



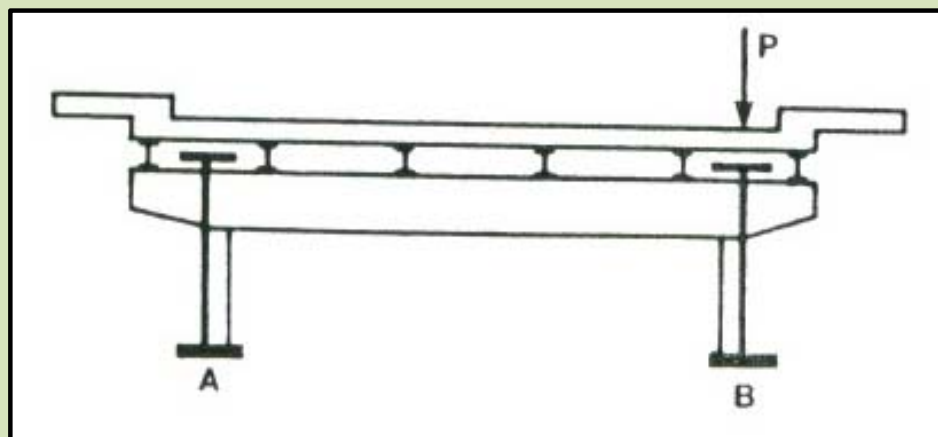
**GRAĐEVINSKI FAKULTET
ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE
KATEDRA ZA MOSTOVE**

SPREGNUTI MOSTOVI

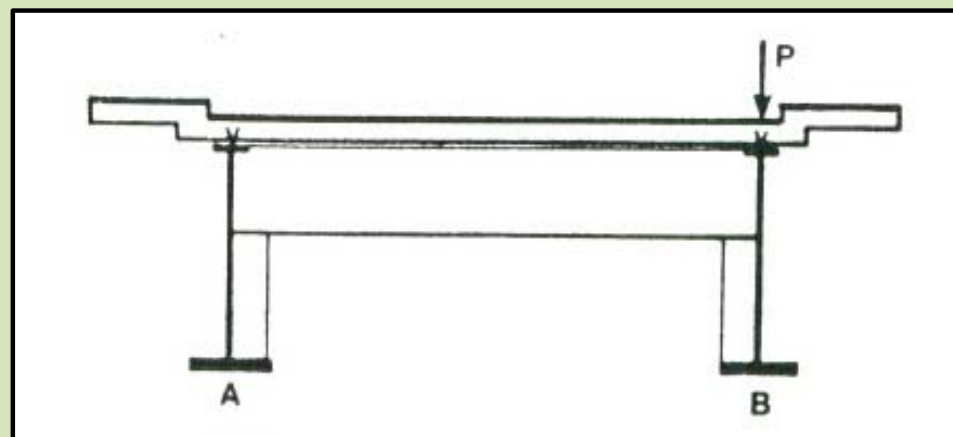
Predavanja za predmet Mostovi II



- Dugo je vremena kolnička ploča bila odvojeni nosivi sustav.
- Ovo odvajanje stvaralo je znatne probleme, pa primarna težnja za „čistoćom” i jednostavnošću sustava nije bila ostvarena.
- Spajanju betonske ploče i čeličnih nosača pristupilo se kako bi se pojednostavio i reducirao broj elemenata u presjeku, a tek naknadno su se počele koristiti znatne uštede koje slijede iz učinaka sprezanja



Povijesne izvedbe – ploča i nosači odvojeni

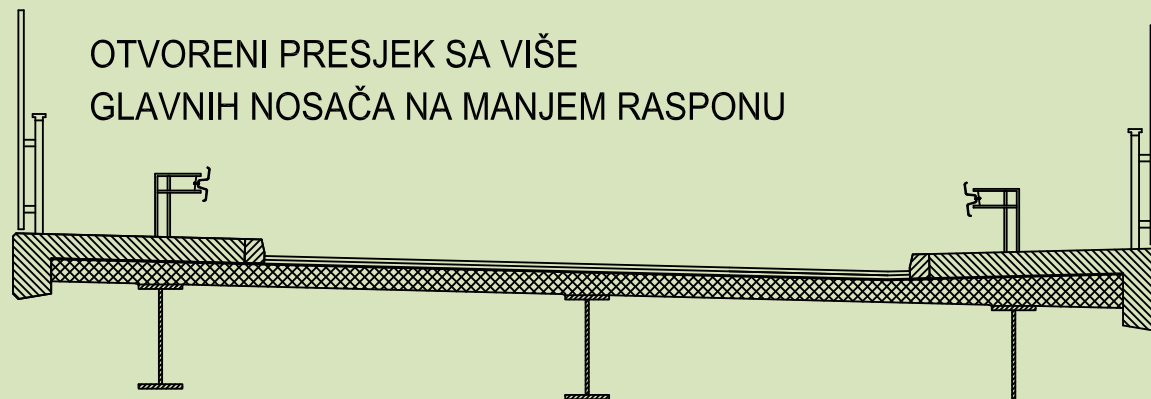


Danas – sprezanje čeličnih nosača i ploče



Tipični suvremeni presjeci spregnutih cestovnih mostova

OTVORENI PRESJEK SA VIŠE
GLAVNIH NOSAČA NA MANJEM RASPONU



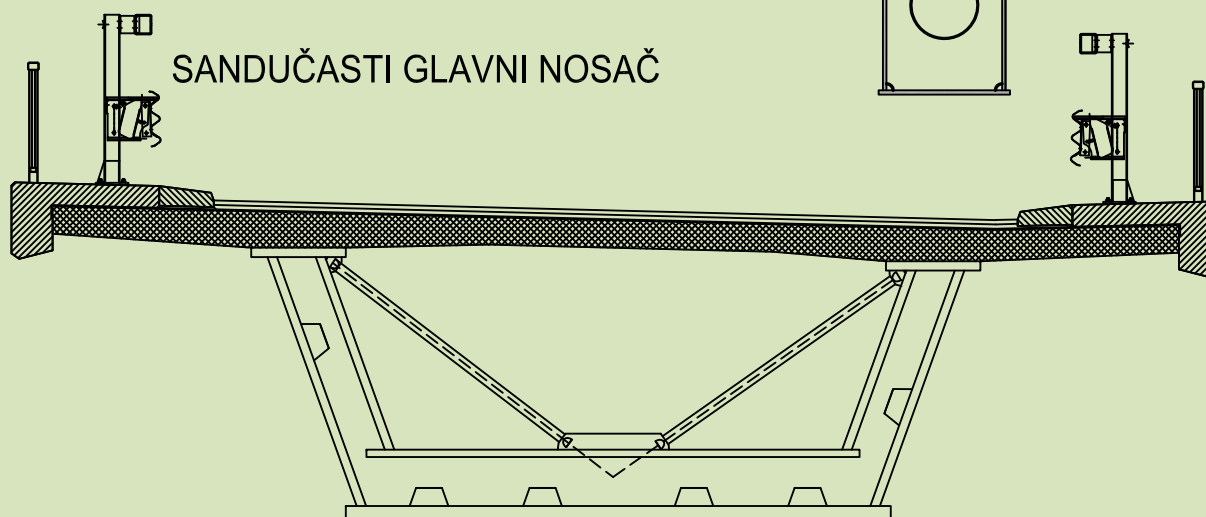
$L < 50 \text{ m}$

$L < 70 \text{ m}$

OTVORENI PRESJEK SA SANDUČASTIM
GLAVNIM NOSAČIMA NA VEĆEM RASPONU



SANDUČASTI GLAVNI NOSAČ



$L < 130 \text{ m}$

Tipični presjeci



- Kod upotrebe spregnutih nosača u grednim mostovima srednjih raspona mogu se navesti slijedeće prednosti u odnosu na njima konkurentni tip sandučastih betonskih mostova:
 1. smanjena težina rasponskog sklopa
 2. manja konstrukcijska visina (vitkiji rasponski sklop)
 3. manji elementi donjeg ustroja, jednostavnije temeljenje
 4. bolje ponašanje u seizmički aktivnim područjima zbog smanjene težine sklopa
 5. vitkiji rasponski sklop obično daje estetski prihvatljivije strukture





- U odnosu na gredne mostove od isključivo čeličnog rasponskog sklopa, spregnuti mostovi imaju slijedeće prednosti:
 1. manja potrošnja čelika za isti raspon
 2. veća krutost za istu visinu nosača
 3. manji progibi od prometnog opterećenja
 4. jednostavnija radionička izvedba čelika (nema kolničke ortotropne čelične ploče, manje ukrutnih sustava za stabilnost glavnog nosača, poprečni nosači na većem razmaku)
 5. veća trajnost kolničke ploče i zastora u odnosu na čeličnu ortotropnu ploču (nema problema zamora kolničke ploče, manje deformacije kolnika omogućuju njegovu veću trajnost)





Općenito

- konkurentni za mostove srednjih raspona do 120 m
- u segmentu od 40 do 65 m, spregnuti mostovi su u većini slučajeva jeftiniji od betonskog sanduka koji se izvodi naguravanjem
- u segmentu raspona od 60 do 110 m su spregnuti mostovi jeftiniji za izvedbu od sandučaste betonske grede koja se izvodi slobodnom konzolnom gradnjom
- tek iznad raspona od 120 m, betonski sanduci mogu biti ekonomičniji jer za te raspone količina čelika za spregnuti most postaje značajna





Nedostaci u odnosu na betonske sandučaste presjeke:

1. u odnosu na betonske sandučaste presjeke može se govoriti o nešto složenijoj izvedbi jer čelični elementi zahtijevaju više rada
2. proračunom predviđene faze izvedbe vrlo su važne kod spregnutih presjeka pa je izvedba nešto složenija i obuhvaća odvojeno montažu čeličnih nosača i betoniranje ploče u posebnom slijedu kako bi se izbjeglo njeno raspucavanje i što više stalnog opterećenja ploče predalo u spregnuti presjek
3. progibi uslijed prometnih opterećenja su također veći nego kod betonskih
4. mora se voditi računa o zamoru čelika

Nedostaci u odnosu na čelične presjeke:

1. spregnuti mostovi imaju veću težinu, što obično rezultira značajno debljim limovima kod kojih je složenija radionička izvedba i zavarivanje
2. moguća manja trajnost betonskog kolnika (kod lošijih izvedba)





STATIČKI SUSTAVI GREDNIH SPREGNUTIH MOSTOVA

- **mostovi s jednim rasponom (prosta greda)**
 - statički sistem grede na dva oslonca,
 - rasponi 20-50 m

- **mostovi s više jednakih ili različitih raspona prostih greda**
 - diskontinuirani statički sistem - rasponi $n \times (20-50 \text{ m})$
 - kada se očekuje slijeganje
 - maksimalni stupanj sprežanja betona i čelika bez prednapinjanja
 - mogućnost etapne izgradnje
 - prijelazne naprave – trajnosno nepovoljnije rješenje
 - dvostruki broj ležajeva nad stupovima
 - veća potrošnja čelika nego kod kontinuiranih sklopova

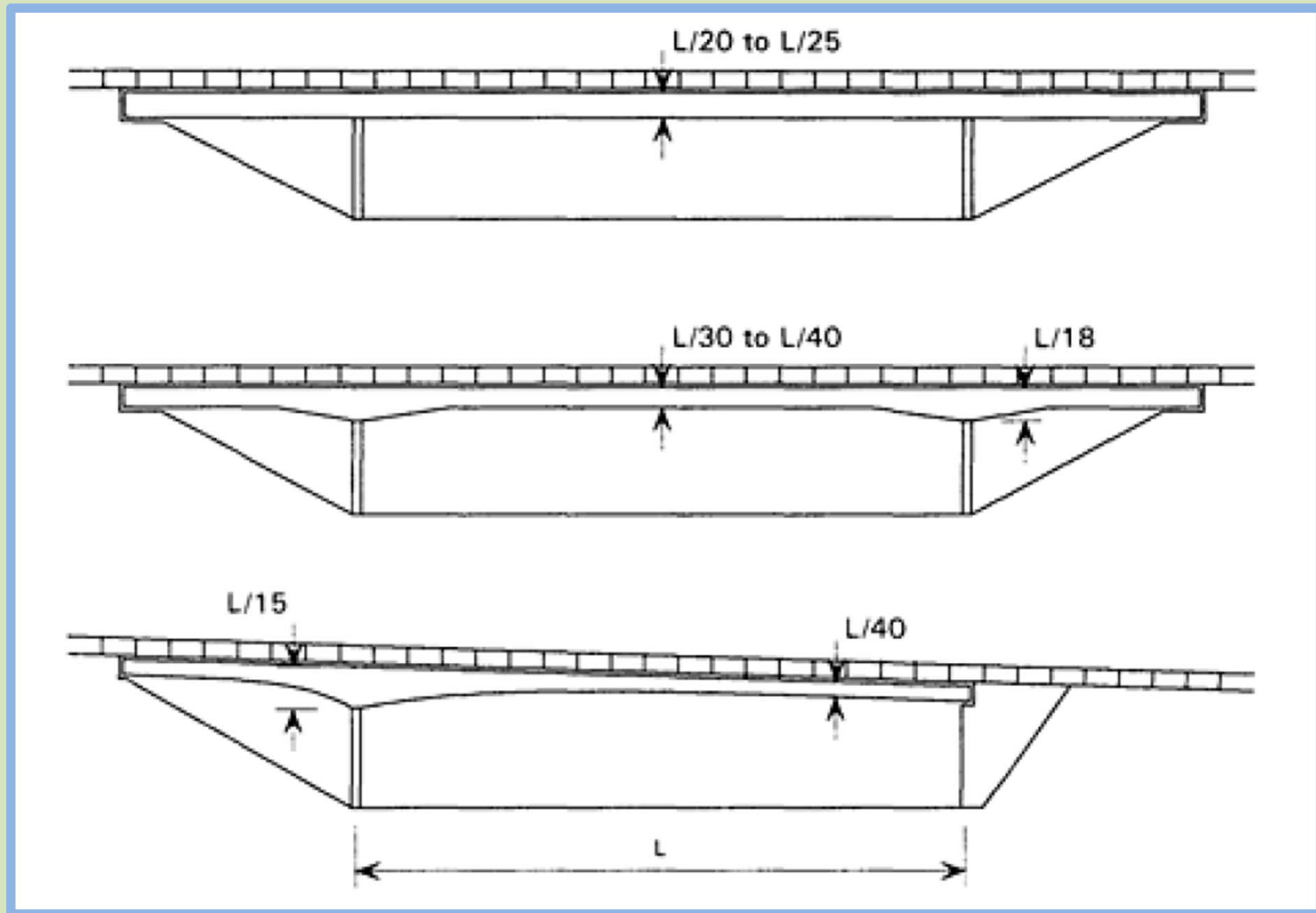
- **mostovi s kontinuiranim rasponskim sklopovima**
 - rasponi 20-120 m
 - manje konstruktivne visine
 - velika vlačna naprezanja u betonu nad srednjim osloncima, razmotriti prednapinjanje ili denivelaciju srednjih oslonaca, potrebno odrediti povoljan raspored betoniranja
 - manji broj prijelaznih naprava





STATIČKI SUSTAVI GREDNIH SPREGNUTIH MOSTOVA

Statički sustavi





SPREGNUTE KOLNIČKE PLOČE

Općenito

- Betonska ploča u spregnutom presjeku ima funkcije:
 - ☐ zamjenjuje dio ili cijeli gornji pojas glavnog nosača
 - ☐ zamjenjuje horizontalne spregove mosta – sudjeluje u horizontalnoj stabilizaciji glavnih nosača
 - ☐ prenosi prometno opterećenje u horizontalnom smjeru

- Nešto složeniji proračun koji mora obuhvatiti ponašanje presjeka u različitim fazama izvedbe i promjene karakteristika presjeka (naponskog stanja) tokom životnog vijeka konstrukcije.





SPREGNUTE KOLNIČKE PLOČE

Tipični presjeci

- neposredno prihvaćaju korisno opterećenje od prometa (obično u poprečnom smjeru kada nisu spregnute sa poprečnim nosačem)
- kao dio spregnutog presjeka djeluju zajedno sa glavnim nosačem preuzimajući momente savijanja u uzdužnom smjeru
- prema načinu izvedbe mogu se podijeliti na:
 - izvedba betoniranjem na licu mjesta
 - montažne kolničke ploče
 - polumontažne izvedbe upotrebom izgubljene oplata (omnia ploča)
- betoniranje može biti na fiksnoj skeli i na pomičnoj skeli



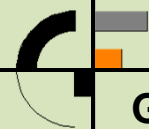
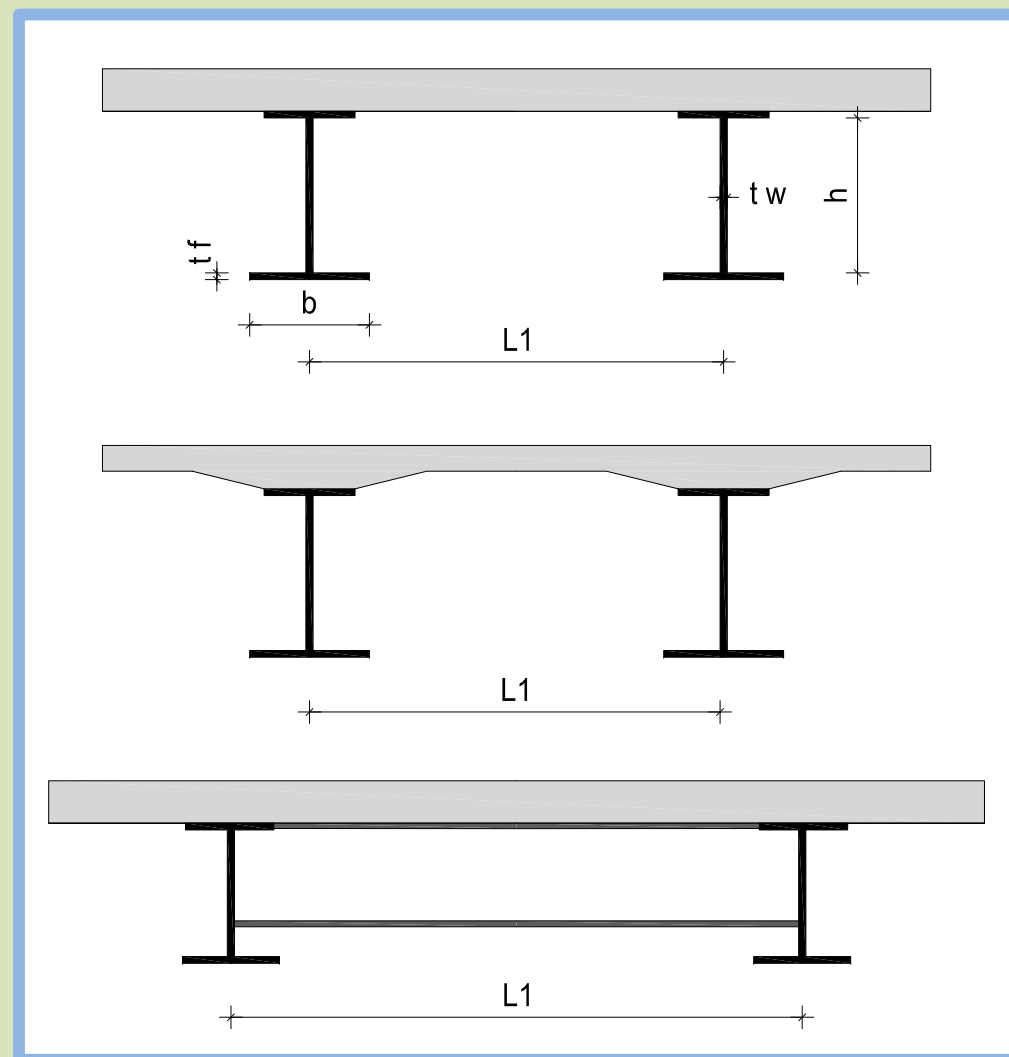


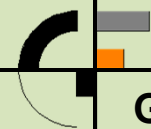
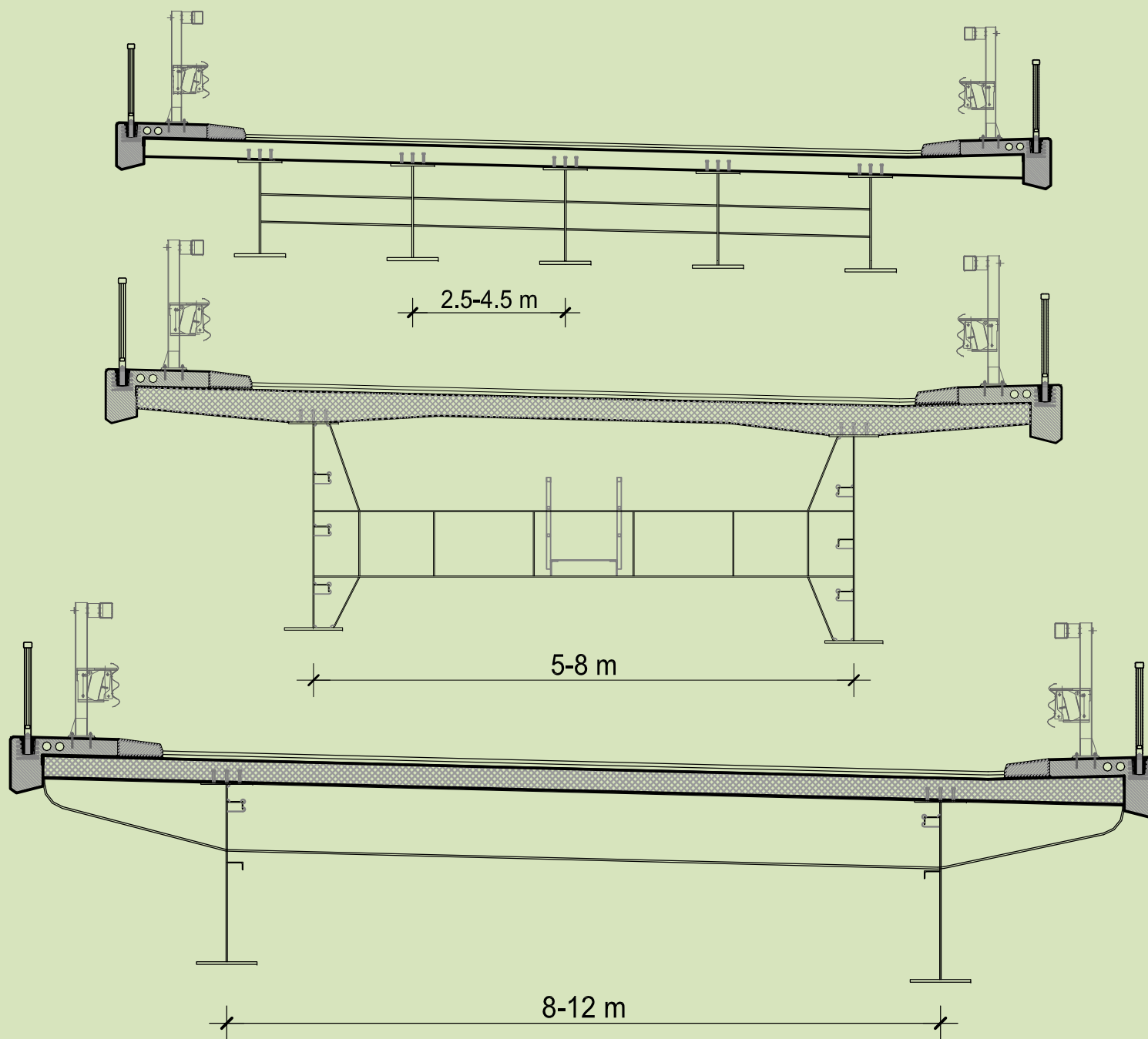
Razmak poprečnih nosača

Gornji pojas	s (razmak) [m]
Beton (spregnuti)	4 - 8

Razmak glavnih nosača

Gornji pojas	L_1
Bez vuta	2,5 – 4,5
Sa vutama	5 – 8
PN spregnut s pločom	7 – 14







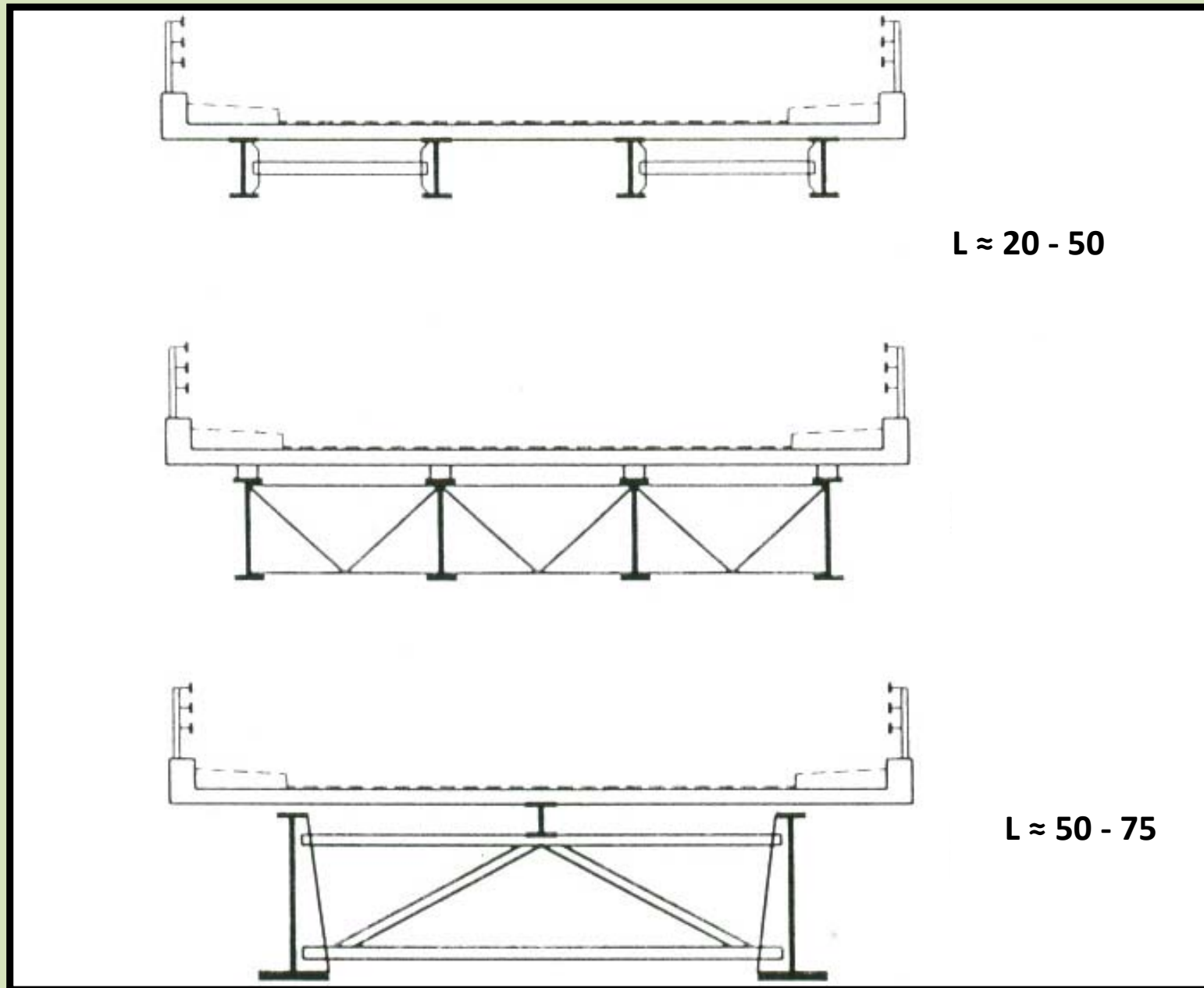
OSOBITOSTI OBLIKOVANJA PRESJEKA I NOSAČA

- kolnička ploča debljine 22 do 25 cm – razmak nosača 2,5 do 4,5 m
- konzole opterećene prometom izvode se bez ojačanja (vuta) do 1,5 m raspona, a bez prometnog opterećenja do 2,5 m raspona
- ako su razmaci nosača veći (5-7 m) onda se ploče izvode promjenjive debljine (25 cm u polju i do 35 cm nad nosačem)
- kod manjih raspona mogu se koristiti i čelični valjani profili
- ako postoje 4 glavna nosača tada na vanjski nosač obično otpada oko 75% momenata savijanja, a na unutrašnje oko 50%, a raspodjela poprečnih sila je 85% na vanjski nosač i oko 70% na unutrašnje nosače
- do 1,5 m visine treba osigurati funkcionalnost bez ukrućenja osim vertikalnih nad ležajevima
- od 1,5 do 2,5 m visine samo vertikalna ukrućenja, a za veće visine i horizontalna
- kod zavarenih nosača najčešće zadovoljava gornji pojas sa $\frac{1}{2}$ površine donjeg pojasa (osim nad srednjim osloncima kontinuiranih nosača)

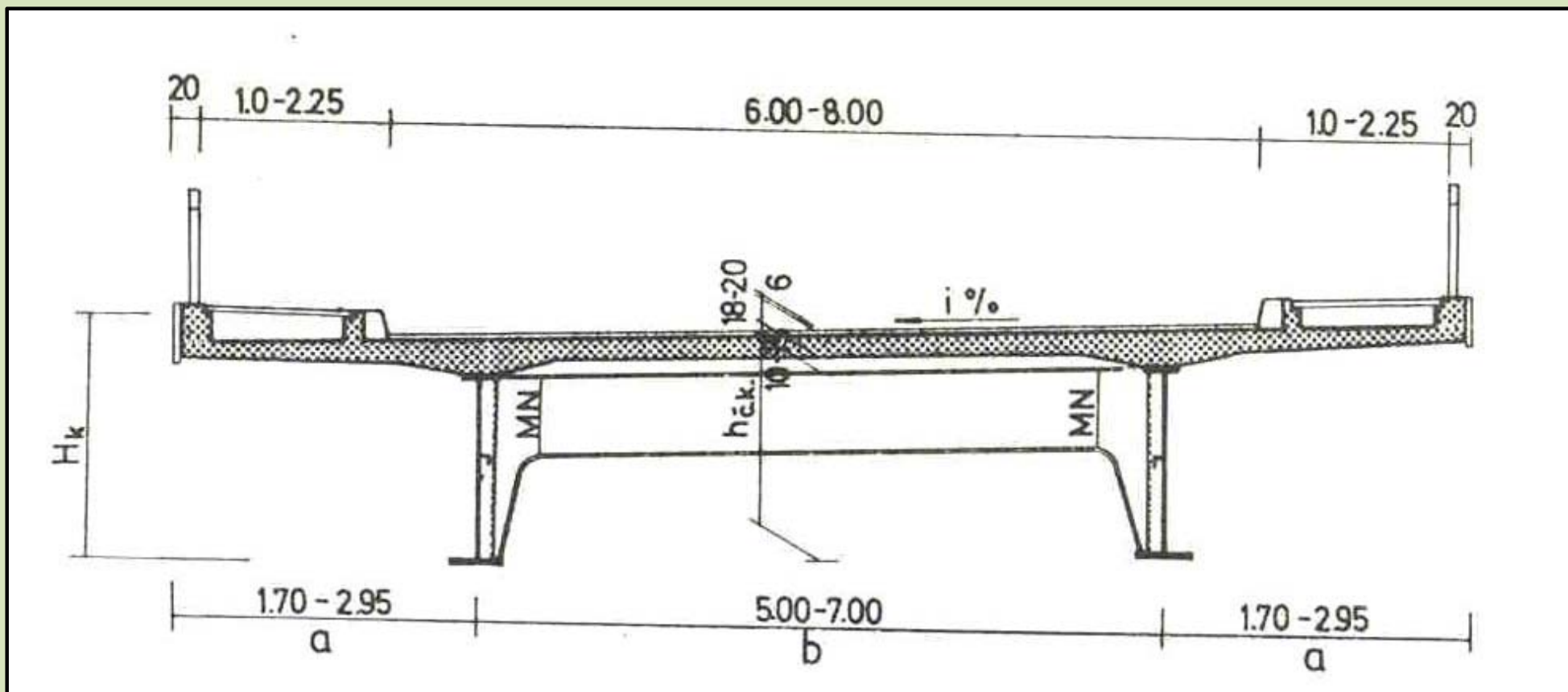




Tipični otvoreni poprečni presjeci spregnutih cestovnih mostova:

