



GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
KATEDRA ZA MOSTOVE

MOSTOVI II

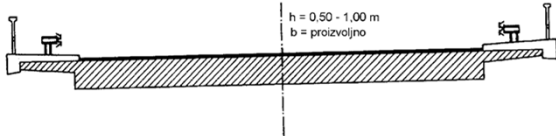
Pločasti betonski mostovi



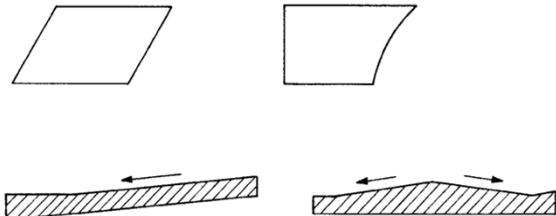
Građevinski fakultet u Zagrebu
 Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Ploče betonirane na mjestu gradnje

- AB
- $L_{max} = 15,0 \text{ m}$
- $L_{i,max} = 20,0 \text{ m}$
- $L_{i,max} (h_{prom}) = 25,0 \text{ m}$
- $h = 50 - 100 \text{ (90) cm}$



- PB
- $L_{max} = 25,0 \text{ m}$
- $L_{i,max} = 30,0 \text{ m}$
- $h = 80 - 125 \text{ cm}$





Građevinski fakultet u Zagrebu
 Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Ploče betonirane na mjestu gradnje

- $h > 80(70)\text{cm}$ –
- Izgubljena oplata u obliku kartonskih i metalnih cijevi ili pravokutnih profila
- Puna tijela od polistirena
- Rupe za odvodnju u najnižoj točki šupljine
- Poprečna rebra $b \geq h/2$
- Nedopuštene (u razvijenim zemljama)

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Ploče betonirane na mjestu gradnje

- Oblikovno uspjeti presjeci bez istaknutih konzola s podebljanim nosivim dijelom ploče

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje ploče betonirane na mjestu gradnje

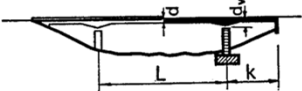
- AB ploče

a)



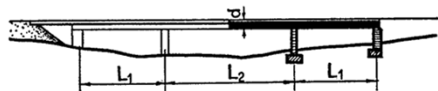
$L_0 = \text{do } 15 \text{ m}$
 $d = L/15 \text{ do } L/25$

b)



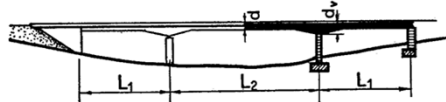
$L_0 = 6 \text{ do } 15 \text{ m}$
 $k = 0,2L \text{ do } 0,3L$
 $d = L/14 \text{ do } L/25$
 $d_v = d \text{ do } 2d$

c)



$L_2 = \text{do } 20 \text{ m}$
 $d = L/20 \text{ do } L/25$

d)



$L_2 = \text{do } 25 \text{ m}$
 $d = L_1/25 \text{ do } L_1/30$
 $d_v = d \text{ do } 2d$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje ploče betonirane na mjestu gradnje

- AB ploče

Tip mosta	Statički sustav	L (m)	h/L
Cestovni	Prosta greda	15,0	1/17
	Kontinuirani nosač	20,0	1/22
Željeznički	Prosta greda	12,0	1/12
	Kontinuirani nosač	15,0	1/16

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić



Oblikovanje Ploče betonirane na mjestu gradnje

• PB ploče

Tip mosta	Statički sustav	L (m)	h/L
Cestovni	Prosta greda	25,0	1/22
	Kontinuirani nosač	30,0	1/28
Željeznički	Prosta greda	20,0	1/16
	Kontinuirani nosač	20,0	1/18



Građevinski fakultet u Zagrebu

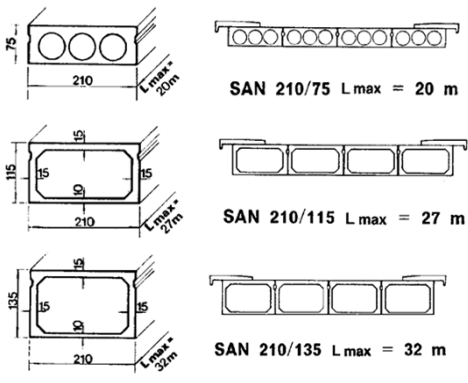
Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Razvoj oblika poprečnih presjeka					
					
