

GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
KATEDRA ZA MOSTOVE

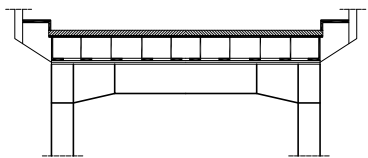
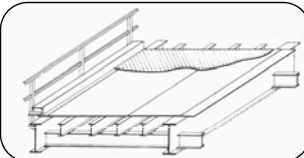
ČELIČNE ORTOTROPNE PLOČE U MOSTOVIMA

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

Nastanak i razvoj

Okolnosti koje su dovele do izvedbe prve ortotropne ploče na mostu

- najveći problem kod mostova do početka 20.st. je bila njihova vlastita težina (do 80% ukupnog opterećenja mosta) jer kolnička ploča nije bila integrirana u glavni nosivi sustav
- pojava cestovnih vozila s sve većim osovinskim opterećenjima

Europa (Njemačka)	Amerika i Kanada
oko 1930. lagane čelijaste konstrukcije  - gusti roštiji od laganih profila - prevelike deformacije uz neiskorištenost lima - nadvožnjak kod Jungingen-a iz 1934.	1930. <i>Battledeck floor</i>  - povećanje dozvoljenih naprezanja za 40%! - ograničavajući faktor cijena - primarno za rekonstrukcije
1937. Prva tvornice vagona, strojeva i mostova d.d. iz Slavonskog Broda patentira kolničku ploču izvedenu od niza poprečnih i uzdužnih rebara	

Uskopojasni glavni nosači

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

Nastanak i razvoj

Europa (Njemačka)

1948. ortotropna prvi puta kao gornji pojas glavnih nosača – Deutzer Brücke preko Rajne kod Kölna

Amerika i Kanada

1965. most Port Mann u Coquitlam-u – prvi most s ortotropnom pločom u Kanadi

50-ih godina 20.st obnavljaju se mostovi iz rata – koristi se ortotropna ploča:

1950. most Kurpfalzbrücke

1951. viseći most Köln-Mülheim

1951. most na autoputu Düsseldorf-Neuss

1957. zavješeni most

Theodor-Heuss-Brücke preko Rajne kod Düsseldorf-a

1954. nepravi viseći most Friedrich-Ebert-Brücke – prva upotreba zatvorenog trapeznog rebra

1961. most preko rijeke Fulda u Bergshausen-u – Y rebra

- do 1960. izvedeno već oko 40 mostova sa ort.pločom

- uštede u čeliku u odnosu na stare mostove su do 35%!

1967. most St. Louis preko rijeke Mississippi (most Bernard F. Dickman) – prvi most s ortotropnom pločom u Americi

Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Pregled suvremenih tipova

Elementi ortotropne ploče

- Glavni dijelovi ortotropne ploče su lim kolnika, uzdužna rebra i poprečni nosači
- Nosač u čijem je sastavu ortotropna ploča može biti otvorenog ili zatvorenog presjeka

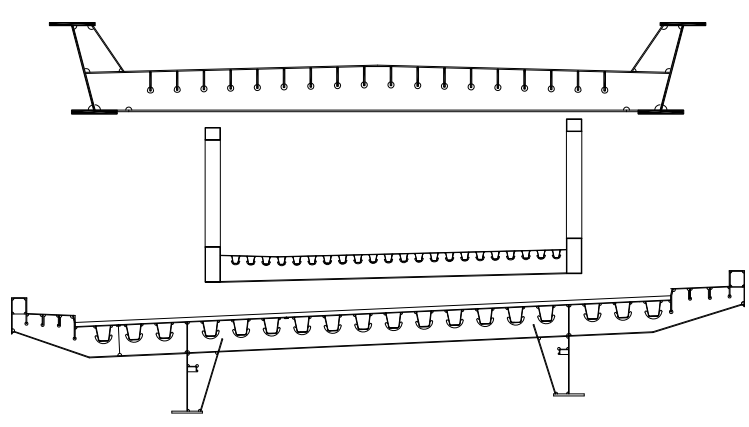
Rezerve u nosivosti ovog sustava postoje jer:

- postoji veliki potencijal za preraspodjelu naprezanja uslijed izazvanih deformacija,
- su moguća prekoračenja naprezanja u područje plastične deformacije - popuštanje i otkazivanje jednog rebra ne dovodi do otkazivanja čitave konstrukcije jer se opterećenje preraspodjeljuje,
- pod povećanim opterećenjem čitava ploča pokazuje membransko djelovanje sa mnogo većom nosivošću od nosivosti na savijanje,
- **da bi se iskoristile ove rezerve moraju se pretpostaviti deformacije koje nisu dopuštene zbog uvjeta uporabe!**

Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

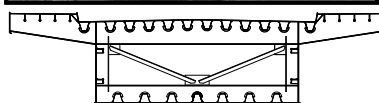
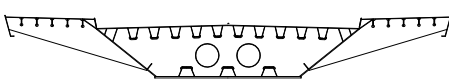
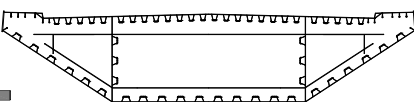
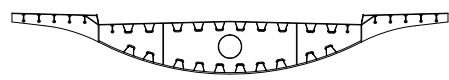
Pregled suvremenih tipova	
	Ortotropne ploče u otvorenim presjecima • ortotropna ploča u otvorenom presjeku na punostijenim čeličnim nosačima • postoji roštiljno djelovanje • u tom slučaju ortotropna ploča se diskretizira u štapne uzdužne elemente roštilja • varijacije gdje se ortotropna ploča nalazi u visini gornjeg pojasa, hrpta ili donjeg pojasa uzdužnih nosača 
	Građevinski fakultet u Zagrebu
	Mostovi II
	Prof.dr.sc. Jure Radić

Pregled suvremenih tipova	
	Ortotropne ploče u otvorenim presjecima • ortotropna ploča u otvorenom presjeku na punostijenim čeličnim nosačima • postoji roštiljno djelovanje • u tom slučaju ortotropna ploča se diskretizira u štapne uzdužne elemente roštilja • varijacije gdje se ortotropna ploča nalazi u visini gornjeg pojasa, hrpta ili donjeg pojasa uzdužnih nosača 
	Građevinski fakultet u Zagrebu
	Mostovi II
	Prof.dr.sc. Jure Radić