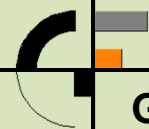
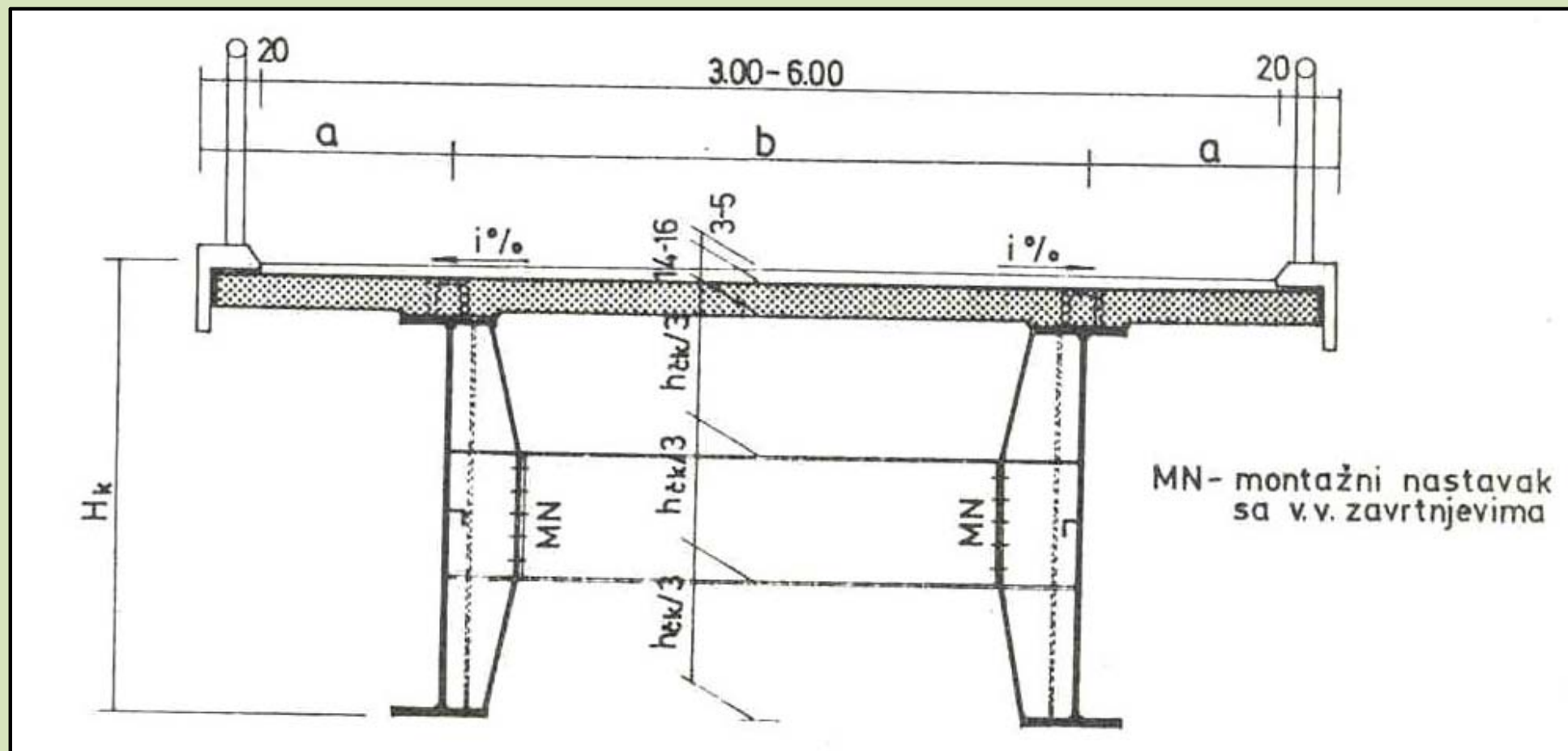


- presjek za cestovne mostove, za raspone od 20-60 m, za statički određene sisteme
- zbog raspona ploče preko 5 m u ploči se pojavljuju vute:





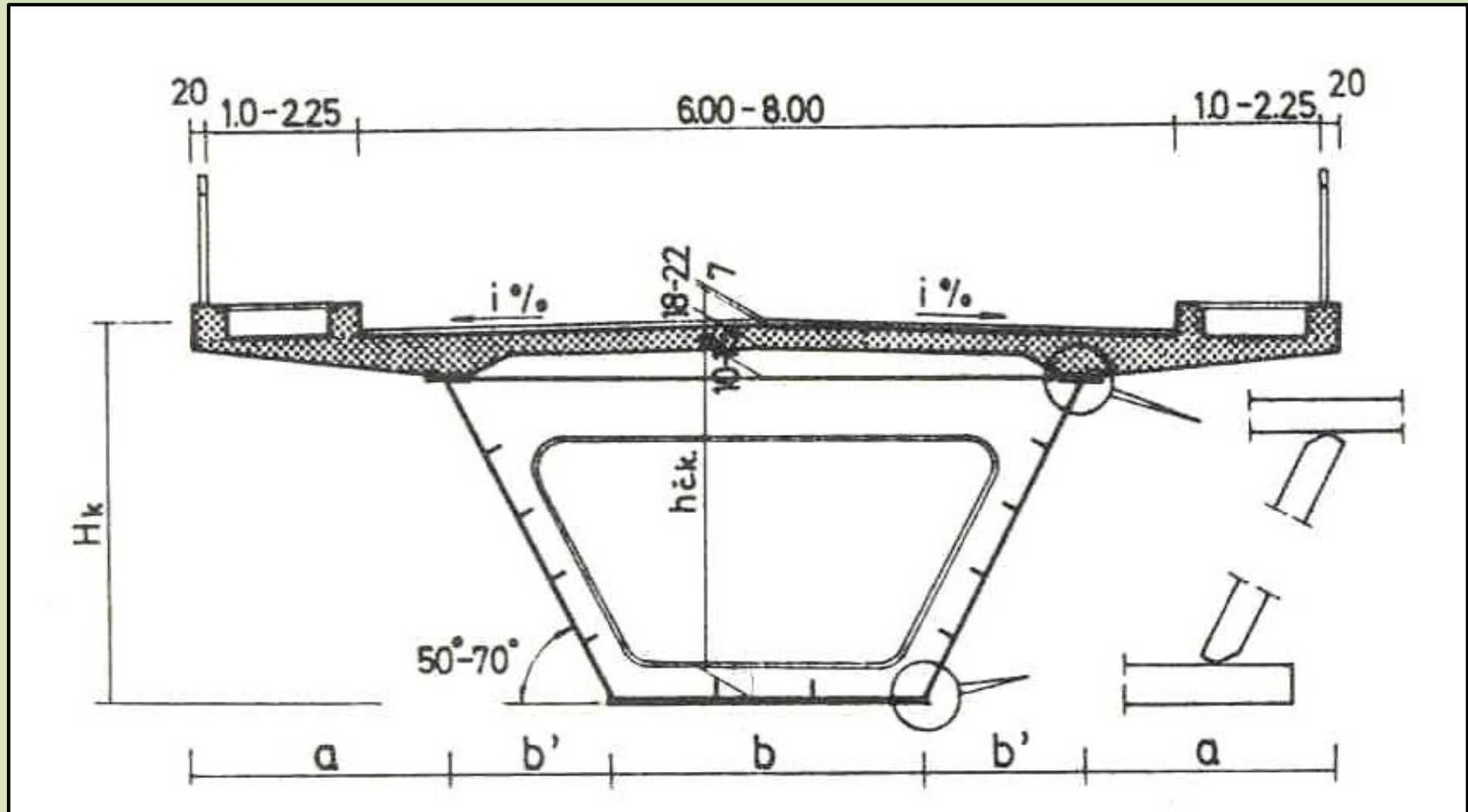
- za veće raspone od 40 m treba se koristiti sistem kontinuiranih nosača
- poprečni nosači upušteni na sredinu visine glavnih nosača
- poprečni nosači imaju ulogu horizontalnog sprega za vrijeme i nakon montaže





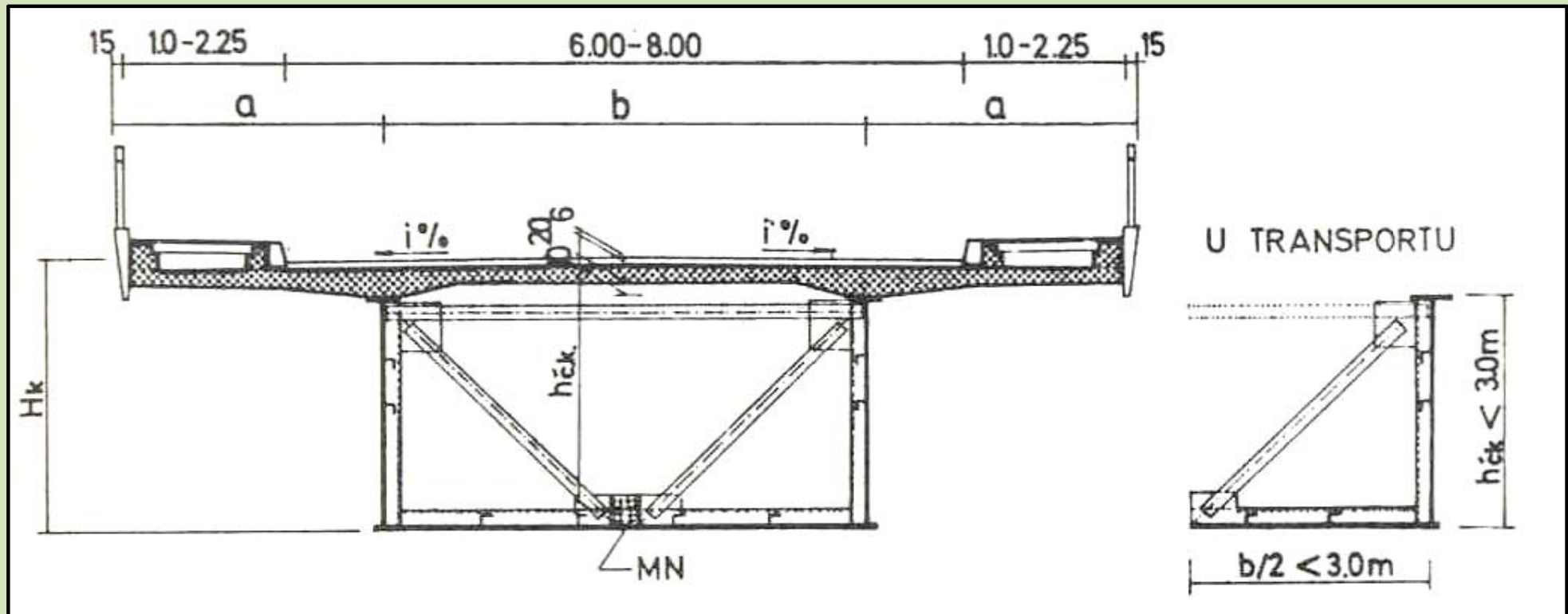
Tipični presjeci

- za veću torzijsku krutost upotrebljavaju se zatvoreni presjeci – rasponi > 60 m
- na razmaku oko 4 m postavljaju se poprečna ukrućenja hrptova i donjeg pojasa koja osiguravaju i nedeformabilnost presjeka





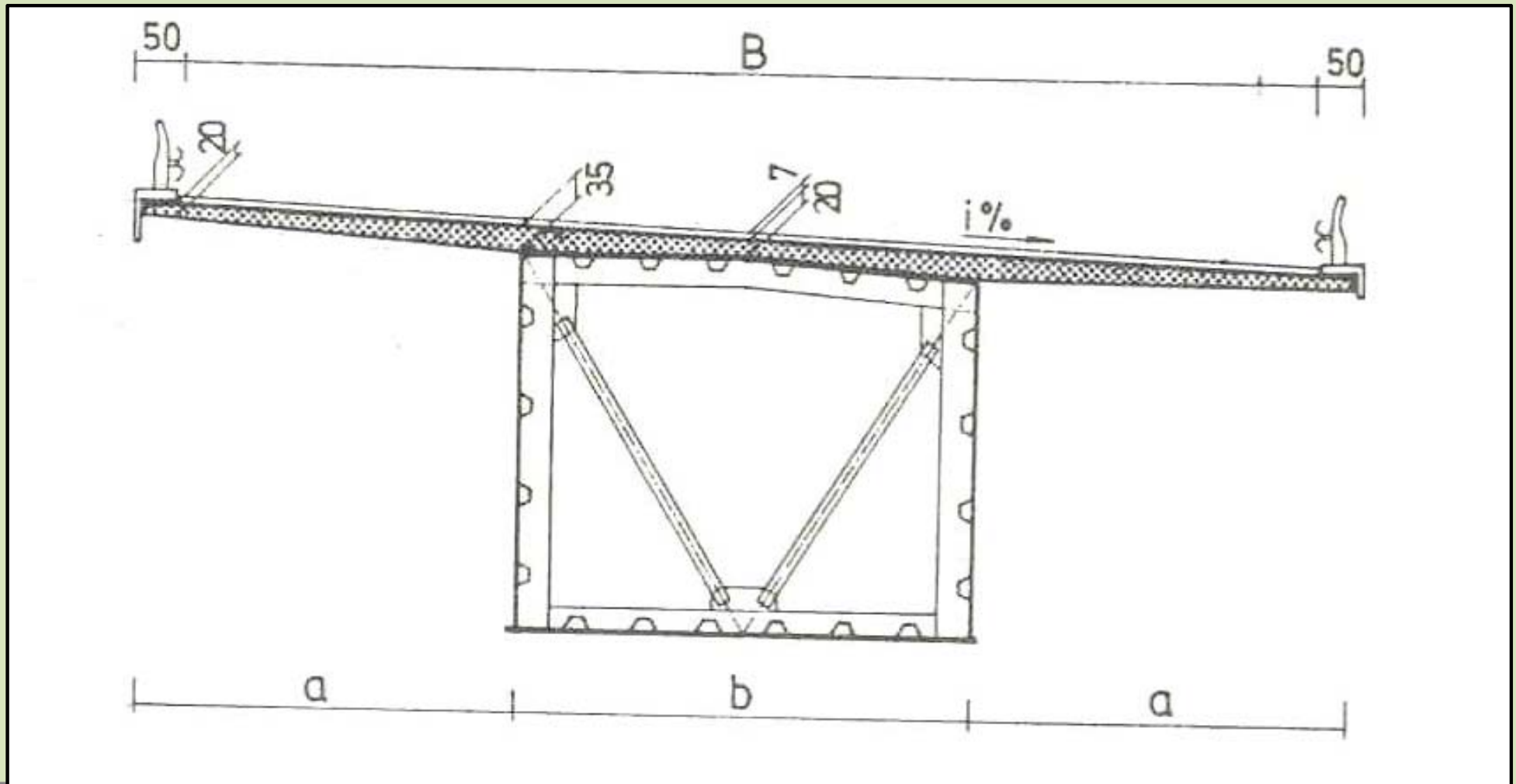
- sandučasti nosač sa vertikalnim hrptovima daje veću površinu donjeg pojasa
- upotrebljava se za veće raspone (> 70 m)
- nedeformabilnost presjeka se ovdje postiže poprečnim spregovima na razmaku oko 4 m
- stabilnost u fazi montaže se osigurava gornjom prečkom (nakon betoniranja ploče može se i ukloniti)





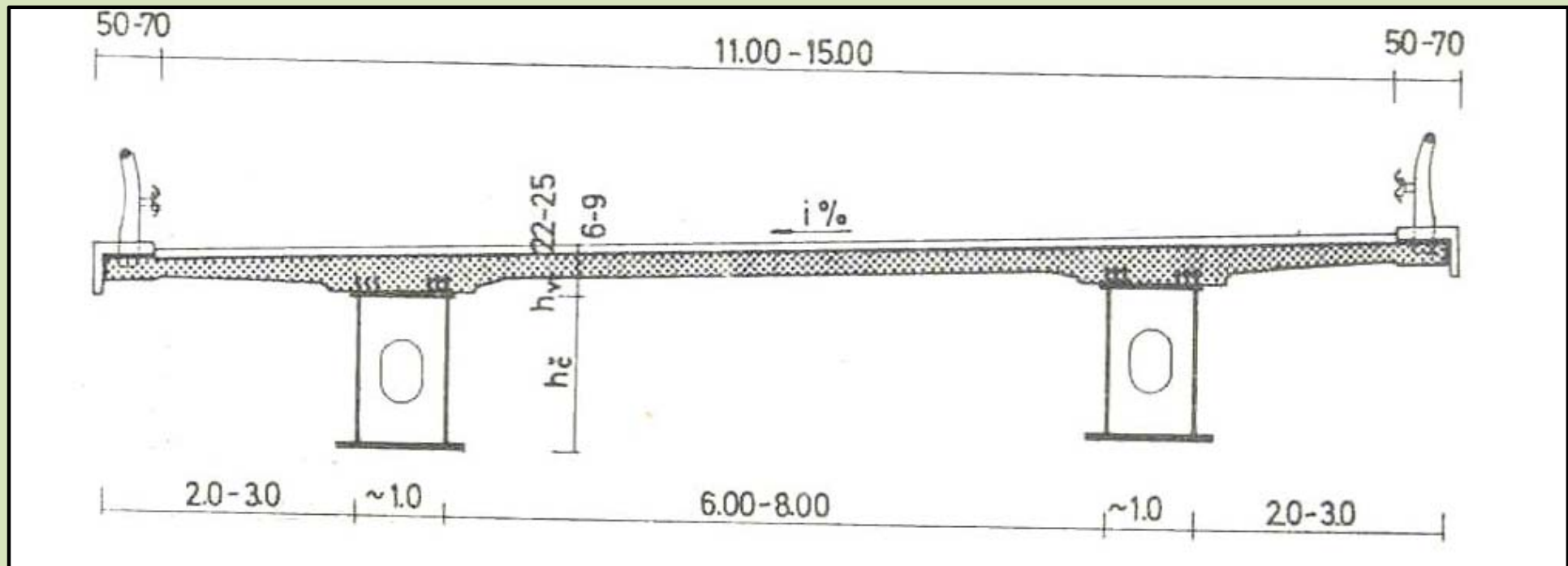
Tipični presjeci

- izvedba sa gornjom ortotropnom čeličnom pločom omogućava montažu naguravanjem
- zbog upotrebe kod velikih raspona ($>100\text{m}$) koriste se zatvorena ukrućenja hrpta i donjeg pojasa



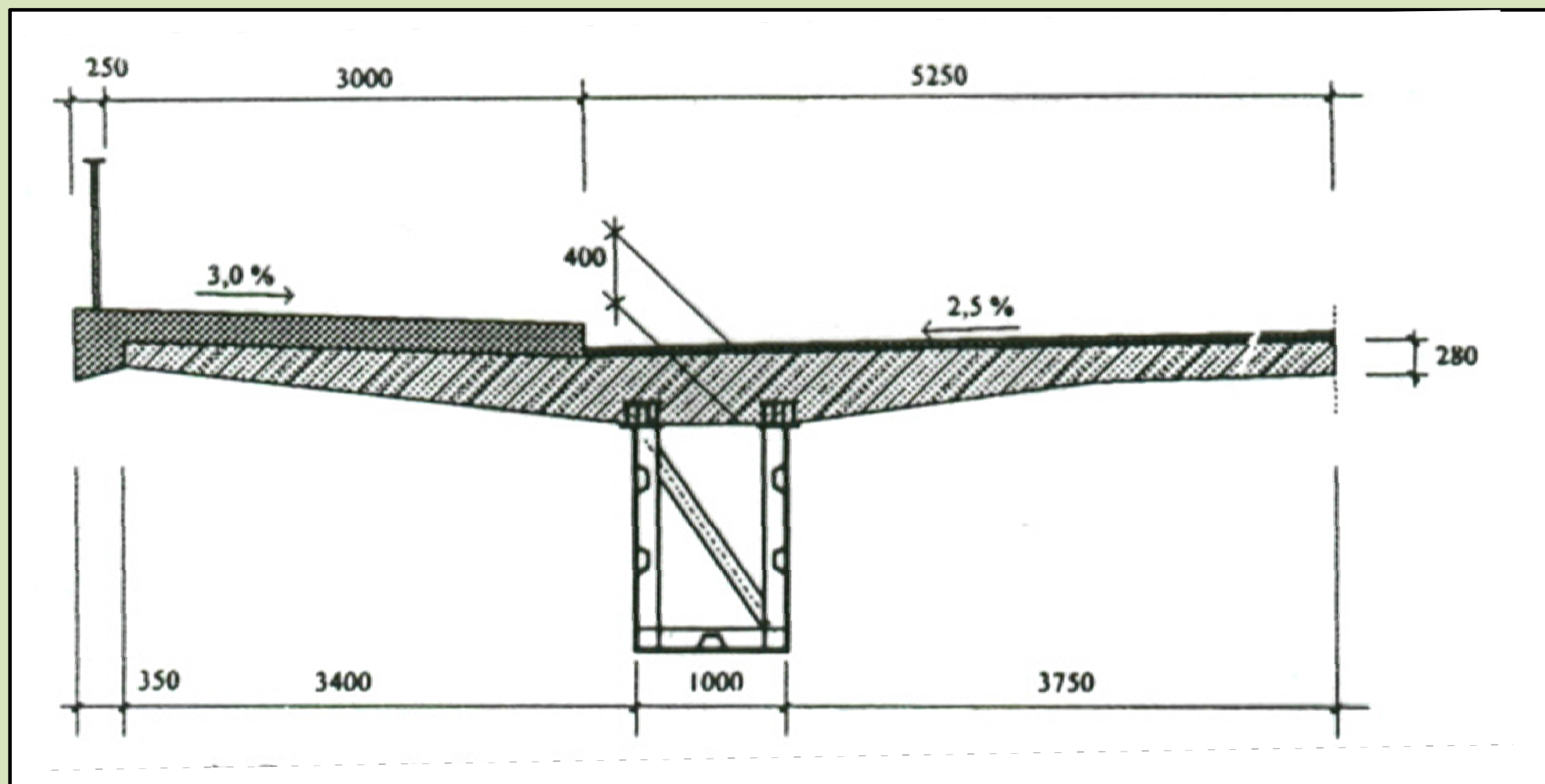


- poprečni presjek za duge i široke mostove sa dva nezavisna sandučasta nosača bez poprečnih nosača
- izostanak poprečnih nosača omogućava upotrebu klizne oplata kolničke ploče gdje se nosači oplata kreću po proširenjima donjih pojaseva





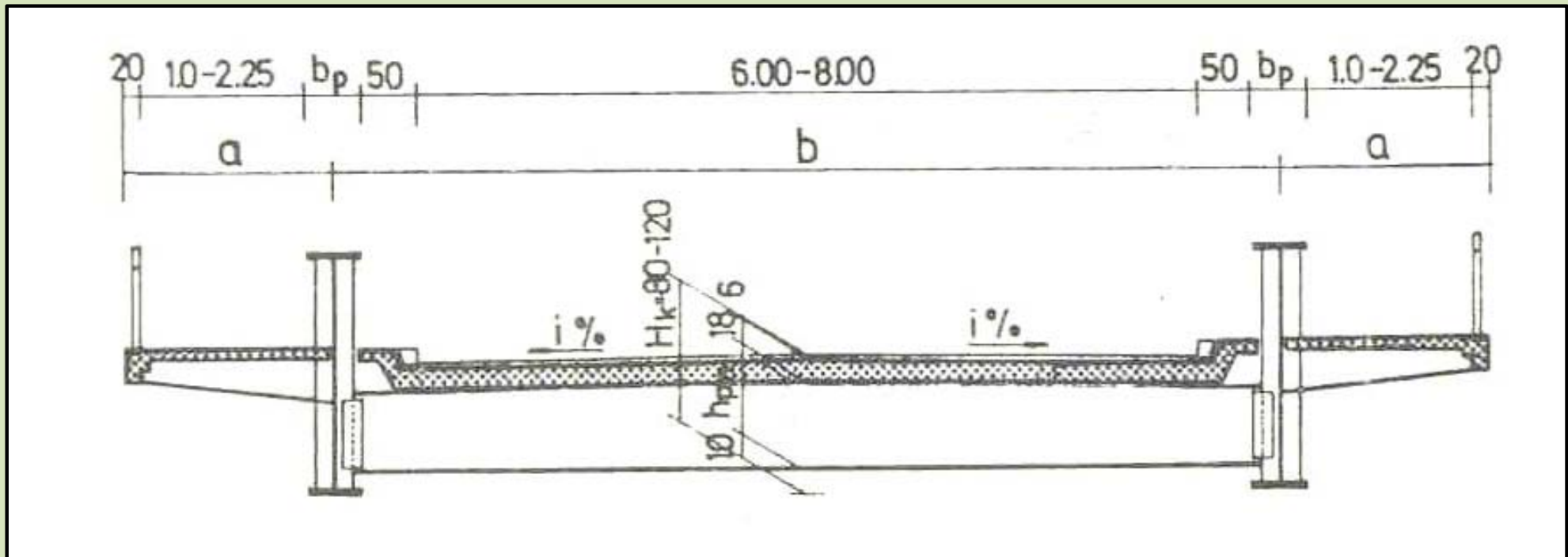
Tipični presjeci





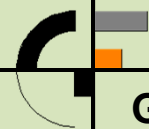
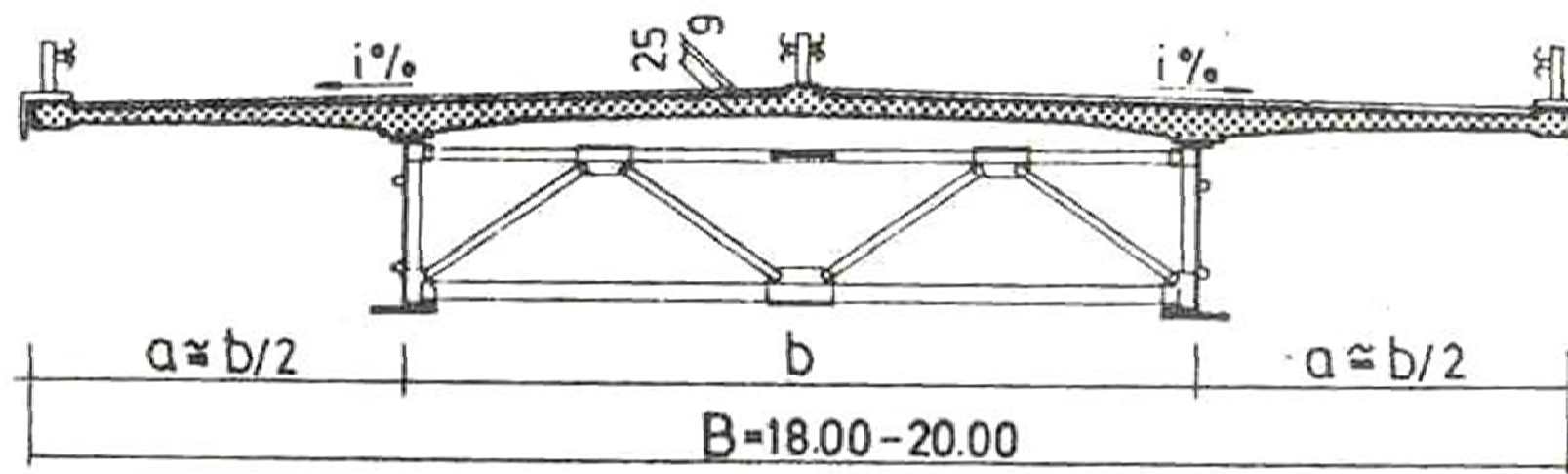
Tipični presjeci

- kod ograničene konstruktivne visine upotrebljava se presjek sa upuštenim kolnikom
- glavni nosači su ovdje nespregnuti – sprezanje ploče se ostvaruje samo sa poprečnim nosačima



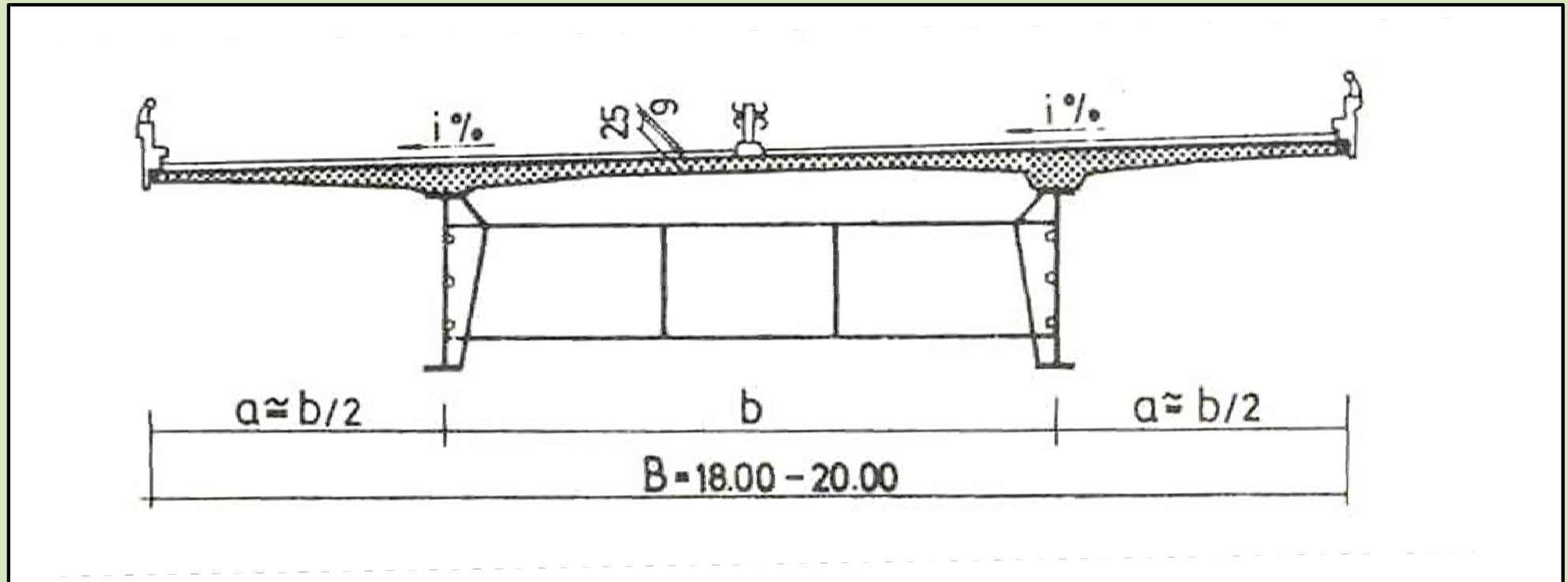


- presjek za autoputove – dva odvojena smjera vožnje
- velika debljina kolničke ploče sa naglašenim vutama kod velikih širina i malih broja uzdužnih nosača
- poprečno prednapinjanje ploče
- rešetkasti poprečni nosači



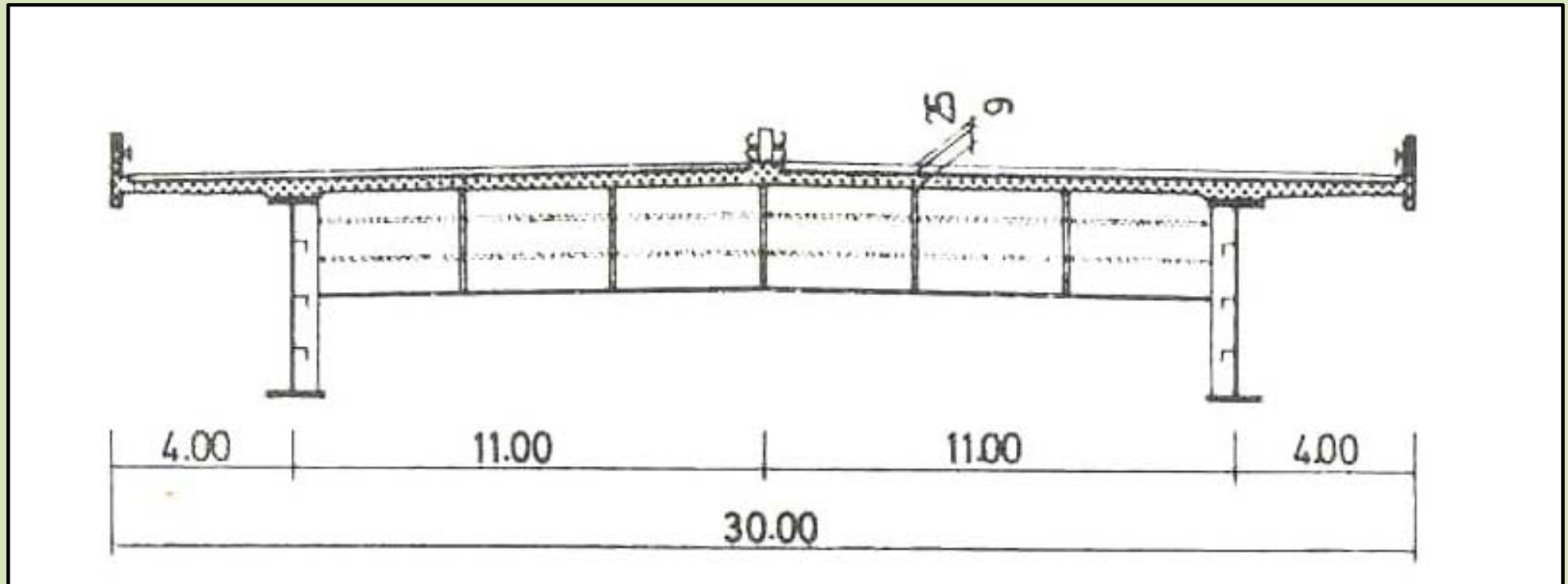


- slično kao i prethodno samo sa punostijenim poprečnim nosačem pa je moguća upotreba klizne oplate



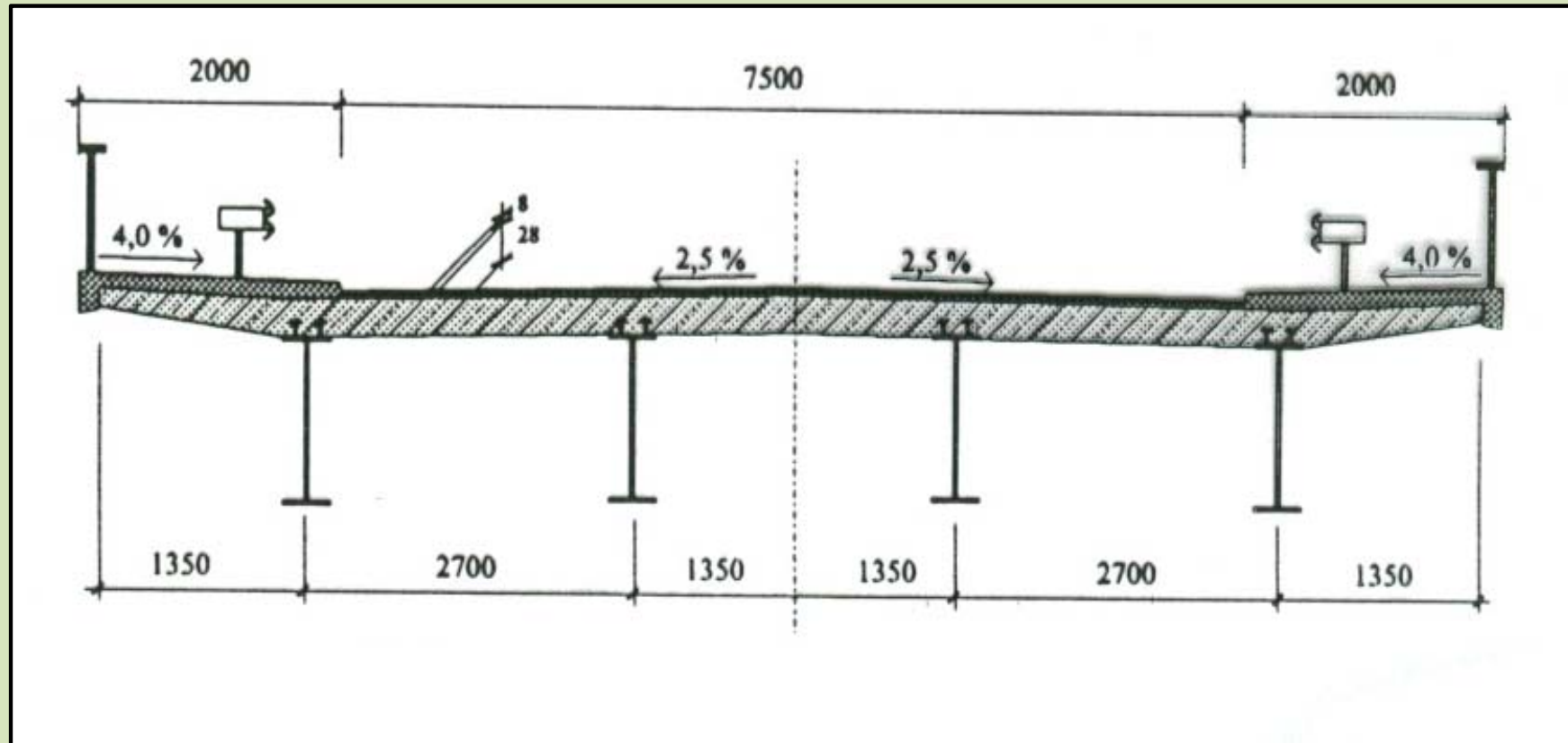


- kod vrlo velikih razmaka uzdužnih nosača upotrebljava se visoki poprečni nosač koji se onda spreže sa pločom
- ploča je ovdje nosiva u uzdužnom smjeru pa se može izvesti bez vuta