					
					
					
					
					
	Građevinski fakultet u Zagrebu			Mostovi II	Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Razvoj oblika poprečnih presjeka

- Tipiski montažni nosači (Viadukt) adhezivno prednapeti
- Uzdužna kontinuirana spojnice (armirana i zalivena betonom).
- Poprečna veza na krajevima nosača - kabelom za naknadno prednapinjanje.
- Kontinuitet – kratke ploče na mjestu
- Trajnost spojnica upitna
- Povrh nosača izvodi se ploča debljine 20 cm



SAN 210/75 $L_{max} = 20 \text{ m}$

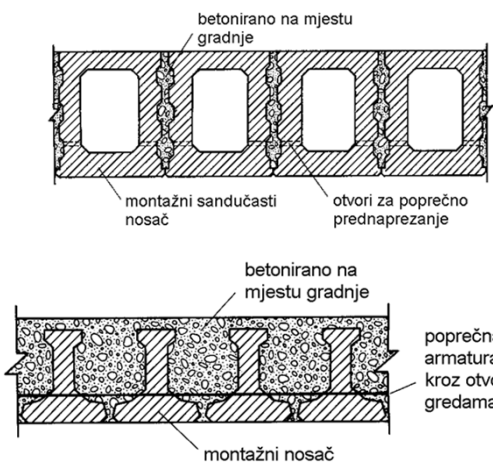
SAN 210/115 $L_{max} = 27 \text{ m}$

SAN 210/135 $L_{max} = 32 \text{ m}$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Oblikovanje Razvoj oblika poprečnih presjeka

- Polumontažna izvedba
- Strana praksa
- Poprečno prednapinjanje (ne nužno)
- Nazubljenja - povoljna za prijenos poprečnih sila - razdioba opterećenja



betonirano na mjestu gradnje

montažni sandučasti nosač

otvori za poprečno prednaprezanje

betonirano na mjestu gradnje

montažni nosač

poprečna armatura kroz otvore u gredama

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Proračun po teoriji greda

- $I_y \leq I_x/2$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Proračun po teoriji greda

- Mjerodavno opterećenje jedinične trake

$$b_s = b_l + \frac{A_{ar}}{A_a} l_x \leq \frac{l_y}{2}$$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

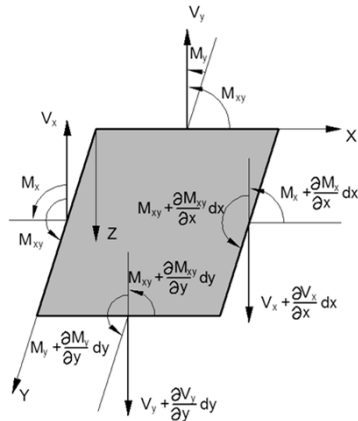
Proračun-Pravokutne ploče	
	Proračun po teoriji greda • Uzdužni raspored opterećenja i pojednostavnjenje • Pokrivanje dijagrama momenata savijanja i poprečnih sila za središnju traku širine 1 m • Rubne dijelove ploče širine $0,2 l_y$ ojačavamo s 10 do 20% više glavne armature
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče	
	Proračun po teoriji greda • Proračun i dimenzioniranje skrivenih greda • Preostale dijelove ploče armiramo s 20% vrijednosti glavne uzdužne armature
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Teorija ploča

- Debljina ploče je mala u odnosu na raspon
- Progibi ploče su mali u odnosu na debljinu ploče
- Materijal je izotropan (jednaka krutost u svim pravcima unutar ravnine nosača) i elastičan
- Izrazi za ortogonalnu armaturu i kosu armaturu u knjizi

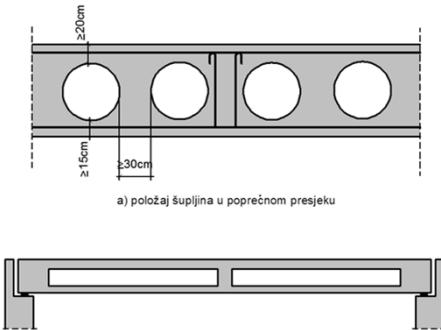


Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Teorija ploča - šuplje ploče kao pune ploče

