



Универзитет у Београду – Грађевински факултет
www.grf.bg.ac.rs

Студијски програм: **ГРАЂЕВИНАРСТВО ДИПЛОМСКЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ**

Modul: **КОНСТРУКЦИЈЕ**

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

Назив предмета (шифра): **БЕТОНСКИ МОСТОВИ (МОК1БМ)**

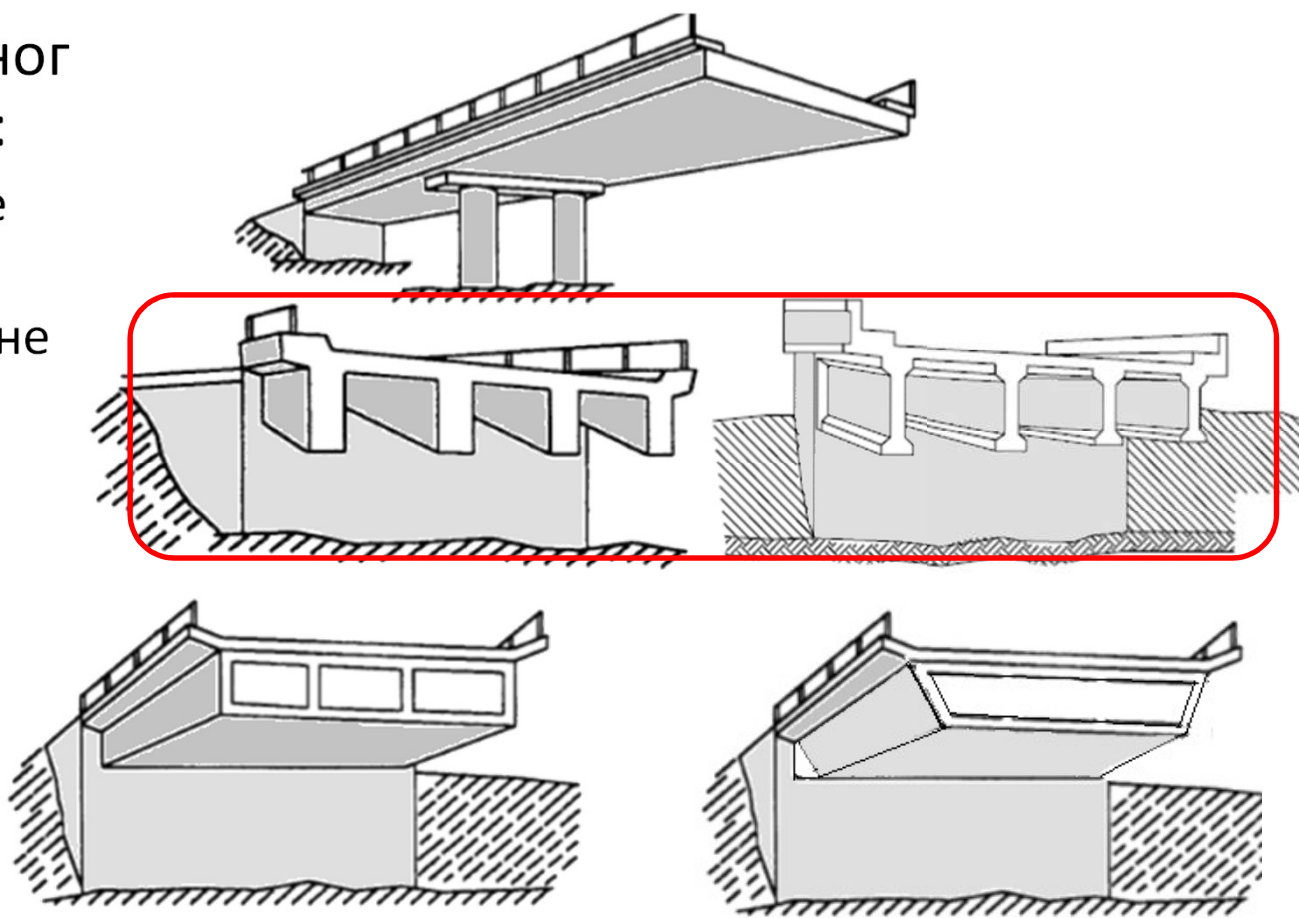
Наставник : **В. Проф. Др Снежана Машовић**

Наслов предавања: **Ребрасти попречни пресеци коловозне
конструкције бетонских мостова**

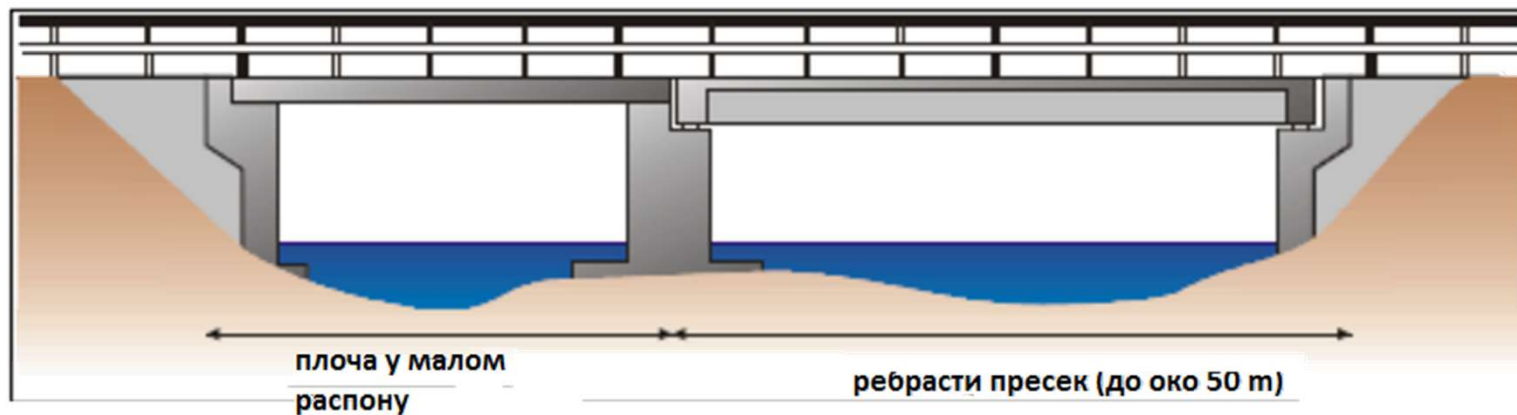
Датум : 29.10.2024.

Типови попречног пресека коловоне конструкције

- Избор типа попречног пресека зависи од :
 - Распона коловозне конструкције
 - Расположиве висине
 - Начина извођења
- Постоје:
 - Плочасти
 - Ребрасти
 - Сандучасти



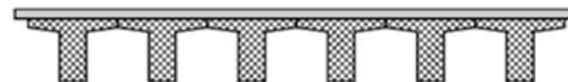
Избор попречног пресека (распон)



Плочаста проста греда
АБ: $L_{\max} = 15,0 \text{ m}$
ПН: $L_{\max} = 25,0 \text{ m}$

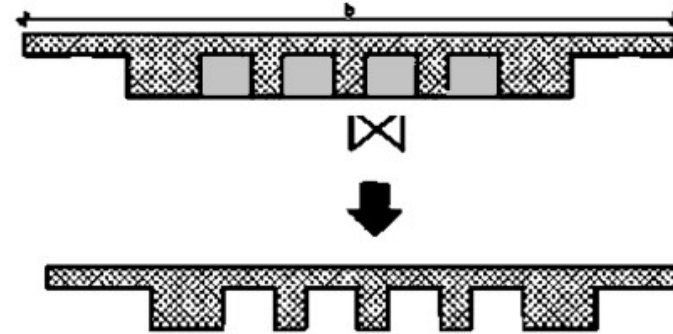


Ребраста проста греда
АБ: $L_{\max} = 25,0 \text{ m}$
ПН: $L_{\max} = 45,0 \text{ m}$

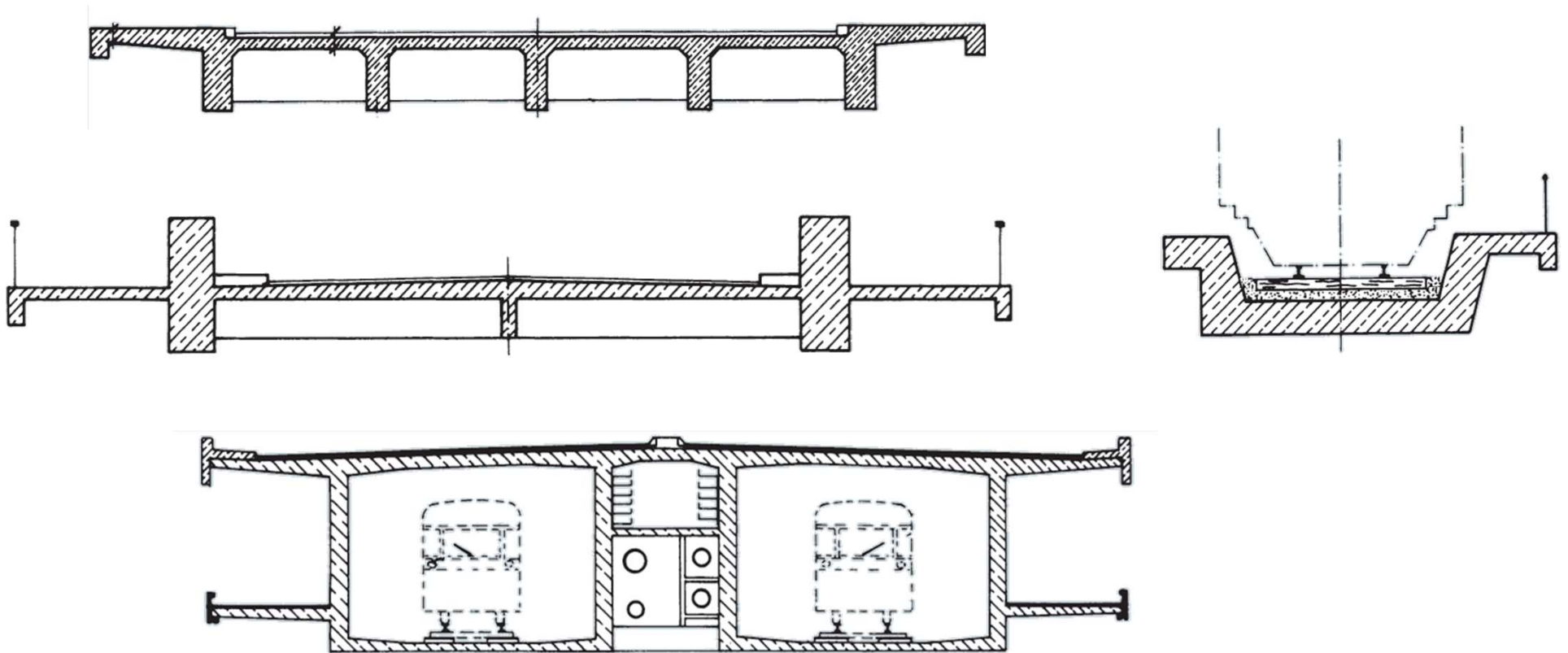


Развој ребрастих пресека

- Ребрасти пресеци се развијају из плочастих ради повећања ефикасности при већим распонима.
- Ребра (носачи – носе плочу) служе за повећење крака унутрашњих сила у пресеку.
- Број ребара 1-~ 10 зависи од:
 - намене моста,
 - ширине моста,
 - расположиве г. висине,
 - начина извођења



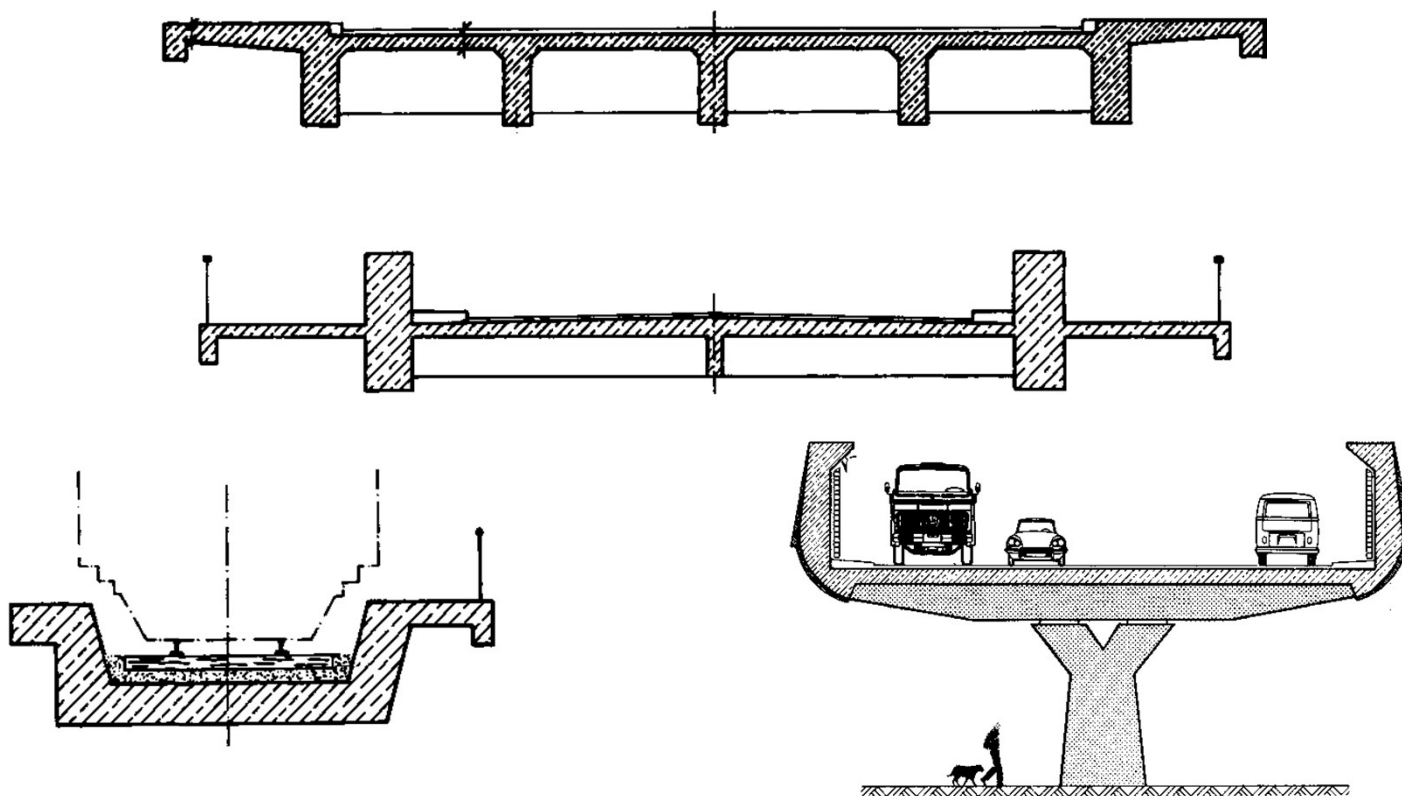
Положај коловозне плоче



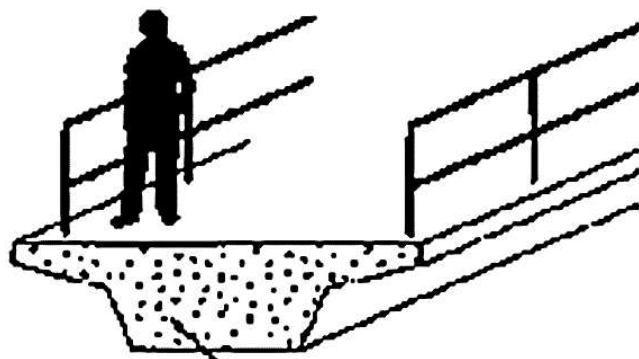
Основни делови ребрастих пресека

- Два основна елемента:
 - Коловозна плоча:
 - Попречно - као плоча преноси оптерећење од своје тежине и саобраћаја на ребра пресека;
 - Подужно:
 - Део пресека при подужном савијању (фланша Т/спрегнутог пресека);
 - Део пресека при поречном савијању (ребро).
 - Ребро / префабриковани носач:
 - Подужно - греда која преноси оптерећење са коловозне плоче на ослонце (савијање и торзија);
 - Попречно – део попречног рама за савијање око вертикалне осе (фланша).

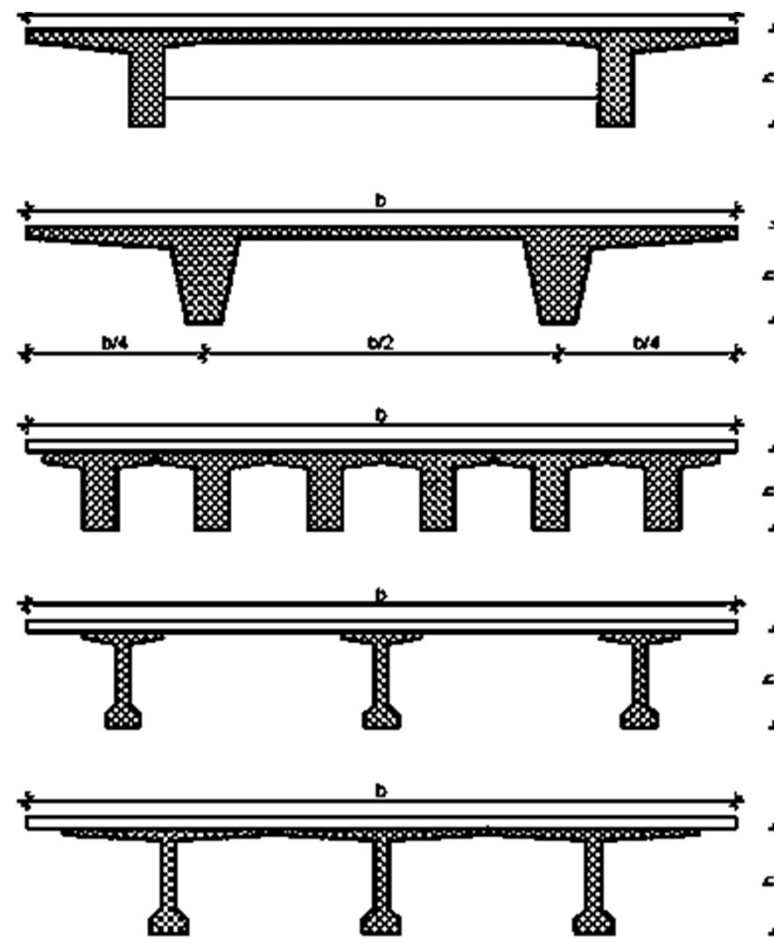
Положај коловозне плоче у односу на ребра и њихов број



Број ребара – главних носача коловозне конструкције

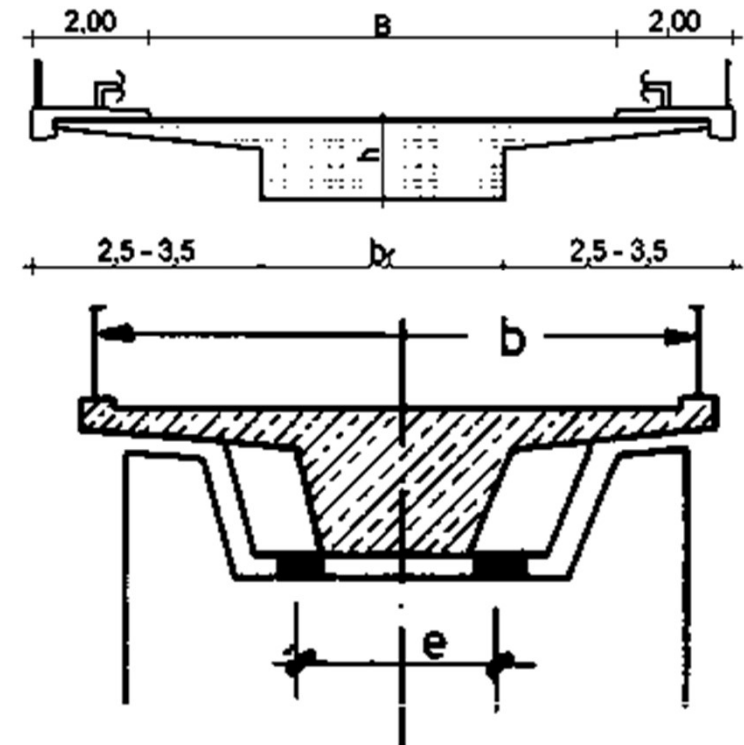


Једно ребро - узан мост

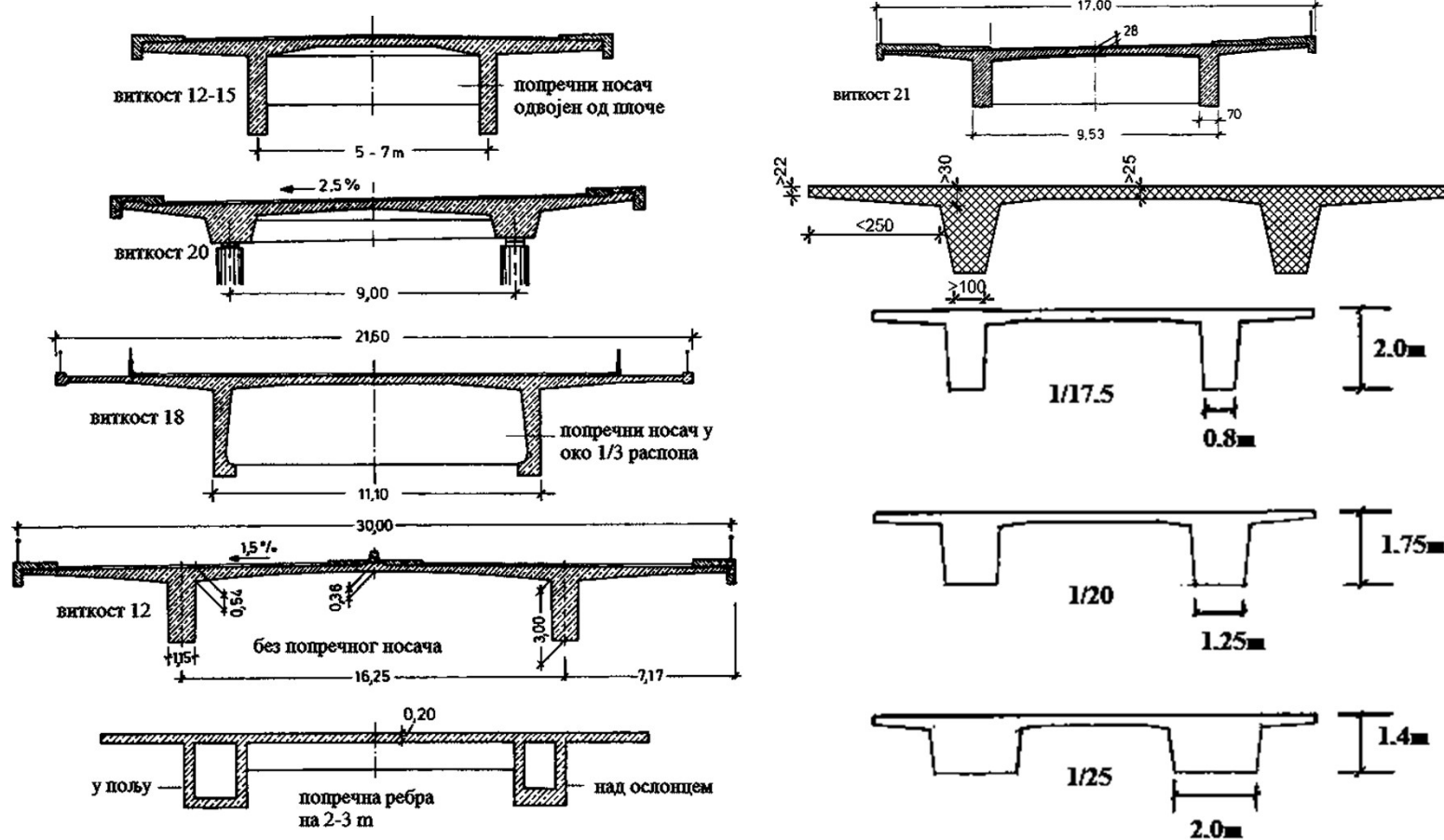


Пресеци са једним главним носачем

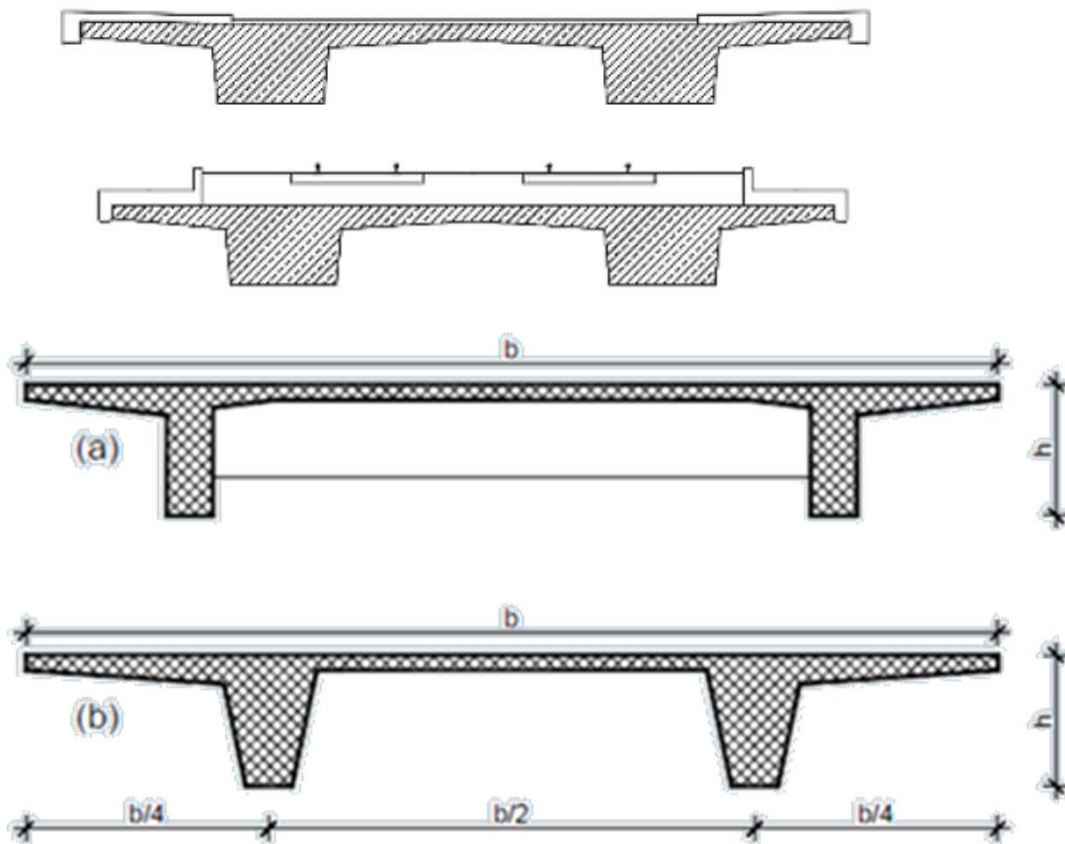
- Веома слични почастим мостовима са наглашеним конзолама
- Ребро оптерећено торзијом – веома широко
- Обавезно попречни носач на ослонцима



Пресеци са два ребра (главна носача)

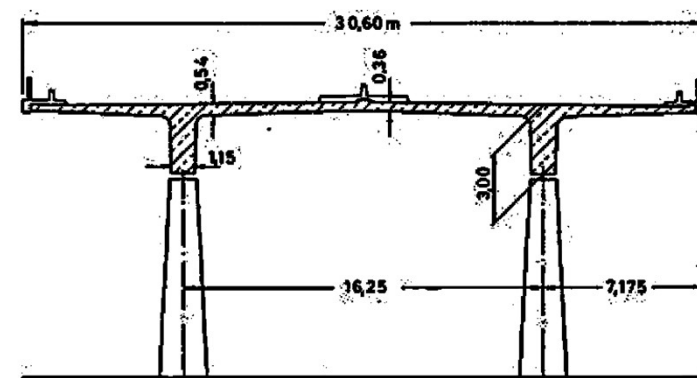
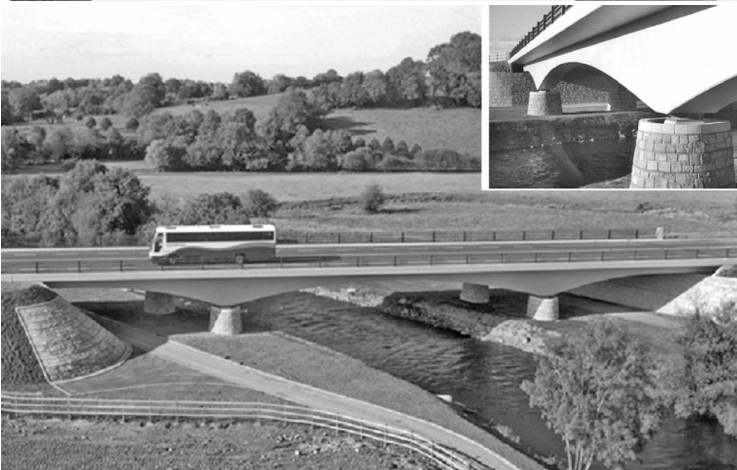


Попречни пресеци са два главна носача



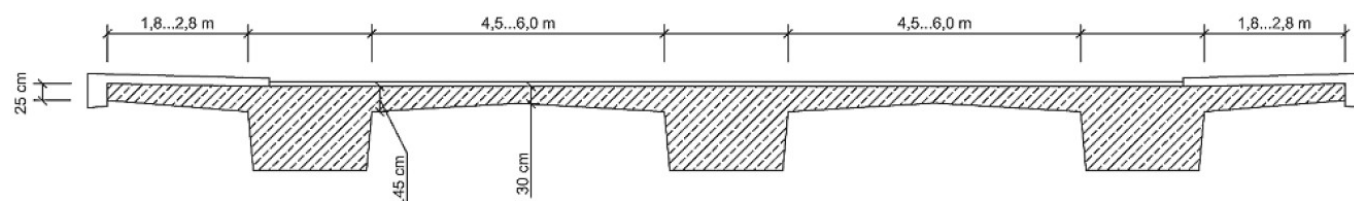
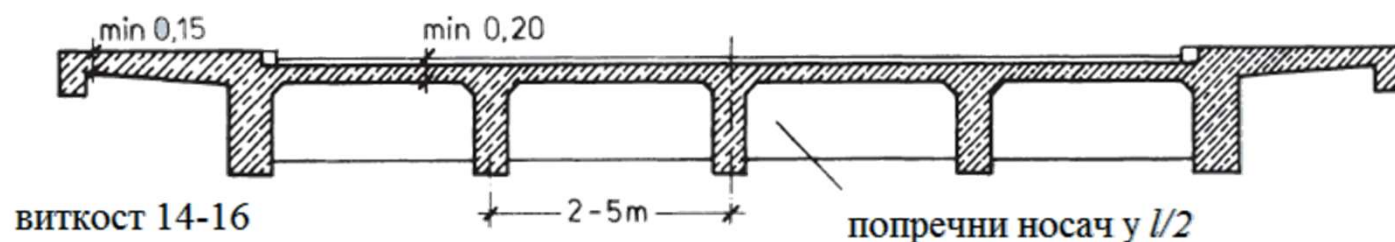
АБ		ПН	
распон [m]	конст. висина h [m]	распон [m]	конст. висина h [m]
(a)			
10-30	$\frac{1}{10-15}$	—	—
(b)			
10-30	$\frac{1}{10-15}$	25-45	$\frac{1}{15-20}$

Примери мостова са два главна носача

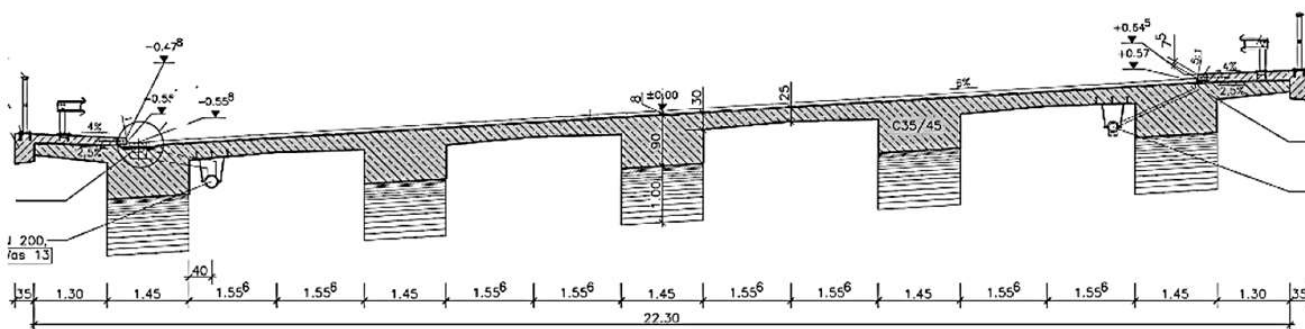


Претходно напрегнути без попречних носача

Пресеци са више ребара (монолитни)

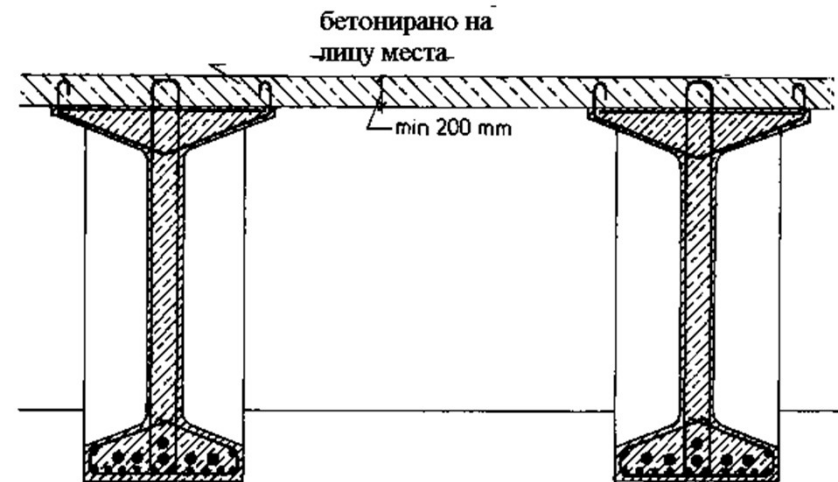
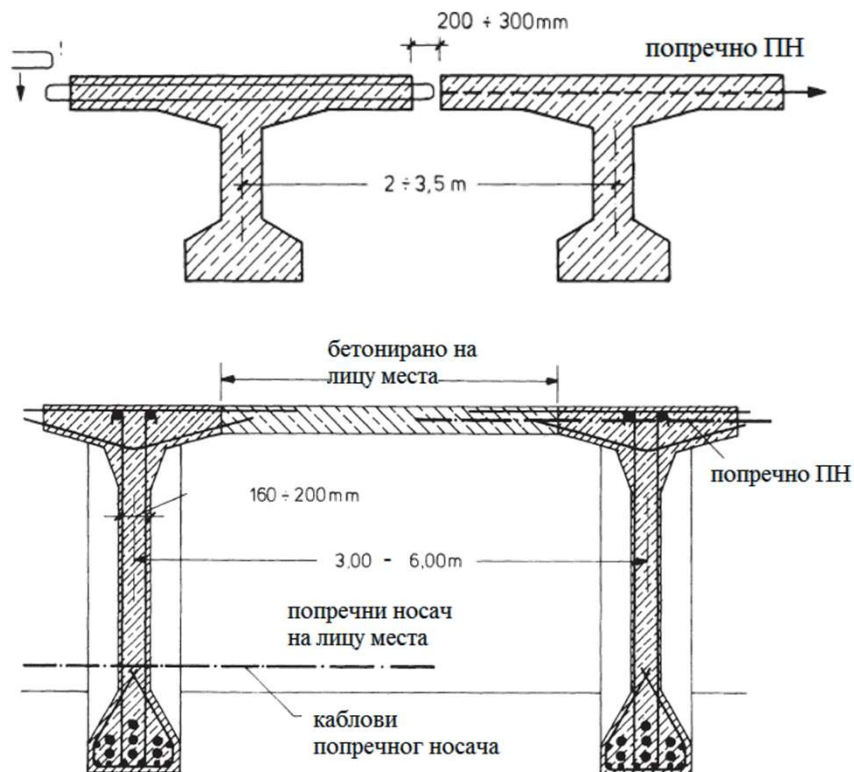


Континуална греда од преднапрегнутог бетона распона до око $L = 50$ m, Виткост око $L / 20$ до $L / 22$ ($L = 27,5 - 39,0 - 39,0 - 27,5$ m)

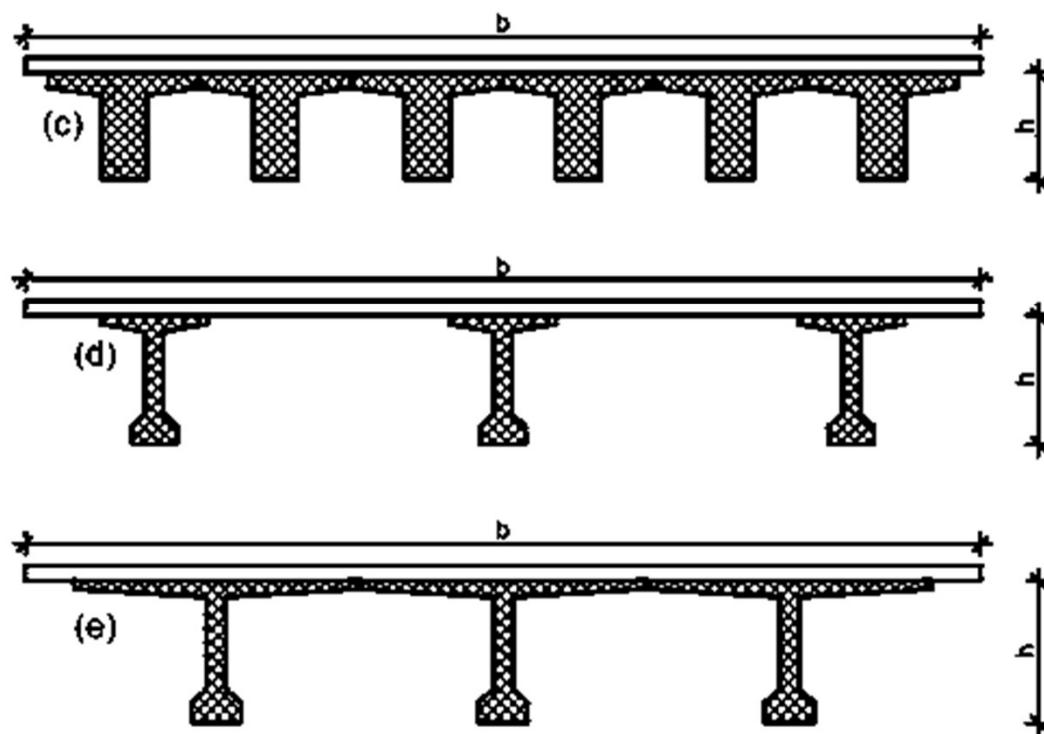


Рамовски носач, висина претходно напрегнутих ребара промењива 90 – 190cm. Распон подужног рама око 30 m.

Развој префабрикованих носача



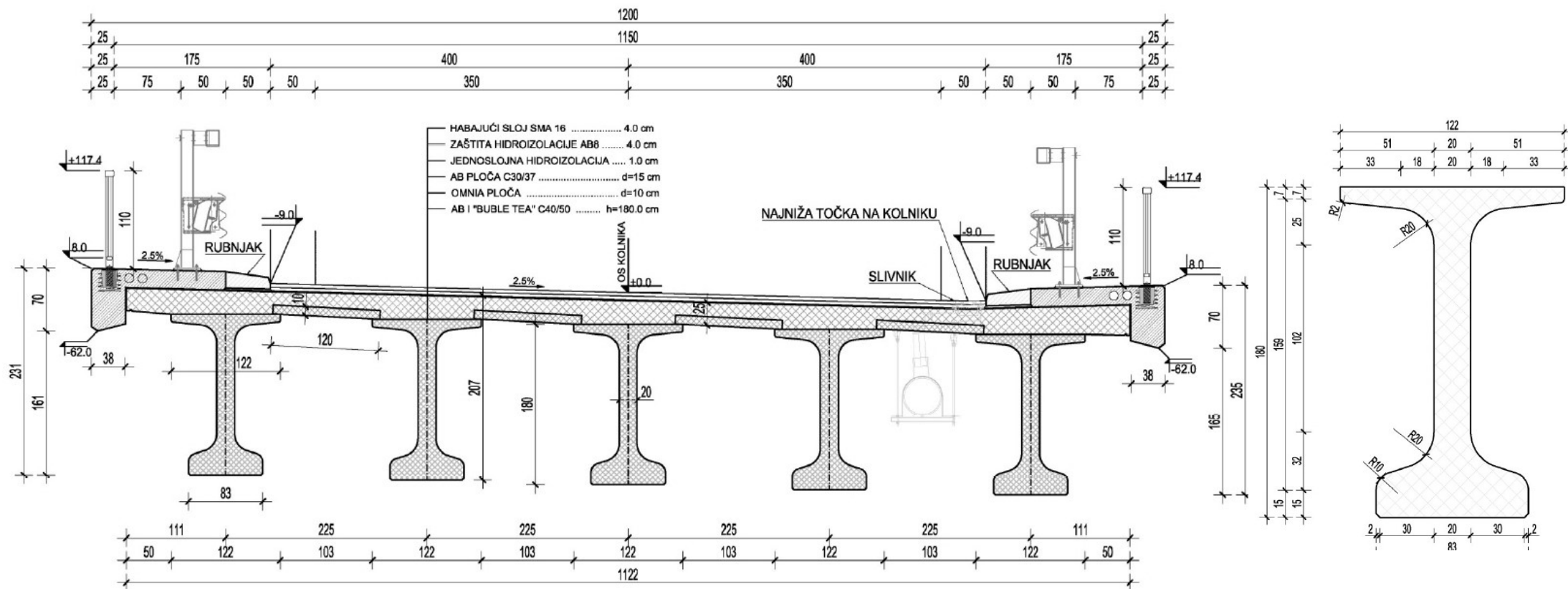
Савремени префабриковани носачи



ПН	
распон [m]	конст. висина h [m]
(c)	
15-25	$\frac{1}{10 - 25}$
(d)	
25-45	$\frac{1}{15 - 25}$
(e)	
25-45	$\frac{1}{15 - 25}$

Употреба префабрикованих носача

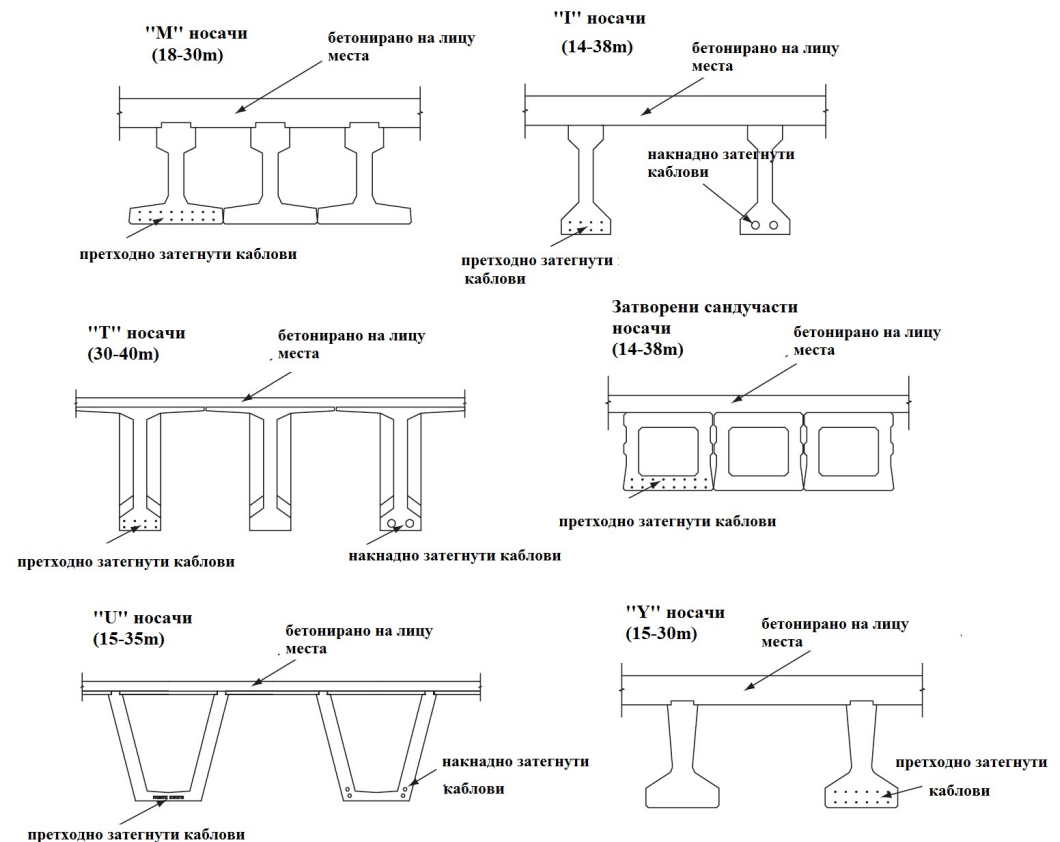


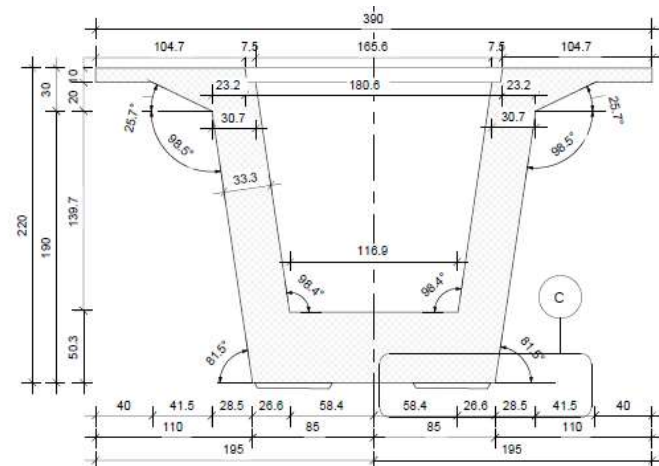


Пример попречног пресека моста система континуалне греде
распона 26-2x31 -26m

Типизирани пресеци префабрикованих греда

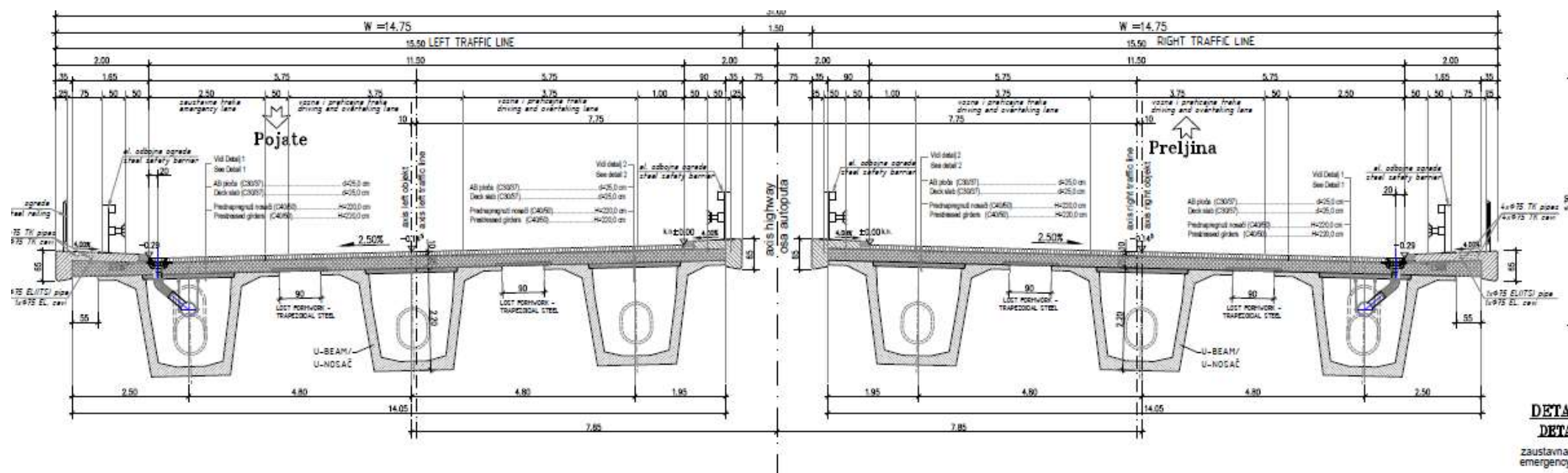
- У неким земљама, где постоји стална производња префабрикованих носача, развијени су стандардни пресеци префабрикованих греда.
- У УК, 'М', 'Y' и 'SY' носачи се најчешће користе, као и 'инверзан Т', 'затворени сандучаст' и 'U' пресек.
- У USA се користе широко размакнута 'I' носачи или 'bulb T', којима се могу достићи распони и до 50m.
- У Аустралији се користе 'I', 'U', 'T' и 'super T' носачи. 'Super T' се обликује слично као дубока 'U' греда али са бочним конзолама према спољњој страни.
- У југоисточној Европи, почињу да се примењују од 1980. Али се носачи пројектују за сваки поједини пројект моста.





Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2024.

Пример моста са U носачима на Моравском коридору



U-префабриковани носачи су намењени за мостове распона до око 45 m. Однос висине и распона је нешто мањи него код Т или I носача.

Код простих греда виткост је око $1/20$, док је за континуалне греде виткост $1/22$

Ипак због тежине носача најчешће се користе за распоне између 30 и 36 m

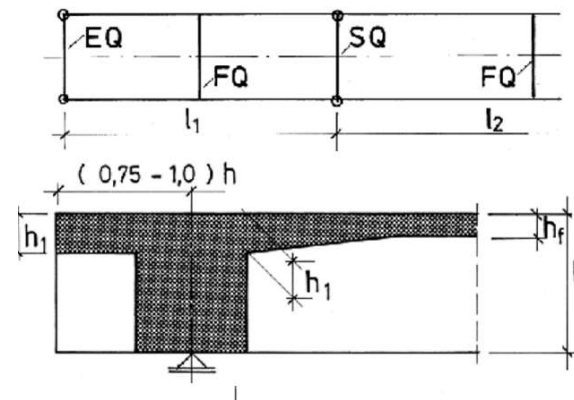
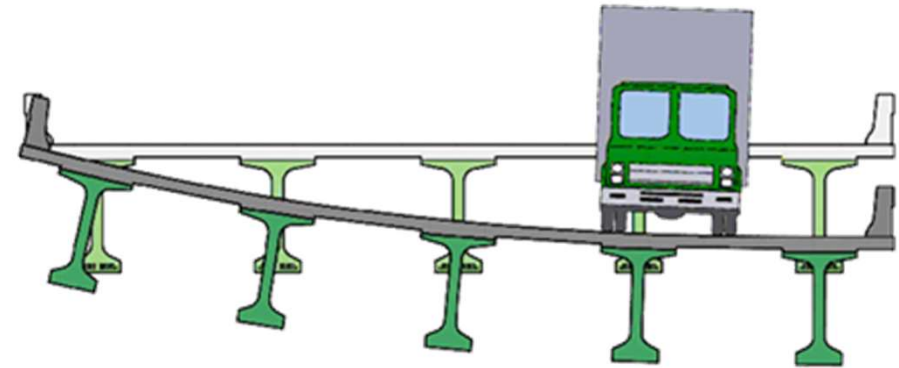
У примеру су носачи висине 2.2 m, а дужине носача 37 m

Мостови у кривине са префабрикованим носачима



Улога попречних носача

- Прихватају оптерећење са секундарних подужних носача (ако ови постоје – екстремно архаично решење у бетонским мостовима!)
- Евентуално носе плочу у подужном правцу (коловозна плоча у два правца)
- Повећавају степен укљештења плоче у главне носаче (ребра)
- Повезују главне носаче у склопу попречног пресека
- Помажу при расподели оптерећења на главне носаче
- **Значајно компликују извођење**
- **Обавезно се постављају изнад крајњих ослонаца моста**
- Уколико се изостављају изнад средњих ослонаца, ребра (главни носачи) морају да буду линијски ослоњени у целој ширини ребра или укљештени у попречном правцу. (евентуално код торзионо крутих попречних носача – коритастих пресека)



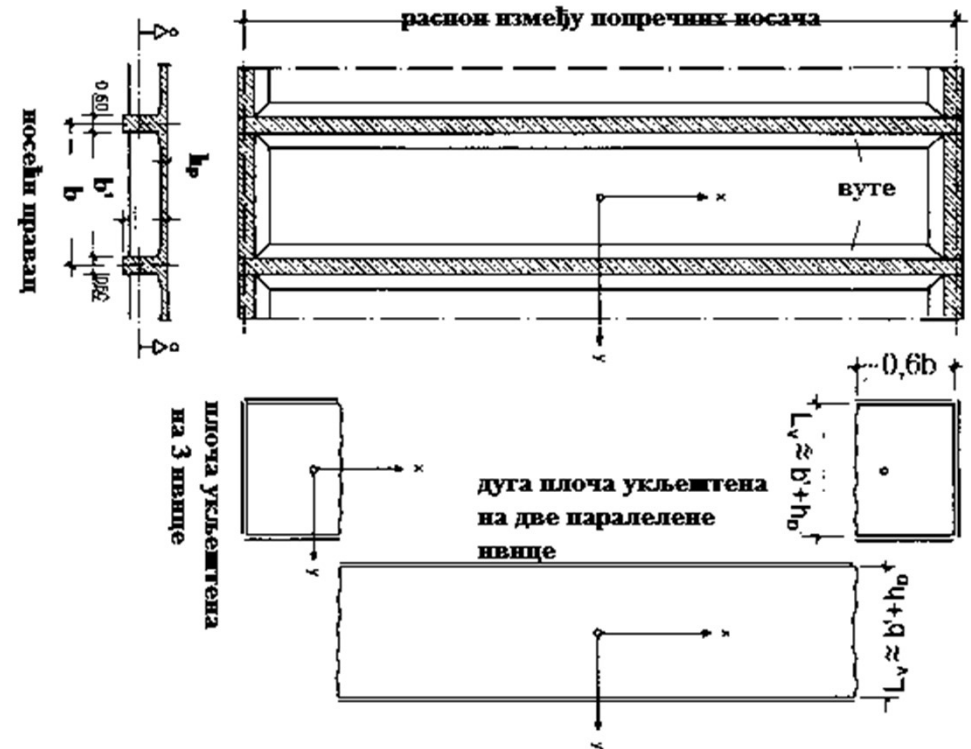
Попречни носачи при извођењу



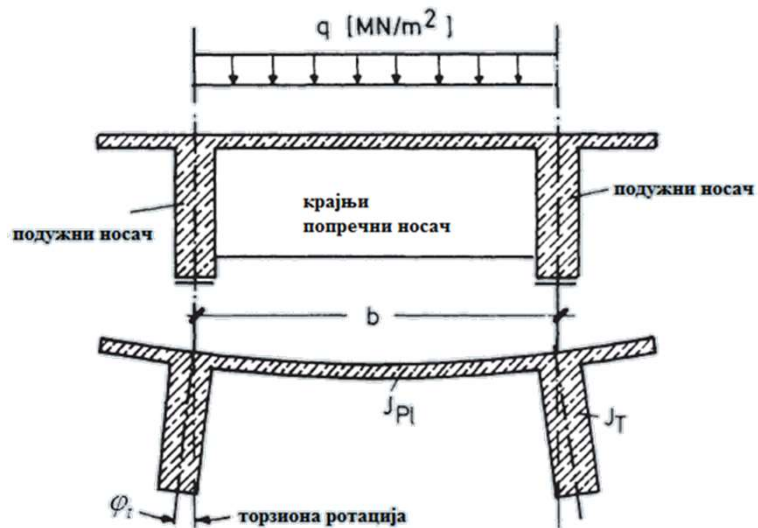
Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2024.

Прорачун коловозне плоче код ребрастих пресека коловозних конструкција

- Коловозна плоча
 - Носи у једом правцу – попречном (у зависности од размака попречних носача).
 - Ефективна ширина
 - Еластично укљештена у главне носаче (степен укљештења зависи од торзионе крутости главних носача и распореда попречних носача)



Степен укљештења плоче ослоњене на два носача у попречном правцу



- Степен укљештења α коловозне плоче ослоњене на два главна носача се може одредити према изразу:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{k \cdot L^2 \cdot I_{Platte}}{b \cdot I_T}}$$

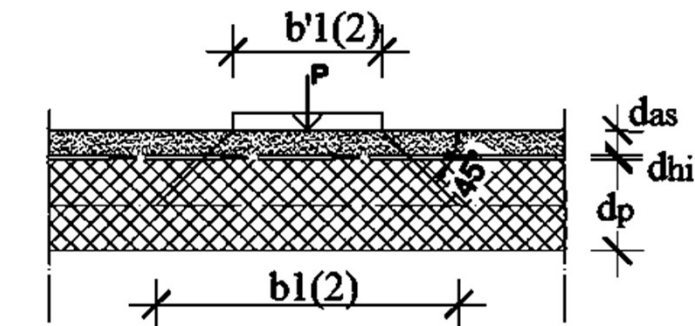
- k коефицијент који зависи од положаја посматраног пресека дуж распона;

x/l	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
k	0	0,225	0,40	0,525	0,60	0,625

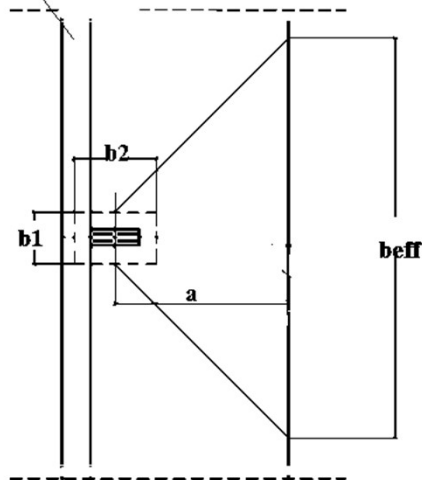
$$X_1 = - \frac{\frac{b^3}{12}}{\frac{E J_{P1}}{G J_T} \cdot \frac{l^2}{4} + b} = - \frac{\frac{b^3}{12 \cdot J_{P1}}}{\frac{0,625 l^2}{J_T} + \frac{b}{J_{P1}}}$$

$\frac{E}{G} = 2,5$

Распростирање оптерећења од точкова



ограда или ивично
ојачање

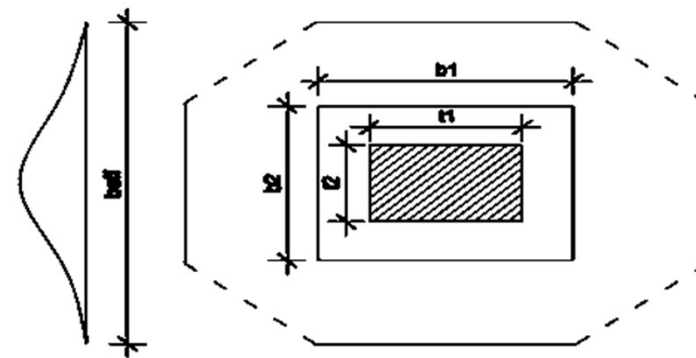


Конзолна
плоча

$$b_{eff} = b_1 + 2a$$

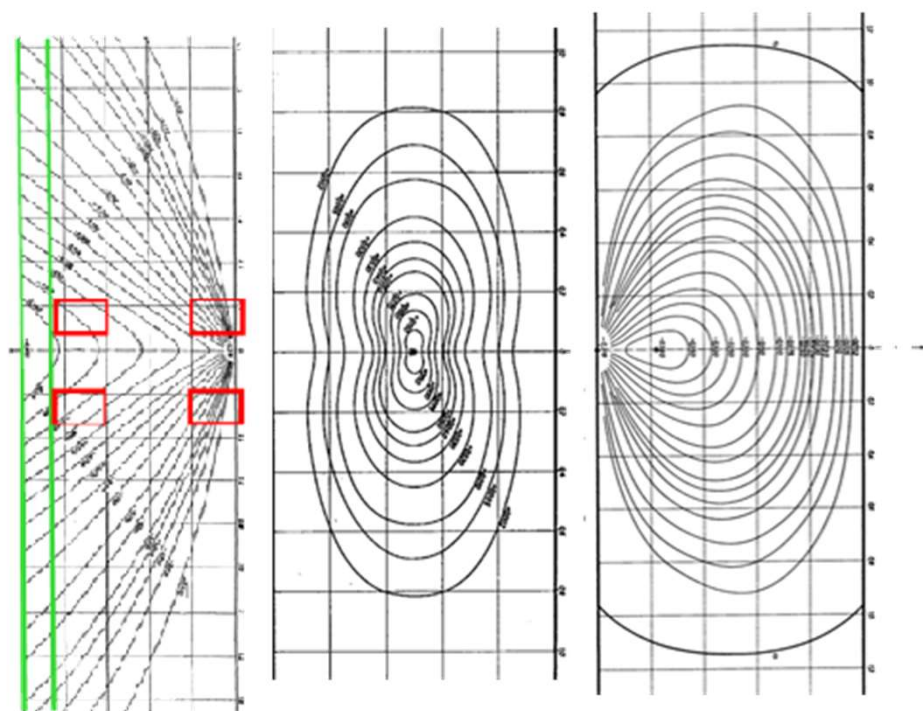
Плоча у једном правцу

правац ношења - распон L,
главна арматура A

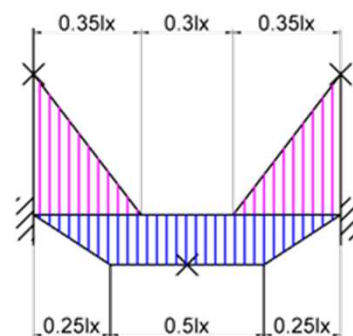


$$b_{eff} = b_2 + \frac{A_p}{A} L$$

Употреба утицајних површина

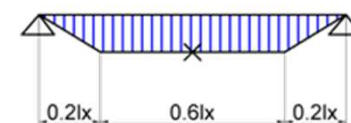


моменти у носећем
правцу m_x

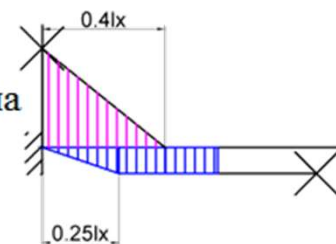


горња зона
доња зона

моменти управни на правац
ношења m_y

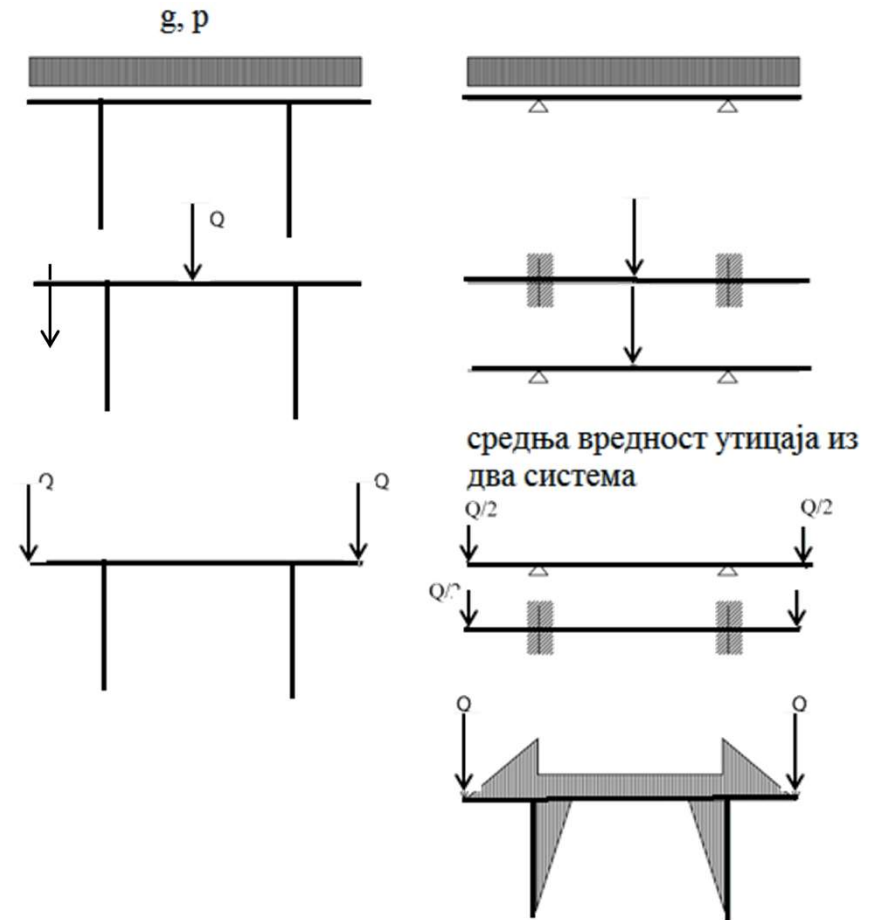
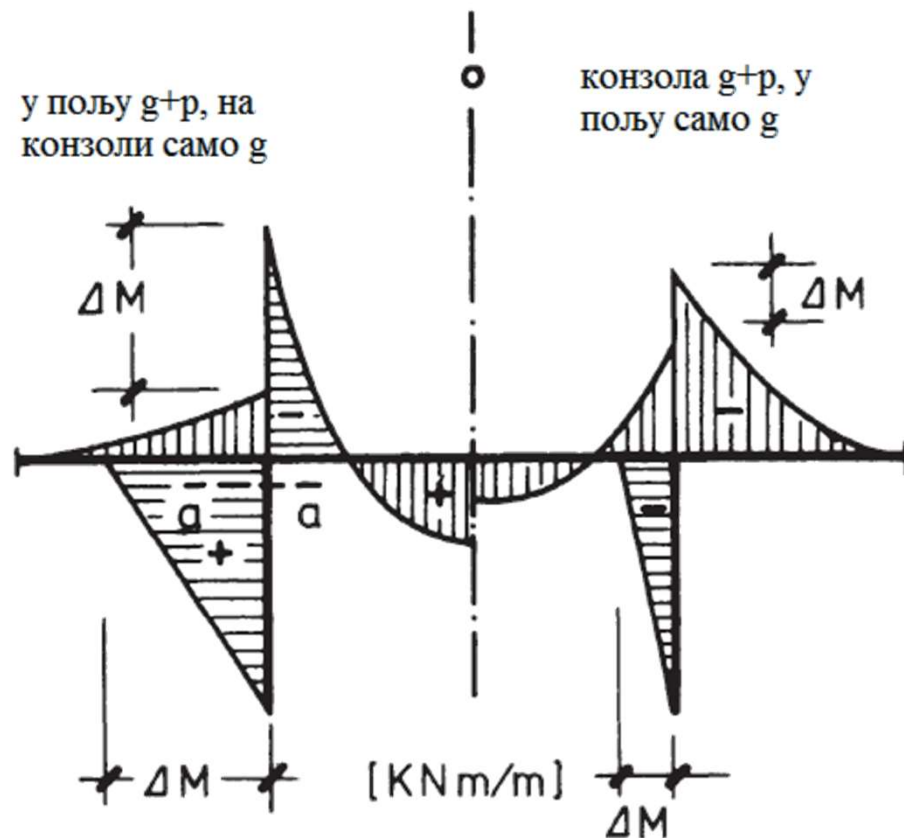


× вредност одређена
по утицајној
површини

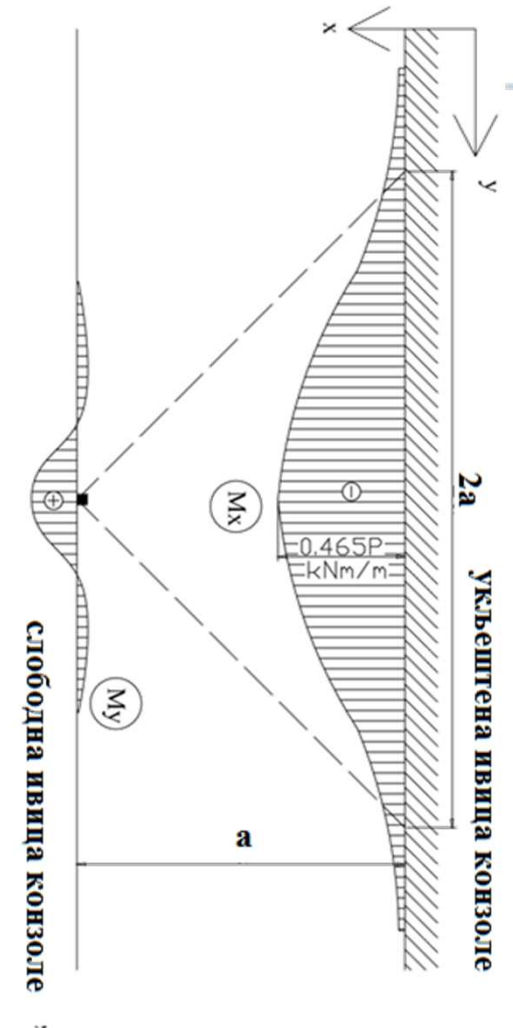
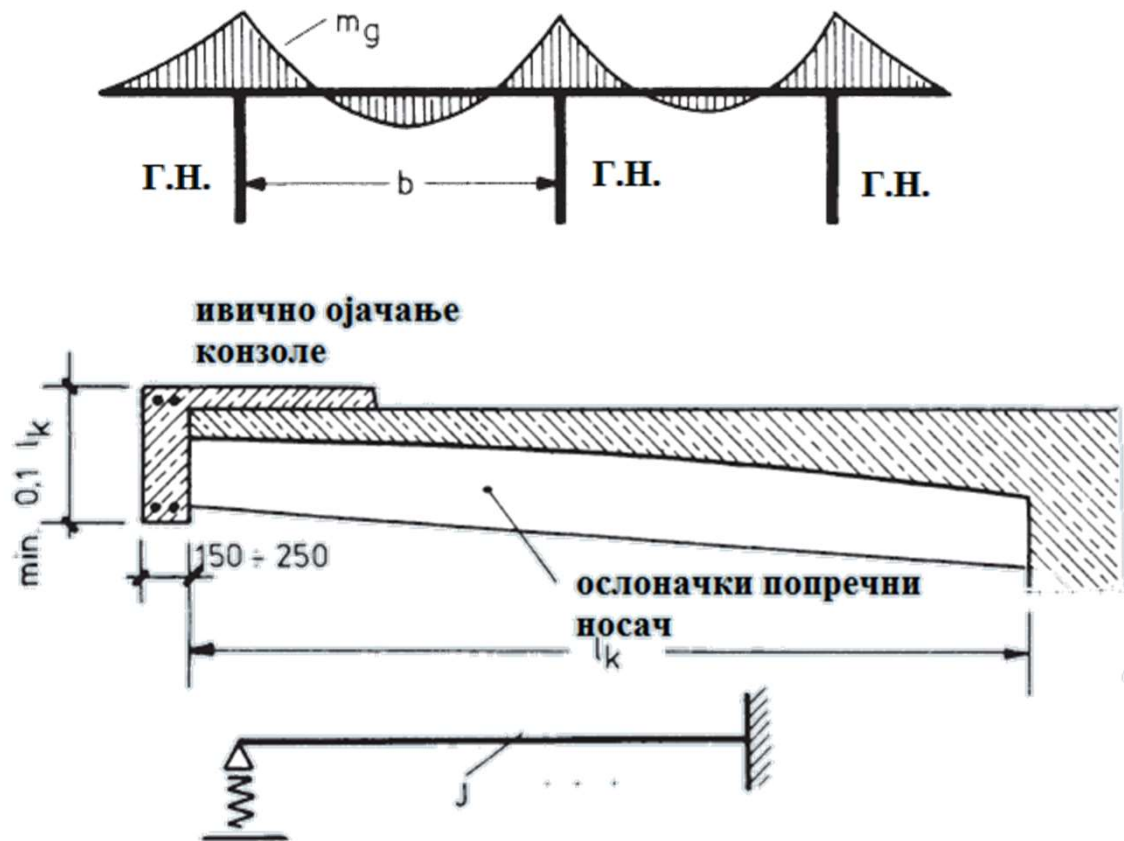


моменти m_y у близини попречних
носача

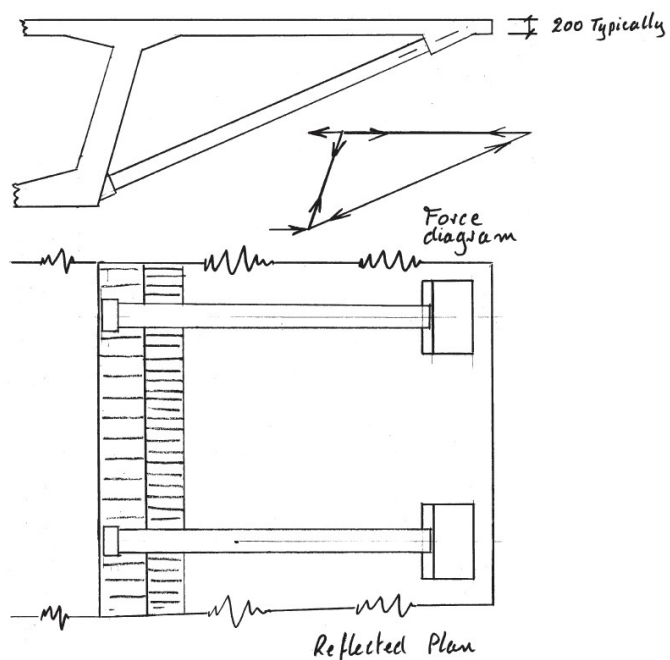
Моменти у коловозној плочи



Конзолни препусти



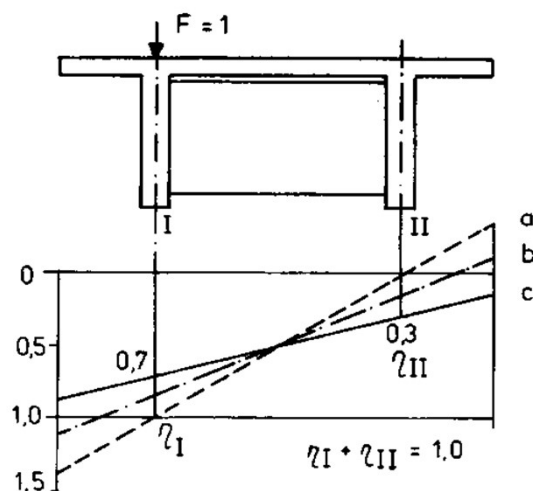
Употреба косника ради повећања распона конзоле



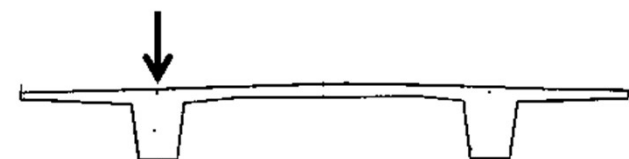
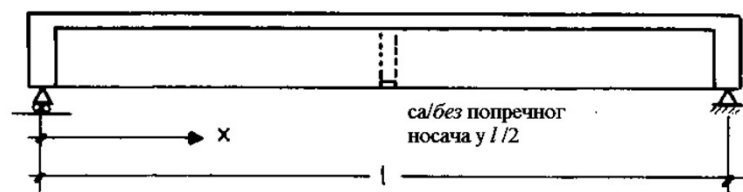
Прорачунски модели код ребрастих коловозних конструкција

- Без обзира на облик пресека, изводе се два глобална статичка прорачуна:
 - Прорачун у попречном смеру (прорачун коловозне плоче)
 - Прорачун у подужном правцу
- Свођење на систем подужних греда - дефинисана је попречна прерасподела
 - Попречна прерасподелом се одређује оптерећење за један носач и даље се третира као изоловани гредни елемент
- Модел роштиља

Два главна носача – расподела оптерећења у попречном правцу

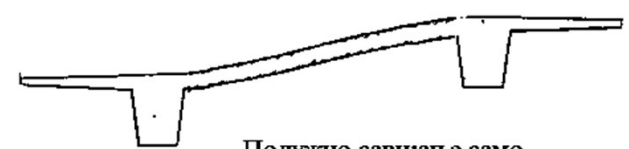


- a) по принципу полуге
- b) са танким ребрима и без попречног носача у $l/2$
- c) са дељним ребрима и попречним носачем у $l/2$



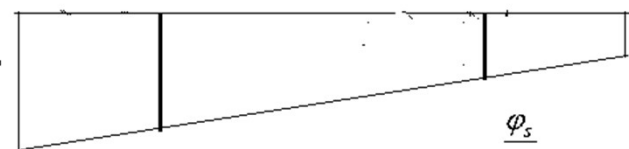
Сантвенанова
торзија

$$\varphi_t = \frac{bL}{4GI_t}$$



Подужно савијање само

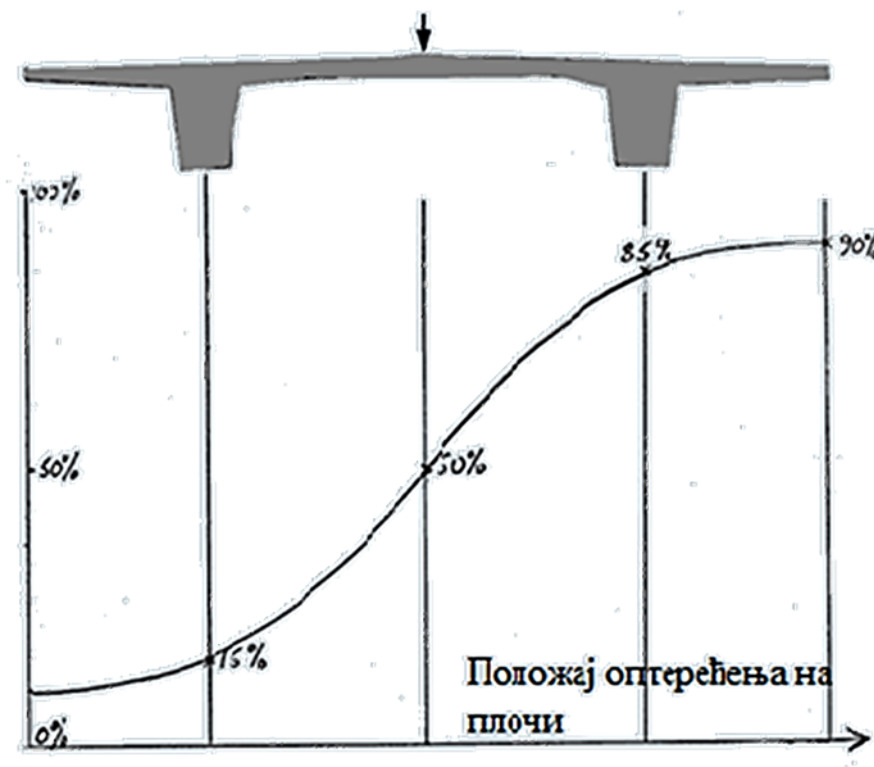
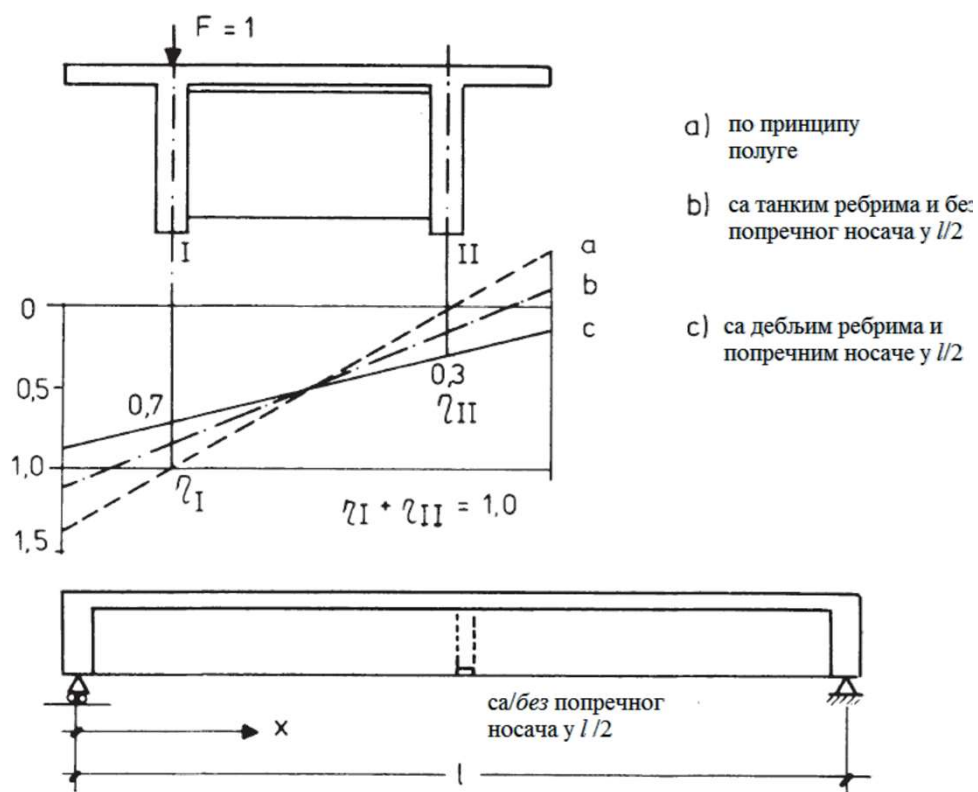
$$\varphi_s = \frac{L^3}{48bEI}$$



$$\frac{\varphi_t + \frac{\varphi_s}{2}}{\varphi_t + \varphi_s}$$

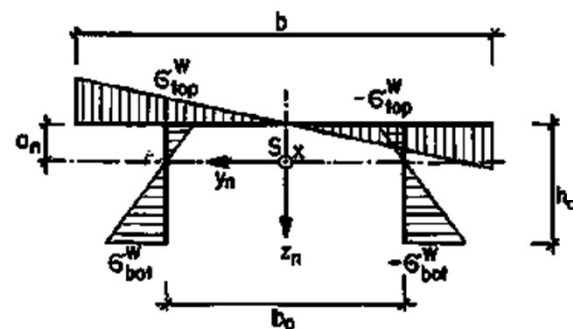
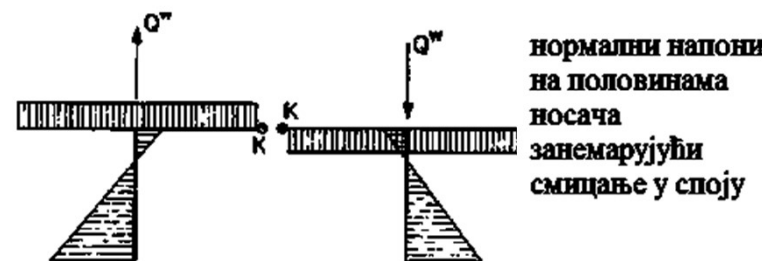
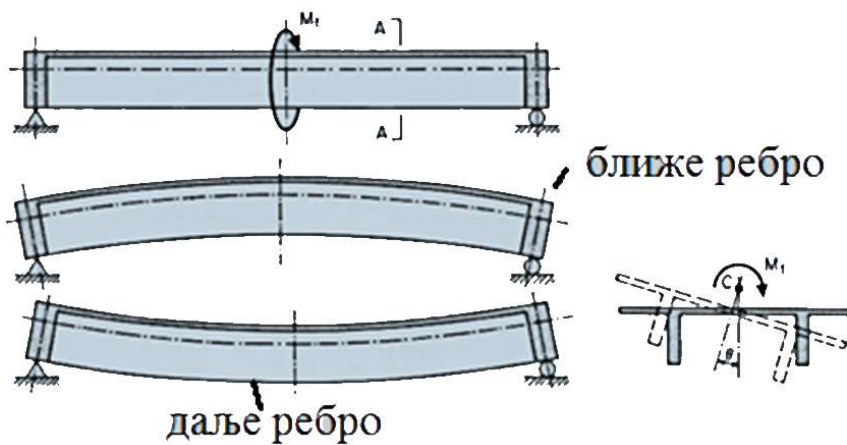
$$\frac{\frac{\varphi_s}{2}}{\varphi_t + \varphi_s}$$

Два главна носача – утицајна линија попречне прерасподеле

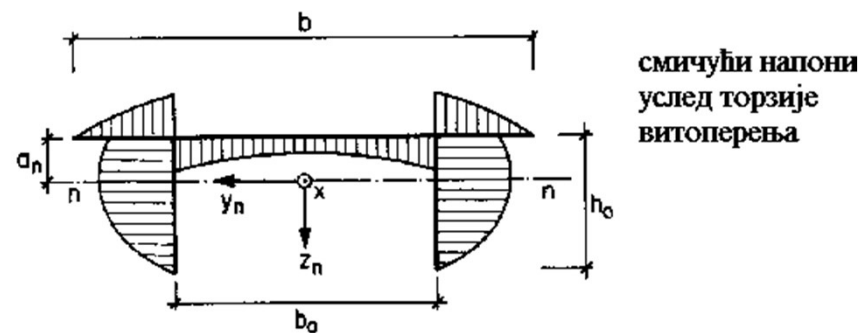


“Танкозидни” пресек

ефекат антисиметричног дела оптерећења



$$G_{bot}^w = -G_{top}^w \frac{h_0 - a_n}{a_n}$$



Принцип попречне расподеле саобраћајних оптерећења друмских мостова на главне носаче

$$\varphi_T = \frac{0,5 \cdot M_T \cdot \frac{L}{2}}{G \cdot I_T} = \frac{M_T \cdot L}{4 \cdot 0,4 \cdot E \cdot I_T} = \frac{M_T \cdot L}{1,6 \cdot E \cdot I_T}$$

Торзиона крутост за цео попречни пресек

$$f = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_y}$$

За једно ребро

За просту греду

$$\varphi_{w0} = \frac{f}{0,5 \cdot b}$$

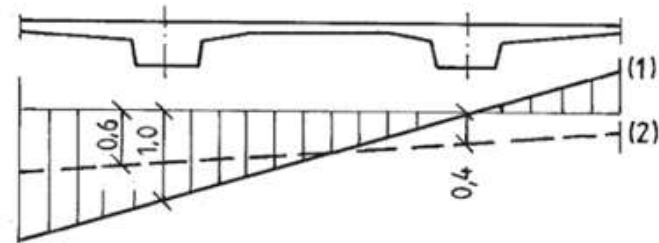
Осовински размак носача

$$\kappa = \frac{\varphi_T}{\varphi_{w0} + \varphi_T}$$

$$\eta = \eta_s \pm 0,5 \cdot \kappa$$

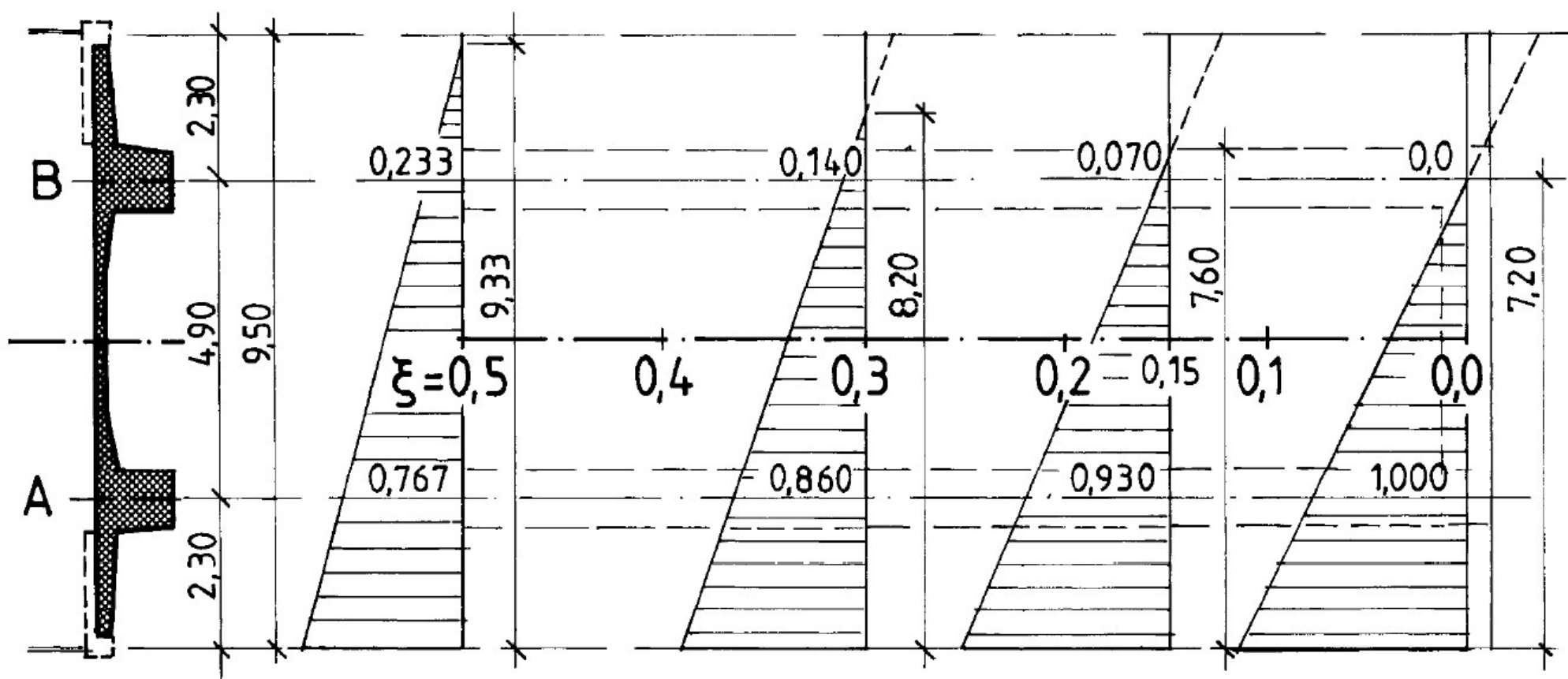
$$\rightarrow \eta_1 = 0,5 + 0,5 \cdot \kappa$$

$$\eta_2 = 0,5 - 0,5 \cdot \kappa$$

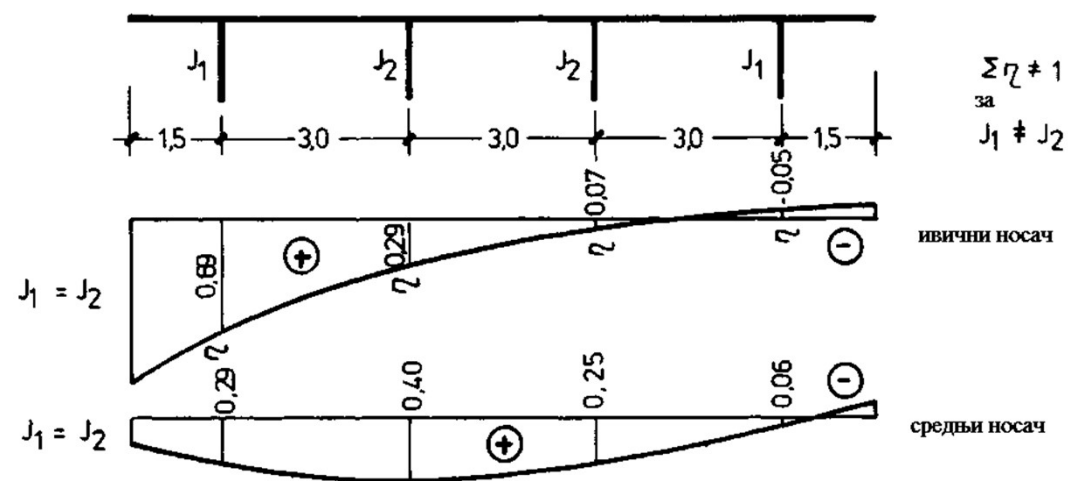
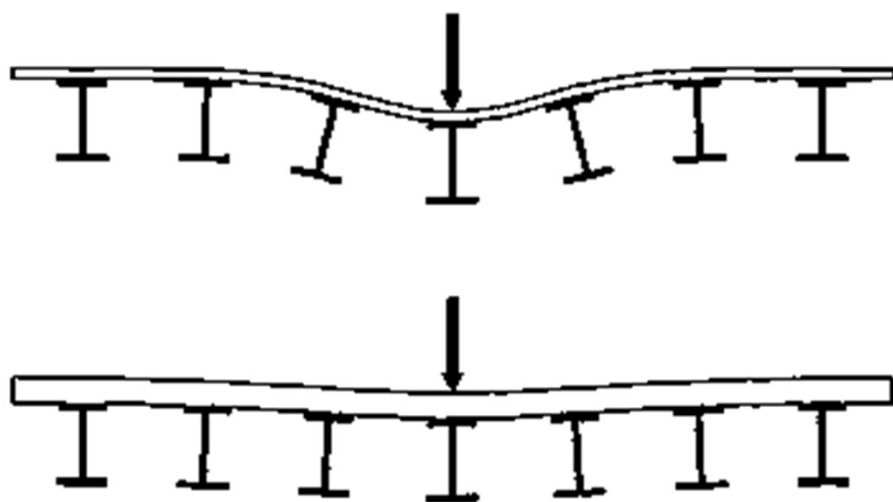


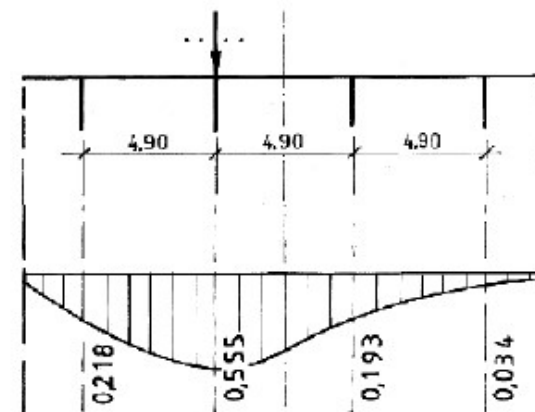
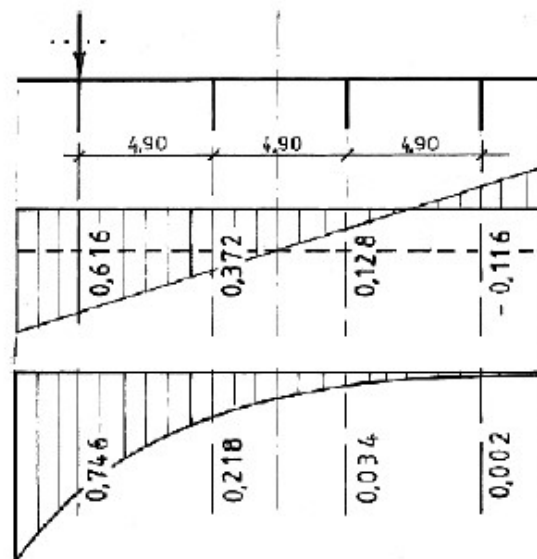
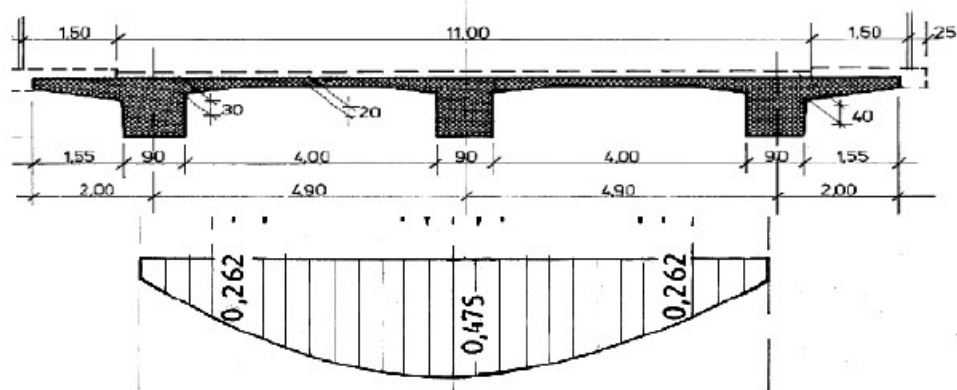
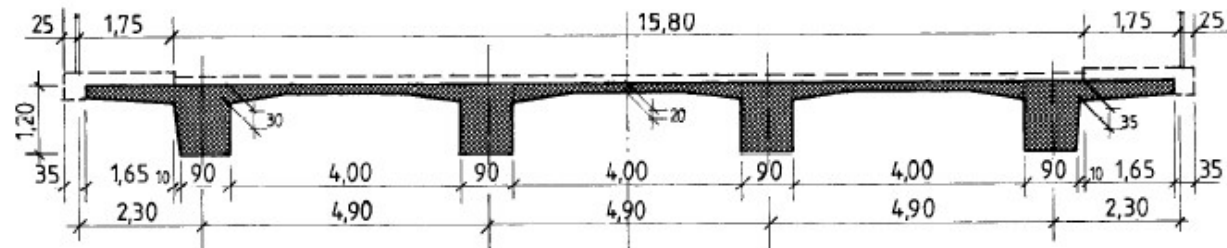
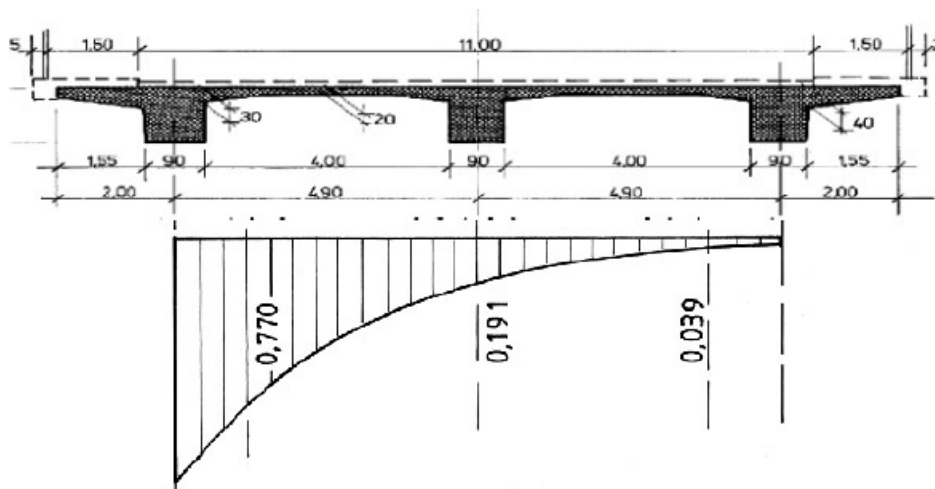
1) у зони ослонаца (попречних носача)

2) око средине распона

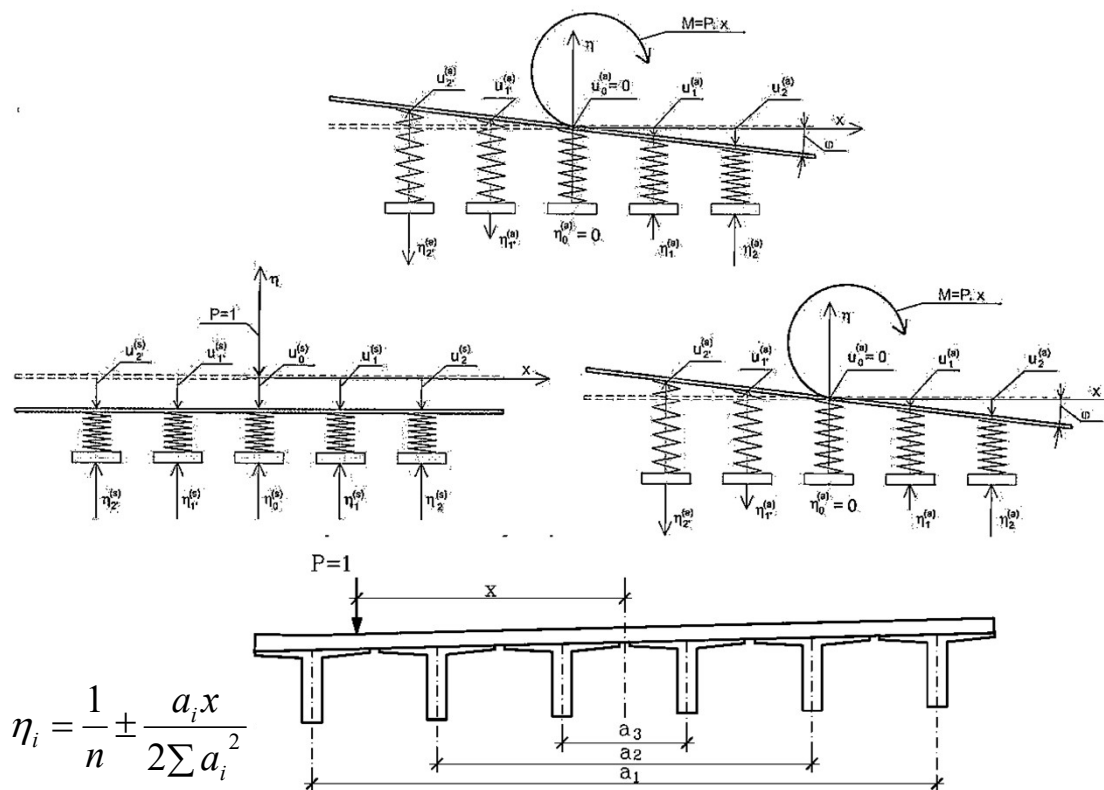


Расподела оптерећења на више носача



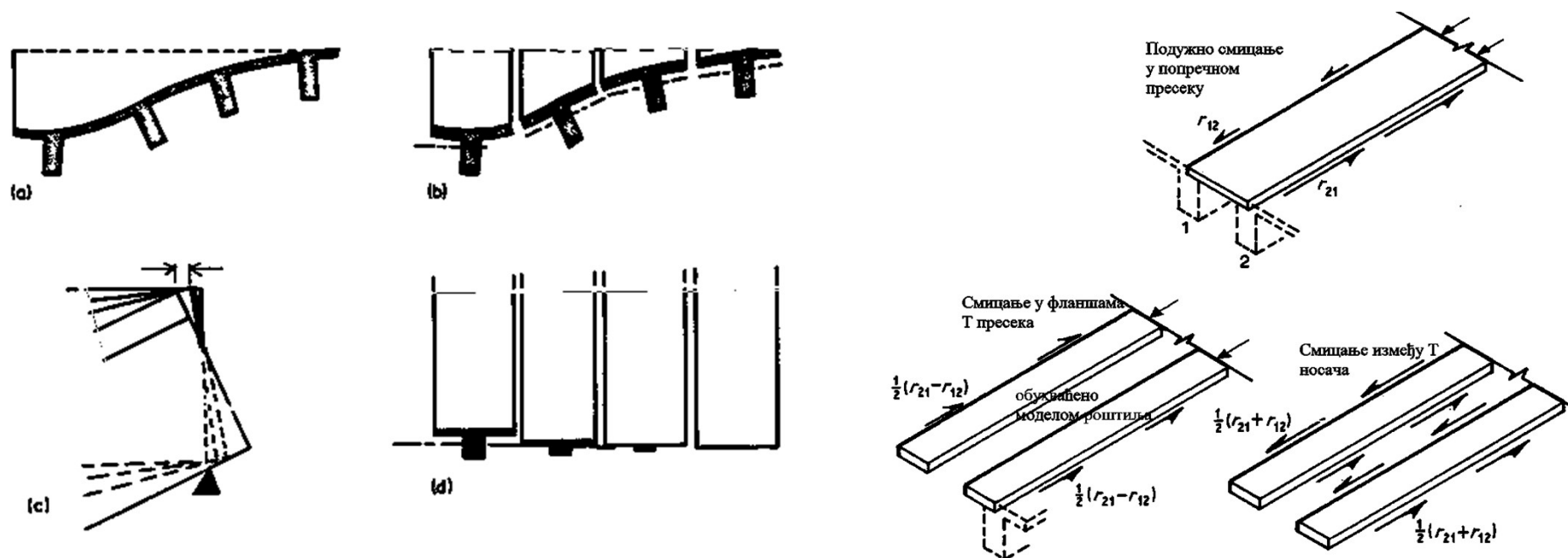


Метод ексцентричног притиска (Courbon)



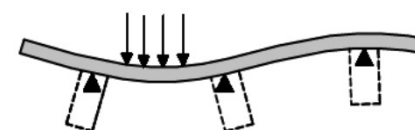
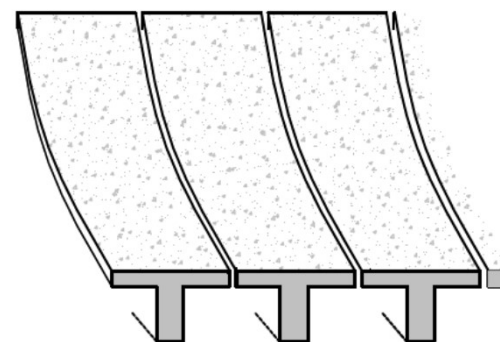
$$\eta_i = \frac{1}{n} \pm \frac{a_i x}{2 \sum a_i^2}$$

Ефекат подужног смицања у плочи



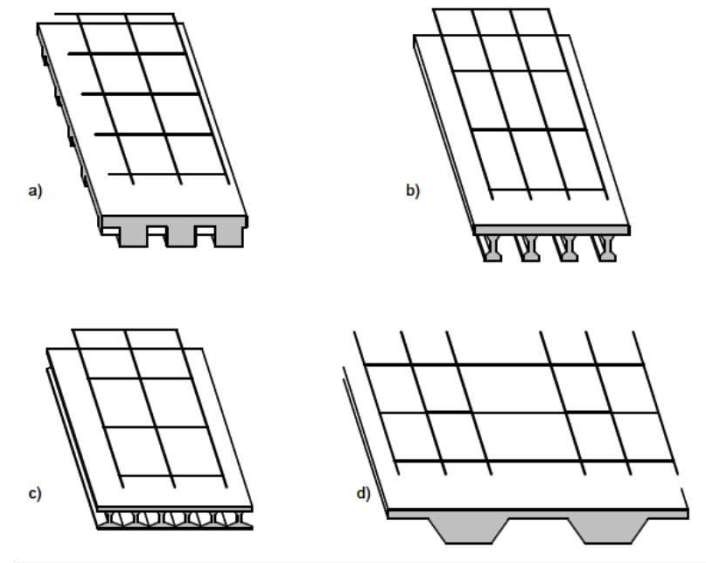
Роштиљни модел

- Модел уздужних ребара повезаних коловозном плочом
- Плоча делује као горњи појас, али такође даје крутост у попречном правцу
- Уздужни носачи роштиља су носачи Т-пресека (ребра са плочом) а попречни носачи су елементи плоче и евентуалних попречних носача



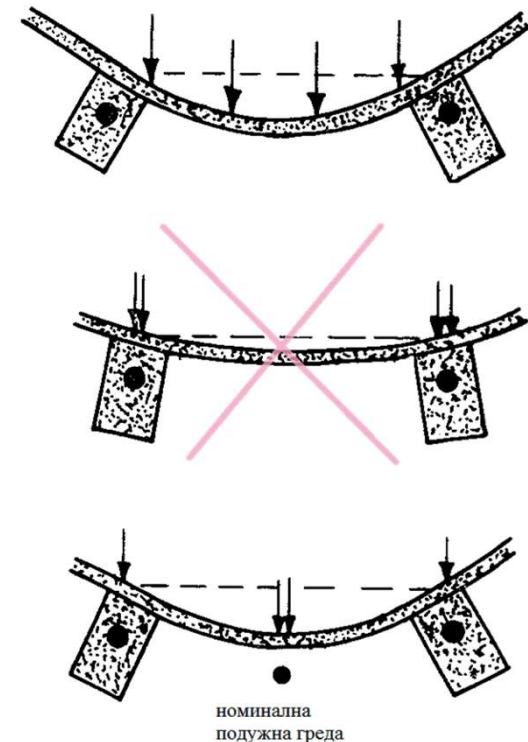
Могуће варијанте пресека и модела

- Уздужне греде модела логично су постављене у тежиште носача.
- Ако нема попречних носача осим преко ослонаца, онда постоји празнина па се попречни елементи произвољно постављају
- Штапови се обично бирају у интервалима од $1/6$ до $1/8$ распона
- Код густо постављених носача понекад се две греде моделирају једним штапом, али то се углавном не препоручује због потешкоћа у тумачењу резултата.
- У случају два веома широка ребра могу се ова ребра моделирати са два подужна штапа повезана попречним штаповима како би се одредило попречно савијање ових носача.
- Моделирање пресека за ребрасте пресеке није задовољавајуће ако је растојање уздужних ребара веће од приближно $1/10$ распона
- У случају два широка ребра додају се подужни ивични штапови ради лакшег дефинисања положаја оптерећења на носачу и имају стварну, односно малу крутост

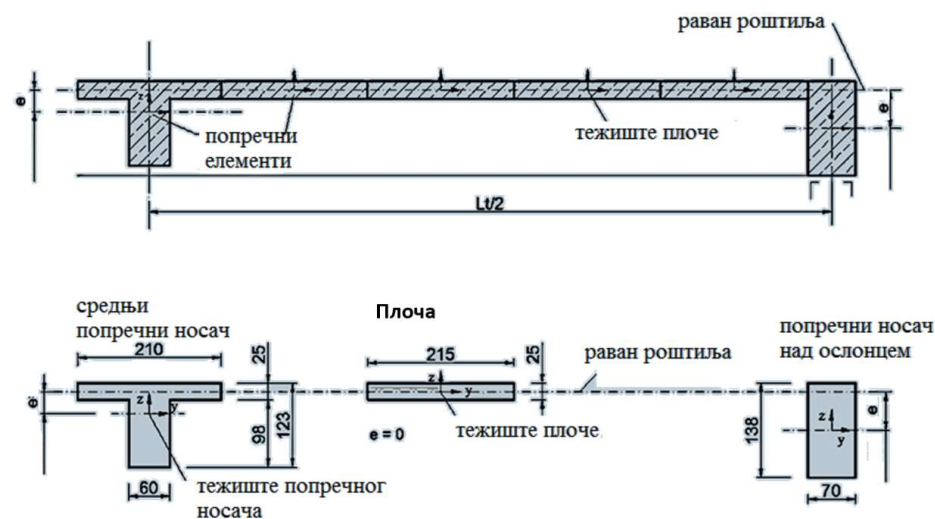
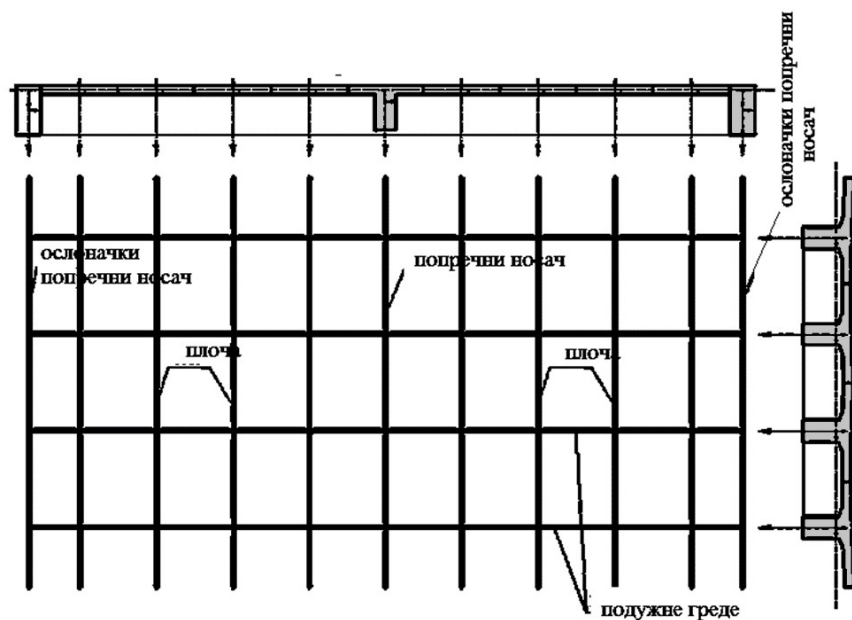


Распоред оптерећења на роштиљу

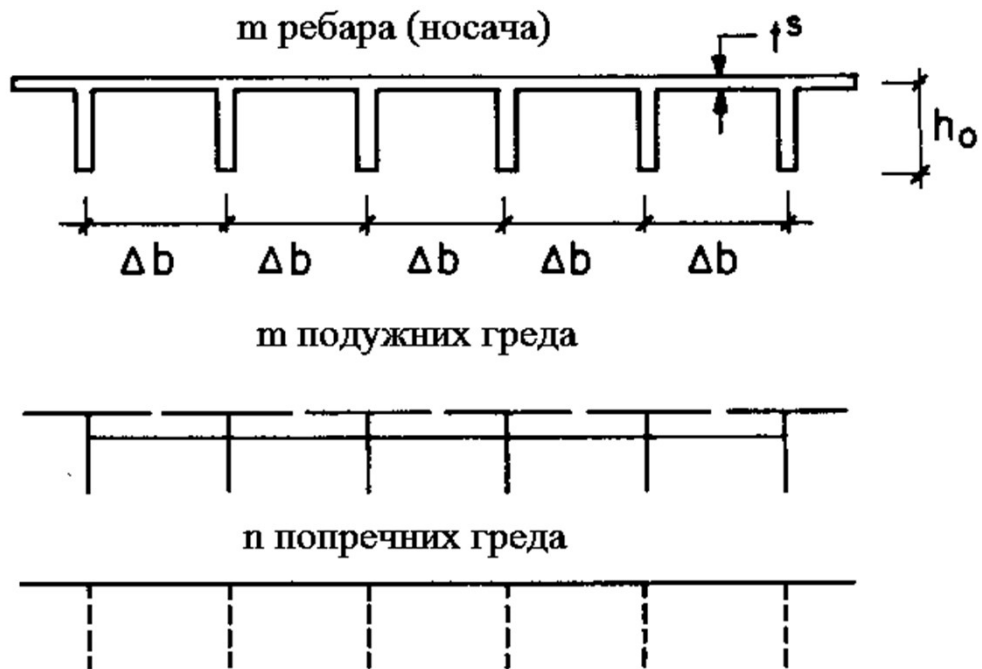
- Када су ребра попречног пресека размакнута више од $1/6$ ефективног распона или када ивична конзола прелази $1/12$ распона, потребно је смањити ширину плоче која учествује при израчунавању геометријских карактеристика носача.
- Карактеристике попречног пресека попречних елемената модела, када представљају само коловозну плочу, израчунавају се изразима који се користе за израчунавање карактеристика носача плоче.
- Када се попречна греда формира као греда, и за њу треба одредити ширина плоче која учествује. Обично је довољно тачно и на страни сигурности претпоставити ову ширину у вредности од $1/3$ размака уздужних носача.
- Ако се попречни пресек састоји од материјала различите крутости, на пример, ако су бетонски носачи већи и бетонска плоча мање чврстоће, то треба узети у обзир одговарајућим смањењем величина попречног пресека.
- Неки пресеци се састоје од носача чија је торзијска крутост врло мала у односу на крутост на савијање, па се утицај торзијске крутости може занемарити.



Једноставни роштиљни модел

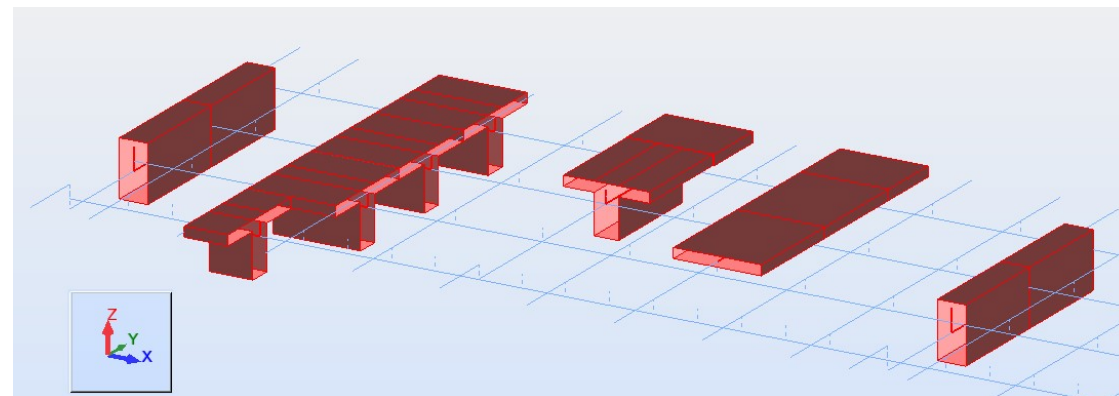
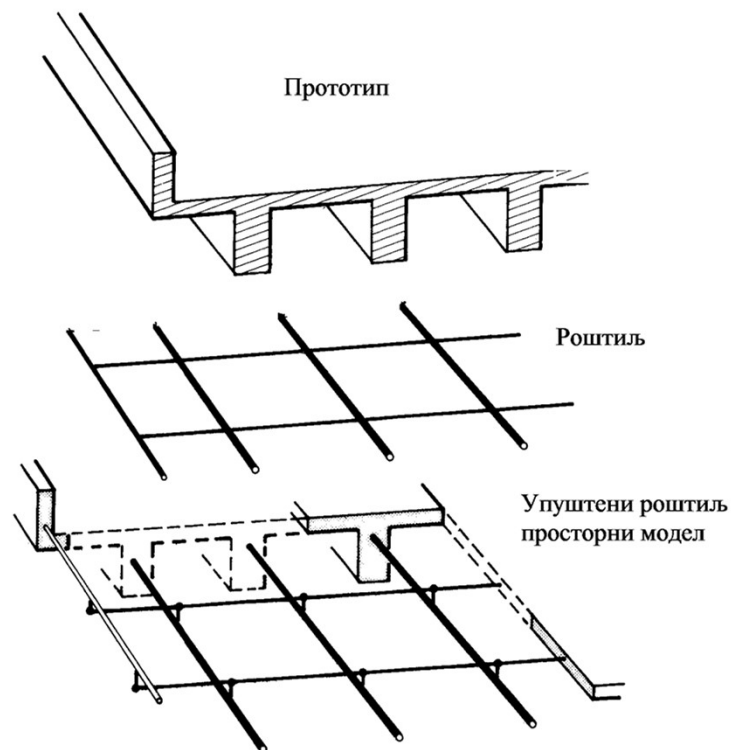


Препоруке према Мен-у

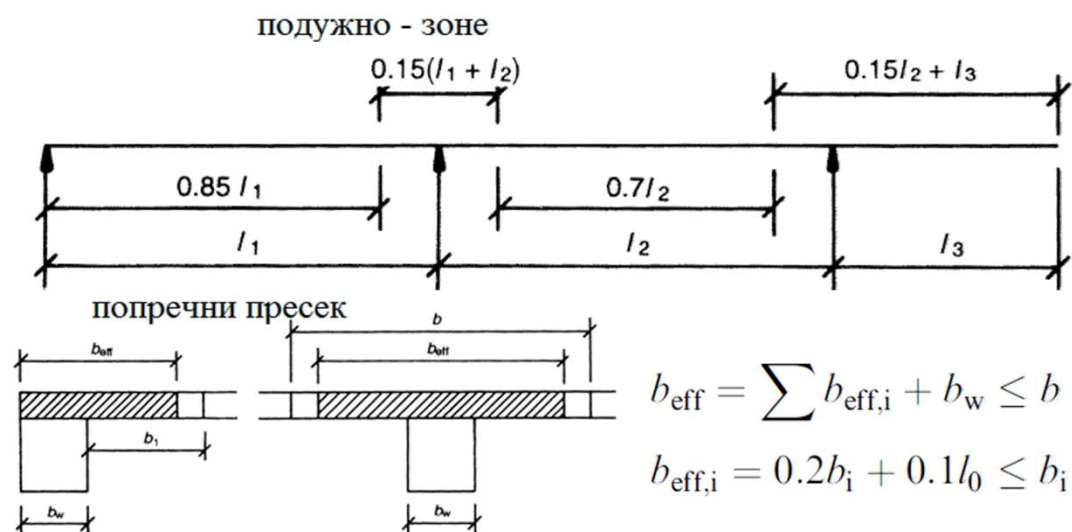
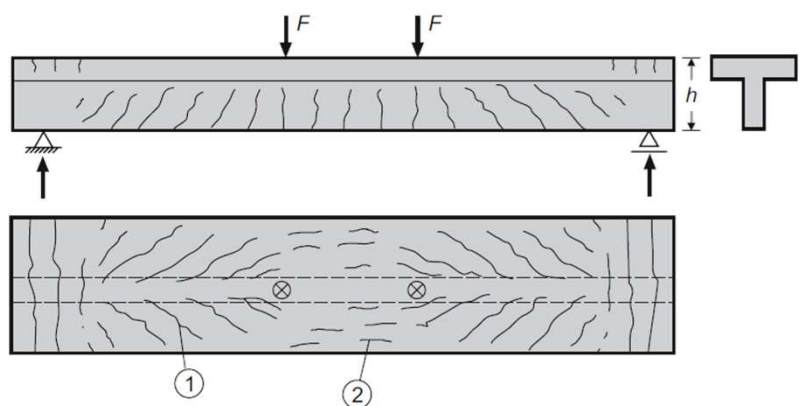


карактеристике	подужна греда	попечна греда $(\Delta = \frac{l}{n+1})$
Савијање	$EI^{LB} \cong \frac{EI_{tot}}{m}$	$EI^{TB} \cong \frac{1}{12} E \Delta l (t^s)^3$
Смицање	$\alpha G A^{LB} \cong \infty$	$\alpha G A^{TB} \cong \infty$
Торзија	$GK^{LB} \cong \frac{GK_{tot}}{m}$	$GK^{TB} \cong 0$

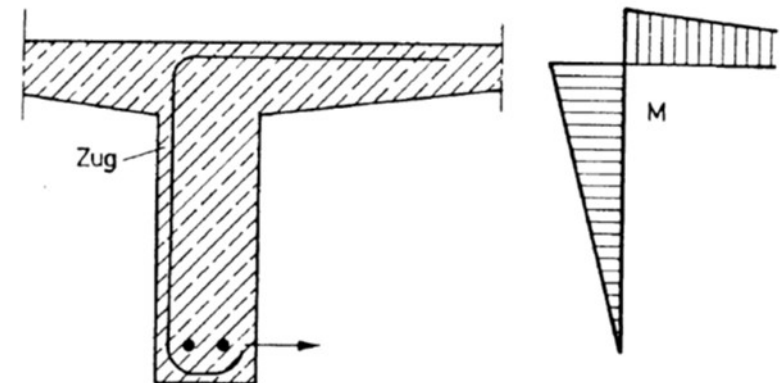
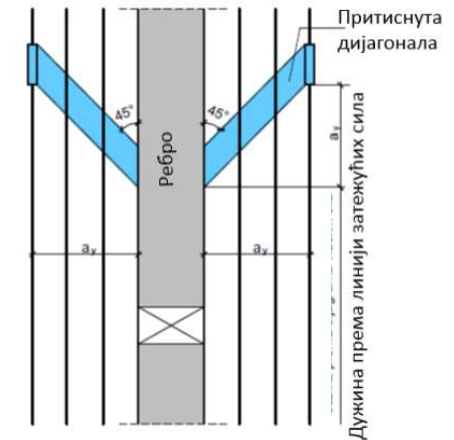
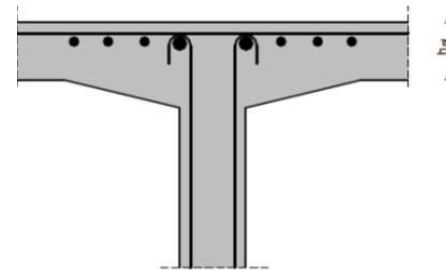
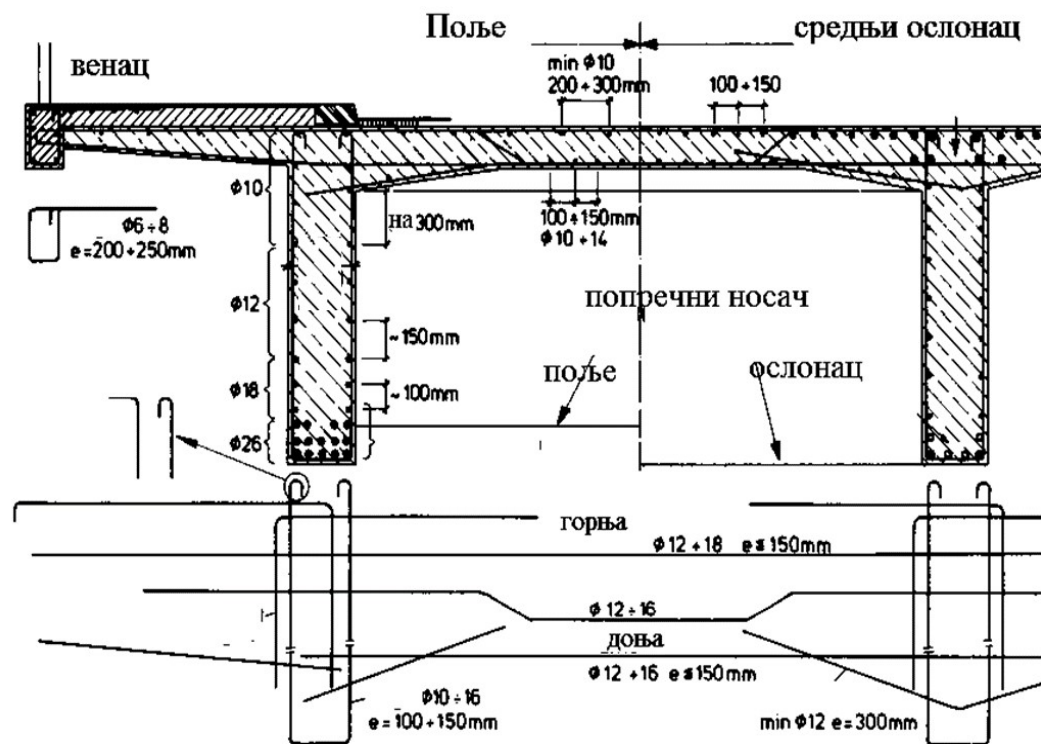
Упуштени роштиљ



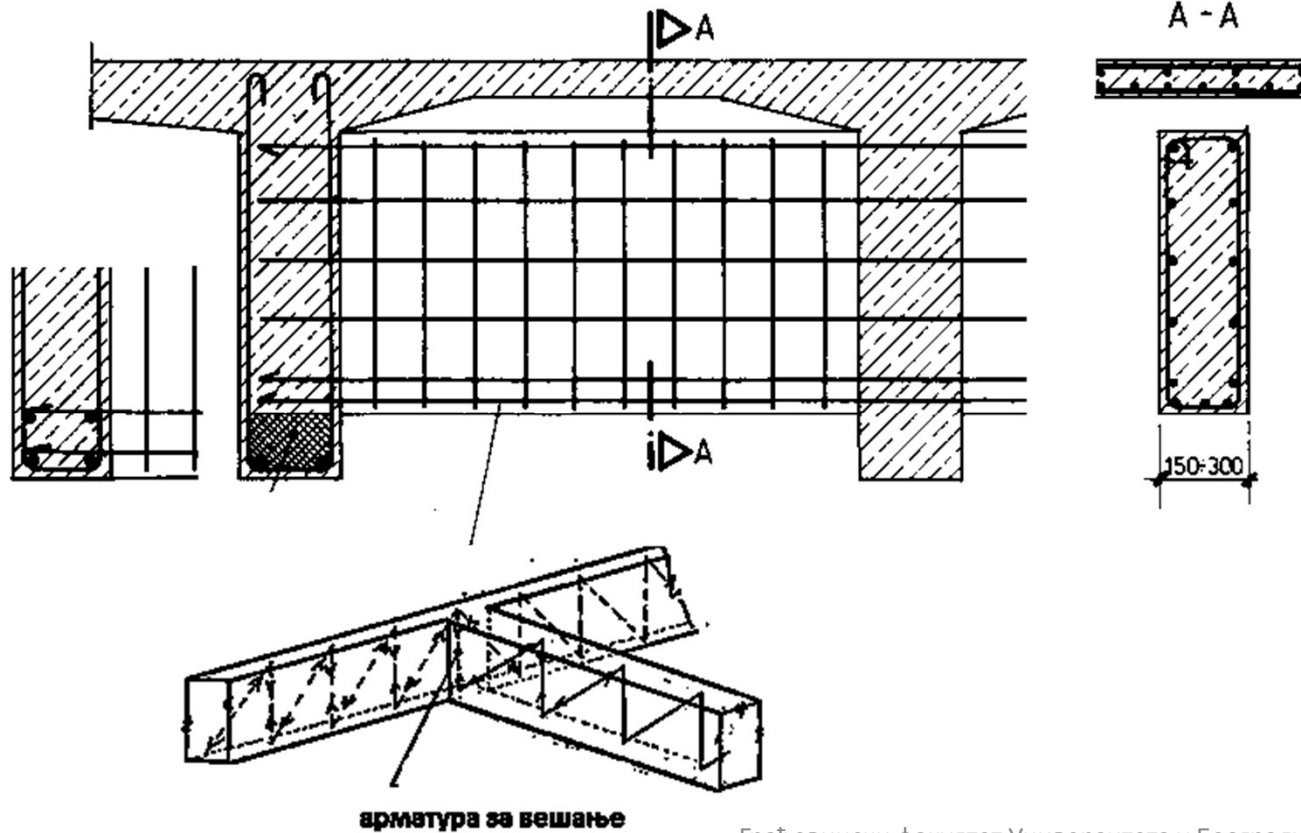
Ефективна (садејствујућа) ширина



Арматура главних носача



Арматура попречних носача



У пољу:

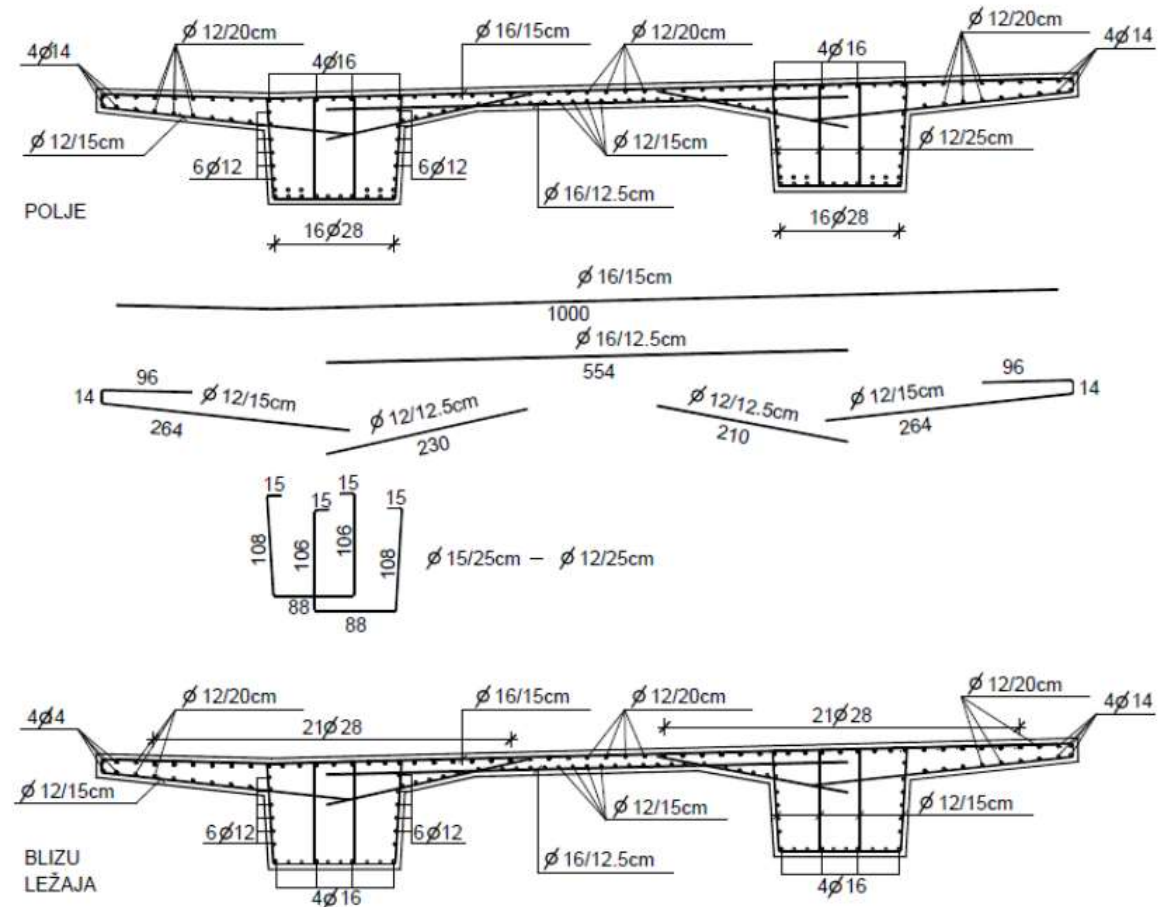
- Моменти савијања алтернативни
- Јача доња хоризонтална арматура, горња око 1/3 површине доње арматуре
- Сидрење у ребрима главних носача
- Густе узенгије за пријем смицања

Код ослоња:

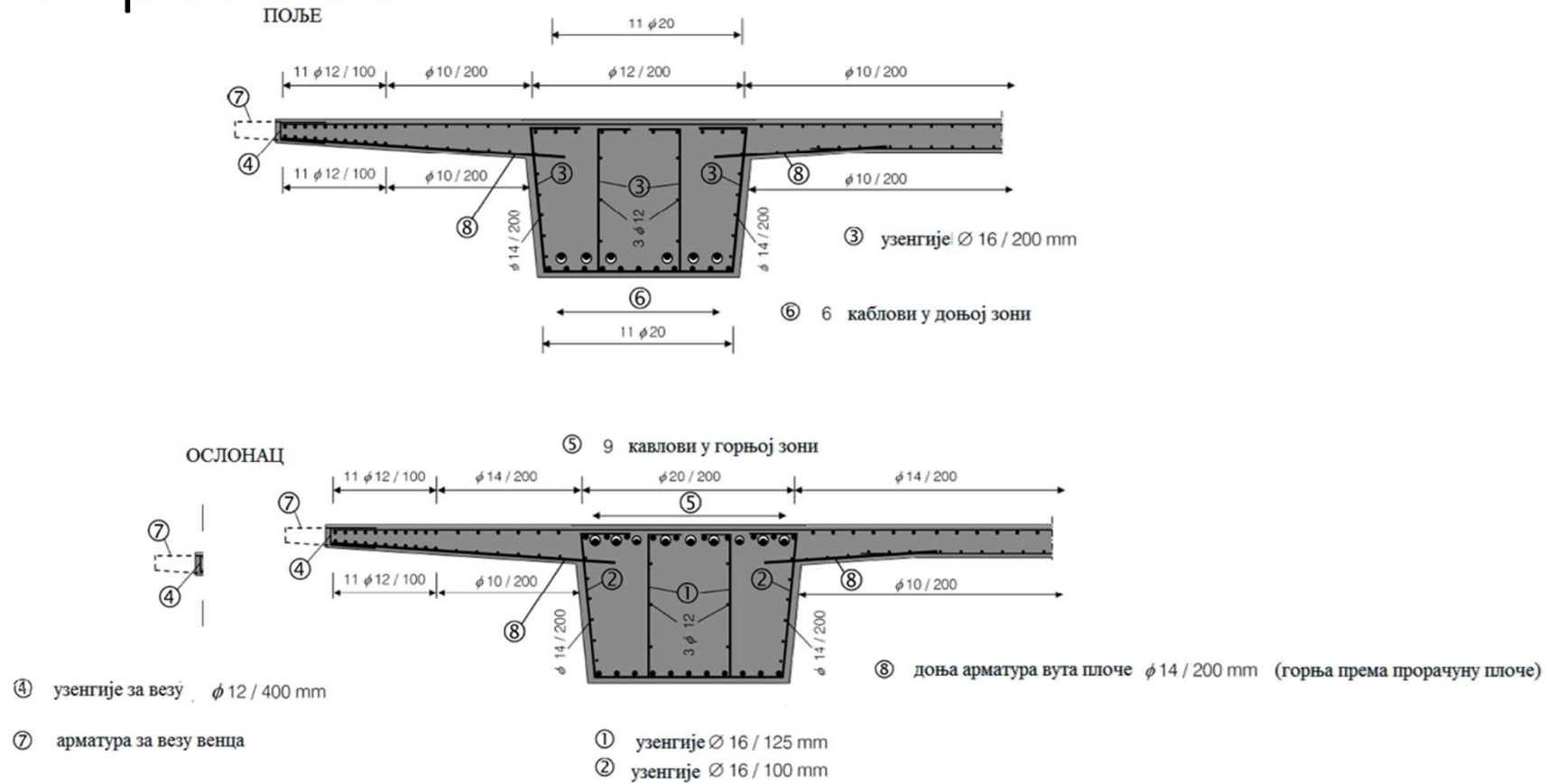
- Мања смичућа напрезања - мање узенгија
- Значајна хоризонтална арматура за прихватање торзије (услед спречених торзионих ротација главних носача) и хоризонталне силе од спречених бочних померања

Армирање широких носача

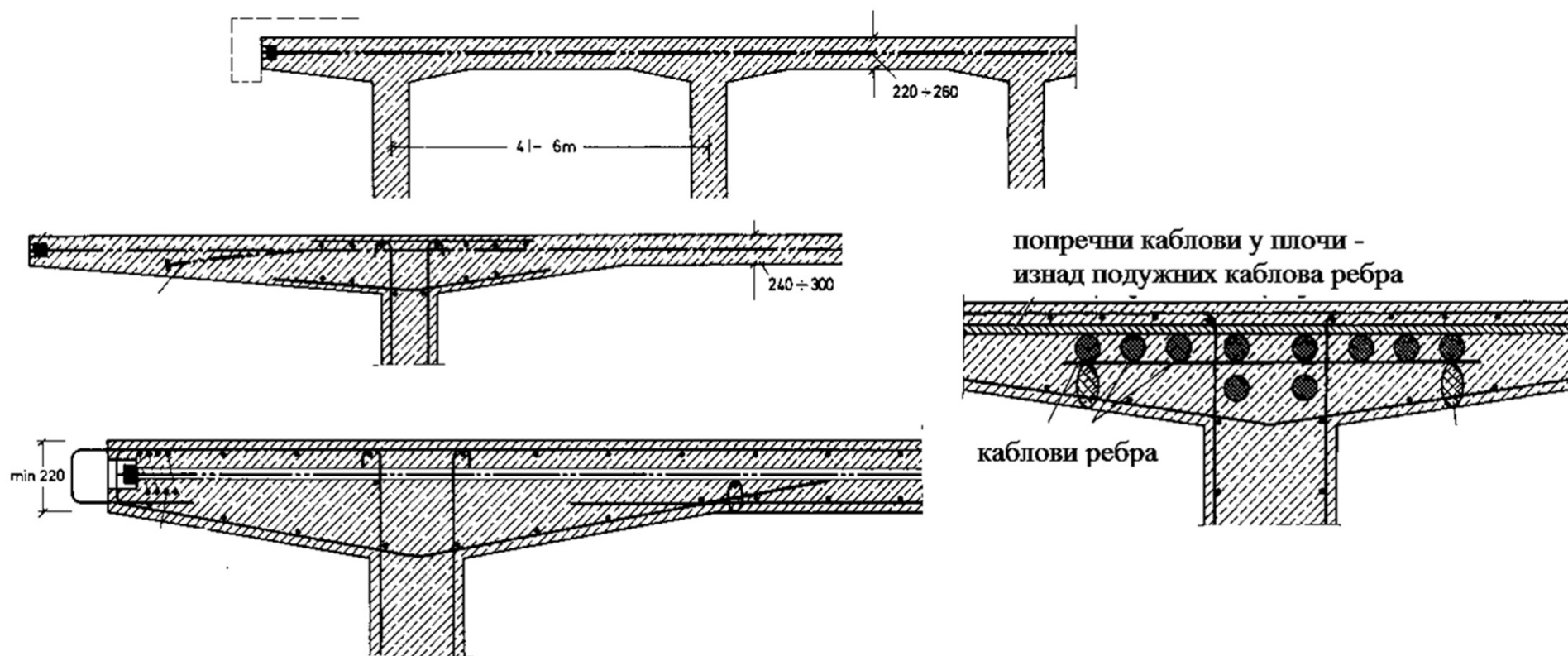
- Попречна арматура у плочи:
 - У затегнутој зони: на 15 cm са min $\phi 16$
 - У притиснутој зони: а 20 cm са min $\phi 12$
- Подужна арматура у ребру:
 - До $\phi 28$
 - У доњој зони се поставља до висине $0,2h$
 - У горњој зони се поставља у садејствијућој ширини узенгије ($\phi 12-16$) на 10-15 cm око ослонаца



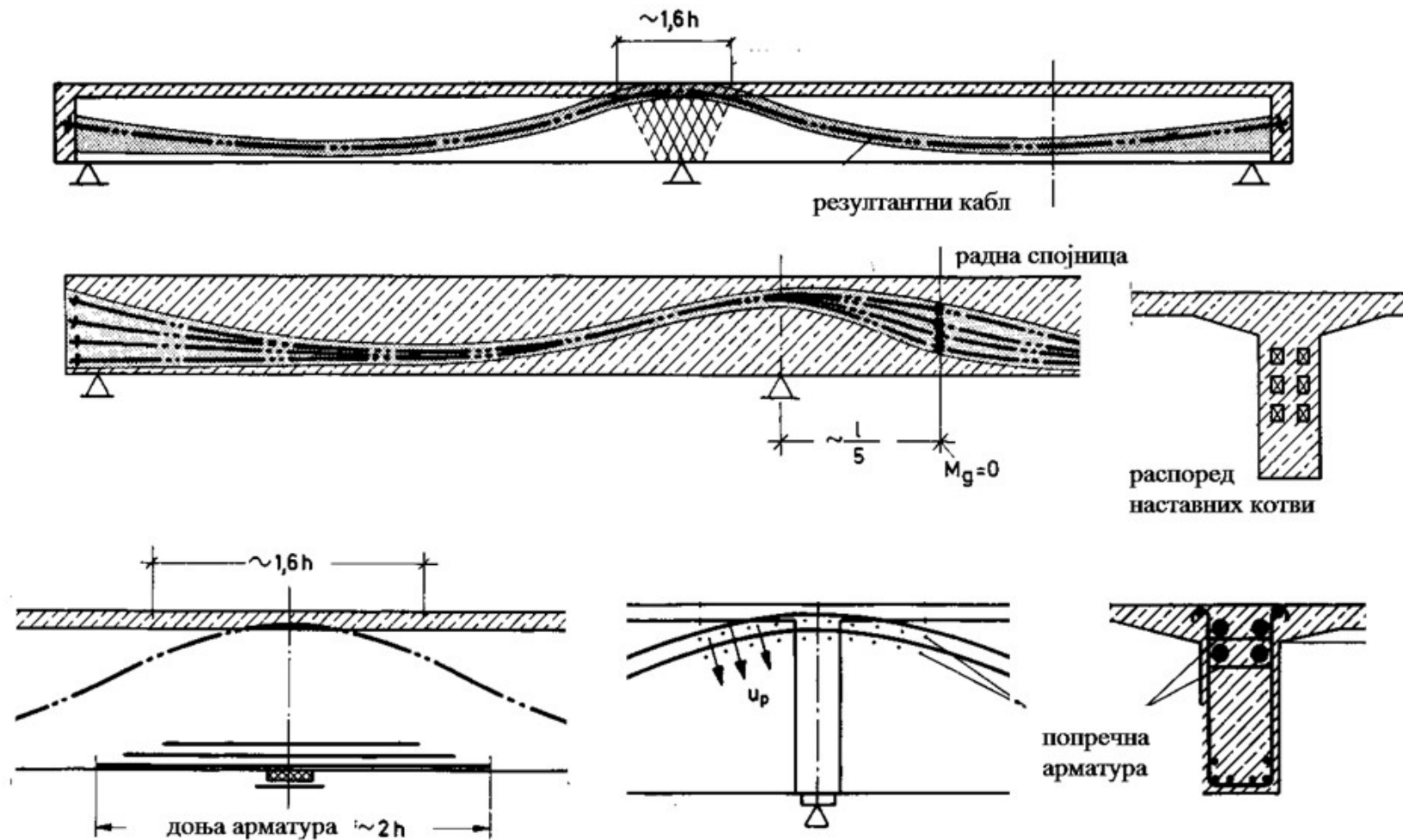
Пример армирања и претходног напрезања



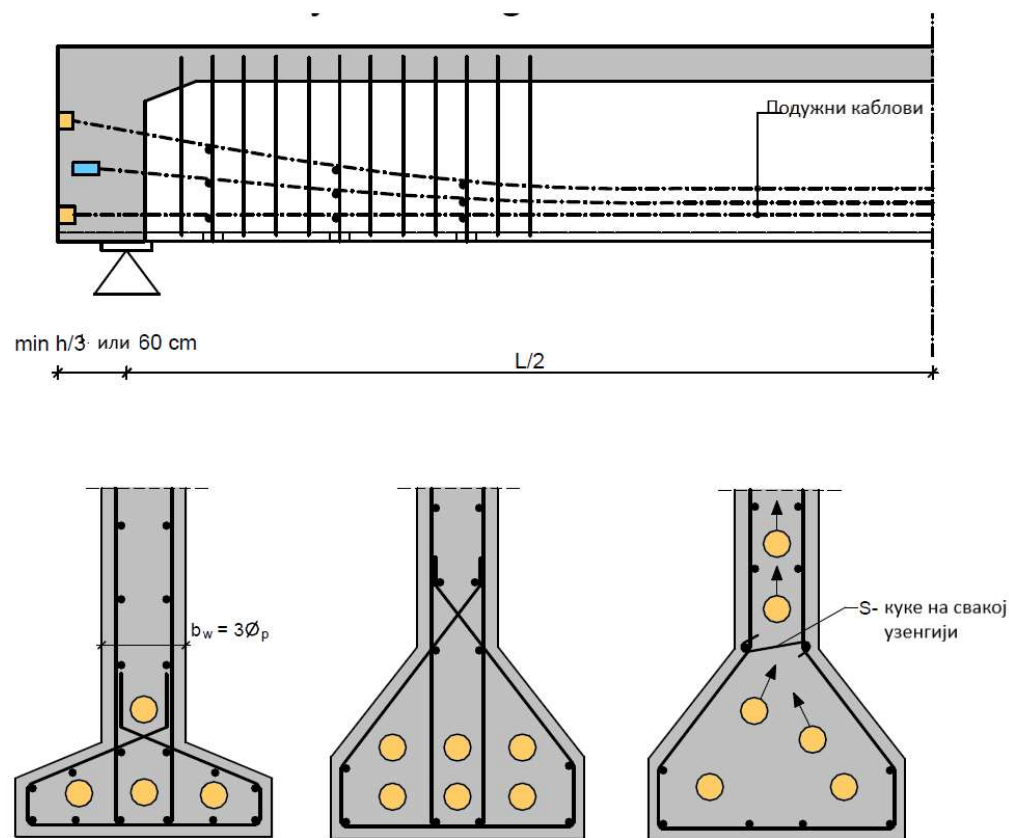
Попречно претходно напрезање плоче



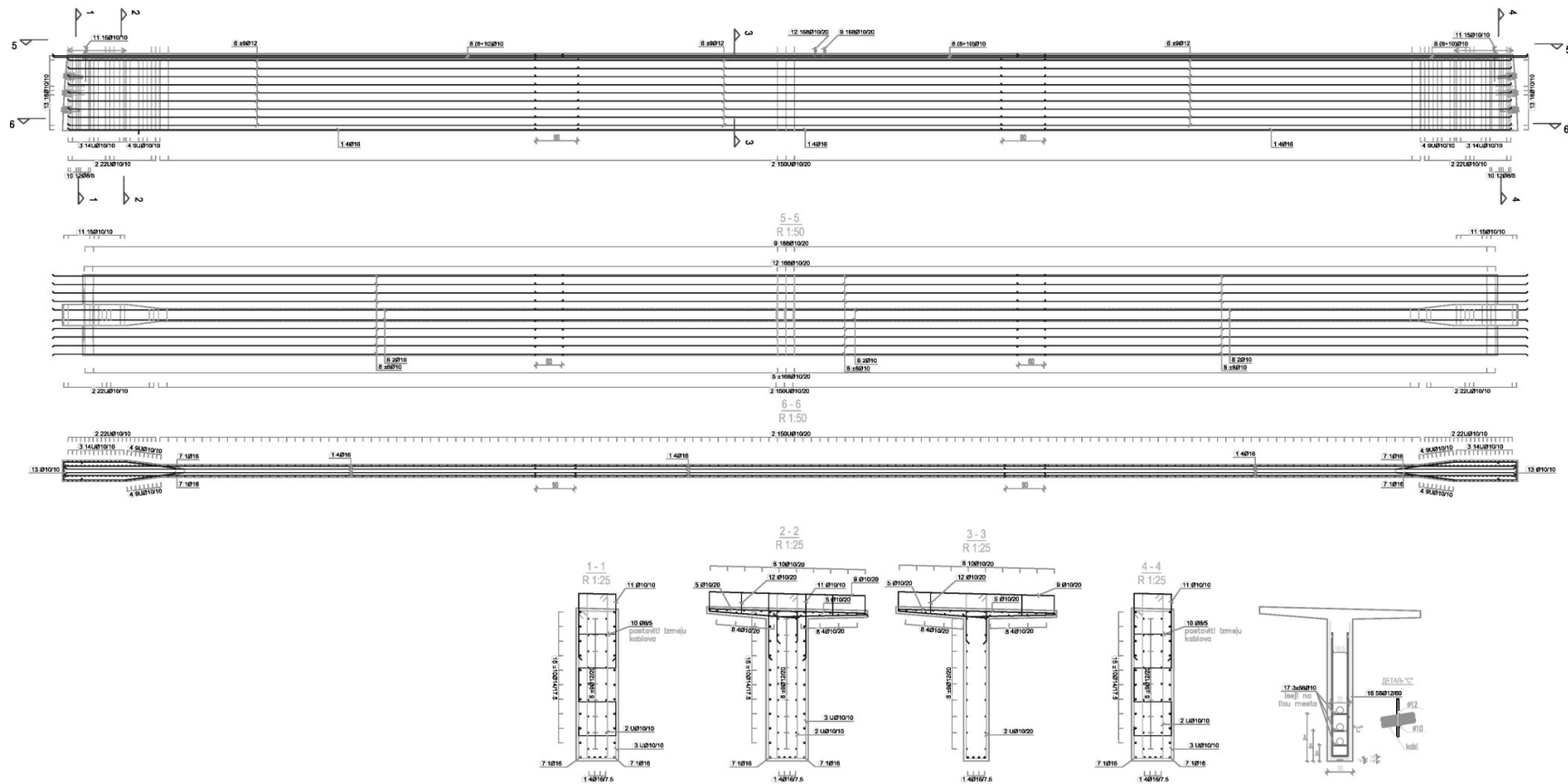
Преднапрезање главних носача



Вођење каблова префабрикованих носача



Арматура префабрикованих носача - пример



Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2024.

План каблова префабрикованих носача