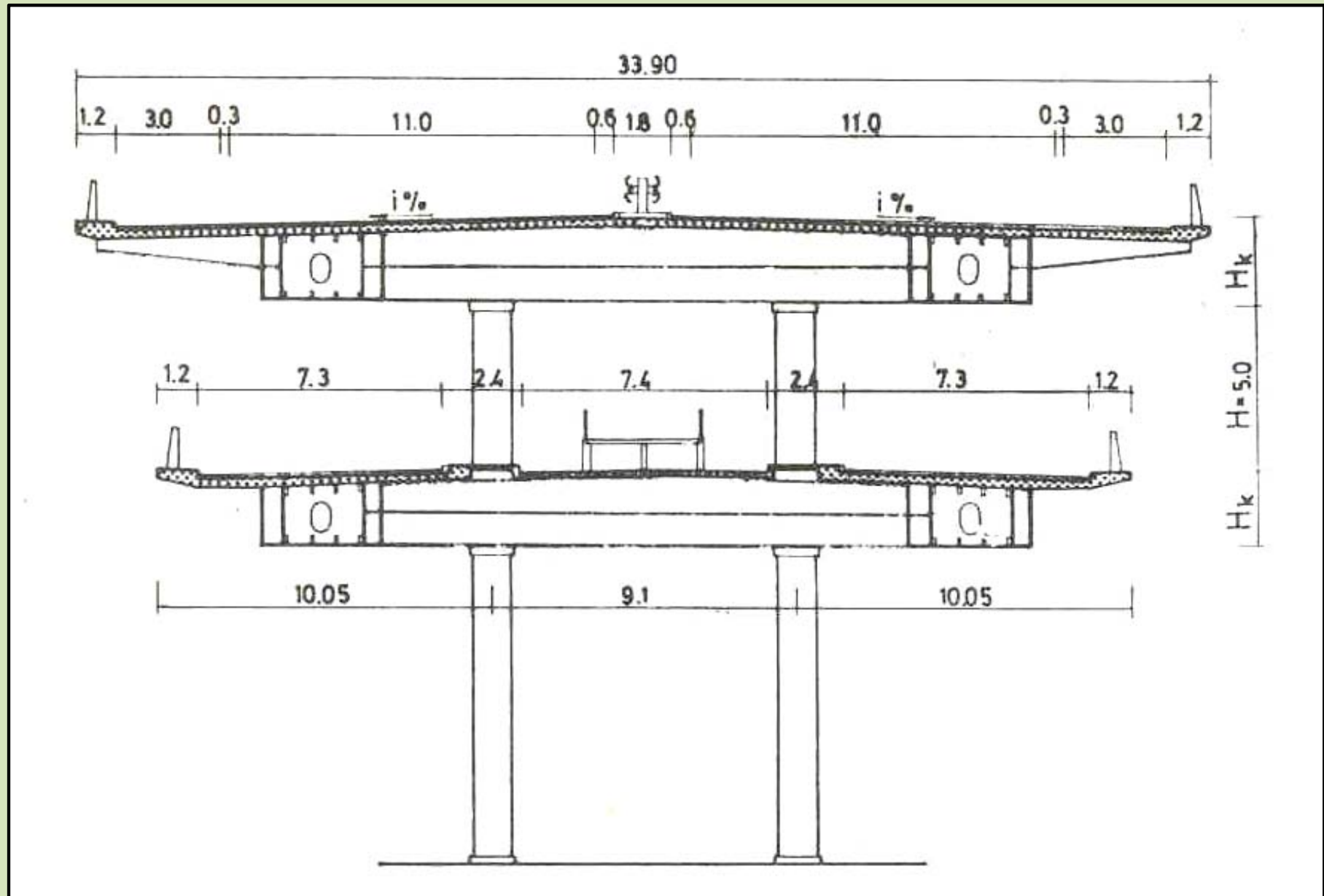


- presjek za cestovni most veće širine sa većim brojem spregnutih nosača
- čelični nosači sa uskim pojasevima postavljeni na manjem razmaku
- ploča konstantne debljine



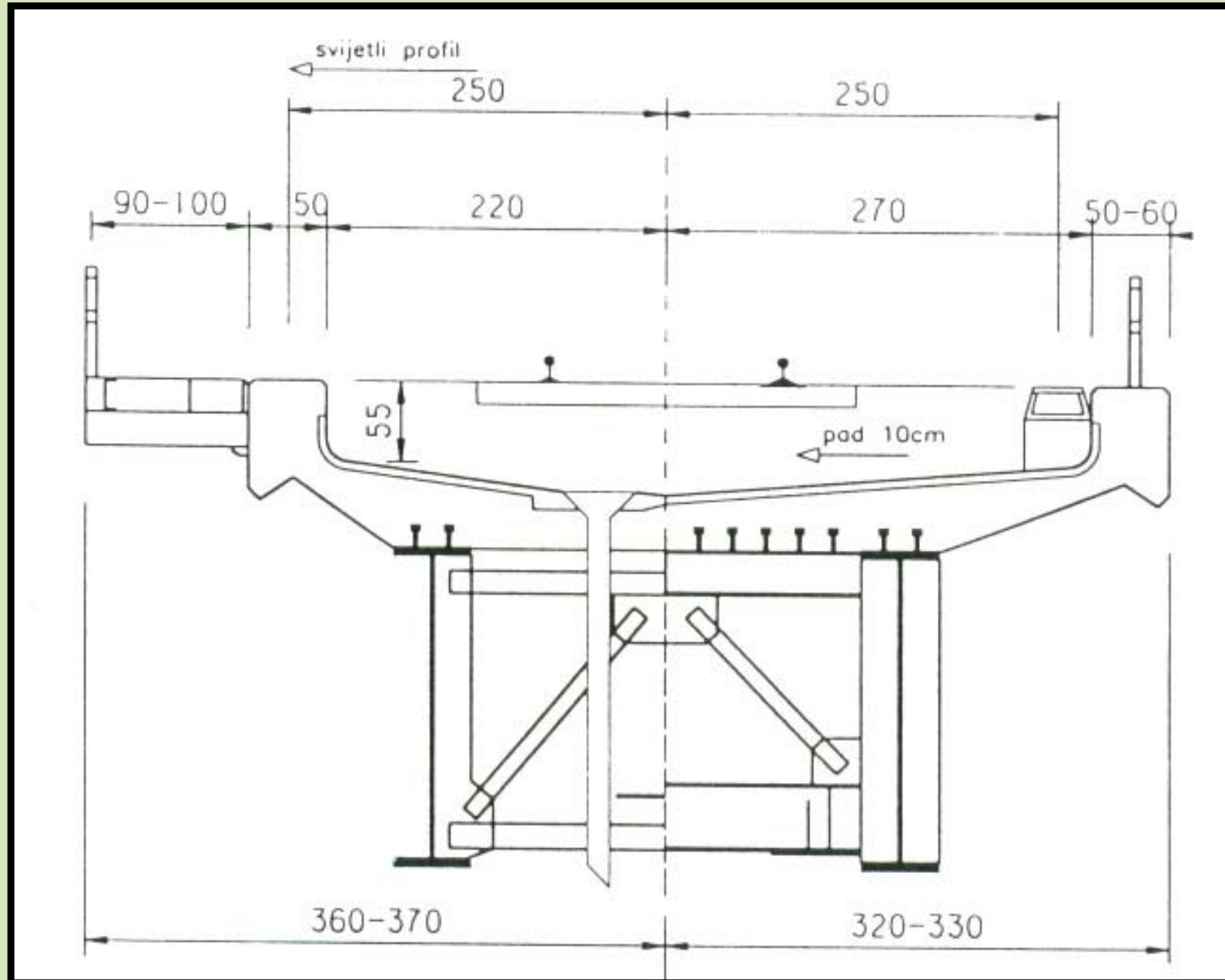


- neuobičajen presjek dvoetažnog vijadukta - na gradskom autoputu



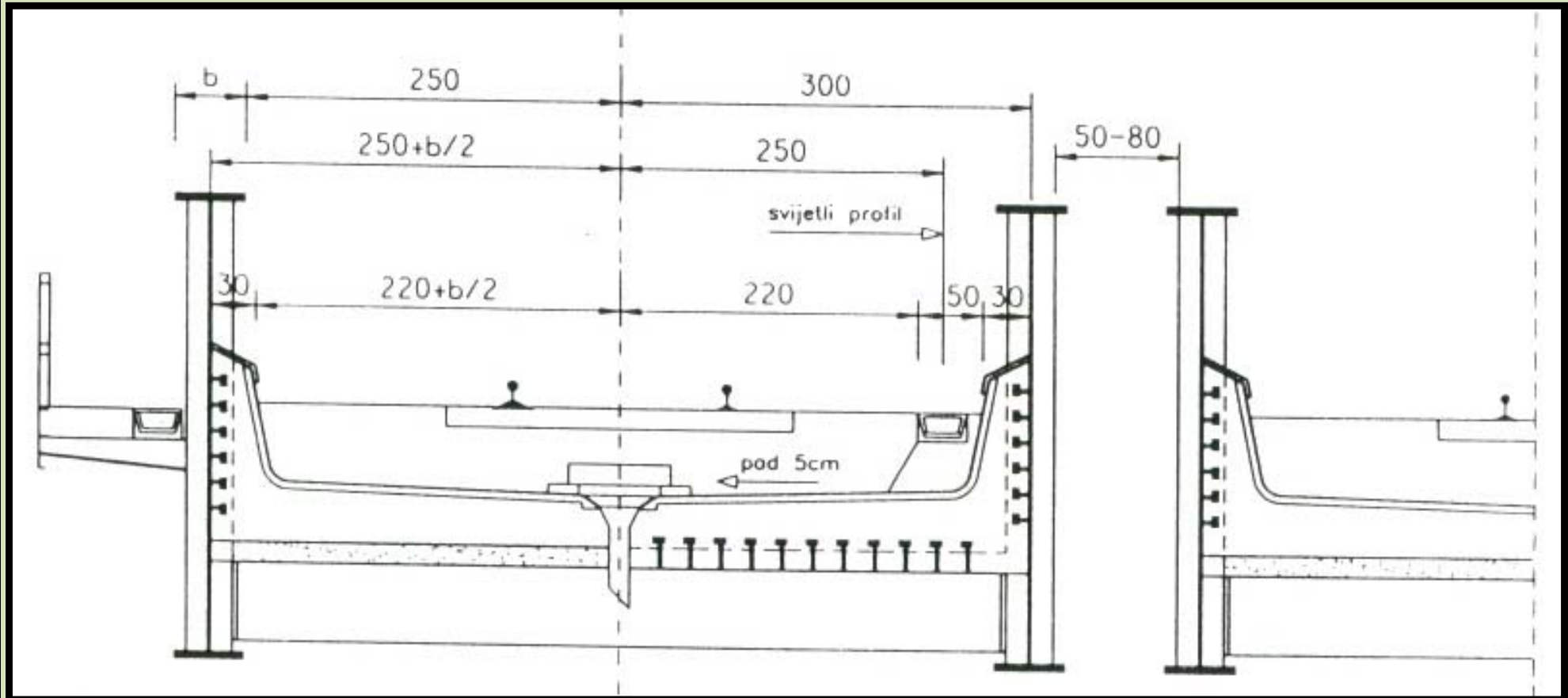


Tipski željeznički most s kolnikom gore





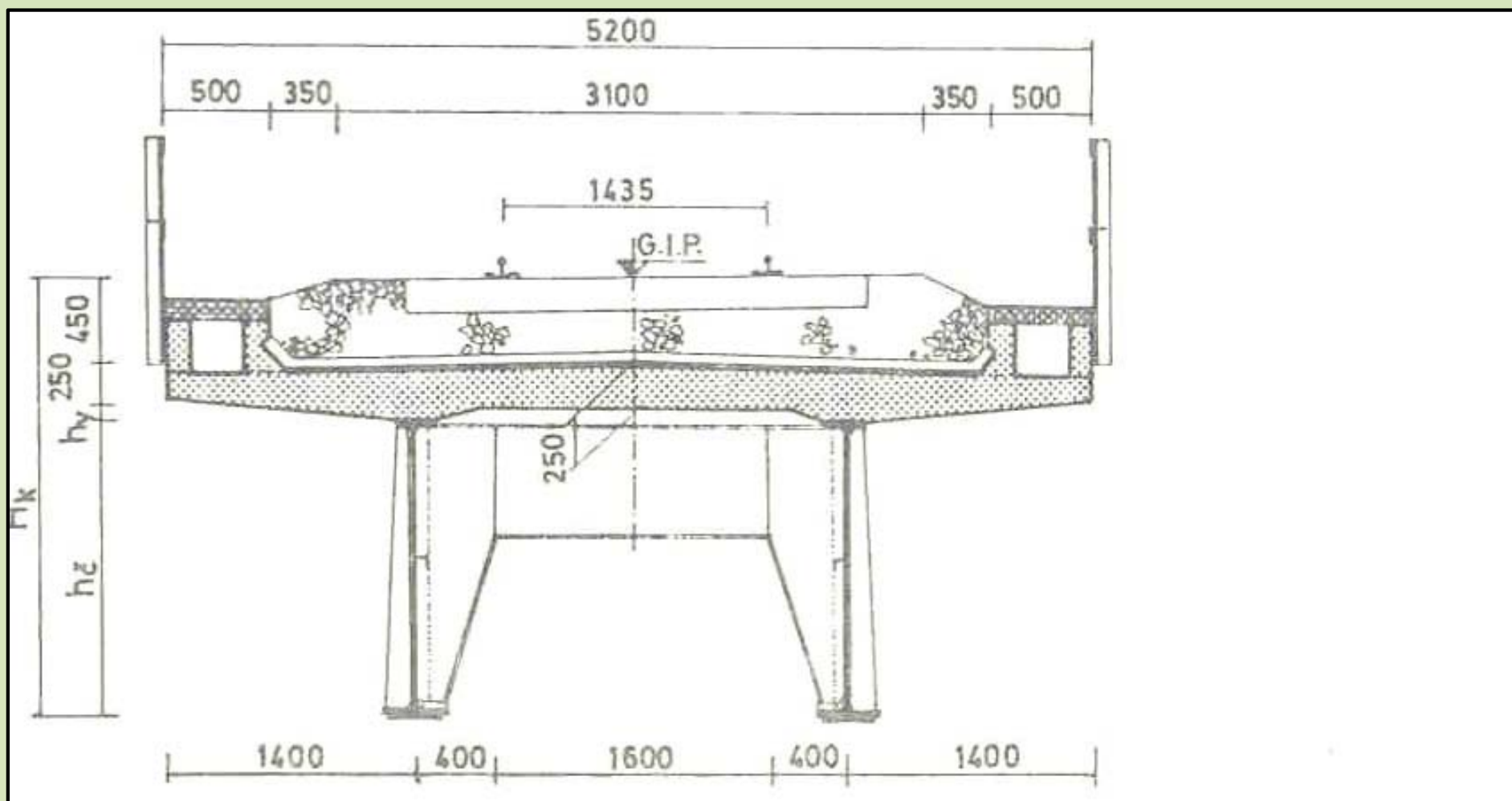
Tipski željeznički most s kolnikom dolje



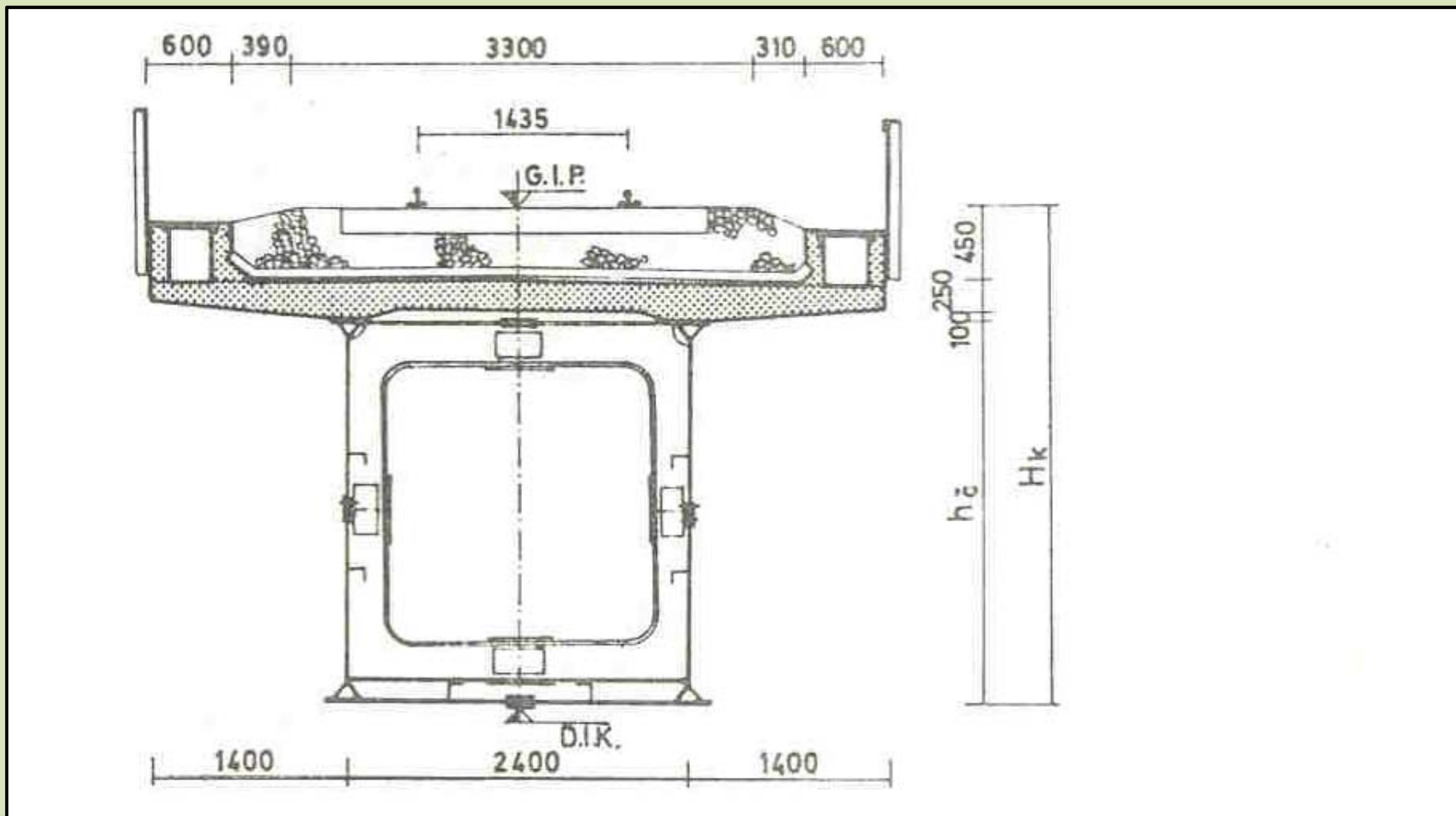
- ploča kolnika spregnuta s poprečnim nosačima
- u ovom slučaju korito se spreže i s glavnim nosačima na kojima obavlja funkciju stabilizacije

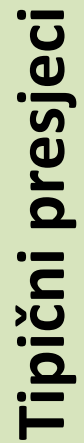


- karakterističan presjek željezničkog mosta za raspone 15-25 m
- ovakav presjek koristi se kada postoji neograničen prostor za konstruktivnu visinu
- mali razmak uzdužnih nosača



- presjek željezničkog mosta za raspone >25 m i za neograničenu konstruktivnu visinu
- velika torzijska krutost

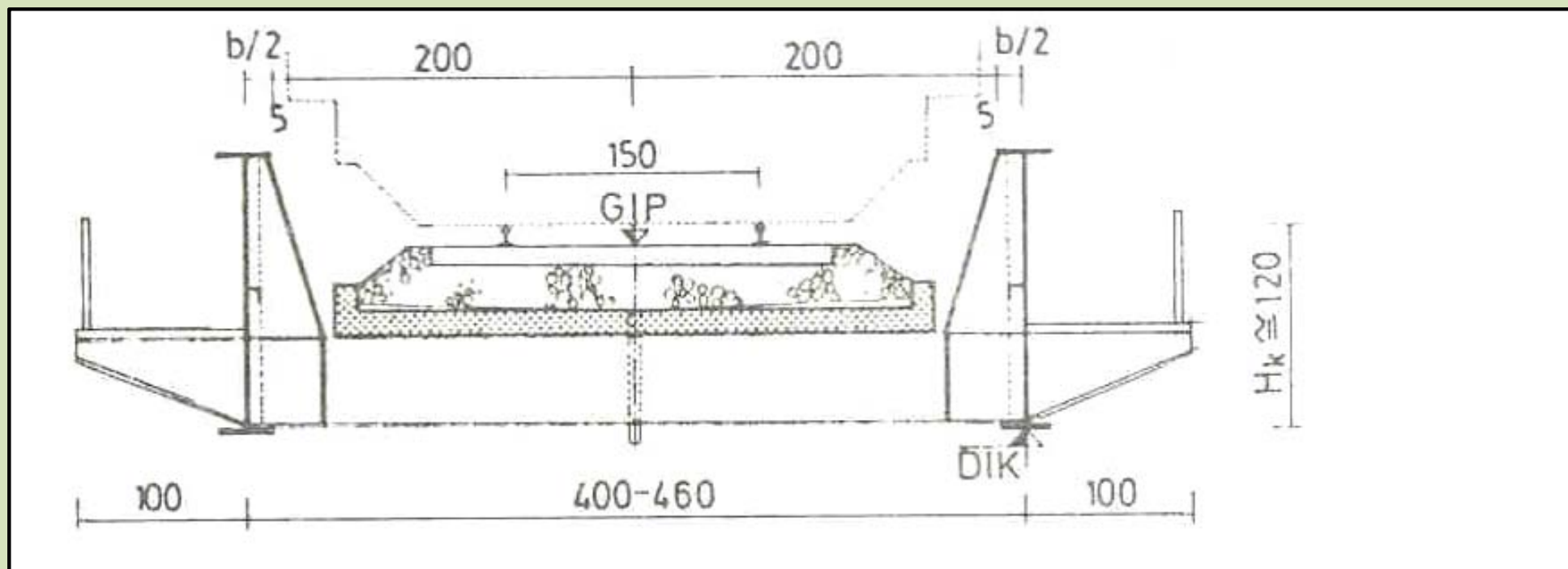




-
- Technical drawing of a bridge cross-section. The drawing shows a truss structure supporting a deck. Key dimensions include a total width of 14,300 at the top, with various segment widths (1,850, 700, 2,250, 2,350, 2,350, 2,200, 750, 1,850, 200). The height of the truss is 5,905. The base width is 7,500. The drawing also indicates a 1.5% slope on the deck and a 3% slope on the truss members. The drawing is labeled 'BRIDGE' and 'SECTION'.

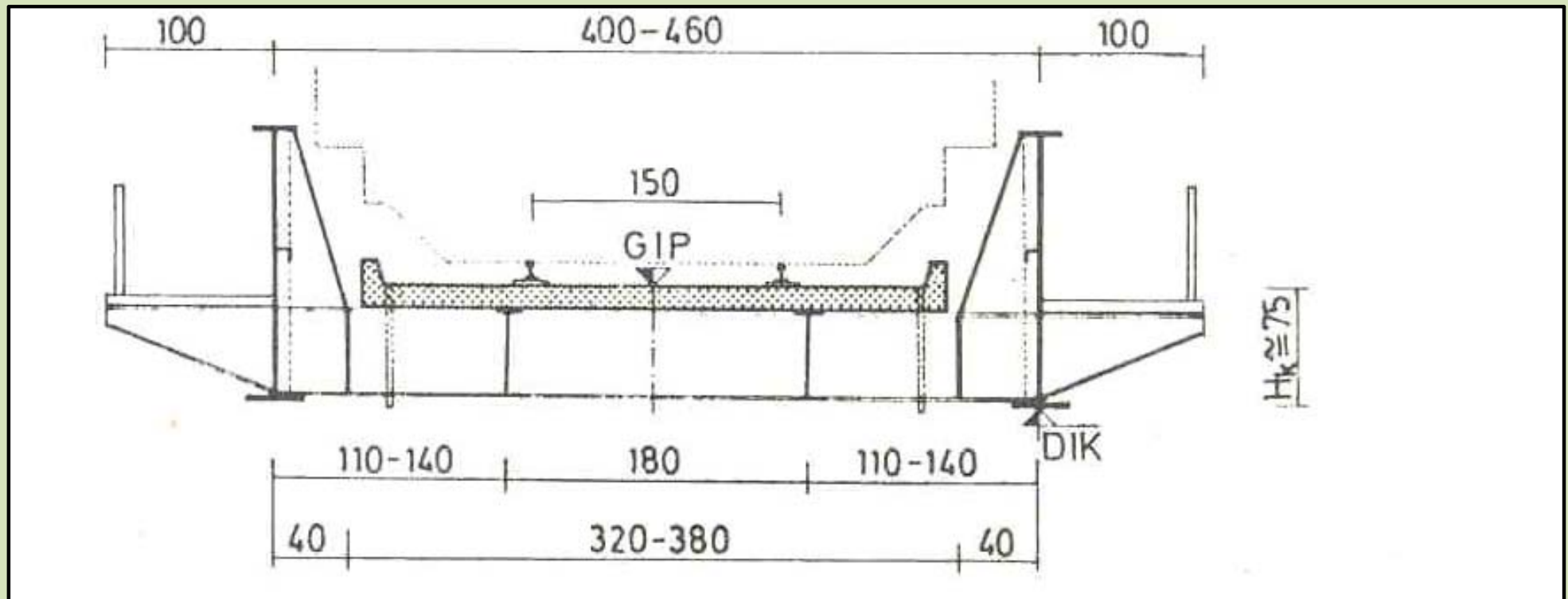


- presjek željezničkog mosta sa upuštenim zatvorenim kolnikom i šljunčanim zastorom
- upušteni kolnik se koristi zbog problema ograničene konstruktivne visine
- sprezanje se ostvaruje samo sa poprečnim nosačima koji se izvode na razmaku 2-4 m



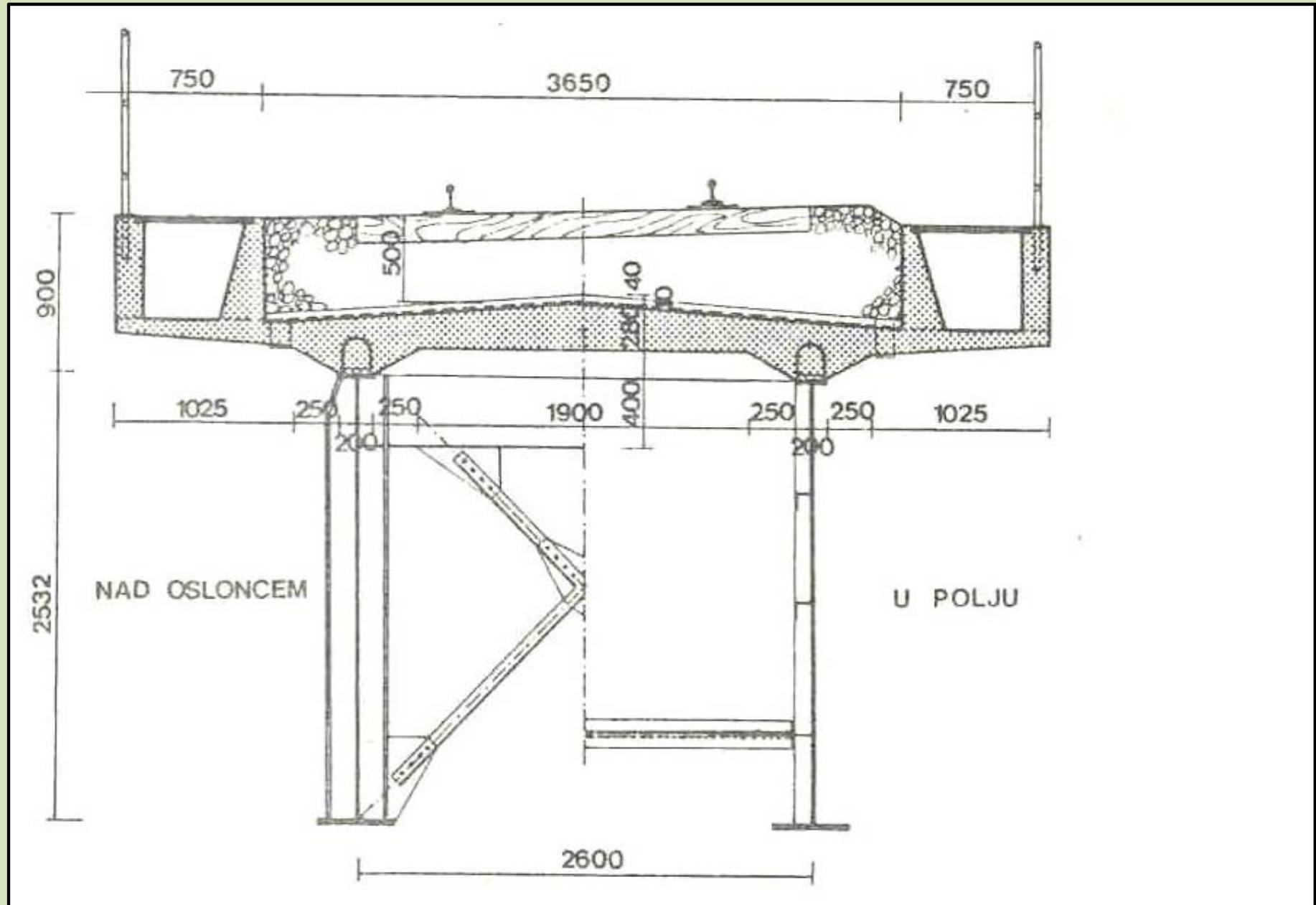


- presjek željezničkog mosta sa upuštenim zatvorenim kolnikom bez šljunčanog zastora sa direktnim oslanjanjem tračnica