- Visina i širina šupljina manja je od 60% visine, odnosno širine ploče
- Unutar ploče postoji dostatan broj poprečnih rebara
- Kod oblikovanja presjeka poštovane su minimalne izmjere



a) položaj šupljina u poprečnom presjeku

b) uzdužni raspored šupljina

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Rüsch-ove tablice

- Isključivo za opterećenja cestovnih mostova prema DIN 1072
- Računaju se pojedine najveće vrijednosti unutarnjih sila od djelovanja stalnog i prometnog opterećenja – približno se određuje raspored u ploči, pomoću dijagrama
- Uzdužni momenti M_x
- $M_{xr} > M_{xm}$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Rüsch-ove tablice

- Pozitivni poprečni momenti M_y
- $M_{ym} > M_{yr}$
- $M_y \leq 1/5 \max M_x$
- Negativni poprečni momenti na rubovima – od opterećenja na konzolama
- Dimenzioniranje kutova ploče na savijanje i torziju

- Kut ploče, dolje: $M_x^* = M_x + |M_{xy}|$

- Kut ploče, gore: $M_x^* = M_x - |M_{xy}|$

$M_y^* = M_y + |M_{xy}|$

$M_y^* = M_y - |M_{xy}|$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Poprečne sile

- Mjerodavne širine rasprostiranja za proračun posmičnih naprezanja na ležaju
- Potpuni linijski ležaj – poprečne sile nisu kritične,
- Kratki linijski ili točkasti ležaji – potrebna posmična armatura u ploči.
- Mjerodavna poprečna sila na udaljenosti d (EC2)
- Potreba za određivanjem pop.arm.

$$V_{Sd} \geq V_{Rd} \quad (EC2)$$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Proračun ploče metodom roštiljne analize

- Zadovoljavajuća točnost za inženjersku praksu
- Br. uzdužnih nosača do 20, $b_{1-2} \geq 2d - 3d$, Min. 4 el. u uzduž. smjeru
- Zadati dimenzije pop. i uzd. elemenata (zbog krutosti), pop.el.sa $\gamma=0$
- Moment inercije

$$I = \frac{b d^3}{12}$$

- Kod roštiljne analize torzijska se konstanta obično reducira na polovicu vrijednosti u oba smjera pa torzijska krutost pojedinog elemenata ploče teorijski približno iznosi $2I$

$$C = \frac{1}{2} (0,333 \cdot b \cdot d^3) \approx \frac{b d^3}{6}$$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Proračun ploče s uzdužnim spojnica

- Mala krutost na poprečno savijanje uzdužnih spojnica
- Poprečna razdioba preko poprečnih sila – manje učinkovita
- Uzdužni nosači s krutim istakama koje su povezane ili zglobovima ili elementima male krutosti

Građevinski fakultet u Zagrebu
Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Armiranje punih ploča mekom armaturom

- Uzdužni smjer

krajeve poviti na licu mjesta (sidriti pod kutem 15°)

bez nastavljajanja armature od 0,3L do 0,7L

Građevinski fakultet u Zagrebu
Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Armiranje punih ploča mekom armaturom

- **Poprečni smjer**

Bez posmične armature (vilica)

rubna vilica
 $e=150 - 250\text{mm}$

s vilicama na razmaku $v \geq 0,4\text{m}$

glavna armatura u 2 reda:
razmak između redova min max d_e

min max d_e

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Pune ploče od prednapetog betona

- Uzdužni kabeli iznad donje mreže na držače
- Ispitivanja na posmik - sidrenje na $h/3$
- Poprečno: grupe na 40 cm – prolaz osoblja pri izvedbi
- Poprečna armatura za sile cijepanja od sidrenja kabela
- $b < 10\text{m}$ - lagano centrično prednapinjanje u srednjoj $1/3L$ (protiv uzdužnih pukotina)
- $b > 10\text{m}$ – poprečno prednap. i na ležajima (zbog temp. i utjecaja od spriječene deformacija)

izgled sidra

nategnuto sidro i nepokretno sidro izmjenično

rubna vilica

vilica - držač

0,4 m za prolaz

lagano centrično poprečno prednaprezanje
 $x=0,3$ do $0,7 L$; $\sigma_{y,p}=P/(h-e) \approx 0,3 \text{ MPa}$

gornja mreža dodana kod betoniranja

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Pune ploče od prednapetog betona