Pregled suvremenih tipova

Ortotropne ploče u sandučastim presjecima

- uobičajeni presjek za ortotropne ploče
- naročito primjenjiv za viseće i ovještene mostove zbog velike torzijske krutosti
- jednostavna izvedba montažnim postupkom gdje se u radionici izvede segmenti rasponskog sklopa do 12m
- oblikovne varijacije sa kosim ili zakrivljenim hrptovima i/ili pojasnicama

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

Pregled suvremenih tipova

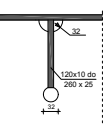
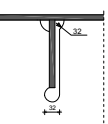
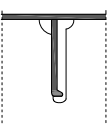
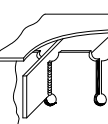
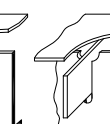
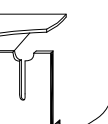
Otvorena rebra

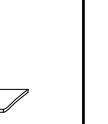
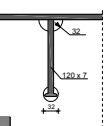
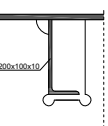
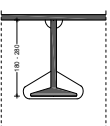
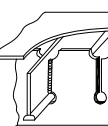
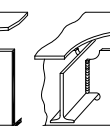
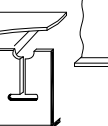
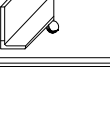
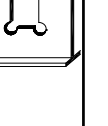
Prednosti

- jednostavna radionička i montažna izvedba
- moguća jednostavna varijacija po visini duž mosta
- sve površine su podložne pregledu

Nedostaci

- mala torzijska krutost koja onemogućava dobru raspodjelu opterećenja na susjedna rebra
- posljedica ovoga su potrebni mali razmaci između takvih rebara, pa su ove ploče općenito teže
- velika količina zavora (otprilike dvostruko veća nego kod ploča sa zatvorenim rebrima)

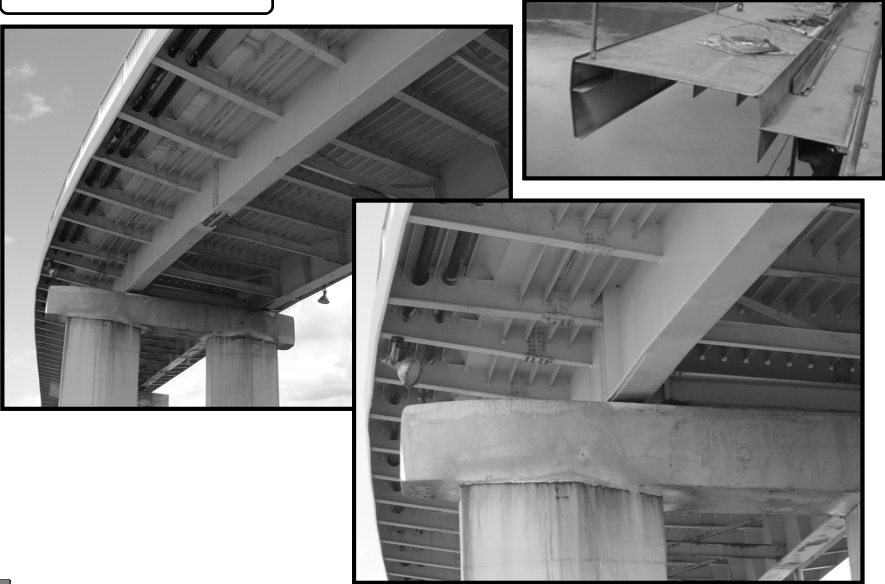








Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Pregled suvremenih tipova

Otvorena rebra



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

Pregled suvremenih tipova

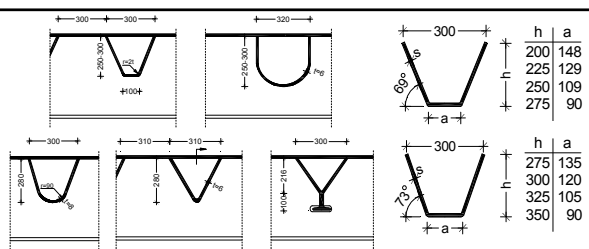
Zatvorena rebra

Prednosti

- vrlo povoljna raspodjela koncentriranih opterećenja
- za izvedbu potrebno je dvostruko manje zavaru nego kod ploča sa otvorenim rebrima
- poprečni nosači mogu biti na većim razmacima pa je izvedba racionalnija
- manja težina ploče
- zatvoreni tankostijeni presjeci posjeduju veliku elastičnu stabilnost

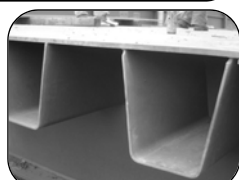
Nedostaci

- složena izvedba i spajanje na gradilištu, potrebna je velika preciznost
- površine unutar zatvorenog rebra nisu dostupne pregledu
- varijacije po visini nisu jednostavno izvedive



h	a
200	148
225	129
250	109
275	90

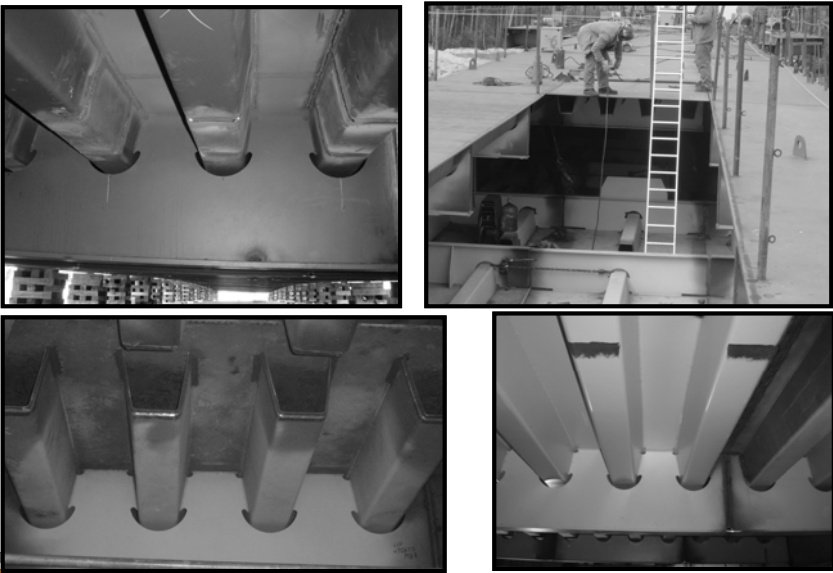
h	a
275	135
300	120
325	105
350	90



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

Pregled suvremenih tipova

Zatvorena rebra

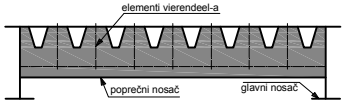
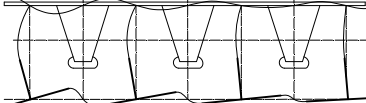


Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Pregled suvremenih tipova

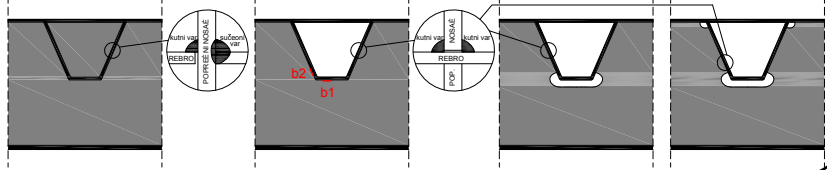
Poprečni nosač

- oblikovani kao obrnuti T presjeci
- uobičajeni razmak poprečnih nosača iznosi od 2 do 5 m
- razmak poprečnih nosača trebao bi biti veći kod širih ploča
- izrezi za kontinuitet rebra – oslabljenje presjeka – visina izreza manja od 40% visine rebra
- poprečni nosač se računa prema modelu Vierendeel-a

Spoj rebra s poprečnim nosačem

- problemi nastanka pukotina u okolini spoja rebra i poprečnog nosača
- u slučaju rebra bez koncentracijskih rupa naprezanja u **b1** su oko 1,5 do 4 puta veća nego u **b2**
- poprečni nosači trebali bi što više djelovati kao slobodni oslonci, odnosno rebra svoje savijanje ne bi trebala prenositi u poprečni nosač



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

Pregled suvremenih tipova

Spoj rebra s poprečnim nosačem

– SCF ("stress concentration factor") za ovalne izreze i za tzv. "Haibach" izreze

(a)

$r = 15 \text{ mm} \Rightarrow \text{SCF} = 3.3$
 $r = 25 \text{ mm} \Rightarrow \text{SCF} = 2.5$

TLAK VLAK

(b)

$r = 20 \text{ mm} \Rightarrow \text{SCF} = 1.6$

TLAK VLAK

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

Proračun ortotropnih ploča

**Osnovni izrazi
jednadžbe ploče i
njene transformacije**

$$M_y = -D_y \left(\nu_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$M_x = -D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

$$M_{xy} = M_{yx} = -2D_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$R_x = V_x - \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = -D_x \left(\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + 2 \frac{H}{D_x} \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right)$$

$$R_y = V_y - \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} = -D_y \left(\frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + 2 \frac{H}{D_y} \frac{\partial^3 w}{\partial y \partial x^2} \right)$$

Uvjeti torzijske krutosti	Primjena uz zadani uvjet	Dodatni uvjeti krutosti na savijanje	Primjena uz dodatan uvjet
$H^2 > D_x D_y$	ploča sa velikom torzijskom krutošću $D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$	poprečna krutost se zanemaruje $D_{xy} = 0$	ortotropna ploča sa zatvorenim rebrima $2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$
$H^2 = D_x D_y$	armiranobetonska ploča (armatura u x i y smjeru uzrokuje ortotropnost) $D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$ 	izotropnost i homogenost ploče i materijala $H = D_x = D_y = D$	potpuno izotropna ploča $\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D}$ $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$
$H^2 < D_x D_y$	ploča s malom torzijskom krutošću $D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y)$	poprečna krutost se zanemaruje $D_{xy} = H = 0$	ortotropna ploča sa otvorenim rebrima $\frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x, y)}{D_y}$

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

Proračun ortotropnih ploča

Sustavi nosivosti

- SISTEM 1**
 - promatra se ravni lim ploče uzdužno oslonjen na rebra, a poprečno na hriptove poprečnih nosača
- SISTEM 2**
 - sklop ravnog lima ploče zajedno s rebrima kao ortotropna ploča oslonjena na uzdužne i poprečne nosače koji su nepopustljivi
- SISTEM 3**
 - utjecaj popuštanja poprečnih nosača na ortotropnu ploču
 - aktivira se roštiljno djelovanje
- SISTEM 4**
 - ortotropna ploča se promatra u spregnutom djelovanju sa glavnim nosačima
 - ortotropna ploča kao gornji pojas sanduka

SUSTAV 1

SUSTAV 2

SUSTAV 3

SUSTAV 4

SUSTAV 2+3

SUSTAV 4*

SUSTAV 4**

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

Proračun ortotropnih ploča

Torzijska krutost

Aktiviranje torzijske krutosti u zatvorenim rebrima:

Is crtana linija - deformacija kada je lim ploče dostatno krut - rebra u potpunosti svojom torzijskom krutošću sudjeluju u raspodjeli opterećenja na ploči

U suprotnom razmatranju, kada pretpostavljamo da je ploča fleksibilna, ne postoji torzijska deformacija rebra uslijed opterećenja ploče pa se torzijska krutost rebra ne može aktivirati.

U stvarnosti niti jedan od ova dva slučaja nije točan jer lim ploče posjeduje određenu krutost na savijanje pa se rebra donekle torzijski zakreću.

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

Proračun ortotropnih ploča

Torzijska krutost

Redukcija torzijske krutosti rebra zbog fleksijskih deformacija ploče:

- od 5 do 50%
- ovisi o geometrijskim odnosima i odnosima debljina limova rebra i ploče
- izračun redukcijskog faktora μ :

$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{GI_T}{EI_o} \frac{a^3}{12 \cdot (a+e)^2} \left(\frac{\pi}{s_2} \right) \left[\left(\frac{e}{a} \right)^3 + \left(\frac{e-b}{a+b} + \lambda \right)^2 + \frac{\lambda}{\kappa} \left(\frac{b}{a} \right)^3 \right] + \left[\frac{24}{\kappa} \frac{h'}{a} \left(c_1^2 + c_1 c_2 + \frac{c_2^2}{3} \right) \right]$$

gdje su:

$GI_T = G \frac{4A_m^2}{\sum \frac{u}{t}}$ - torzijska krutost zatvorenog rebra

$EI_o = \frac{Et_p^3}{10,92}$ - krutost ploče

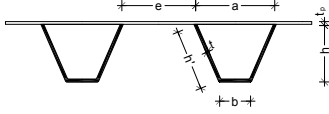
$\kappa = \left(\frac{t}{t_p} \right)$ - odnos krutosti limova

$s_2 = 0,81 \cdot s$ - raspon za torziju

$c_1 = \frac{\lambda b}{2a}$

$c_2 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{a-b}{a} - \frac{a+e}{a+b} \cdot \frac{b}{2a}$

$\lambda = \frac{(2a+b)(a+e)bh' - \kappa a^3(e-b)}{(a+b)[2h'(a^2+ab+b^2) + b^3 + \kappa a^3]}$



A_m – površina unutar zatvorenog rebra
 s – razmak poprečnih nosača

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

Proračun ortotropnih ploča

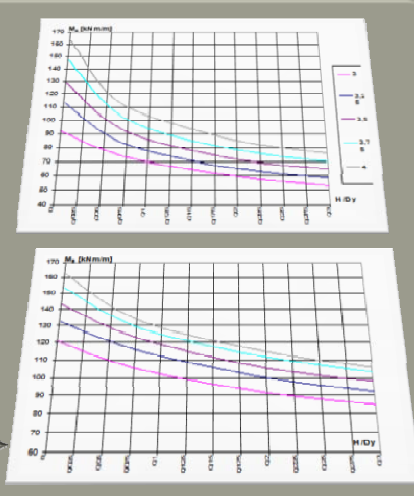
Pelikan-Eßlinger metoda

- za dimenzioniranje čeličnih ortotropnih ploča prema prometnim shemama opterećenja (SLW, EN1991-2)
- dijagrami su izrađeni prema Huberovoj jednadžbi sa pretpostavkom da je poprečna krutost zanemariva
- dvije faze proračuna – Sistem 2 i Sistem 3

Proračun ploče na nepopustljivim osloncima (Sistem 2)

- određivanje geometrijskih i statičkih karakteristika rebra, ploče i poprečnih nosača
- određivanje krutosti ploče po jediničnoj širini $D_y = \frac{EI_s}{a+e}$
- proračun torzijske krutosti uzdužnog rebra $EI_o = \frac{Et_p^3}{10,92}$
- proračun torzijske krutosti zatvorenog rebra $GI_T = G \frac{4A_m^2}{\sum \frac{u}{t}}$
- proračun redukcijskog faktora torzijske krutosti
- proračun torzijske krutosti po jedinici širine $H = \frac{\mu GI_T}{2(a+e)}$
- proračun relevantnog parametra krutosti ploče H/D_y

Očitati vrijednosti momenta savijanja za H/D_y



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

Proračun ortotropnih ploča

Pelikan-Eßlinger metoda

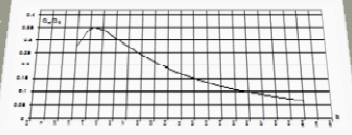
- za dimensioniranje čeličnih ortotropnih ploča prema prometnim shemama opterećenja (SLW, EN1991-2)
- dijagrami su izrađeni prema Huberovoj jednadžbi sa pretpostavkom da je poprečna krutost zanemariva
- dvije faze proračuna – Sistem 2 i Sistem 3

Proračun utjecaja popuštanja oslonaca poprečnih nosača (Sistem 3)

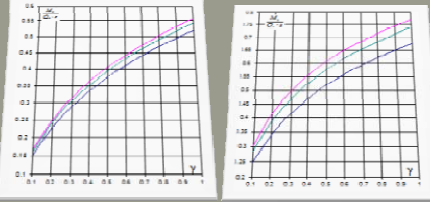
- odrediti bezdimenzionalni faktor γ kojim se izražava popuštanje oslonaca

$$\gamma = \frac{b^4}{\pi^4 s^3 (a + e)} \frac{I_R}{I_Q}$$

- ovisno o rasponu poprečnih nosača b odrediti prvi član Fourierovog reda Q_0/Q_0



- za γ očitati bezdimenzionalni moment savijanja u polju i nad ležajem



- ukupna promjena momenta uslijed popuštanja poprečnih nosača iznosi:

za polje $\Delta M_c = Q_0 \cdot s \cdot \frac{Q_0}{Q_0} \cdot \left(\frac{M_c}{Q_0 \cdot s} \right)$

za ležaj $\Delta M_s = Q_0 \cdot s \cdot \frac{Q_0}{Q_0} \cdot \left(\frac{M_s}{Q_0 \cdot s} \right)$

$Q_0 = \frac{\varphi \cdot P}{2g}$ pritisak jednog kotača SLW 600

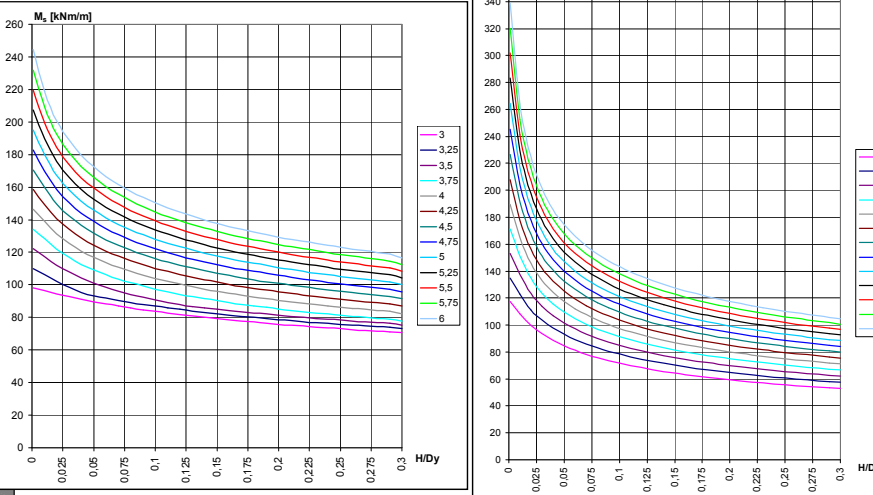
Građevinski fakultet u Zagrebu Mostovi II Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun ortotropnih ploča

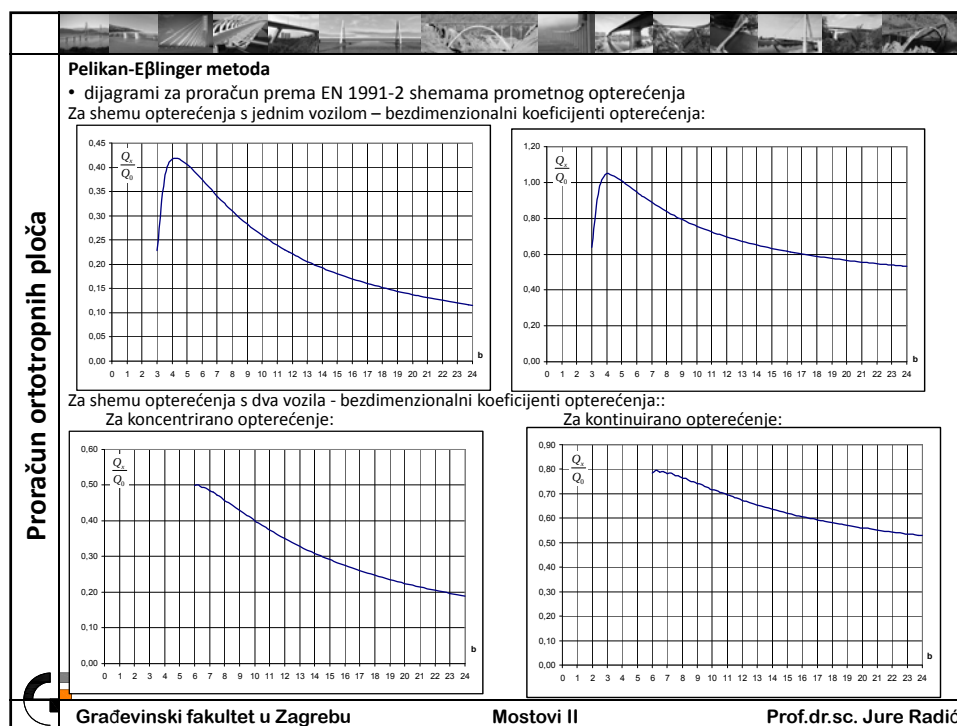
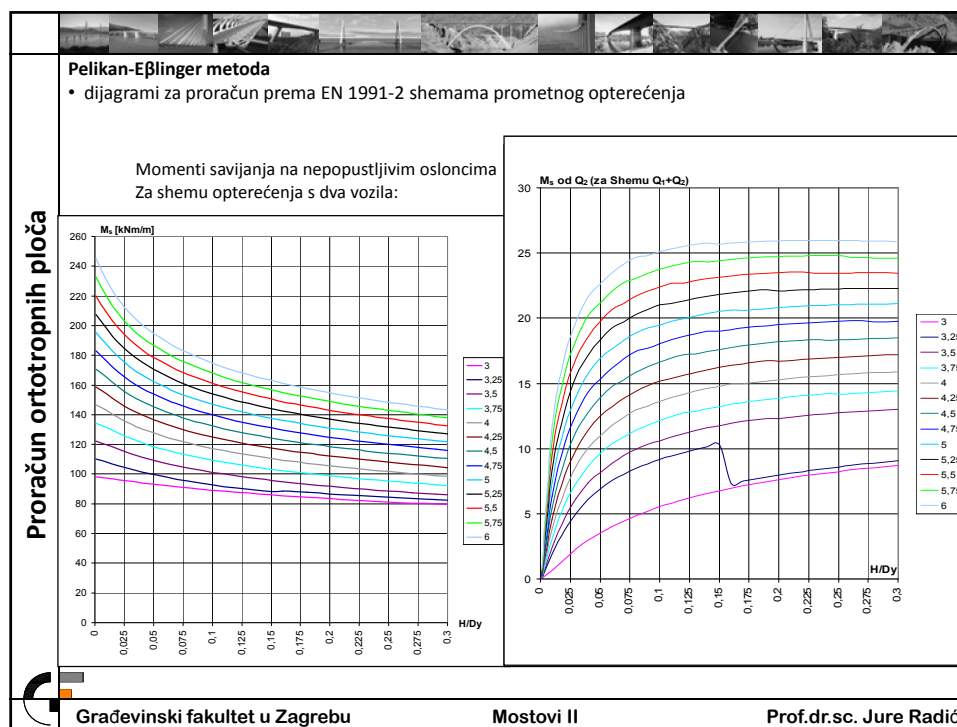
Pelikan-Eßlinger metoda

