

OBLIKOVANJE GLAVNIH NOSAČA

MONOLITNI REBRASTI SKLOP

Nosivost u uzdužnom smjeru osiguravaju diskretni nosači - rebra, povezani pločom koja osigurava nosivost u poprečnom smjeru i preraspodjelu opterećenja s opterećenijeg na manje opterećene nosače. Cjelinu zaokružuju konzole. Broj nosača ovisi o širini mosta i načinu izvedbe. Za pješačke mostove dostatno je jedno rebro, za cestovne mostove uvriježenih širina pri izvedbi na mjestu dostatna su dva rebra, dok se kod montažne i polumontažne izvedbe presjek sastoji i od većeg broja nosača.

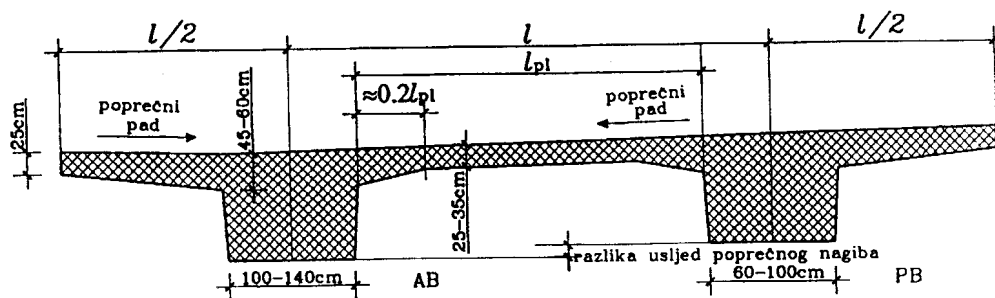
Najmanje izmjere kolničke ploče (prema Sl. 1):

- Kraj konzole: 25,0 cm
- Sredina kolničke ploče: 25,0 – 35,0 cm, ovisno o rasponu l_{pl}
- Debljina nad hrptovima: 45,0 – 60,0 cm, ovisno o rasponu
- Duljina zadebljanja (vute): $\approx 0,2l_{pl}$, l_{pl} - raspon ploče

Izmjere rebara:

Visinu treba odrediti približno prema Tablici 2.1.2.(SKRIPTA). Širina rebra određuje se na osnovu prostora potrebnog za vlačnu zonu, tako da se omogući kvalitetna ugradba betona nakon smještanja kabela i nenapete armature.

Kod armirano betonskih sklopova debljina rebra može biti od 1.00 m do 1.40 m, a prema potrebi i više. Kod prednapetih sklopova koji se izvode na mjestu debljina rebra može ići i od 0.60 m pa do otprilike 1.00 m. (sl. 1.) Zbog visoko smještenog težišta ovakvi presjeci mogu samo ograničeno preuzeti negativne momente, što se može poboljšati podebljanjem čitavog rebra ili proširenjem donjeg pojasa, ili pak tlačnom armaturom. Kada se ploča poprečno prednapinje, razmak rebara može narasti do 8,0 m. Poprečni nosači, povoljni zbog povećanja torzijske krutosti i prijema opterećenja vjetrom, dovoljni su samo nad osloncima, a ako je kolnička ploča dovoljno čvrsta da sa rebrima tvori okvirno djelovanje nisu potrebni ni nad osloncima (poprečni nosači otežavaju izvedbu!)

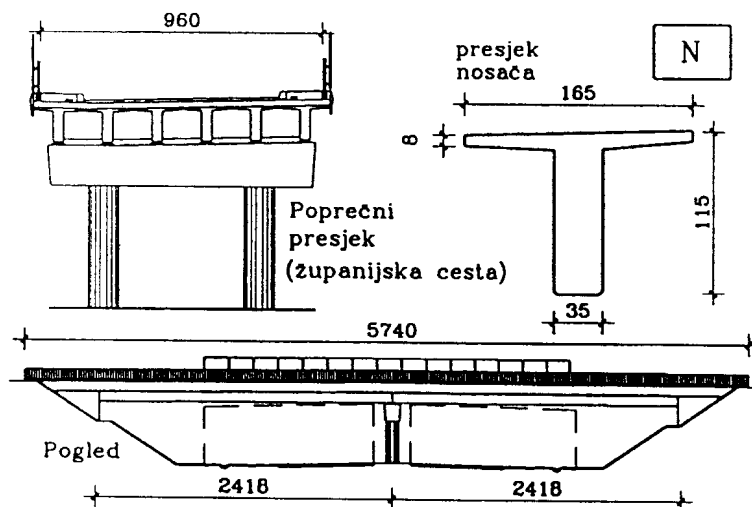


Slika 1 Približne izmjere rebrastog rasponskog sklopa pri izvedbi na mjestu.

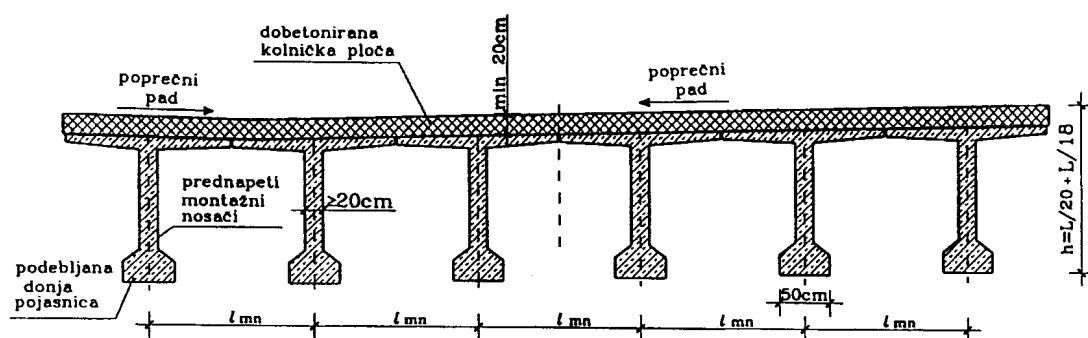
PREDNAPETI MONTAŽNI NOSAČI – T i I TIP

Izmjere prednapetih montažnih nosača najviše ovise o rasponu i raspoloživoj opremi za izgradnju (nastoji se ograničiti masa nosača). Najmanja debljina hrptova neka bude 20 cm, a može biti stalna (primjer na Slici 2), (vidi primjere 3 i 4-SKRIPTA), ili se uvodi podebljanje u blizini ležaja (primjer na Slici 3.). Na slici 4 dan je prikaz tipskih montažnih prednapetih nosača I ili T tipa koji se koriste u Hrvatskoj za navedene raspone mostova.

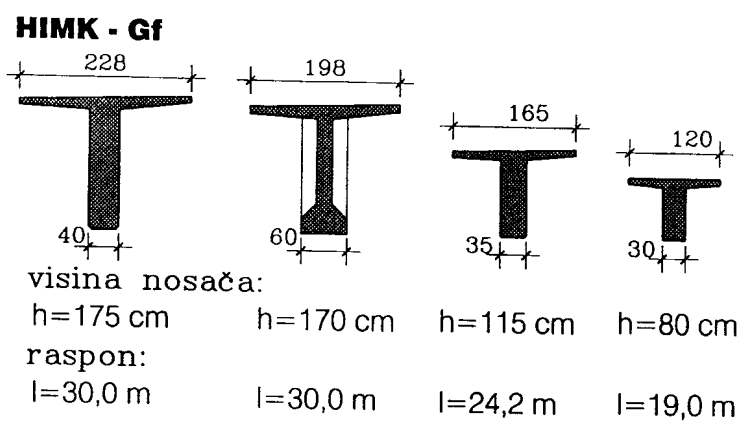
Gornje pojasnice susjednih nosača mogu biti razmaknute ili se međusobno dodirivati. Na slici 5 dan je primjer poprečnog presjeka kada se pojasnice glavnih nosača ne dodiruju nego se razmaci među njima svladavaju Omnia pločama koje predstavljaju izgubljenu oplatu za naknadno betoniranu kolničku ploču. U ovom primjeru vidljivo je da je debljina hrptova 18 cm što je nedovoljno prema današnjim promišljanjima o trajnosti.



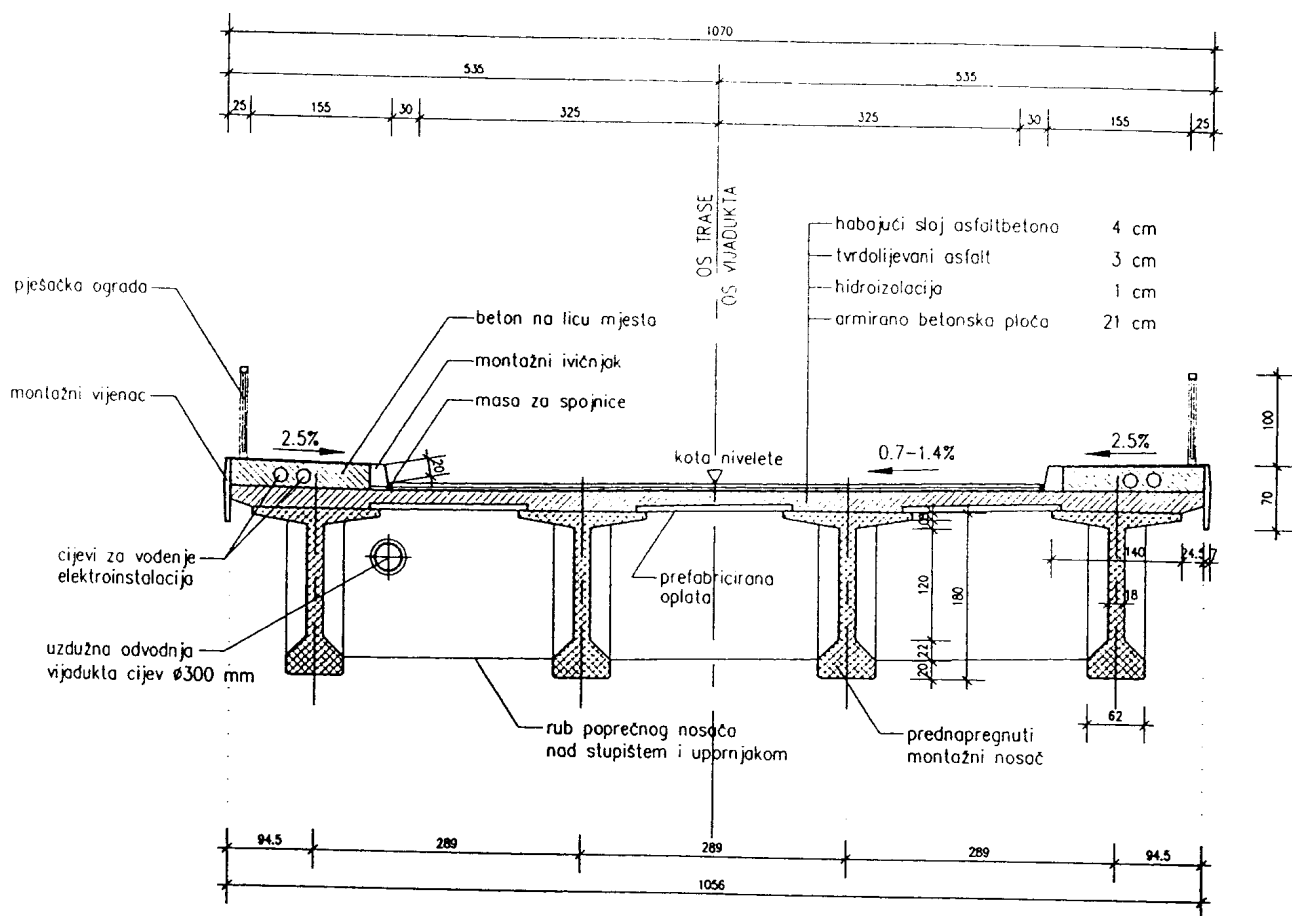
Slika 2. Polumontažni nadvožnjak bez statičke protežnosti glavnih nosača



Slika 3. Poprečni presjek prednapetog mosta u polumontažnoj izvedbi za raspon od 30 m, sa zadebljanom donjom pojasnicom.

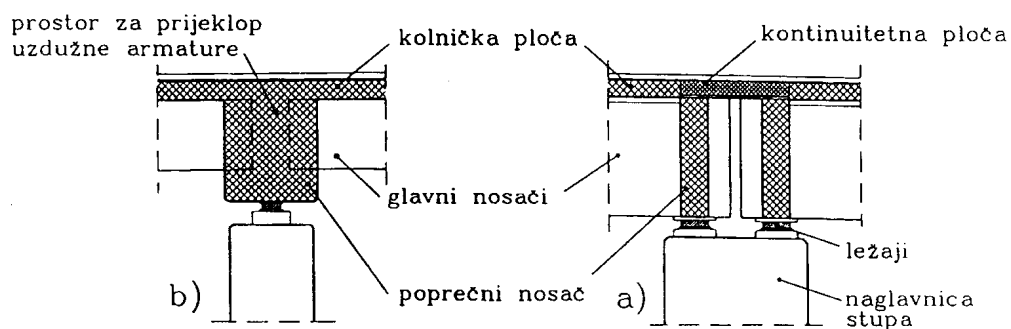


Slika 4. Geometrijske karakteristike tipskih montažnih prednapetih nosača T i I tipa



Slika 5. Poprečni presjek s razmaknutim glavnim nosačima. Razmaci između glavnih nosača svladavaju se predgotovljenim pločama.

Poprečni nosači ugrađuju se uglavnom samo nad osloncima, a oblikovanje im ovisi o načinu uspostavljanja kontinuiteta nad osloncima (slika 6).



Slika 6 a) Kod spoja prostih greda kontinuitetnom pločom ostvaren je kontinuitet prometne plohe, ali ne i statička protežnost glavnih nosača.
b) Spoj greda iz susjednih raspona izvedbom punog kontinuiteta.

Dobetonirana kolnička ploča neka bude najmanje debljine 20 cm. Primjeri 3 i 4 (SKRIPTA) prikazuju raspored nadvožnjaka s prednapetim nosačima u polumontažnoj izvedbi.

SANDUČASTI SKLOP

Oblik sandučastog nosača jamči veliku torzijsku krutost sklopa, pa se mogu koristiti i za tlocrtno jako zakrivljene nosače. Visina sanduka je stalna do raspona od oko 60 m. U poprečnom smislu nosivost osigurava kolnička ploča i konzole, koje mogu biti dodatno poduprte poprečnim rebrima ili kosnicima. Poprečni nosači, odnosno unutarnji zidovi ili dijafragme obvezno se ugrađuju nad svim osloncima, a oblikuju se s otvorom, jer unutrašnjost sanduka obavezno mora biti pristupačna pregledu.

Najmanje izmjere kolničke ploče (prema Sl. 6.):

- Kraj konzole: 25,0 cm
- Sredina kolničke ploče: 25,0 – 35,0 cm, *ovisno o rasponu*
- Debljina nad hrptovima: 45,0 – 60,0 cm, *ovisno o rasponu*
- Duljina zadebljanja: $\approx 0,2l_{pl,g}$, $l_{pl,g}$ - raspon ploče

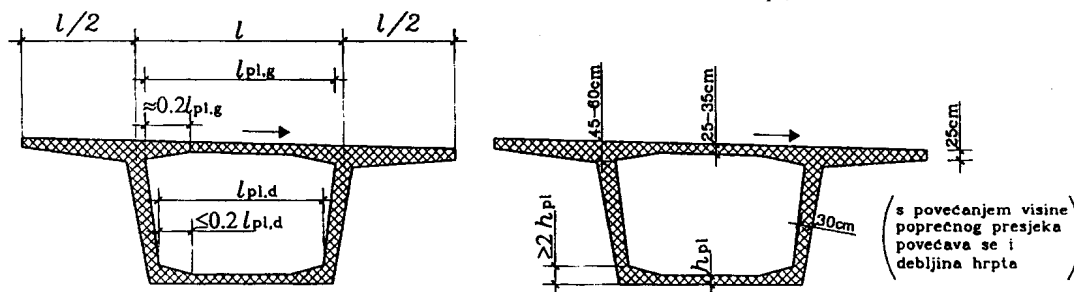
Najmanje debljine hrptova (prema Sl. 6.):

- bez kabela: 30,0 cm
- s kabelima: $20,0 \text{ cm} + \sum \phi$ zaštitnih cijevi kabla.

Debljine hrptova i donje tlačne ploče trebaju se podebljati ondje gdje je statički potrebno, uglavnom u blizini oslonaca.

Izmjere donje ploče sanduka:

- Debljina donje ploče: $h_{pl} = l_{pl,d} / 30$, $h_{pl,min} = 12 \text{ cm}$
- Debljina tlačne ploče na spoju s hrptovima: $\geq 2h_{pl}$
- Duljina zadebljanja: $\leq 0,2l_{pl,d}$

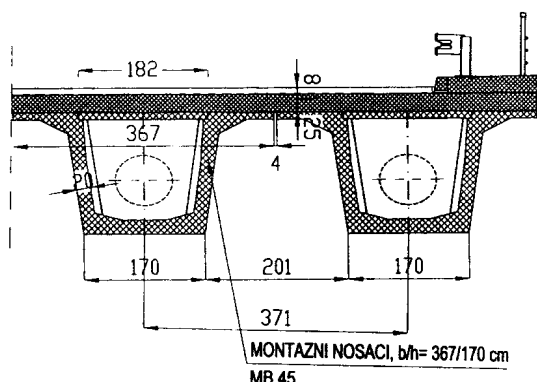


Slika 6. Preporučljive izmjere sandučastog poprečnog presjeka.

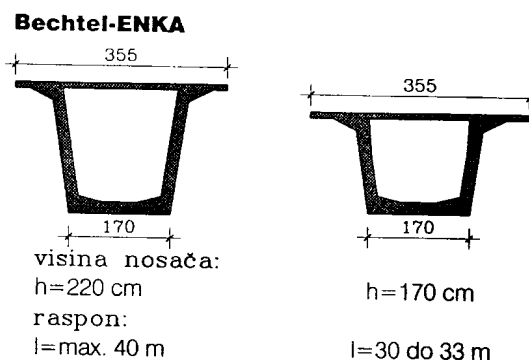
U primjeru 5-SKRIPTA dan je prikaz mosta sandučastog poprečnog presjeka stalne visine. Prema preporukama Tablice 2.2, odnos raspona i visine treba biti oko $L/H=25$, pa visina sanduka za najveći raspon $L=50 \text{ m}$ iznosi 2.0 m . Projektant ovog mosta odstupio je od preporuke zbog načina izgradnje mosta potiskivanjem (kliznim naguravanjem). Rasponski sklop tijekom izvedbe mijenja statički sustav, pa je potrebno osigurati veću krutost. Ovdje je odabrano $L/H = 50/4=12.5$.

PREDNAPETI PREDGOTOVLJENI MONTAŽNI NOSAČI U TIPA

Roštiljni sklop moguće je izvoditi i korištenjem tipskih nosača s poprečnim presjekom oblikovanim poput slova U. Na slici je prikazan jedan tipični Bechtelov poprečni presjek za raspon od oko 30,0 m.



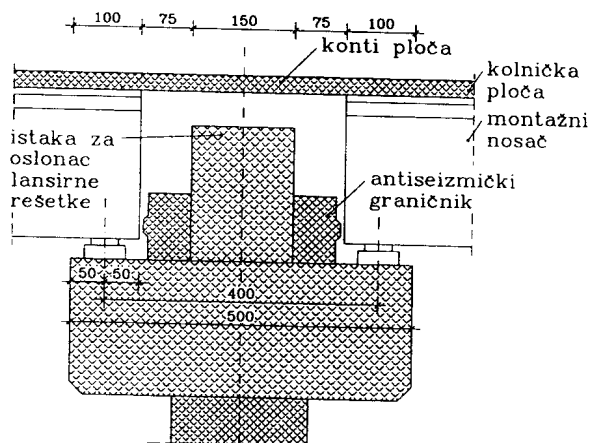
Slika 7. Dio presjeka u trasi autoceste, načinjenog od tipskih U nosača Bechtel



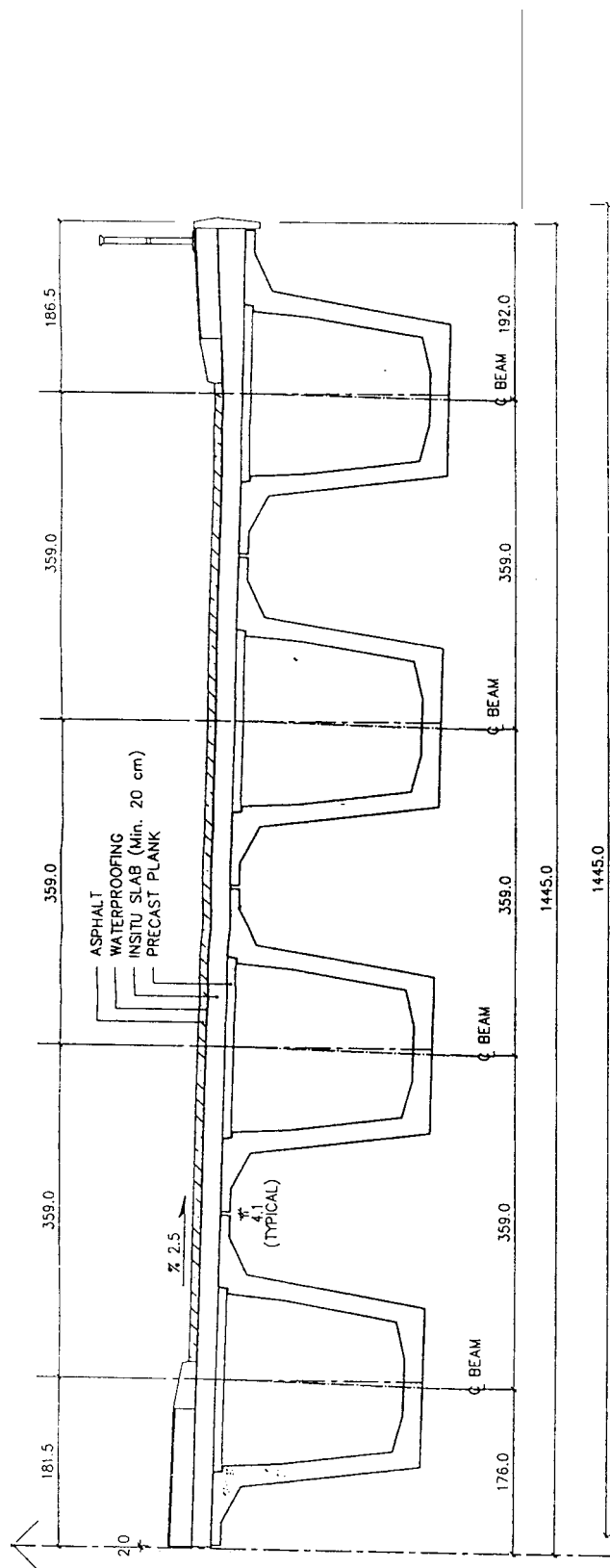
Slika 8. Geometrijske karakteristike tipskih montažnih prednapetih nosača U tipa

Sklop u svakom polju pojedinog mosta sastoji se od uzdužnih predgotovljenih prednapetih nosača, koji su postavljeni jedan do drugog, tako da im se gornje pojasnice gotovo dodiruju. Razmak pojasnica je svega 4 cm. Širina presjeka varira se podešavanjem širine vodoravnih istaka na rubovima nosača. Nosači U presjeka visoki su 170 cm (220 cm), širine 367 cm (355 cm), a nalaze se na osnom razmaku od 371 cm (359 cm). U poprečnom smislu, nakon postavljanja montažnih ploča debljine 10 cm nad šupljinu U presjeka, elementi su povezani na licu mjesta dobetoniranom kolničkom pločom debljine 25 cm. Dimenzije u zgradama odnose se na poprečni presjek za raspone od 40,0 m.

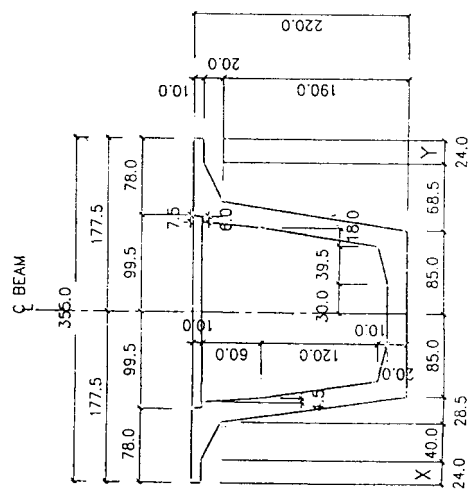
Ovi tipovi nosača nisu predviđeni za kose mostove, a dopuštaju izvedbu mostova u krivini najmanjeg horizontalnog radijusa od 600 m. Kod viših stupova predviđena je ugradba nosača lansirnom rešetkom, dok je kod nižih predviđena izvedba s tla, auto-dizalicom. Za slučaj izvedbe lansirnom rešetkom predviđeno je oslanjanje nosača na vrlo široke naglavnice stupova (slika 9), dok je kod izvedbe autodizalicom s tla naglavnica znatno uža. Susjedna polja povezuju se pomoću kontinuitetnih ploča pa se ne postiže statička protežnost glavnih nosača, odnosno riječ je o roštiljnim prostim gredama. Prikazani nosači su teži od tipaskih nosača do sada korištenih u Hrvatskoj, ali imaju prednost u pogledu povoljnije poprečne raspodjele opterećenja. Prednapinju se adhezivno.



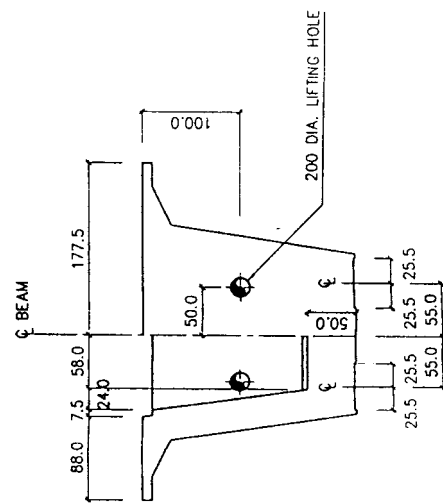
Slika 9. Način oslanjanja tipskih nosača U presjeka



UP TO 40.0m SPAN TYPICAL DECK CROSS SECTION 1/50

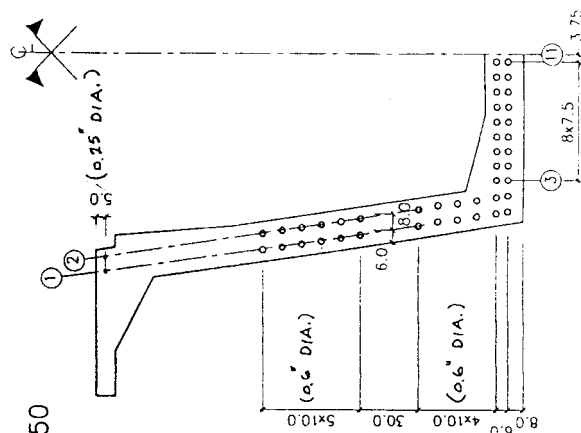


SECTION A-A 1/50



HALF SECTION B-B 1/50

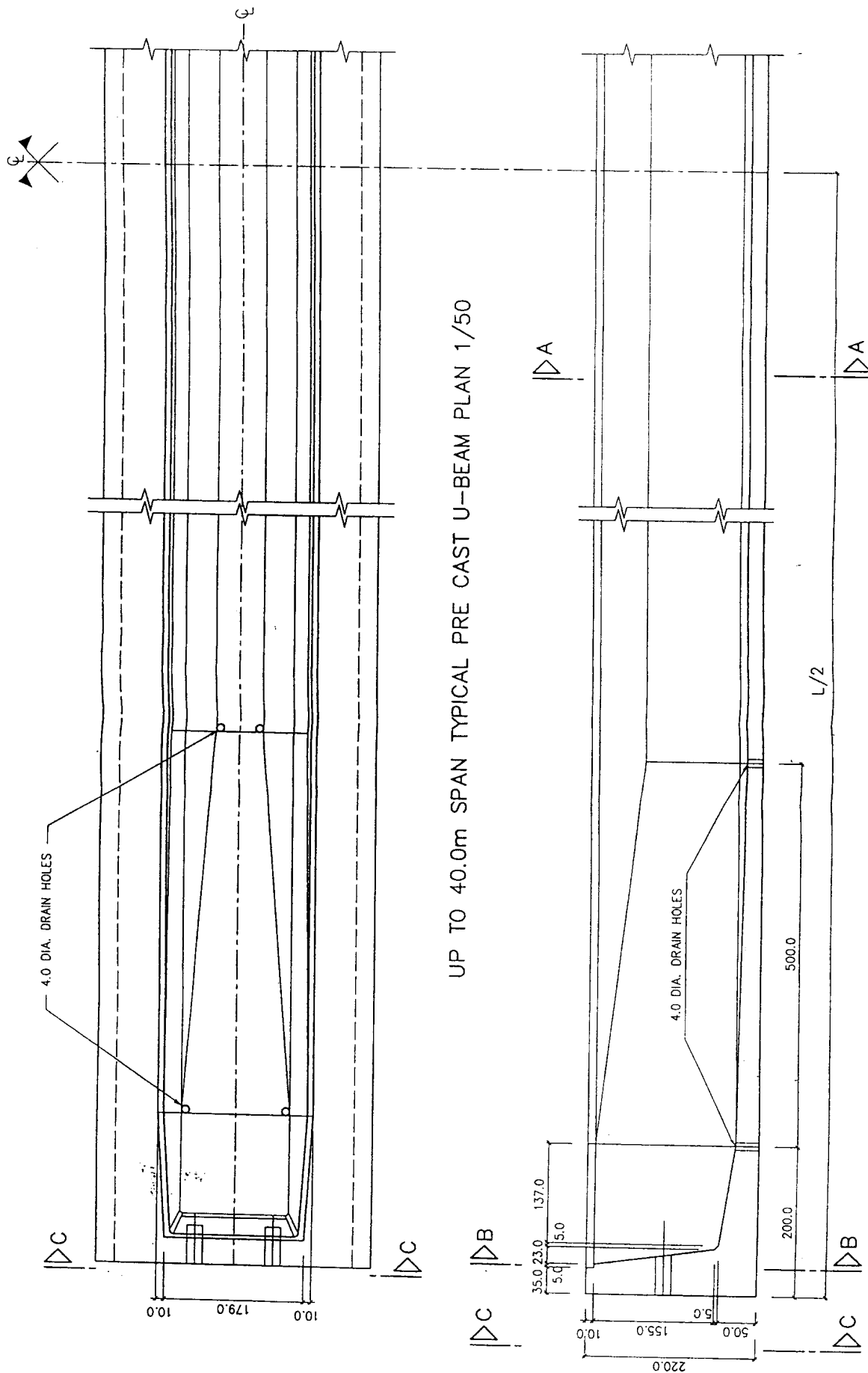
HALF VIEW C-C 1/50



TYPICAL ARRANGEMENT OF
PRESTRESSING STRANDS 1/25

Slika 10.

Poprečni presjek sastavljen od predgotovljenih U nosača, karakteristične dimenzije i tipična raspodjela prednapete užadi



PRE CAST U-BEAM LONGITUDINAL SECTION 1/50

Slika 11. Uzdužni presjek predgotovljenog U nosača

Podsjetnik za izradu i opremanje statičkog proračuna masivnog mosta

Predmet: Mostovi i Masivni mostovi

Asistent: Goran Puž

Statički proračun se radi na stranicama s okvirima, koje su numerirane (od 1 do n). Započinje naslovnicom, nakon koje slijedi Sadržaj. Prvo se prilaže proračun gornjeg, potom proračun donjeg ustroja.

Poglavlje 1 – Skica i opis

Proračun gornjeg ustroja započinje skicom i opisom rasponskog sklopa, gdje je težište stavljeno na statičke značajke (visine nosača, raspon, širine, opterećenja za proračun, statički sustav i drugo). Obzirom da izvedba građevine bitno utječe na proračun, treba je kratko opisati! Dobro je pojasniti usvojene pretpostavke i pojednostavljenja.

Poglavlje 2 – Geometrijske značajke

Slijede geometrijske značajke presjeka. Ako se radi o nosačima s pločom povrh, treba izračunati karakteristike samog nosača i nosača s pripadnim dijelom ploče. Ako se presjek mijenja duž nosača, treba izvući karakteristike većeg broja presjeka.

Osnovne statičke karakteristike su:

A – površina promatranog poprečnog presjeka (m^2)

I – moment inercije (m^4)

Za prednapete sklopove važne su i udaljenosti od težišta do gornjeg i donjeg ruba (Y_g i Y_d), udaljenosti rubova jezgre nosača, kao i momenti otpora (W_g i W_d).

Uz statičke karakteristike prikazuje se i proračunski modul elastičnosti betona (E).

Prednapeti sklopovi često se izvode od prednapetih nosača monolitiziranih kolničkom pločom druge marke betona. U tom slučaju treba izvesti redukciju sudjelujuće širine ploče u omjeru modula elastičnosti, kako bi u račun ušao jedinstven presjek (redukcijom širine otklanja se utjecaj druge marke betona).

Pored glavnih nosača, treba prikazati i značajke ostalih dijelova sklopa: poprečne nosače, stupove (ako ih proračunavamo) itd.

Poglavlje 3 – Opterećenja

Vlastita težina

Kod većine prednapetih nosača mijenja se oblik poprečnog presjeka duž nosača, pa sukladno tome, opterećenje vlastitom težinom nije jednoliko duž nosača. Ukoliko se radi o sklopu s dobetoniranom pločom, treba odrediti dio ploče koji pripada svakom nosaču (nije nužno da se ova vrijednost podudara sa sudjelujućom širinom). Ukoliko se radi o sklopu sa više nosača, različiti nosači u poprečnom presjeku preuzimaju različite utjecaje od ploče. Dakle, diskretni nosači u roštiljnom sklopu razlikuju se već po stalnom opterećenju, što znači da ih obavezno treba zasebno razmatrati i proračunavati!

Kod sandučastog presjeka također treba obratiti pažnju na uzdužne promjene u poprečnom presjeku (npr. podebljanje hrptova).

Kod pločastih mostova ne uzimamo težinu metra širine mosta, već punu težinu nosive ploče (u čitavoj širini l_y).

Dodatno stalno opterećenje

U većini slučajeva sastoji se od:

- težine ograde (čelična pješačka ograda teži oko 40 KN/m, odbojna odprilike isto toliko)
- vijenca (armirani beton, 25 KN/m³)
- rubnjaka i hodnika (25 KN/m³)
- hidroizolacije i asfalta (debljina oko 8 do 10 cm, 20 KN/m³)

Kod sandučastih presjeka koje u proračunu zamjenjujemo štapnim elementima sva opterećenja treba zbrajanjem svesti na linijsko opterećenje (KN/m)

Kod presjeka s diskretnim nosačima razdioba ovih opterećenja ovisi o pretpostavci prema kojoj se radi poprečna razdioba. Ukoliko se koristi predloženi postupak s apsolutno krutim poprečnim nosačem (separat, predavanja prof. Čandrlića), tada se opterećenja koja su inače na rubu presjeka mogu, nakon svođenja na linijsko opterećenje, jednoliko razdijeliti na sve uzdužne nosače.

Kod pločastih nosača vrijedi isti princip: opterećenje rubnim konzolama, pješačkom stazom, ogradom i zastorom jednoliko se raspodjeljuje na punu širinu nosive ploče.

Kod rebrastih mostova koji se izvode na mjestu analiza opterećenja (uključivo poprečnu preraspodjelu) provodi se u svemu prema Skripti, poglavlje 5.2.

Prometno opterećenje

Proračunska shema određuje se prema važećem Pravilniku (vidi Skriptu!).

Nakon toga, određuje se koeficijent dinamičnosti i njime modificiraju proračunska opterećenja.

$G = 14 - 2008 \text{ EN}$

Opterećenje tipskim vozilom treba još jednom modificirati, umanjivši ga za iznos pripadnog kontinuiranog opterećenja. Ovo možemo provesti i kasnije, nakon poprečne razdiobe (vrijedi za rebrasti presjek - vidi Skriptu, poglavlje 5.2, sl. 5.2.7).

Poglavlje 4 – Poprečna razdioba

Kod rebrastog poprečnog presjeka utjecajna linija poprečne razdiobe za svaki nosač određuje se po načelima koja su ranije objašnjena – vidi Skriptu, poglavlje 5.2, odnosno izvadak iz predavanja prof. Čandrlića. Potrebno je odrediti položaj prometnog opterećenja u poprečnom smjeru koji daje najnepovoljnije utjecaje na pojedine nosače. Za svaki nosač treba izračunati zasebne veličine uzdužnih kontinuiranih prometnih opterećenja i opterećenja od vozila. Veličine pronalazimo tako da opterećenja postavimo u najnepovoljniji položaj na nosaču i onda ih pomnožimo s ordinatama utjecajne linije. Opterećenja stavljamo samo ondje gdje djeluju nepovoljno (dakle, ne po cijeloj širini presjeka)!

Kod torzijski krutih sandučastih nosača koje zamjenjujemo linijskim modelom zbrajamo sva opterećenja u poprečnom smislu, a približni proračun poprečnog smjera nosača načiniti ćemo kasnije. Ova pretpostavka ne vrijedi za ploče, ali ćemo pločaste mostove ipak proračunati na isti način, čega ćemo se sjetiti kasnije, kod proračuna poprečnog smjera.

Poglavlje 5 – Proračun unutarnjih sila u glavnim nosačima

Proračun obavezno započinje skicom na kojoj je prikazana statička shema (za ove primjere to će biti prosta greda kotiranog raspona) te sva mjerodavna opterećenja s prethodno određenim iznosima. Opterećenja još nisu faktorizirana, ali su određeni i navedeni koeficijenti sigurnosti za gradivo i za djelovanja.

Kod rebrastih presjeka različiti nosači dobivaju zasebne skice.

Slijedi proračun unutarnjih sila u glavnim nosačima. Obzirom da se radi o prostim gredama opterećenim jednolikim opterećenjem i koncentriranim silama, ručni proračun nije složen. Kod proračuna na opterećenje vozilom (koncentrirane sile) treba načiniti anvelopu, odnosno postaviti vozilo u više položaja na nosaču.

Mjerodavne unutarnje sile (momenti i poprečne sile od svih djelovanja koja su uzeta u obzir) treba pregledno prikazati u tablici. Za rebrasti, sandučasti i pločasti most neka prikaz bude u desetinskim točkama nosača, jedino za presjek s "I" nosačima treba svakako dati unutarnje sile na mjestu promjene poprečnog presjeka nosača.

Tablica – pregled najvećih reznih sila u nosačima

	Presjek 1 (na ležaju)		Presjek 2		Presjek 3		Presjek 4		Presjek 5 (srednina nosača)	
	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q	M	Q
stalno opt. G										
dodatno stalno ΔG										
prometno, max. M										
prometno, max. Q										

Tablica unutarnjih sila za svaki različiti nosač predstavlja podlogu za dimenzioniranje. Slično, treba načiniti proračun mjerodavnih reznih sila i za poprečni smjer, no taj dio proračuna možemo odvojiti u vlastito poglavlje.

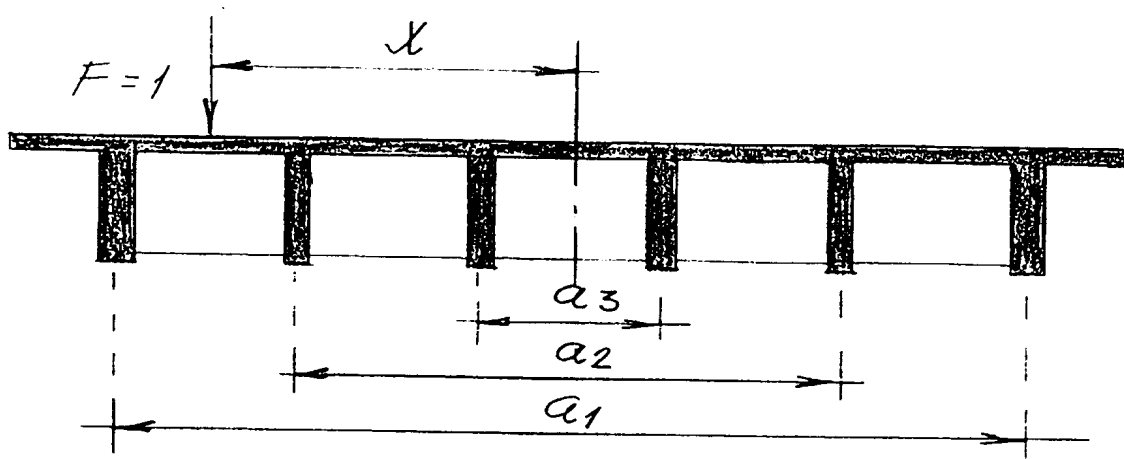
Za određivanje veličine ležaja treba odrediti najveće i najmanje reakcije rasponskog sklopa. Pri tome se prometno opterećenje uzima bez dinamičkog faktora.

ROŠTILJNO DJELOVANJE - POPREČNA PRERASPODJELA

U slučaju kad je odnos raspona i širine mosta $l/b \geq 2$ može se uzeti da se poprečni nosač deformira po pravcu (poprečni nosač apsolutno je krut – pretpostavka Courbona), pa se opterećenje koje otpada na pojedine glavne nosače može odrediti analogno naprezanju ravnog presjeka opterećenog uzdužnom silom i momentom savijanja.

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M \cdot \xi}{I}$$

Ovakav postupak proračuna roštilja stoga se često naziva “Metoda ekscentričnog pritiska”.



Slika 1. Metoda ekscentričnog pritiska

I_i – moment tromosti nosača

S_i – opterećenje koje otpada na pojedin nosač, a drugo je vidljivo na slici.

Kad se uvrsti da je

$$\sigma = \frac{S_i}{I_i} \quad A = \sum I_i \quad I = 2 \sum I_i \left(\frac{a_i}{2} \right)^2 \quad M = F \cdot x \quad \xi = \frac{a_i}{2}$$

slijedi:

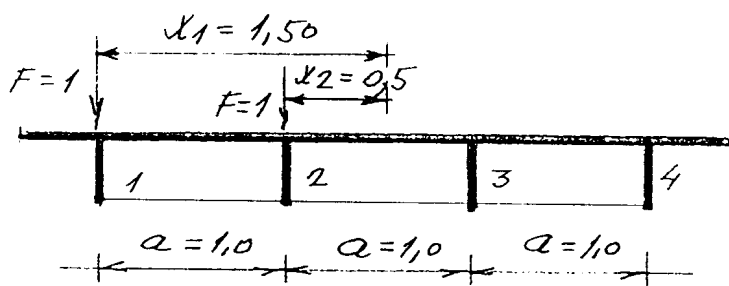
$$\frac{S_i}{I_i} = \frac{F}{\sum I_i} \pm \frac{F \cdot x}{2 \sum I_i \left(\frac{a_i}{2} \right)^2} \cdot \frac{a_i}{2}, \text{ a odatle:}$$

$$S_i = F \left(\frac{I_i}{\sum I_i} \pm \frac{I_i \cdot a_i \cdot x}{\sum I_i \cdot a_i^2} \right)$$

Za $F=1$ i konstantan $I_i = \text{const.}$ ordinate utjecajne linije poprečne razdiobe glase:

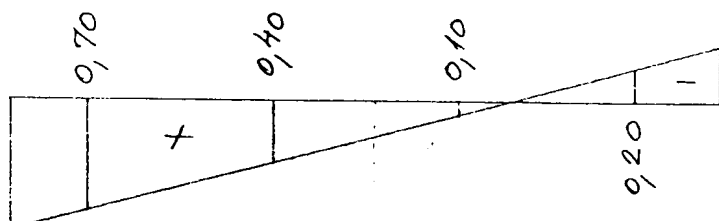
$$\eta_i = \frac{1}{n} \pm \frac{a_i \cdot x}{\sum a_i^2}$$

Na slijedećem primjeru izračunat će se ordinate utjecajnih linija poprečne razdiobe za most sa četiri glavna nosača na jednakim međusobnim razmacima a . Kad su nosači na jednakim razmacima može se uzeti da je $a=1$.



$$J_1 = J_2 = J_3 = J_4$$

Rubni nosač



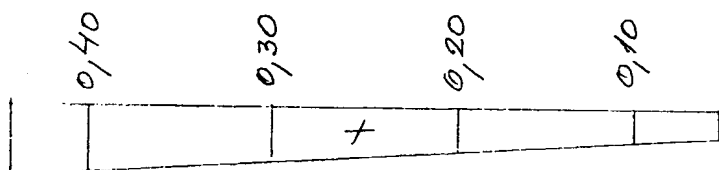
$$\eta_{1,4} = \frac{1}{4} + \frac{3 \cdot 0.15}{1.0^2 + 3.0^2} = 0.25 \pm 0.45$$

$$\eta_1 = 0.70 \quad \eta_4 = -0.20$$

$$\eta_{2,3} = \frac{1}{4} + \frac{3 \cdot 0.05}{1.0^2 + 3.0^2} = 0.25 \pm 0.15$$

$$\eta_2 = 0.40 \quad \eta_3 = 0.10$$

Srednji nosač



$$\eta_{1,4} = \frac{1}{4} + \frac{1 \cdot 0.15}{1.0^2 + 3.0^2} = 0.25 \pm 0.15$$

$$\eta_1 = 0.40 \quad \eta_4 = 0.10$$

$$\eta_{2,3} = \frac{1}{4} + \frac{1 \cdot 0.05}{1.0^2 + 3.0^2} = 0.25 \pm 0.05$$

$$\eta_2 = 0.30 \quad \eta_3 = 0.20$$

Slika 2 Proračun ordinata utjecajnih linija poprečne razdiobe za most sa četiri glavna nosača