- Skretne sile direktno predati na ležaje
- Što veće skretne sile naspram gore u polju

skretne sile

$\leq 1,5h$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Pune ploče od prednapetog betona

- Poprečni kabeli - ispod uzdužnih kabela,
- Linija prema dijagramu momenata savijanja i poprečnih sila

poprečni presjek nad srednjim osloncem

uzdužni presjek

vođenje uzdužnih kabela koncentrirano iznad stupova;
poprečni nosač s armaturom za ovješanje za indirektno oslanjanje

poprečni nosač s viličama

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Pune ploče od prednapetog betona

- Kabeli u prednapetoj ploči trapeznog poprečnog presjeka

presjek u polju

uzdužni kabeli samo ovdje

Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Šuplje ploče

- Dijagram kosih vlačnih naprezanja narušen zbog šupljih prostora - osjetljive su na velike poprečne M i pripadne V
- Poprečna rebra u ($l/2$) i na osloncima, ako je $l/b \leq 4$

poprečna rebra

Građevinski fakultet u Zagrebu

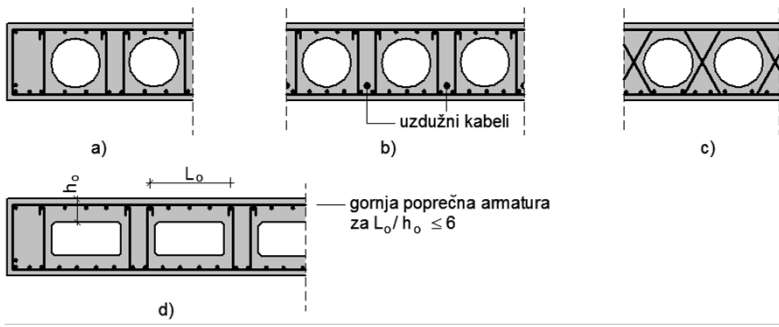
Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Šuplje ploče

- Uzdužna rebra – spona na max. $0,3 h$ ili 30 cm
- Poprečna armatura - jedan red armature dolje i gore
- P vozila prenosi se preko šupljine djelovanjem svoda
- Za pravokutne šuplje ploče → uvjet: $l_o/h_o \leq 6$

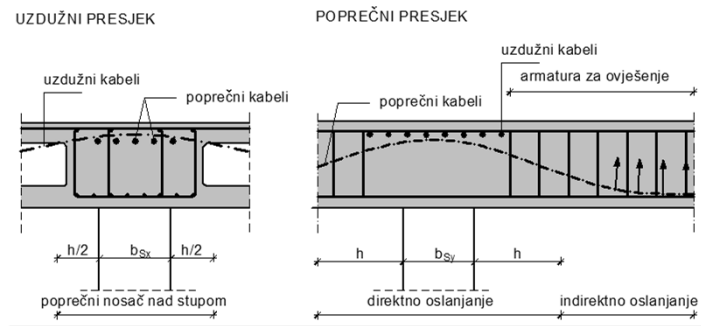


Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Pravokutne ploče

Šuplje ploče

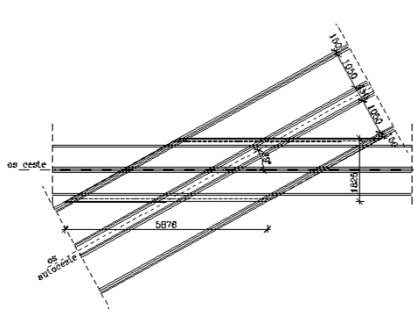
- Široki poprečni nosač iznad stupova kontinuirane šuplje ploče
- Opterećenje između stupova - preuzima se putem skretnih sila i spona



Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

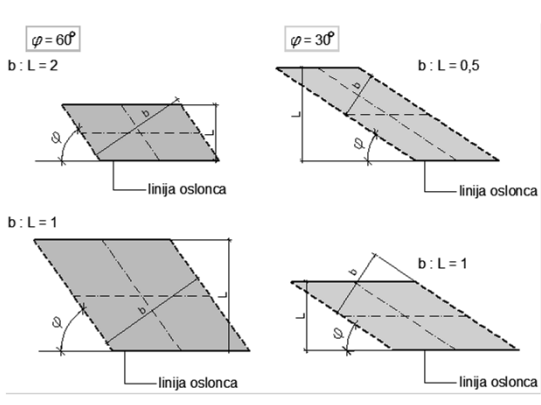
- Prednosti kod kosih križanja:
 - najmanja visina konstrukcije
 - jednostavna oplata
 - opterećenje prenose najkraćim putem na ležaje, pri čemu se smjer glavne armature ili kabla može lako prilagoditi, približno smjeru glavnih momenata



