

GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
KATEDRA ZA MOSTOVE

MOSTOVI S PUNOSTIJENIM ČELIČNIM NOSAČIMA



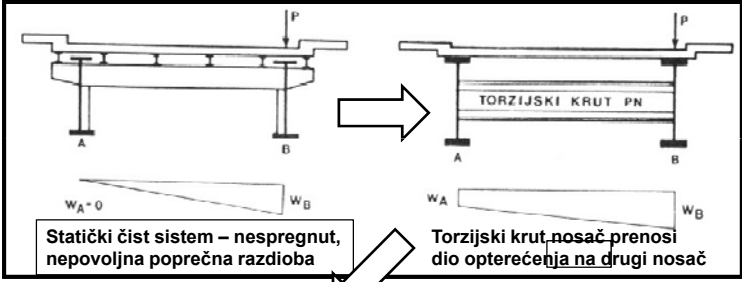
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

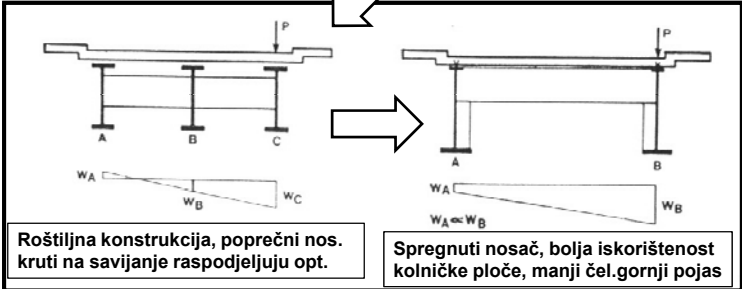
Prof.dr.sc. Jure Radić

RAZVITAK PUNOSTIJENIH ČELIČNIH NOSAČA:

~ 1930.



~ 1930.





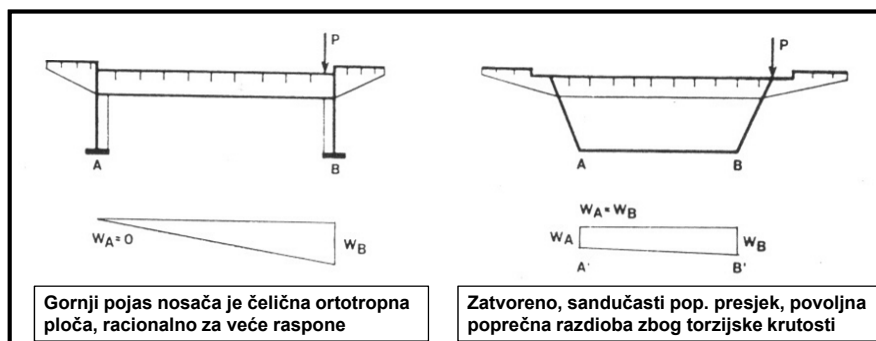
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

RAZVITAK PUNOSTIJIENIH ČELIČNIH NOSAČA:

~ 1950. do danas



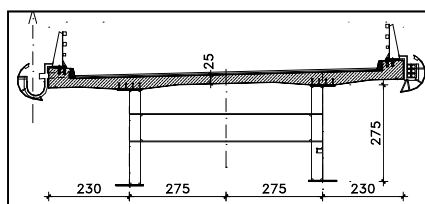
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

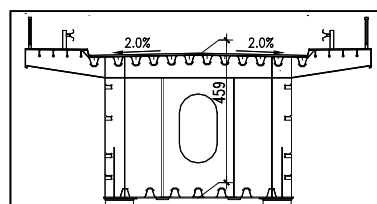
Prof.dr.sc. Jure Radić

PUNOSTIJIENI ČELIČNI NOSAČI

USKOPOJASNI



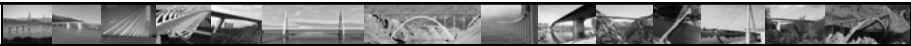
ŠIROKOPOJASNI



Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić



USKOPOJASNI GLAVNI NOSAČI:

- Normali naponi uzrokovani M i N su jednoliko raspoređeni po širini pojasa
- Tlačne pojasnice su osigurane od lokalne nestabilnosti
- Posmična deformacija tlačnog i vlačnog pojasa je zanemariva





Građevinski fakultet u Zagrebu

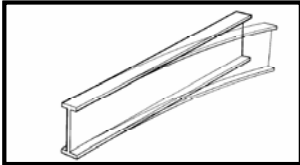
Mostovi II

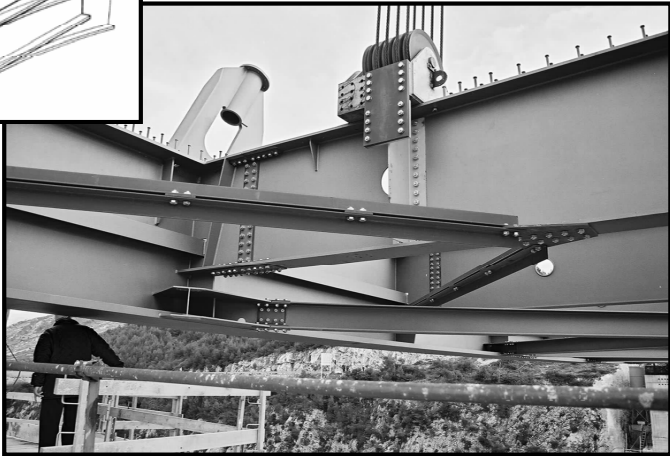
Prof.dr.sc. Jure Radić



USKOPOJASNI GLAVNI NOSAČI:

- Otpornost na bočno izvijanje – horizontalni i poprečni spregovi







Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači

- Više lamela u pojasu – optimalno iskorištenje visine nosača
- Dodavanje lamela – pokrivanje momentnog dijagrama

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

Uskopojasni glavni nosači

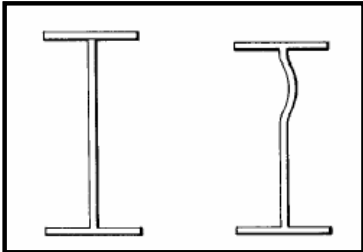
- U današnje vrijeme se rijetko koriste "paketi" lamela jer su dozvoljene veće debljine ($>80\text{mm}$) uz smanjenje f_y

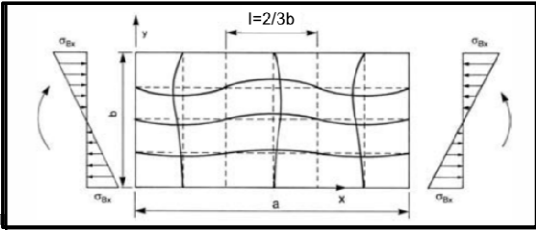
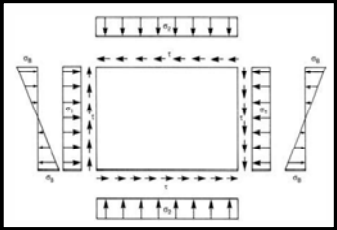
Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači

LOKALNA STABILNOST

- Osiguranje lokalne stabilnosti – poprečna vertikalna rebra za stabilizaciju

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

Uskopojasni glavni nosači

LOKALNA STABILNOST

- Vertikalna rebra se postavljaju na konstantnom razmaku (obično 4 m), a horizontalna se postavljaju kod većih visina hrpta i to obično u donju trećinu visine hrpta (tlačno područje hrpta)




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

Uskopojasni glavni nosači



LOKALNA STABILNOST

STABILNOST PLOČA:
- Tlačni štap (Euler)

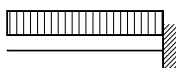
$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2 A}$$

$$I = \frac{bt^3}{12} \quad A = bt$$

korekcija $(1 - \mu^2)$ – za ploču

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t}{l}\right)^2 \cdot K = \sigma_E \cdot K_\sigma$$

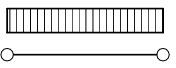
KOEFICIJENTI IZBOČAVANJA: “k”

σ


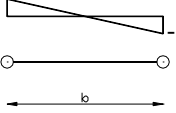
$K_\sigma = 0,423$

Relativna vitkost:

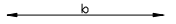
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\sigma_v \text{ (granica pop.)}}{\sigma_{kr} \text{ (Eulerov krit. napon)}}}$$

σ


$K_\sigma = 4,0$

σ


$K_\sigma = 23.9$



b


Građevinski fakultet u Zagrebu

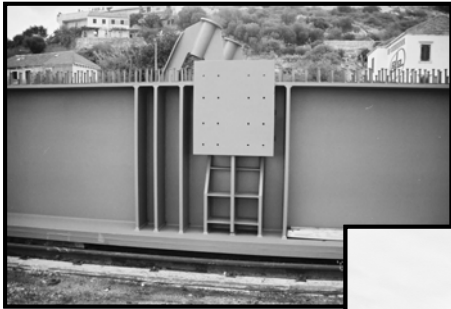
Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači



LOKALNA STABILNOST



Osiguravanje unosa sile u nosač




Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači

LOKALNA STABILNOST

Osiguravanje unosa sile u nosač – ukrućenja za odizanje sklopa




Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači

POSMIČNA KRUTOST I POSMIČNI TOK:

- Posmična deformacija pojasa dovoljno mala da ne utječe na preraspodjelu normalnih napona po širini pojasa

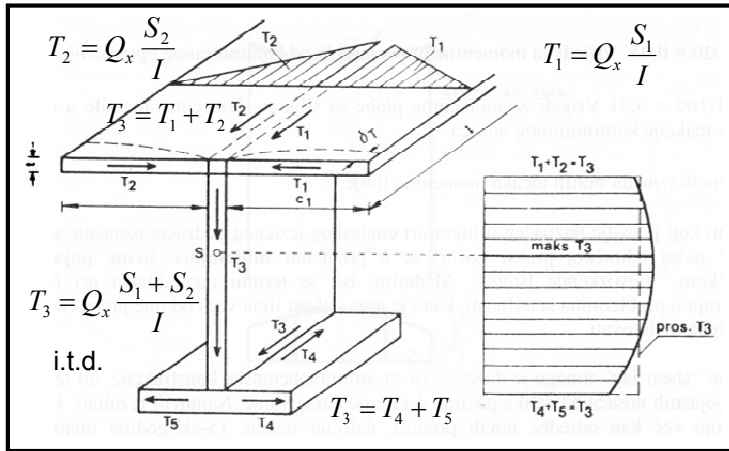
$$T_2 = Q_x \frac{S_2}{I}$$

$$T_1 = Q_x \frac{S_1}{I}$$

$$T_3 = T_1 + T_2$$

$$T_3 = Q_x \frac{S_1 + S_2}{I}$$

i.t.d.

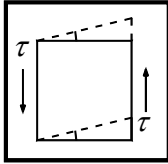



Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Uskopojasni glavni nosači



$$\gamma = \frac{\tau}{G}$$

Posmična deformacija $\gamma = \frac{T}{t \cdot G} \quad \dots \quad \gamma \cdot c \equiv \delta_T$

Kontinuirano opt. (momentna slika parabola) $\frac{c}{l} \leq \frac{1}{20} \quad \dots \quad \delta_T \approx 0 \equiv \text{uski pojas}$

Koncentrirano opt. (momentna slika 'sa šiljkom') $\frac{c}{l} \leq \frac{1}{100}$

$\frac{c}{l} > \frac{1}{20} = \text{široki pojas}$

l – razmak nul točaka momentnog dijagrama

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

ŠIROKOPOJASNI NOSAČI

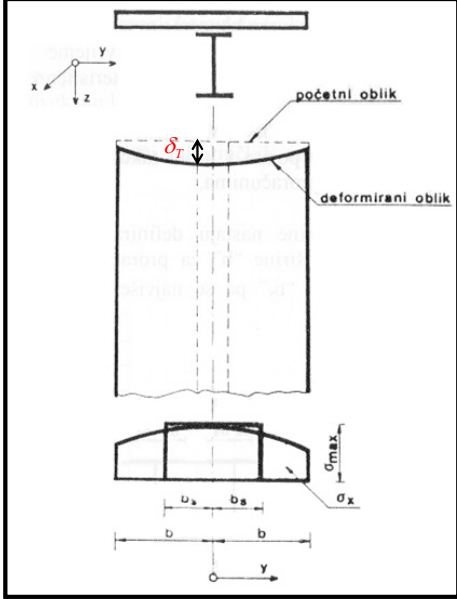
Utjecaj posmičnog popuštanja pojasa u smjeru normalnih naprezanja značajan.

Presjeci poslije savijanja NE ostaju ravni!

Pretpostavka ravnog deformiranog presjeka:

$$b_s \cdot \sigma_{\max} = \int_0^b \sigma_x dy$$

b_s = sudjelujuća ili efektivna širina
od *shear lag*



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

ŠIROKOPOJASNI NOSAČI



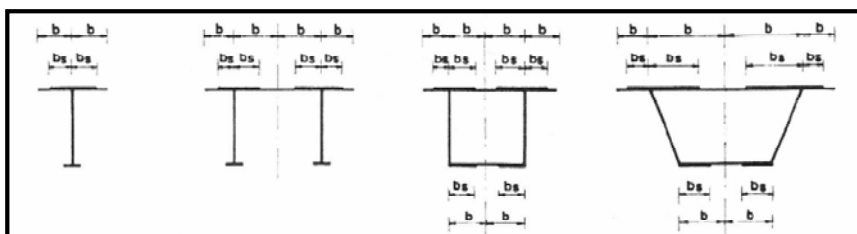
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Shear lag ovisi o:

- b/L , c/L - osnovni parametar
- p , P - vrsta opterećenja (moment parabola ili 'šiljati oblik')
- stupnju ortotropije ploče
- rasporedu opterećenja poprečno
- vrsti materijala E , G , v
- odnosu A_p/A_h (odnos količine materijala pojasa i hrpta)



Širokopojasni glavni nosači



Građevinski fakultet u Zagrebu

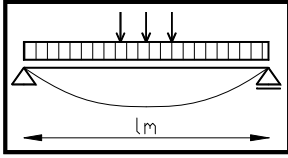
Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

SUDJELUJUĆA ŠIRINA PREMA EN 1993-2:

$b_m = \lambda \cdot b$

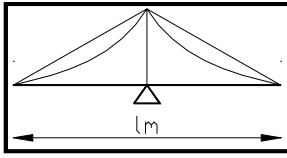
1. za polja prostih greda i kontinuiranih nosača



$$\lambda_1 = \frac{1}{1 + 6,4 \left(\frac{b}{l_m} \right)^2}$$

$$\frac{b}{l_m} = \frac{l}{20} \quad \lambda_1 = 1$$

2. za oslonce kontinuiranih nosača i konzole



$$\lambda_2 = \frac{1}{1 + 6 \left(\frac{b}{l_m} - 1/2500 \frac{b}{l_m} \right) + 1,6 \left(\frac{b}{l_m} \right)^2} \quad \text{za } \frac{b}{l_m} \geq \frac{1}{20}$$

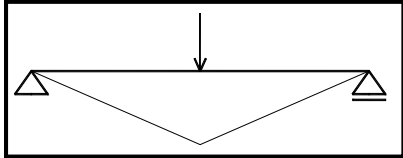
$$\text{za } \frac{1}{20} > \frac{b}{l_m} \geq \frac{l}{50} \quad \lambda_2 = \text{linearna interpolacija između: } 0,767 - 1,0$$

$$\text{za } \frac{b}{l_m} < \frac{l}{50} \quad \lambda_2 = 1,0$$

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

SUDJELUJUĆA ŠIRINA PREMA EN 1993-2:

3. za montažna stanja i popuštanje oslonaca

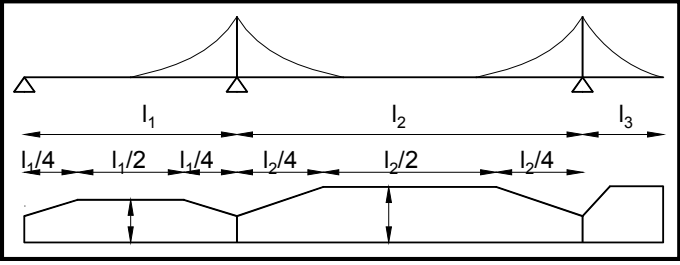


$$\lambda_3 = \frac{1}{1 + 4 \left(\frac{b}{l_m} \right) + 3,2 \left(\frac{b}{l_m} \right)^2} \quad \text{za } \frac{b}{l_m} \geq \frac{1}{20}$$

$$\text{za } \frac{1}{20} > \frac{b}{l_m} \geq \frac{l}{50} \quad \lambda_3 = \text{linearna interpolacija između: } 0,828 - 1,0$$

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

Širokopojasni glavni nosači

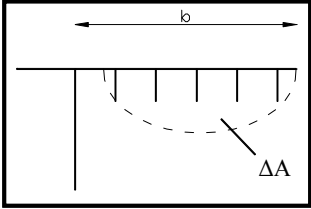


Kod ortotropnih ploča sa uzdužnim rebrima u navedene izraze ulazi se s povećanom širinom b' :

$$b' = \alpha \cdot b$$

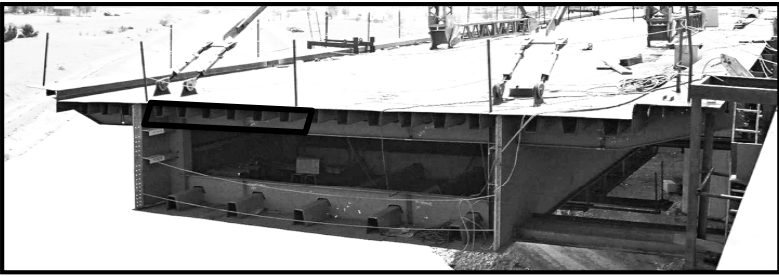
$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\Delta A}{bt}}$$

ΔA = površina uzdužnih rebara na širini b



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

Širokopojasni glavni nosači

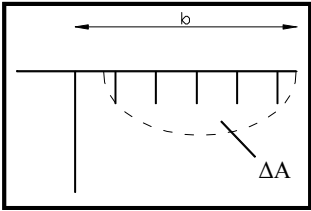


Kod ortotropnih ploča sa uzdužnim rebrima u navedene izraze ulazi se s povećanom širinom b' :

$$b' = \alpha \cdot b$$

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\Delta A}{bt}}$$

ΔA = površina uzdužnih rebara na širini b

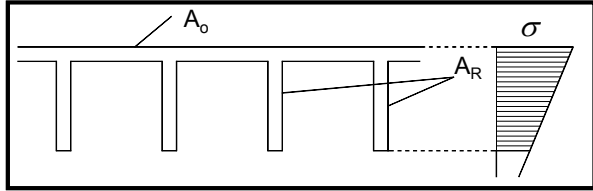


Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Širokopojasni glavni nosači

Utjecaj ortotropije:

U posmičnoj krutosti ploče (gornjeg pojasa) aktivira se pretežno lim, a rebra vrlo malo ili nimalo sudjeluju u posmičnom prijenosu.



$$\sigma \dots EI \dots \begin{cases} A_o = bt \\ A_R = \text{rebro} \end{cases} A_o + \sum A_R$$

$$\tau \dots GA \dots \begin{cases} A_o = bt \\ A_R \approx 0 \end{cases} A \approx A_o$$

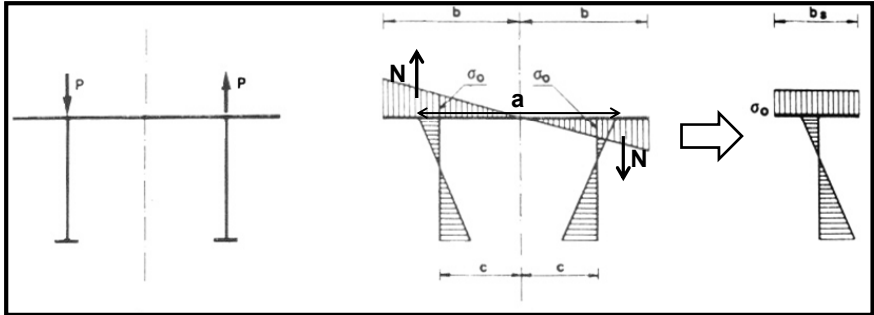
$$\delta_T^{\text{ORTOTROPNO}} > \delta_T^{\text{IZOTROPNO}}$$

$$b_S^{\text{ORTOTROPNO}} < b_S^{\text{IZOTROPNO}}$$

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

Širokopojasni glavni nosači

Aproksimacija za antimetrično djelovanje:



Uvjet: $N \cdot a = \sigma_o \cdot b_s \cdot 2c$

$\sigma_o \cdot \frac{b}{c} \cdot \frac{b}{2}$ stvarno zamjenjujuće $\left(\frac{2}{3} \cdot 2 \cdot b \right) = \sigma_o \cdot b_s \cdot 2c$

a

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

Širokopojasni glavni nosači



$$b_s = \frac{b}{3} \cdot \left(\frac{b}{c} \right)^2$$

Vrijedi za $\frac{b}{c} \leq 1,5$ (ne prevelike konzole)

Točnije antisimetrično → torzijsko opterećenje

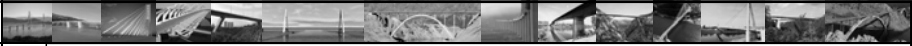
Model: Simetrično + torzijsko = Nesimetrično

$\downarrow$
 b_s

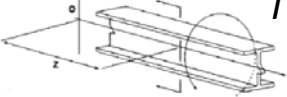
$\downarrow$
 b

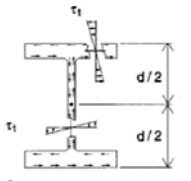
Građevinski fakultet u Zagrebu
Mostovi II
Prof.dr.sc. Jure Radić

Širokopojasni glavni nosači



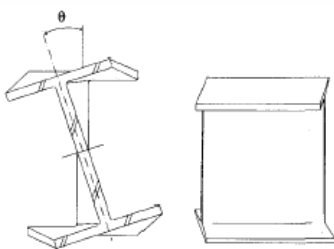
TORZIJA:



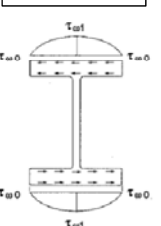


$\tau_t = G t \theta'$

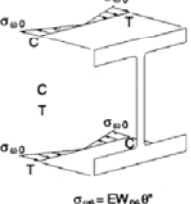
Posmik od St. Venantove torzije



St. Venantova torzija (čista torzija) + Krivljenje presjeka (ograničena torzija ili torzija sa savijanjem)



Posmik od krivljenja



Normalni napon od krivljenja

$\sigma_{n0} = E W_{n0} \theta''$

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

TORZIJA:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_\omega$$

$$\tau = \tau_x + \tau_y + \tau_p + \tau_s$$

ograničena torzija ili
krivljenje poprečnog presjeka
 $M\omega$

1. Otvoreni presjeci – ne mogu se slobodno kriviti

EI_y malo $\rightarrow$ θ veliko
 GI_T malo

Prevladava mehanizam savijanja

σ_ω ograničena torzija	σ_ω
τ_p St. Venentova tor.	
τ_s ograničena torzija	τ_s
$\tau_p \sim 0$	

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

TORZIJA:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_\omega$$

$$\tau = \tau_x + \tau_y + \tau_p + \tau_s$$

ograničena torzija ili
krivljenje poprečnog presjeka
 $M\omega$

1. Otvoreni presjeci – ne mogu se slobodno kriviti

Prevladava mehanizam savijanja

σ_ω	σ_ω
$\tau_p \sim 0$	τ_s

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

Širokopojasni glavni nosači

TORZIJA:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_\omega$$

$$\tau = \tau_x + \tau_y + \tau_p + \tau_s$$

ograničena torzija ili
krivljenje poprečnog presjeka
 $M\omega$

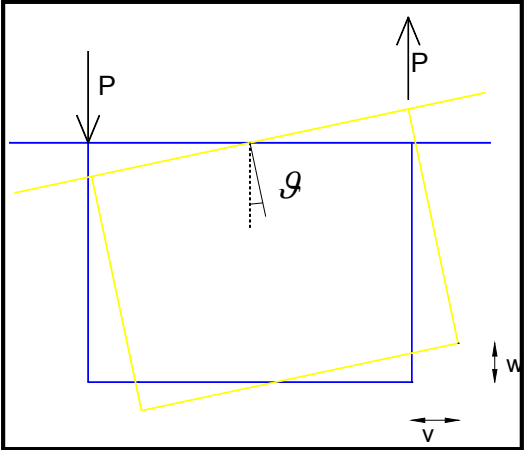
1. **Otvoreni presjeci – ne mogu se slobodno kriviti**



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

Širokopojasni glavni nosači

2. **Zatvoreni presjeci – uzima se da se mogu slobodno kriviti**



EI_y veliko
 GI_T veliko

ϑ malo

σ_ω ograničena torzija
 τ_p St. Venantova tor.
 τ_s ograničena torzija

Mehanizam torzije

$\sigma_\omega \sim 0$
τ_p $\tau_s \sim 0$

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

Širokopojasni glavni nosači

2. **Zatvoreni presjeci – uzima se da se mogu slobodno kriviti**

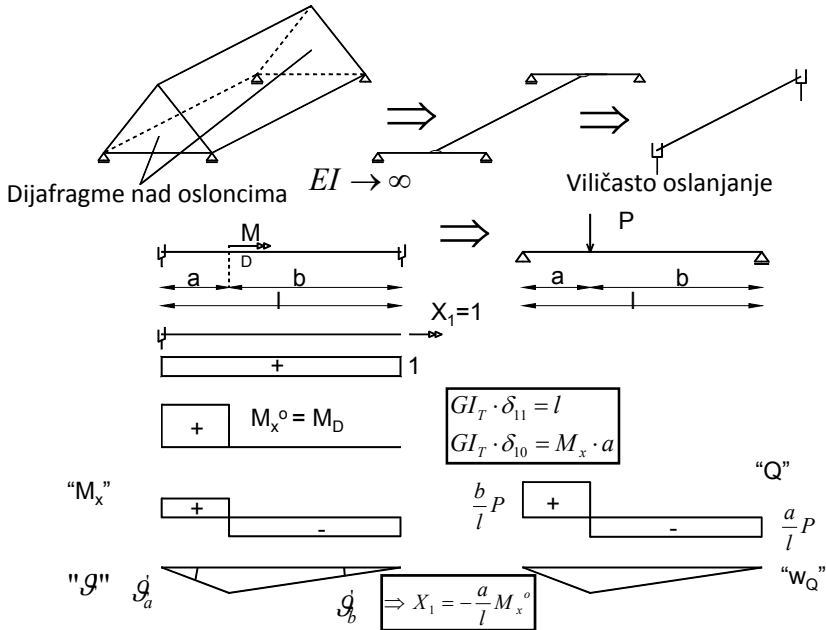


Mehanizam torzije

$\sigma_w \sim 0$
τ_p $\tau_s \sim 0$

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

Širokopojasni glavni nosači



Dijafragme nad osloncima $EI \rightarrow \infty$

Viličasto oslanjanje

$M_x^o = M_D$

$GI_T \cdot \delta_{11} = l$

$GI_T \cdot \delta_{10} = M_x \cdot a$

$\Rightarrow X_1 = -\frac{a}{l} M_x^o$

"M_x"

"Q"

"g"

"w_Q"

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

St. Venant-ova (primarna) torzija:

(a)

$$\tau = \frac{M_T}{2A_m} ; \quad \tau = \frac{T}{t_i}$$

$$J_T = \sum \frac{4A_m^2}{b_i t_i}$$

(b)

$$J_T = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3 ; \quad \tau = \frac{M_T}{J_T} \cdot t_i$$

Širokopojasni glavni nosači

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

Diferencijalna jednačba St. Venant-ove (primarne) torzije:

$v' = \frac{M_T}{GI_T} = \text{const.}$

$\tau_r = \frac{2\tau_{\max}}{t} \cdot r$

$dM_T = 4\tau_r dr \cdot r \cdot b = 8 \frac{\tau_{\max}}{t} t^2 b dr$

Vanjski prsten $r=t/2$:

$dM_T = 2bt\tau_{\max} dr$

$z a \quad b \gg t \quad dM_T v' = \frac{1}{G} 2b\tau_{\max}^2 dr$

$\Rightarrow \tau_{\max} = Gt v'$

$M_T = \frac{8\tau_{\max}}{t} b \int_0^{t/2} r^2 dt = \frac{1}{3} \tau_{\max} b t^2$

$M_T = v' G \frac{1}{3} b t^3 = GI_T v'$

$\Rightarrow \boxed{I_T = b t^3 / 3}$ **Otvoreni tankostijeni presjek**

$\max \quad \tau = \frac{3M_T}{b t^2} = \frac{M_T}{I_T} t$

$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad T = \tau \cdot t$

Širokopojasni glavni nosači

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

Širokopojasni glavni nosači



$$\sum M_D = 0$$

$$M_D = \oint r_i T ds = T \oint r_i ds$$

$$\oint r_i ds = 2F_m$$

$$\Rightarrow T = \frac{M_D}{2F_m} \quad \max \quad \tau_p = \frac{T}{t_{\min}} \quad (1.BREDT)$$

JEDNADŽBA RADA

$$\frac{1}{2} M_T \cdot dv = \frac{1}{2} \oint \tau_p t \gamma dx ds$$

$$\gamma = \tau_p / G$$

$$M_T \cdot dv = dx \oint \frac{\tau_p^2}{G} t ds = dx \frac{T^2}{G} \oint \frac{ds}{t}$$

$$v' = \frac{M_T}{4GF_m^2} \oint \frac{ds}{t}$$

$$v' = \frac{M_T}{GI_T} \Rightarrow I_T = \frac{4F_m^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad \text{Zatvoreni tankostijeni presjek} \quad (2.BREDT)$$

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

Širokopojasni glavni nosači



$$\Rightarrow \tau = \frac{T}{t} = \frac{M_T}{2A_m} \cdot \frac{1}{t} = \frac{GI_T v'}{2A_m t} = G \frac{\psi}{t} v'$$

$$\tau = G \frac{\psi}{t} \cdot \frac{M_T}{GI_T} = \frac{M_T}{I_T} \cdot \frac{\psi}{t}$$

analogija $\sigma = \frac{M_s}{I} \cdot y$

$$M_T = GI_T v' = \int \tau \left(\frac{\psi}{t} \right) dA = \int G \left(\frac{\psi}{t} \right) \cdot v' \left(\frac{\psi}{t} \right) dA = G v' \int \left(\frac{\psi}{t} \right)^2 dA$$

$$\Rightarrow I_T = \int \left(\frac{\psi}{t} \right)^2 dA \quad \dots \quad I_s = \int y^2 dA$$

Presjeci sa više ćelija: $M_T = \sum 2A_{mj} T_j \quad j = \text{broj ćelije}$

$$v' = v'_1 = v'_2 = v'_3 = \frac{T \cdot 2A_{mj}}{GI_T} = \frac{1}{2GA_{mj}} \oint T \frac{ds}{t}$$

ili

$$v' = \frac{T}{G\psi}$$

za j -ćeliju:

$$Gv' = \frac{1}{2A_{mj}} \left(-T_{j-1} \int_a^b \frac{ds}{t} + T_j \oint \frac{ds}{t} - T_{j+1} \int_c^d \frac{ds}{t} \right)$$

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

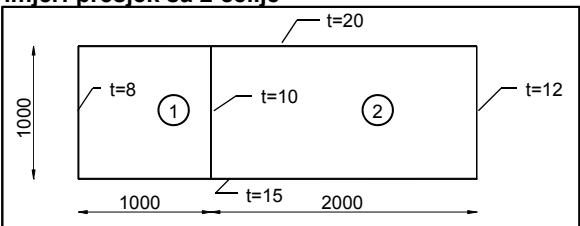
⇒ Sustav jednačbi za N ćelija

1 jednačba ravnoteže
+ N jednačbi deformacijskih uvjeta

“N+1” za “N” nepoznatih posmičnih tokova i v'

iz $v' = \frac{M_T}{GI_T} \Rightarrow I_T$

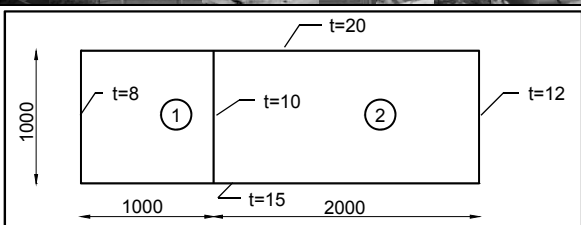
Primjer: presjek sa 2 ćelije



$G = 8100 \text{ kN/cm}^2$
 $M_T = 1000 \text{ kNm}$

$A_{m1} = 100 \cdot 100 = 10000 \text{ cm}^2$
 $A_{m2} = 100 \cdot 200 = 20000 \text{ cm}^2$
 $2GA_{m1} = 2 \cdot 8100 \cdot 10000 = 1,62 \cdot 10^8 \text{ kN}$
 $2GA_{m2} = 2 \cdot 8100 \cdot 20000 = 3,24 \cdot 10^8 \text{ kN}$

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



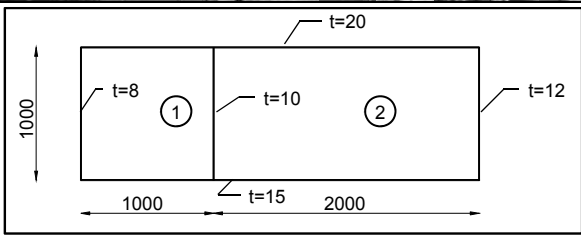
$\oint_1 \frac{ds}{t} = \frac{100}{0,8} + \frac{100}{2,0} + \frac{100}{1,0} + \frac{100}{1,5} = 341,67$
 $\oint_2 \frac{ds}{t} = \frac{100}{1,0} + \frac{200}{2,0} + \frac{200}{1,5} + \frac{100}{1,2} = 416,67$
 $\int_{1,2} \frac{ds}{t} = \frac{100}{1,0} = 100,0$

$341,67T_1 - 100T_2 - 1,62 \cdot 10^8 v' = 0$
 $-100T_1 + 416,67T_2 - 3,24 \cdot 10^8 v' = 0$
 $20000T_1 + 40000T_2 = 100000$

RJEŠENJE: $T_1 = 1,41221 \text{ kN/cm}$ $T_2 = 1,79389 \text{ kN/cm}$
 $v' = 0,18711 \cdot 10^{-5} \text{ 1/cm}$
 $\Rightarrow I_T = \frac{M_T}{Gv'} = \frac{100000}{8100 \cdot 0,18711 \cdot 10^{-5}} = 6598036 \text{ cm}^4 = 659,8036 \text{ m}^2 \text{ cm}^2$

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

Širokopojasni glavni nosači



Provjera bez unutrašnjeg hrpta:

$$2A_m = 2 \cdot 100 \cdot 300 = 60000 \text{ cm}^2$$

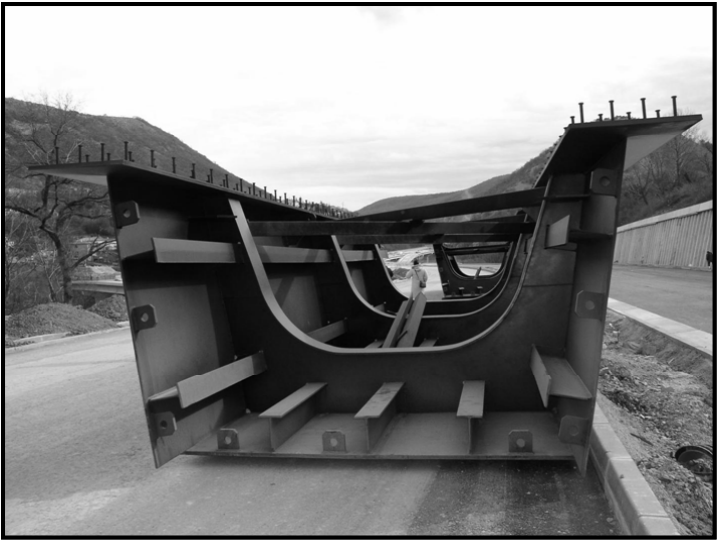
$$T = \frac{M_T}{2A_m} = \frac{100000}{60000} = 1,67 \text{ kN / cm}$$

$$I_T = \frac{4A_m^2}{\oint \frac{ds}{t}} = \frac{60000^2}{\left(\frac{300}{1,5} + \frac{300}{2,0} + \frac{100}{0,8} + \frac{100}{1,2} \right)} = \frac{60000^2}{558,33} = 6447761 \text{ cm}^4 = 644,776 \text{ m}^2 \text{ cm}^2$$

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

Širokopojasni glavni nosači

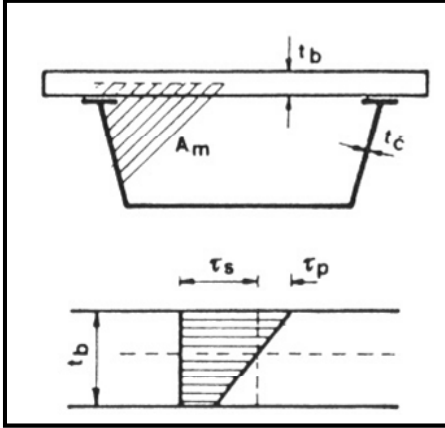
Spregnuti presjek s betonskom (debelom) pločom:



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

Širokopojasni glavni nosači

Spregnuti presjek s betonskom (debelom) pločom:



(s – sanduk, p – ploča)

$$M_T = M_T^s + M_T^p$$

$$I_T = I_T^s + \frac{1}{n_G} I_T^p$$

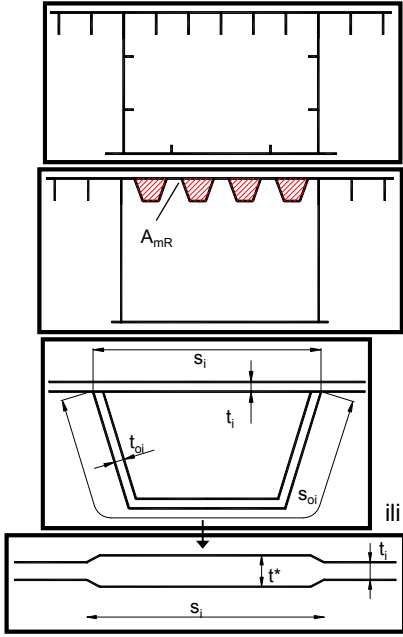
$$M_T^s = \frac{I_T^s}{I_T} \cdot M_T$$

$$M_T^p = \frac{1}{n_G} \frac{I_T^p}{I_T} \cdot M_T \quad n_G = \frac{G_\xi}{G_b}$$

$$\tau_s = \frac{M_T^s}{2 A_m} \cdot \frac{1}{t_b} \quad \tau_p = \pm \frac{M_T^p}{I_T^p} \cdot t_b$$

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

Širokopojasni glavni nosači



$GI_T = GI_T^s$

$I_T^s = \frac{4A_m^2}{\sum \frac{b_i}{t_i}}$ **Ortotropna ploča sa otvorenim rebrima**

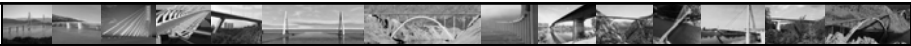
$GI_T = GI_T^s + GI_T^p$

$I_T^p = \sum \frac{4A_{mR}^2}{\sum \frac{b_i}{t_i}}$ **Ortotropna ploča sa zatvorenim rebrima**

$t^* = t_i + \frac{s_i}{s_{oi}} t_{oi}$

$I_T = I_T^s = \frac{4A_m^2}{\sum \frac{b_i}{t_i} + \sum \frac{b_i}{t^*}}$

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

Širokopojasni glavni nosači		
		Ortotropna ploča sa otvorenim rebrima
		Ortotropna ploča sa zatvorenim rebrima
 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić		

Širokopojasni glavni nosači		
	REŠETKASTE STIJENE – SPREG:	
		
Zamjenjujuća debljina lima: t^*		
		
 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić		

REŠETKASTE STIJENE – SPREG:

Zamjenjujuća debljina lima: t^*

Širokopojasni glavni nosači

Sila u dijagonali: $|D| = T \cdot h \frac{d}{h} = Td \quad |D_1| = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\lambda}$

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

JEDNADŽBA RADA:

Širokopojasni glavni nosači

$$1 \cdot \delta = \sum \frac{DD_1}{EA_d} \cdot d = 2Td \cdot \frac{1}{2} \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{d}{EA_d} =$$

$$= \frac{Td^3}{EA_d \lambda} \quad - \text{rešetka} \quad (\text{spreg})$$

Lim debljine “ t^* ” mora biti jednako krut na posmik kao spreg !

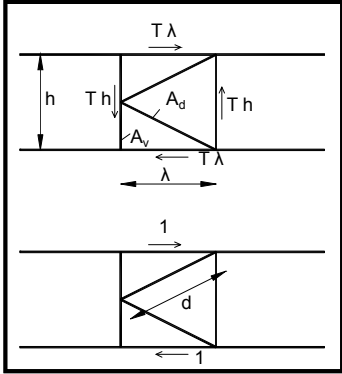
$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{T}{Gt^*} \quad \delta = \gamma \cdot h = \frac{T \cdot h}{G \cdot t^*}$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{T \cdot h}{G \cdot t^*} = \frac{T \cdot d^3}{EA_d \cdot \lambda}$$

$$t^* = \frac{EA_d \cdot \lambda \cdot h}{Gd^3}$$

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

Širokopojasni glavni nosači



$$V = \frac{Th}{2} \quad D = \frac{d}{\lambda}$$

$$D = \frac{Th}{2} \frac{d}{h/2} = Td \quad V = \frac{d}{\lambda} \cdot \frac{h/2}{d} = \frac{h}{2\lambda}$$

$$1 \cdot \delta = 2R_d + 2R_v = 2 \cdot \frac{Td \cdot d}{EA_d \lambda} + 2 \cdot \frac{Th}{2} \frac{h}{2EA_v \frac{h}{2\lambda}} =$$

$$= \frac{2Td^3}{EA_d \lambda} + \frac{Th^3}{4EA_v \lambda}$$

$$\gamma = \frac{T}{G} = \frac{T}{Gt^*} \quad \delta = \gamma h = \frac{Th}{Gt^*}$$

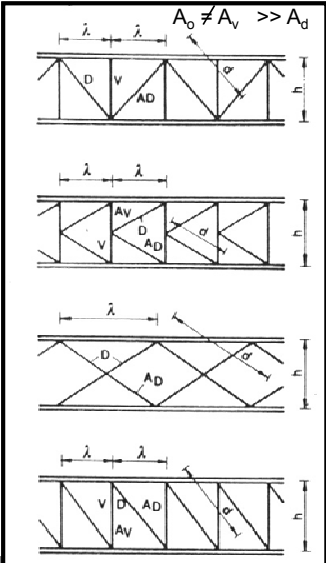
$$\frac{Th}{Gt^*} = \frac{2Td^3}{EA_d \lambda} + \frac{Th^3}{4EA_v \lambda}$$

$$\Rightarrow t^* = \frac{E}{G} \cdot \frac{\lambda h}{\frac{2d^3}{A_d} + \frac{h^3}{4A_v}}$$

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

Širokopojasni glavni nosači

POJASEVI SU KRUTI:



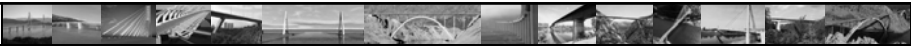
(a) $t^* = \frac{E}{G} \frac{\lambda h}{\frac{d^3}{A_d} + \frac{\lambda^3}{3} \left(\frac{1}{A_o} + \frac{1}{A_v} \right)}$

(b) $t^* = \frac{E}{G} \frac{\lambda h}{\frac{2d^3}{A_d} + \frac{h^3}{4A_v} + \frac{\lambda^3}{12} \left(\frac{1}{A_o} + \frac{1}{A_v} \right)}$

(c) $t^* = \frac{E}{G} \frac{\lambda h}{\frac{d^3}{2A_d} + \frac{\lambda^3}{12} \left(\frac{1}{A_o} + \frac{1}{A_v} \right)}$

(d) $t^* = \frac{E}{G} \frac{\lambda h}{\frac{d^3}{A_d} + \frac{h^3}{A_v} + \frac{\lambda^3}{12} \left(\frac{1}{A_o} + \frac{1}{A_v} \right)}$

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

Širokopojasni glavni nosači	
	TORZIJA: Rekapitulacija: St. Venant-ova (primarna torzija) Pretpostavke: a) elastičan materijal b) mali pomaci c) oblik presjeka se ne mijenja d) torzijski momenti M_D djeluju samo na oba kraja štapa e) deformacije poprečnog presjeka nisu spriječene => NASTAJU SAMO NAPREZANJA τ_D (ST. VENANT) ILI PRIMARNA TORZIJA Diferencijalna jednačina St. Venant-ove torzije: $\nu' = \frac{d\nu}{dx} = \frac{M_T}{GI_T} = \text{const.}$
	 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Širokopojasni glavni nosači	
	1. BREDT-OV IZRAZ - JEDNADŽBA RAVNOTEŽE: $M_T = 2 A_m T \quad \left(M_T = T \cdot \oint r_i ds \right) \quad \tau = \frac{T}{t}$ 2. BREDT-OV IZRAZ: $M_T = GI_T \frac{d\nu}{dx} = GI_T \nu'$ $\Rightarrow I_T = \frac{4 A_m^2}{\oint \frac{ds}{t}} \quad - \text{zatvoreni presjek}$ 3. TORZIJSKA FUNKCIJA: $\psi = \frac{T}{G \frac{d\nu}{dx}} = \frac{T}{G \nu'}$ $T = \frac{M_T}{2 A_m} \quad \nu' = \frac{M_T}{GI_T} \Rightarrow \psi = \frac{M_T}{2 A_m} \cdot \frac{1}{G \frac{M_T}{GI_T}} = \frac{I_T}{2 A_m} = \frac{2 A_m}{\oint \frac{ds}{t}}$ $\frac{\psi}{t} = \frac{I_T}{2 A_m t} = \frac{2 A_m}{\oint \frac{ds}{t}} \cdot \frac{1}{t}$
	 Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

ANALOGIJA TORZIJE I SAVIJANJA TORZIJA:

1. $\tau = \frac{T}{t} = \frac{GI_T}{2A_m} \frac{v'}{t} = \Rightarrow \sigma = \frac{M_s}{I} y$

$= G \frac{\psi}{t} v' = \frac{M_T}{I_T} \left(\frac{\psi}{t} \right)$

2. $M_T = \int \tau \left(\frac{\psi}{t} \right) dA = \Rightarrow M_s = \int \sigma y dA$

$= \int G \left(\frac{\psi}{t} \right) v' \left(\frac{\psi}{t} \right) dA =$

$= GI_T v'$

$I_T = \int \left(\frac{\psi}{t} \right)^2 dA \Rightarrow I_s = \int y^2 dA$

Širokopojasni glavni nosači

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

RASPORED TORZIJSKOG UTJECAJA:

The diagram illustrates the distribution of torsional effects for a beam of length l with a point load M_D at distance a from the left support and a distributed load m_D over the remaining length b . The plots show:

- Torque (M_{TX}):** A constant value of $\frac{M_D b}{l}$ over the first segment of length a , and a linearly decreasing value from $\frac{m_D l}{2}$ to 0 over the second segment of length b .
- Twist Angle (φ):** A linear increase from 0 to $\varphi_a^{(M_D)}$ over the first segment, and a parabolic increase from $\varphi_a^{(M_D)}$ to $\varphi_b^{(M_D)}$ over the second segment.
- Deflection (v):** A cubic curve over the first segment and a quartic curve over the second segment, reaching a maximum value $\max v$ at the right end.

Key formulas derived from the diagram:

$$v = \frac{M_D a}{l G J_T} b$$

$$\max \varphi = \frac{m_D l^2}{8 G J_T}$$

Širokopojasni glavni nosači

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

Širokopojasni glavni nosači

Zakretanje od torzije:

$$\frac{dv}{dx} = v' = \frac{M_{Tx}}{GI_T} \rightarrow v = \frac{M_{Tx}}{GI_T} \int_0^a dx = \frac{M_D}{GI_T} \frac{ba}{l}$$

$v = \text{moment savijanja za } \frac{M_D}{GI_T} \text{ ili } \frac{m_D}{GI_T}$

ili

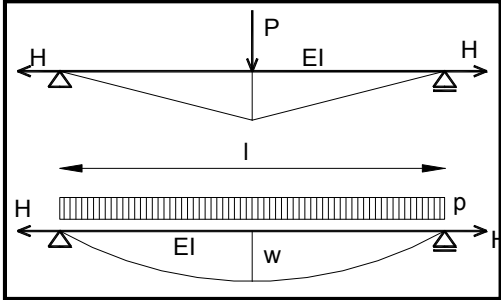
$$GI_T v = M_v = \int_l M_{Tx} dx = \text{posmični bimoment}$$

analogno lančanic $GI_T \equiv H \quad v \equiv w$
 $EI = 0$
 $GI_T v = M_v \equiv Hw = M_0$

Prof.dr.sc. Jure Radić

Širokopojasni glavni nosači

LANČANICA:



$Hw = \frac{Pl}{4}$
 $EI = 0$

$GI_T v = M_v$
 $\parallel$
 w
 $\swarrow$
 $v = \frac{M_v}{GI_T}$

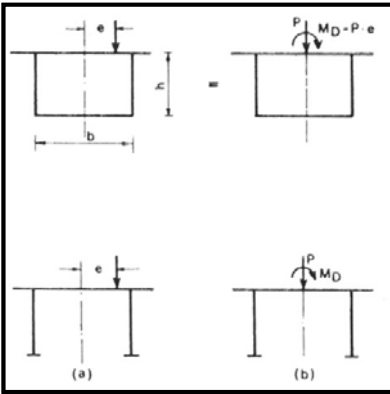
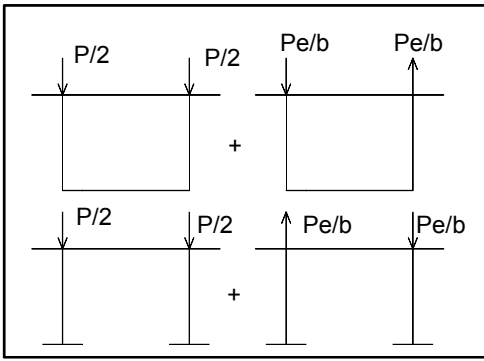
$\searrow$
posmični bimoment

$\frac{M_D l}{4} \text{ ili } \frac{m_D l^2}{8}$

Prof.dr.sc. Jure Radić

Širokopojasni glavni nosači

TORZIJA I SAVIJANJE:

$M_D = Pe \rightarrow$ Uzrokuje par momenata savijanja ili **bimoment**
krivljenja:

$$M_\omega = M_y \cdot 2r_t$$

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

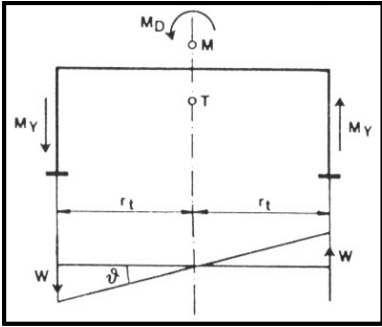
Širokopojasni glavni nosači

$M_y = -EI_y w'''; \quad w = r_t v$
 $M_\omega = EI_y r_t v''(2r_t) = EI_{\omega\omega} v''$

sektorski moment

$I_{\omega\omega} = I_y \cdot 2r_t^2 [cm^6]$

$\sigma = \frac{M_y}{I_y} z$
 $\sigma = -Ez w'' = -E \cdot z \cdot r_t \cdot v'' = -E\omega v''$



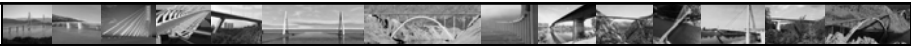
sektorska koordinata

$\omega = z \cdot r_t$

$\omega = \int_s r_t ds \quad i \quad I_{\omega\omega} = \int \omega^2 dA$

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

Širokopojasni glavni nosači



$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} \cdot z = \frac{M_\omega}{I_{\omega\omega}} \omega$$

M_ω ... iz kuta zakretanja u
 M_y ... iz uvjeta ravnoteže

korekcija sektorskog momenta tromosti za zatvoreni presjek:

$$\omega = \int_s \left(r_t - \frac{\psi}{t} \right) ds$$

PODSJETNIK:

Bredt 1 $T = \frac{M_T}{2A_m} \quad (M_T = T \oint r_t ds) \Rightarrow \tau = \frac{T}{t} = \frac{M_T}{2A_m} \cdot \frac{1}{t}$

Bredt 2 $M_T = GI_T \psi' \Rightarrow \tau = \frac{GI_T \psi'}{2A_m} \cdot \frac{1}{t} = G \frac{\psi'}{t} \cdot \psi'$

Torzijska funkcija $\frac{\psi}{t} \dots \text{torzijska funkcija} = \frac{I_T}{2A_m t} = \frac{2A_m}{\oint \frac{ds}{t}}$

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

Širokopojasni glavni nosači



$$\tau = G \frac{\psi}{t} \psi' = G \frac{\psi}{t} \frac{M_T}{GI_T} = \frac{M_T}{I_T} \cdot \frac{\psi}{t}$$

analogija sa $\sigma = \frac{M_y}{I_s} y$

$$M_T = GI_T \psi' = \int \tau \left(\frac{\psi}{t} \right) dA = \int G \left(\frac{\psi}{t} \right) \psi' \left(\frac{\psi}{t} \right) dA = G \psi' \int \left(\frac{\psi}{t} \right)^2 dA$$

$$\Rightarrow I_T = \int \left(\frac{\psi}{t} \right)^2 dA \quad \dots \quad I_s = \int y^2 dA$$

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

OGRANIČENA TORZIJA:

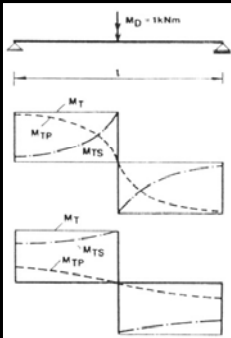
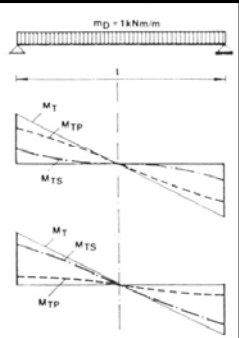
M_D i m_D izazivaju **vanjski bimoment** M_M $M_M = GI_T v - EI_{\omega\omega} v''$

Posmični utjecaj: $\frac{dM_M}{dx} = GI_T v' - EI_{\omega\omega} v'''$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 $M_T = M_{TP} + M_{TS}$
 St. Venant sekundarna torzija

ukupna torzija M_T

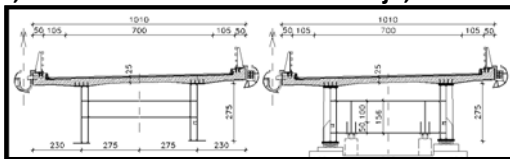
Primjer: $l=70m$ $\frac{(GI_T)_1}{(GI_T)_2} \approx 30$

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

parametar $\chi = l \sqrt{\frac{GI_T}{EI_{\omega\omega}}}$

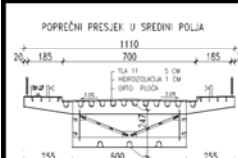
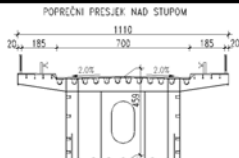
$\chi < 0,5$ vrlo mekano na torziju, mehanizam čistog savijanja




$2 > \chi > 0,5$ miješana torzija, dominantno savijanje

$5 > \chi > 2$ tipično područje miješane torzije

$15 > \chi > 5$ dominira St. Venant, kompaktni sandučasti

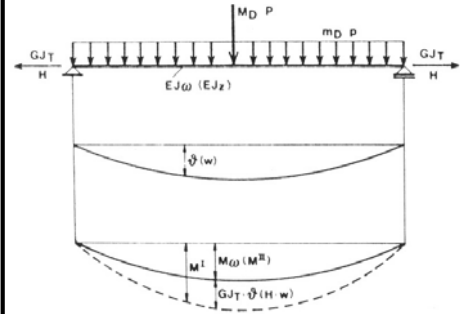

$\chi > 15$ čisti St. Venant, krivljenja nema

Napomena: Osjetljivost na oblik presjeka – dijafragme

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

Širokopojasni glavni nosači

ANALOGIJA SAVIJANJA I TORZIJE:



$$EIw'' - Hw = -M_0$$

$$EI_{\omega\omega}v'' - GI_Tv = -M_M$$

analogija

$EIw^{IV} - Hw'' = p_z$

$w \equiv v \quad H \equiv GI_T$

$P = M_D \quad p \equiv m_D$

$M_y = \int Q_y dx = -EI_y w''$

$Q_y = -EI_y w''' = M_y'$

$\sigma = \frac{M_y}{I_y} z$

$\tau = \frac{QS_y}{I_y t}$

M^I – teorija 1. reda

M^{II} – teorija 2. reda

$EI_{\omega\omega}v^{IV} - GI_Tv'' = m_D$

$EI_y \equiv EI_{\omega\omega}$

$M_{\omega} = \int M_{TS} dx = -EI_{\omega\omega}v''$

$M_{TS} = -EI_{\omega\omega}v''' = M_{\omega}'$

$\sigma_{\omega} = \frac{M_{\omega}}{I_{\omega\omega}} w$

$\tau_{\omega} = \frac{M_{\omega}' \cdot A_{\omega}(s)}{I_{\omega\omega} \cdot t}$

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

Širokopojasni glavni nosači

savijanje	torzija
<i>diferencijalne jednačbe</i>	
$EJ_y w^{IV} - Hw'' = p_z$	$EJ_{\omega\omega} v^{IV} - GI_T v'' = m_D$
progib w	zakretanje ϑ
vlačna sila H	torzijska krutost GI_T
krutost protiv savijanja EJ_y	krutost protiv krivljenja $EJ_{\omega\omega}$
koncentrirani teret P	koncentrirani moment M_D
kontinuirani teret p	kontinuirani moment m_D
<i>ležajni uvjeti</i>	
nepokretni ležaj	vijušasti ležaj
$w = 0$	$\vartheta = 0$
$w'' = 0 (M_y = 0)$	$\vartheta'' = 0 (M_{\omega} = 0)$
upeti ležaj	sprječeno uvijanje
$w = 0$	$\vartheta = 0$
$w' = 0$	$\vartheta' = 0$
slobodni kraj	slobodni kraj
$w'' = 0 (M_y = 0)$	$\vartheta'' = 0 (M_{\omega} = 0)$
moment savijanja	bimoment krivljenja
$M_y = \int Q_y dx = -EI_y w''$	$M_{\omega} = \int M_{TS} dx = -EI_{\omega\omega} \vartheta''$
poprečna sila	posmik bimomenta krivljenja
$Q_y = -EI_y w''' = M_y'$	$M_{\omega} = -EI_{\omega\omega} \vartheta''' = M_{\omega}'$
naponi	naponi
$\sigma = \frac{M_y}{J_y} z$	$\sigma_{\omega} = \frac{M_{\omega}}{J_{\omega\omega}} \omega$
$\tau = -\frac{Q_y \cdot S_y}{J_y \cdot t}$	$\tau_{\omega} = -\frac{M_{\omega}' \cdot A_{\omega}(s)}{J_{\omega\omega} \cdot t}$

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

Širokopojasni glavni nosači

Zatvoreni presjeci – korekcija:

$$\omega = \int_s \left(r_t - \frac{\psi}{t} \right) ds$$

Naprezanja: $M_\omega \rightarrow \sigma = \frac{M_\omega}{I_{\omega\omega}} \omega = \frac{M_y}{I_y} \cdot z \left(\frac{2r_t \cdot r_t}{r_t^2} \right) \rightarrow 1$

Posmik (sekundarni):

$$M_{TS} = \frac{dM_\omega}{dx} = -EI_{\omega\omega} v''''$$

$$\tau_{TS} = \frac{M_{TS}}{I_{\omega\omega}} \cdot \frac{A_\omega}{t} \quad \text{gdje je} \quad A_\omega = \int_A \omega dA$$

sektorski statički moment

→ sekundarni posmik općenito

Uz mali GI_T otvorenih presjeka ovaj posmik odgovara utjecaju poprečne sile od nesimetričnog opterećenja.

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

Širokopojasni glavni nosači

Posmična komponenta:

$$M_{TP} = GI_T v'$$

$$\tau_{TP} = \frac{M_{TP}}{I_T} \cdot t_i - \text{otvoreni}$$

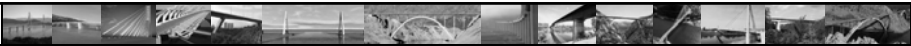
$$\tau_{TP} = \frac{M_{TP}}{I_T} \left(\frac{\psi}{t} \right)$$

$$\tau_{TP} = \frac{M_{TP}}{2A_m} \frac{1}{t} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{zatvoreni}$$

$$M_{TS} = EI_{\omega\omega} v'''' = M_\omega'$$

$$\tau_{TS} = \frac{M_{TS} A_\omega}{I_{\omega\omega} \cdot t}$$

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



ROŠTILJNE KONSTRUKCIJE:

- U poprečnom smjeru više nosača povezanih poprečnim vezama krutim na savijanje
- I uzdužni i poprečni nosači su obično torzijski mekani
- Zajedničko sudjelovanje uzdužnih i poprečnih elemenata obavlja funkciju povoljnog rasprostiranja koncentriranog djelovanja



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



ROŠTILJNE KONSTRUKCIJE:

- Roštilj je kontinuum – dva okomita smjera nosača mogu se rješavati kao ortotropna ploča
- Mogu biti – pravokutni ili kosi
- Sva opterećenja se svode na roštiljne čvorove
- Ako ne postoje poprečni nosači tada jedino kolnička ploča sudjeluje u poprečnoj raspodjeli i element je roštiljnog sistema



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

ROŠTILJNE KONSTRUKCIJE:

Roštiljne konstrukcije

Roštiljna krutost: $z = \frac{\delta_L}{\delta_Q}$

$P=1$
 δ_L
 L

$P=1$
 δ_Q
 $2a$

$$\delta_Q = \frac{1 \cdot (2a)^3}{48EI_Q} = \frac{a^3}{6EI_Q} \rightarrow z = \frac{6EI_Q}{a^3} \delta_L$$

$$za \quad x = L/2 \rightarrow z = \left(\frac{L}{2a}\right)^3 \cdot \frac{I_Q}{I_L}$$

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

**5 glavnih nosača (GN)
1 poprečni nosač u sredini raspona**

Roštiljne konstrukcije

$$z = \left(\frac{l}{2a}\right)^3 \frac{I_Q}{I}$$

Primjer: $l=20\text{m} \quad a=2,0\text{m}$

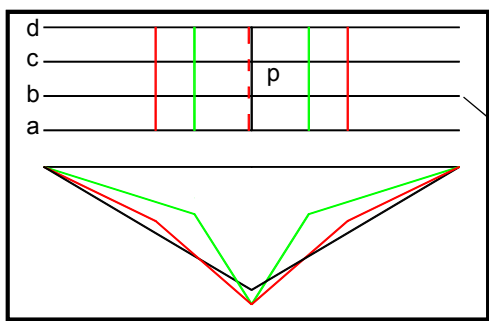
$$z=1 \Rightarrow I_Q/I = 1/125$$

$$z=25 \Rightarrow I_Q/I = 1/5$$

$$z_T = \frac{l}{8a} \cdot \frac{EI_Q}{GI_T}$$

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

Roštiljne konstrukcije



M_b
 1 PN u 1/2 0,082 PI
 2 PN u 1/3 0,093 PI
 3 PN u 1/4 0,091 PI

Mijenjanje broja poprečnih nosača u rasponu nema znatnijeg utjecaja na roštiljnu krutost.

a = razmak GN
 λ = razmak PN

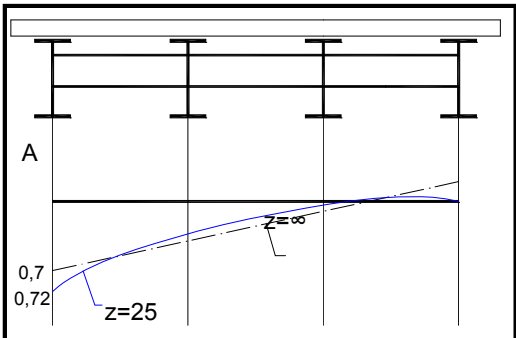
$$za \quad I_T < \frac{a}{200} \sqrt{\frac{I \cdot I_Q}{a \lambda}}$$

Torzijska krutost GN nema utjecaja!

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

Roštiljne konstrukcije

RASPODJELA POMOĆU z – FAKTORA:



Primjer: 4 glavna nosača

$$\eta_A = \frac{5+z}{10+4z} + \frac{3+9z}{6+20z} = \frac{\frac{5}{z}+1}{\frac{10}{z}+4} + \frac{\frac{3}{z}+9}{\frac{6}{z}+20}$$

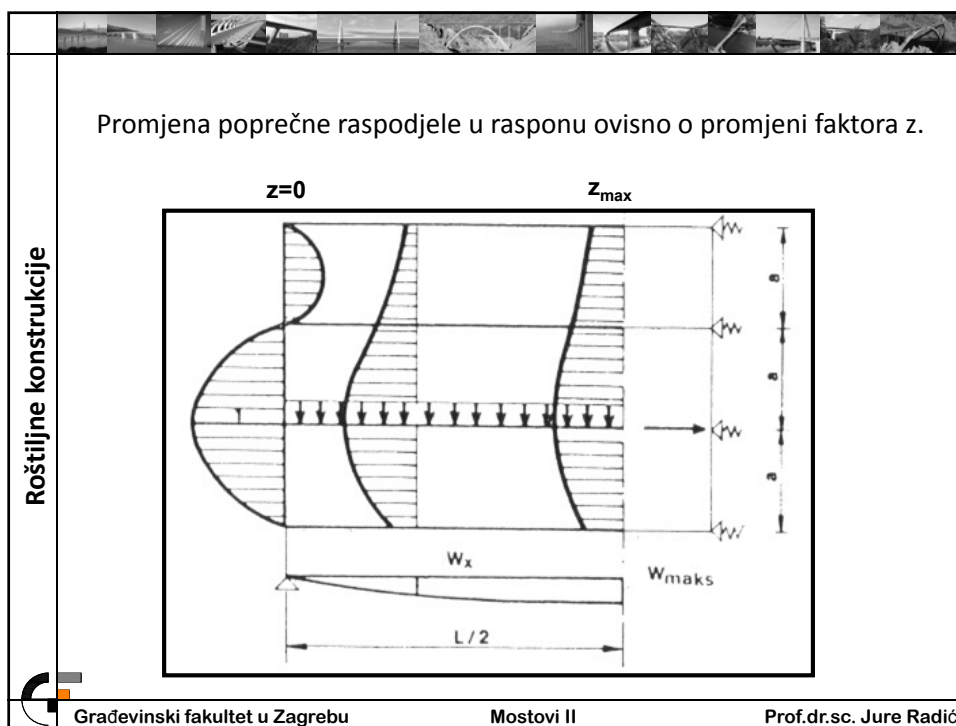
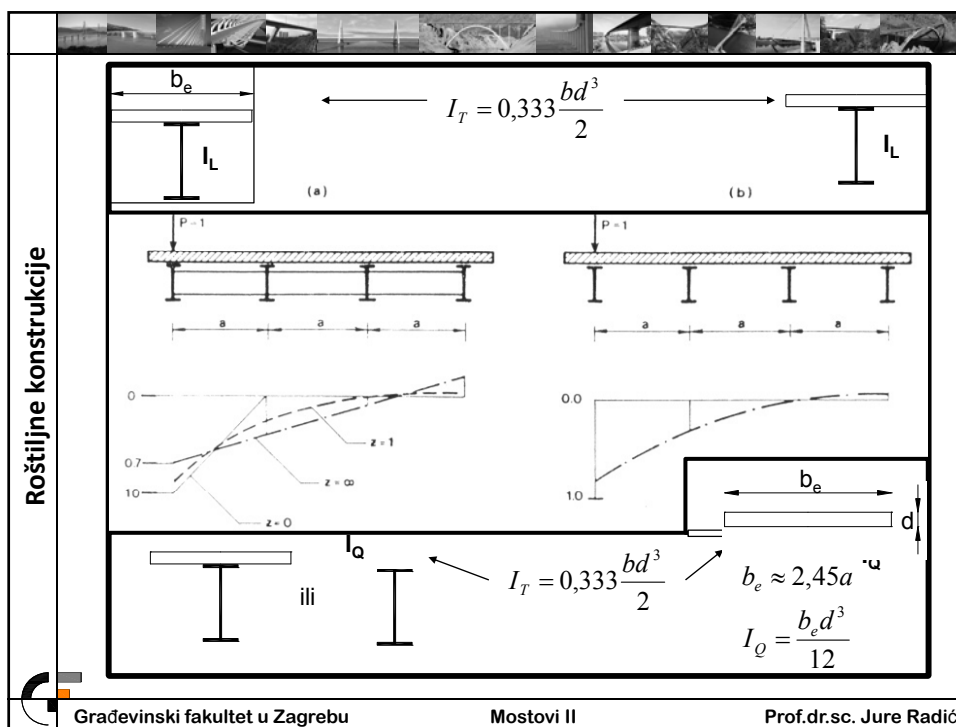
$$z = \infty \Rightarrow \eta_A = 0,7$$

$$z = 25 \Rightarrow \eta_A = 0,72$$

$$z = \left(\frac{L}{2a}\right)^3 \frac{I_Q}{I_L} \quad a = 2,0m \quad L = 20m$$

$$25 = 125 \frac{I_Q}{I_L} \rightarrow \frac{I_Q}{I_L} = 0,2$$

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



Roštiljne konstrukcije

Apsolutno kruti poprečni nosač

za $P=1 \quad M_D=1 \cdot e$

$$P_i = c \cdot \bar{w}_n$$

$$c_i = f(EI_L) = k \cdot I_i$$

$$\bar{w}_n = \bar{w}_0 + \bar{v} \cdot y_i$$

$$w = k I_i (\bar{w}_0 + \bar{v} \cdot y_i)$$

$$= I_i (w_0 + v \cdot y_i)$$

$$P_i = I_i (w_0 + v \cdot y_i)$$

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

Roštiljne konstrukcije

Postavljaju se uvjeti ravnoteže:

$$\sum V = 0, \quad \sum M = 0$$

$$P_i = \frac{I_i}{\sum I_i} R + \frac{y_i I_i}{\sum y_i^2 I_i} \cdot M_D$$

za $R=1 \quad i \quad M_D=1 \cdot e \rightarrow P_i = \eta_i$

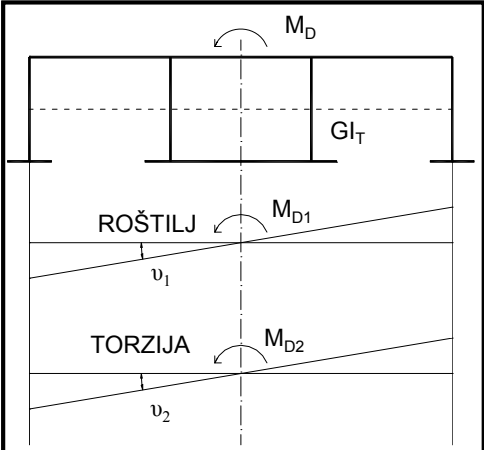
$$\eta_i = \frac{I_i}{\sum I_i} + \frac{y_i I_i}{\sum y_i^2 I_i} e = \frac{1}{n} + \frac{y_i e}{\sum y_i^2}$$

$EI_Q \approx \infty$ vrijedi za $L/B > 2$ odnosno $B < L/2$

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

KOMBINACIJA ROŠTILJA I TORZIJSKE OTPORNOSTI:

Roštiljne konstrukcije



$$\frac{M_{D1}}{M_D} = \frac{\frac{1}{v_1}}{\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}} = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \rightarrow M_{D1} = \frac{1}{1 + \frac{v_1}{v_2}} \cdot M_D$$

$$\frac{M_{D2}}{M_D} = \frac{v_1}{v_1 + v_2} \rightarrow M_{D2} = \frac{1}{1 + \frac{v_2}{v_1}} \cdot M_D$$

Roštiljno zakretanje:

$$v_1 = \frac{\delta_i}{y_i} = \frac{\frac{P y_i^3}{48 E I_i}}{y_i \cdot 48 E I_i} = \frac{e}{\sum y_i^2 I_i} \cdot \frac{L^3}{48 E}$$

$$\eta_i = \frac{I_i}{\sum I_i} + \frac{y_i I_i}{\sum y_i^2 I_i} \cdot \frac{e}{1 + \frac{v_1}{v_2}}$$

Torzijsko zakretanje:

$$v_2 = \frac{1 \cdot e L}{4 G I_T}$$

$$\eta_i = \frac{e}{1 + \frac{v_2}{v_1}}; \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{I_T}{\sum y_i^2 I_i} \cdot \frac{L^2 G}{12 E}; \quad \textcircled{P} = \frac{y_i e}{\sum y_i^2}$$



Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Roštiljne konstrukcije





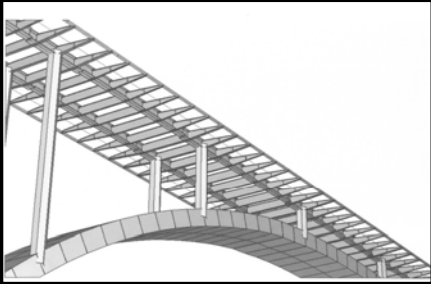
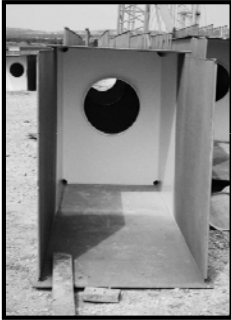
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

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

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

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

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

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