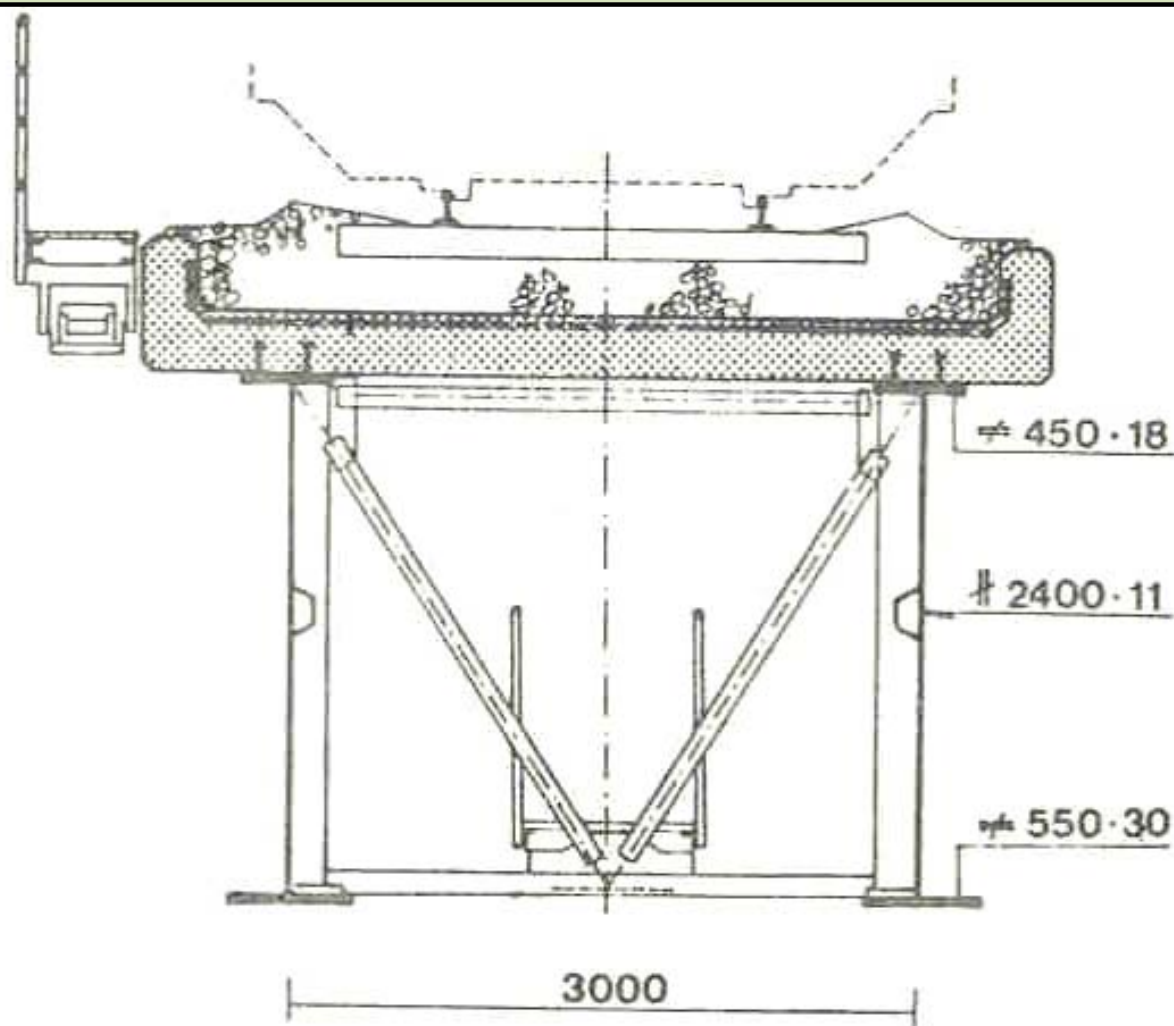


- presjek željezničkog mosta raspona 28,5 m

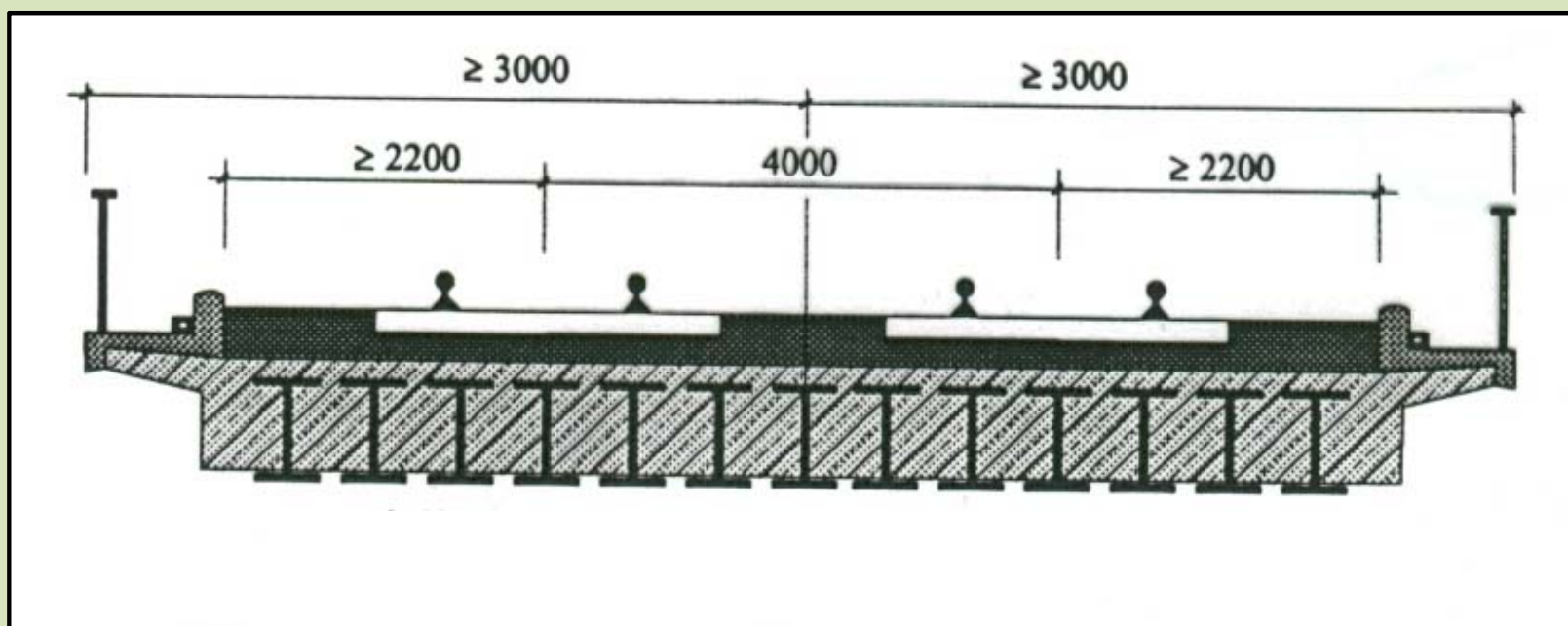
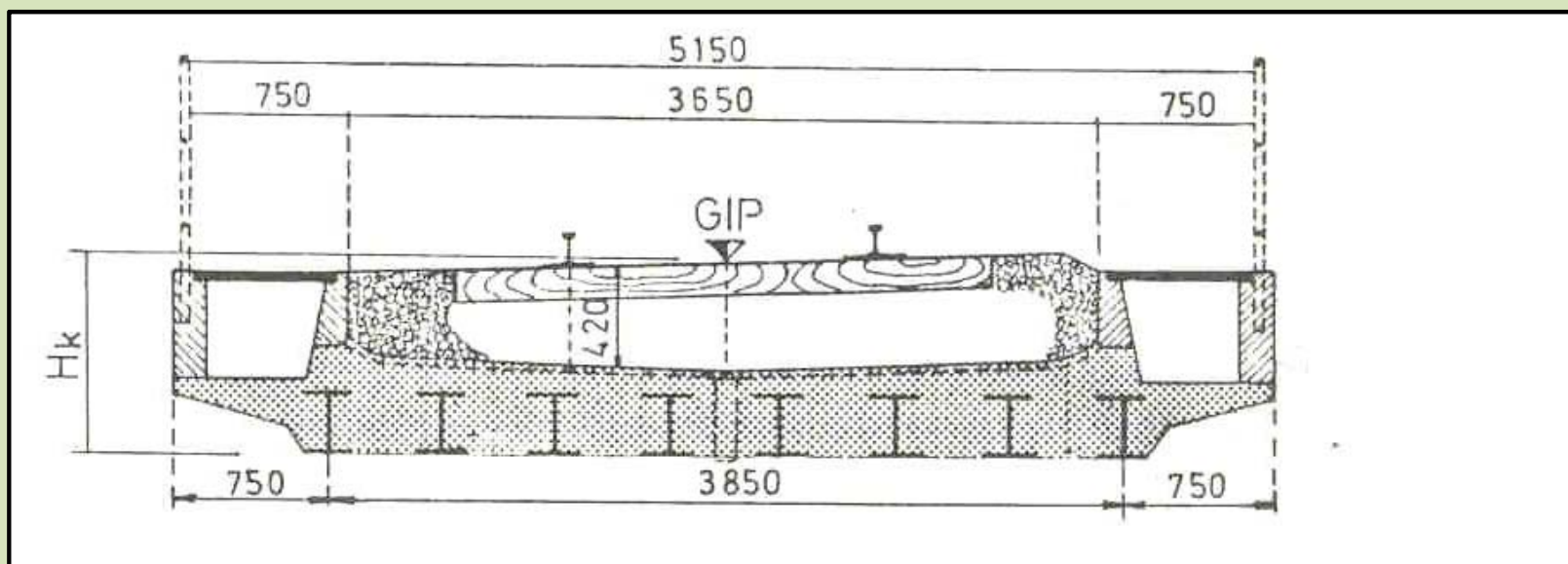




- presjek željezničkog mosta sistema kontinuiranog nosača
- kod ovog mosta ploča se je prednapinjala u području iznad oslonaca kako bi se poništila vlačna naprezanja

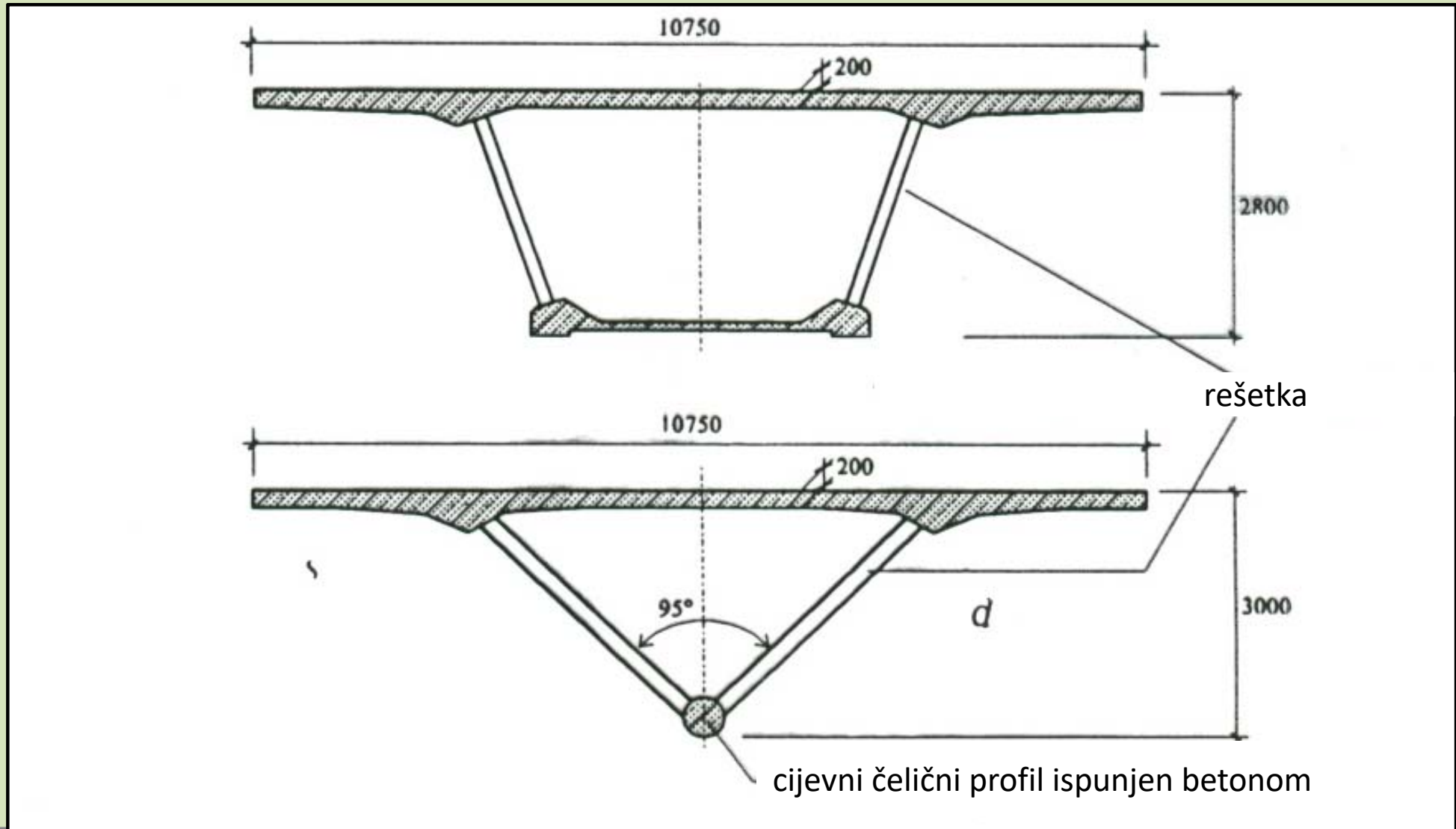


- presjek željezničkog mosta raspona 5-15 m sa ubetoniranim glavnim nosačima od I profila



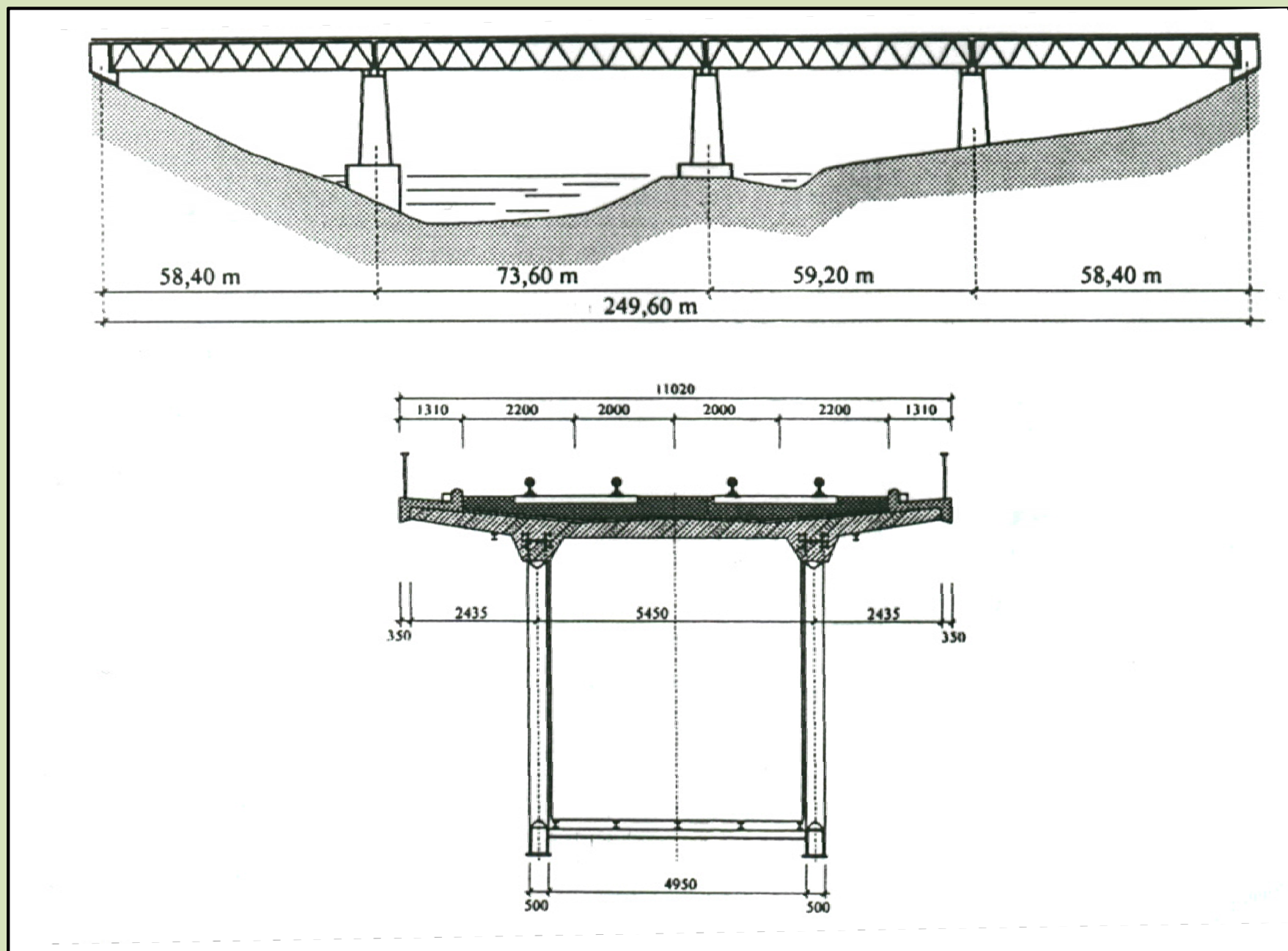


- spregnuti most gdje je glavni nosivi sistem rešetkasti nosač čiji je gornji i donji pojas betonska ploča
- donji pojas izvodi se i od čeličnih cijevi punjenih betonom





- rešetka od tankostjenih profila sa betonskom pločom kao gornjim pojasom





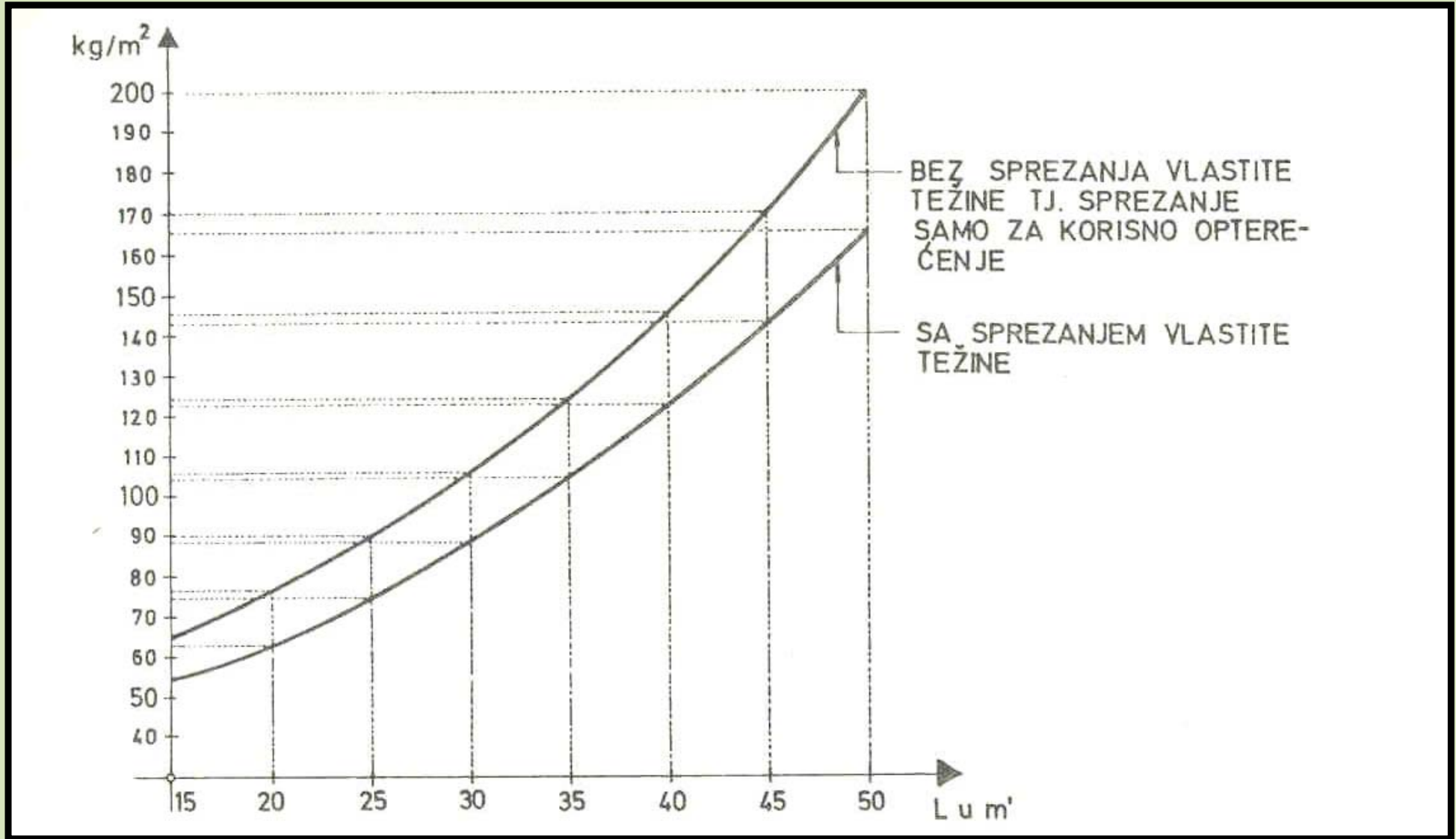
VRSTE SPREZANJA

Vrste sprezanja

- Kruto sprezanje
Nepopustljivi spoj između ploče i čeličnog nosača.
- Elastično sprezanje
Određeni elastični pomak između ploče i čeličnog nosača. U slučaju da ne želimo u ploču uvoditi prevelika naprezanja, za velike raspone. Danas sa betonom većih klasa se više ne koristi.
- Isprekidano sprezanje
Isto kao i elastično ali sa svim vrstama moždanika što kod elastičnog nije moguće. Ploča se izvodi neprekinuto i spreže se samo na određenim dionicama duž nosača. Izostavlja se sprezanje na mjestima maksimalnih momenata i na tim dijelovima ploča djeluje kao zatega.
- Potpuno ili djelomično sprezanje
Nosač je smožden za sva opterećenja ili samo na neka (pokretno i dio stalnog). Ovisi o načinu izvedbe (poduprt ili nepoduprt).
- Sprezanje s prednapinjanjem
Kolnička ploča se može prednapeti kabelima ili posebnim slijedom.



Potpuno i djelomično sprezanje:



Dijagram težina čelične konstrukcije kod spregnutih rasponskih konstrukcija cestovnih mostova

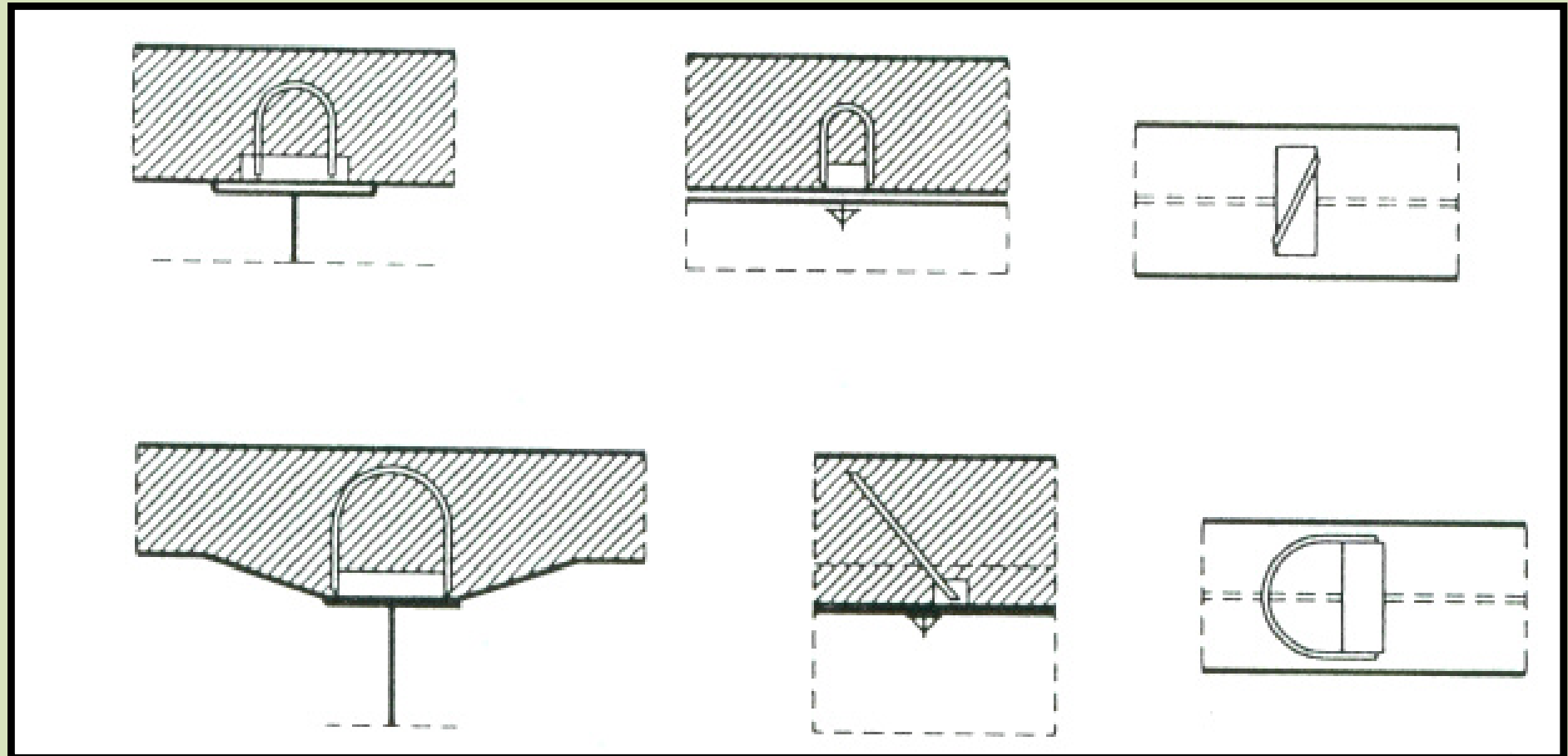




MOŽDANICI

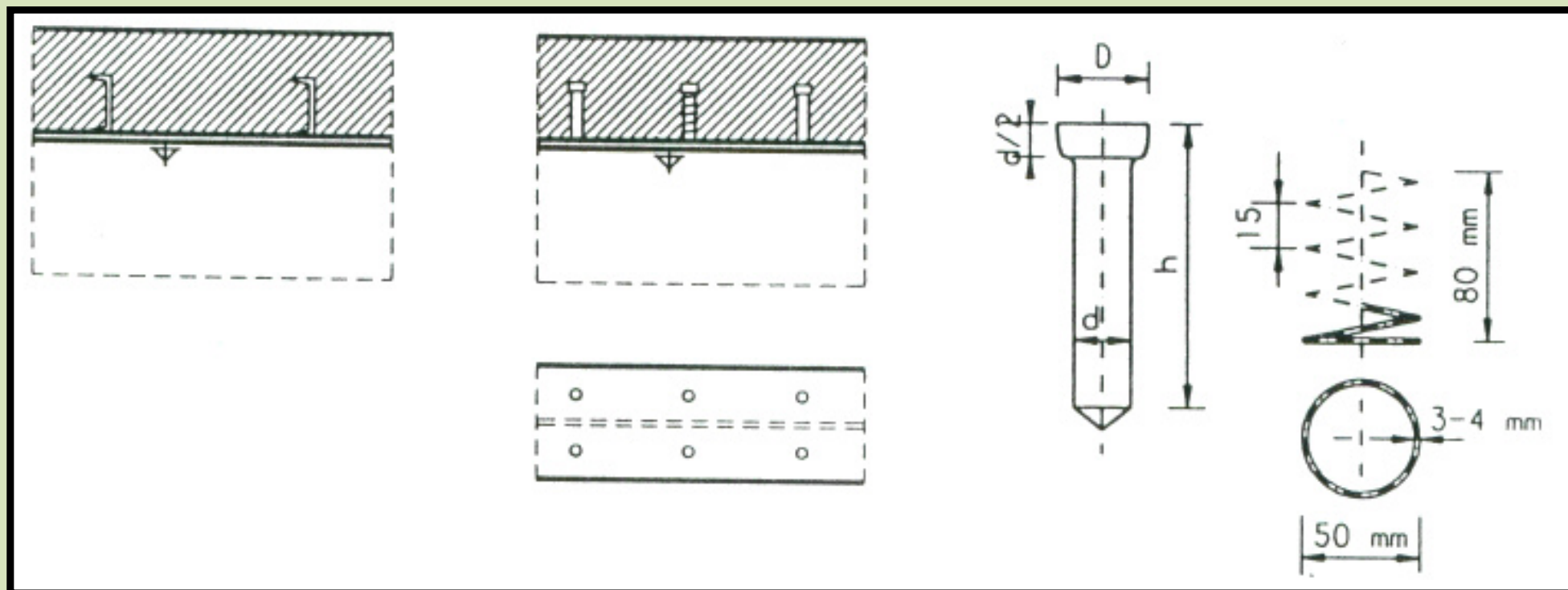
- sprezanje se izvodi isključivo moždanicima
- dvije vrste moždanika
 - kruti ili nepopustljivi – pravokutna čelična traka zavarena na pojas sa petljom od armaturnog čelika

Moždanici





- vitki ili popustljivi – valjkasti moždanik s glavom



- Danas se koriste praktično isključivo čepasti (vitki) moždanici koji omogućuju preraspodjelu posmičnih sila u plastičnom području, jednako kao i čelični nosač na koji se veže betonska ploča.
- Moguće automatsko zavarivanje (2-3 kom/min)
- Promjeri $d = 13 - 25$ mm, visine prema potrebi
- Spirala se ponekad uvodi zbog smanjivanja koncentracije naprezanja.





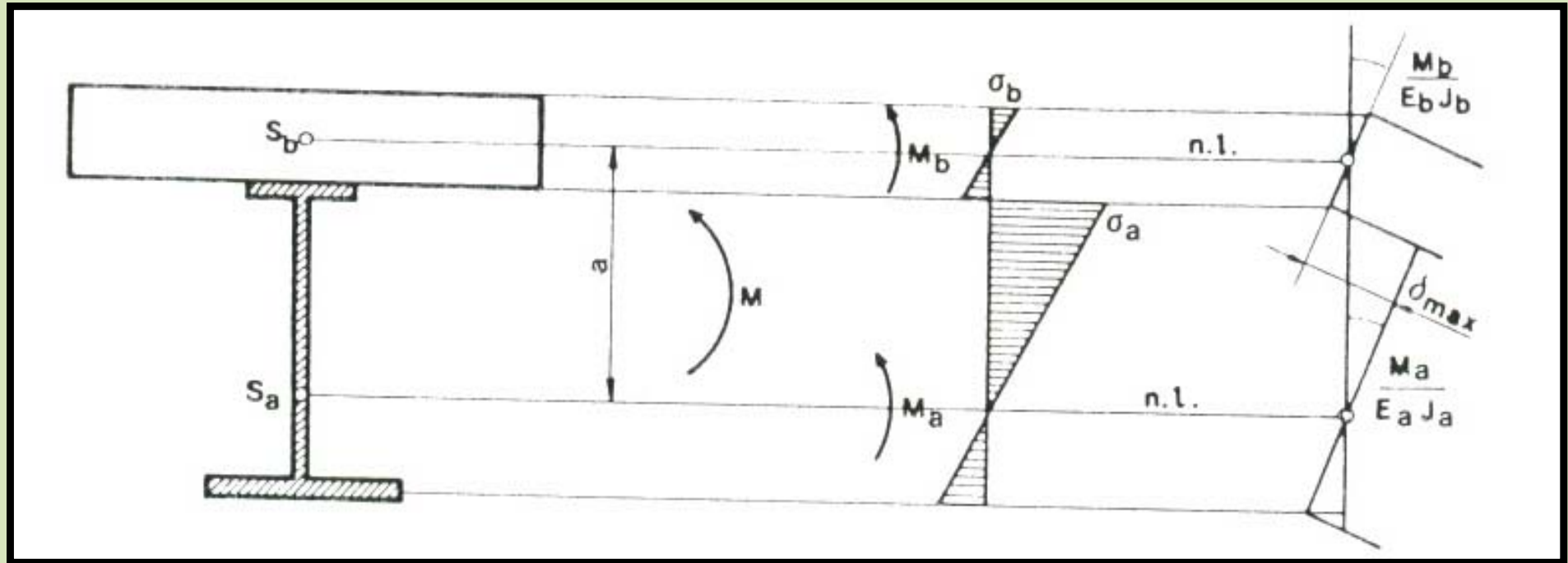
MEHANIZAM DJELOVANJA SPREGNUTOG NOSAČA:

- u elastičnoj analizi se obično različita svojstva betona i čelika svode na svojstvo čeličnog materijala
- uobičajene pretpostavke:
 - čelik i beton izotropno su elastično-plastični materijali
 - diskontinuirano razmještena spojna sredstva zamjenjuju se kontinuiranom raspodjelom
 - zakrivljenost betona i čelika je jednaka (nema odizanja ploče od nosača)
 - presjeci poslije savijanja ostaju ravni





NESPREGNUTI PRESJEK:



$$M_a + M_b = M$$

$$\frac{M_a}{E_a I_a} = \frac{M_b}{E_b I_b} = \frac{M}{E_a I_a + E_b I_b}$$

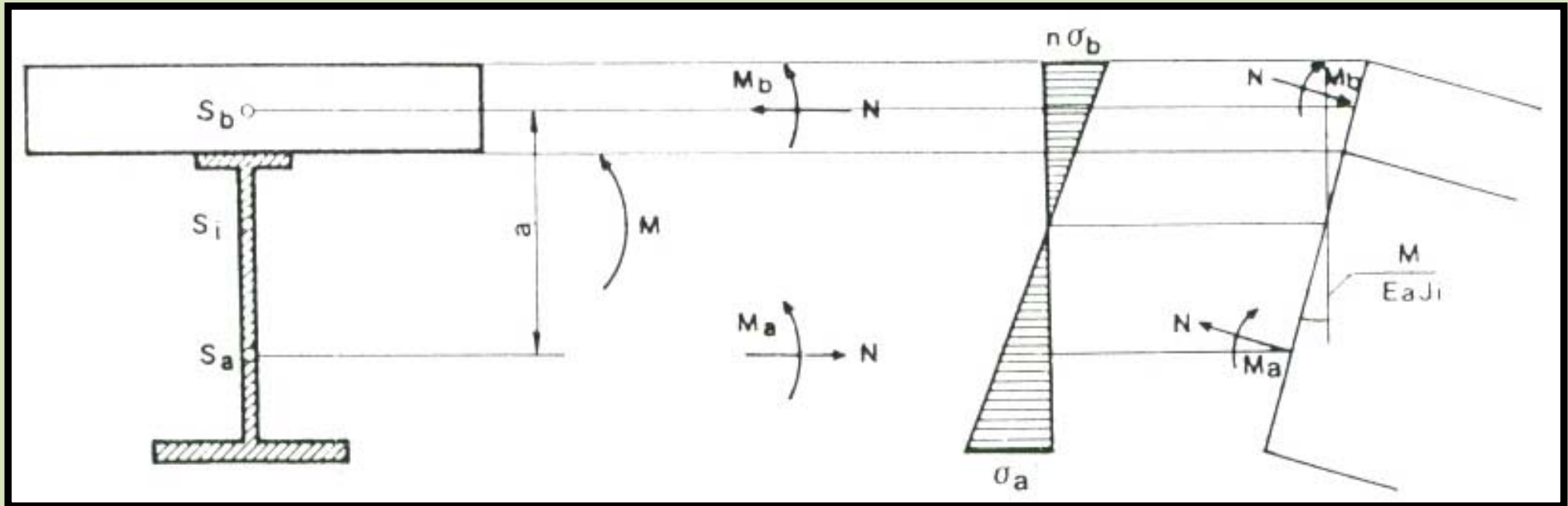
$$M_a = \frac{E_a I_a}{E_a I_a + E_b I_b} \cdot M; \quad M_b = \frac{E_b I_b}{E_a I_a + E_b I_b} \cdot M$$

Karakteristike definirane za:
a – čelik
b – beton
i – spregnuti presjek





SPREGNUTI PRESJEK:



$$M_a + M_b + N \cdot a = M$$

$$M_a = \frac{E_a I_a}{E_a I_i} \cdot M = \frac{I_a}{I_i} \cdot M$$

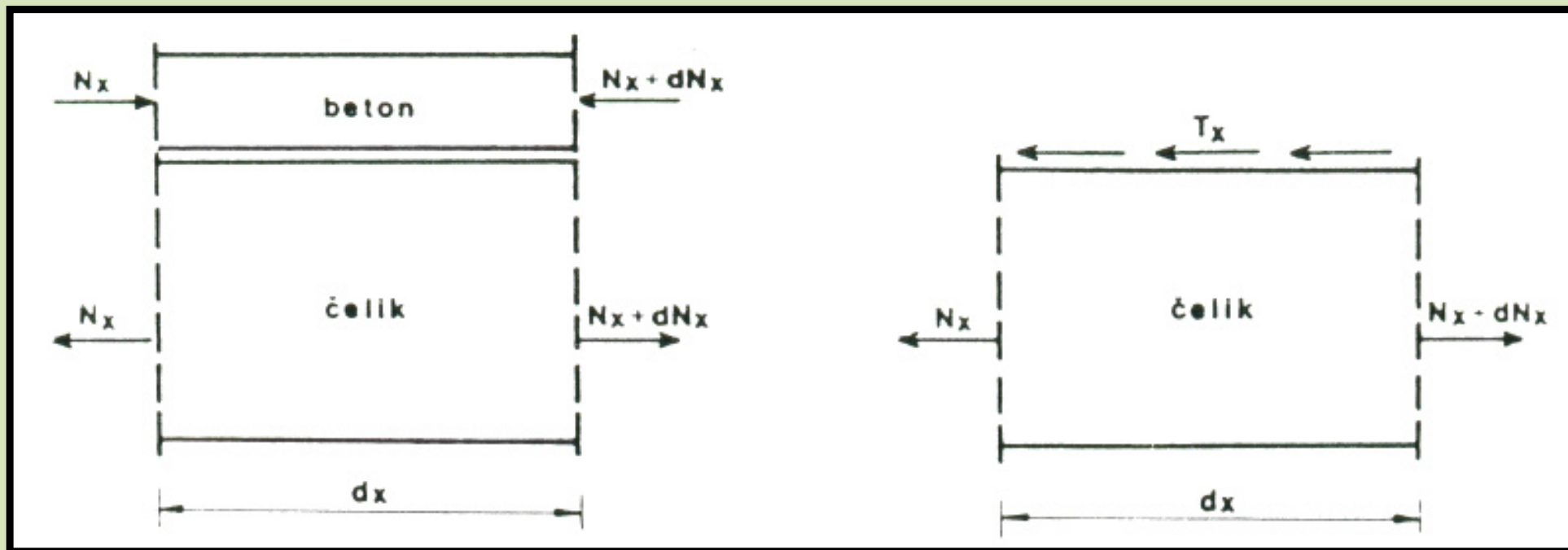
$$M_b = \frac{E_b I_b}{E_a I_i} \cdot M = \frac{I_b}{n I_i} \cdot M$$

$$N = \sigma_b \cdot A_b = \frac{S_i}{I_i} \cdot M; \quad n = E_a / E_b$$

Karakteristike definirane za:
a – čelik
b – beton
i – spregnuti presjek sveden
na materijal čelika



Posmična sila: $T(x) = \frac{dN(x)}{dx}$



Za nepopustljivo sprezanje vrijedi: $T(x) = \frac{dN(x)}{dx} = \frac{S_i}{I_i} \frac{dM(x)}{dx} = \frac{S_i}{I_i} \cdot V(x)$





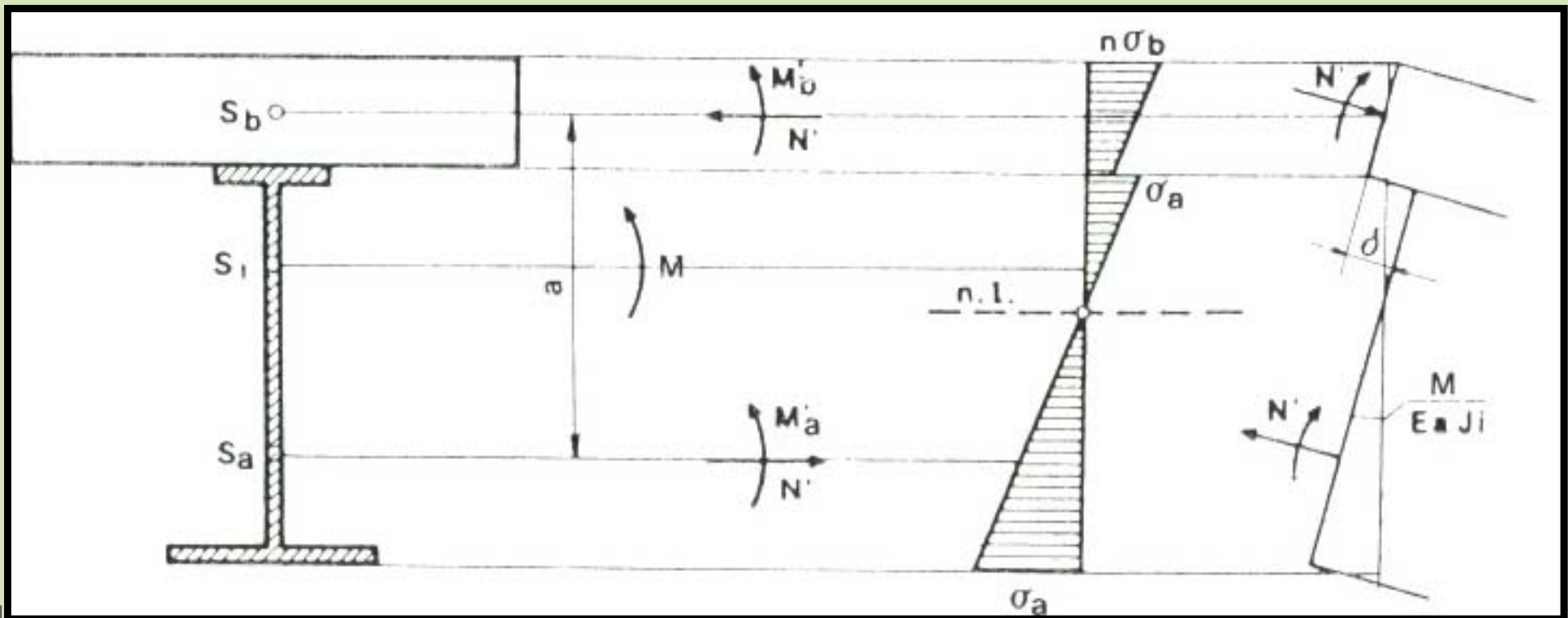
Za elastično sprežanje vrijedi: $\frac{d^2 N'}{dx^2} - \omega^2 N' = -\gamma \cdot M$

N' – komponenta sprežanja

M – moment savijanja u presjeku

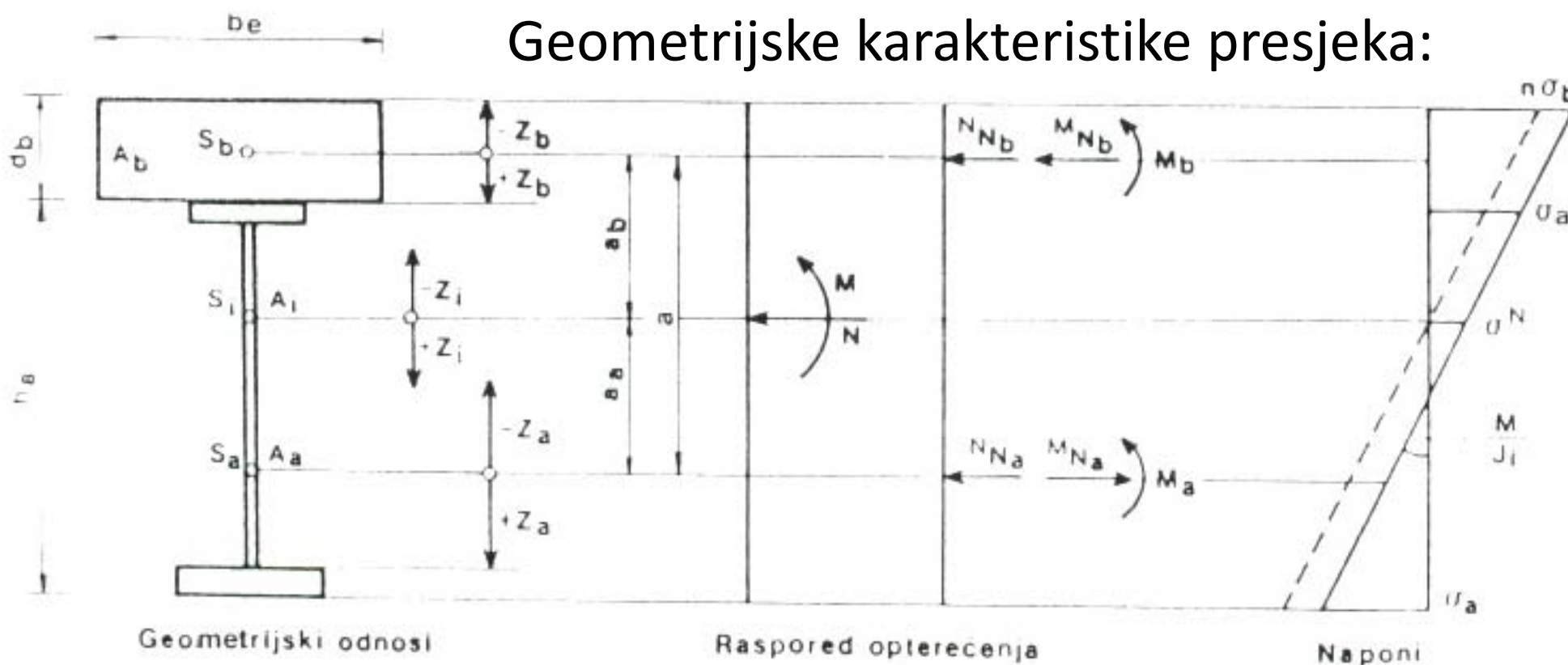
ω i γ – parametri presjeka, elastičnih osobina nosača i elastičnog sprežanja

$$M_a' = \frac{E_a I_a}{E_a I_a + E_b I_b} \cdot (M - N' a); \quad M_b' = \frac{E_b I_b}{E_a I_a + E_b I_b} \cdot (M - N' a)$$





Geometrijske karakteristike presjeka:



$$A_i = \frac{1}{n} A_b + A_a; \quad a_b = \frac{A_a}{A_i} \cdot a; \quad a_a = \frac{A_b}{n A_i} a, \quad S_i = \frac{A_b}{n} \cdot a_b = \frac{A_a A_b}{n A_i} \cdot a$$

$$J_i = J_a + \frac{1}{n} J_b + \frac{A_b}{n} a_b^2 + A_a^2 = J_a + \frac{1}{n} J_b + \frac{A_b}{n} \left(\frac{A_a}{A_i} \right)^2 a^2 + A_a \left(\frac{A_b}{n A_i} \right)^2 a^2 =$$

$$= J_a + \frac{1}{n} J_b + \frac{A_b A_a}{n A_i} a \left(\frac{A_a}{A_i} a + \frac{A_b}{n A_i} a \right) = J_a + \frac{1}{n} J_b + S_i a$$



Raspored sila u presjeku:



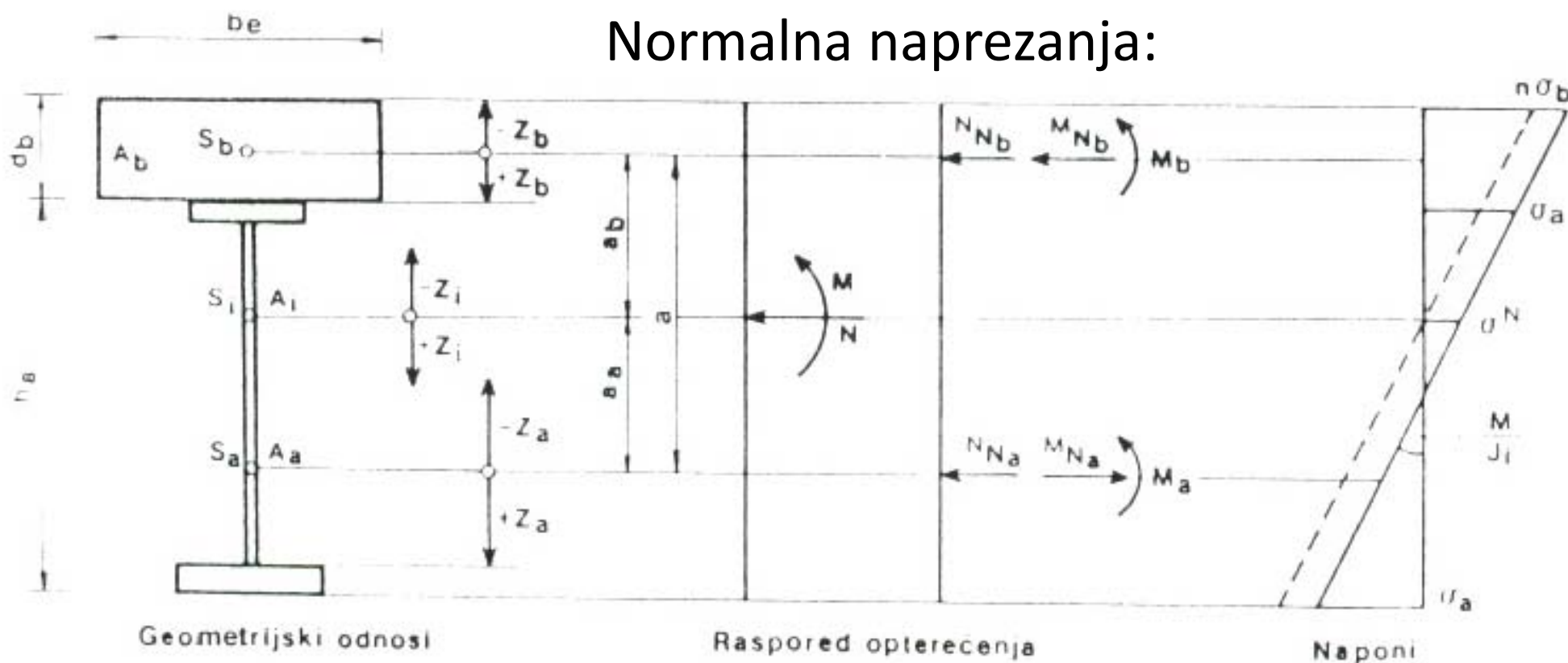
Vrijede odnosi:

$$M_b = \frac{J_b}{nJ_i} \cdot M; \quad M_a = \frac{J_a}{J_i} \cdot M; \quad M_{N_a} = -M_{N_b} = \frac{S_i}{J_i} \cdot M$$

$$N_{N_b} = \frac{A_b}{nA_i} \cdot N \quad i \quad N_{N_a} = \frac{A_a}{A_i} \cdot N$$



Normalna naprezanja:



$$\sigma_b = -\frac{N_b}{A_b} \mp \frac{M_b}{J_b} \cdot z_b = \dots = -\frac{N}{nA_i} - \frac{M}{nJ_i} \cdot z_i$$

$$\sigma_a = \frac{N_a}{A_a} \mp \frac{M_a}{J_a} \cdot z_a = \dots = -\frac{N}{A_i} \mp \frac{M}{J_i} \cdot z_i$$

$$N_b = N_{Nb} + M_{Nb}$$

$$N_a = N_{Na} + M_{Na}$$



Značajke poprečnog presjeka

Sudjelujuća širina spregnutih betonskih pojaseva za dokaz nosivosti

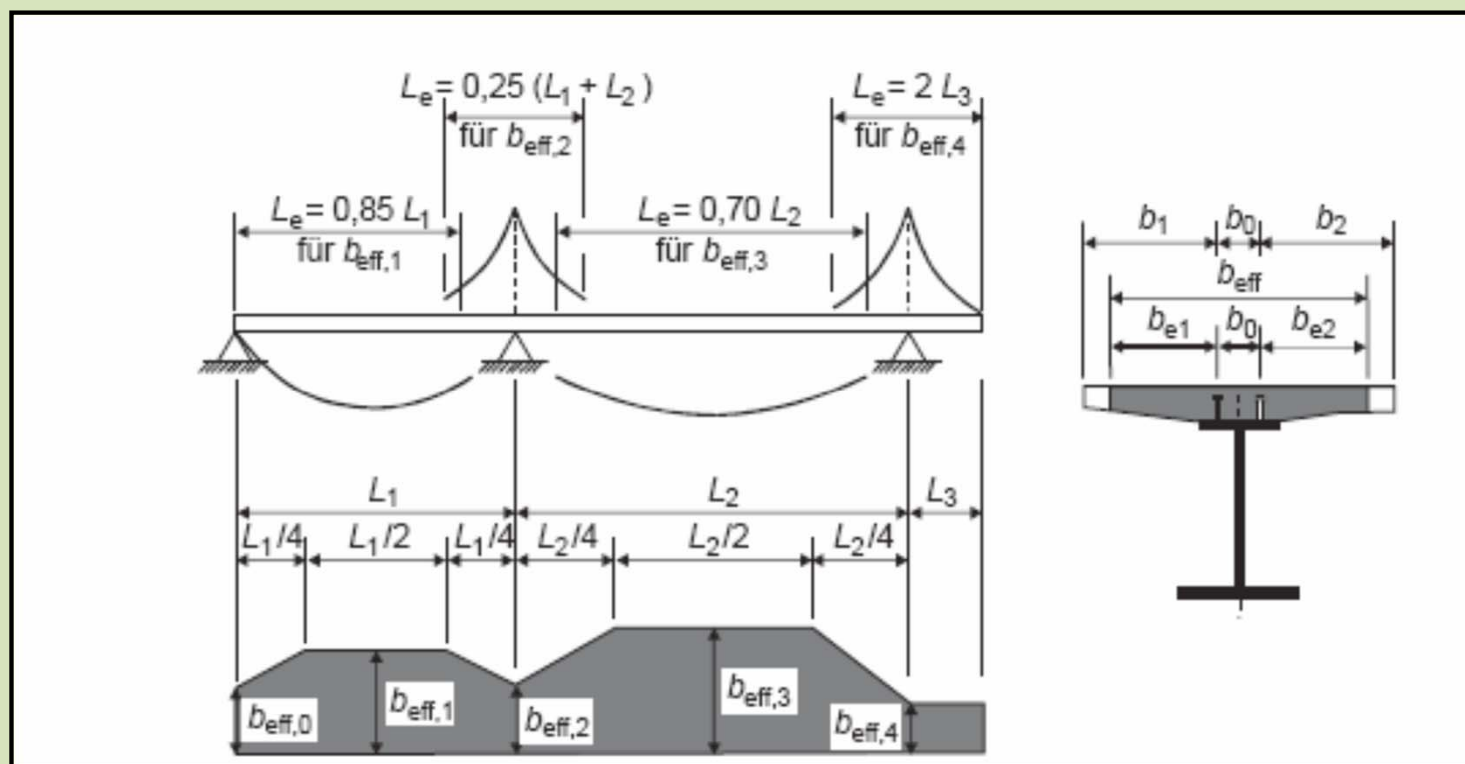
Za granično stanje nosivosti (GSN) i zamor sudjelujuća širina definirana je izrazom:

$$b_{\text{eff}} = b_0 + \sum b_{ei}$$

b_0 razmak vanjskih moždanika

$b_{ei} = L_e / 8 \leq b_i$ sudjelujuća širina sa svake strane hrpta

L_e približno razmak nul-točaka momenata savijanja

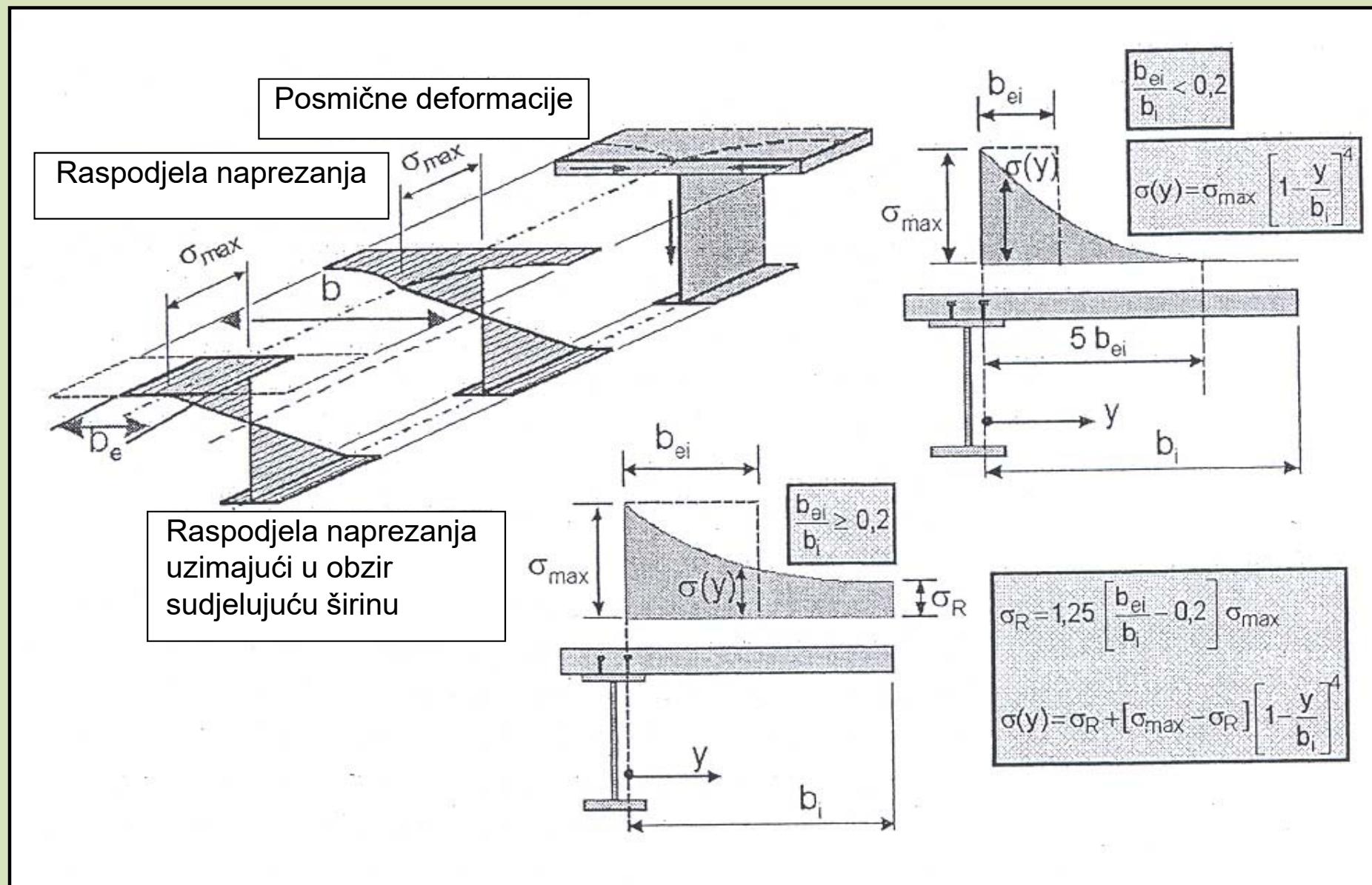


Sudjelujuća širina na krajnjim osloncima iznosi:

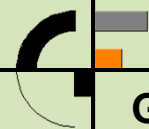
$$b_{\text{eff},0} = b_0 + \sum \beta_i b_{ei}$$

$$\beta_i = (0,55 + 0,025 L_e / b_i) \leq 1$$

Sudjelujuća širina i ekvivalentni rasponi L_e

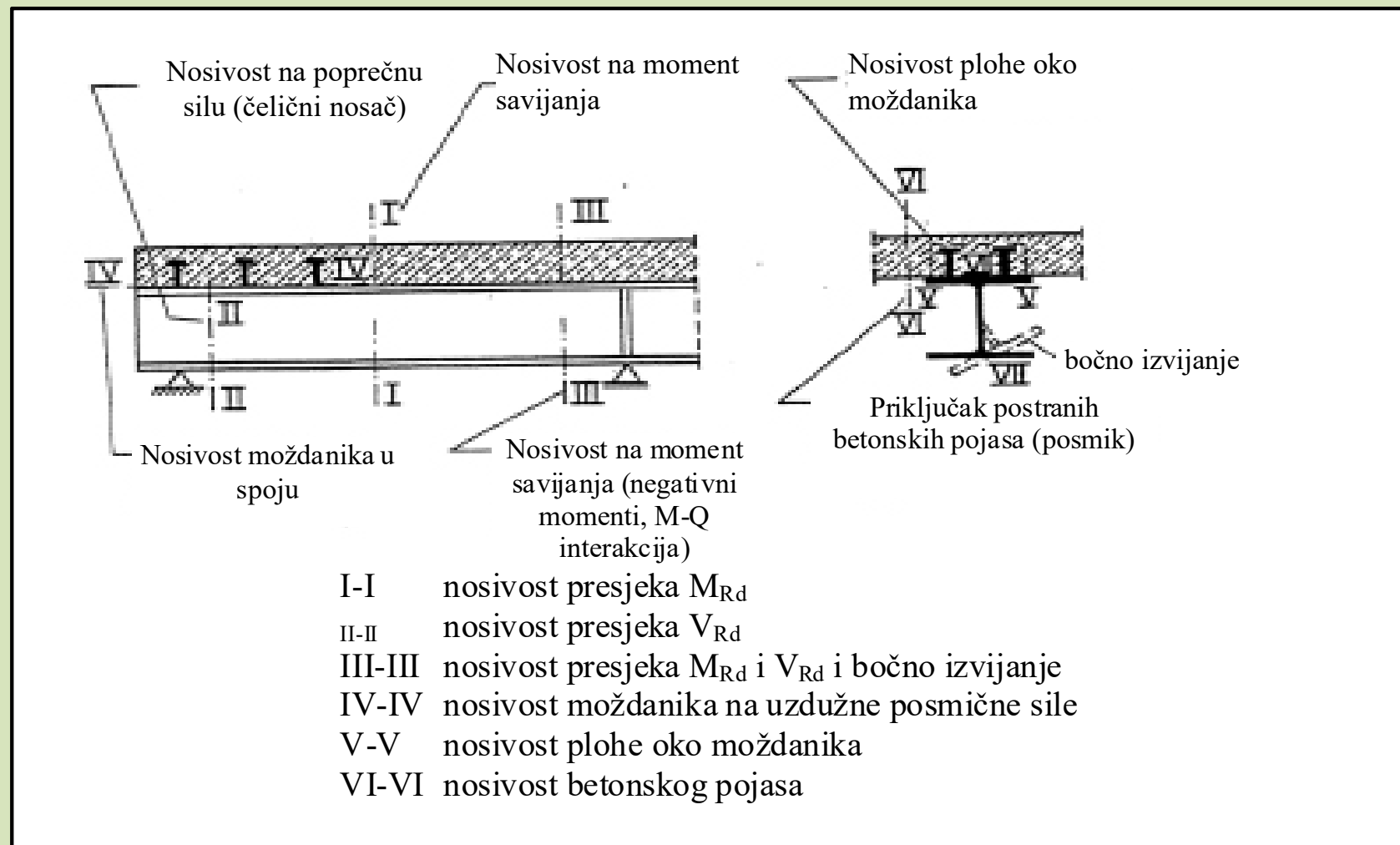


Sudjelujuća širina pojasa i raspodjela naprezanja u poprečnom smjeru pojasa





Nosivost presjeka



Presjeci za dokaz GSN



Podjela u klase (razrede)

Klasa 1: Presjeci koji omogućuju plastične zglobove sa dovoljnim rotacijskim kapacitetom za plastični proračun sustava → teorija plastičnih zglobova (kod mostovskih sklopova se ne dopušta)

Klasa 2: Presjeci koji kod ograničenog rotacijskog kapaciteta razvijaju punu plastičnu nosivost presjeka. → Kod proračuna reznih sila smije se uzeti u obzir preraspodjela momenata uslijed pojave pukotina i djelomične plastifikacije prije nastajanja prvog plastičnog zgloba.

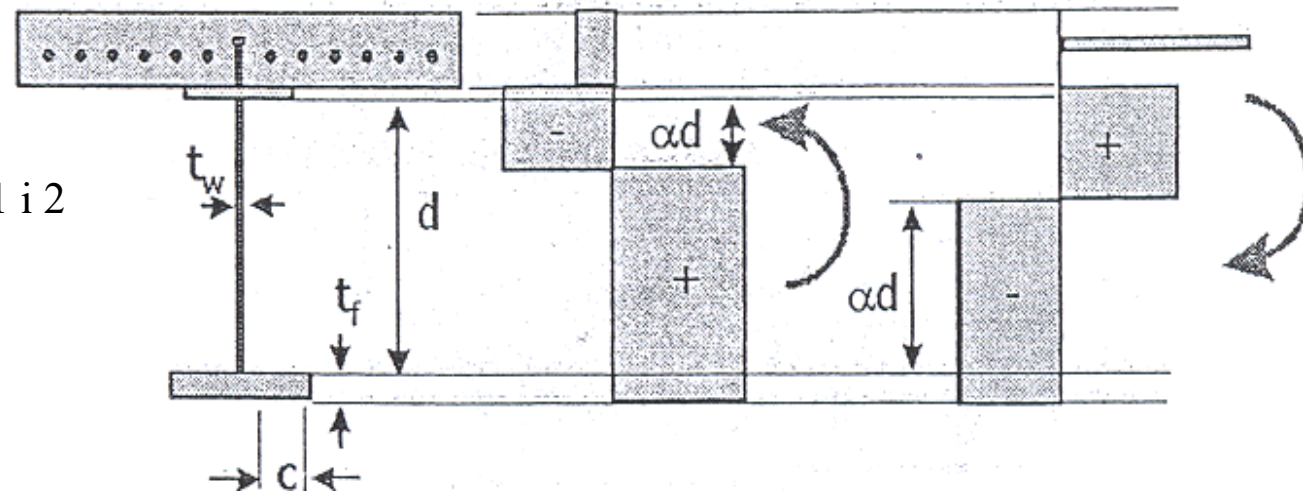
Klasa 3: Presjeci koji se na rubovima poprečnog presjeka mogu iskoristiti do granice popuštanja. Plastične rezerve ne postoje. → **Moguća je preraspodjela u sustavu uslijed pojave pukotina** i tečenja u vlačno napregnutim dijelovima čeličnog presjeka.

Klasa 4: Presjeci koji se moraju dokazati uzimajući u obzir lokalno izbočavanje, tj. Metodom elastičnosti s djelotvornim presjecima. → Do preraspodjele momenata u sustavu dolazi samo uslijed pojave pukotina.

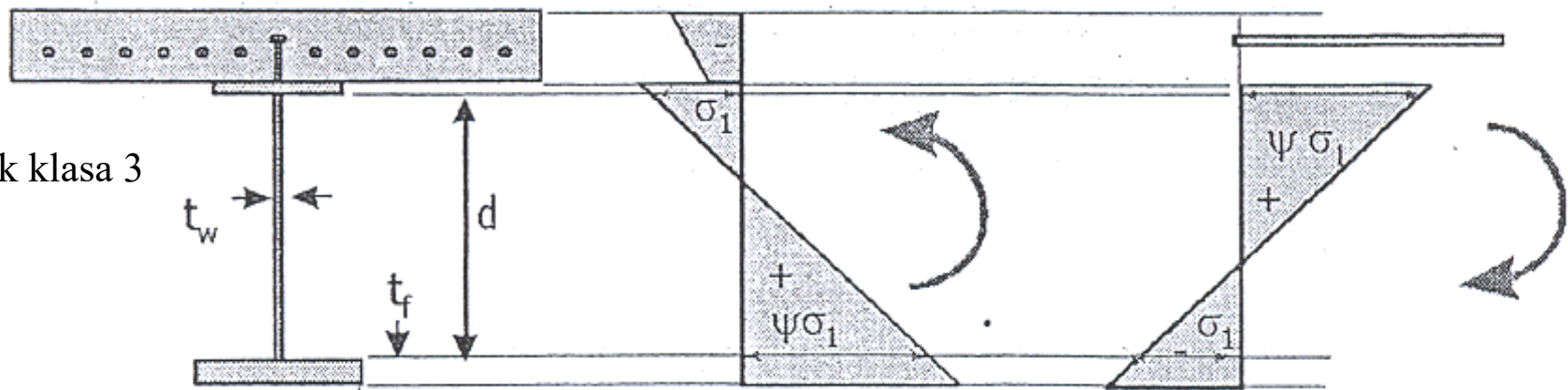




Presjek klasa 1 i 2



Presjek klasa 3



Klasifikacija presjeka



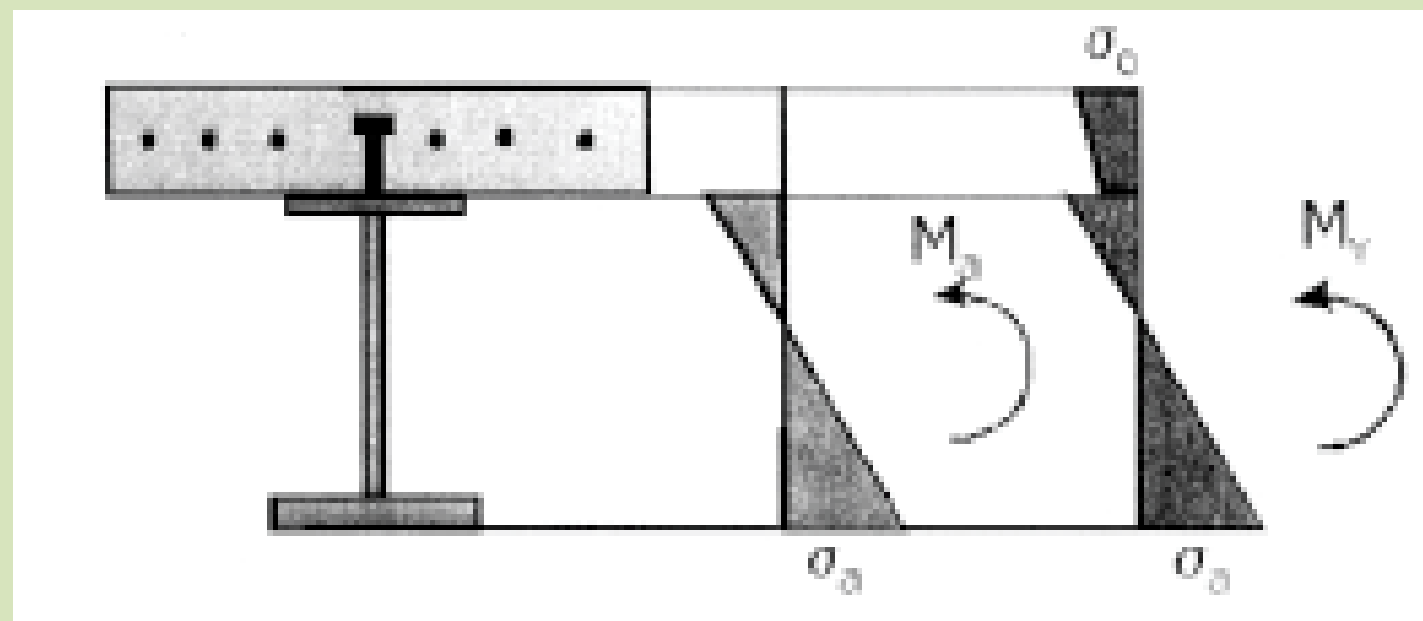


Elastična otpornost na savijanje – Klasa 3

Kod proračuna elastičnog graničnog momenta $M_{el,Rd}$ moraju biti zadovoljena sljedeća granična naprezanja:

- f_{ck} / γ_c za betonski pojas u tlaku
- f_y / γ_a za dijelove presjeka u vlaku ($\gamma_a = 1$) i za tlačno napregnute dijelove presjeka ($\gamma_a = 1,1$)
- f_{sk} / γ_s za armaturu u vlaku i tlaku. U tlaku se armatura može zanemariti.
- $f_{p0,1k} / \gamma_s$ za kabele za prednapinjanje. Pred-deformacija kabela uzima se u obzir.

Utjecaj povijesti opterećenja (faze gradnje) uzima se u obzir, tj. naprezanja koja djeluju samo na čelični dio presjeka i naprezanja koja djeluju na spregnuti presjek superponiraju se.



Granična naprezanja za elastičnu otpornost presjeka na savijanje



Presjeci klase 4

Za presjeke klase 4 otpornost presjeka računa se uzimajući u obzir izbočavanje, sa efektivnim odnosno djelotvornim širinama temeljem redukcijskog koeficijenta ρ , koji ovisi o vitkosti lima u polju izbočavanja (vidi predavanje o punostijenim čeličnim nosačima).

Alternativno se presjeci mogu svrstati u klasu 3 i onda vršiti postupak provjere reduciranih naprezanja (vidi predavanje o punostijenim čeličnim nosačima).

Provjeru stabilnosti za presjeke klase 4 potrebno je napraviti i za poprečnu silu, i za interakciju poprečne sile, momenta savijanja i uzdužne sile. Postupak je prikazan u predavanju o punostijenim čeličnim nosačima.





Proračun unutarnjih sila

- Proračunskim modelom i pretpostavkama proračuna treba se obuhvatiti ponašanje konstrukcije za granično stanje nosivosti (GSN).
- U načelu se koristi proračun prema teoriji elastičnosti.
- Utjecaj popuštanja spojnih sredstava može se zanemariti, ako je provjereno sprezanje.
- Usvaja se linearni odnos moment-rotacija presjeka neovisno o razini naprezanja.
- Utjecaj povijesti opterećivanja mora se dovoljno točno obuhvatiti.

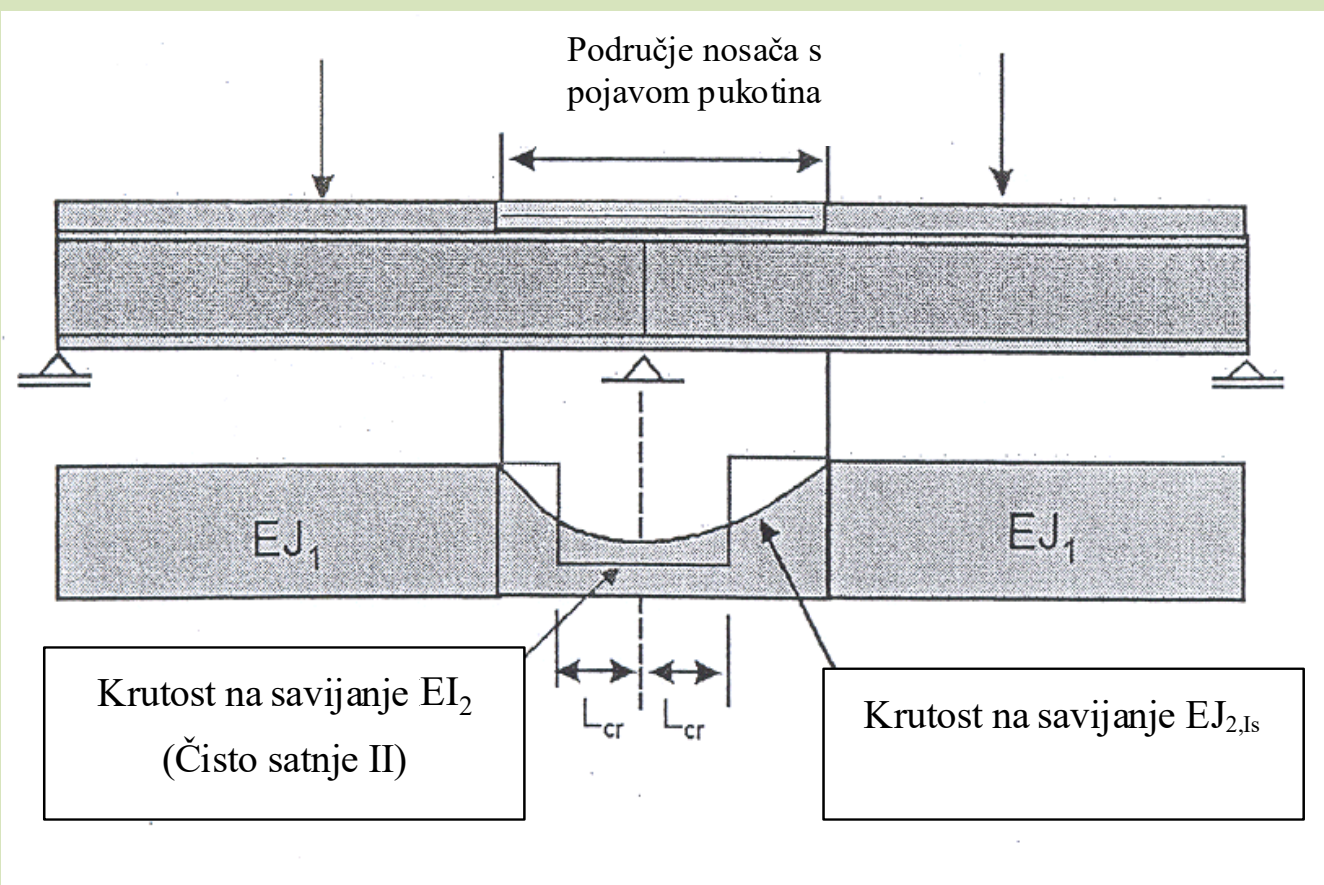




Utjecaj pojave pukotina u betonu

- Utjecaji pojave pukotina u betonu moraju se uzeti u obzir.
- U područjima u kojima je premašena vlačna čvrstoća betona pojava pukotina prouzročuje redukciju normalne krutosti i krutosti na savijanje betonskog pojasa i time preraspodjelu unutarnjih sila po dijelovima od betonskog pojasa na čelični nosač. Ta preraspodjela bitno ovisi o stupnju pojave pukotina i sudjelovanju betona između pukotina.
- Smanjenje krutosti na savijanje izaziva preraspodjelu momenata savijanja od srednjih oslonaca u polja.
- Istovremeno se primarna naprezanja od skupljanja jako smanjuju uslijed pukotina.
- Sekundarna naprezanja od skupljanja kod statički neodređenih sustava se uslijed redukcije primarnih naprezanja i promjene raspodjele krutosti naročito jako smanjuju.
- Kod kontinuiranih nosača pukotine nastaju samo u području negativnih momenata savijanja u okolini srednjih oslonaca.

- Efektivna krutost na savijanje ovisi o naprezanju presjeka momentom savijanja.
- Kod proračuna unutarnjih sila je zbog toga u općem slučaju neophodan iterativni proračun.
- Da bi se ta teškoća izbjegla kod proračuna u inženjerskoj praksi, koriste se pojednostavnjene pretpostavke u pogledu krutosti na savijanje kod pojave pukotina.

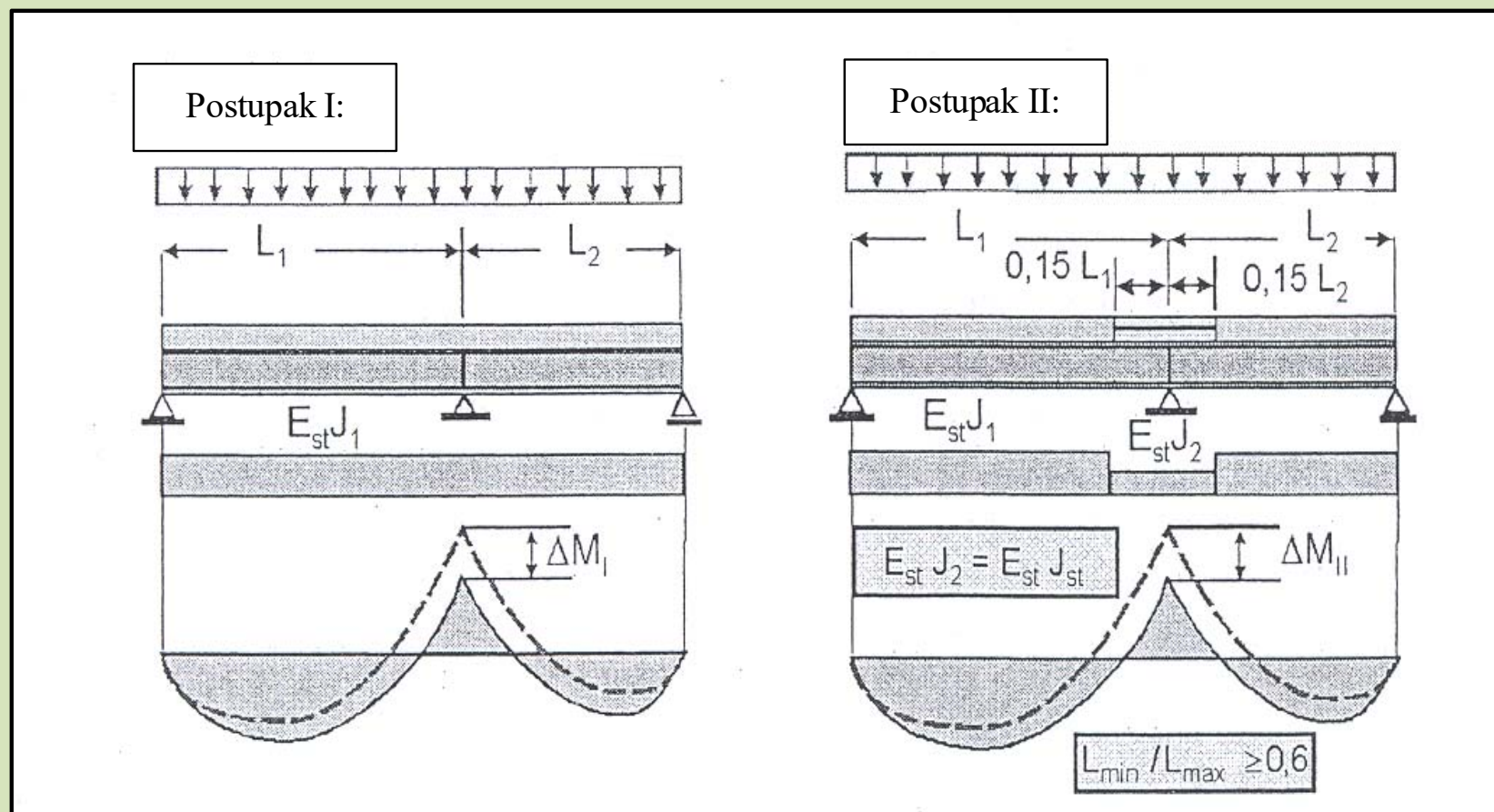


Pretpostavke za raspodjelu krutosti na savijanje kod pojave pukotina u betonskom pojasu



- Utjecaj pojave pukotina približno se obuhvaća usvajanjem raspucalog presjeka (čisto stanje II) na efektivnoj duljini L_{cr} .
- Ta duljina određena je iz uvjeta da se kod nelinearnog proračuna s krutosti na savijanje $E I_{2,ts}$ otprilike ostvare jednake preraspodjele momenta savijanja kao kod elastičnog proračuna s krutosti na savijanje za čisto stanje II.
- Kao kriterij za određivanje duljine L_{cr} koristi se rubno naprezanje betona za rijetku (karakterističnu) kombinaciju djelovanja.
- Za uzimanje obzir pojave pukotina kod proračuna unutarnjih sila daju se tri različita postupka: I, II i III (pokazana u nastavku)
- Kod proračuna unutarnjih sila dijelova presjeka razlikuju se tri stanja, stanje 1 (neraspucali presjek), stanje pojave prvih pukotina i stanje kod završenog procesa otvaranja pukotina.



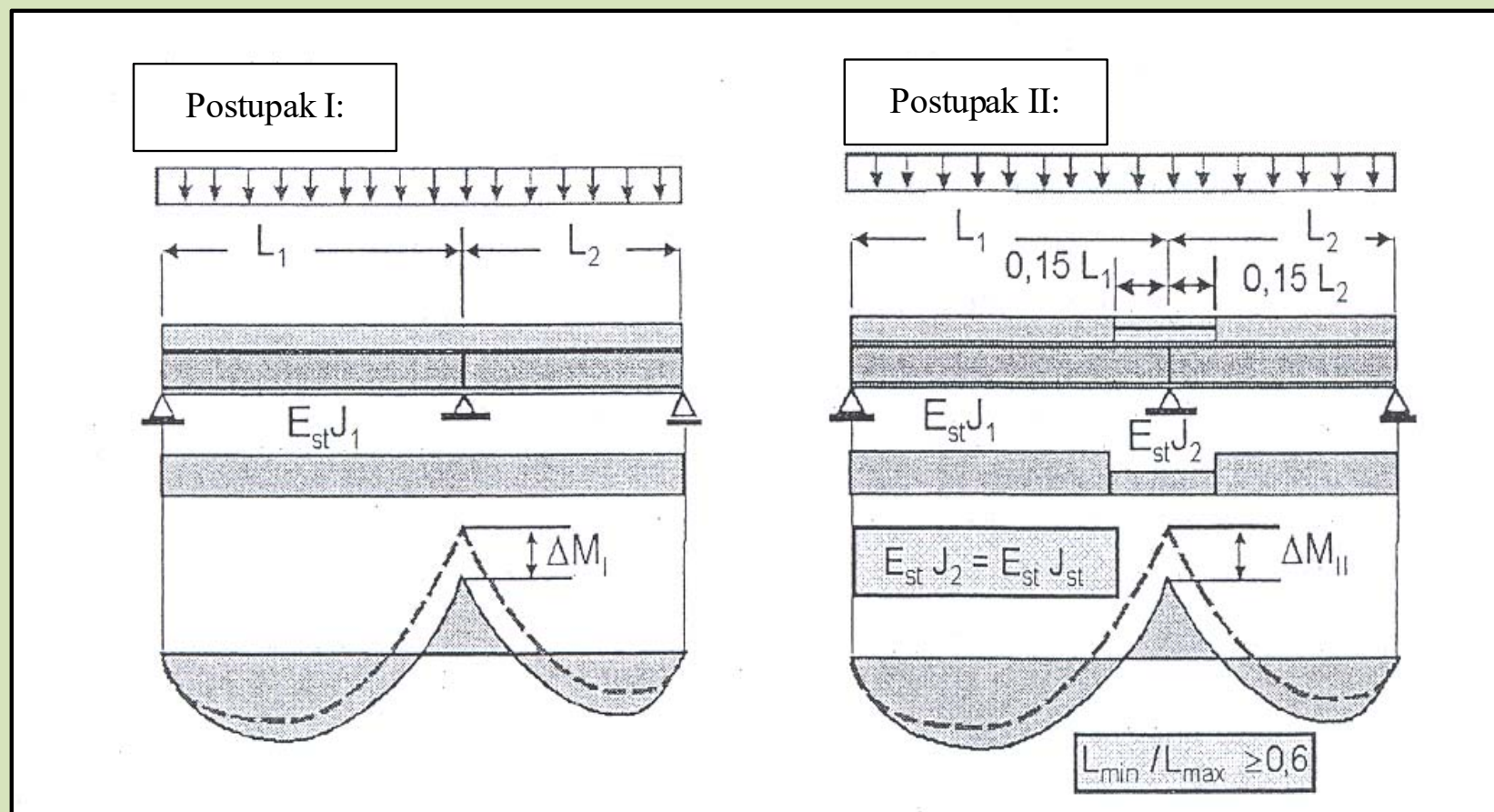


Izračun unutarnjih sila prema postupcima I i II

Postupak I:

Negativni momenti savijanja nad srednjim osloncima, koji djeluju na spregnuti presjek smiju se umanjiti za najviše 10% uz zadovoljenje uvjeta ravnoteže, ako su unutarnje sile određene temeljem krutosti neraspucalih presjeka.





Izračun unutarnjih sila prema postupcima I i II

Postupak II:

Za mostove bez primjene mjera prednapinjanja bilo kabelima bilo regulacijom oslonaca utjecaj pojave pukotina može se obuhvatiti usvajanjem krutosti na savijanje $E_a J_2$ na 15% duljine susjednih polja jednog srednjeg oslonca.

U ostalim dijelovima nosača koristi se krutost na savijanje neraspucalog presjeka $E_a J_1$.



Postupak III:

Kod općenito primjenjivog postupka III prvo se određuju područja u kojima beton raspucava L_{cr} , usvajanjem krutosti raspucalog presjeka za rijetku (karakterističnu) kombinaciju djelovanja, uzimajući u obzir reologiju betona.

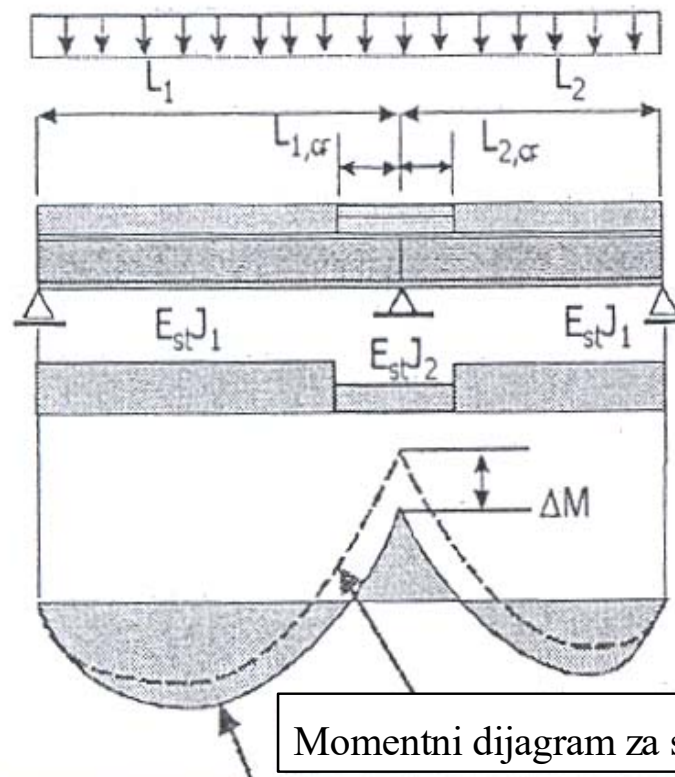
U područjima gdje su rubna vlačna naprezanja u betonu za glavni nosivi sustav u rijetkoj (karakterističnoj) kombinaciji veća od 2 puta vrijednosti vlačne čvrstoće betona f_{ctm} , usvaja se krutost na savijanje $E_a J_2$.





Postupak III:

$E_{st}I_1$ krutost na savijanje – stanje I
 $E_{st}I_2$ krutost na savijanje – stanje II



Momentni savijanja uzimajući u obzir pojavu pukotina

- Proračun unutarnjih sila za stanje I za nečestu kombinaciju
- Izračun raspucalih područja nosača L_{cr} pomoću rubnog naprezanja u betonu
 $\sigma_c < 2f_{ctm}$
- Uvrštavanje EI_2 u raspucalim djelovima nosača
- Proračun unutarnjih sila s novom raspodelom krutosti

ΔM moment preraspodjele uslijed pojave pukotina

$$E_{st}I_2 = E_{st}I_{st}$$



PUZANJE BETONA

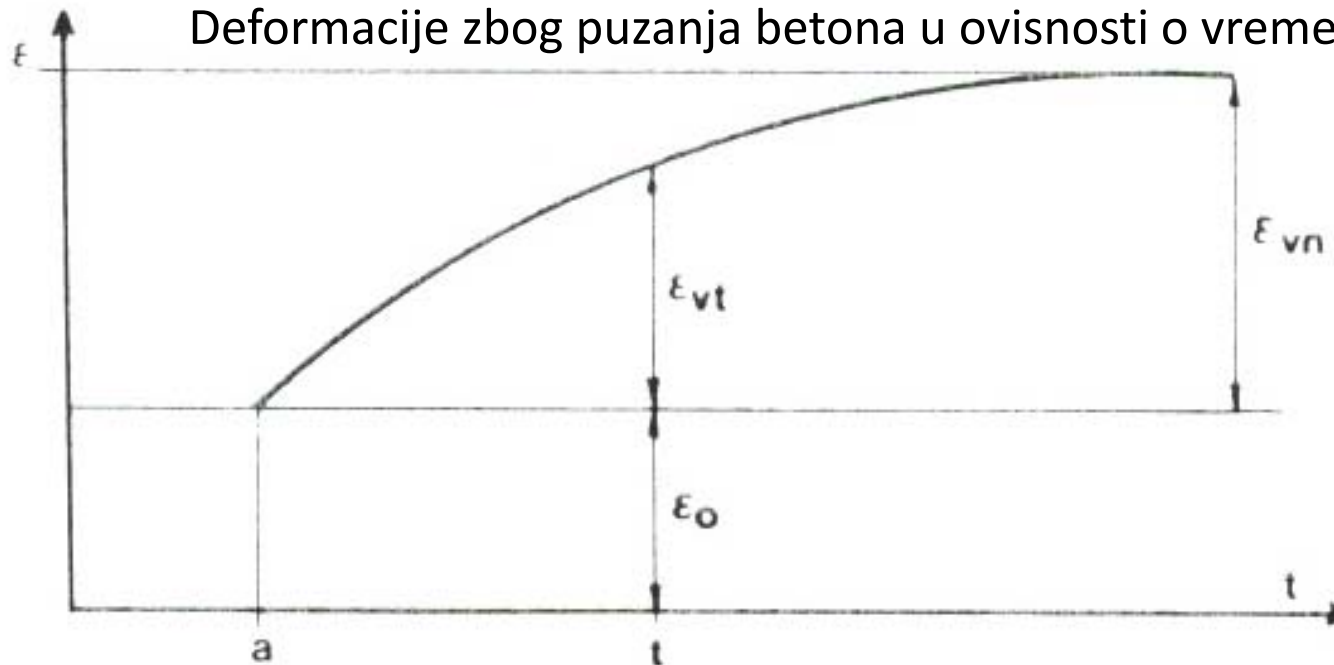
- polagana ili viskozna deformacija – uzrokuje preraspodjelu napona u presjeku

$$\varepsilon_u = \varepsilon_o + \varepsilon_{vt} = \varepsilon_o \left(1 + \frac{\varepsilon_{vt}}{\varepsilon_o}\right) = \varepsilon_o (1 + \varphi_t) \quad \varphi_t = \frac{\varepsilon_{vt}}{\varepsilon_o}$$

$$E_o = \frac{\sigma_{bo}}{\varepsilon_o}; \quad E_{bt} = \frac{\sigma_{bo}}{\varepsilon_u}$$

$$E_{bt} = \frac{E_o}{1 + \frac{\varepsilon_{vt}}{\varepsilon_o}} = \frac{E_o}{1 + \varphi_t}$$

Deformacije zbog puzanja betona u ovisnosti o vremenu:



$$\frac{\varepsilon_{vt}}{\varepsilon_o} = \varphi_t$$

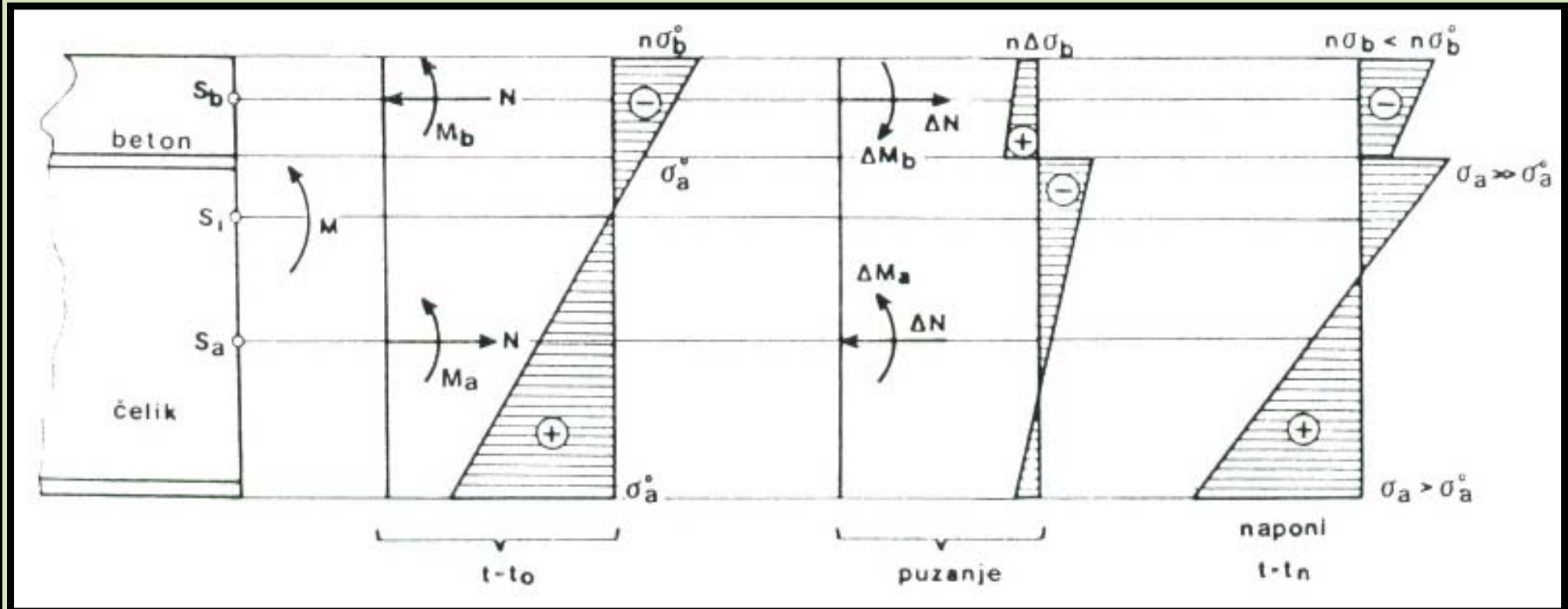
$$\frac{\varepsilon_{vn}}{\varepsilon_o} = \varphi_n$$



UTJECAJ PUZANJA NA SPREGNUTI NOSAČ

Preraspodjela naprezanja zbog puzanja:

Puzanje



- S vremenom se deformacija betona povećava – stupanj sprežanja se smanjuje – naprežanje u betonu pada za $\Delta\sigma_b$
- Čelik – gornji pojas – naprežanje raste za $\Delta\sigma_a$
- Čelik – donji pojas – naprežanje raste neznatno



Preraspodjela naprezanja zbog puzanja:

- U praksi su razrađeni približi postupci uzimanja u obzir ovih dodatnih naprezanja

POSTUPAK S EFEKTIVNIM MODULOM ELASTIČNOSTI:

- korekcijskim faktorom Ψ_L uvodi se ekvivalentni idealni modul elastičnosti pa onda odnos modula elastičnosti s kojim se proračunavaju karakteristike ekvivalentnog čeličnog presjeka iznosi:

$$n_L = \frac{E_a}{E_{cm}} (1 + \Psi_L \cdot \varphi_t)$$

Ψ_L koeficijent za korekciju utjecaja puzanja

za stalno opterećenje = 1,1

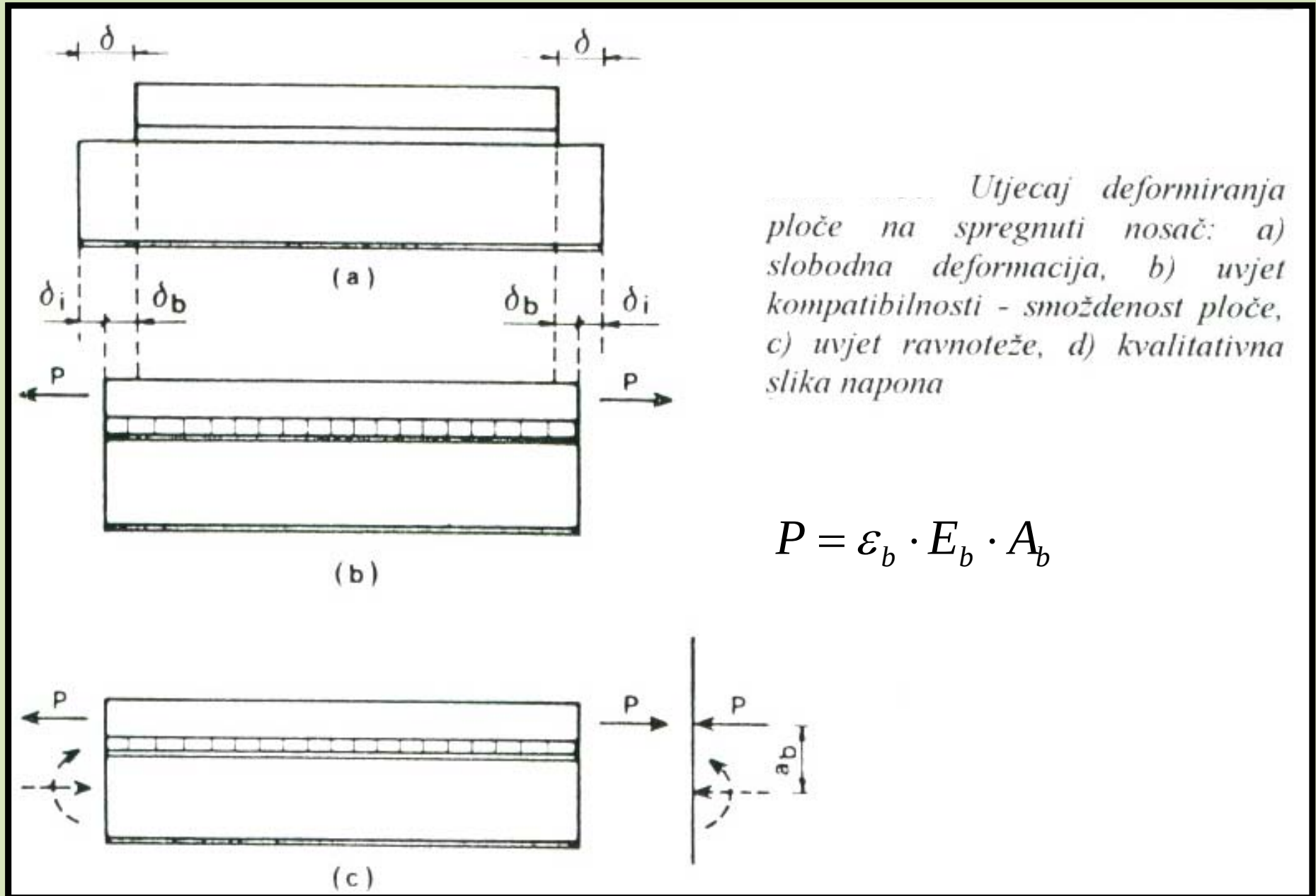
za skupljanje i promet = 0,55

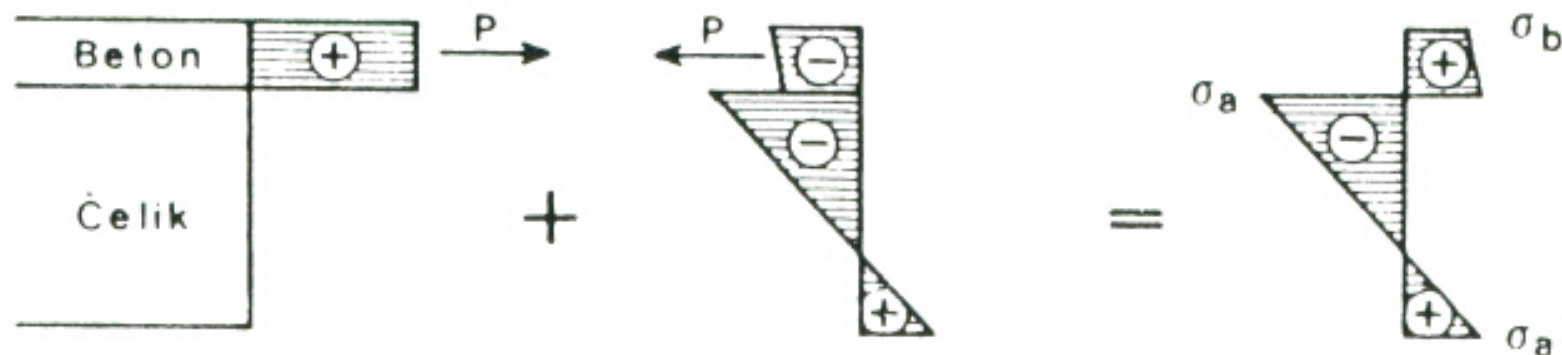
φ_t koeficijent puzanja





Utjecaj deformacije ploče na spregnutu gredu (skupljanje):