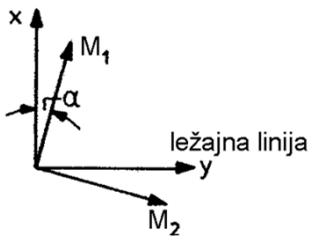
Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

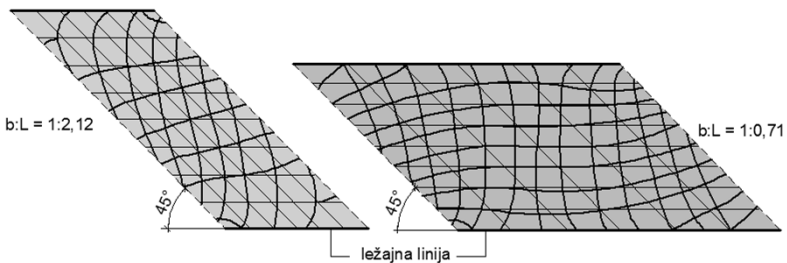
Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

- Najvažniji parametri - ponašanje kosih ploča pod opterećenjem:
 - kut križanja φ ; ako je $\varphi \geq 70^\circ$ može se zanemariti utjecaj kosine
 - odnos b/L
 - način oslanjanja (zaokretni linijski ležajevi u smjeru ležajne linije ili pojedinačni svestrano zakretni ležajevi)



Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom			
	Momenti savijanja - Glavni momenti savijanja M_1 i M_2 - za različite vrste opterećenja mogu imati različite smjerove M_{xy} – torzijski moment - <i>moment smjera</i> - određuje smjer djelovanja glavnih momenata $M_{1,2} = \frac{M_x + M_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}$ $\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2M_{xy}}{M_x - M_y}$ 		
 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić			

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom			
	Momenti savijanja Tijek linija glavnih momenata savijanja jednoliko opterećenih kosih ploča 		
 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić			

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Momenti savijanja

- Proračun na savijanje u praksi ograničen na mali broj točaka (Homborg)
- $m \rightarrow (+) M_{\max}$, polje
- $r \rightarrow (+) M_{\max}$, slobodni rub
- $s \rightarrow (-) M_{\max}$, tupi kut (linijsko oslanjanje)

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Momenti savijanja

- M_1 i M_2 kod kosih ploča pod kutem 60° i s različitim odnosom b/L opterećenih jednolikim opterećenjem

u tupim kutovima jaka promjena smjera djelovanja momenata

b:L=0,8 b:L=1,2

ležadna linija

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Ležajne reakcije, oslanjanje i poprečne sile

- Preporuke za odabir ležaja pri $\varphi > 40^\circ$

linijski ležaj pokretan samo u poprečnom smjeru

klizni ležaj

$\varphi > 40^\circ$

$< 10 \text{ m}$

nepokretan linijski ležaj

klizni ležaj

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Ležajne reakcije, oslanjanje i poprečne sile

- Preporuke za odabir ležaja pri $\varphi < 40^\circ$

zrakasto pokretan

nepokretan ležaj svestrano zaokretan

$4h \text{ do } 8h$

$2h \text{ do } 4h$

ili 2 nepokretna ležaja

$4h \text{ do } 7h$

$< 7 \text{ m}$

zrakasto pokretan

nepokretan ležaj

s ovakvim rasporedom ležaja se na pokretnom kraju dobivaju mali pomaci u smjeru linije ležaja

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom	
	Ležajne reakcije, oslanjanje i poprečne sile • Poprečne sile - iz ležajnih reakcija → posmična armatura • Kod prednapetih ploča u pravilu nije potrebna posmična armatura, • Kod armiranobetonskih ploča može biti potrebna u području ležaja, naročito pri tupim kutevima
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom	
	Armiranje kosih ploča • $\varphi > 60^\circ$, $b/L \geq 1:2$ presjek 1-1
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Armiranje kosih ploča

