



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)**

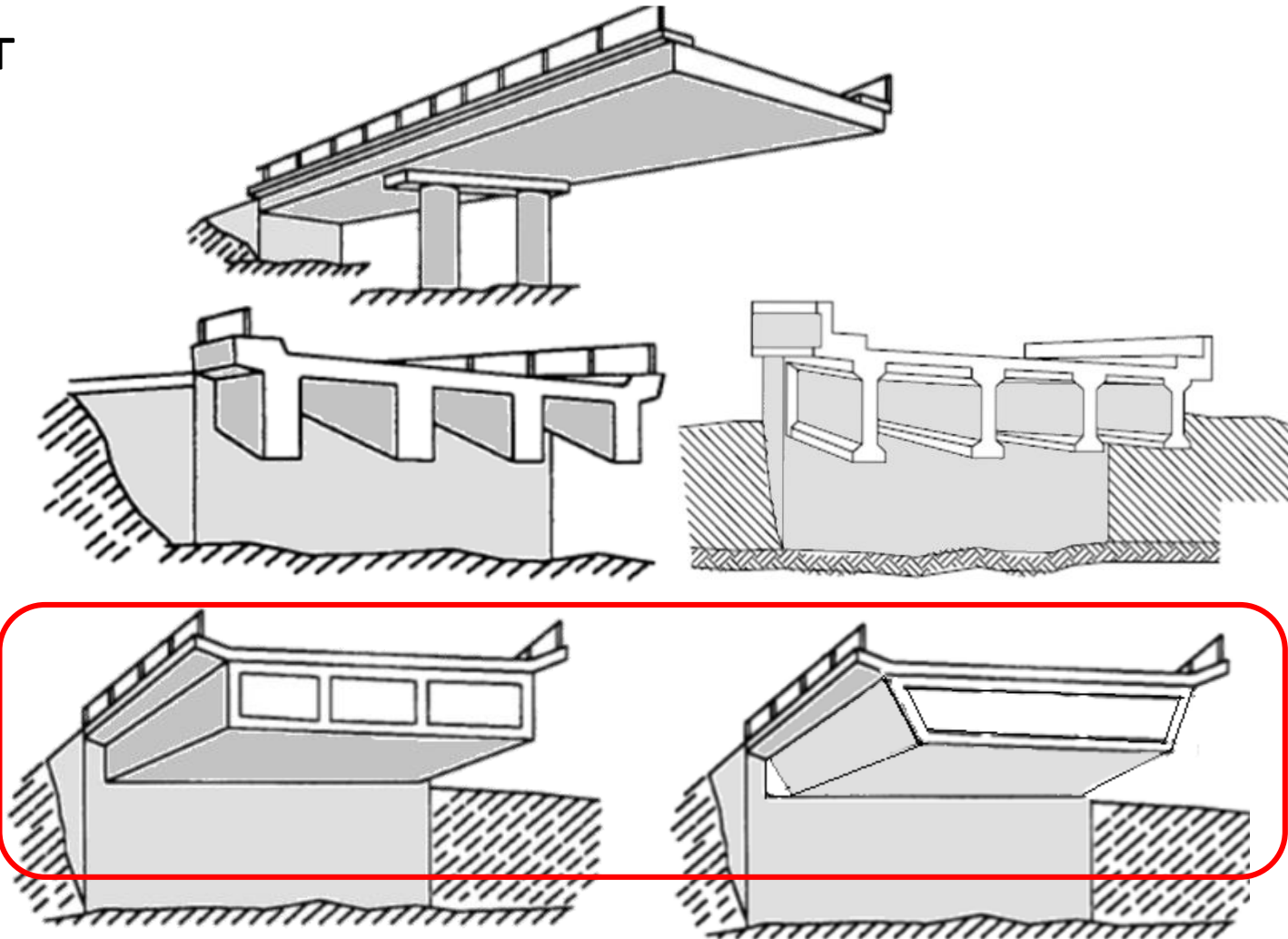
Наставник : **В. Проф. Др Снежана Машовић**

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

Датум : **05.11.2024.**

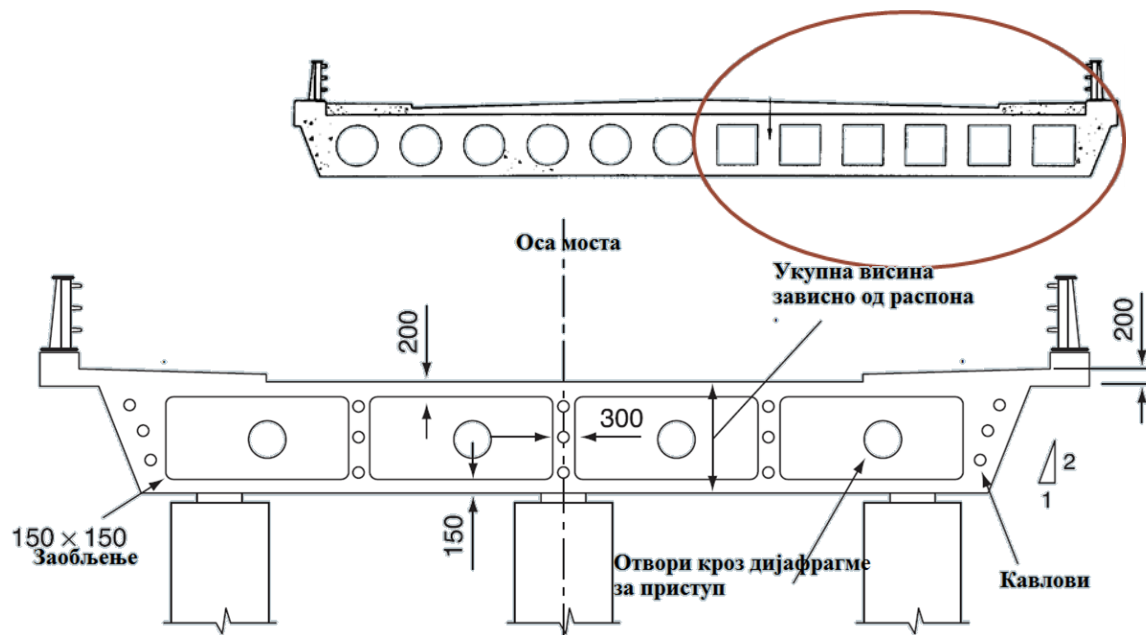
Типови попречног пресека коловоне конструкције

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

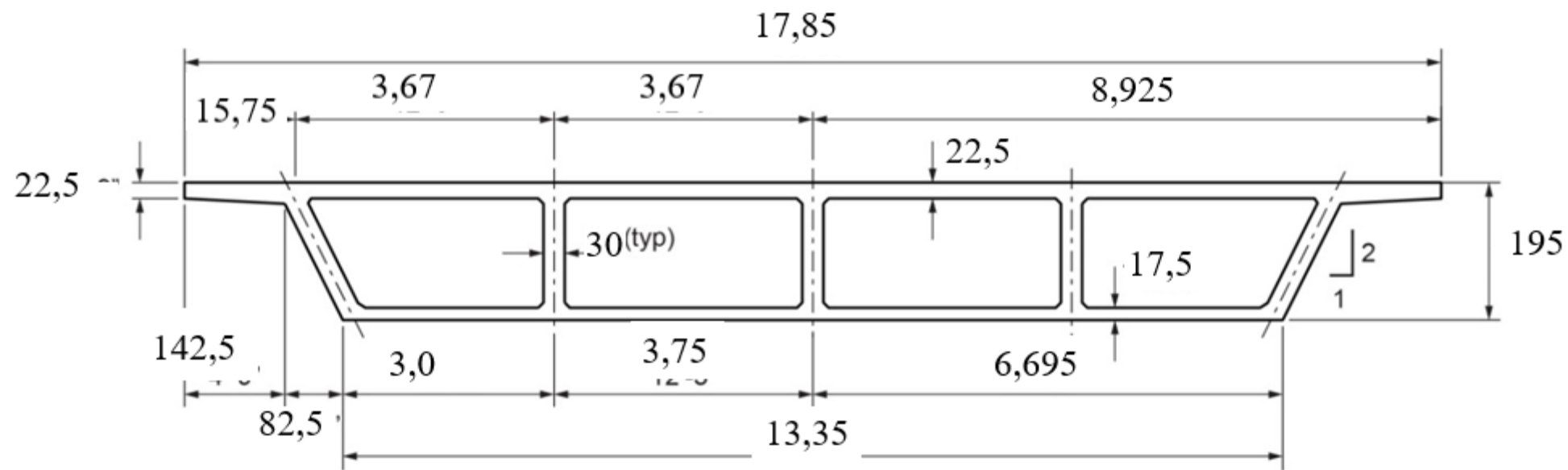


Саћасти пресеци

- Саћасти пресеци бетонирају на лицу места се обично користе за средње распоне (30m - 50 m).
- Подесћају на олакшане плочасте пресеке.
- Извођачки захтеви по питању оплате и бетонирања захтевају минималну висину 1.2m.
- Минимална висина ради прегледа конструкције 1.8m.
- Оптималан однос распона и висине је између 18:1 and 25:1, уз распоне обично веће од 30 m.
- Могу да се примене при комплексној геометрији моста, са промењивом ширином коловоза и оштрим кривинама.



Типичан попречни пресек

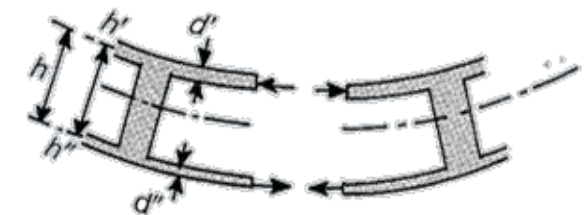
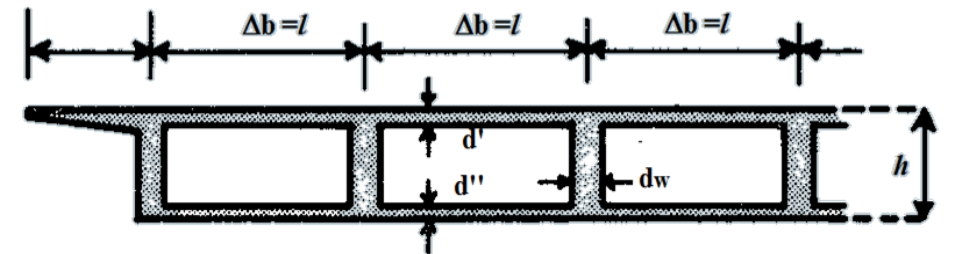
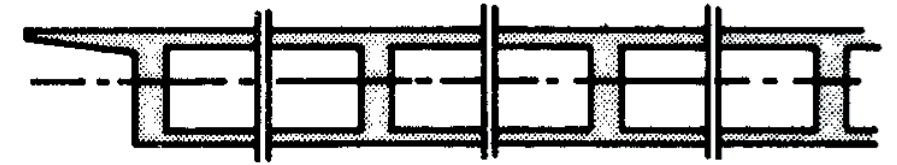


Изглед

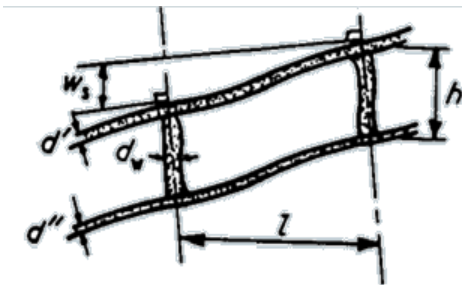


Модел роштиља

- Крутост на савијање подужних греда као код ребрастих пресека
- Крутост на савијање попречних греда (по јединичној ширини):
- Торзиона крутост у оба правца приближно 2 пута већа од крутости на савијање
- Површина смицања
 - Подужних елемената је површина ребара
 - Попречних елемената:

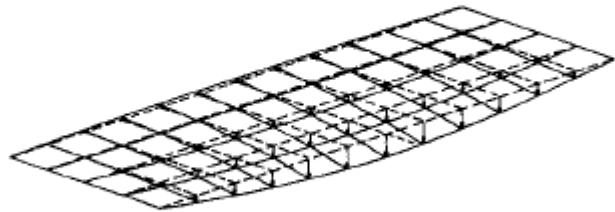
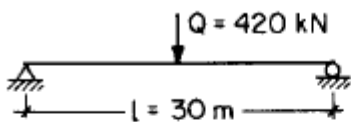
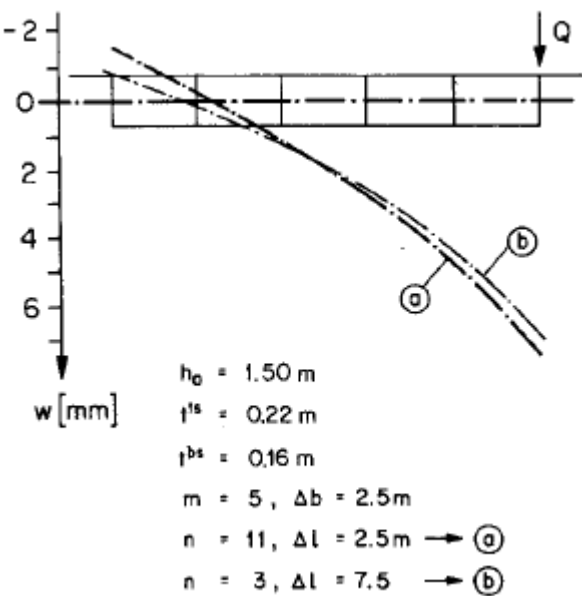
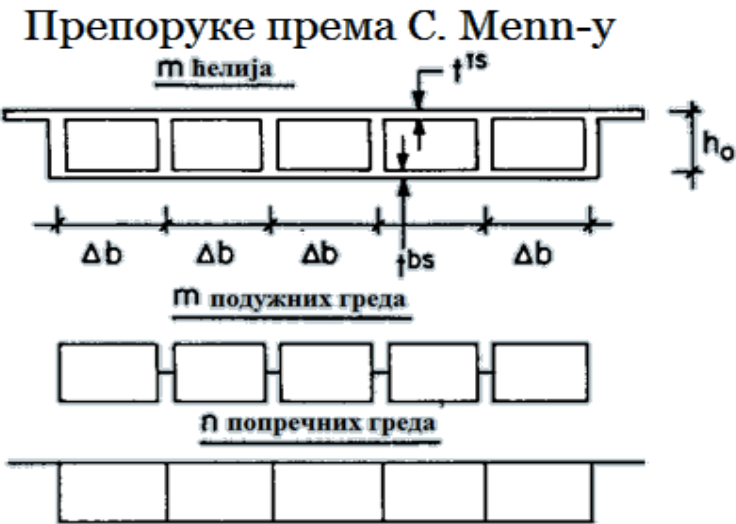


$$i = (h'^2 d' + h''^2 d'') = \frac{h^2 d' d''}{(d' + d'')}$$

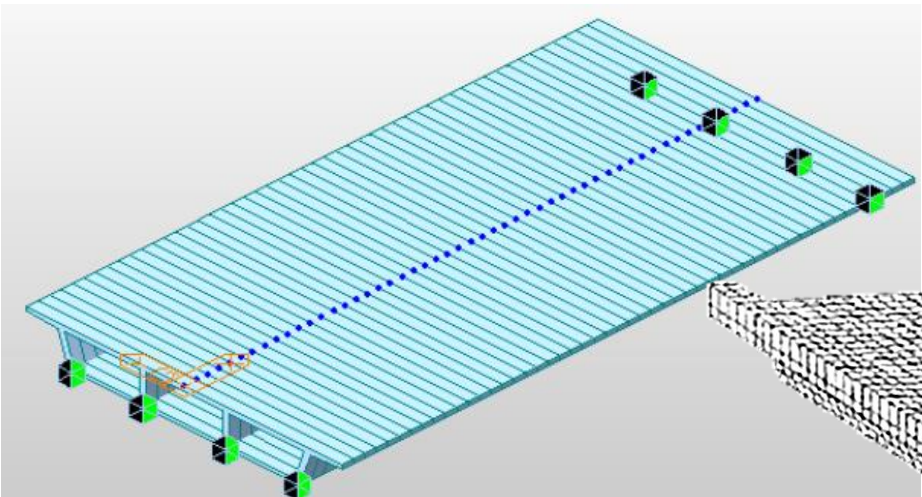


$$a_s = \frac{(d'^3 + d''^3)}{l^2} \left[\frac{d_w^3 l}{d_w^3 l + (d'^3 + d''^3) h} \right] \frac{E}{G}$$

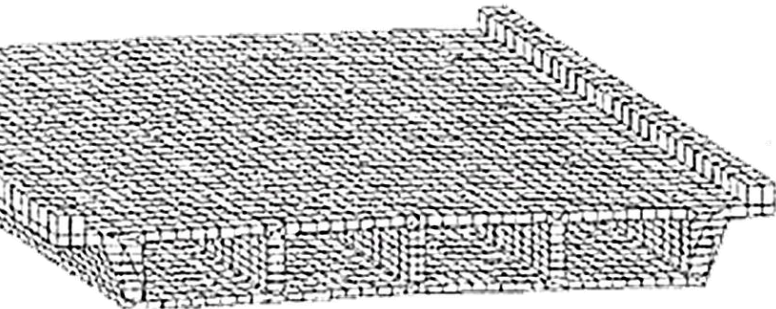
Модели који се користе у анализи



Карактеристика	Подужна греда	Попречна греда ($\Delta l = \frac{l}{n+1}$)
Савијање	$EI \cong \frac{EI_{tot}}{m}$	$M = 1$ $\Delta \varphi = \frac{1}{EI} \Delta b$ $EI = \frac{\Delta b}{\Delta \varphi} \cong E \Delta l h_0^3 \frac{t^{ts} t^{bs}}{t^{ts} + t^{bs}}$
Смицање	$\alpha GA \cong \infty$	$V = 1$ $\gamma \Delta b = \frac{1}{\alpha GA} \Delta b$ $\alpha GA = \frac{1}{\gamma} \cong E \frac{\Delta l}{\Delta b^2} [(t^{ts})^3 + (t^{bs})^3]$
Торзија	$GK \cong \frac{GK_{tot}}{m}$	$GK \cong 0$



3D – FEM модел са “shell” елементима



Употреба префабрикованих подужних шупљих тела

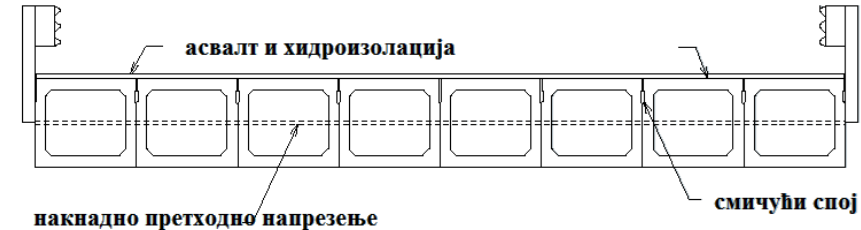
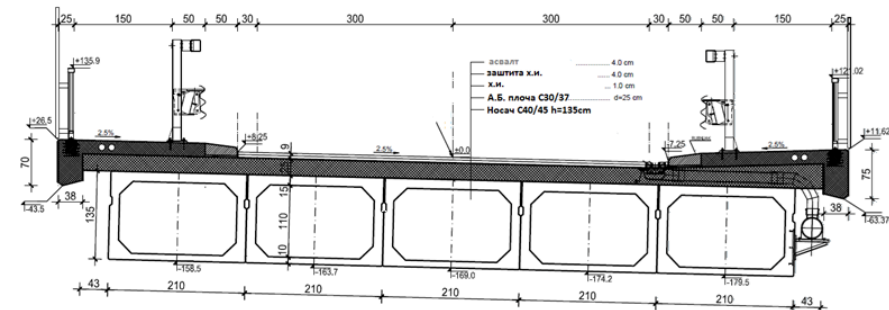
210/75 L_{max} = 20 m



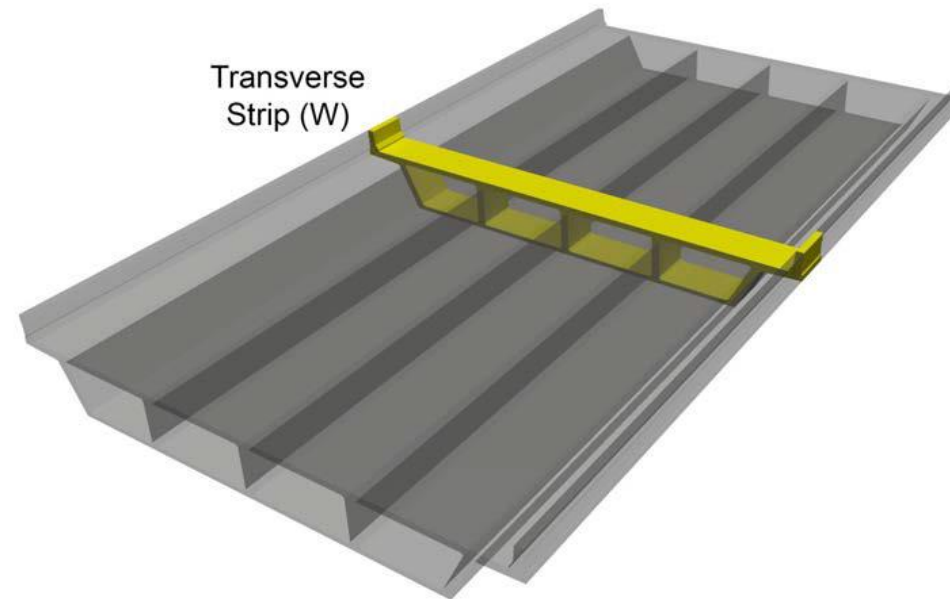
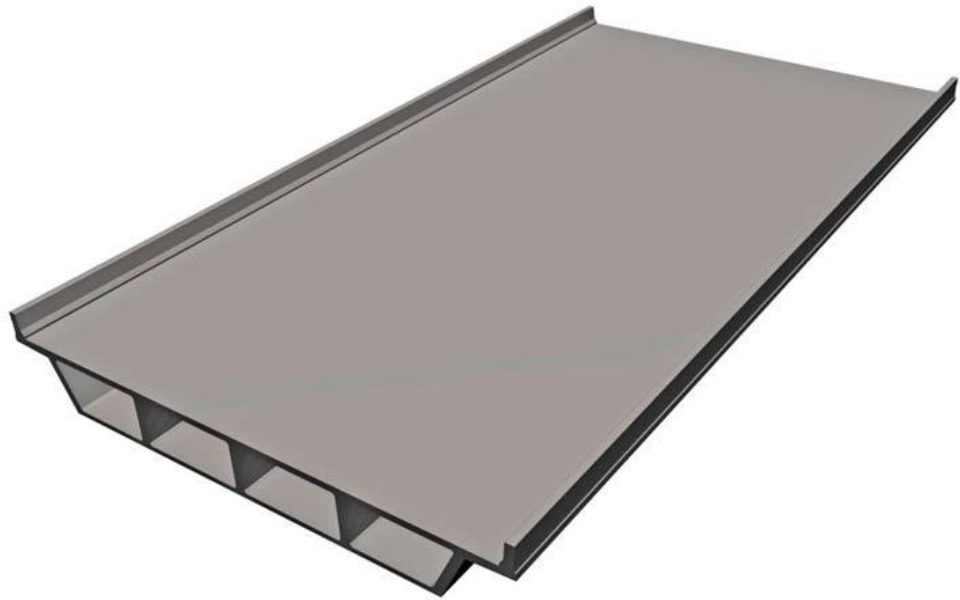
210/115 L_{max} = 27 m



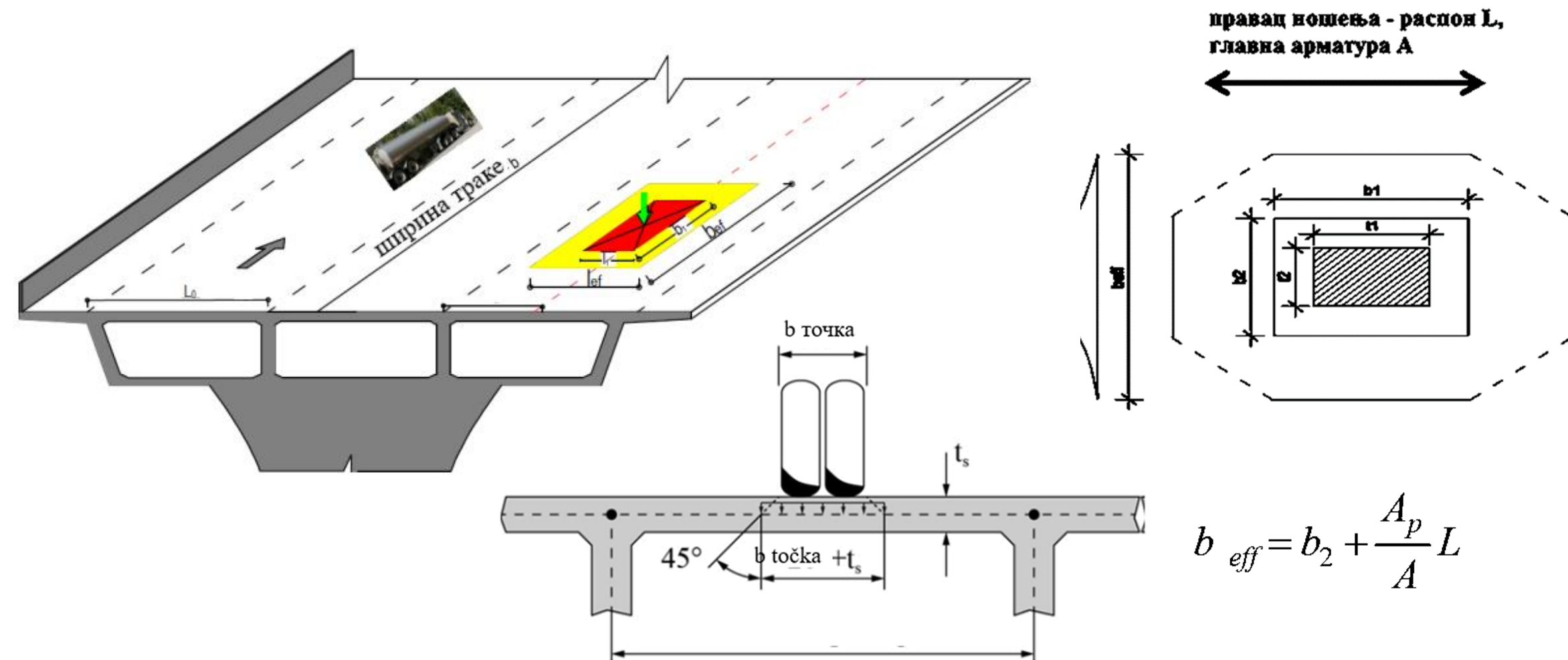
210/135 L_{max} = 32 m

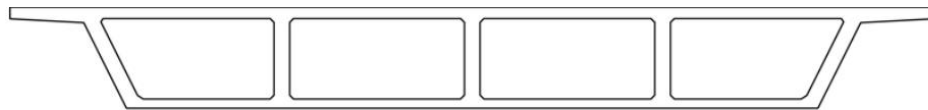
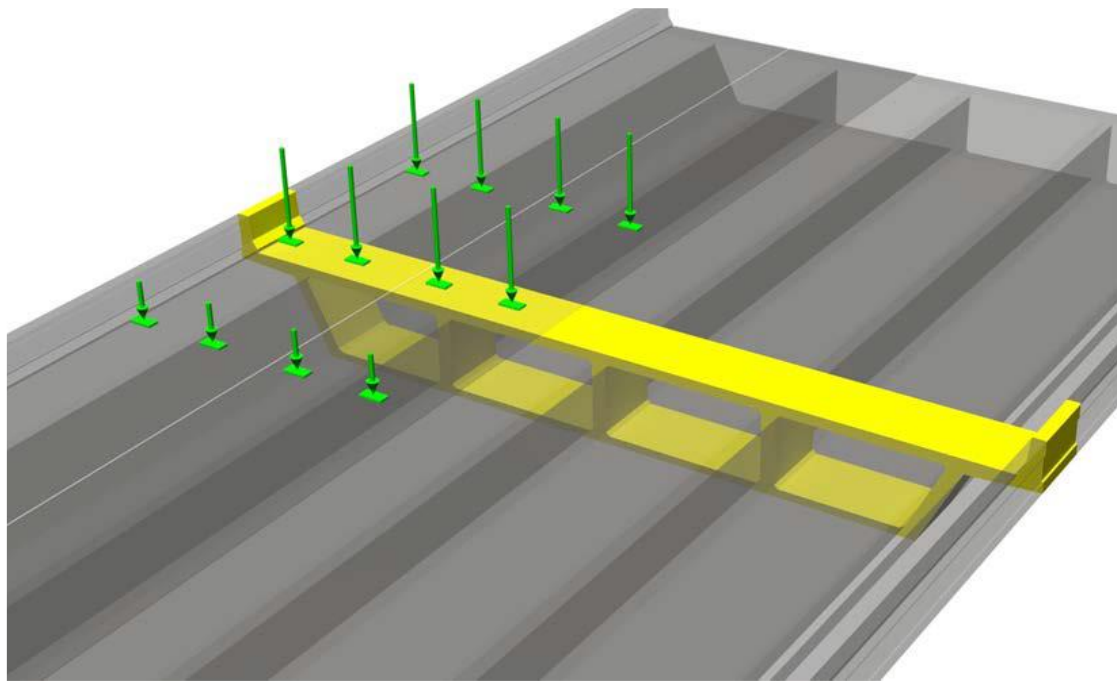


Постоји више начина да се моделирају саћасти пресеци. Поред модела роштиља, веома распрострањен је метод трака које су управне на ребра. Пресечне силе се одређују на тој ширини (обично јединичној) а затим деле са усвојеном ширином. Напреднији модел је употреба тродимензионих коачних елемената, али за практичне сврхе, у складу са инжењерским приступом, ипак остаје метода попречних рамова, која даје добре резултате (наместо великог броја података који су резултат тродимензионих анализа).

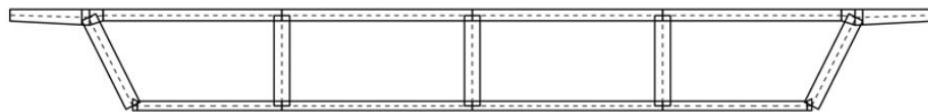


Распоред оптерећења од точкова

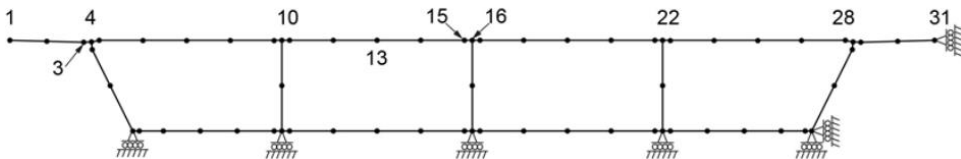




Typical Cross Section



Idealized Members



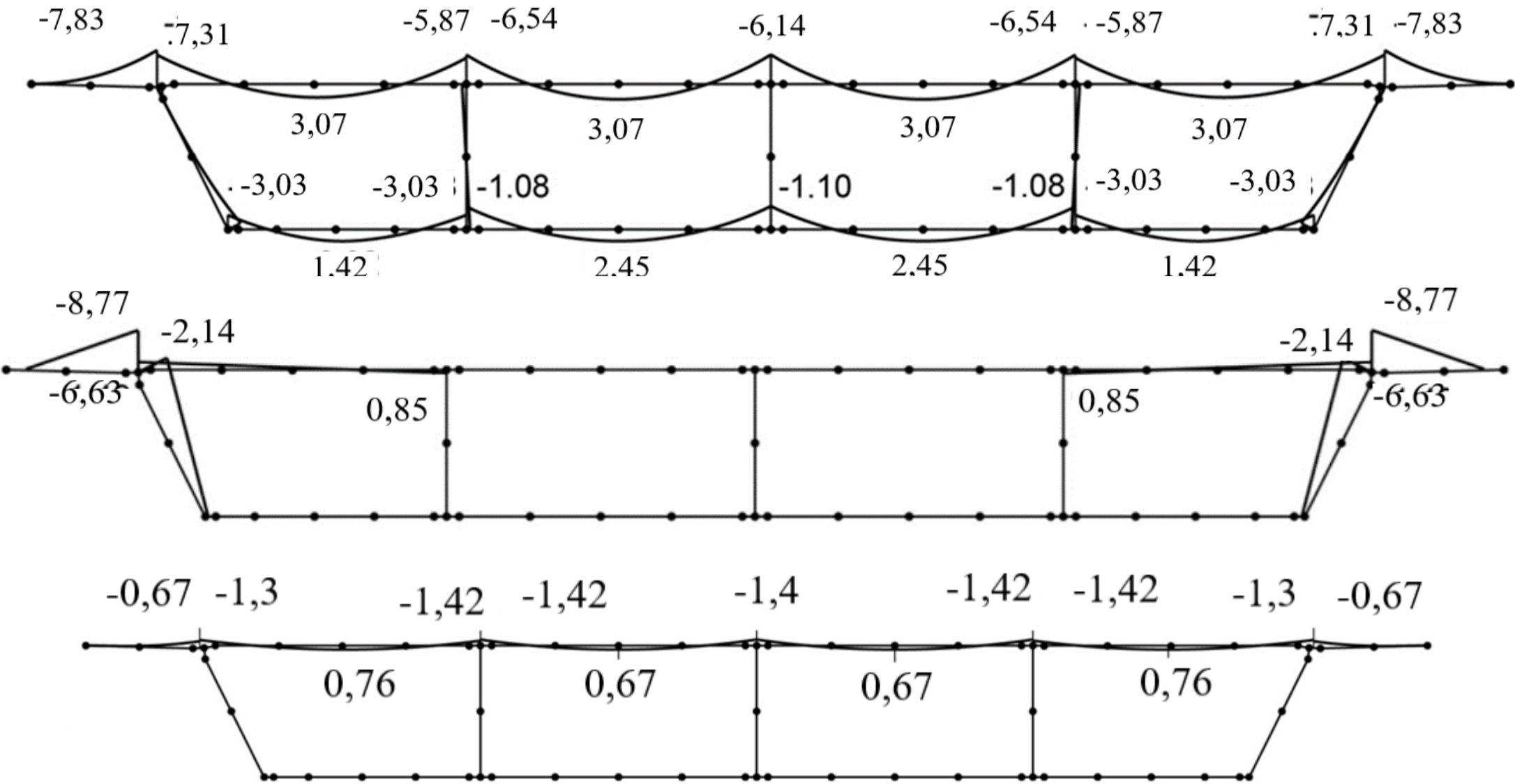
Computer Model

2D решење коришћењем издвојених трака , са горњом и доњом плочом и ребара као гредних елемената јединичне ширине са својим одговарајућом дебелином. За шириу оваквог попречног рама обично бирамо као 1.0 m 2Д или 3Д програма за анализу оквира опште намене. Вертикални ослонци модела попречног пресека су крути на дну ребара . Хоризонтални ослонац је постављен круто да спречи попречно кретање доње плоче, док је други хоризонтални ослонац спречава бочно померање оквира, што боље представља торзиону крутост саћастиг носача у погледу попречних померања

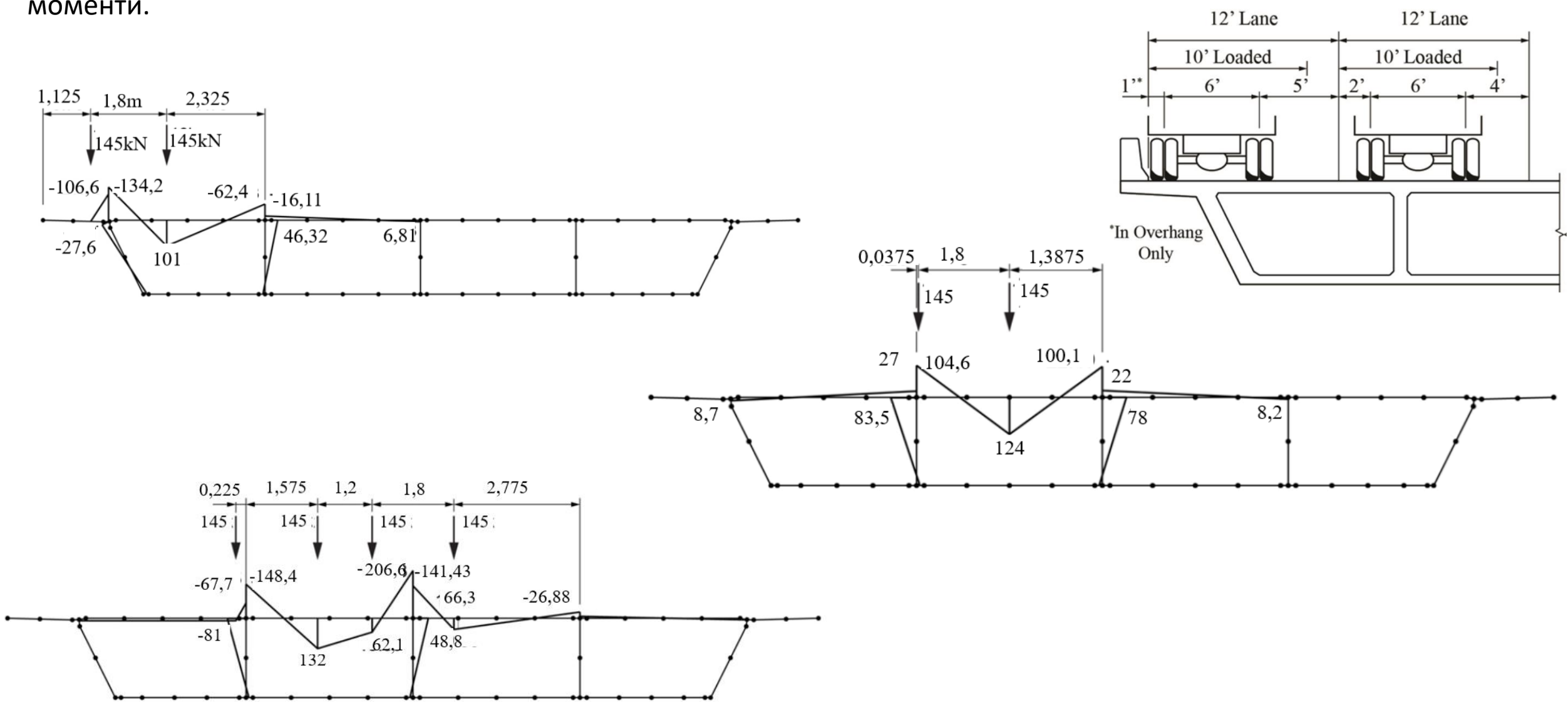
Тродимензионална анализа ће обично захтевати додатне услове ослањања ван равни модела да би се обезбедила потребна стабилност.

Саћасти пресеци са 3 или више ћелија и са растојањем међу ребрима мањим од 5,0m се могу анализирати помоћу модела попречних рамова са попречним моментима услед оптерећења од точкова.

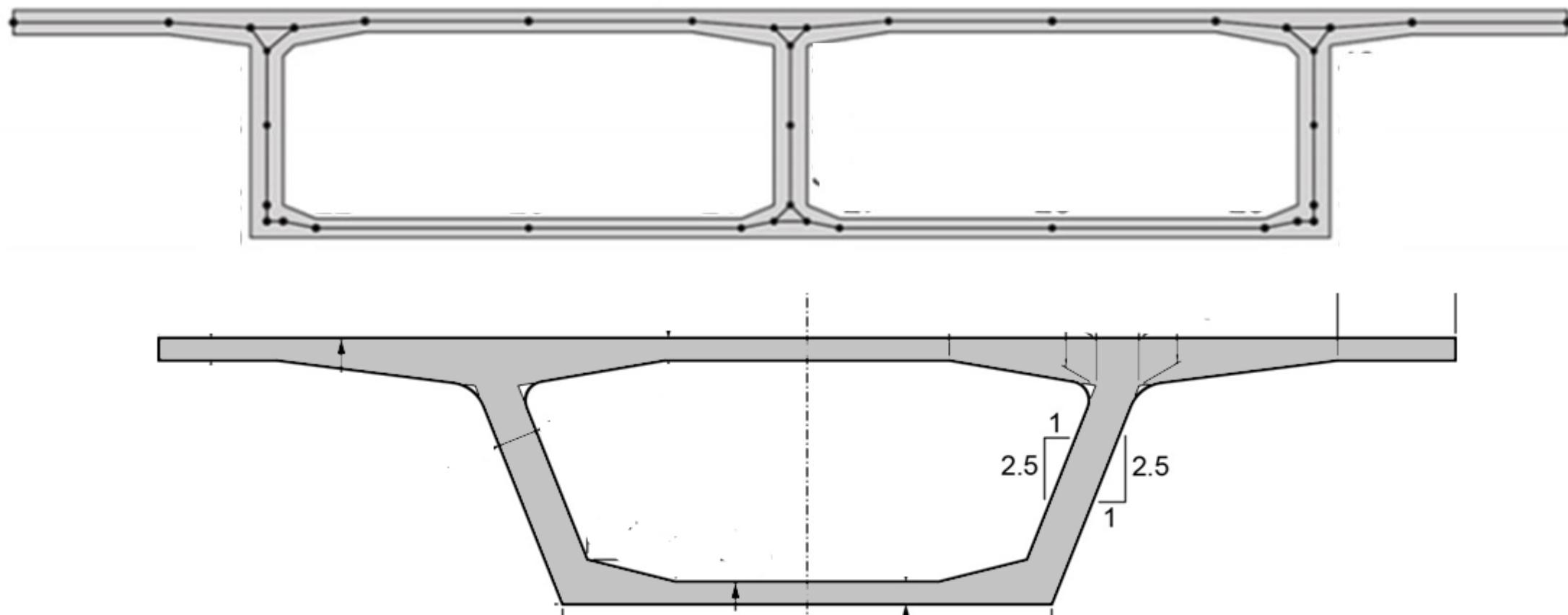
Оптерећења која се равномерно јављају дуж распона, сопствена тежина и стални терет(ограде, хабајуће површине и висући уређаји), делују директно на аналитички модел без обзира на подужну дистрибуцију. Тежине ограде баријере од 0,4 kN/m, примењене на тежиште попречног пресека ограде. Моменте савијања од хабајуће површине од 25 kN/m³ . Мали моменти савијања у ребрима и доњој плочи нису приказани на ради прегледности.



Моменти покретног оптерећења се одређују постављањем тачкова да се добију максимални попречни моменти.

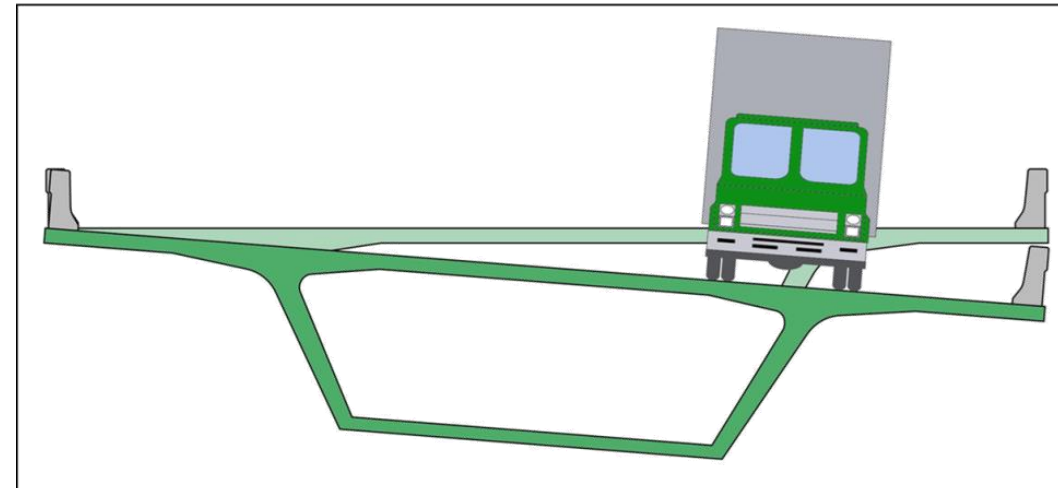
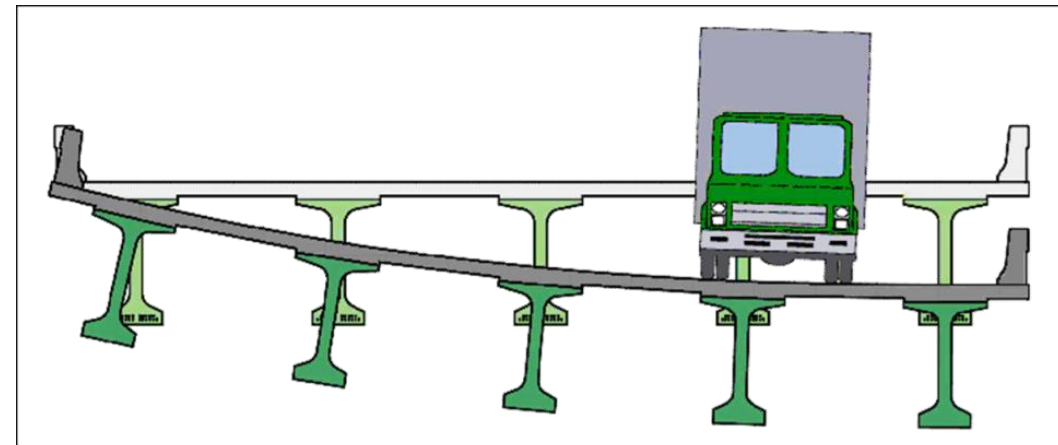
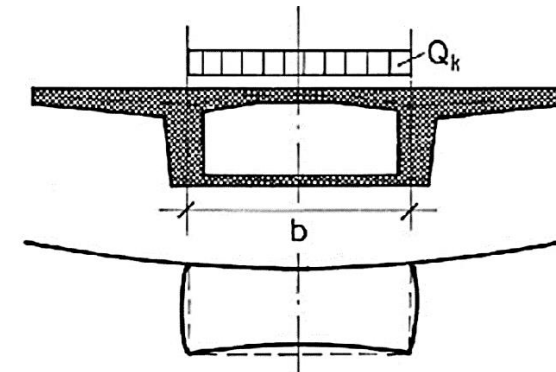
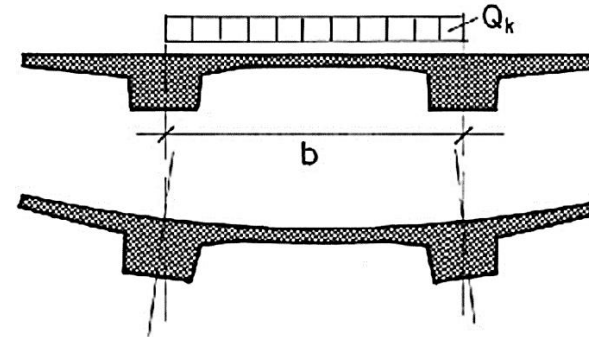


Једноћелијски или двоћелијски сандуци као и саћасти пресеци код којих је размак ребара већи од 5. 0 m изискују комплексније моделирање како би се подужни распоред напона од концентрисаног оптерећења од точкова узео у обзир при одређивању попречних момената од ексцентричног оптерећења. Моменти се затим комбинују са моментима од, углавном симетричног, сталног оптерећења.

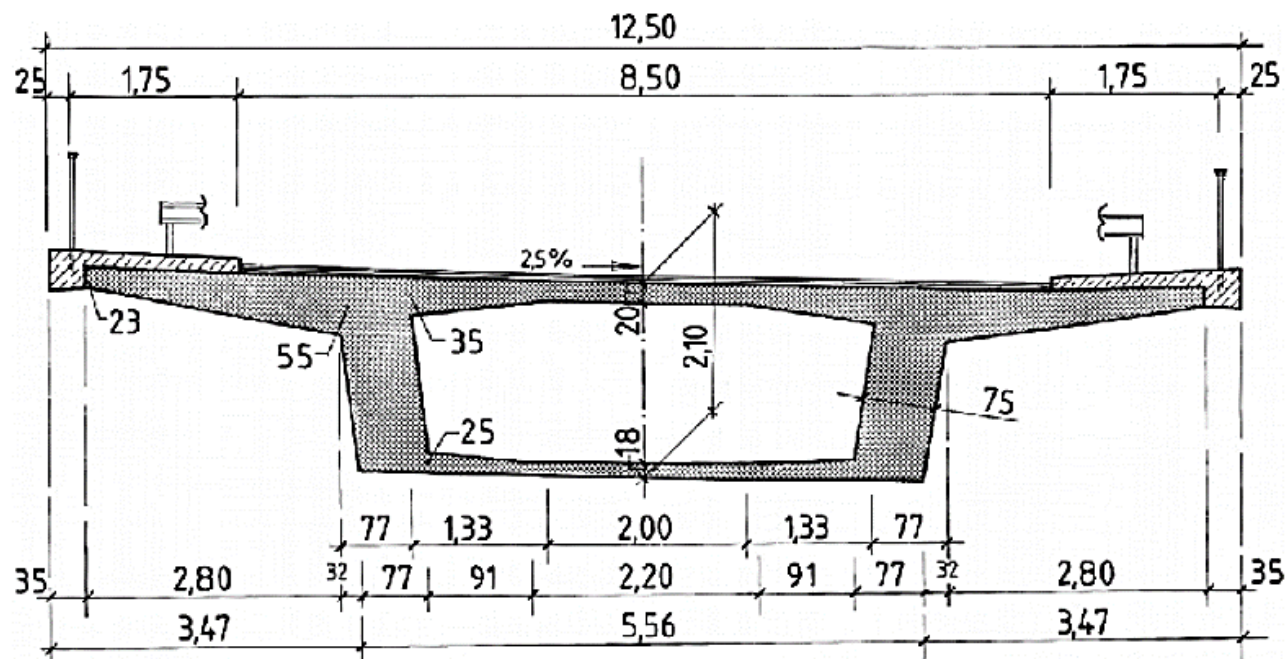


Сандучасти пресеци

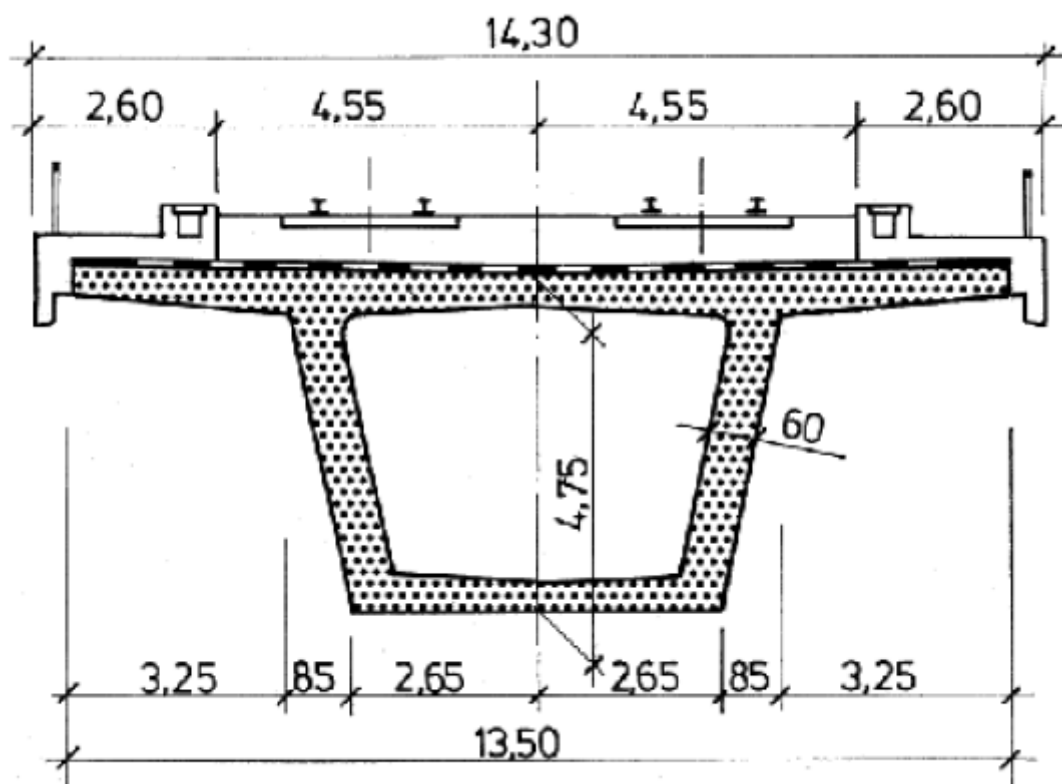
- До распона од 50 m може се усвојити попречни пресек константне висине са односом распон/висина око 20:1.
- Између 50m и 70 m, висина сандука може бити било константа било промењива.
- Уобичајено је да се за распоне изнад 70 m, обично се усваја промењива висина са око 16:1 код стубова која опада на 45:1 у срединама распона.



Савремени сандучасти пресеци пореклом су од ребрастим пресека којима се у ослоначким регионима додаје доња плоча која се пружала до нултих линија момената тако да се ребрасти пресек задржава на само око $\frac{1}{2}$ распона. Тако је настао поречни пресек који исказује другачије понашање од ребрастих пресека



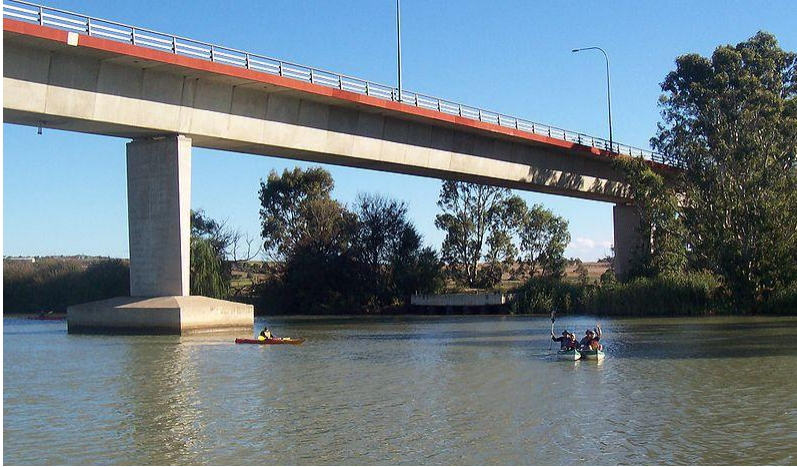
Попречни пресек је торзионо крута ћелија, која омогућава да се ексцентрично оптерећење распореди скоро равномерно на главне греде - ребра. Зато је пресек првобитно коришћен су се јављала велики торзиони напрезани. То су превасходно мостови у кривини, а касније се користе ефикасно у урбаним срединама у форми високих улица. Често се јвљају широке конзоле, које такође уводе велику торзију.



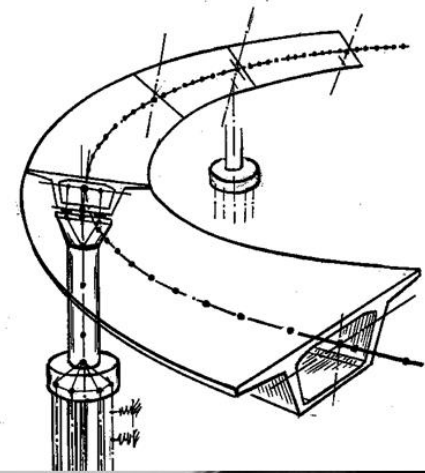
За железничке мостове, једноћелијски сандук је најповољнији облик попречног пресека чак и за двоколосечне мостове, а нарочито за возове великих брзина јер је систем веома крут па има мале деформације које су од значаја за ове типове сбраћаја.

За железничке мостове, једноћелијски сандук за двоколосечне мостове на пругама великих брзина има распоне од око 40-60m. Однос распона и висине износи око $L/10 - L/12$ што је значајно мање него код друмских мостова

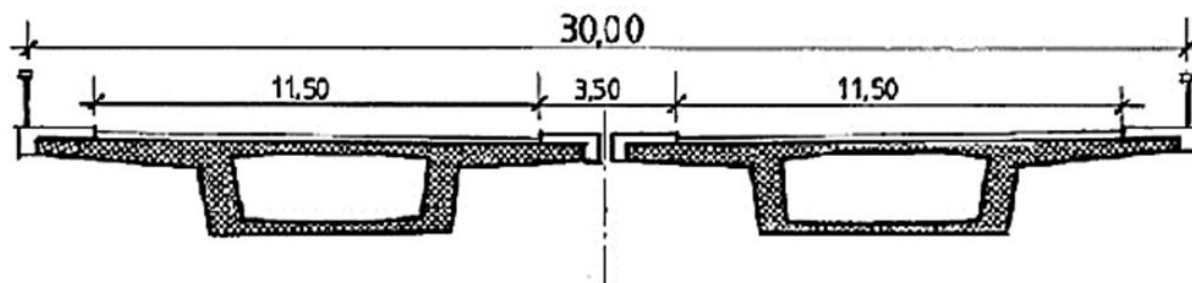
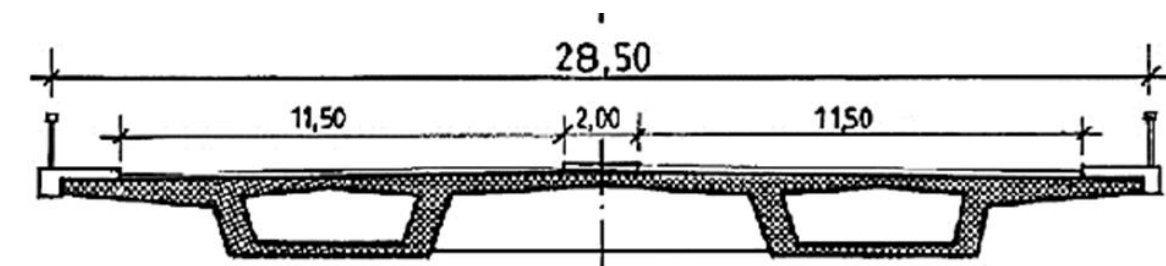
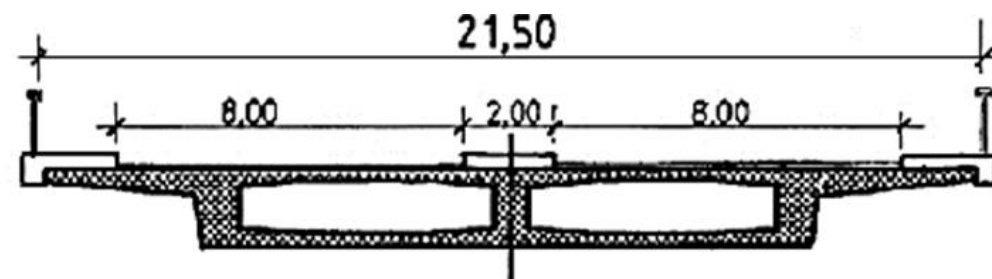
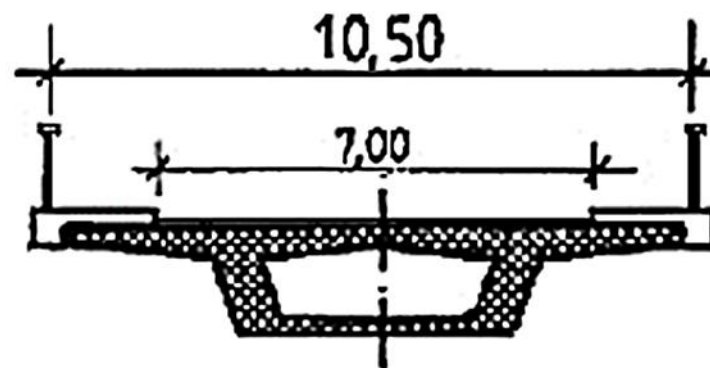
Естетика



Промене њиве висине и мостови у кривини

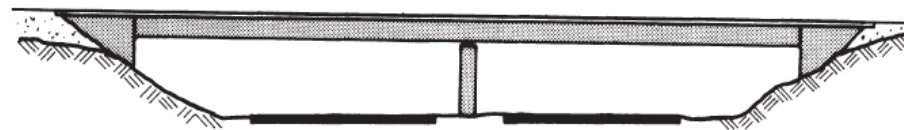


Једноћелијски сандуци су међутим неадекватни код већих ширина, као што је углавном случај код друмског саобраћаја, до ширине од око 12m . Код већих ширина може се додати још једно ребро (двоћелијски сандук) или усвојити неки од приказанох пресека. За ширине веће од 18 m, препоручљиво је усвојити и средње ребро или усвојити неку од приказаних опција.



Обликовање у подужном правцу

- $L < 70(80) \text{ m}$, $h = \text{конст.}$, $L/h = 20 - 25$
- $L > 50 \text{ m}$ недовољно h над средњим стубовима
→ подебљање доње плоче у дужини од $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} L$



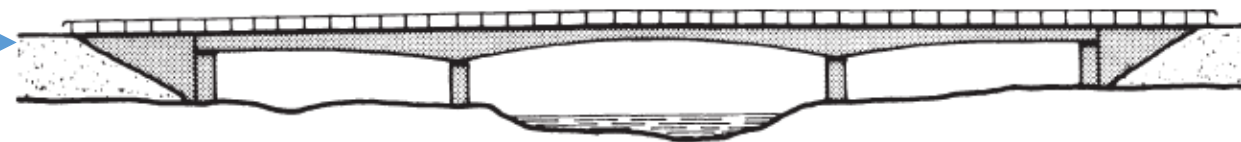
- При линеарној промени висине:

- Средњи стуб: $L/h = 16-20$ (обично 18)
- Поље: $L/h = 22-28$ (обично 24)



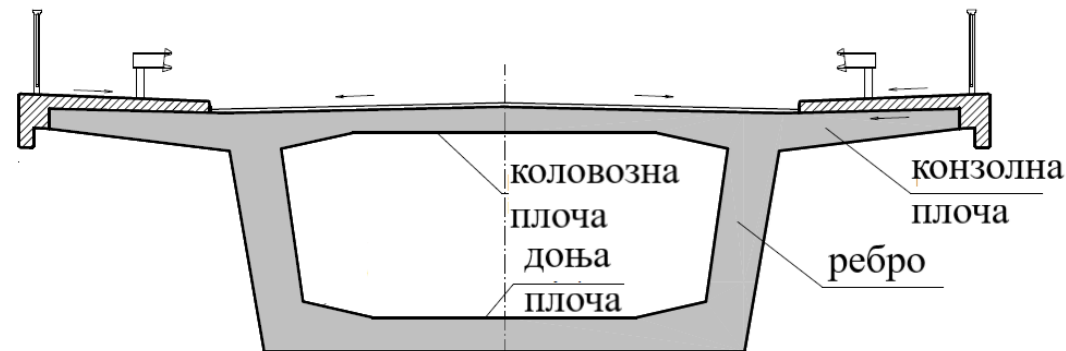
- При параболичној промени висине:

- Средњи стуб: $L/h = 18-22$ (обично 20)
- Поље: $L/h = 30-60$ (обично 45)



Карактеристике и предности

- Изводе се од претходно напрегнутог бетона
- Погодни за континуалне греде или рамове јер и горња и доња плоча учествују у пријему сила притисака (код ослонца односно у пољу).
- Распони до 300 m, ипак најчешће 50 – 80 m због једноставнијег извођења.
- Могућности у смислу обликовања (вертикална или коса ребра).
- Укупна висина сандука зависи од распона, али значајније зависи од начина извођење него код плочастих и ребрастих пресека
- Већ у фази концептуалног пројектовања поред избора статичког система треба размотрити и потенцијалне начине начине извођења



Повећана трајност (мања површина изложена околини)

Побољшана попречна прерасподела – већа виткост и већи распони

Прикладни за мостове промењиве ширине променом дужине конзолне плоче која је укљештена у читав сандучасти пресек

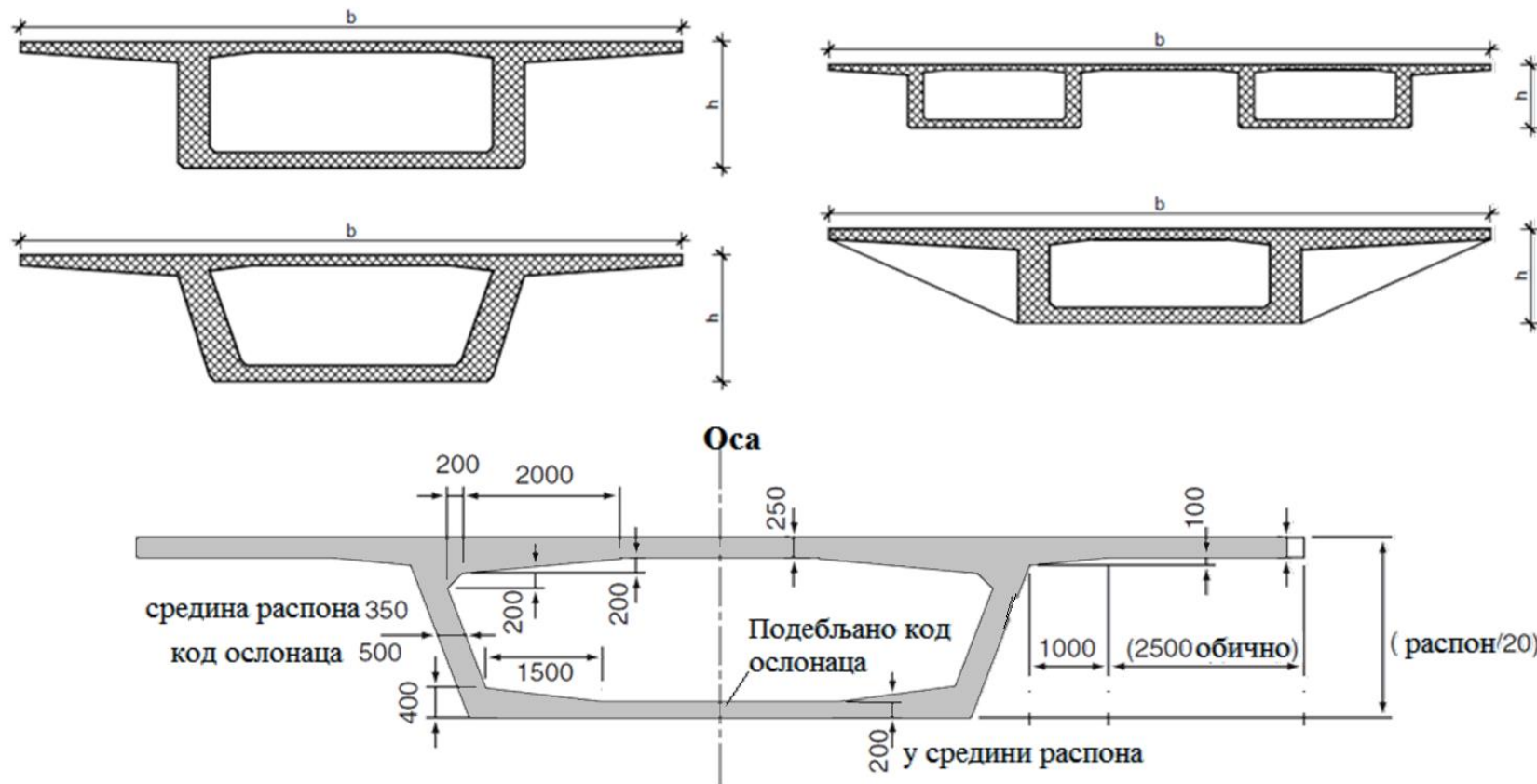
Тежиште попречног пресека ближе средини висине
Велика торзиона крутост значајна за:

- велике конзолне препусте
- добру попречну прерасподелу
- индиректно ослањања на средњим стубовима (ужи стубови)
- хоризонталне кривине

Обликовање попречног пресека

Захтев проходности кроз сандук $h = \min 2m$.

Размак оса ребара 0,5 - 0,6 укупне ширине моста, при чистом размаку између ребара већем од око 7m потребно убацити унутрашње ребро (вишећелијски сандук).



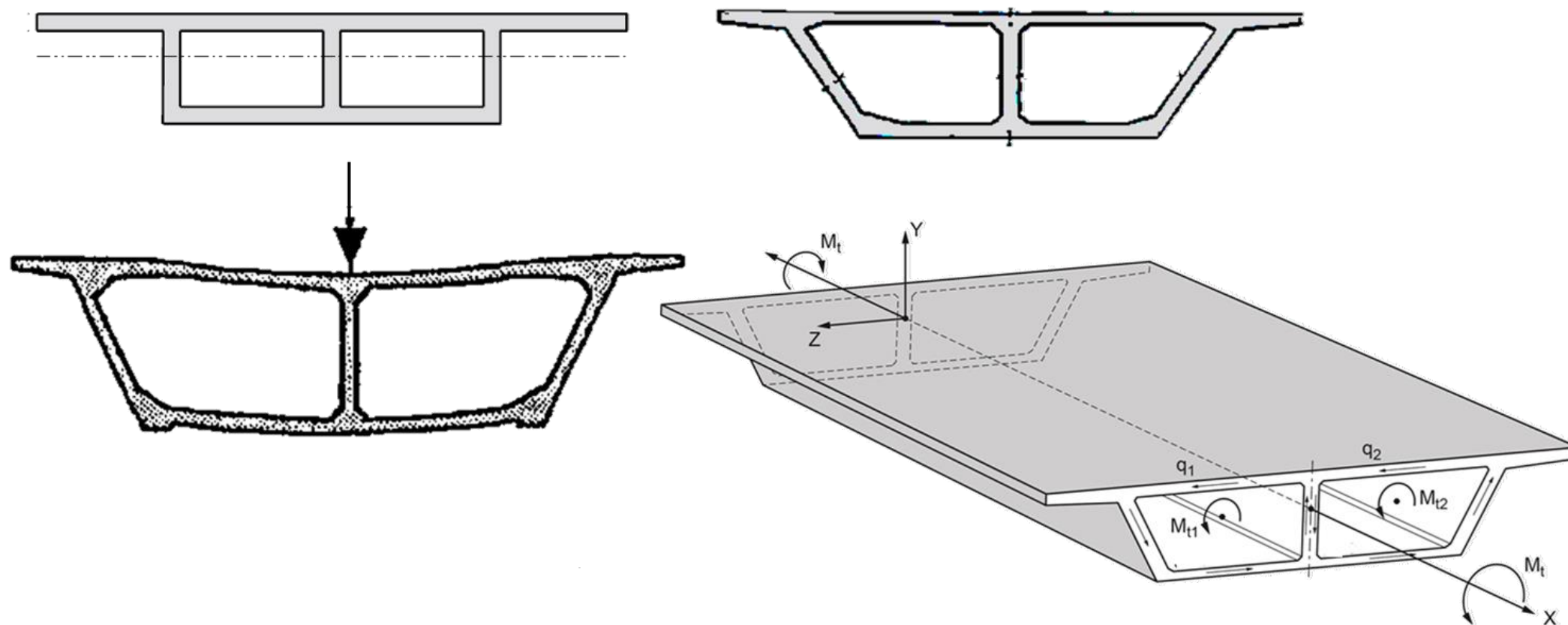
Дебљина ребара:

- $d_1 > H/15$; $d_1 > 30 \text{ cm}$; $d_1 > 20 \text{ cm} + 2\phi$ и $d_1 > 5\phi$ цеви каблова (два реда кабло)
- потреба смештаја анкера каблова.

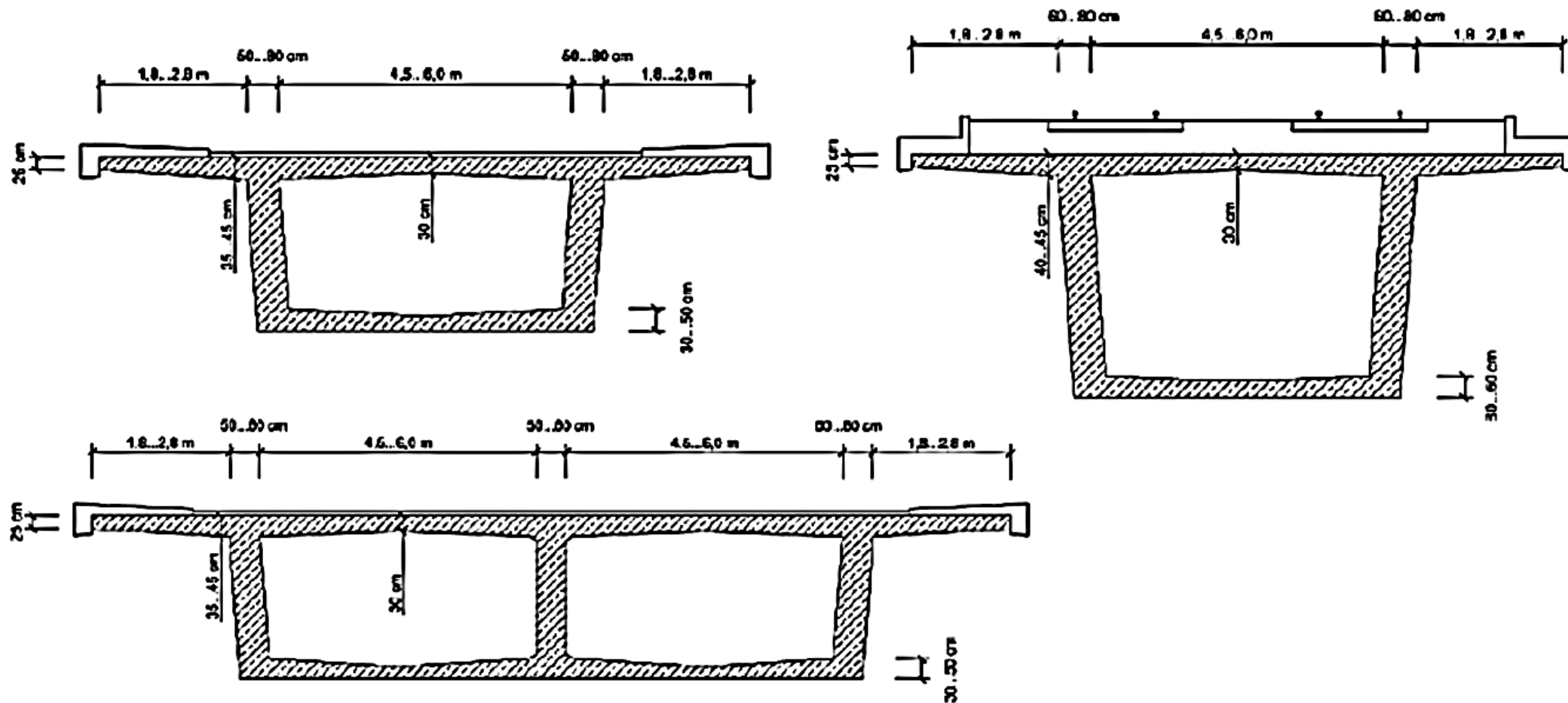
Димензије

- Виткост носача са паралелним појасевима за друмске мостове треба да буде око $L/20$ (у изузетним случајевима могуће је и до $L/25$), при чему се за конструкцију извођену потискивањем препоручује мања виткост до $L/15$. Константна висина конструкције, је користан до распона од прибл. 90 m. Од око 60 m препоручљиво је ојачати доњу плочу у областима ослонца.
- За сандучасте мостове са повећањем висине ка средњим ослонцима, могућа је виткост од $L/35$ до $L/45$ у пољу, при чему висина код ослонаца мора бити око $L/12$ до $L/20$.
- Поред статичких захтева, висину конструкције унутар сандука треба изабрати тако да се оплата може скинути и да се лако приступи ради инспекције, за ову сврху чиста висина од најмање 1,9 m је захтевана.

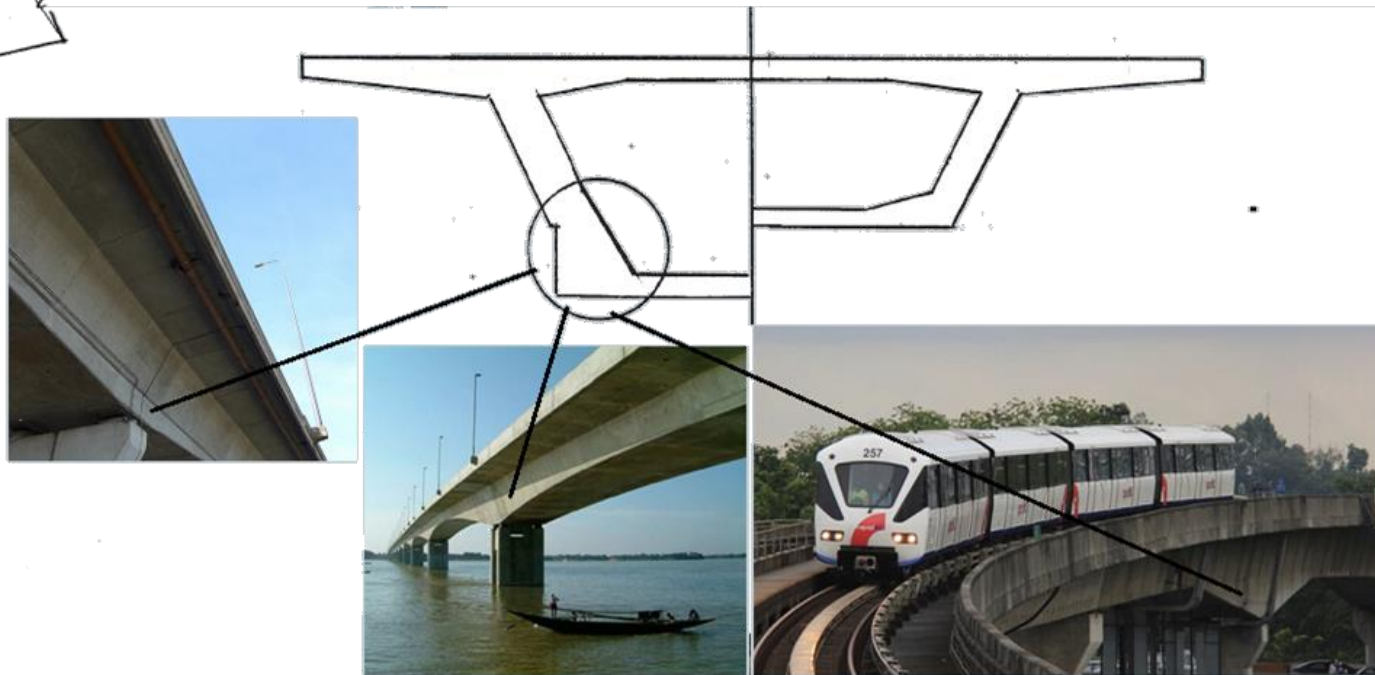
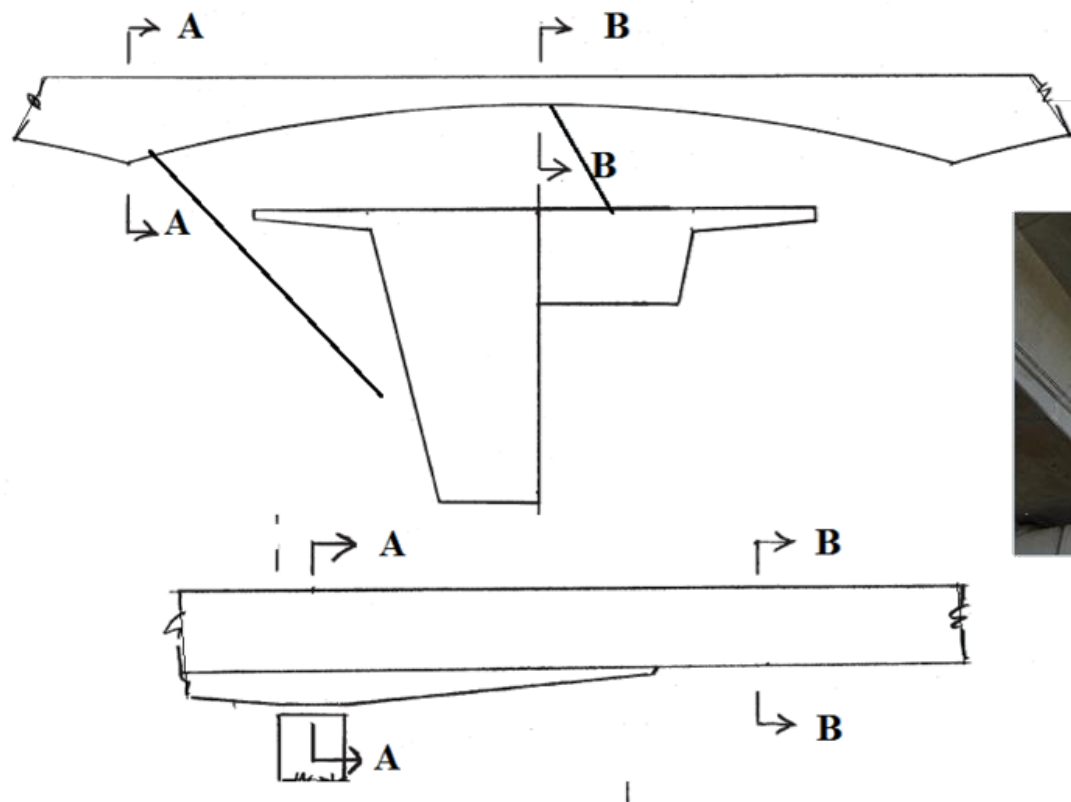
Мостови већих ширина - три ребра



Примери

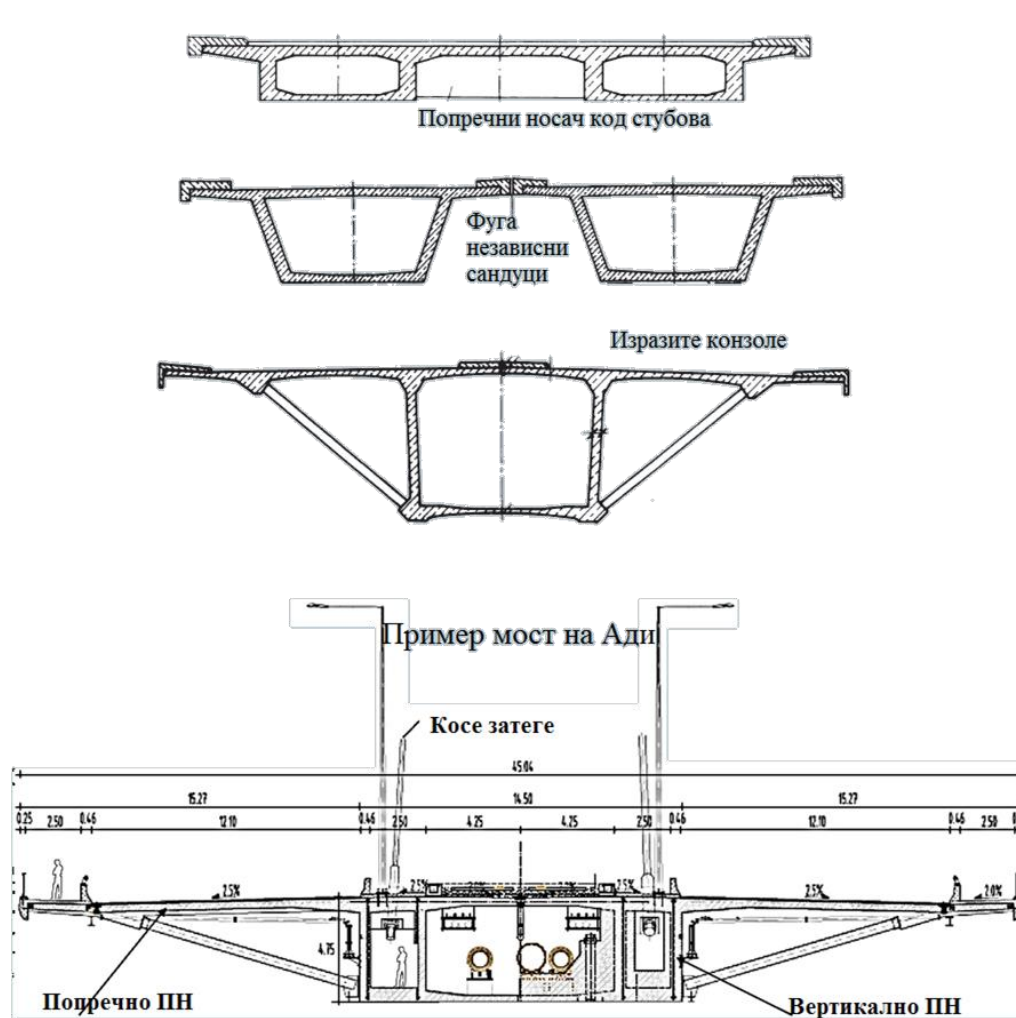


Обликовање закошених ребра

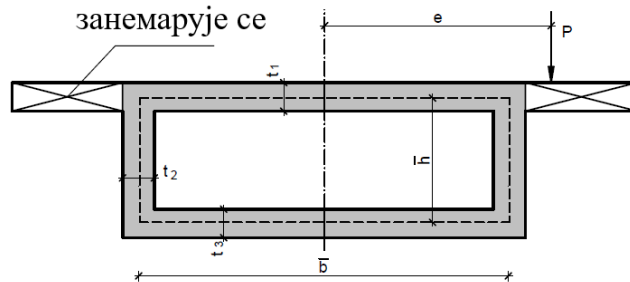
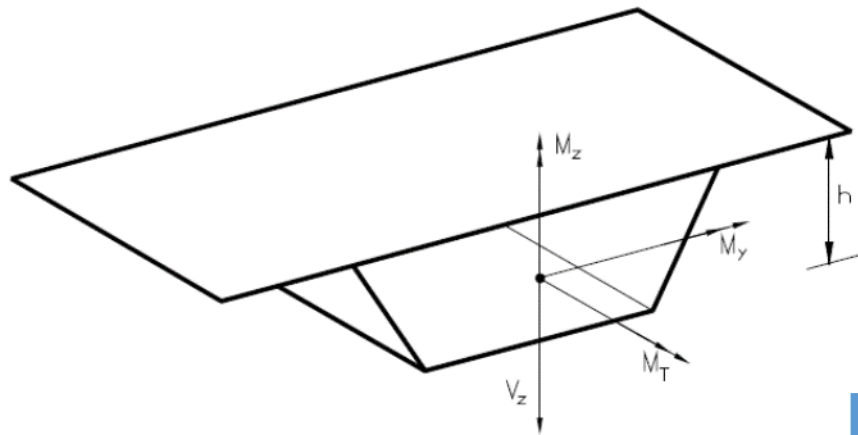


Пример велике ширине моста

Пример – мост на Ади



Прорачунски модели

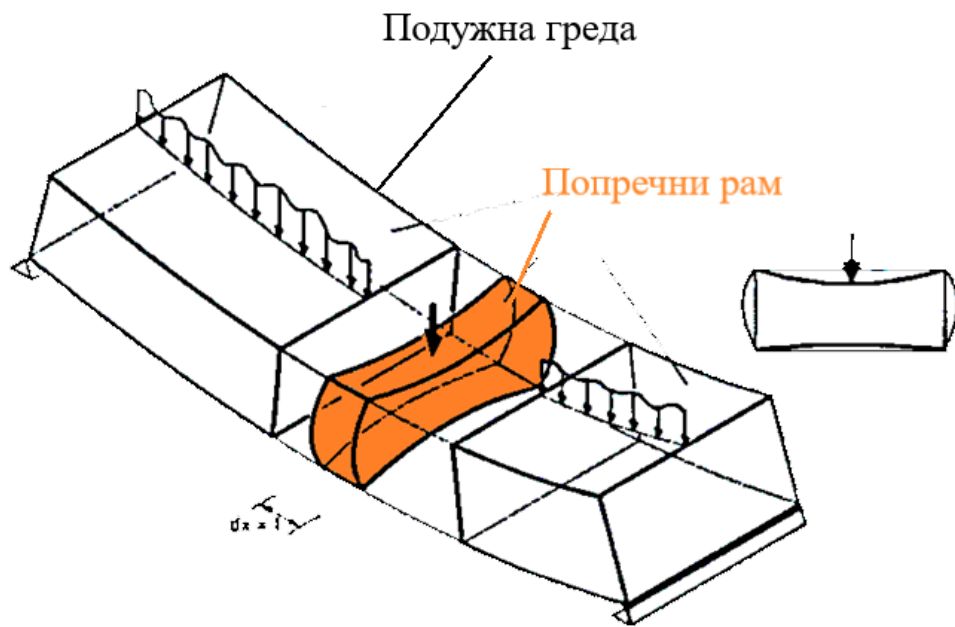


$$I_T = \frac{4 \cdot \bar{A}^2}{\int \frac{ds}{t}} = \frac{4 \cdot (\bar{b} \cdot \bar{h})^2}{\sum_i \frac{s_i}{t_i}} = \frac{4 \cdot (\bar{b} \cdot \bar{h})^2}{\frac{\bar{b}}{t_1} + 2 \cdot \frac{\bar{h}}{t_2} + \frac{\bar{b}}{t_3}}$$

- Гредни модел за глобални прорачун у подужном правцу.
- Али** при $b/h > 6$ гредни модел са једним подужним штапом не даје реалне резултате (понашање полиедарске љуске) → роштиљ, решетка или FEM са 'shell' елементима.
- Торзиона крутост сандука (гредни модел), важи под предпоставком да попречни пресек сандука од дејством торзије не мења свој облик (кривљење пресека – дисторзија).
 - Предпоставка је остварена кад је сандук код ослонаца укрућен дијафрагмом или попречним рамом

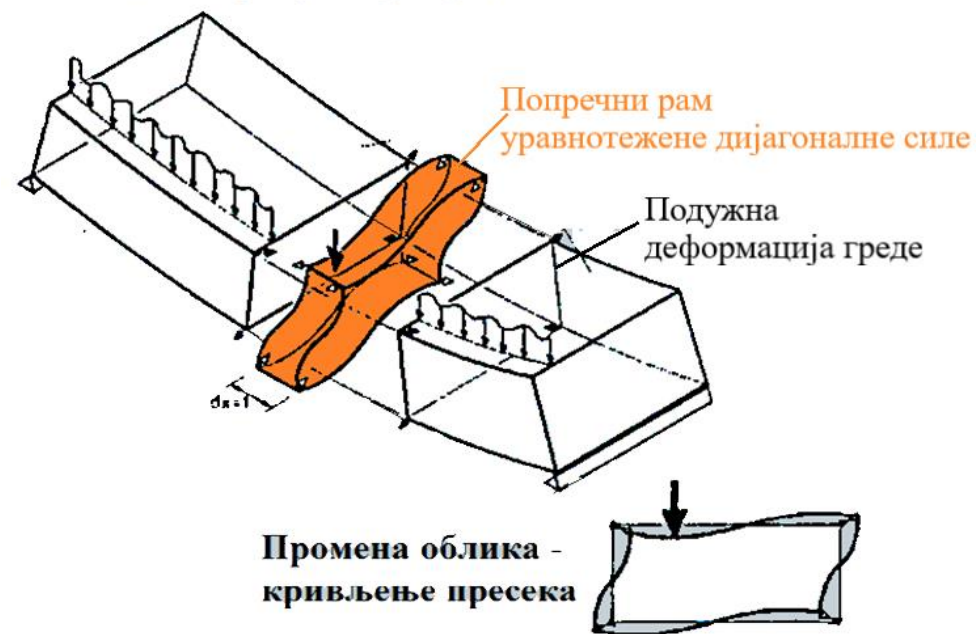
Деформације сандука под оптерећењем

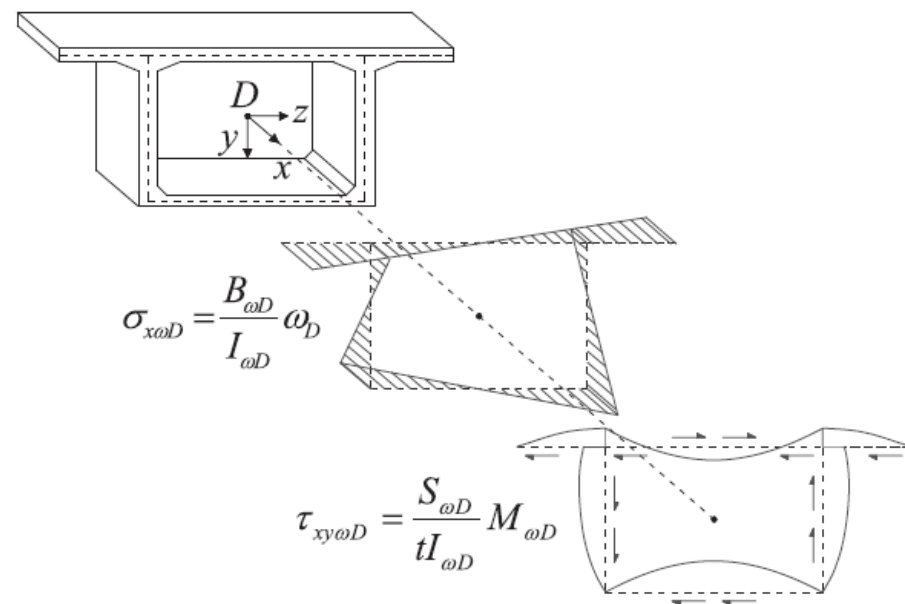
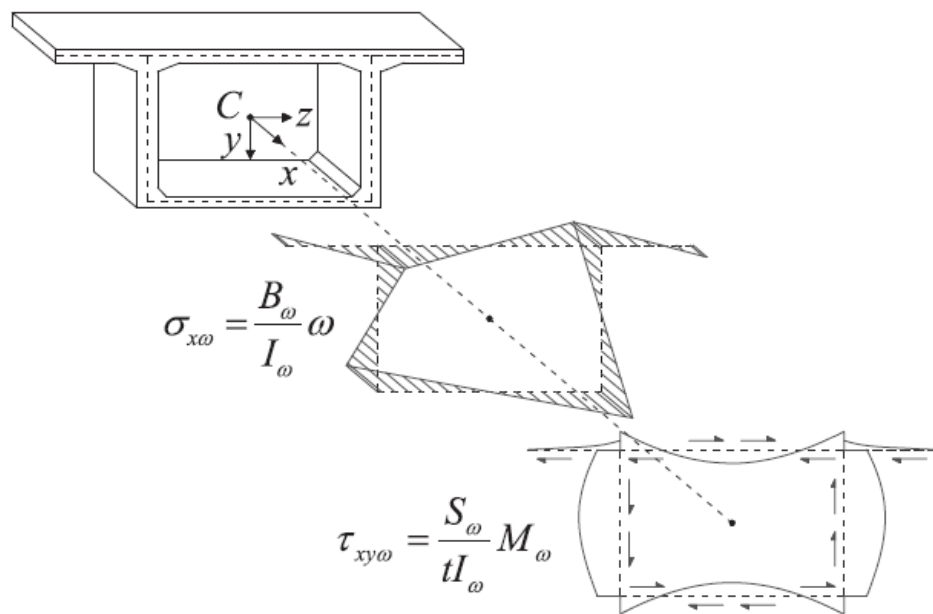
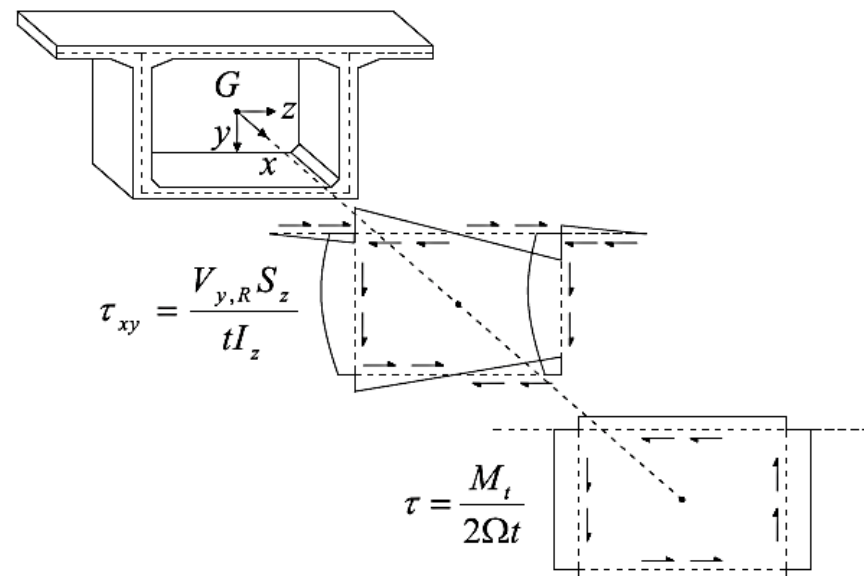
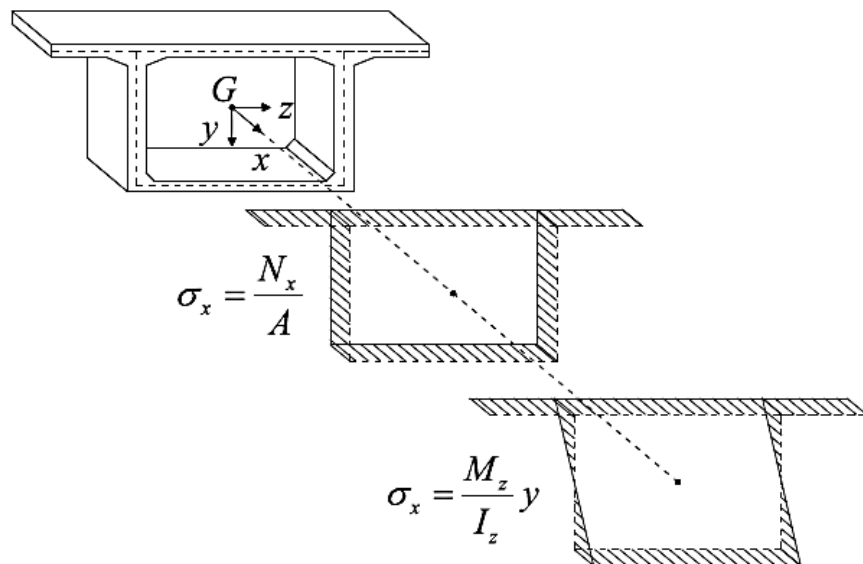
Симетрично оптерећење



Несиметрично оптерећење

Ексцентрично оптерећење - ротација услед Сент Венанове торзије није приказана



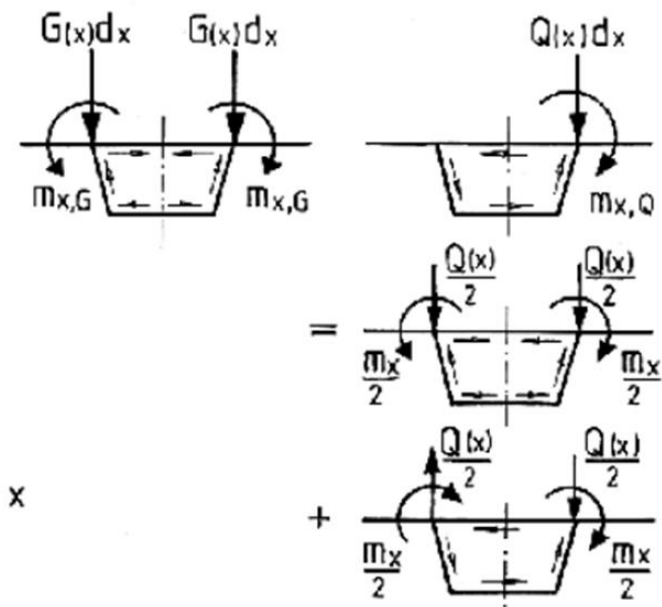
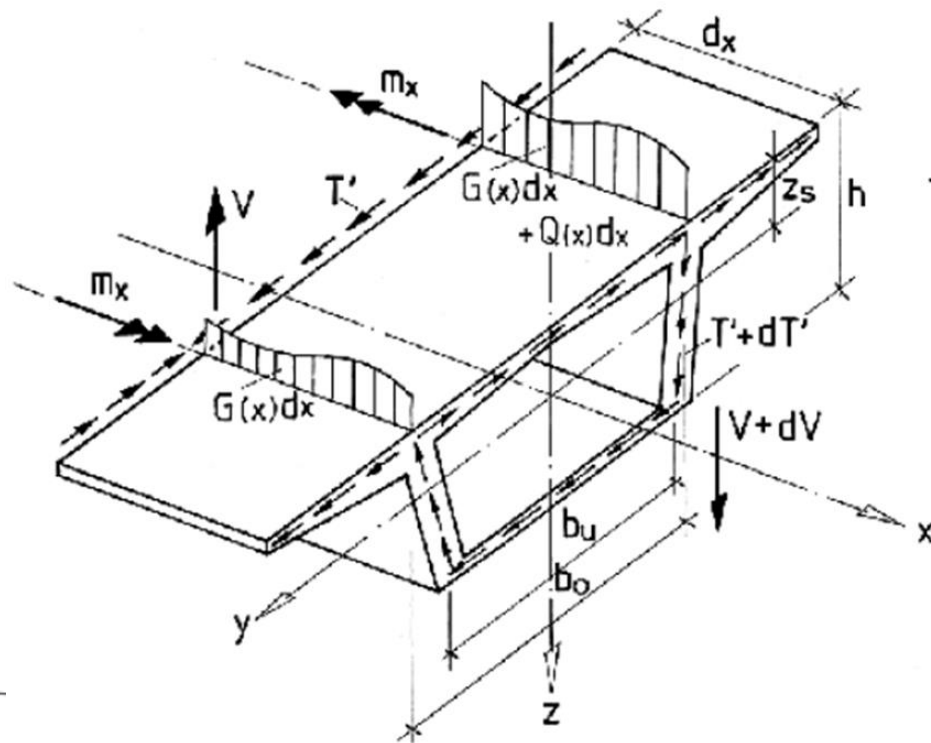
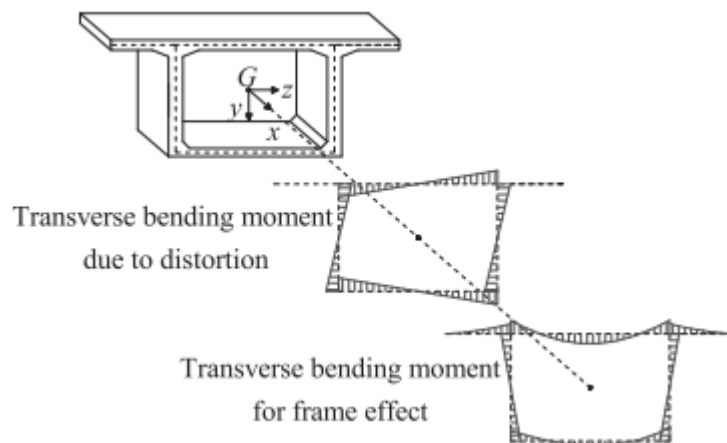


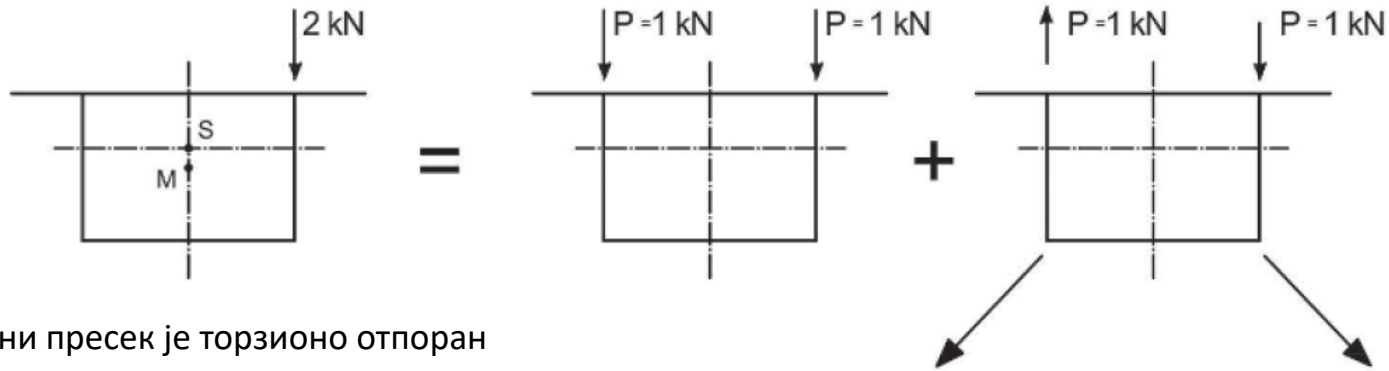
Ефекти антисиметричног оптерећења

Само код великих висина сандука h или ширине сандука b присутне су израженије деформације попречног рама – кривљење пресека, па се разматрање деформације пресека за одређивање подужних напона неопходно (и то само за анализу замора у попречном пресеку) ако:

$$l_a/h < 18 \quad \text{или}$$

$$l_a/b < 4$$



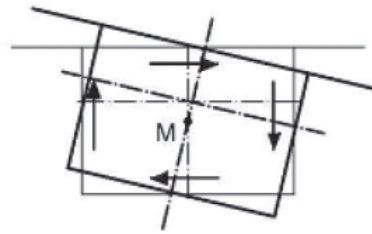


Сандучасти попречни пресек је торзионо отпоран јер се успоставља ток смицања у затвореном пресеку значи да се ексцентрично оптерећење може скоро равномерно распоредити на главне носаче.

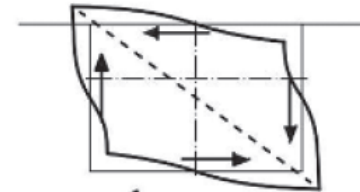
Дебљине зидова нису исте; ребра уобичајено мањег распона од плоча, су дебља од плоча и може се предпоставити да се пресек не уврће значајно. Подужно издужење сандука је спречено крајним попречним носачима или средњим дијафрагмама што доводи до појаве напона од спречене торзије. Ипак, се ови додатни напони се могу занемарити.

Максимална деформација профила са припадајућим попречним моментима савијања добија се за слободни пресек у уздужном правцу. Резултати су конзервативни у погледу попречних момената савијања, пошто се углови попречног пресека не могу слободно деформисати у попречном пресеку због активирања нормалних напона у уздужном правцу моста.

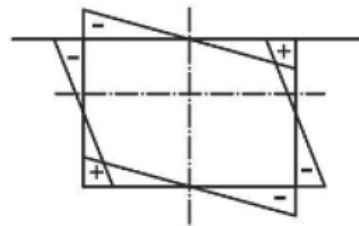
Сант - Венанова торзија



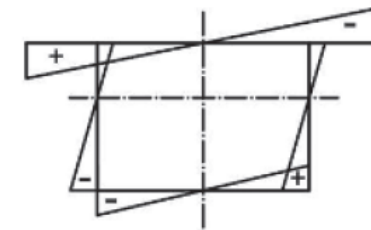
Деформација попречног пресека



Попречни моменти



Подужни уравнотежени напони (услед бимомента)



Додатна уздужна напрезања смањују се са смањењем висине конструкције – због ниже вертикалне крутости на савијање – а попречни моменти савијања се повећавају.

Зависно од димензија попречног пресека, може се закључити:

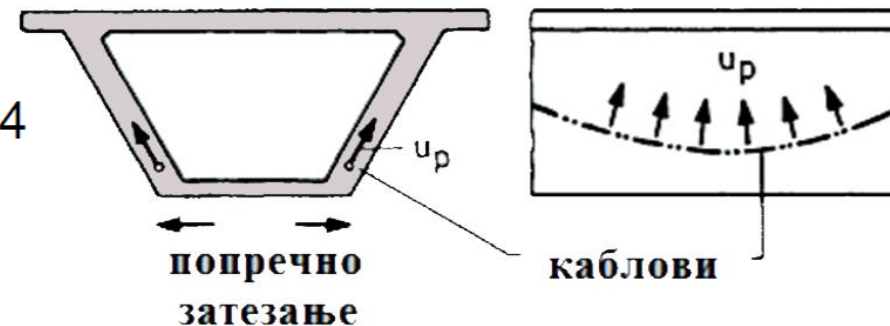
1. Повећањем размака између попречних укрућења, дијафрагми, напони на попречном раму се приближавају граничном случају слободно ослоњеног оквира тј. $M_T/8$ – или слично кад се узму у обзир различите крутости зидова ребра и фланше
2. У случају косих ребара, нормалне силе се јављају у доњој плочи и коловозној плочи у попречном правцу. За симетрична оптерећења, силе затезања се јављају у коловозној плочи.
3. Еквивалентно оптерећење од кавлова у подужном правцу доводе до скраћења ребара и резултују попречним моментима у доњој плочи. Ефекте скретних сила треба узети у обзир само за веома мале полупречнике каблова уз истовремено велике нагибе ребра.
4. Слично је и када се коловозна плоча издужи (нпр. услед температуре) у односу на доњу плочу.
5. За сандучасте носаче стандардних димензија, уздужни правац се верификује само узимајући у обзир попречну расподелу саобраћајних оптерећења док се оквир у попречном правцу третира посебно.

Вертикално оптерећење

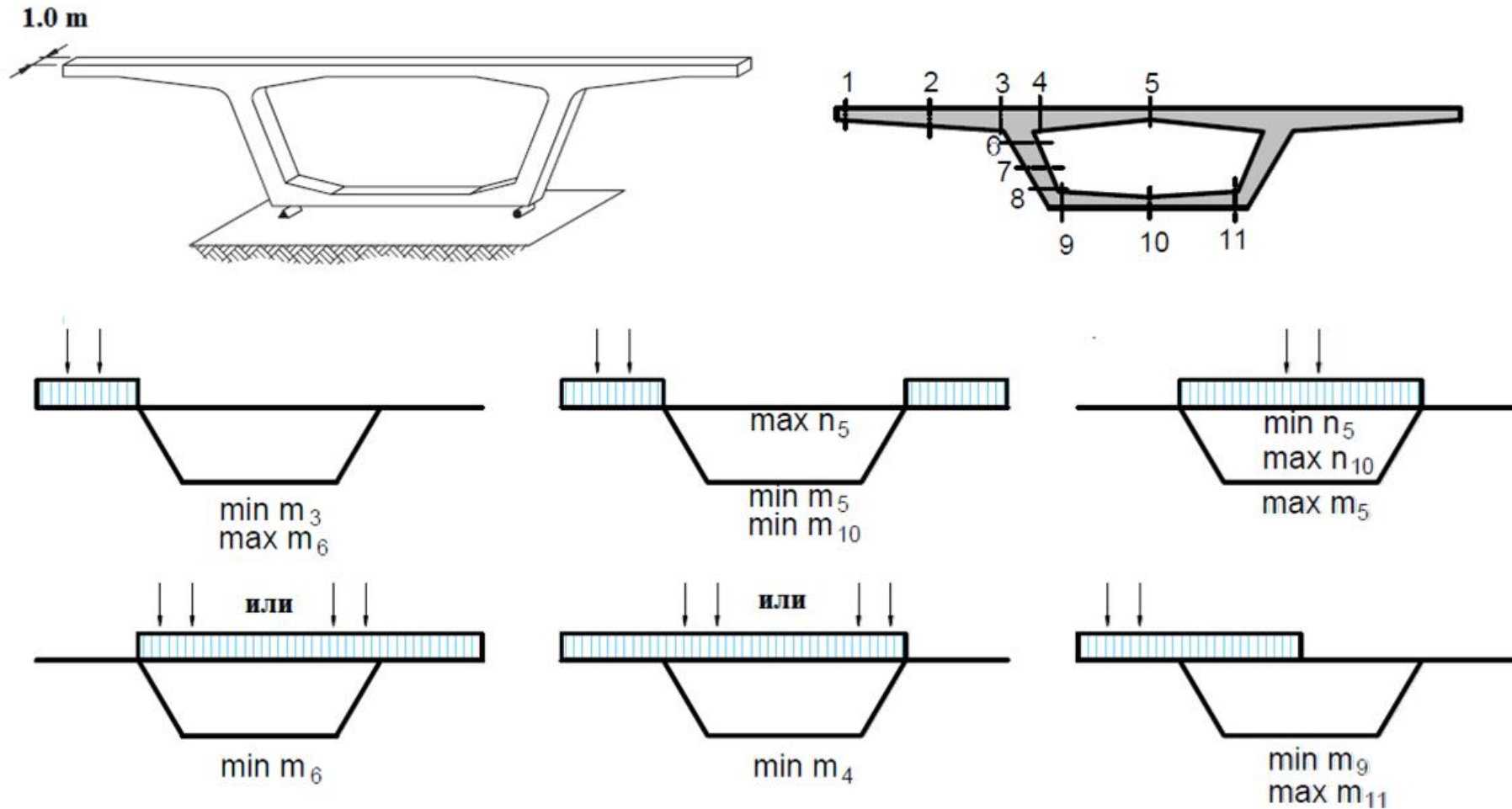


$$\operatorname{tg} \alpha = 1/5 - 1/4$$

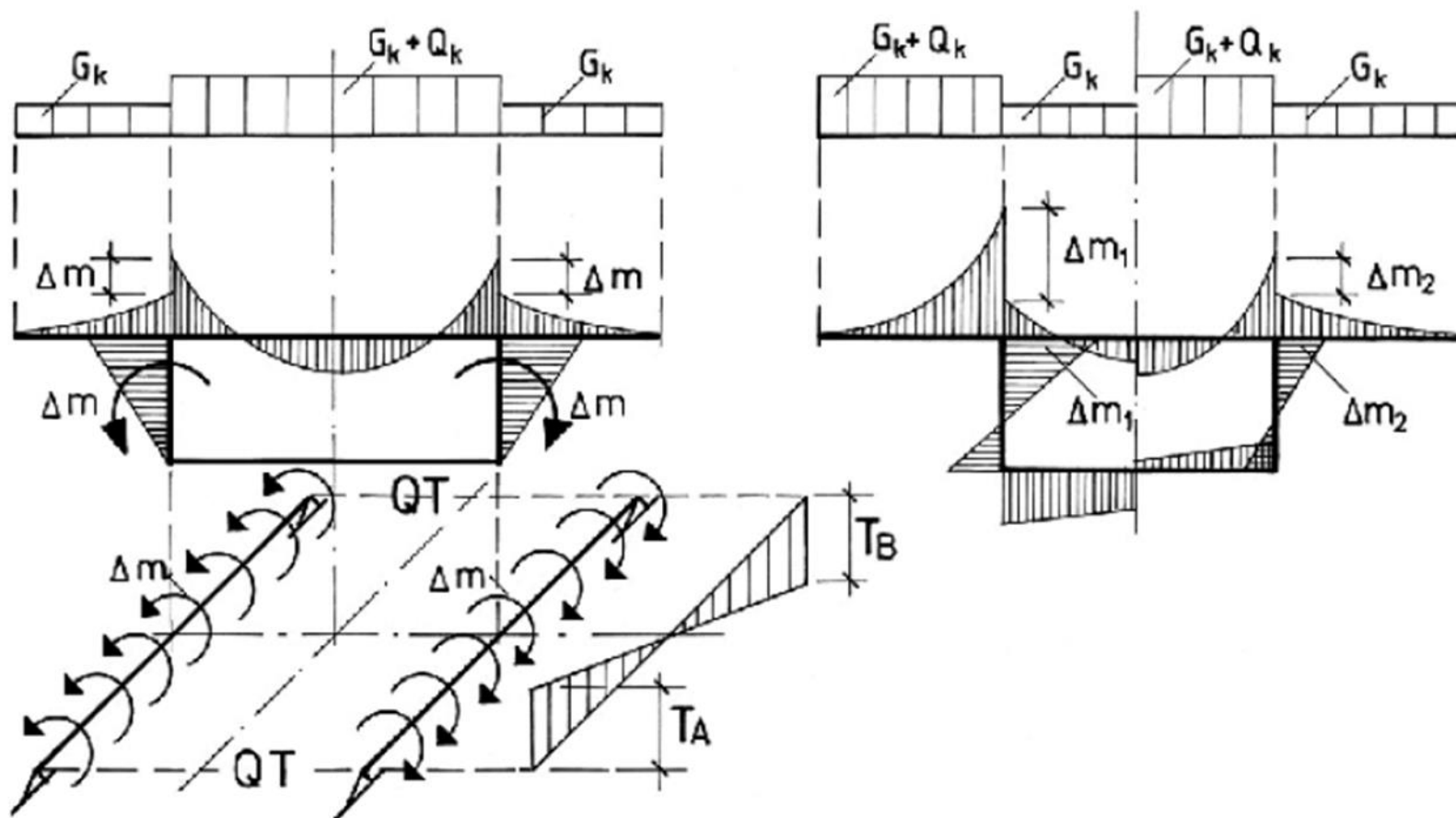
Претходно напрезање

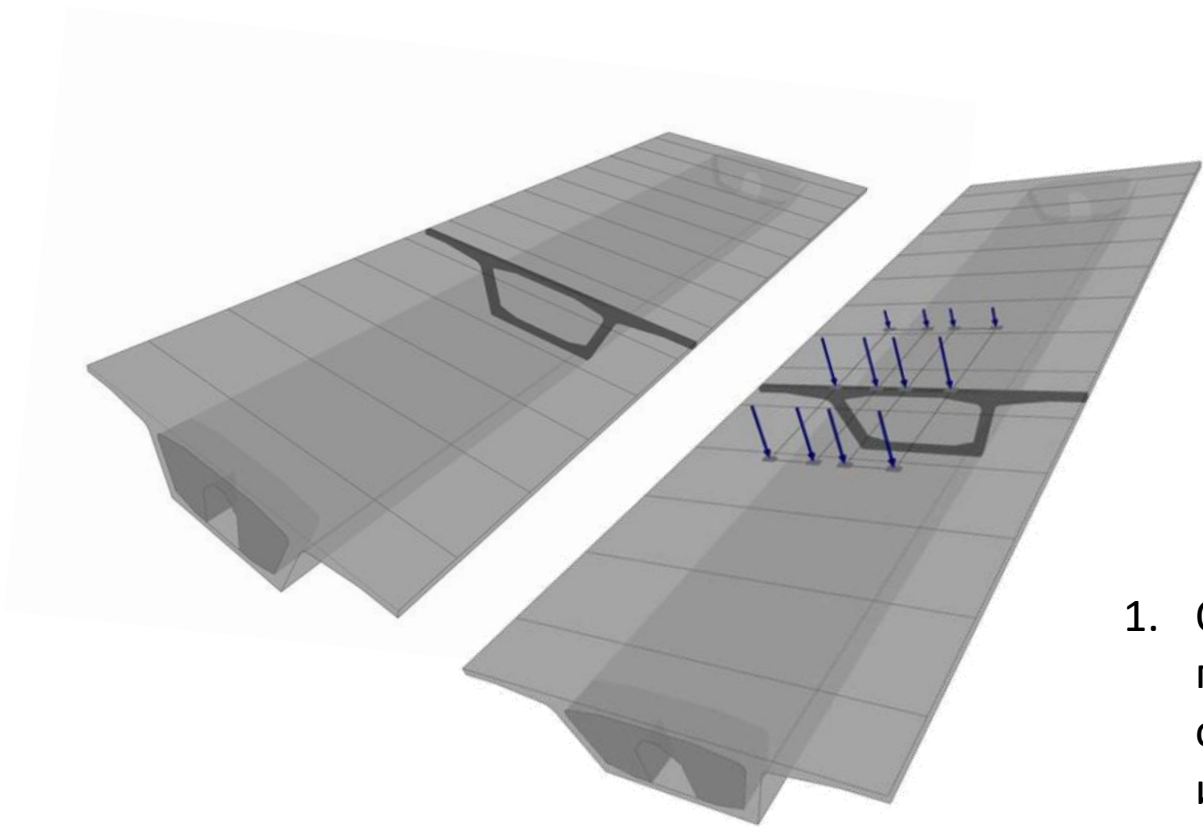


Практично поједностављење



Утицај дебљине доње плоче на распоред попречних момената

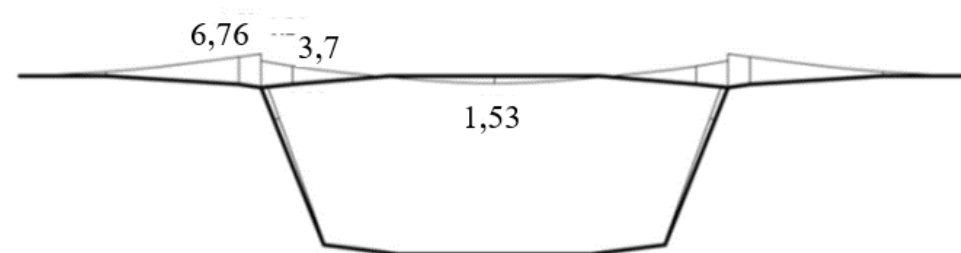
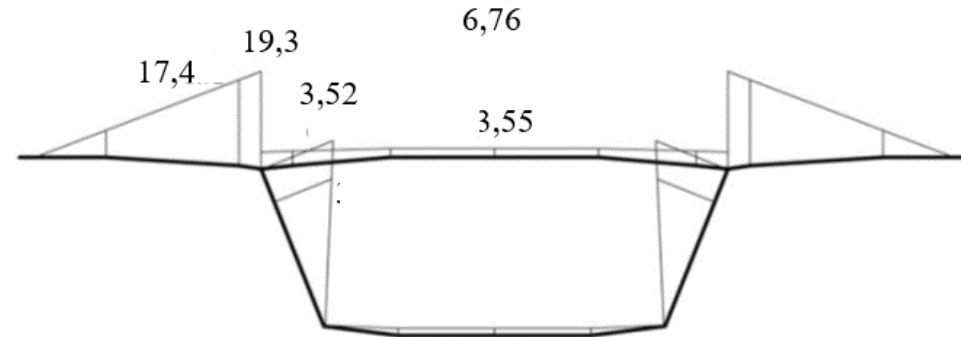
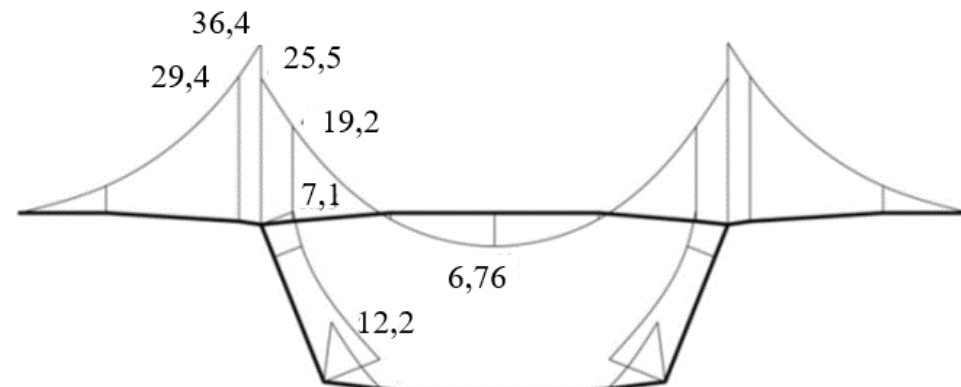
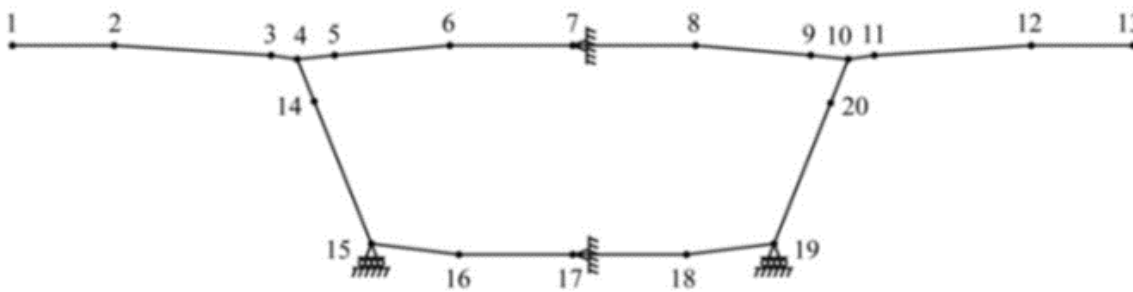
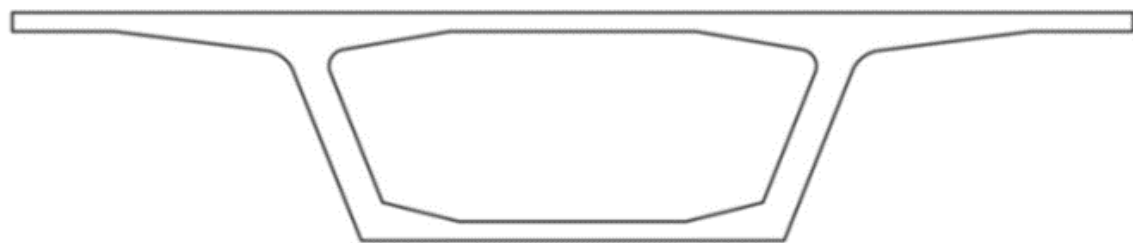




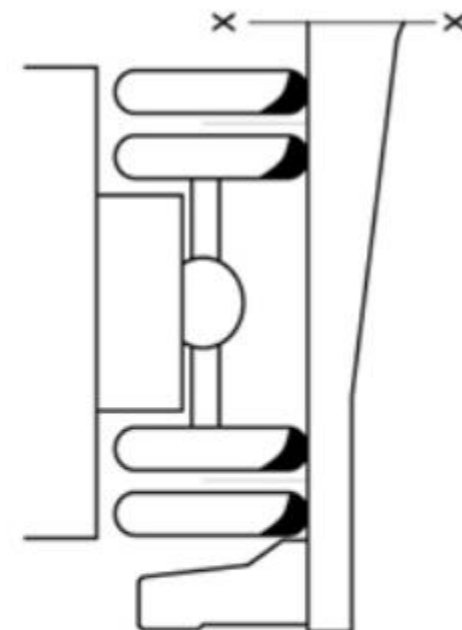
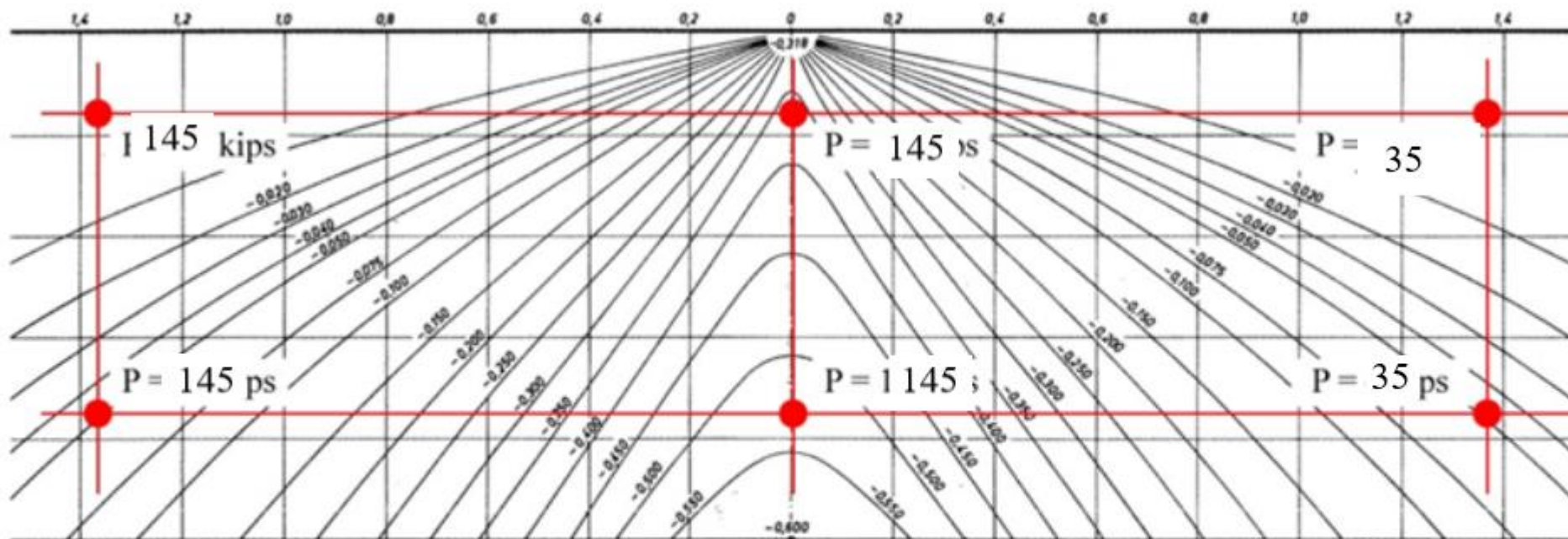
1. Одредити максималне попречне моменте на критичним пресецима конзола и горње плоче узимајући у обзир ове елементе као посебне плоче са укљештеним ивицама.
2. На дводимензионалном модел распоредити моменте „укљештења“ коловозне плоче да би се одредили моменти од саобраћајног оптерећења.
3. Сумирање моменте укљештења и прерасподељених момената и одредити укупне пројектне вредности момената у попречном раму

Пример

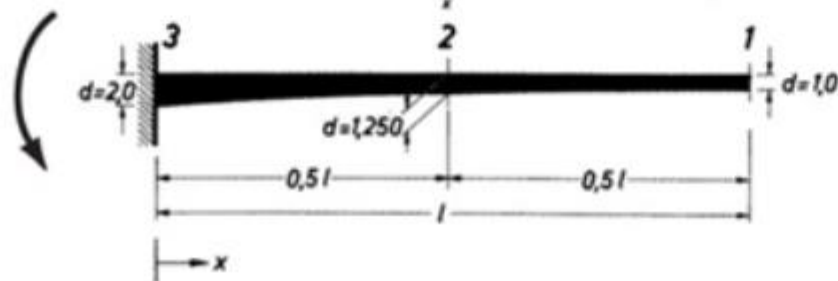
Сопствена тежина и одбојна ограда и остали старни терет



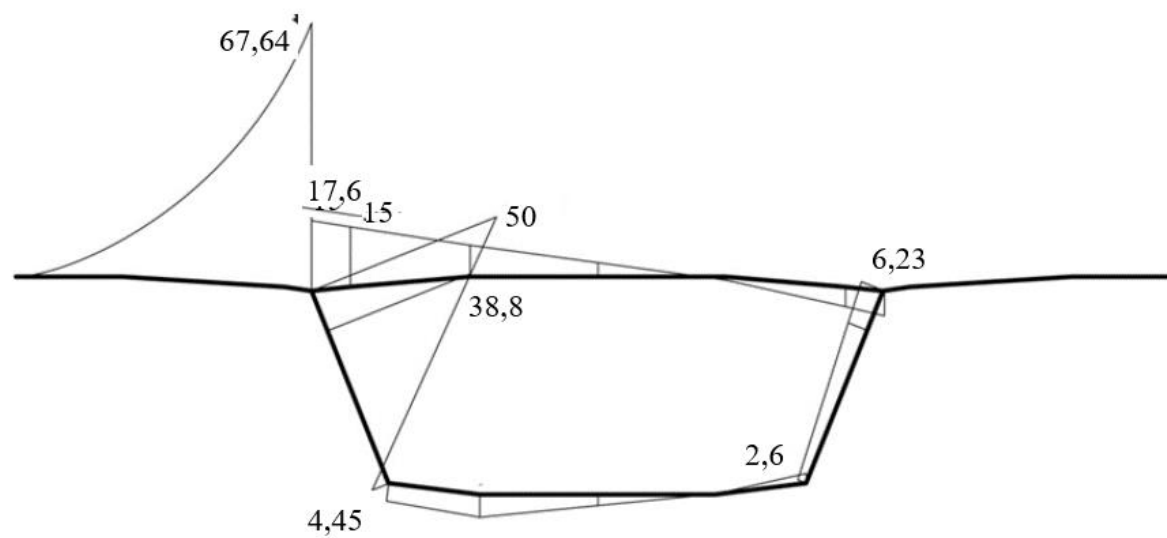
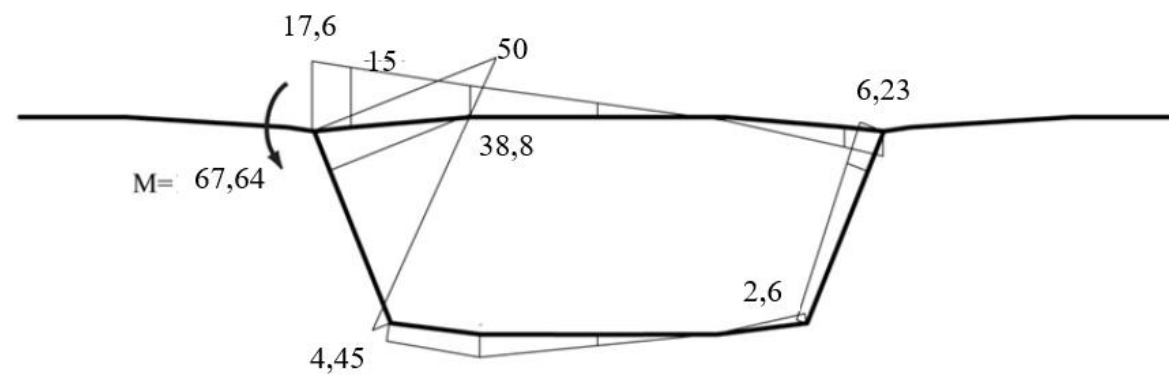
Максимални негативни момент на конзоли помоћу утицајних површина

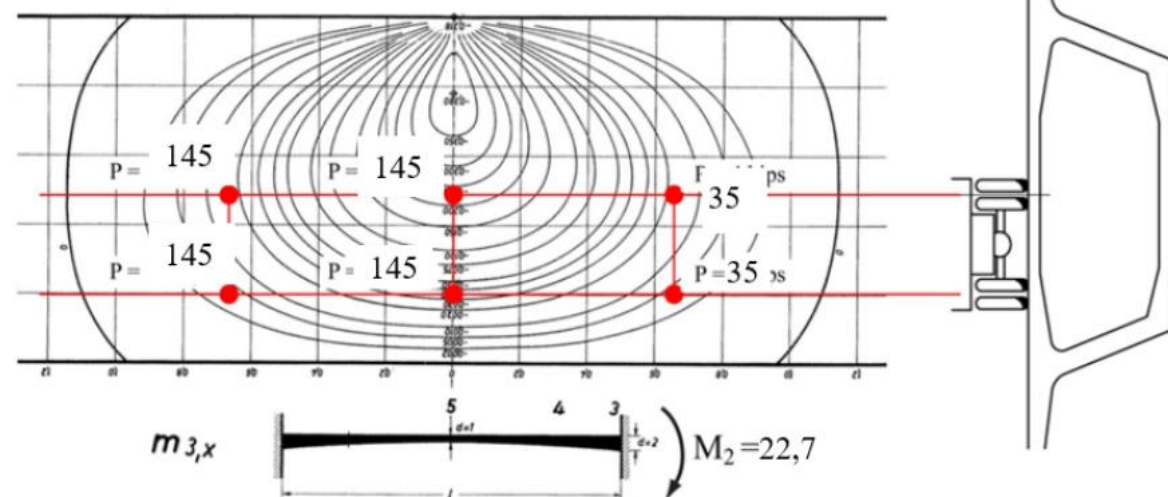
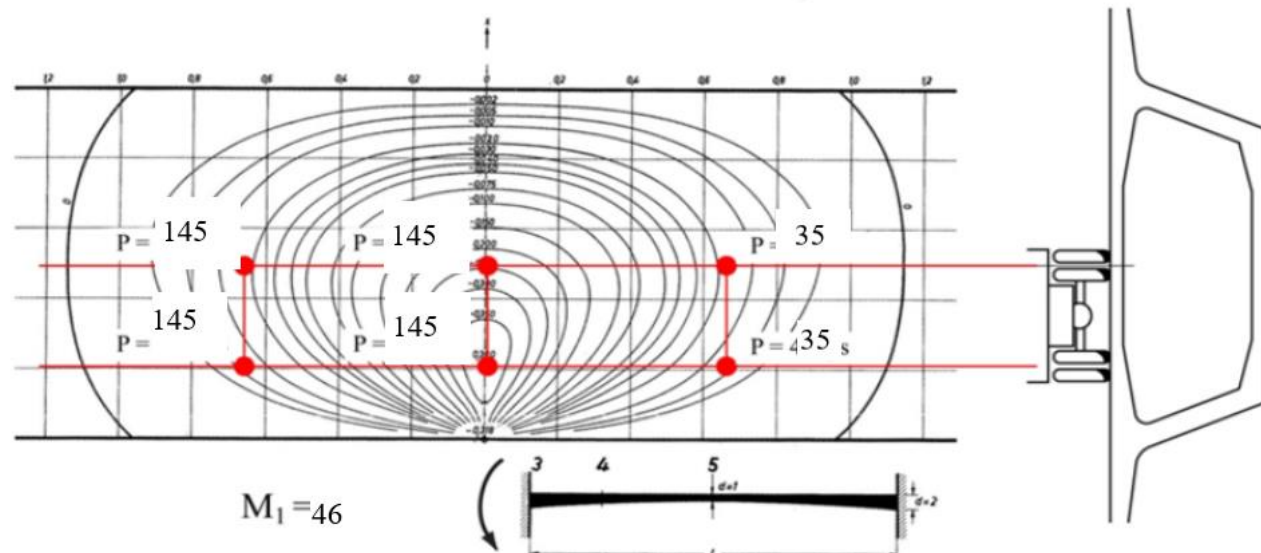
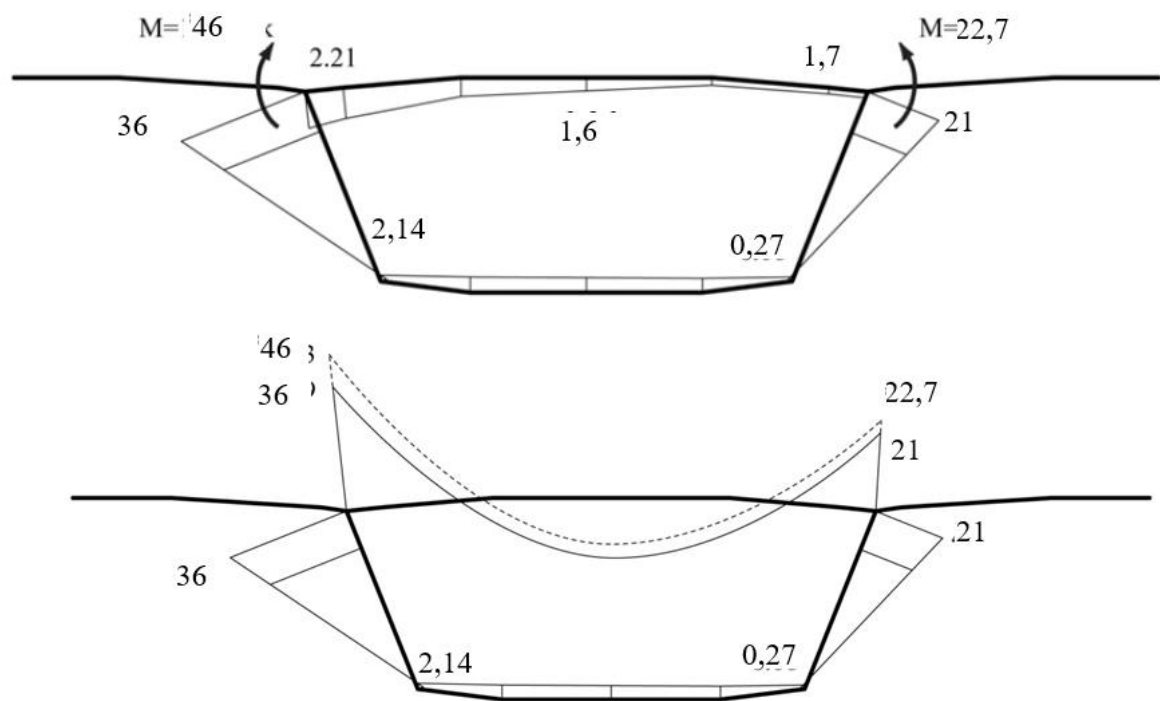
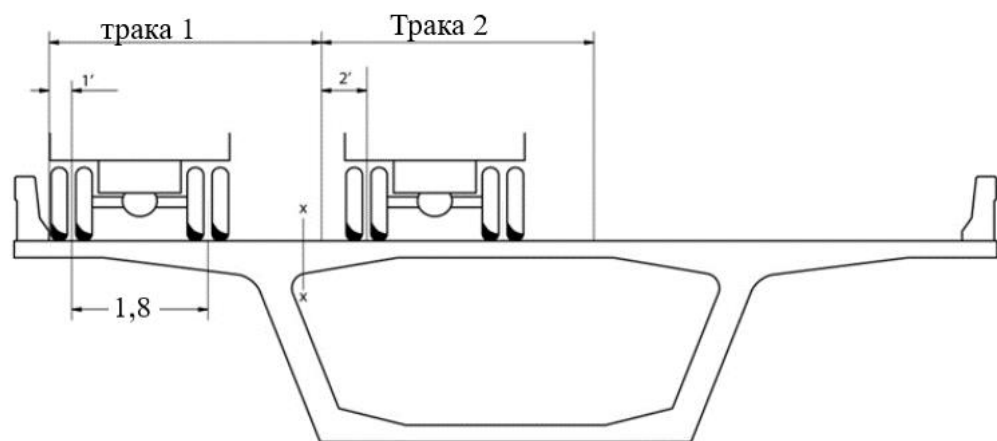


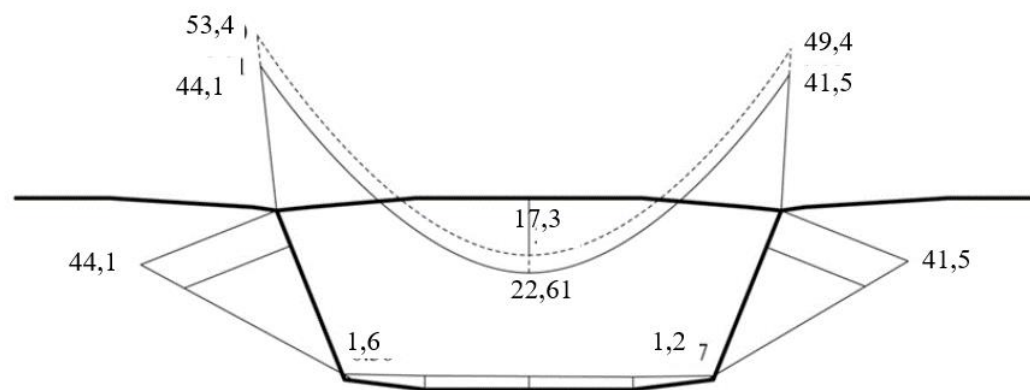
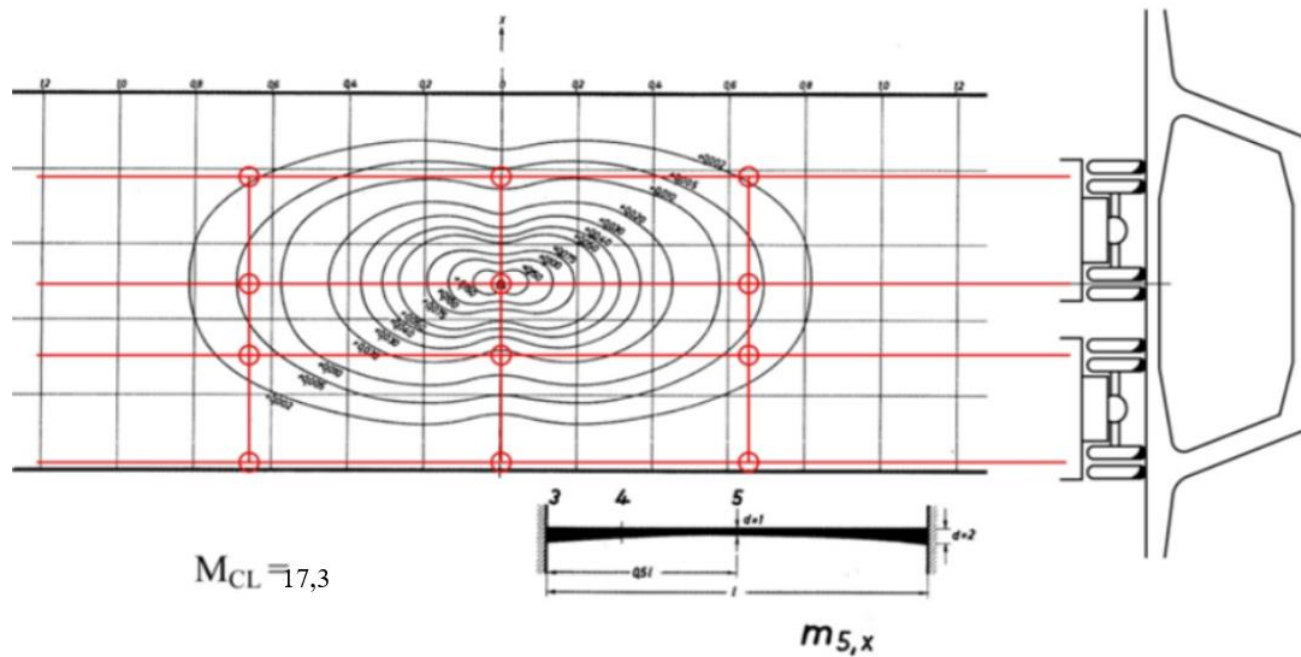
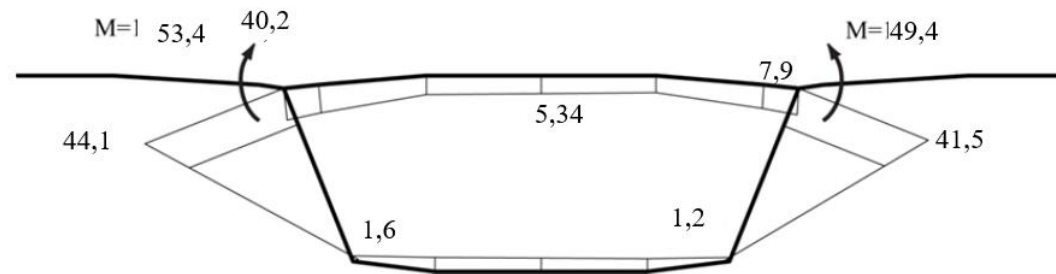
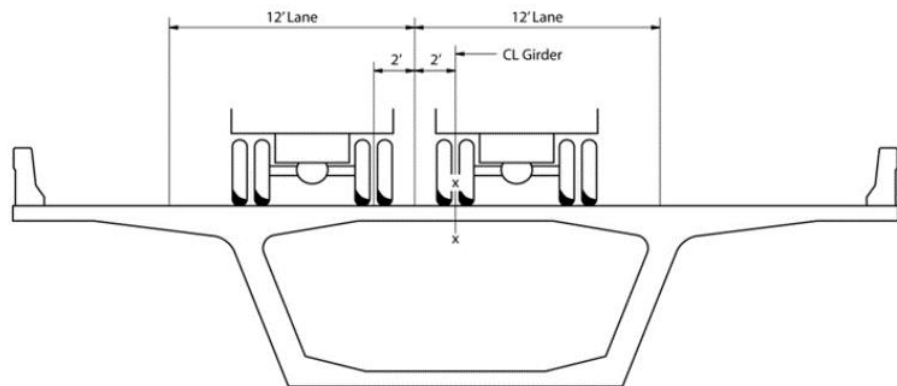
$$M = 67,64$$



$$m_{3,x}$$

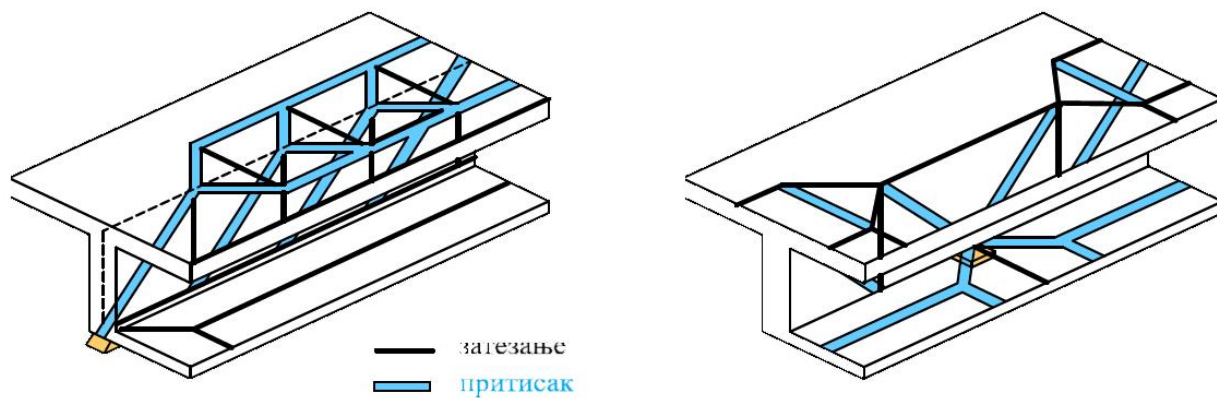




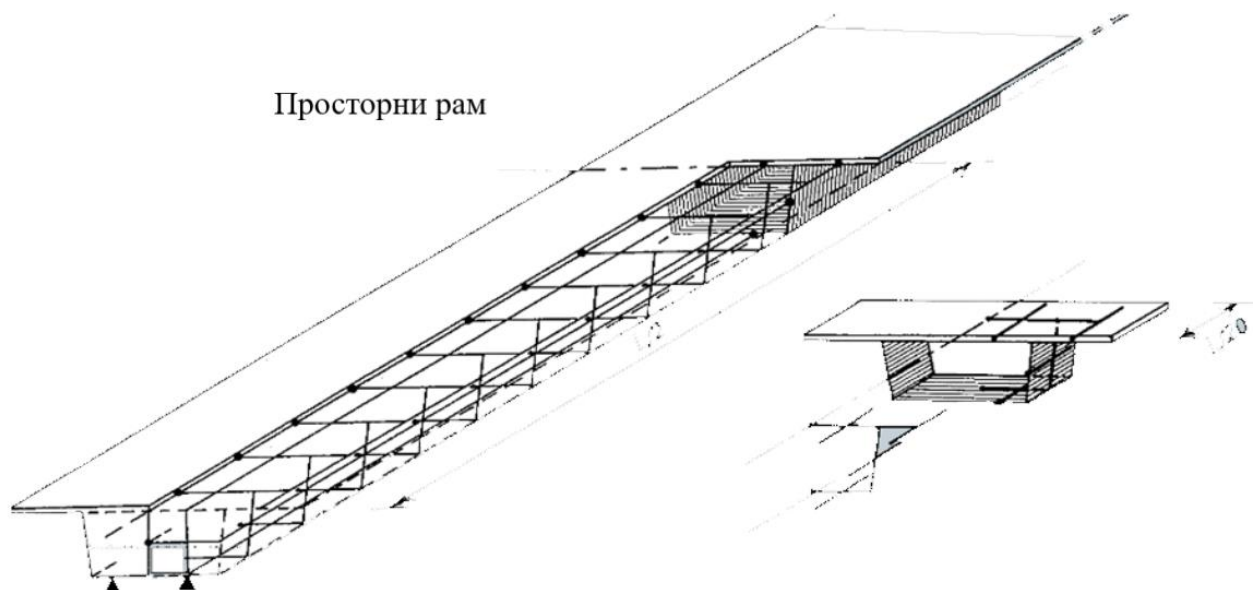


Сложенији прорачунски модели

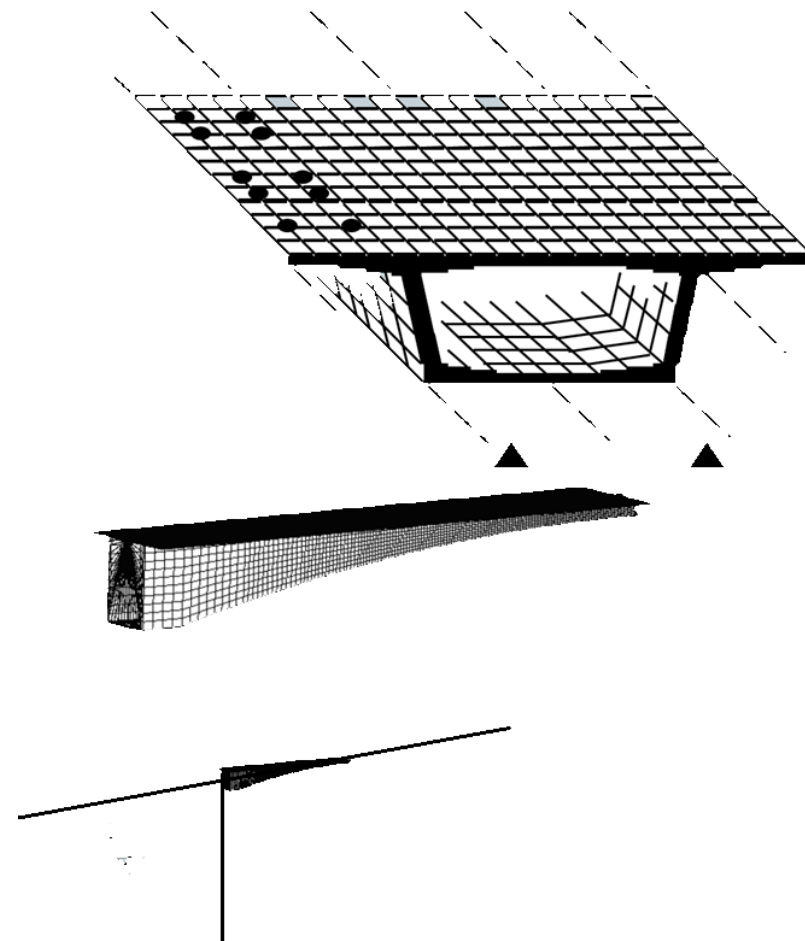
Просторна решетка



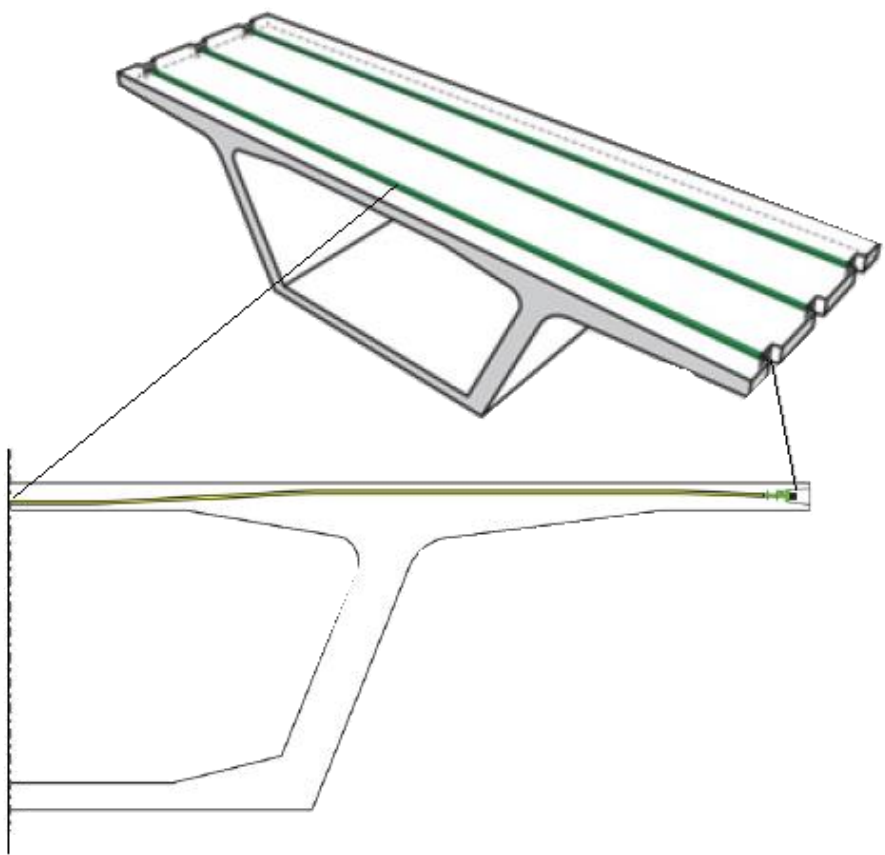
Просторни рам



FEM -'shell'

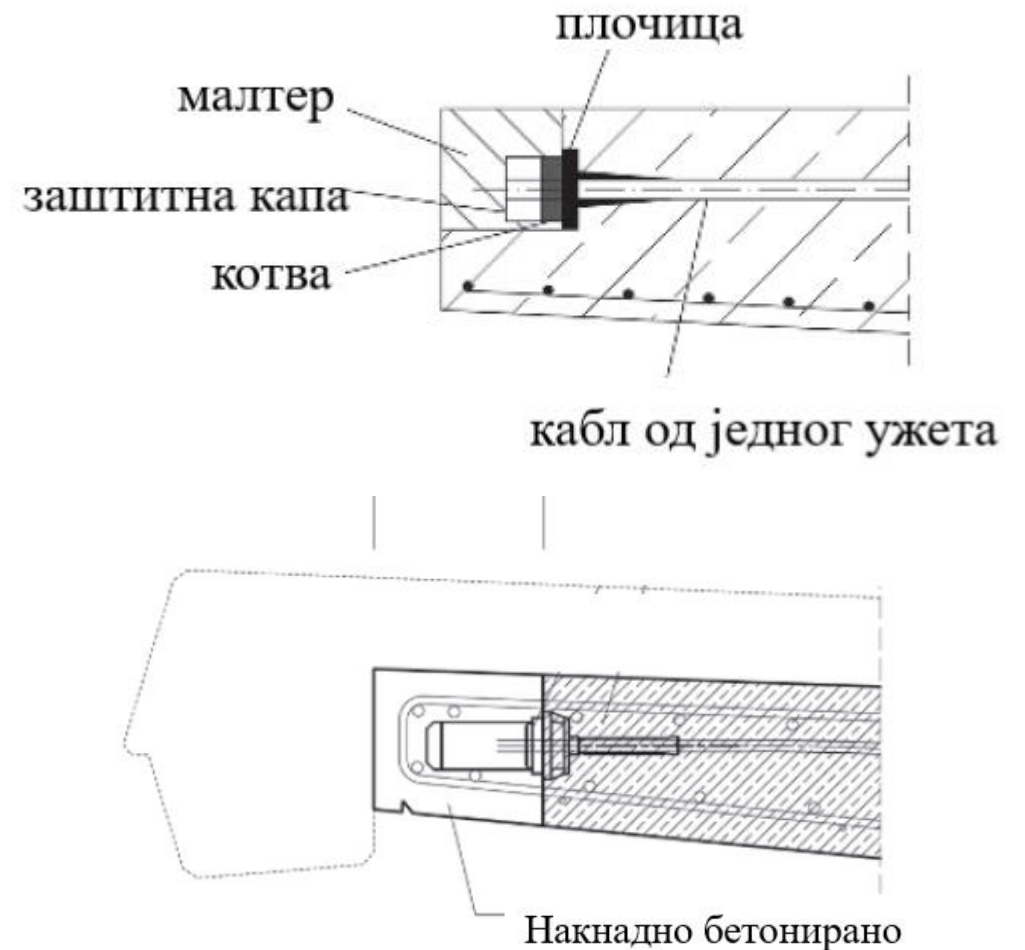


Попречно претходно напрезање коловозне плоче

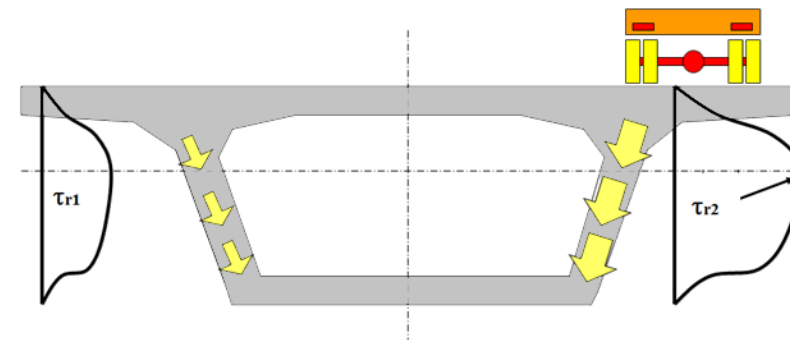
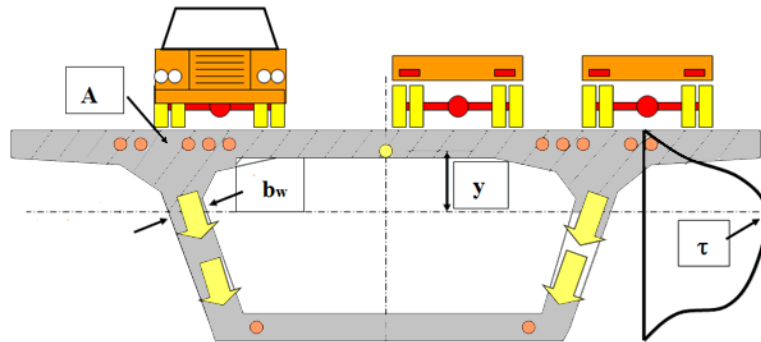
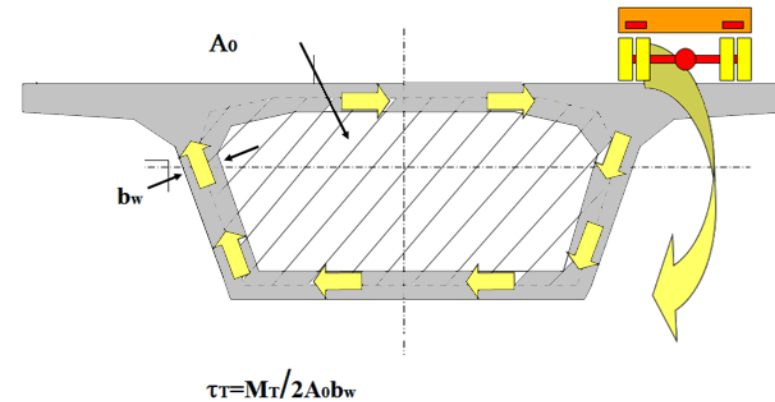
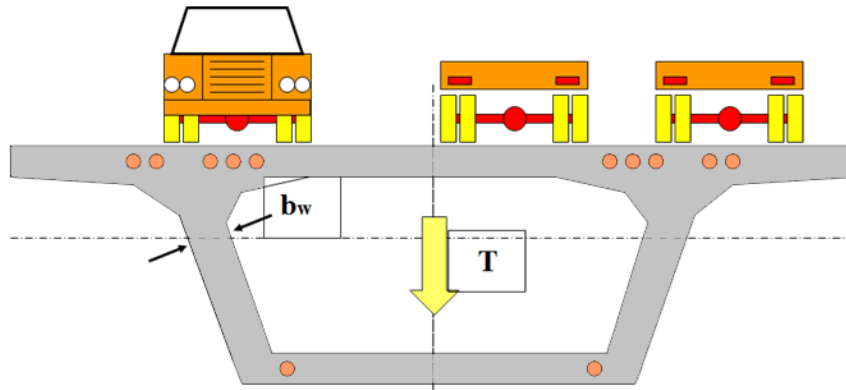


Каблови без споја у коловозној плочи

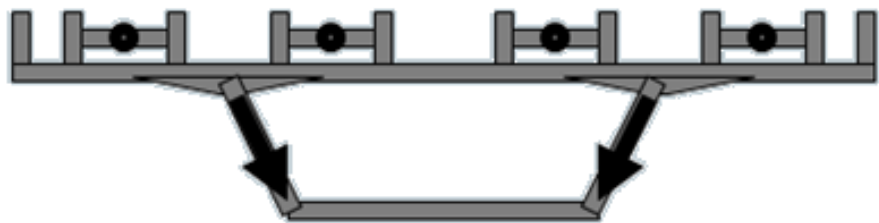
Кад се јави потреба за попречним претходним напрезањем коловозне плоче, каблови се уграђују се у нишама на крајевима конзола и касније се могу мењати (али се скида венац и разара ниша да би им се пришло). Може се уместо нише урадити додатак на целој дужини конзоле. Попречни каблови у плочи су допуштени и код железничких мостова.



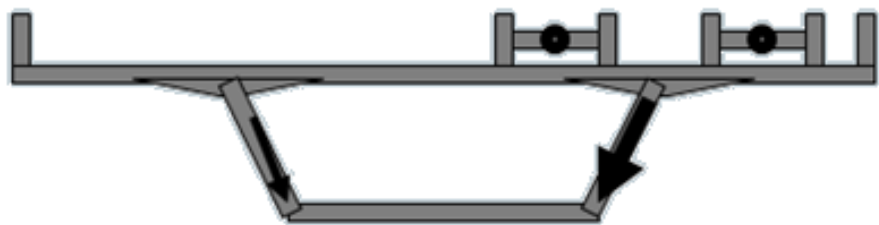
Смицање у ребрима сандучастих пресека



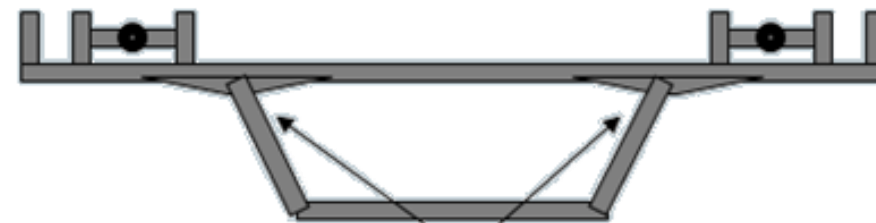
Комбинације



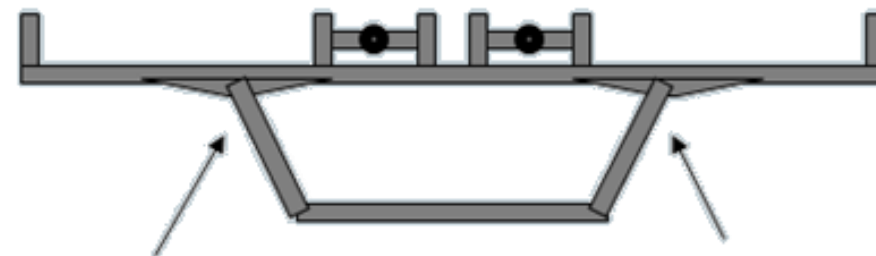
максимално смицање (T)



Максимално смицање M_T

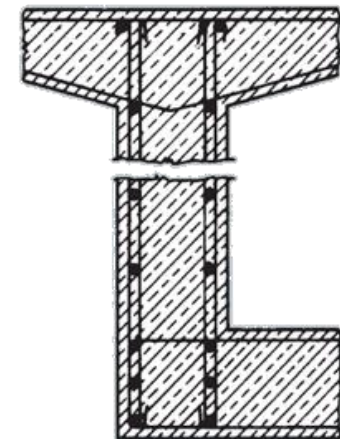
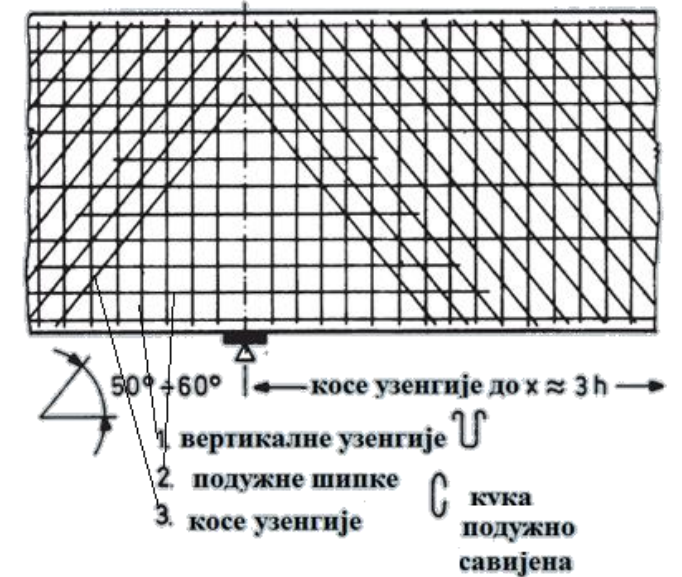
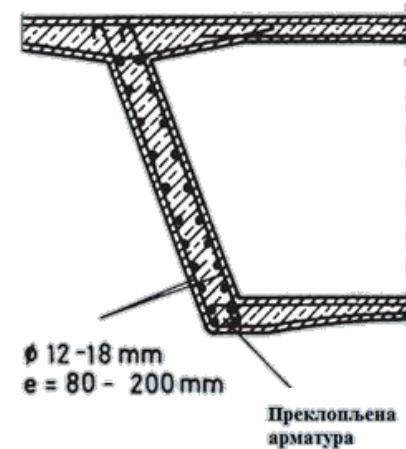
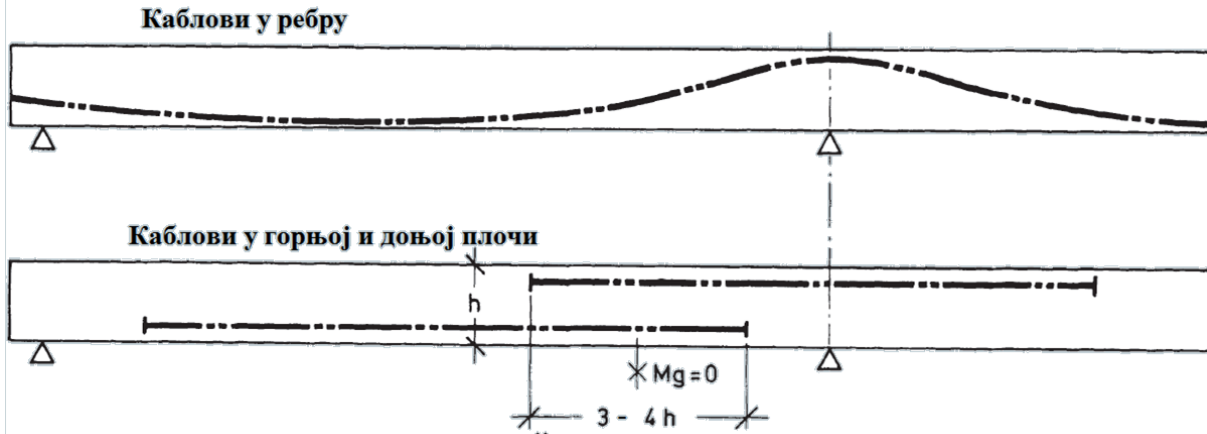


**Максимално савијање
(унутрашња страна ребра)**

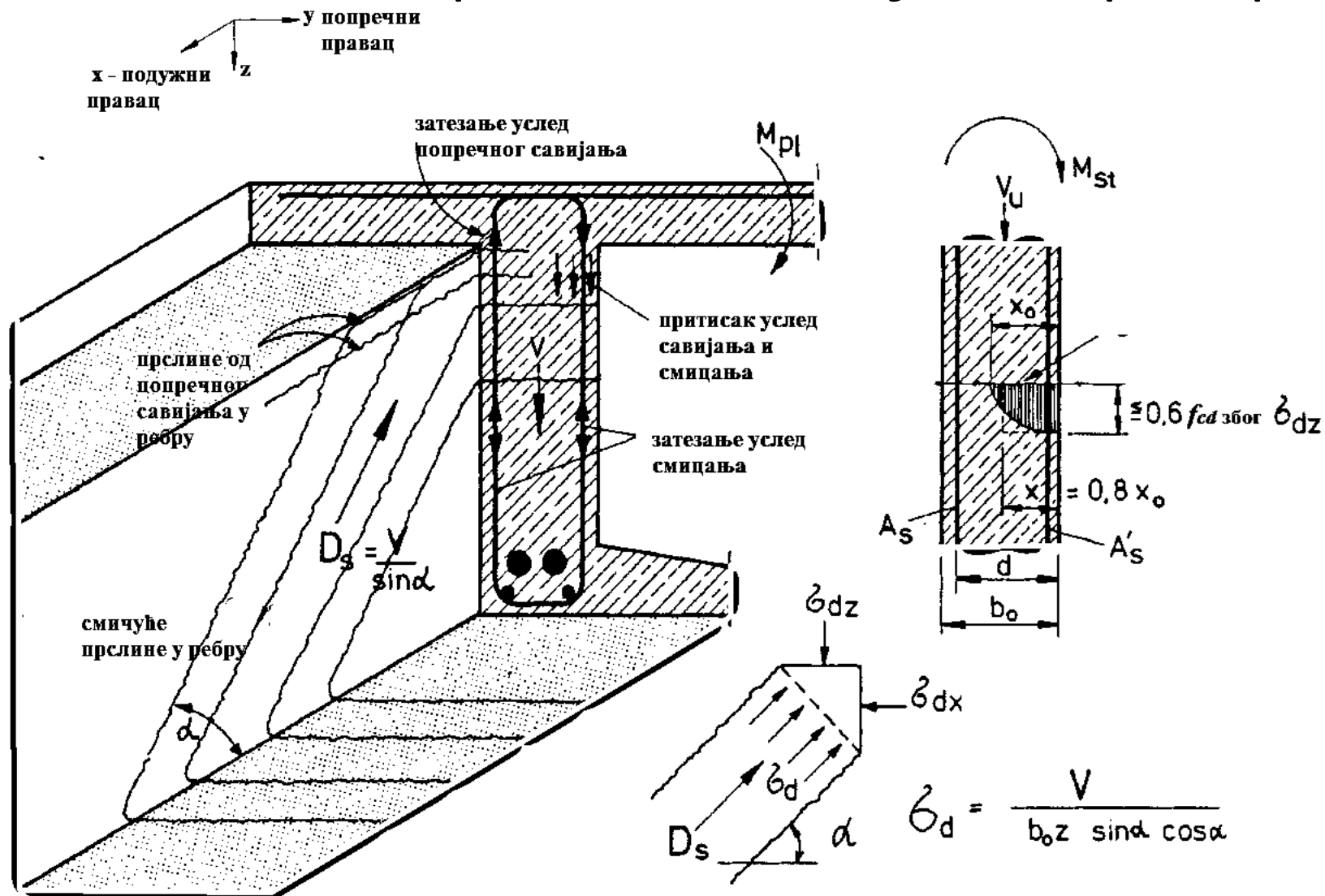


**Максимално савијање
(спољна стана ребра)**

Каблови и арматура – према прорачуну у подужном правци



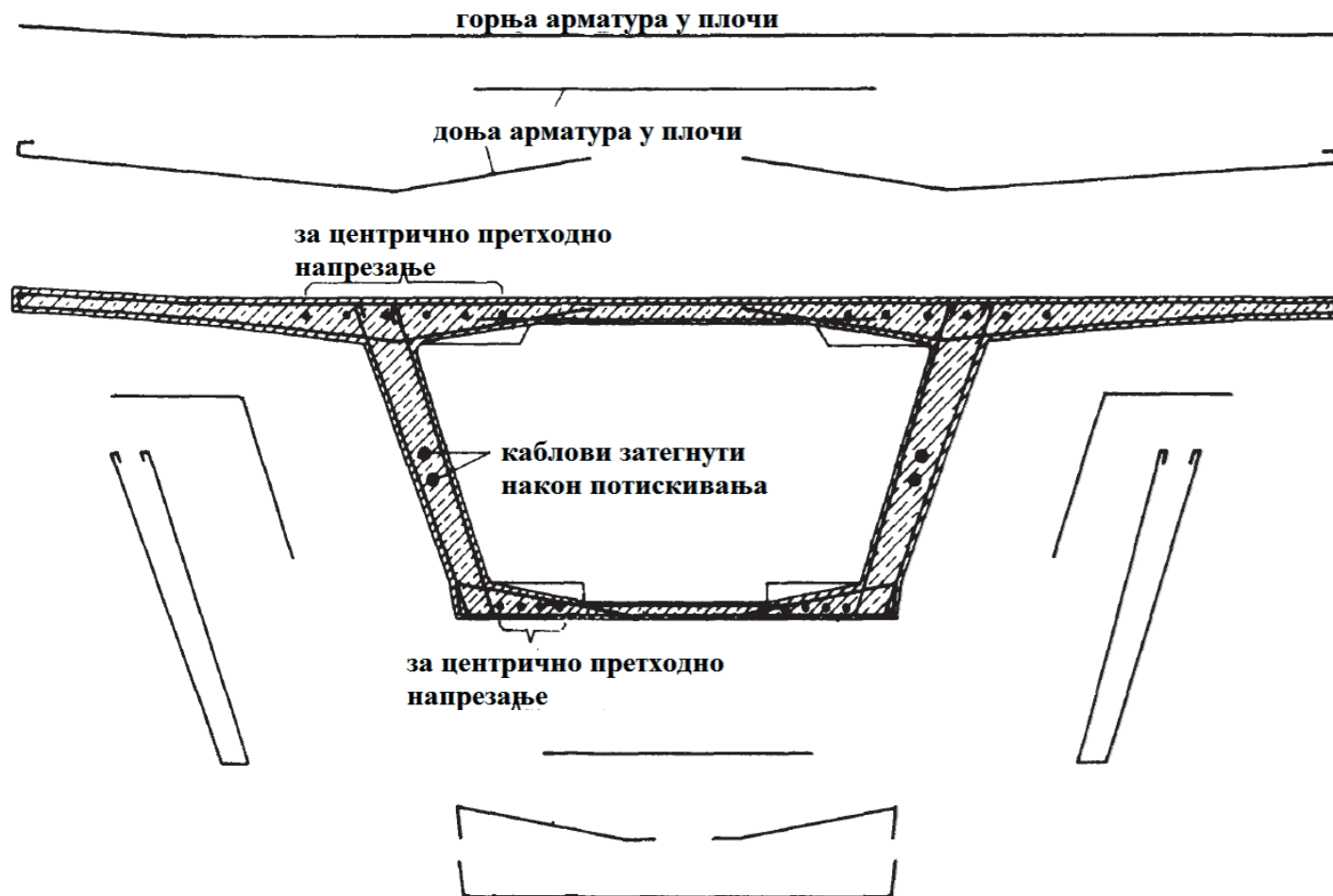
Смицање и попречно савијање ребра



Препоруке за армирање

- Профили подужне арматуре до $\phi 28\text{mm}$.
- Подужна арматура доњег појаса до висине $0.2h$ учествује у доказу граничног стања.
- Арматура се води према линији затежућих сила, тако да се смањује ка ослопцу према дијаграму сила затезања помереног за $0.7d$.
- Горња подужна арматура се може поставити у целој садејствујућој, с тим се тањи профили постављају ван ребра ($\phi 16$ до $\phi 20$), док су дебљи у зони ребра ($\phi 28$)
- Попречна арматура за смицање и торзију је у форми узенгија које са доње страна обухватају подужну арматуру а с горње су усидрене у коловозну плочу.
- Размак узенгија зависи од допуштене ширине прслина услед главних напона затезања.
- У зонама великих трансверзалних сила узенгије су на размацима 10 до 15 cm , а у осталим деловима 20 до 30 cm .
- За висине носача $h < 3\text{m}$ пречник узенгија иде до 16mm .
- За висине носача $h < 5\text{m}$ узенгије могу бити веће од 20mm .
- Арматура за прихватање попречног савијања између плоче и ребра може бити у форми шипки које улазе у ребро од око $h/2$.

Попречна арматура целог пресека (извођење потискивањем)

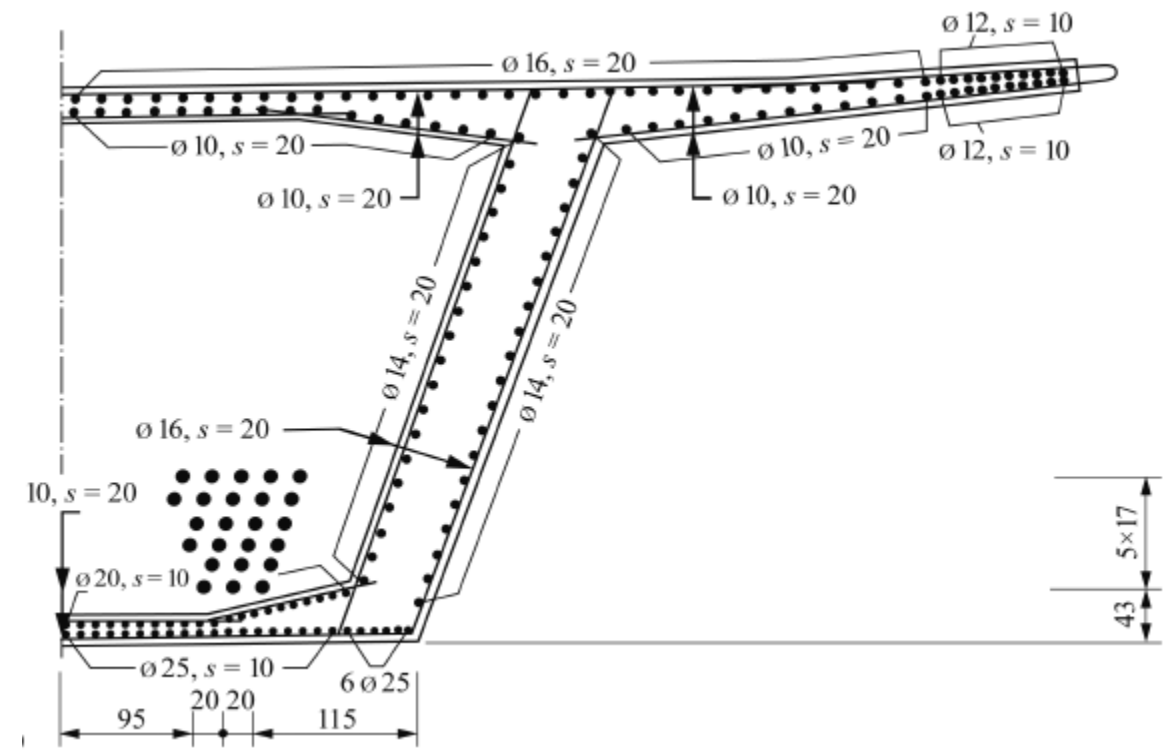
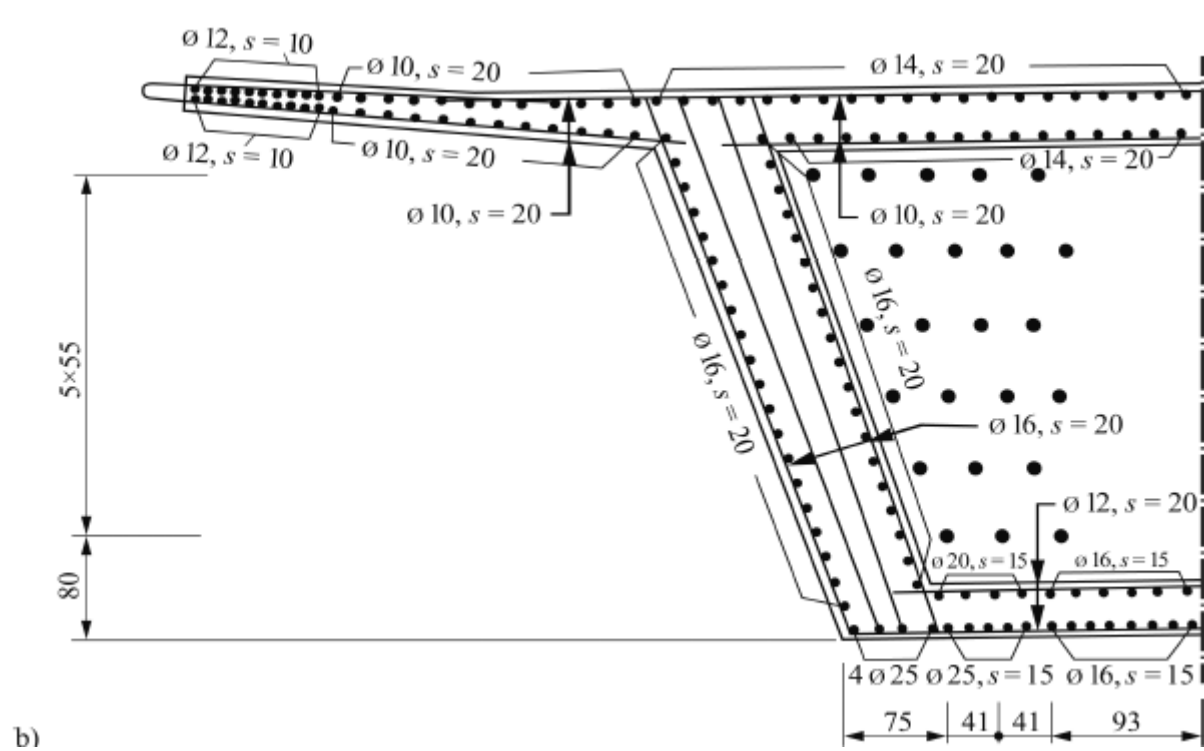


У зони највећих главних напона затезања арматура мора бити на размаку од 15 cm.

Допуштена ширина прслина је 0.2 mm.

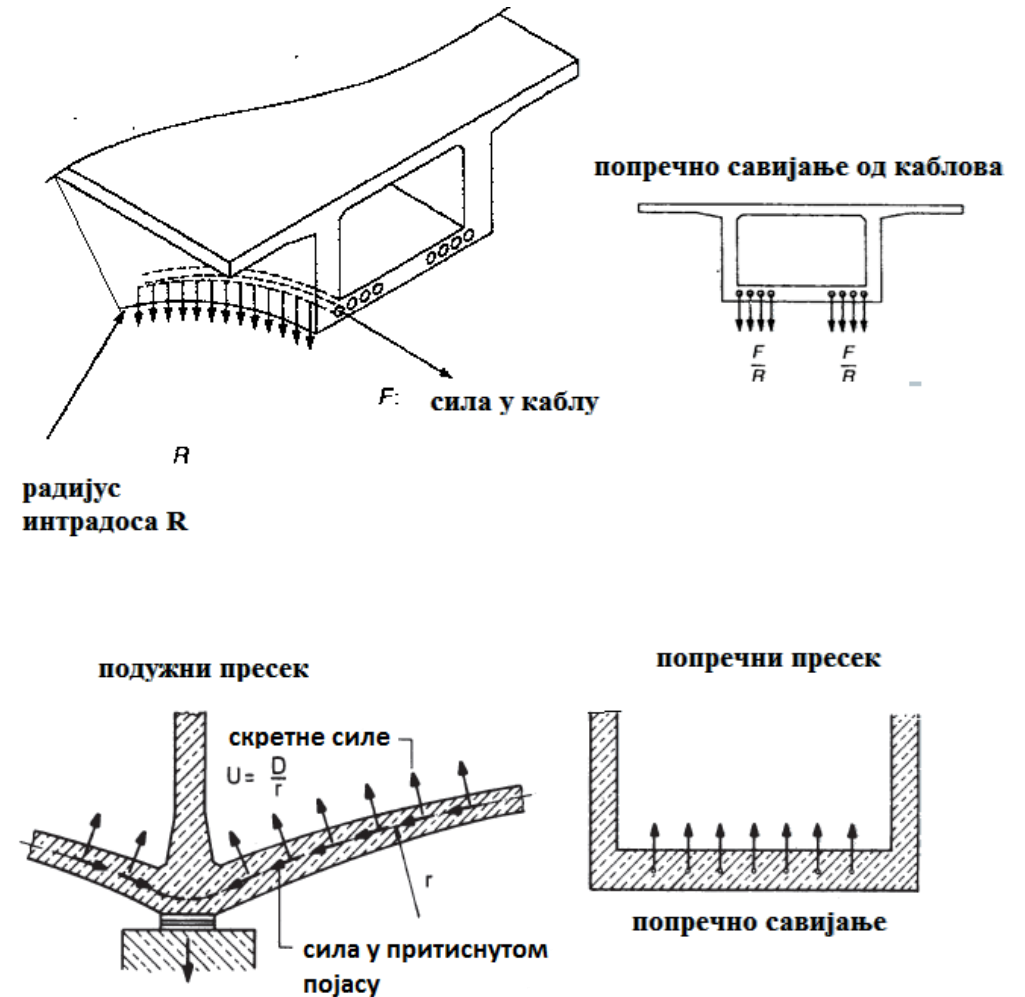
У притиснутој зони може се повећати размак на 30 cm. Минимални пречник $\phi 12$.

Попречна арматура у горњој зони на 15 cm ради спречавања подужних прслина и као арматура за спој плоче и ребра.



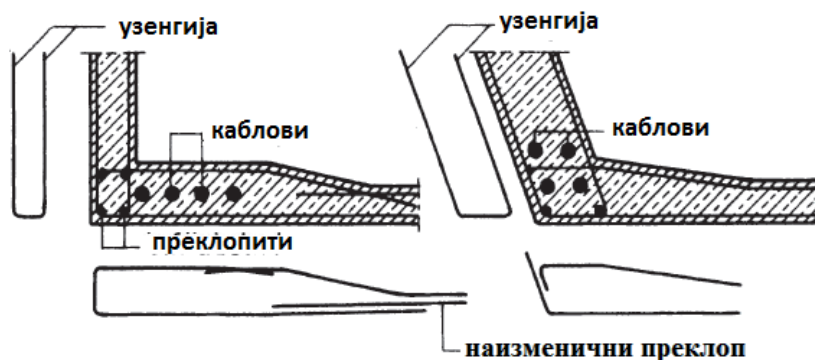
Ефекти у доњој плочи

- Трансверзално савијање и вертикално смицање је од мањег значаја
 - Сопствене тежине
 - Дисторзије пресека
- Подужна нормална сила и попречно смицање је далеко значајније
 - Подужног савијања читавог пресека
 - Торзије читавог пресека
 - Попречног оптерећења на читав пресек



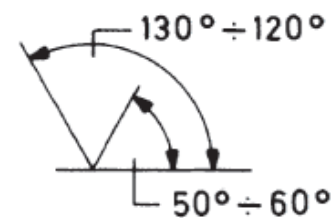
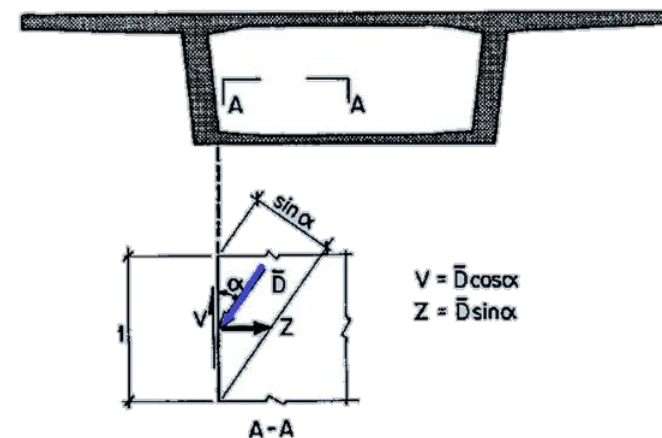
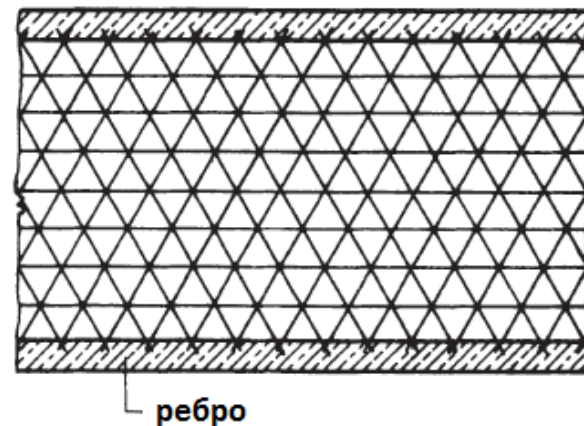
Résal ефекат

Детаљи армирања доње плоче

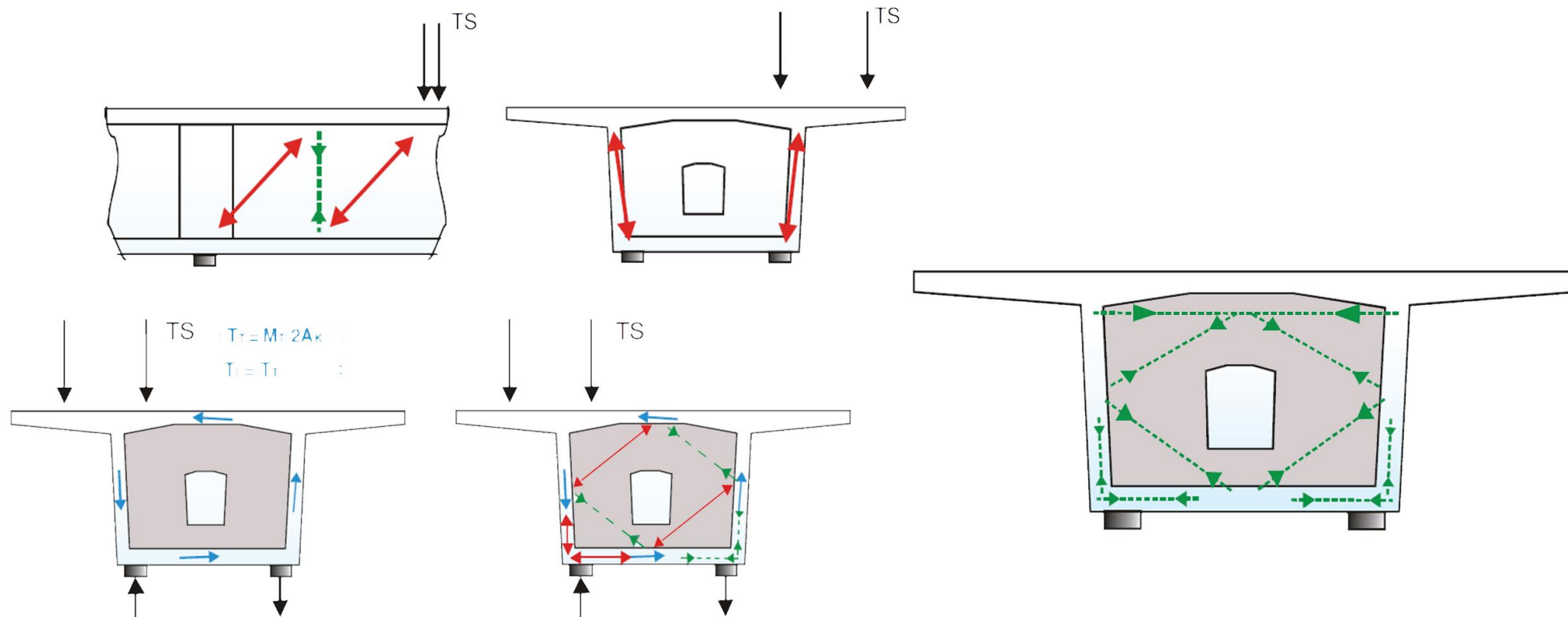


Арматура доње плоче се преклапа са узенгијама у облику петље. У областима са великим подужним напонима притиска и горњи и доњи ред арматуре се вовезује узенијама с око 9 узенгија/m², тако да је доња подужна арматура обухваћена њима.

пријем наизменичне
торзије код
индиректног
ослањања

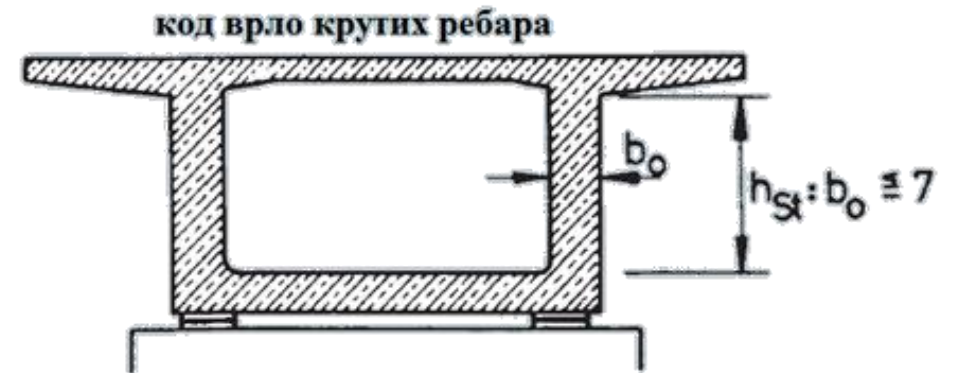
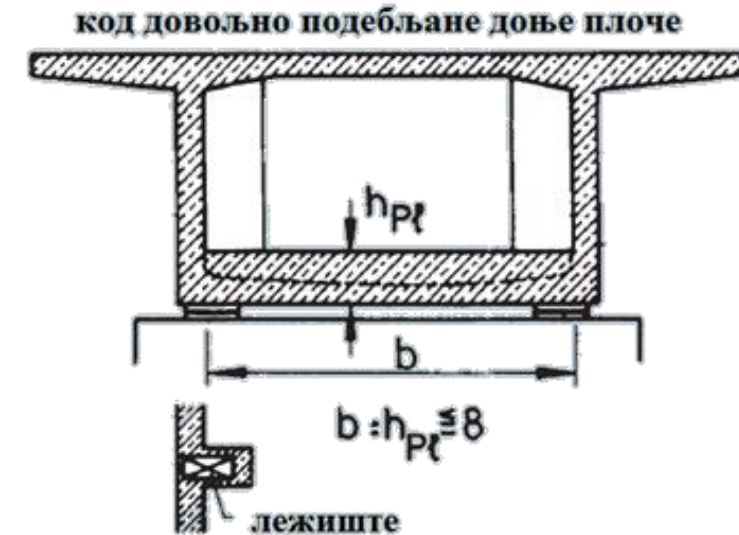


Пријем трансверзалних сила и торзије



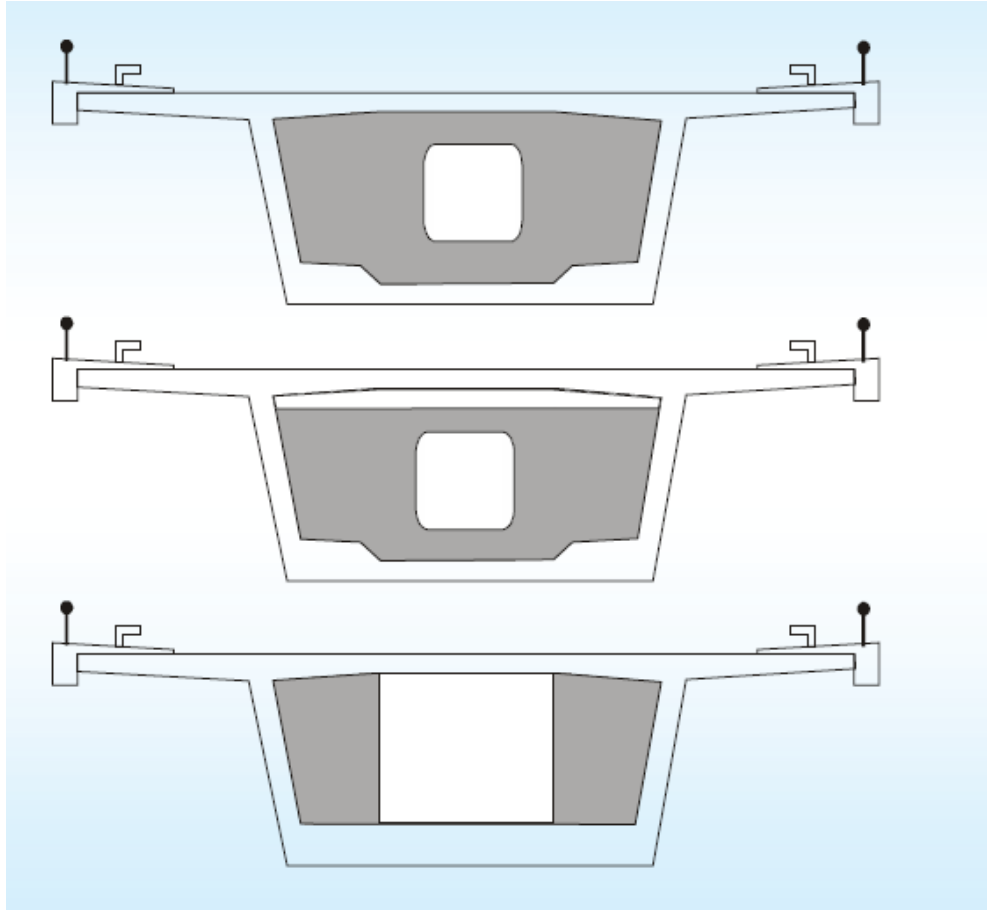
Дијафрагме

- Улога:
 - Спречити кривљење попречног пресека
 - Пренос сила и торзије на ослонце
- На ослонцима:
 - На крајњим ослонцима (опорцима);
 - Над средњим стубовима:
 - Директно ослањање;
 - Индиректно ослањање
- У распону (*могу се изоставити*).



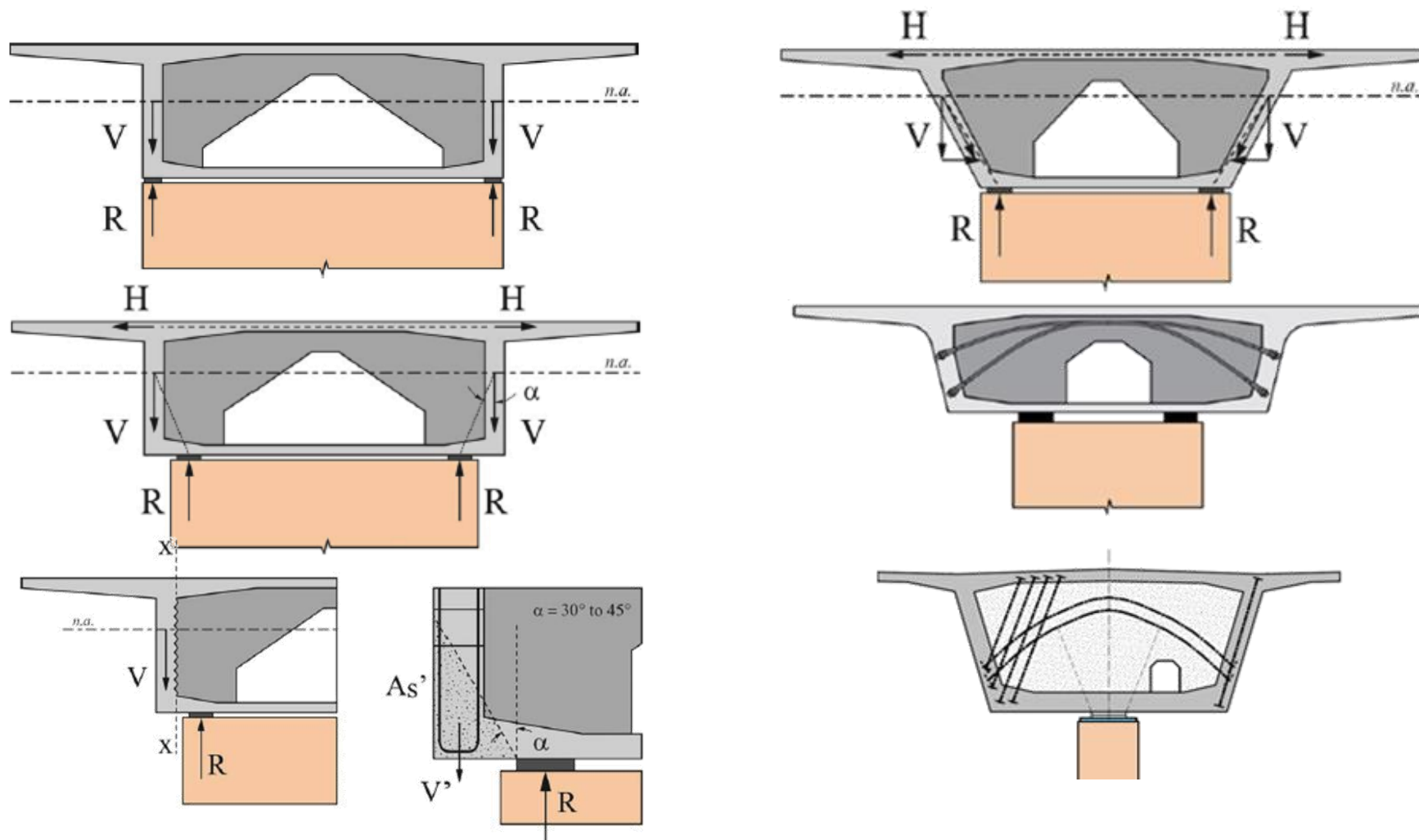
Могућност изостављања ослоначких дијафрагми

Дијафрагме

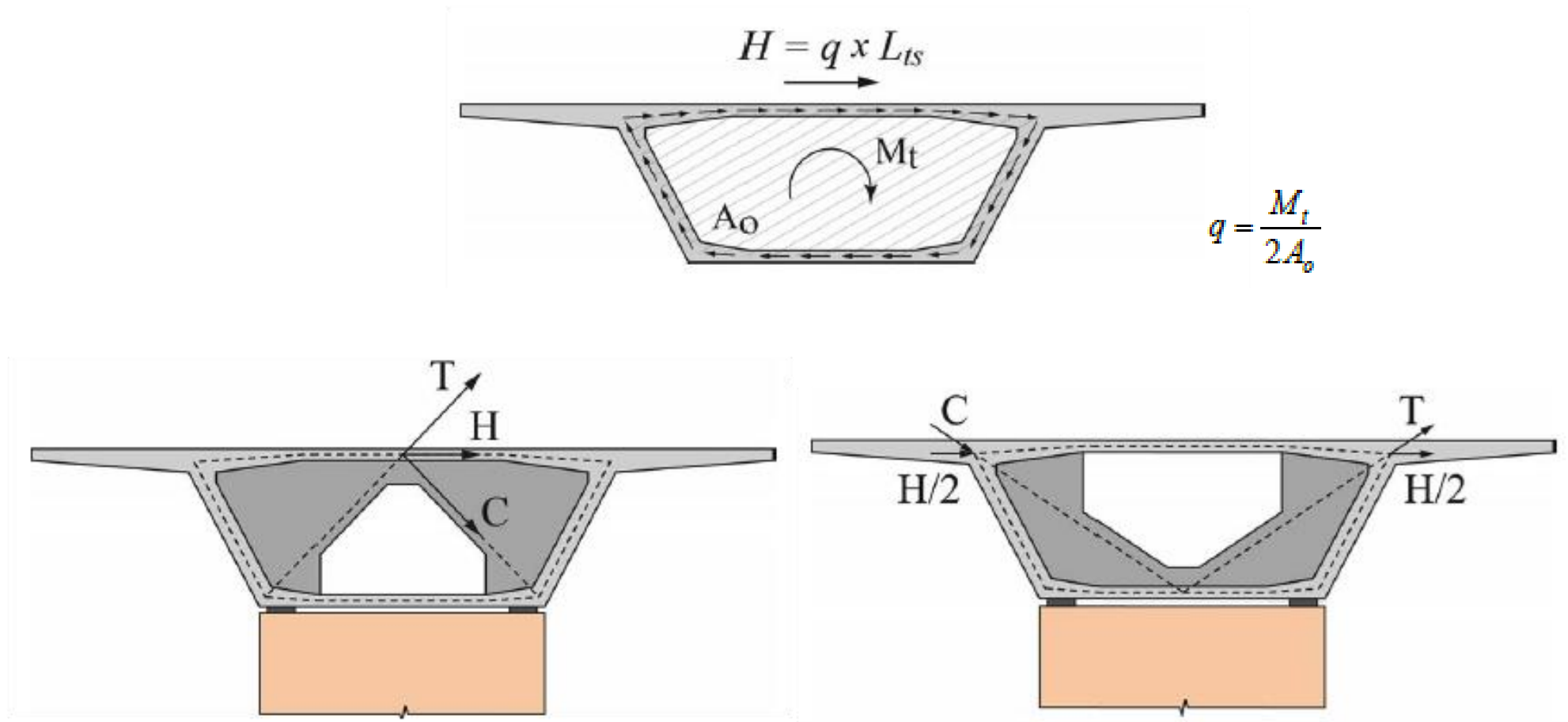


- У распону нису неопходне али ако их има дебљине до 30 - 50 cm.
- Моделирају се као високи носачи.
- При индиректном ослањању су веће дебљине 50 - 80 cm, ради преноса попречне силе из ребара на лежишта.
- Начин армирања и/или претходног напрезања зависи од начина ослањања.
- При директном ослањању повољна је хоризонтална арматура у облику укосница која обавија вертикалну арматуру ребра.
- Отвор ради пролаза кроз сандук.
- Доња плоча и ребра су монолитно спојени са дијафрагмом, док се зависно од начина ослањања веза са горњом (коловозном) плочом се може осварити:
 - По целој ширини
 - У подручју вута.
- Између вута плоча није везана са дијафрагмом да би се избегли негативни момент у њој.
- Код дебелих доњих плоча са односом ширина/дебљина < 10 , довољно је уз ребра сандука извести њихово проширење који преузимају улогу дијафрагми.
- При дебелим ребрима (ширина /дебљина < 7 и дебеле доње плоче) дијафрагме се могу изоставити јер је сандук крут.

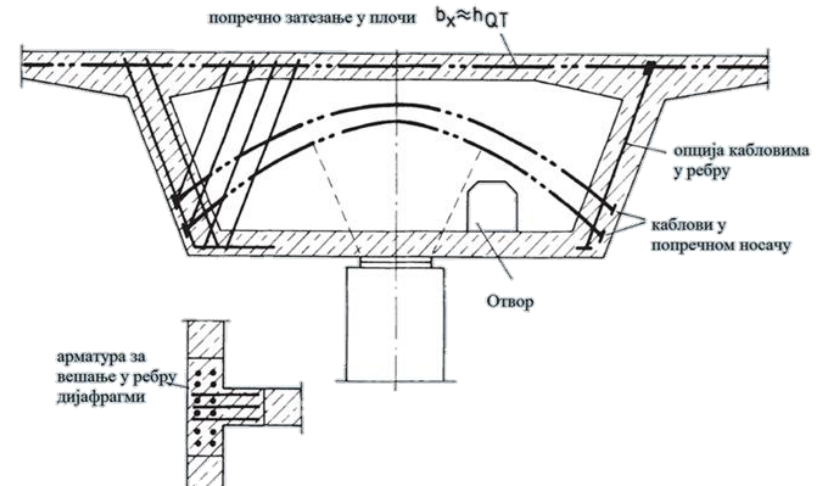
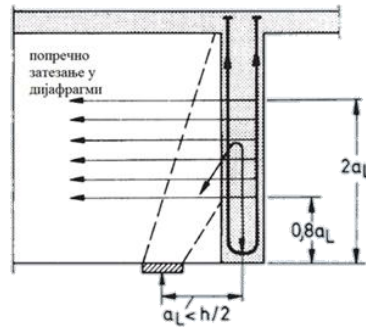
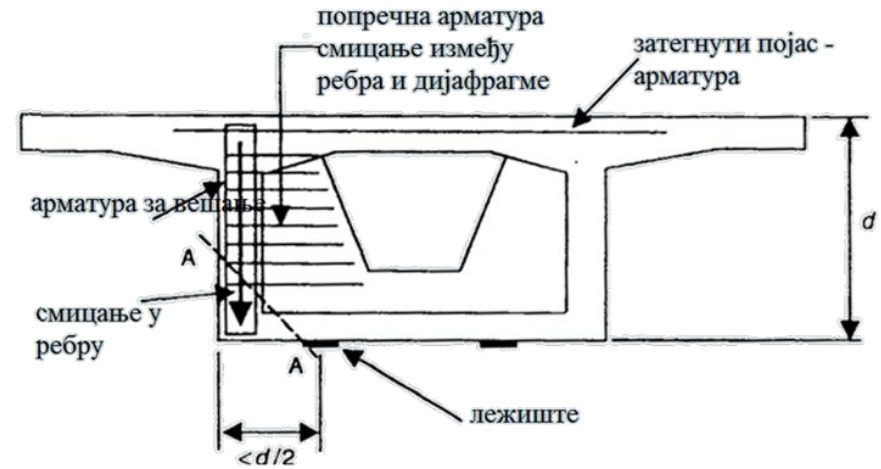
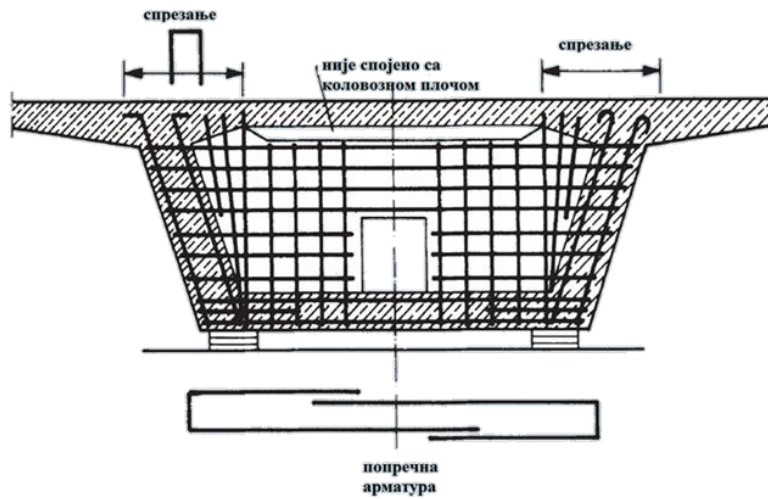
Ослањање сандука

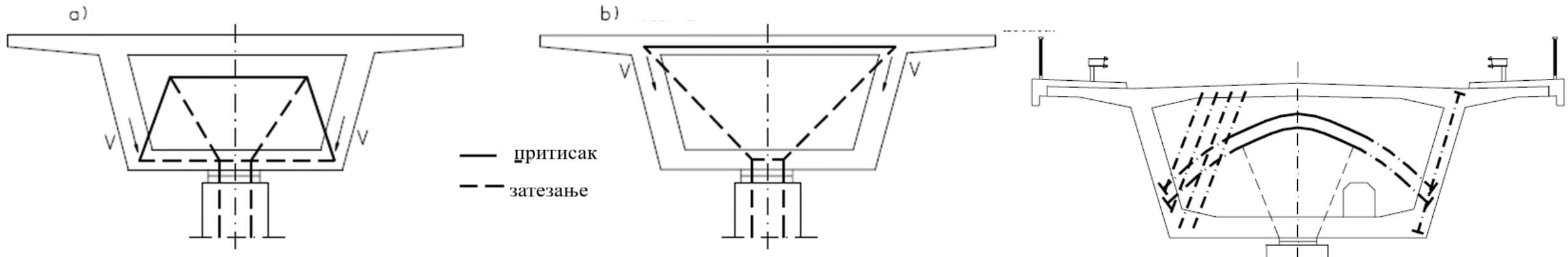


Пријем торзије на ослонцима



Армирање дијафрагме

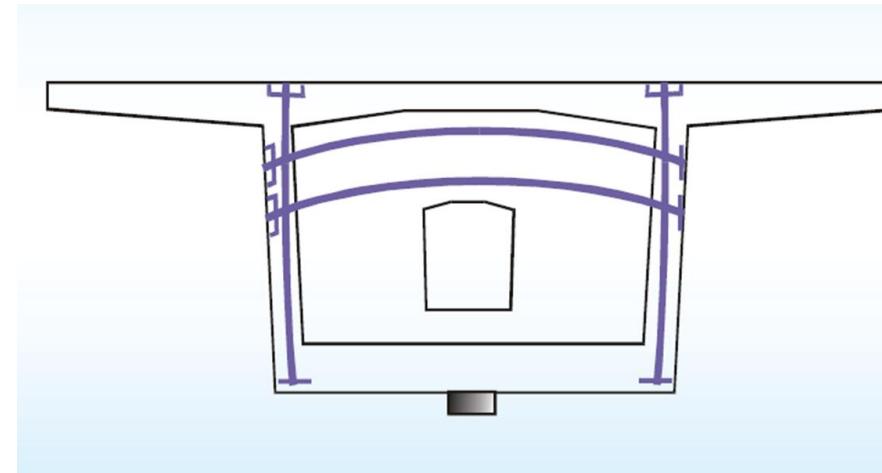




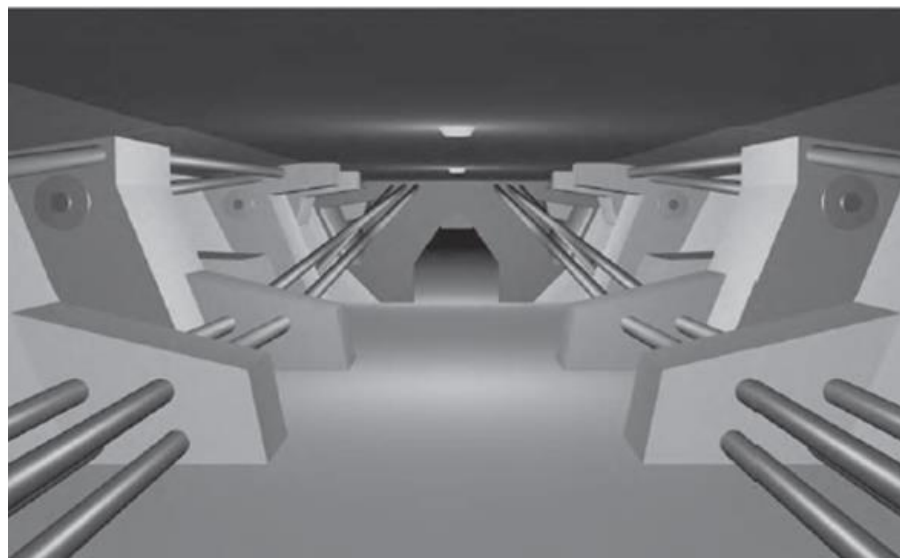
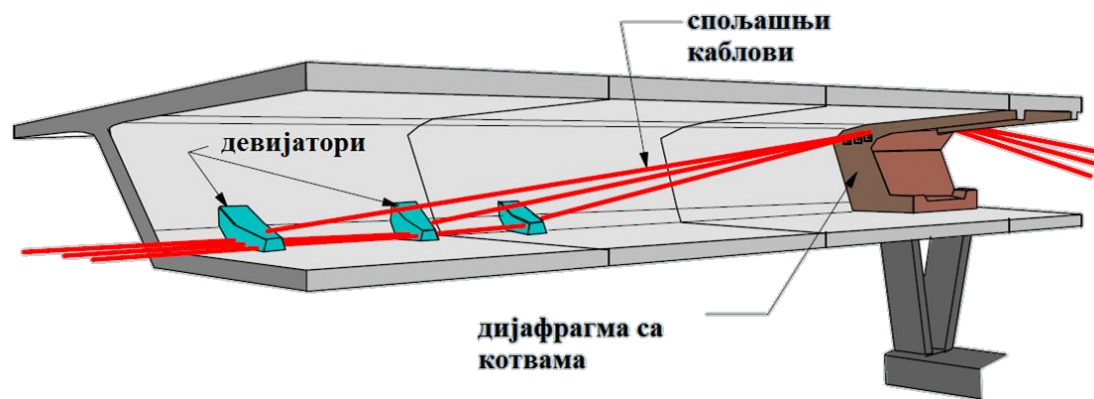
Када се део сила при индиректном ослањању преузима кабловима у попречном правцу кроз дијафрагму, они се сидре са спољне у близини доње плоче.

Уколико је простор за сидрење мали па је и број каблова ограничен може се 40% - 60% реакције преузети арматуром добро усидреном у горњи појас дијафрагме.

У овом случају индиректног ослањања потребно је дијафрагму спојити са коловозном плочом, дуж целе ширине.



Екстерно (спољње) преднапрезање



Предности и мане екстерног претходног напрезања

Предности:

- Контрола (преглед) стања каблова је олакшан.
- Ребра без каблова, лакше бетонирање као и изостајање потребе за наставцима каблова у радним спојницама.
- Могућност дотезања (код повећених захтева – оптерећења) или замене каблова.
- Мањи губици услед трења (моностранди имају коефицијент трења од приближно $\mu = 0,06$ / рад).
- Поуздана заштита од корозије, па и могућност допуштања мањих напона затезања или чак прслина те могућност смањења потребног претходног напрезања.
- Мања је осцилација напона за контролу замора (напони у кабловима су уједначени на целој дужини конструкције па локално оптерећење постаје од мањег значаја).
- Могућност бржег извођења. Постављање екстерних каблова је скоро је независно од временских прилика.
- Више нема потребе за испустима (отворима) за при ињектирању на коловозној плочи.

Недостатци:

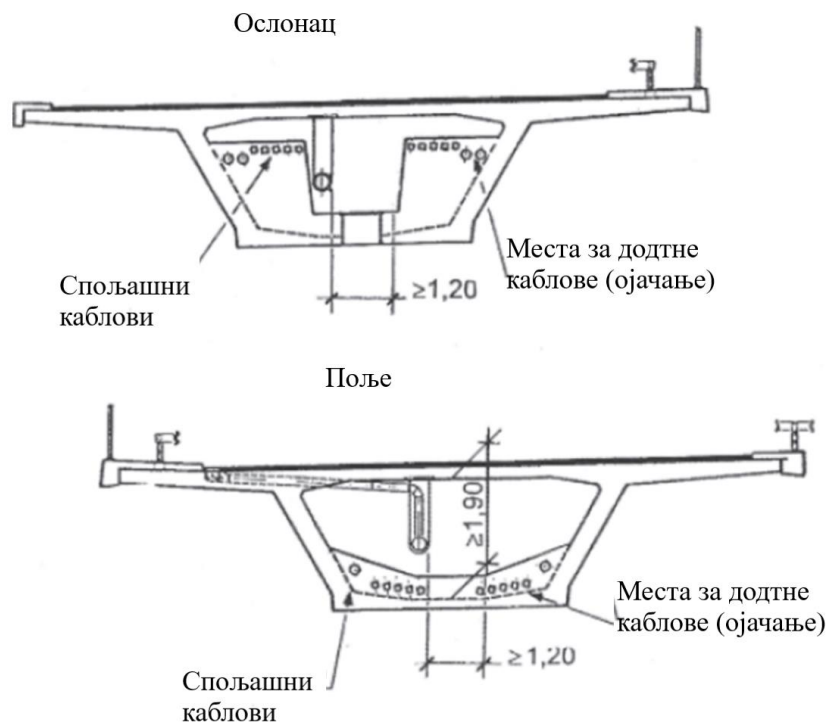
- За сада је опрема и сами каблови и системи скупљи од система унутрашњих каблова са накнадним затезањем.
- Потребна стога контрола и велика тачност при изградњи девијатора те су сложени при извођењу.
- Девијатори ометају померање унутрашње оплате.
- Хоризонтална ексцентричност каблова у односу на ребра и потреба да се преко попречних носача (или рамова) силе аплицирају у пресек јавља се додатно оптерећење.
- Смањен ексцентрицитет каблова што затева или веће висине пресека или више каблова.
- Како каблови нису део пресека може се при контроли граничног стања лома јавити потреба за повећаном меком арматуром.
- Екстерни каблови се не могу искористити као арматура за ограничење ширина прслина што опет захтева већу количину меке арматуре. (ово је можда и добро јер се повечава робусност и трајност конструкције).
- Ако екстерни кабл пукне, то се осећа на читавој дужини носача (код унутрашњих каблова са спојем овај се отказ осећа само локално а на пресецима на растојању од посматраног пресека услед пријањања).

Немачке смернице (друмски мостови)

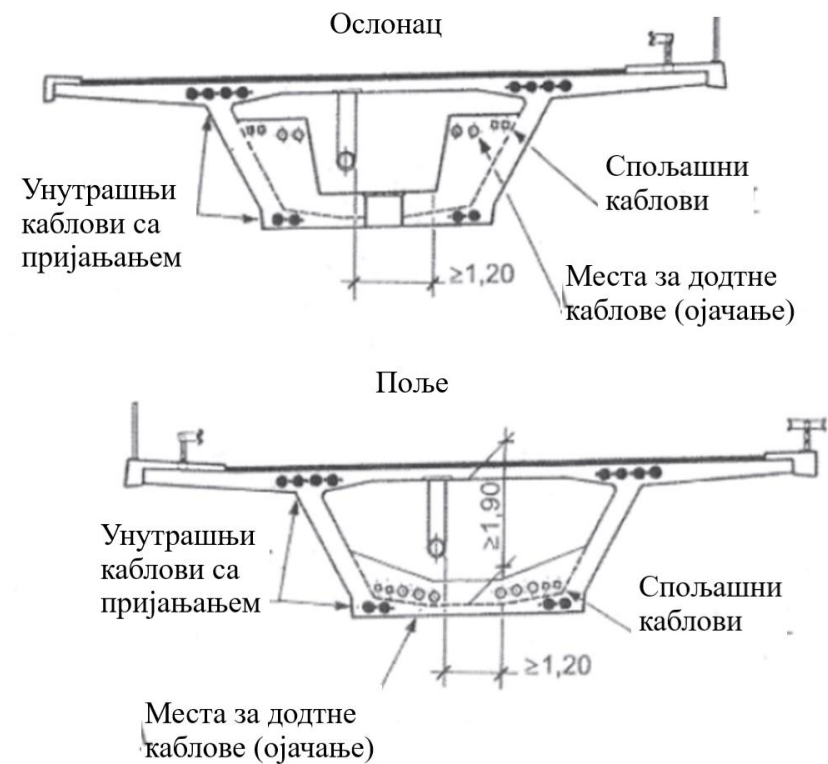
- Уколико се користе спољни у унутрашњи каблови онда се унутрашњи постављају у плочама (не у ребрима).
- Тада се спољним кабловима треба прихватити бар 20% оптерећења (20% укупног претходног напрезања),
- Услед квазисталне комбинације (без ефеката спречених деформација) не треба да се појаве напони затезања
- Опционо овај захтев треба да се испуни за стална дејства и трећину саобраћајног оптерећења (што ЕЦ не тражи).

Примери распореда каблова

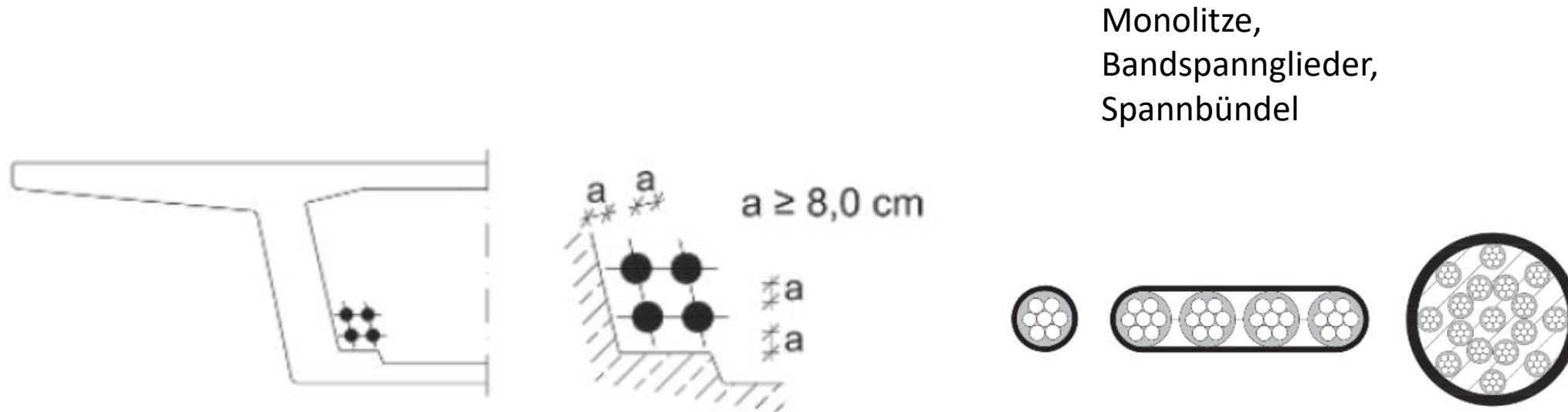
Искључиво спољашњи кабли



Мешовита варијанта



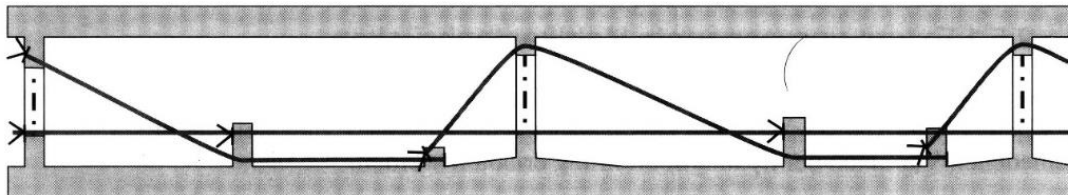
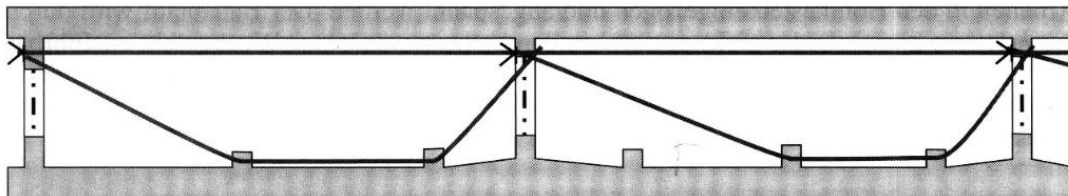
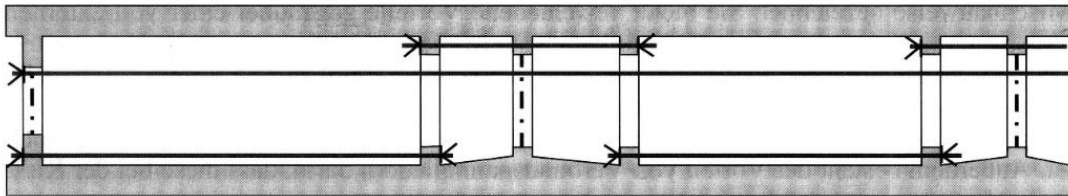
Распоред каблова и пример примењиваних типова каблова



Величина силе у каблу је ограничена на $3MN$, како би се омогућила истовремена замена 2 кабла (по један уз свако ребро).

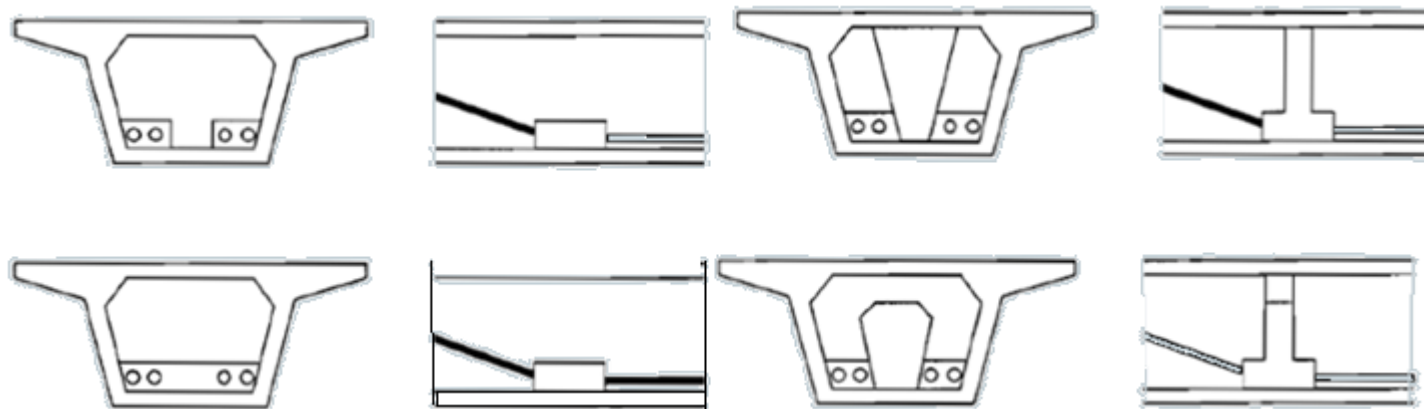
Дужина кабла је ограничена на 200м са размацама девијатора на 35м.

Вођење екстерних каблова

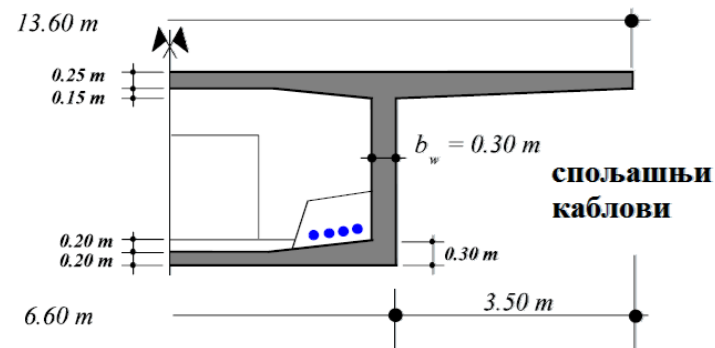
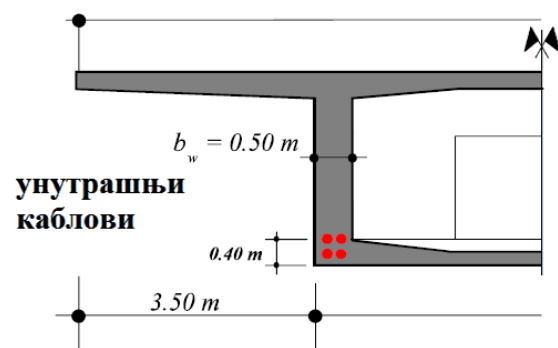
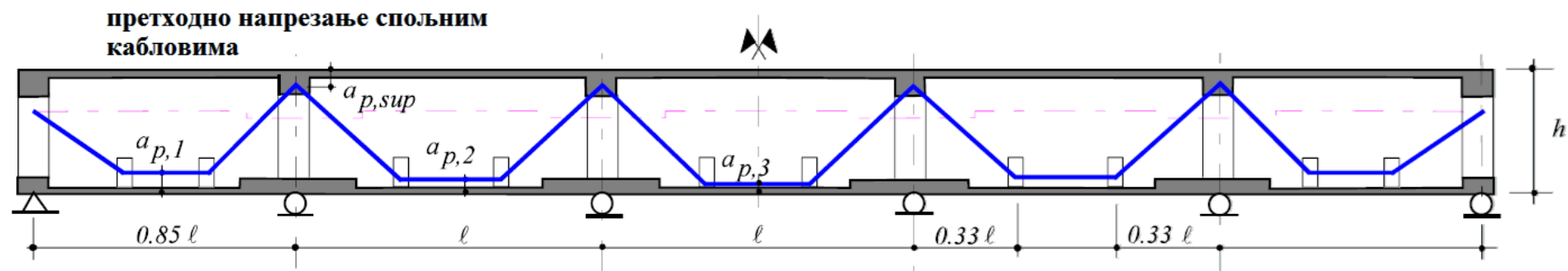
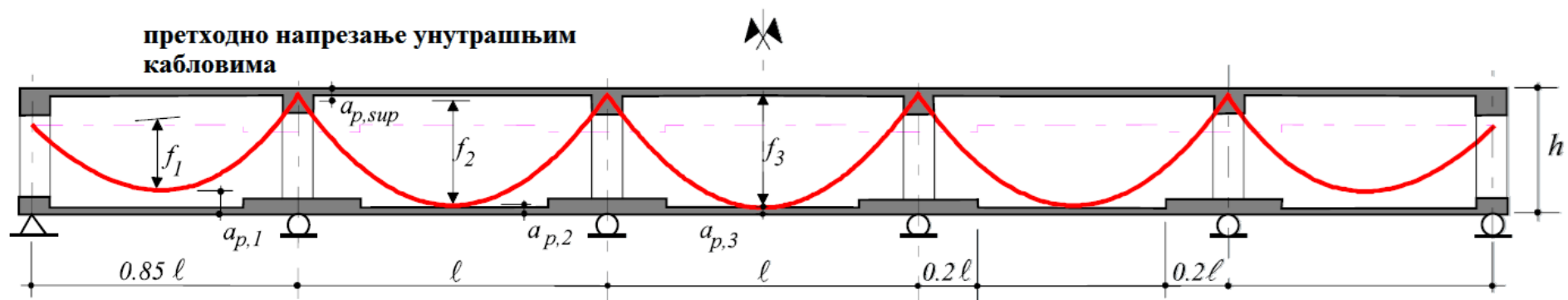


- Кад каблови иду хоризонтално, биће их више али се лакше мењају.
- Полигоналне трасе боље парирају утицајима од оптерећења али захтевају постављање прегибних места (девијатора) који отежавају извођење и уносе се веће скретне силе. Димензионисање ових области се обично обавља помоћу МКЕ или модела штапова и затега, уз ограничење напона у арматури на 180МПа (ограничење прслина). Повећани фактори сигурности за силу претходног напрезања према ЕЦ 2. услед непоузданости модела.

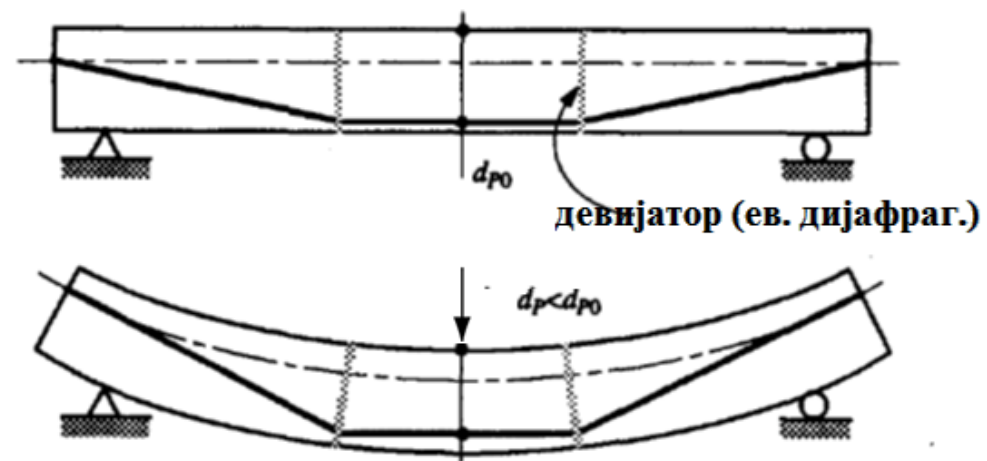
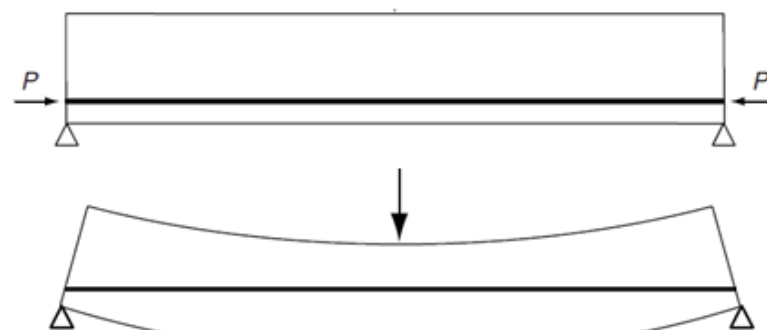
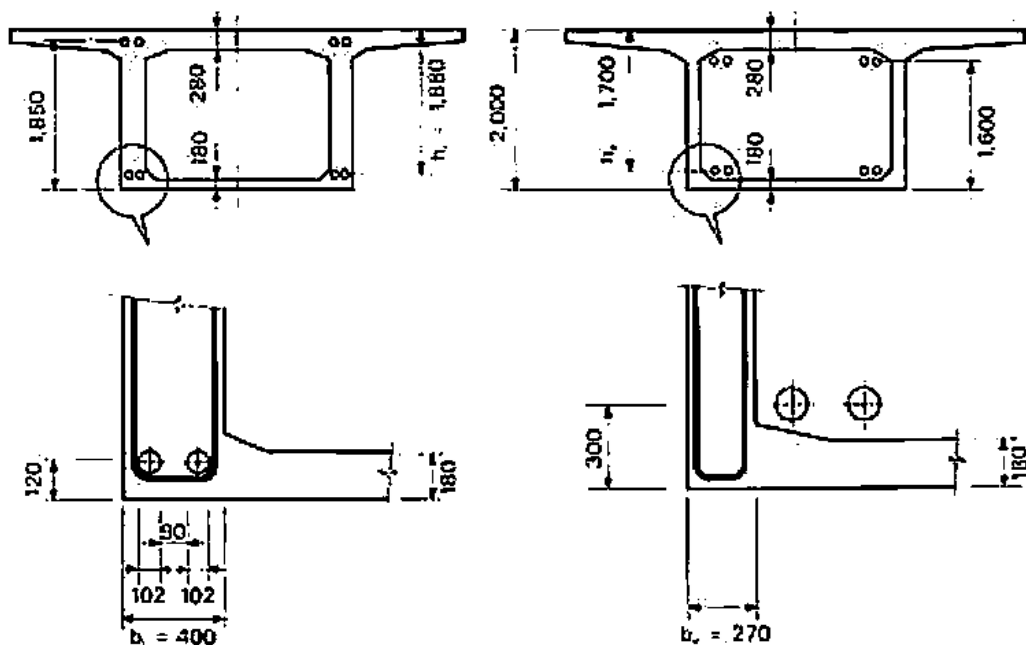
Варијанте девијатора



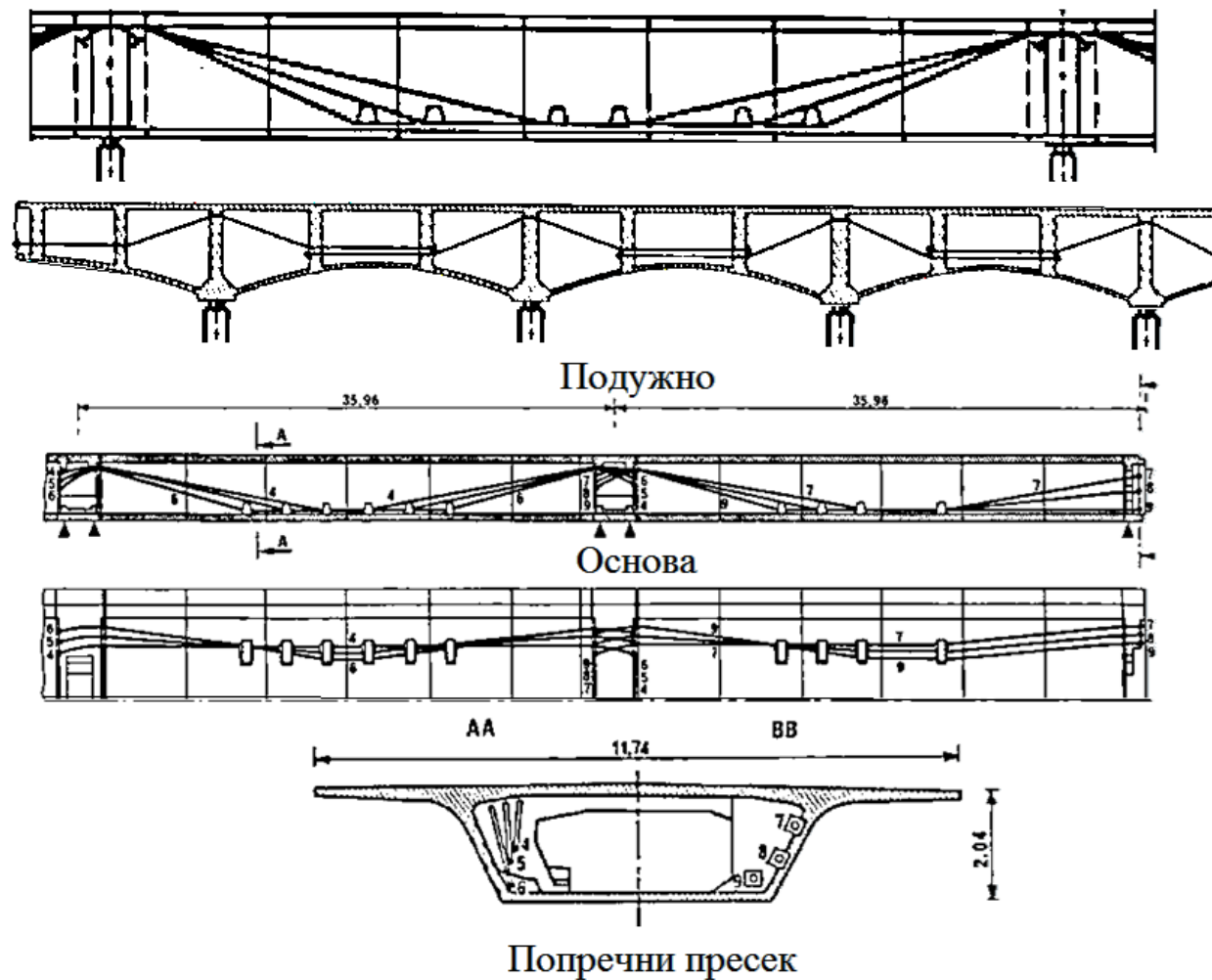
Унутрашњи и спољашњи каблови



Значајне разлике



Варијанте вођења спољних каблова

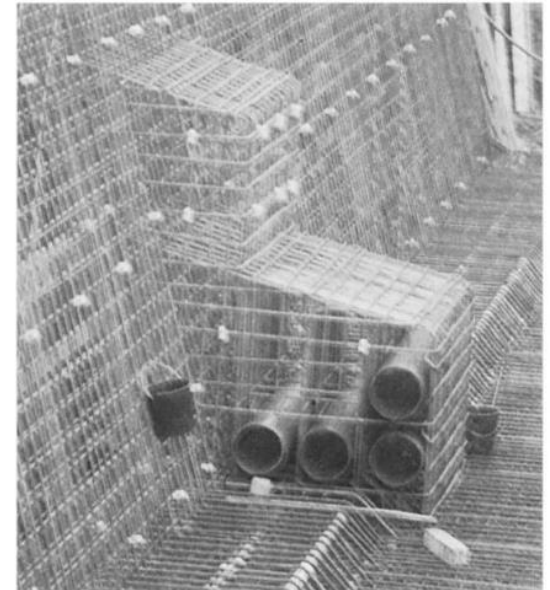
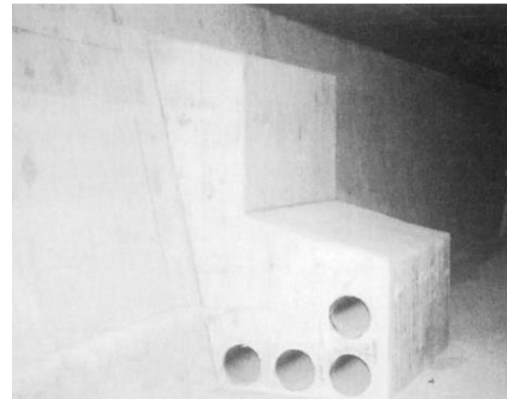
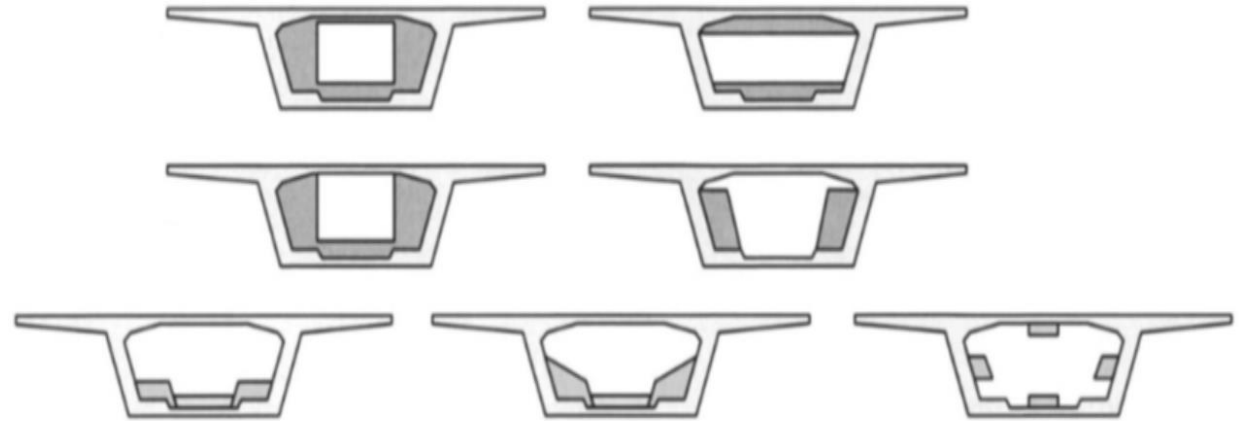


Анкерованье и девијатори

На местима сидрења и девијатора јављају се велике хоризонталне и/или вертикалне силе које треба увести се у ребра и у горњу и/или доњу плочу сандука. У ту сврху су потребне попречне греде, рамови или испусти.

Није довољно доказати само проблем локалног пријема силе, већ и резултирајући напон савијања у ребру и плочама могу бити изложени високим нивоима корозије, па према томе ширине прслина морају бити ограничене. То се може постићи ограничавањем напона у арматури.

Модел за анализу ових подручја су модел решетке или локални МКЕ. Области су значајо армиране.



Разлике у контролама у односу на унутрашње каблове са спојем

- За доказ прслина површина каблова се не узима у обзир
- Губици услед временских деформација се рачунају према

- Између каблова и бетонске конструкције може доћи до температурне разлике, што можда мора бити узето у обзир. Према ЕЦ 2, се сугерише температурна разлика између ± 10 К између спољњих каблова и бетонске конструкције.

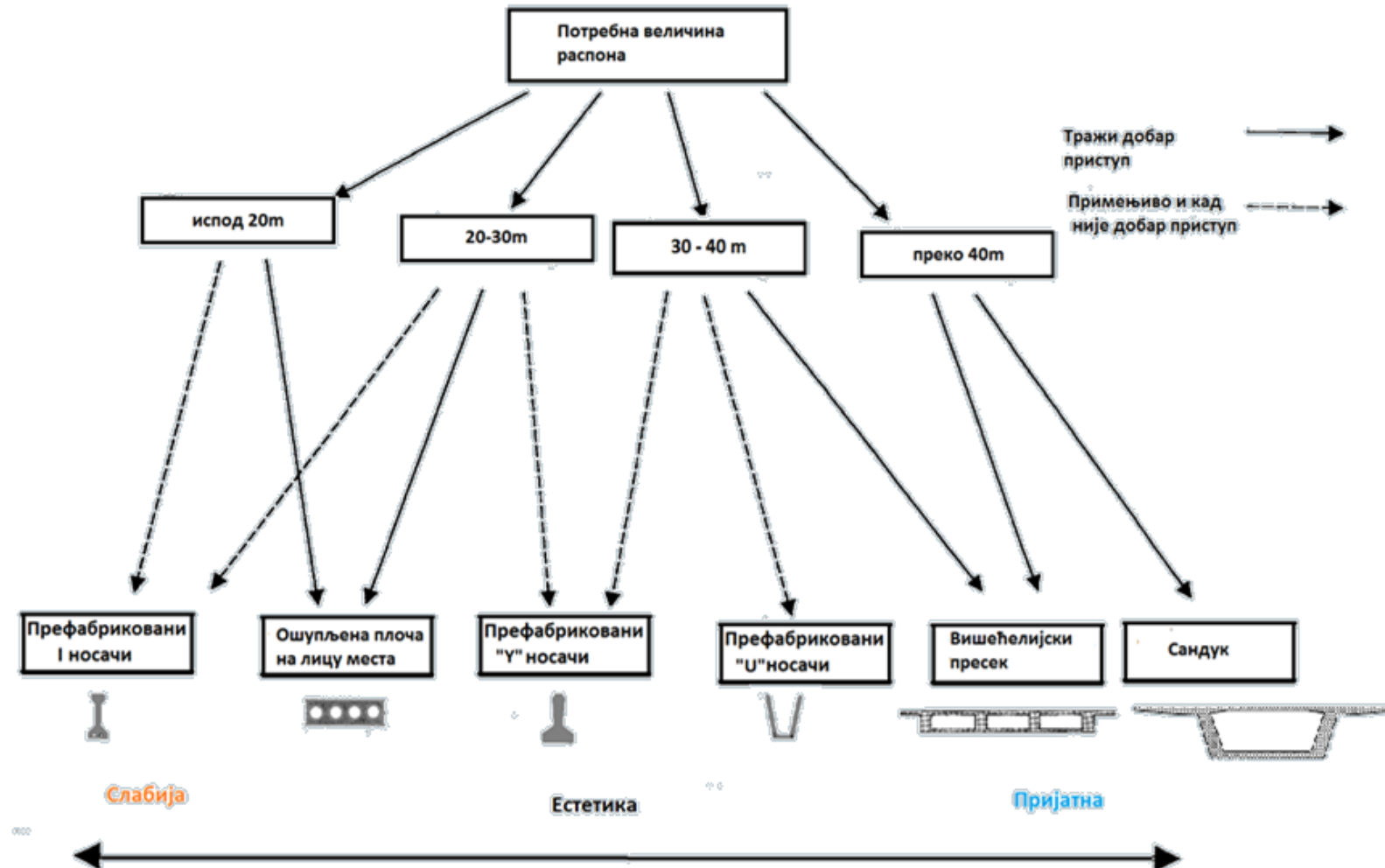
$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_p + \alpha_e \cdot \varphi(t, t_0) \cdot (\sigma_{cg} + \sigma_{cp0}) + \Delta\sigma_{pr}}{1 - \alpha_e \frac{A_p}{A_c} \left[1 + \frac{A_c}{I_c} \cdot z_{cp}^2 \right] (1 + 0,8\varphi(t, t_0))}$$

$$= \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_s + \alpha_e \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \frac{1}{l} \int_s (\sigma_{cg} + \sigma_{cp0}) \cdot ds + \Delta\sigma_{pr}}{1 - \alpha_e \cdot (1 + 0,8\varphi(t, t_0)) \frac{1}{l} \cdot \frac{1}{\sigma_{p0}} \int_s \sigma_{cp0} ds}$$

Предности и мане одређених типова попречних пресека бетонских мостова

Тип пресека	Предности	Мане
Плочаст	• Једноствено извођење • Погодан за косе, мостове у кривини и промењиве ширине коловоза	• Неефикасан пресек • Мали распони
Ребрасти извођени на лицу места	• Погодни за континуалне носаче средњих распона • Примена код косих мостова	• Извођачки захтевни • Спорије извођење
Ребрасти префабриковани	• Редуковани радови на градилишту • Убрзано извођење • Већи квалитет бетона носача	• Неопходан приступ и опрема • Мања естетска вредност • Ограничена могућност хоризонталне кривине
Сандучасти	• Ефикасан пресек • Подесан за комплексну геометрију • Естетски задовољавајући • Покрива средње до великих распона	• Повећани захтеви при извођењу • Спорије извођење

Пресеци и распони коловозне конструкције



Утрошак материјала