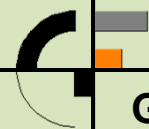


(d)

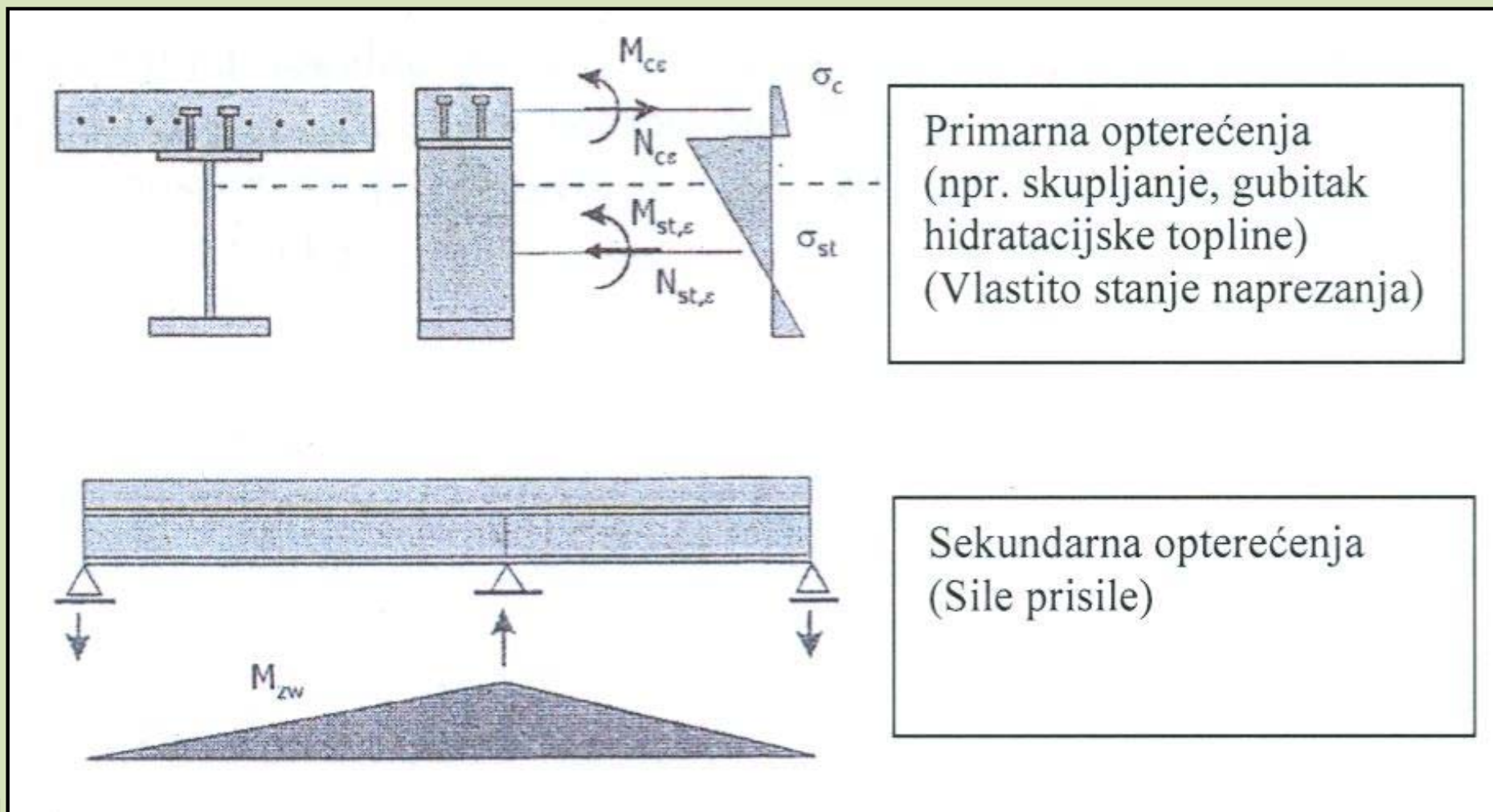
$$\begin{aligned}\sigma_b &= +\frac{P}{A_b} - \frac{P}{nA_i} - \frac{P \cdot a_b}{nJ_i} \cdot z_i = P \left(\frac{1}{A_b} - \frac{1}{nA_i} - \frac{a_b}{nJ_i} \cdot z_i \right) = \varepsilon_b \cdot E_b \cdot \left(1 - \frac{A_b}{nA_i} - \frac{A_b a_b}{nJ_i} z_i \right) = \\ &= \varepsilon_b \cdot E_b \cdot \frac{A_a}{A_i} \left(1 - \frac{A_a a_a}{J_i} \cdot z_i \cdot \frac{A_i}{A_a} \right) = \varepsilon_b \cdot E_b \frac{A_a}{A_i} \left(1 - \frac{A_i a_a}{J_i} \cdot z_i \right) \quad (8.18)\end{aligned}$$

Analogno u čeličnom dijelu nosača:

$$\sigma_a = -\frac{P}{A_i} + \frac{P \cdot a_b}{J_i} \cdot z_i = P \left(-\frac{1}{A_i} + \frac{a_b}{J_i} z_i \right) = \varepsilon_b \cdot E_b \cdot \frac{A_b}{A_i} \left(-1 + \frac{a_b A_i}{J_i} \cdot z_i \right)$$



- Puzanje i skupljanje betona, kao i nelinearna promjena temperature u spregnutim presjecima izazivaju vlastita naprezanja i deformacije (rotacije i izduženja).
- Djelovanja pridružena tim utjecajima dijele se na indirektna i direktna.





U inženjerskoj praksi se koriste dva postupka za proračun naprezanja od puzanja i skupljanja.

- Prvim postupkom tzv. **postupkom unutarnjih sila po dijelovima**, se direktno proračunavaju sile preraspodjele od puzanja u dijelovima presjeka - betonu i čeliku.

Naprezanja u dijelovima presjeka u trenutku t dobivaju se od unutarnjih sila u trenutku početka djelovanja t_0 i od sila preraspodjele uslijed puzanja.

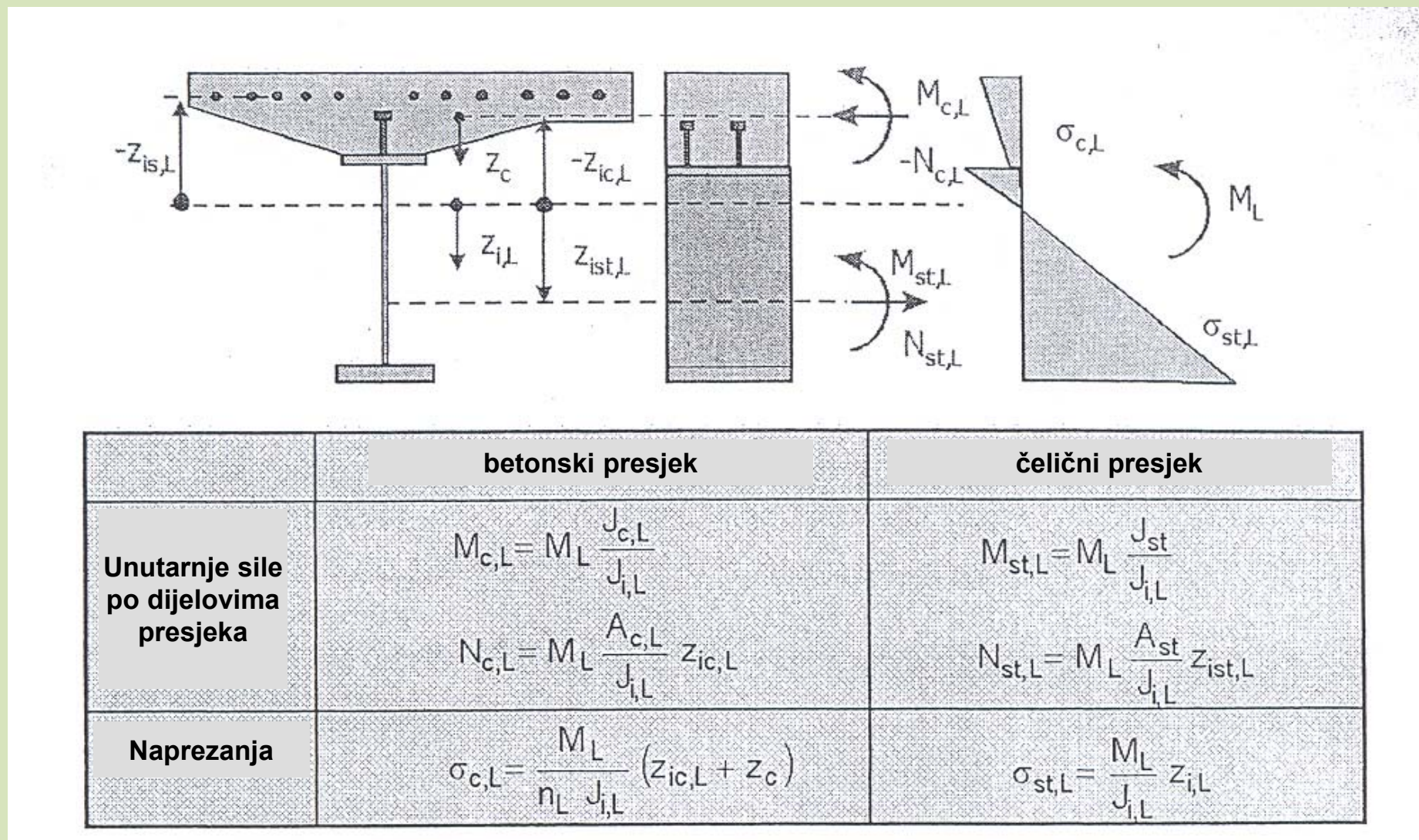
- Drugi postupak je tzv. **postupak ukupnog presjeka**.

Utjecaj puzanja obuhvaćen je analogno proračunu kratkotrajnih djelovanja vremenski ovisnim redukcijskim koeficijentima n_L za površinu i moment tromosti betona. Redukcijski koeficijenti ovise o koeficijentu puzanja φ_t i o popravnom koeficijentu ψ_L , ovisnom o vrsti opterećenja.





Prvi postupak:

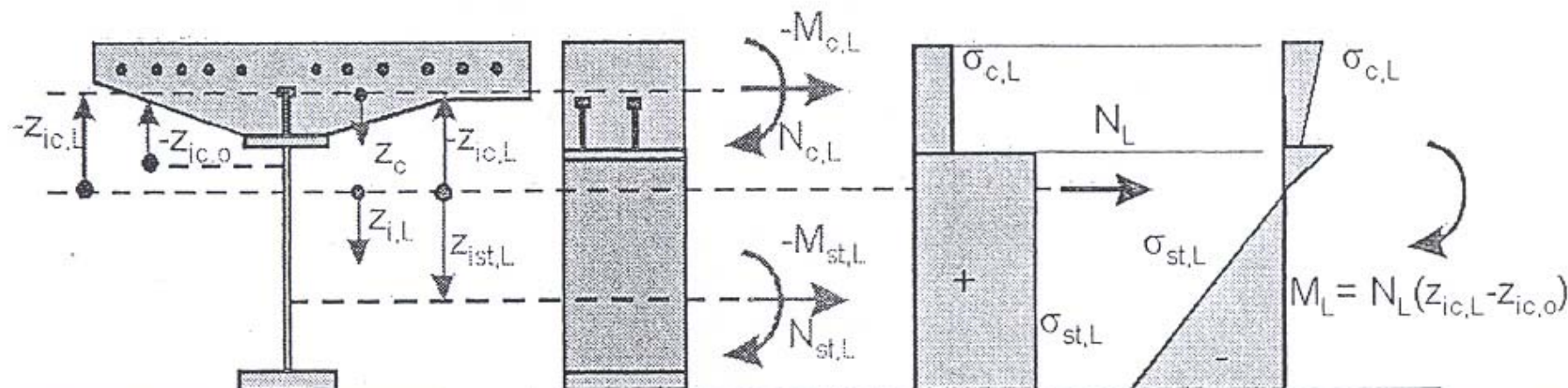


Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za djelovanje momenta savijanja



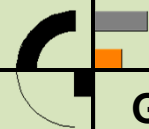


Prvi postupak:



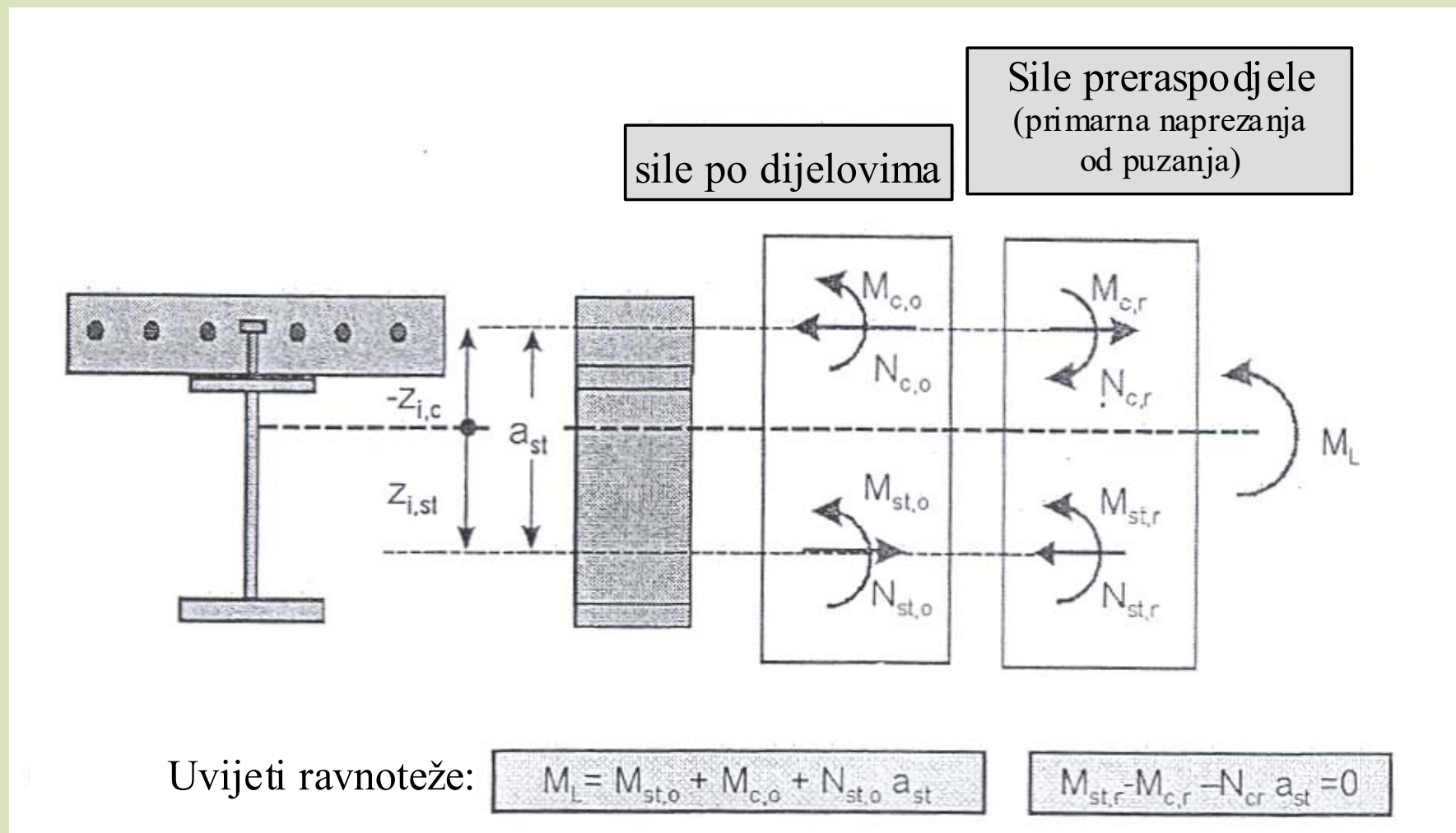
	betonski presjek	čelični presjek
Unutarnje sile po dijelovima presjeka	$N_{c,L} = N_L \left[\frac{A_{c,L}}{A_{i,L}} - (z_{ic,o} - z_{ic,L}) \frac{A_{c,L}}{J_{i,L}} z_{ic,L} \right]$ $M_{c,L} = -N_L \cdot (z_{ic,o} - z_{ic,L}) \frac{J_{c,L}}{J_{i,L}}$	$N_{st,L} = N_L \left[\frac{A_{st}}{A_{i,L}} - (z_{ic,o} - z_{ic,L}) \frac{A_{st}}{J_{i,L}} z_{ist,L} \right]$ $M_{st,L} = -N_L \cdot (z_{ic,o} - z_{ic,L}) \frac{J_{st}}{J_{i,L}}$
Naprezanja	$\sigma_{c,L} = N_L \left[\frac{1}{n_L A_{i,L}} - \frac{z_{ic,o} - z_{ic,L}}{n_L J_{i,L}} (z_{ic,L} + z_c) \right]$	$\sigma_{st,L} = N_L \left[\frac{1}{A_{i,L}} - \frac{z_{ic,o} - z_{ic,L}}{J_{i,L}} z_{i,L} \right]$

Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za djelovanje normalne sile





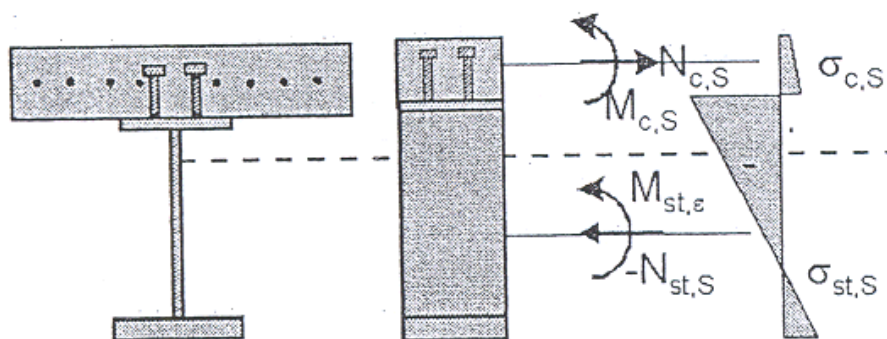
Prvi postupak:



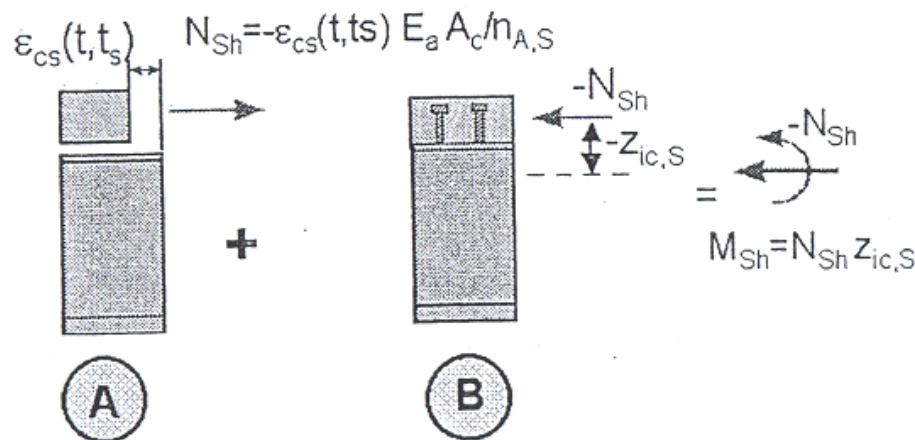
Utjecaj puzanja na unutarnje sile po dijelovima presjeka

Prvi postupak:

Unutarnje sile po dijelovima i naprezanja od skupljanja



Proračunski model

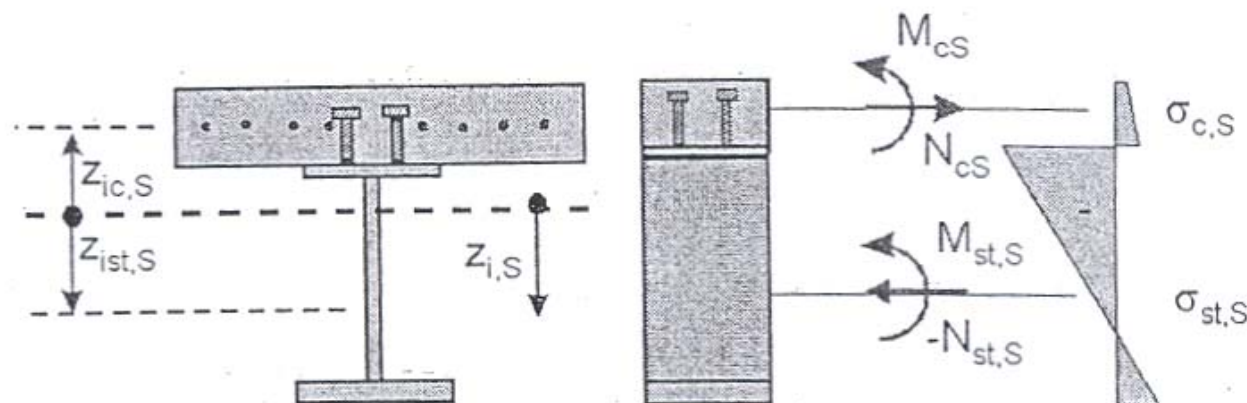


- (A) Čelični nosač i betonska ploča nisu spregnuti. Slobodna uzdužna deformacija od skupljanja poništava se normalnom silom od skupljanja.
- (B) Normalna sila od skupljanja zadaje se na spregnuti presjek u obrnutom smjeru. Usljed ekscentriciteta u odnosu na težište spregnutog presjeka nastaje moment skupljanja M_{Sh} .
- (C) Superpozicijom unutarnjih sila po dijelovima i naprezanja od A i B dobijaju se primarna naprezanja od skupljanja.

Izračun primarnih naprezanja od skupljanja



Prvi postupak:



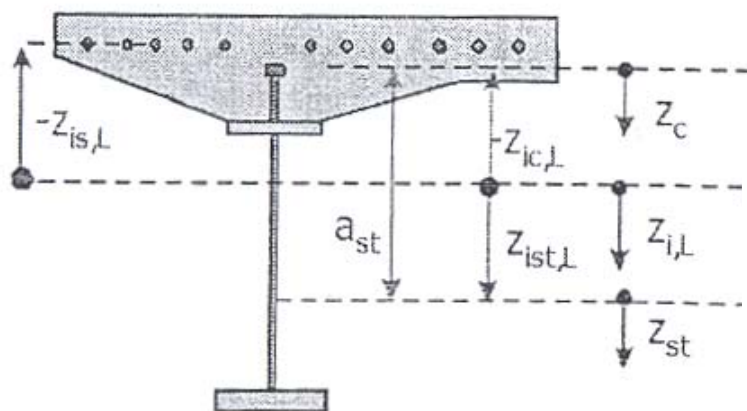
	betonski presjek	čelični presjek
Unutarnje sile po dijelovima presjeka	$N_{c,S} = N_{Sh} \left(1 - \frac{A_{c,S}}{A_{l,S}} - \frac{A_{c,S}}{J_{l,S}} z_{ic,S}^2 \right)$ $M_{c,S} = -N_{Sh} \cdot z_{ic,S} \frac{J_{c,S}}{J_{l,S}}$	$N_{st,S} = -N_{Sh} \left(\frac{A_{st}}{A_{l,S}} + \frac{A_{st}}{I_{l,S}} z_{ist,S} \cdot z_{ic,S} \right)$ $M_{st,S} = -N_{Sh} z_{ic,S} \frac{J_{st}}{J_{l,S}}$
Naprezanja	$\sigma_{c,S} = \frac{N_{Sh}}{A_c} \frac{N_{Sh}}{n_S A_{l,S}} + \frac{N_{Sh} z_{ic,S}}{n_S J_{l,S}} (z_{ic,S} + z_c)$	$\sigma_{st,S} = -\frac{N_{Sh}}{A_{l,S}} + \frac{N_{Sh} z_{ic,S}}{J_{l,S}} z_{i,S}$

Unutarnje sile po dijelovima presjeka i naprezanja za primarno djelovanje skupljanja





Drugi postupak:



težišna os
betonskog dijela

težišna os
spregnutog dijela

težišna os
čeličnog dijela

Kratkotrajna djelovanja	$\Psi=0$
Stalna djelovanja	$\Psi_p=1,10$
Skupljanje	$\Psi_s=0,55$
Slijeganje oslonaca	$\Psi_o=1,50$
Vremenski promjenjiva djelovanja	$\Psi_{PT}=1,10$

Koeficijent redukcije:

$$n_L = n_0 (1 + \psi_L \varphi(t, t_0))$$

$$n_0 = \frac{E_{st}}{E_{cm}(t_0)}$$

Idealne značajke betonskog
pojasa:

$$A_{c,L} = A_c / n_L \quad J_{c,L} = J_c / n_L$$

Idealne značajke spregnutog
presjeka:

$$A_{i,L} = A_{st} + A_{c,L}$$

Razmak težišnih osi spregnutog presjeka i
betonskog pojasa:

$$z_{ic,L} = - A_{st} a_{st} / A_{i,L}$$

Idealni moment tromosti
spregnutog presjeka:

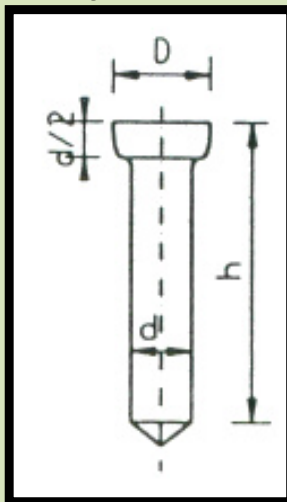
$$J_{i,L} = J_{st} + J_{c,L} + A_{st} A_{c,L} a_{st}^2 / A_{i,L}$$

Redukcijski koeficijenti i značajke presjeka za pojednostavnjeni postupak ukupnog presjeka



Posmične sile

Nosivost valjkastih moždanika:



$$P_{rd} = 0,8 f_u (\pi d^2 / 4) / \gamma_v$$

$$P_{rd} = 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} / \gamma_v$$

$$\gamma_v = 1,25$$

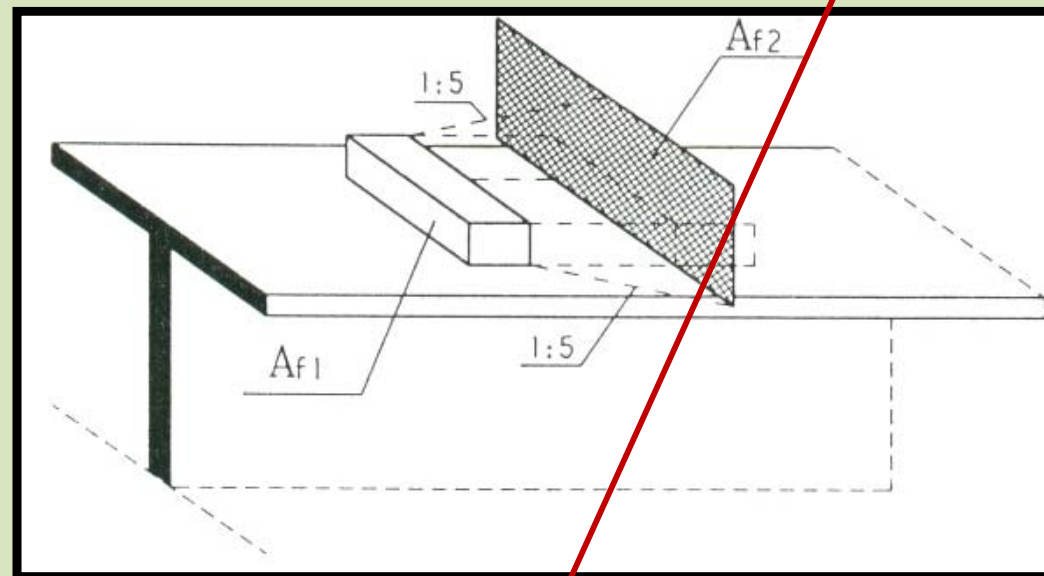
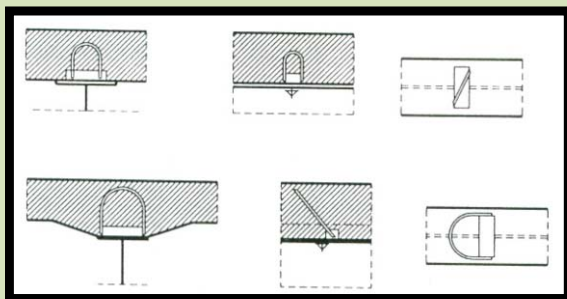
$$\alpha = 0,2[(h/d)+1] \quad \text{za} \quad 3 \leq h/d \leq 4$$

$$\alpha = 1 \quad \text{za} \quad h/d > 4$$

Nosivost blok moždanika sa sidrom:

$$P_{rd} = \eta \cdot A_{fl} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

$$\eta = \sqrt{(A_{f2} / A_{f1})} \leq 2,5$$



redukcija nosivosti
kako bi se zadržao
linearni odnos sila-
pomak

Razmak moždanika e u elastičnoj analizi: $e \leq 0,6 P_{rd} / T_x$ $T_x = \frac{dN_x}{dx} = \frac{S_i}{I_i} \cdot V(x)$



Posmične sile

Posmična sila na krajevima nosača od promjene temperature i skupljanja betona:

$$T_{S,T} = N_b = \sigma_b \cdot A_b$$

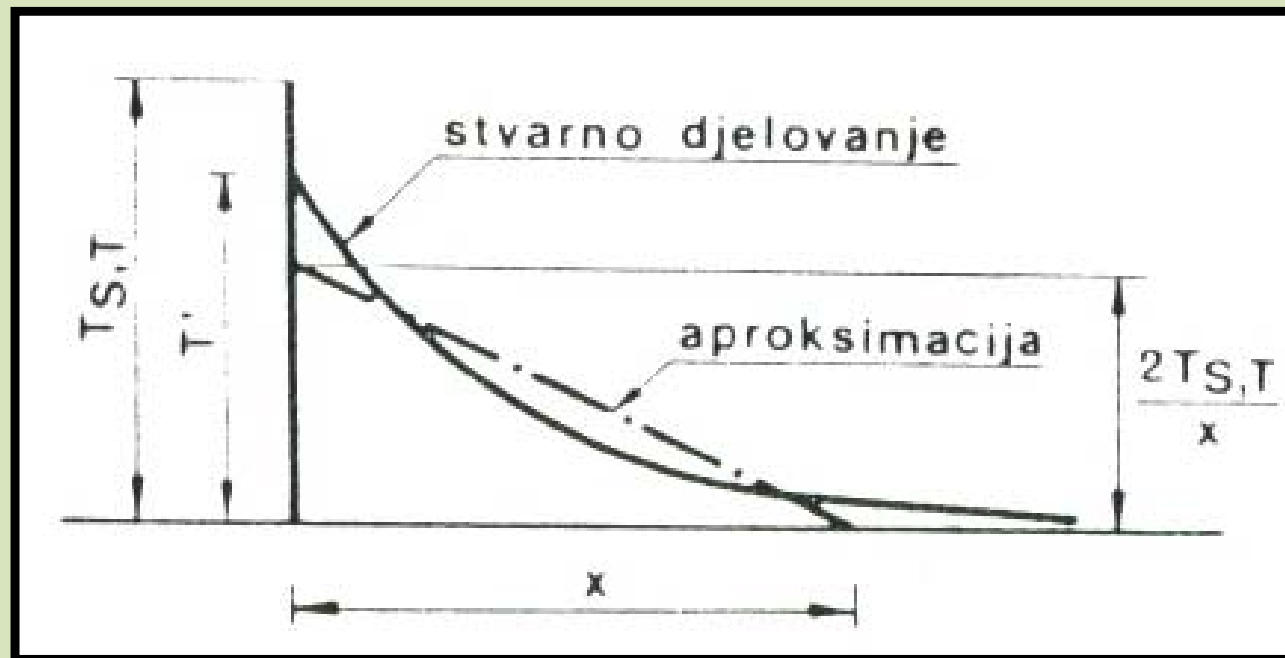
σ_b ... napon pod utjecajem skupljanja betona i od nejednolike temperature

Ta sila se raspoređuje po pravcu na nekoliko moždanika u dužini $x=l/10$ ili $x=b_e$.