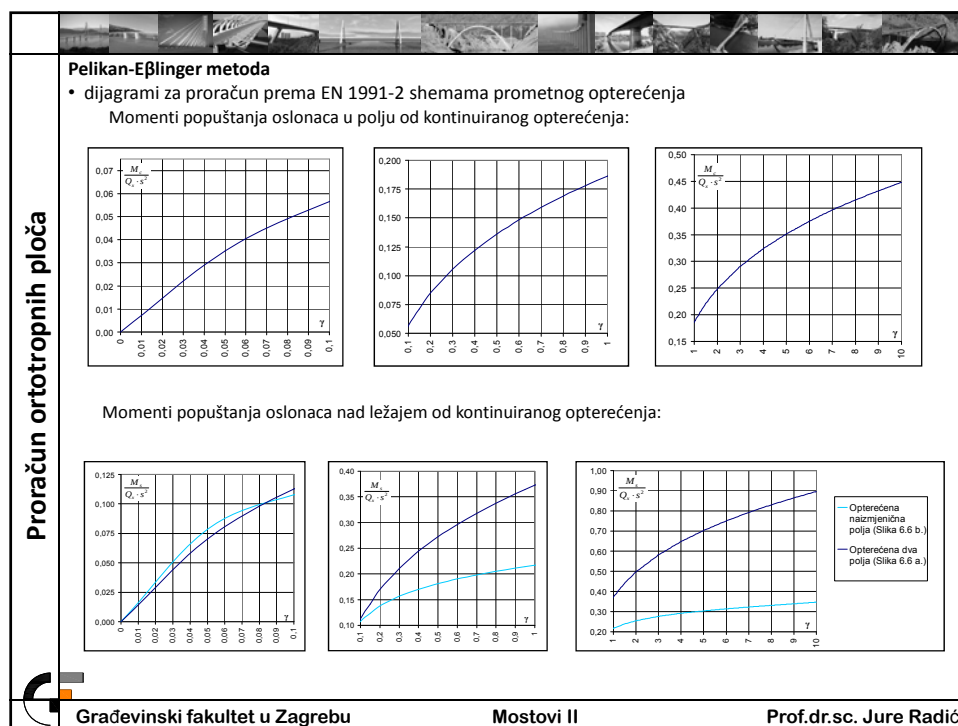
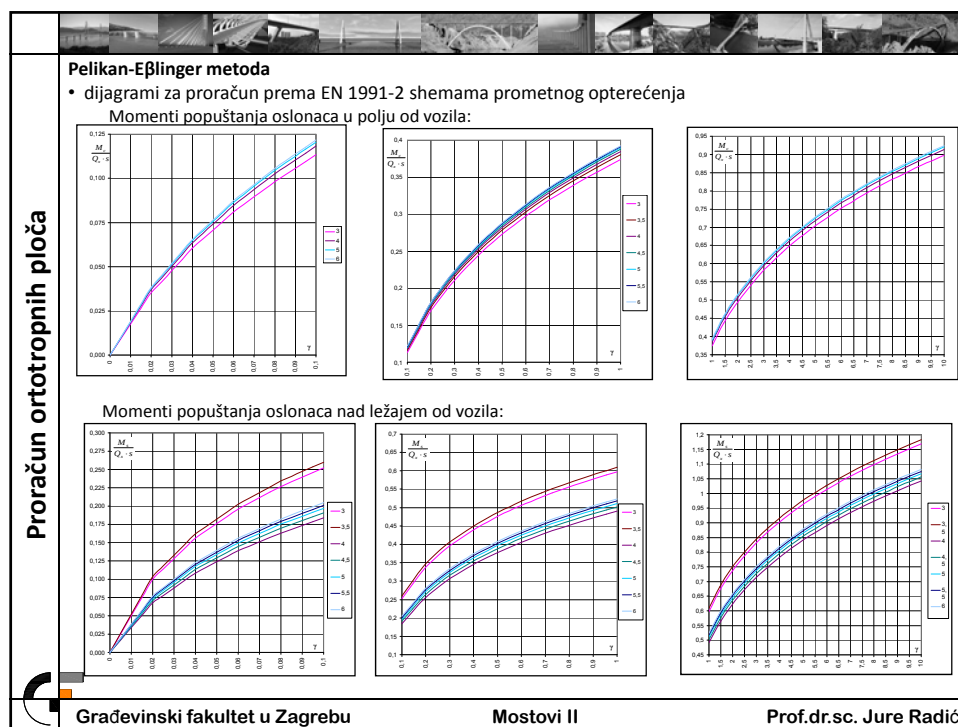
- dijagrami za proračun prema EN 1991-2 shemama prometnog opterećenja

Momenti savijanja na nepopustljivim osloncima
Za shemu opterećenja s jednim vozilom:



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





Proračun ortotropnih ploča

Primjer proračuna:

	A_i	z_i	$A_i z_i$	$z_i z_{Ri}$	$I_i = A_i (z_i - z_R)^2$	I^0	$I = I^0 + I_i$
	1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
Pojas	16,00	29,60	473,60	11,21	2012,24	0,85	2013,10
Trptovi	47,40	14,60	692,04	-3,78	679,24	3367,93	4047,17
Σ	63,40	18,39	1165,64		2691,48	3368,78	6060,26

	A_R	I_R	Z_0	Z_R	W_{R0}	W_{R1}
Rebro bez ploče	63,40	6060,26	-11,61	18,39	-329,62	521,78
Rebro s pločom	135,40	18220,87	-21,71	9,49	-1920,05	839,28

	A_i	z_i	$A_i z_i$	$z_i z_{Ri}$	$I_i = A_i (z_i - z_R)^2$	I^0	$I = I^0 + I_i$
	1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
Ploča	407,55	-0,60	-244,53	-12,97	68589,98	48,91	68638,89
Trstak	80,00	40,00	3200,00	27,63	61059,96	42666,67	103726,63
D. pojas	45,00	80,75	3633,75	68,38	210393,46	8,44	210401,89
Σ	532,55	12,37	6589,22		340043,40	42715,67	382758,97

	A_R	I_R	Z_0	Z_R	W_{R0}	W_{R1}
Ploča	532,55	382758,97	-12,97	69,13	-29504,21	5537,04

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

Proračun ortotropnih ploča

Primjer proračuna:

PRORAČUN SISTEMA 2

$b_0 = s/2 = 2000 \text{ mm}$

$\beta = \frac{1}{1 + 6,4 \left(\frac{b_0}{l_0} \right)^2} = 0,819$

$I_{R0} = 2\beta I_0 = 3091,67$

provjera krutosti uzdužnog rebra:

$I_{R0} = \frac{I_0}{0,0928 \sqrt{1 - \beta}} = 1910,23 > 50$

$\mu = 0,83335$ (redukcijski faktor torzijske krutosti)

$H = \frac{\mu G I_{R0}}{2(a + e)} = 1,574 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$ (torzijska krutost ploče po cm širine)

PRORAČUN SISTEMA 3

Iz dijagrama se očitava:

- za SLW 600: $N_1 = 1,403 \text{ N/mm}$, $N_2 = -1,153 \text{ N/mm}$
- za SLW 600+300: $N_1 = 1,403 \text{ N/mm}$, $N_2 = -1,153 \text{ N/mm}$

$r = \frac{E'}{E} \frac{I_2}{I_0} = 0,2639$ (parametar vrijedja popunjavanja p.u.)

$\sigma = 1,1$, $0,008 \cdot s = 1,57$

$\Omega_{0,1} = \frac{r \cdot \sigma}{2} = 195,43$ (kNm (nabavno opterećenje G1 vozila))

Širinu $b=12\text{m}$ i izračunati y , iz tablice je očitano i prema izrazima [5.76] i [5.77] izračunato:

- za SLW 600: $Q_0 = 0,22039$, $M_0 = 0,20939$, $M_1 = 0,17670$
- za SLW 600+300: $Q_0 = 0,22039$, $M_0 = 0,20939$, $M_1 = 0,17670$

$\Delta M_0 = Q_0 \cdot a \cdot \left(\frac{M_1}{Q_1} \right) = 45,55 \text{ kNm/m}$

$\Delta M_1 = Q_1 \cdot a \cdot \left(\frac{M_0}{Q_0} \right) = 87,21 \text{ kNm/m}$

$M_2 = (M_0 + \Delta M_1) \cdot (a + e) = 113,72 \text{ kNm/m}$

$M_3 = (M_1 + \Delta M_0) \cdot (a + e) = 41,88 \text{ kNm/m}$

$\Delta M_2 = Q_2 \cdot a \cdot \left(\frac{M_3}{Q_3} \right) = 0,172 \text{ kNm/m}$

$\Delta M_3 = Q_3 \cdot a \cdot \left(\frac{M_2}{Q_2} \right) = 707,43 \text{ kNm/m}$

$M_4 = (M_2 + \Delta M_3) \cdot (a + e) = 702,04 \text{ kNm/m}$

$M_5 = (M_3 + \Delta M_2) \cdot (a + e) = 36,74 \text{ kNm/m}$

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

Proračun ortotropnih ploča

Primjer proračuna:

	M_x (polje)	M_y (ležaj)	W_k	σ_x (polje)	σ_y (ležaj)
	kNm	kNm	cm ³	N/mm ²	N/mm ²
sa popuštanjem oslonaca (mjerodavno za polje)					
Gornji rub	113,72	-41,88	-1920,05	-89,23	21,81
Donji rub	113,72	-41,88	839,28	135,49	-40,00
bez popuštanja oslonaca (mjerodavno za ležaj)					
Gornji rub	84,00	91,20	1920,05	43,75	47,69
Donji rub	84,00	-91,20	839,28	100,09	-108,68

	M_x (polje)	M_y (ležaj)	W_k	σ_x (polje)	σ_y (ležaj)
	kNm	kNm	cm ³	N/mm ²	N/mm ²
sa popuštanjem oslonaca (mjerodavno za polje)					
Gornji rub	122,84	-26,74	-1920,05	-63,88	13,03
Donji rub	122,84	-26,74	839,28	146,34	-31,87
bez popuštanja oslonaca (mjerodavno za ležaj)					
Gornji rub	84,00	91,20	1920,05	43,75	47,69
Donji rub	84,00	-91,20	839,28	100,09	-108,68

Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Proračun ortotropnih ploča						
	Modeliranje čelične ortotropne ploče:					
	SISTEM 2:					
	SISTEM 2+3:					
	Građevinski fakultet u Zagrebu		Mostovi II		Prof.dr.sc. Jure Radić	

Proračun ortotropnih ploča

Modeliranje čelične ortotropne ploče:

- Rezultati uvelike variraju ovisno o slijedećim parametrima:
 1. o veličini elementa
 2. o tome da li se čitaju čvorne vrijednosti ili vrijednosti iz sredine elementa
- Zaključci o modeliranju ortotropnih ploča:
 1. veličina elementa ne smije biti velika u okolini oslonca (poprečnog nosača) – max cca 10 cm
 2. veličina elementa ne smije biti premala u sredini strukturalne plohe zbog lokalnih utjecaja (sistem 1)

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

Proračun ortotropnih ploča

Progibne plohe ortotropne ploče:

Q1 Q2

Momentna ploha ortotropne ploče:

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

Budućnost primjene ortotropne ploče

Zahtjevi nosivosti, uporabljivosti i trajnosti

1. Dugi životni vijek od 80 do 120 godina. Osiguranje ovakvog životnog vijeka moguće je upotrebom ortotropnih ploča dostatne otpornosti na zamor i trajnosti zastora.
2. Smanjivanje težine konstrukcije za izvedbu mostova vrlo velikih raspona gdje vlastita težina mosta još uvijek čini glavninu ukupne nosivosti mosta. Ovo se može postići upotrebom čelika visoke čvrstoće i tankih kolničkih zastora.
3. Povećanje nosivosti za buduća prometna opterećenja. Već danas se primjećuje sve veća frekvencija pojavljivanja teških vozila u prometu, a veliki je problem i broj preopterećenih vozila.

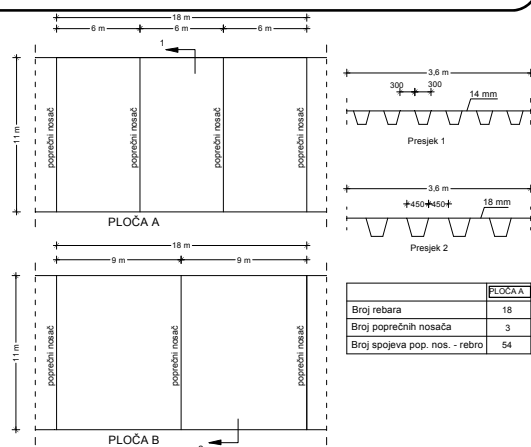
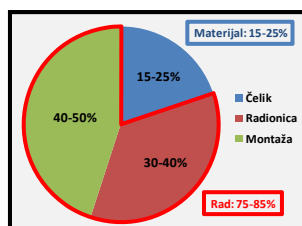
Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Konstrukcijska optimizacija i povećanje ekonomičnosti

- upotreba ortotropnih ploča većeg raspona
- ukupni troškovi izrade ortotropne ploče najvećim su dijelom određeni troškovima rada
- broj (skupih) spojeva poprečnog nosača i rebra može se smanjiti?



Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

Budućnost primjene ortotropne ploče

Konstrukcijska optimizacija i povećanje ekonomičnosti

- upotreba ortotropnih ploča većeg raspona
- ukupni troškovi izrade ortotropne ploče najvećim su dijelom određeni troškovima rada
- broj (skupih) spojeva poprečnog nosača i rebra može se smanjiti?

Materijal: 15-25%

Čelik: 15-25%

Radionica: 30-40%

Montaža: 40-50%

Rad: 75-85%

Prednosti	Nedostaci
manji broj skupih spojeva poprečni nosač - rebro	veća visina rebara i debljina ploče
veće iskorištenje torzijske krutosti rebra - - bolja raspodjela opterećenja na ostala rebra	veća visina poprečnih nosača
manja količina čelika za izradu poprečnih nosača	nedostatak iskustva u izvedbi i korištenju ovakvih ploča
za vitke poprečne nosače, spojevi poprečnog nosača i rebra mogu se izvoditi bez dodatnih izreza ispod rebra	propisi nekih zemalja ne dopuštaju upotrebu ortotropnih ploča raspona većih od 5 m (DIN Fachbericht 103)
veća krutost lima ploče zbog veće debljine - - bolje ponašanje ploče za zahtjeve zastora	

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

Budućnost primjene ortotropne ploče

Nova područja primjene

- U posljednje vrijeme se u svijetu ulažu velika sredstva u održavanje i popravak mostova izgrađenih u drugoj polovici 20.st.
- Glavni razlozi njihovog propadanja su povećani utjecaji teškog prometa i korozija armature uslijed otkazivanja hidroizolacije i korištenja soli za odleđivanje. Najkritičnije oštećeni dijelovi ovih mostova su betonske kolničke ploče, a popravak ovih ploča raste eksponencijalno s njihovom starošću.
- Korištenje ortotropne ploče idealan je način zamjene ovih betonskih kolnika jer su one lakše od starog sustava, zamjenu je moguće učiniti relativno brzo uz minimalne prekid u prometu, trajnost nove ploče je veća od stare, a eliminiraju se i kritični dijelovi dilatacija stare kolničke ploče.
- Zbog manje ukupne vlastite težine, povećava se nosivost glavnog nosivog sustava mosta na pokretna opterećenja.

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

Budućnost primjene ortotropne ploče

Nova područja primjene

PRESJEK A-A

PRESJEK B-B

Spoj nove ortotropne ploče i postojećih hrptova poprečnih nosača

Problem koji se može javiti je da ne postoji dovoljna raspoloživa visina iznad postojećeg poprečnog nosača za upotrebu ploče sa rebrima koja prolaze kontinuirano. Moguće rješenje: podizanje nivelete ili se izvede specijalni detalji

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

Budućnost primjene ortotropne ploče

Standardizacija proizvodnje

- Standardizirana proizvodnja ortotropnih ploča podrazumijeva niz precizno definiranih detalja, postupaka izvedbe i kontrole kvalitete.
- Jasno definirane specifikacije omogućile bi proizvodnju standardiziranih ortotropnih ploča bez potrebe za detaljnim analitičkim i numeričkim proračunima.
- Eurocode je na tragu takvom pristupu, jer za neka tipska rješenja detalja ortotropnih ploča u mostogradnji daje jasne smjernice za projektiranje.
- Poštivanjem tih smjernica dozvoljava se izostanak složenih numeričkih dokaza otpornosti na zamor.
- Japanske norme propisuju slična pravila.

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

Ortotropne ploče u Hrvatskoj

1. razdoblje - od kraja II. svjetskog rata do Domovinskog rata

- ortotropna ploča kao sustav se tek počinje primjenjivati – prvo na pokretnom mostu
- uglavnom se preuzimaju tipovi i izvedba iz Njemačke gdje se tada događaju najveći razvoj
- ukupno 11 mostova



most Trogir-Čiovo, 1961. – prvi most s ortotropnom pločom u Hrvatskoj



most u Tisnom, 1965.



most Mičevac, 1968.



most Donji Miholjac, 1974. – rekonstrukcija mosta srušenog u 2. svjetskom ratu

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

Ortotropne ploče u Hrvatskoj

1. razdoblje - od kraja II. svjetskog rata do Domovinskog rata

- mostovi preko naših velikih rijeka na sjeveroistoku zemlje (Sava, Drava, Dunav)



most Ilok, 1974.



most Batina, 1974.



most Erdut-Bogojevo, 1984.

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

Ortotropne ploče u Hrvatskoj

1. razdoblje - od kraja II. svjetskog rata do Domovinskog rata

Oblici rebra

The figure consists of three technical drawings illustrating the cross-sections and plan view of orthotropic plate ribs from the first period (1945-1991).

- Top Left Drawing:** A cross-section of a rib with a total width of 300mm. The top flange is 14mm thick. The web is 12mm thick. The bottom flange is 15mm thick. The total height of the rib is 160mm. The bottom flange is labeled with a width of 100mm.
- Top Right Drawing:** A plan view of a three-span continuous beam. The spans are 300mm each, totaling 900mm. The central support is 200mm wide. The ribs are 7.5mm thick. The bottom flange is 1.3mm thick. The top flange is 12mm thick. The bottom flange is labeled with a width of 250x6mm. The bottom flange is also labeled with a width of 56x30mm.
- Bottom Drawing:** A cross-section of a rib with a total width of 300mm. The top flange is 14mm thick. The web is 10mm thick. The total height of the rib is 240mm.

Građevinski fakultet u Zagrebu

Mostovi II

Prof.dr.sc. Jure Radić

[illegible]

2. razdoblje – mostovi nakon Domovinskog rata

– mostovi sa ortotropnim pločama u sklopu intenzivne cestogradnje

Ortotropne ploče u Hrvatskoj

most Gacka, 2004.

most Osijek (Pampas), 2007.

most Zaprešić, 2005.

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

2. razdoblje – mostovi nakon Domovinskog rata

Oblici rebra

Ortotropne ploče u Hrvatskoj

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