- $\varphi < 60^\circ$
- Na slobodnim rubovima - traka širine $b_r \approx h$, koja se ojačava uzdužnom armaturom i obuhvaća vilicama

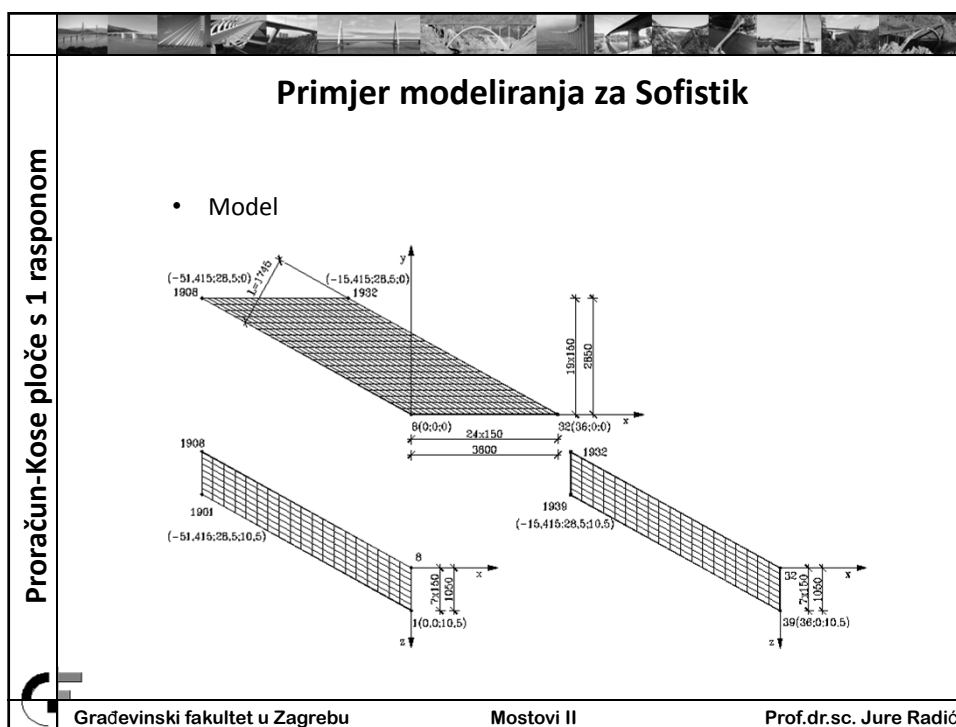
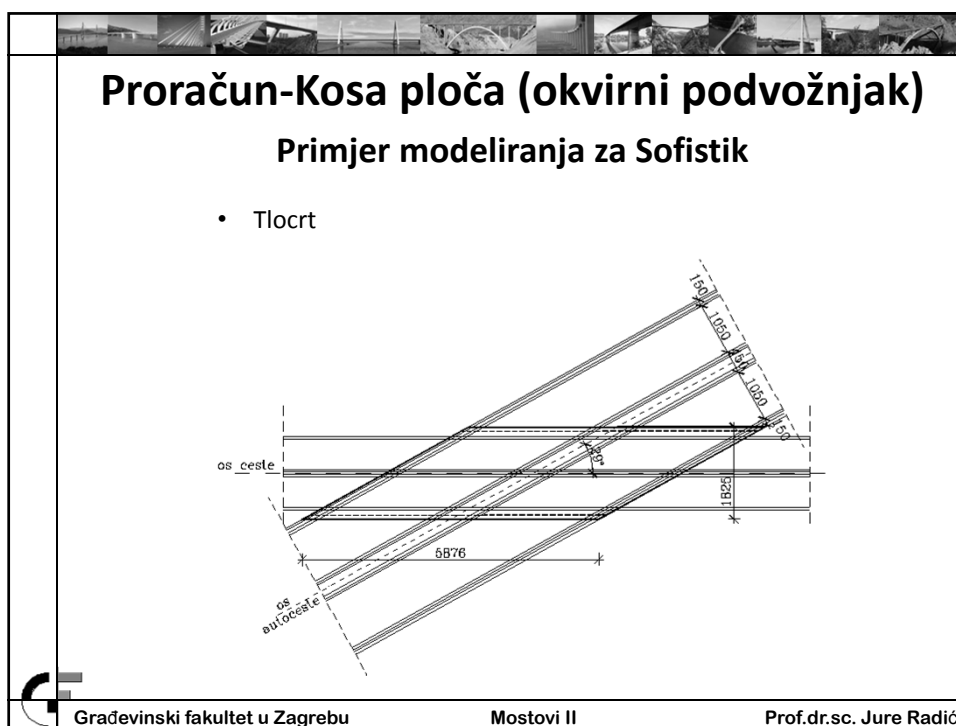
Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom

Armiranje kosih ploča

- $\varphi < 70^\circ, b/L < 1:2$

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić



Primjer modeliranja za Sofistik

• Dodatno stalno opterećenje

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

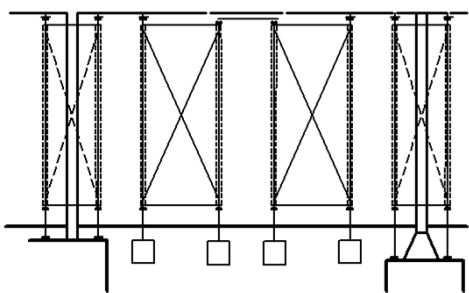
Primjer modeliranja za Sofistik

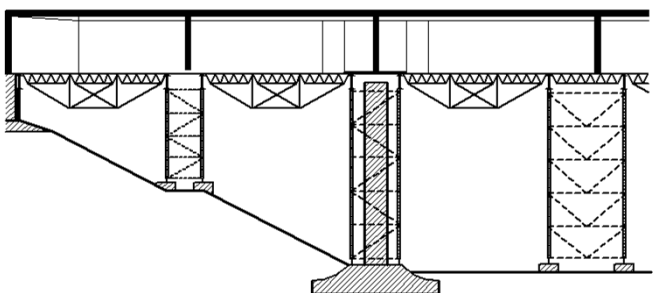
• Prometno opterećenje

Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun-Kose ploče s 1 rasponom	
	Primjer modeliranja za Sofistik Prometno opterećenje (4 od 9 važnijih položaja prometnog opterećenja)
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Izvođenje - Monolitna izvedba	
	Nepokretne skele - Klasične nosive skele - Fiksne, grade se na jednom mjestu - Za ponovnu upotrebu - rastaviti i u dijelovima premjestiti - Prema građi : drvene, čelične i kombinirane - Oplata: daščana, od šperploče i metalna dobro ukrućena i bez vidljivih deformacija od pritiska svježeg betona - Prema načinu oslanjanja: - skele s više oslonaca - s malo oslonaca - s dva oslonca u jednom polju mosta
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Izvođenje - Monolitna izvedba	
	Nepokretne skele <i>Skele s više oslonaca:</i> • Pogodne su za gredne mostove (i plitke svodove), kada građevina nije visoko uzdignuta iznad tla • Drveni stupovi mogu biti zabijeni u tlo kao piloti, a na vrhu povezani naglavnicom, te ukruženi horizontalnim kliještima i križevima. • Drveni stupci kao i čelični mogu biti postavljeni i na betonske pragove. 
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Izvođenje - Monolitna izvedba	
	Nepokretne skele <i>Skele s malo oslonaca:</i> • Uglavnom su čelične, tipizirani dijelovi • Kod mostova različitih raspona i visina iznad terena 
	Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Izvođenje - Monolitna izvedba

Pokretne skele

- Bez rastavljanja mogu se premještati uzduž i poprijeko na most
- Pogodne za ravno i dobro nosivo tlo, te za mostove koji nisu visoko uzdignuti iznad tla i imaju više od tri raspona
- Radne reške na mjestima nul-točaka momentnog dijagrama ($\approx \frac{1}{4} l$).

Građevinski fakultet u Zagrebu
Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Izvođenje - Montažna i polumontažna izvedba

Izvođenje - Montažna i polumontažna izvedba

- Autodizalice
- Portalne dizalice
- Transport specijalnim cestovnim vozilima ili željeznicom
- Za montažu tipskih nosača - 2 autodizalice nosivosti 90-100 t;
kod otežanog pristupa mostu 1 autodizalica nosivosti 300 t
- Montažni način – za nadvožnjake
- Polumontažni – za objekte u trasi

Građevinski fakultet u Zagrebu
Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić