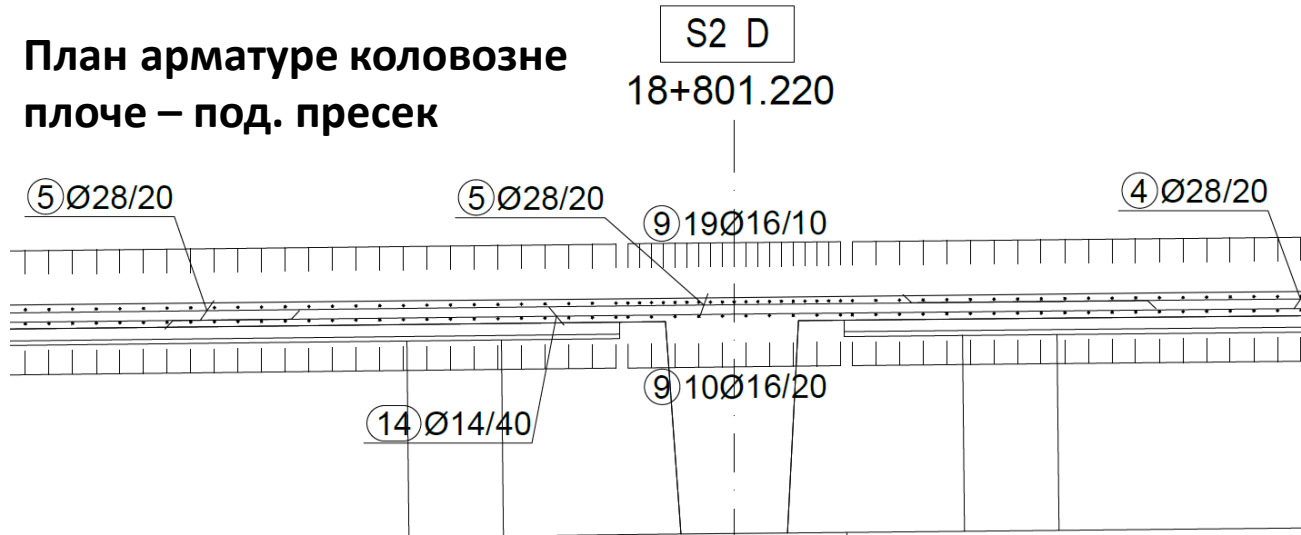
Пресек 5-5  
Section 5-5  
R 1:50



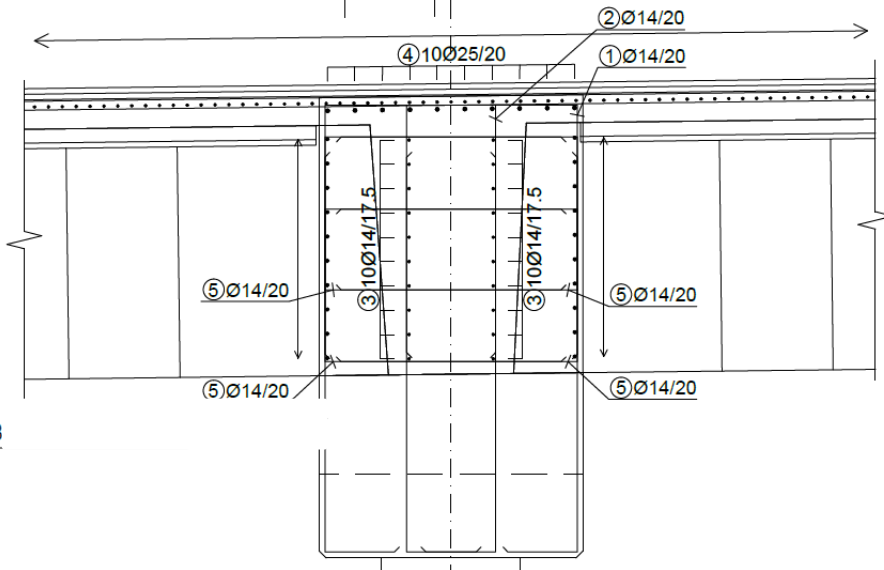


# План арматуре коловозне плоче и чвора код средњег ослонац (попречни носач) - пример

План арматуре коловозне плоче – под. пресек



План арматуре чвора (попречног носача) – поп. пресек



План арматуре коловозне плоче – поп. пресек