Maksimalno na moždanik otpada:

$$T_{\max} = \frac{2T_{S,T}}{x}$$

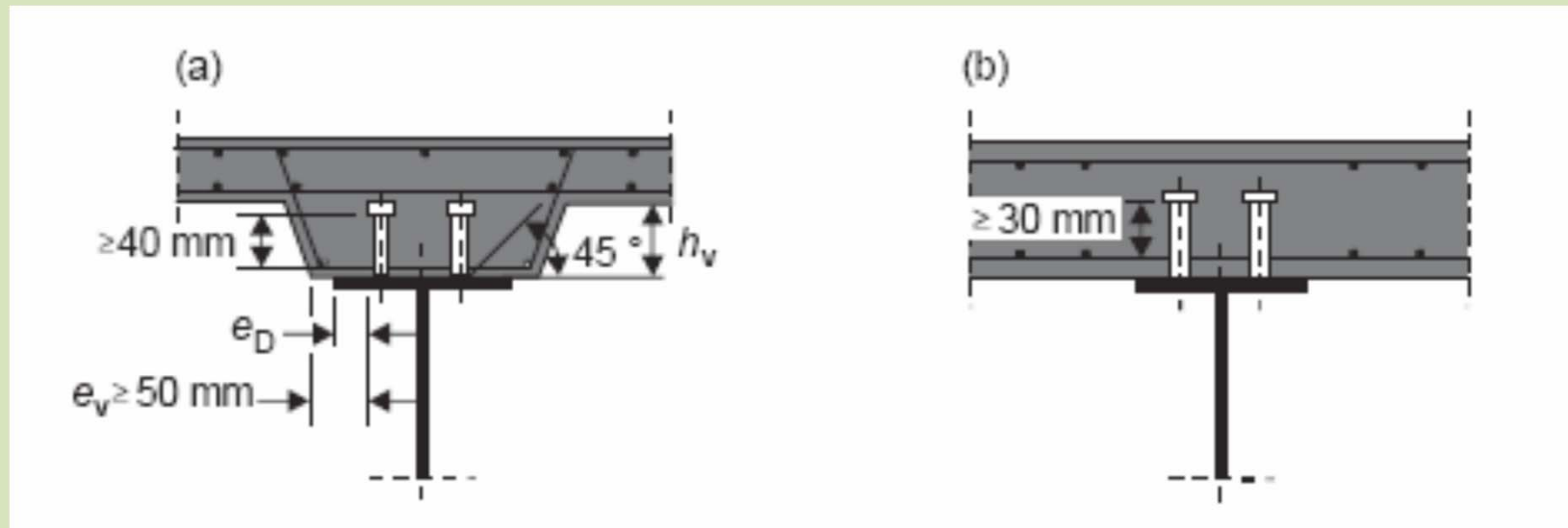
Posmična sila od deformiranja ploče:





Konstruktivno oblikovanje sprezanja čepastim moždanicima

- Visina moždanika mora biti veća od 3x promjer tijela moždanika.
- Ako moždanici nisu smješteni direktno iznad hrpta čeličnog profila, promjer moždanika ne smije biti veći od 2,5 vrijednosti debljine čeličnog pojasa.
- Osni razmak moždanika u smjeru uzdužne posmične sile ne smije biti manji od $5d$.
- Najveći razmak moždanika u uzdužnom smjeru ne smije biti veći od 4x debljina betonske ploče odnosno ne veći od 800 mm.
- Razmak e_D između vanjskog ruba moždanika i ruba čeličnog pojasa ne smije biti manji od 25 mm.

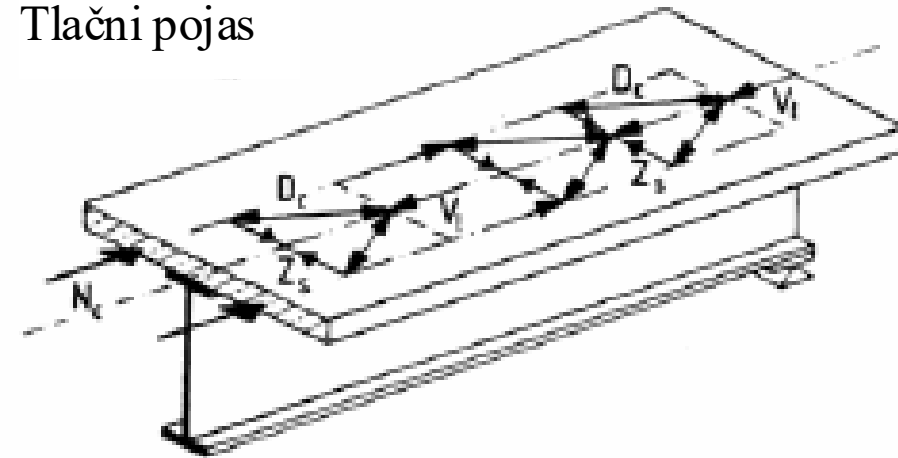


Minimalne izmjere vuta i položaj armature za sidrenje protiv odizanja

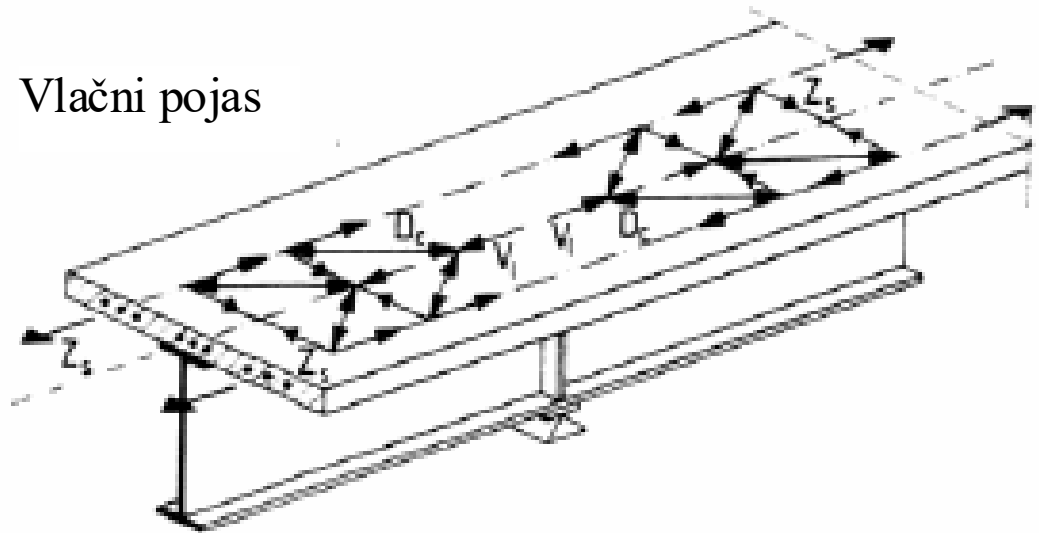
Nosivost betonskog pojasa na uzdužni posmik

- Poprečna armatura i betonski pojas dimenzioniraju se za GSN tako da je prijevremeno otkazivanje uslijed uzdužnog posmika i lokalnog uvođenja opterećenja izbjegnuto.
- Potrebna poprečna armatura određuje se prikladnim rešetkastim modelima, ovisnim o tome da li je betonska ploča u vlaku ili tlaku.

Tlačni pojas



Vlačni pojas



Rešetkasti modeli za određivanje poprečne armature od posmičnih sila



NAČINI IZVEDBE

Proračun prema fazama izvedbe

- Naprezanja se unutar presjeka akumuliraju tijekom faza izvedbe
- Zato je način i tijek izvođenja vrlo važan – proračun i dimenzioniranje nosača mora pratiti predviđeni način izvedbe
- Kod spregnutih mostova ne djeluje čitavi spregnuti presjek odjednom u otpornosti
- Obično čelični dio presjeka sam preuzima težinu betona tijekom betoniranja ploče, a tek nakon očvršćivanja betona možemo računati sa otpornošću spregnutog presjeka za ostala djelovanja (dodatno stalno, promet...)
- Valja, dakle, voditi računa o tome da se naprezanja zarobljena u čeliku iz faze betoniranja više ne mogu osloboditi, pa nam ova faza izvedbe u značajnoj mjeri definira izmjere čeličnog nosača
- Kako bi se izbjeglo uvođenje velikih naprezanja u čelični nosač u fazi betoniranja, koriste se pomoćni oslonci koji onda mijenjaju statički sustav u toj fazi pa naprezanja u čeliku nakon otpuštanja oslonaca budu znatno manja – težina čelika i betona je preuzeta sa spregnutim presjekom
- Moguća je i izvedba sa nadvišenjem gdje se prije betoniranja diže čelični nosač (uvodi se negativni moment u čelični presjek), a nakon očvršćenja betona i otpuštanja oslonaca uvodi se dodatni tlak u betonsku ploču koji onda onemogućava eventualnu pojavu raspucavanja



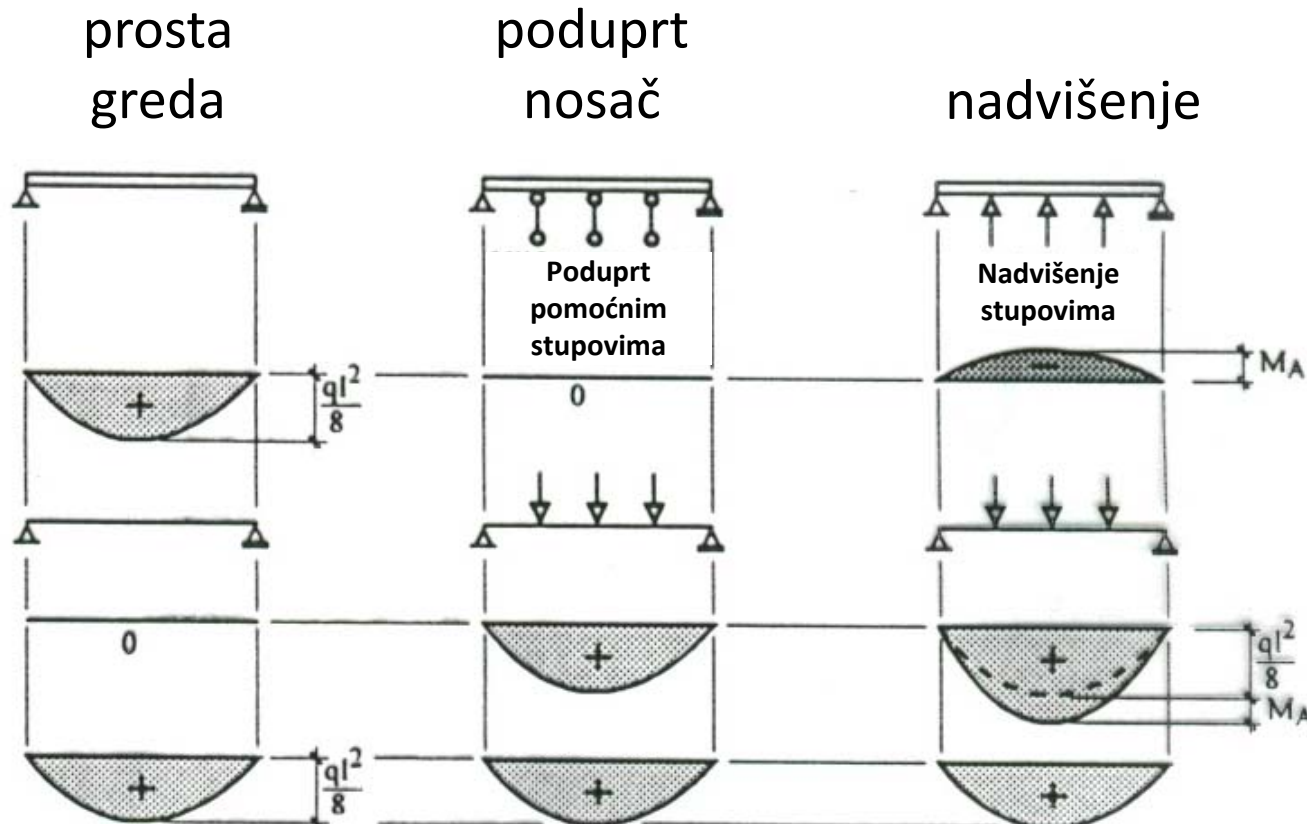
NAČINI IZVEDBE

Momentni dijagram
za čelični nosač prije
očvršćiv. betona:

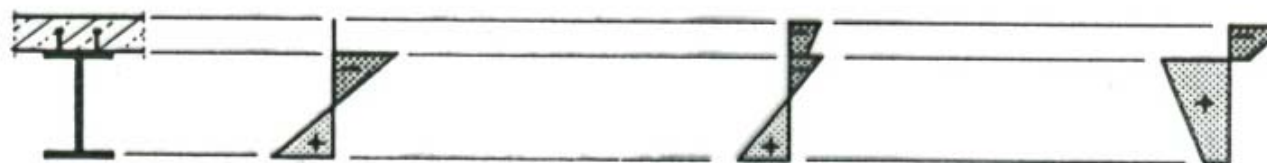
Uklanjanje pomoćnih
stupova:

Momentni dijagram
za spregnuti nosač:

Ukupni moment:



Rezultirajuća
preraspodjela
naprezanja

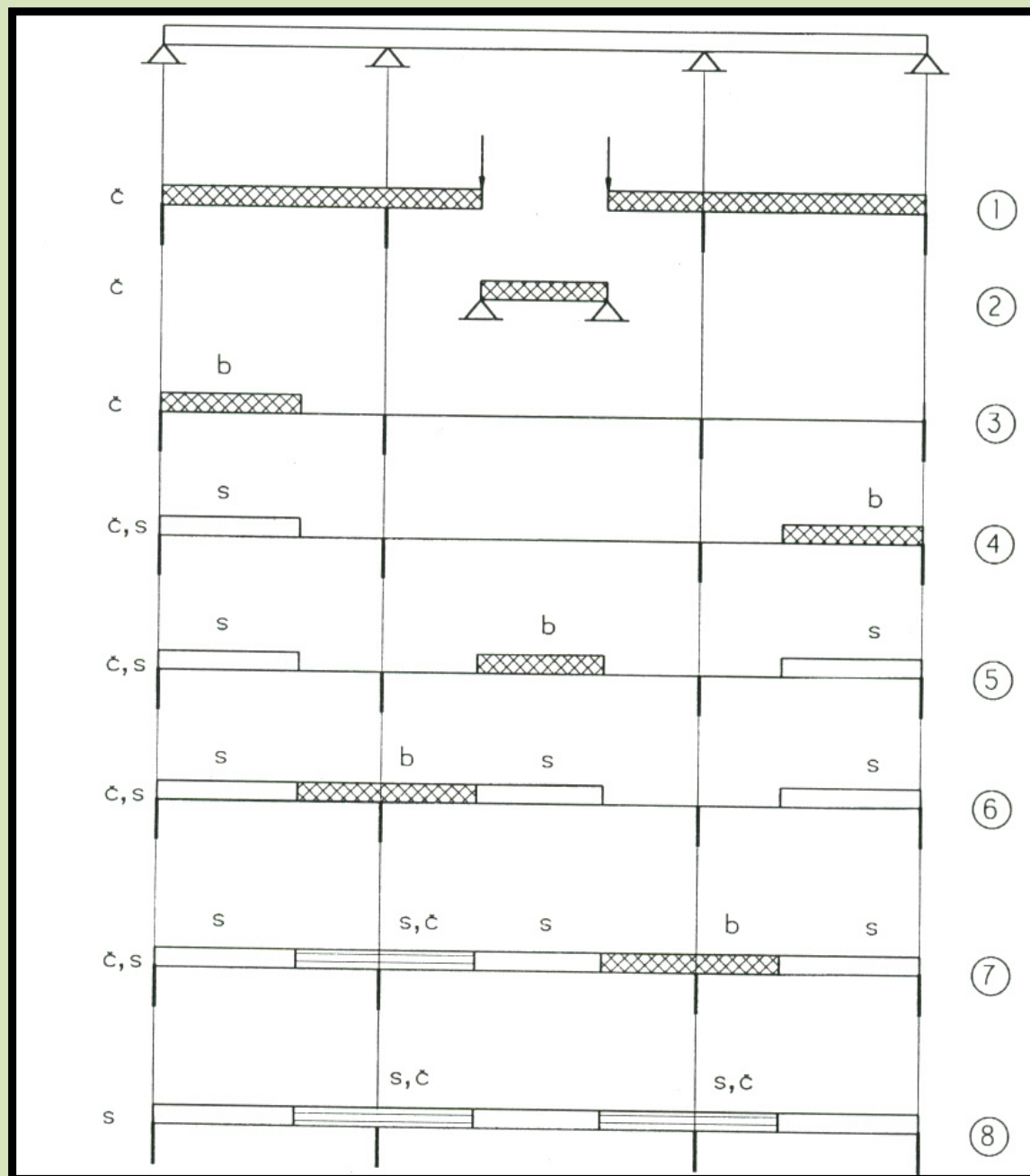


Momenti savijanja i naprezanja od vlastite težine za različite postupke gradnje



- Kod nepoduprtih kontinuiranih nosača je vrlo važan redoslijed betoniranja
- Raspored područja koja se betoniraju izgleda poput šahovske ploče
- Prvo se betoniraju područja polja (otprilike između nul točaka momentnog dijagrama) gdje od vlastite težine i dodatnog stalnog postoji pozitivni momentni dijagram
- Nakon toga se betoniraju područja iznad ležajeva
- Ovakvim redoslijedom onemogućuje se uvođenje negativnih momenata savijanja u betonsku ploču iznad ležajeva – negativni moment iznad ležajeva nosi samo čelični dio presjeka
- To za posljedicu ima mnogo manje raspucavanje betonske ploče u području iznad ležajeva (jer je većinu negativnih momenata savijanja koji uzrokuju vlačna naprezanja u gornjem pojasu ploče preuzeo samo osnovni čelični dio presjeka)





FAZE POSTUPNOG OPTEREĆENJA BETONOM PLOČE:

č – vl. težina čelika
b – opt. svježim betonom
s – spregnuti dio nosača
s, č – raspucali
beton spregnutog
nosača

Izvedba betonskih kolničkih ploča danas se u pravilu izvodi betoniranjem u odsječcima.

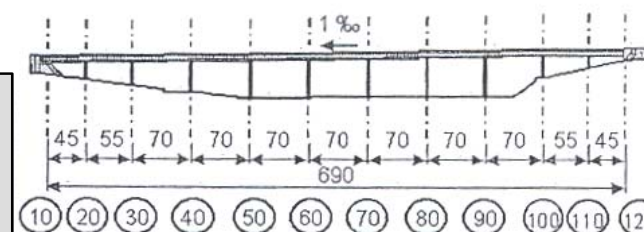
Potiskivanje spregnutih presjeka načelno nije preporučljivo, jer dovodi do neprihvatljive pojave pukotina na cijeloj duljini mosta.

Kod proračuna unutarnjih sila mora se kod betoniranja svakog pojedinog odsječka uzeti u obzir utjecaj kontinuirane promjene krutosti.

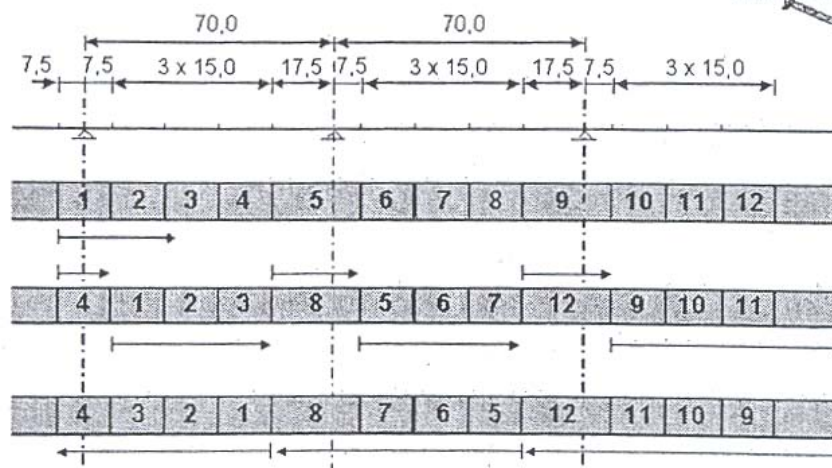
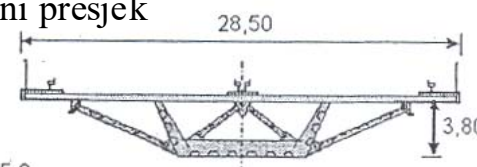
POSTUPAK I: kontinuirano betoniranje

POSTUPAK II: na preskoke polja pa oslonci

POSTUPAK III: unatrag po poljima



Standardni presjek

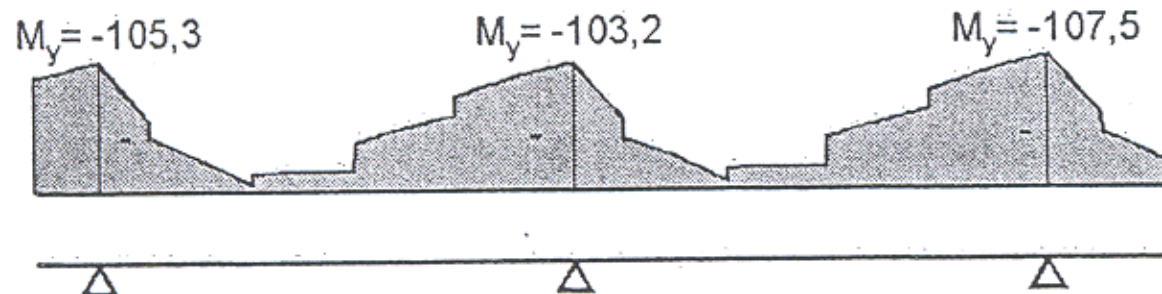


POSTUPAK I

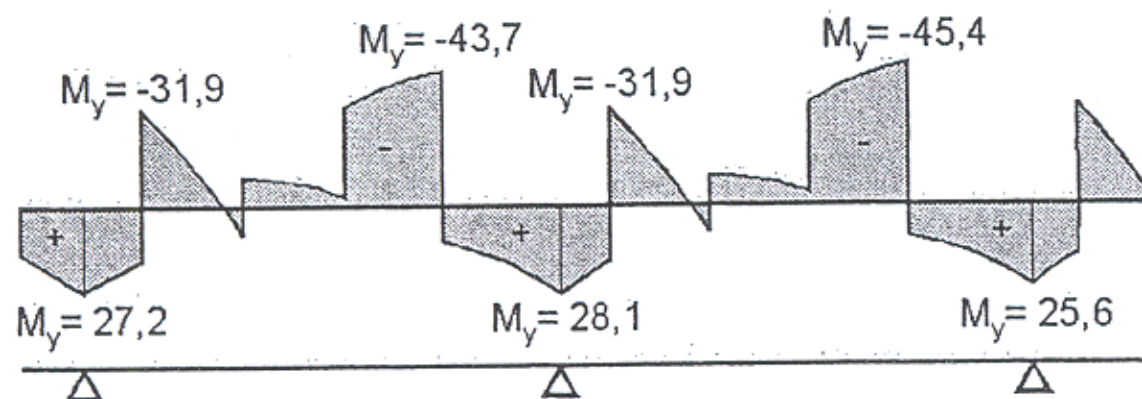
POSTUPAK II

POSTUPAK III

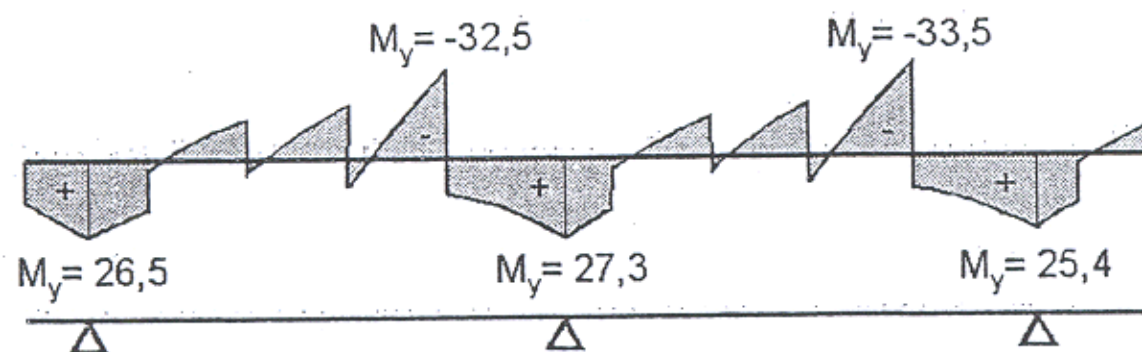
Primjer uzimanja i obzir povijesti opterećivanja – različiti postupci izvedbe kolničke ploče u odsječcima



POSTUPAK I



POSTUPAK II



POSTUPAK III

[M_y in MNm]

Momenti savijanja na spregnuti presjek od stalne težine kolničke ploče



Granična stanja uporabljivosti (GSU)

Za granično stanje uporabljivosti (GSU) potrebno je provesti sljedeće dokaze:

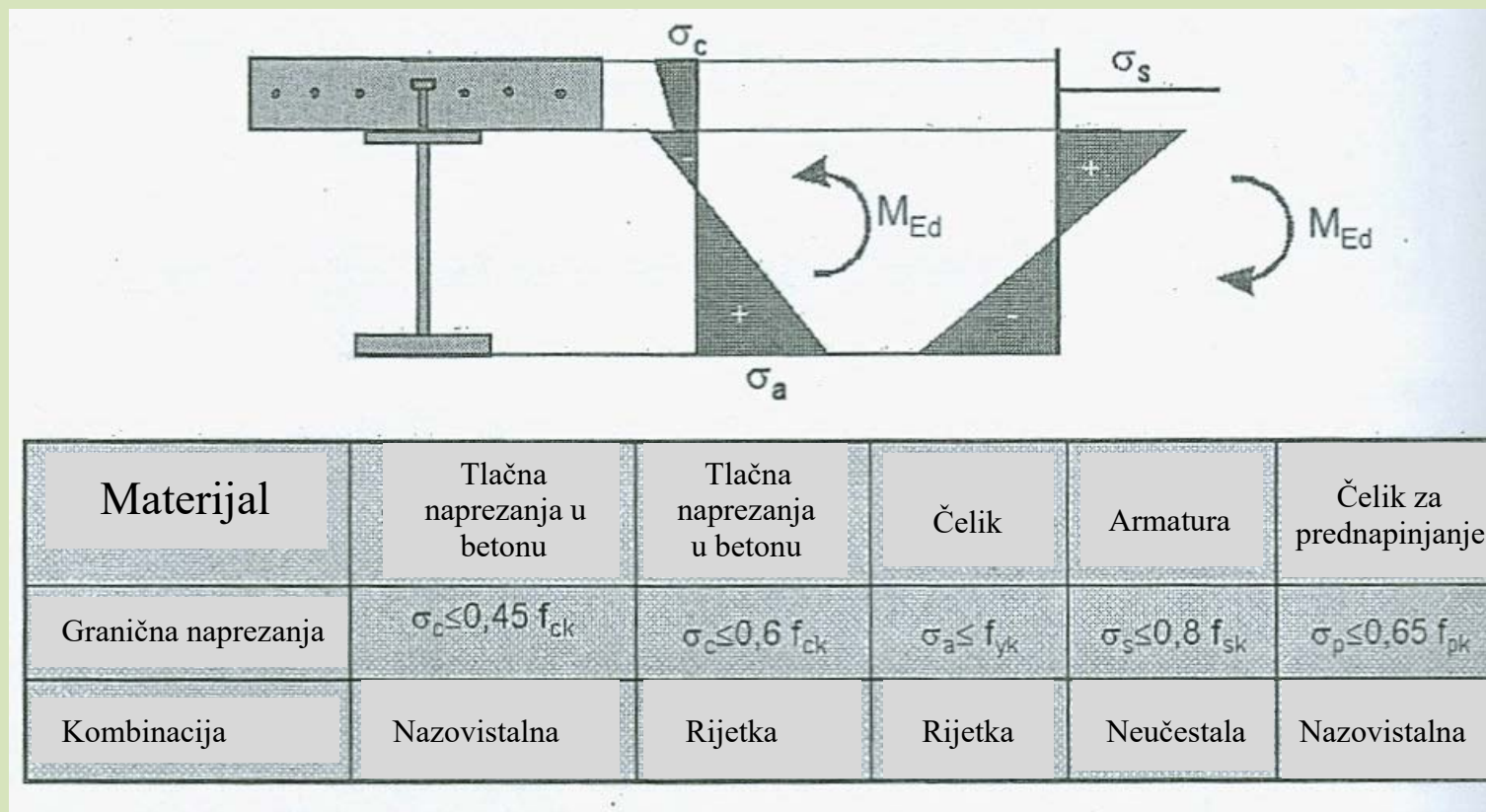
- dokazi naprezanja
- dokazi minimalne armature i ograničenja pukotina
- dokazi deformacija
- dokazi vibracija



Dokazi naprezanja

Unutarnje sile i naprezanja proračunavaju se elastičnim računskim postupcima.

Naprezanja u betonu ograničuju se za sprečavanje prevelikih deformacija od puzanja ili stvaranja mikro-pukotina.



Ograničenje naprezanja i kombinacije djelovanja



Minimalna armatura i ograničenje pukotina

U područjima nosača u kojima za rijetku kombinaciju djelovanja nastaju vlačna naprezanja kod mostova s nenapetom armaturom, odnosno tlačna naprezanja manja od 1 MPa kod mostova prednapetih kabelima, potrebno je izvršiti provjeru ograničenja pukotina.

Za pojaseve spregnutih nosača u načelu se zahtijeva ograničenje pukotina na računsku vrijednost $w_k = 0,2 \text{ mm}$.





Granična širina pukotine i mjerodavna kombinacija

- Za spregnute mostove provodi se dokaz širine pukotine od 0,2 mm.
- Provedena provjera širina pukotina u betonu stupa za granično stanje uporabljivosti je za čestu kombinaciju djelovanja:

$$S_d = S_d \left[\sum_j (G_{k,j}) + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right] \quad w < 0,2mm$$

- Unutarnje sile treba odrediti elastičnim proračunom, uzimajući u obzir učinke raspucavanja betona





Provedba postupka zadovoljavanja širine pukotina

Određivanje naprezanja u armaturi u raspucalom modelu za čestu kombinaciju djelovanja



Uvećanje ovih naprezanja u armaturi zbog učinaka sudjelovanja betona između pukotina



Određivanje minimalne armature u betonskoj ploči



Određivanje graničnog promjera i najvećeg razmaka šipki za zadanu širinu pukotine



Naprezanja u armaturi

- U spregnutim nosačima gdje se pretpostavlja da je betonska ploča raspucala i nije prednapeta nategama, naprezanja u armaturi su povećana zbog učinaka sudjelovanja betona između pukotina u odnosu na naprezanja kada se proračun temelji na spregnutom presjeku sa zanemarenjem betona.
- Dakle, naprezanja u armaturi treba odrediti uzimajući u obzir učinke sudjelovanje betona između pukotina. Ako se ne upotrebljava točnija metoda, vlačna naprezanja u armaturi tada se smiju proračunati prema izrazu:

$$\sigma_s = \sigma_{s,0} + \Delta\sigma_s$$

$\sigma_{s,0}$ naprezanje u armaturi prouzročeno unutarnjim silama koje djeluju na spregnuti presjek, proračunano zanemarujući beton u vlaku





Naprezanja u armaturi

$$\sigma_s = \sigma_{s,0} + \Delta\sigma_s$$

$$\Delta\sigma_s = \frac{0,4 f_{ctm}}{\alpha_{st} \rho_s}$$

f_{ctm} – srednja vlačna čvrstoća betona

ρ_s – omjer armiranja dan kao $\rho_s = (A_s / A_{ct})$

A_{ct} – sudjelujuća površina betonske pojasnice unutar vlačnog područja; koja se pojednostavnjeno smije se uzeti kao **površina betonskog dijela presjeka unutar sudjelujuće širine**

A_s – ukupna površina svih slojeva uzdužne armature unutar sudjelujuće površine A_{ct}

$$\alpha_{st} = \frac{A I}{A_a I_a}$$

A, I – površina i moment tromosti spregnutog presjeka zanemarujući beton u vlaku, ali uzeti u obzir armaturu

A_a, I_a – ploština i moment tromosti dijela presjeka samo od konstrukcijskog čelika





Minimalna armatura u betonskoj ploči

- Najmanje polovicu zahtijevane minimalne armature treba postaviti **između polovice debljine ploče i plohe izložene većoj vlačnoj deformaciji**.
- Minimalnu armaturu **treba postaviti tamo gdje su pri karakterističnoj kombinaciji djelovanja naprezanja u betonu vlačna**
- Zahtijevana minimalna armatura A_s za ploče spregnutih greda dana je izrazom:

$$A_s = k_s k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

σ_s – najveće dopušteno naprezanje u armaturi neposredno nakon raspucavanja

A_{ct} – ploština vlačnog područja (prouzročenog izravnim opterećenjem i primarnim učincima skupljanja) neposredno prije raspucavanja poprečnog presjeka. U svrhu pojednostavnjenja smije se upotrijebiti **površina betonskog dijela unutar sudjelujuće širine**.

$f_{ct,eff}$ – srednja vrijednost djelotvorne vlačne čvrstoće betona u očekivanom trenutku pojave prvih pukotina. **Za $f_{ct,eff}$ smiju se uzeti vrijednosti f_{ctm}**

k – koeficijent kojim se uzima u obzir učinak nelinearno raspoređenih vlastitih naprezanja, smije se uzeti **0,8**

k_s – koeficijent kojim se uzima u obzir učinak smanjenja uzdužne sile u betonskoj ploči zbog početnog raspucavanja i lokalnog proklizavanja posmičnog spoja, smije se uzeti **0,9**



Minimalna armatura u betonskoj ploči

- Kod spregnutih nosača koji nisu prednapeti nategama zahtijevana minimalna ploština armature A_s za ploče spregnutih greda dana je izrazom:

$$A_s = k_s k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

k_c – koeficijent kojim se obuhvaća raspodjela naprezanja unutar presjeka neposredno prije raspucavanja i dan je izrazom:

$$k_c = \frac{1}{1 + h_c / (2 z_o)} + 0,3 \leq 1,0$$

h_c – debljina betonske pojasnice bez vuta ili rebara

z_o – vertikalni razmak težišta neraspucale betonske pojasnice i neraspucalog spregnutog presjeka, proračunanog upotrebljavajući faktor redukcije $n_0 = E_a / E_{cm}$ za kratkotrajno opterećenje (svađanje presjeka na čelik)





Granični promjeri za šipke rebraste armature

➤ Prema tablici i izrazu:

Naprezanje u čeliku σ_s (N/mm ²)	Najveći promjer šipke ϕ^* (mm) za proračunsku širinu pukotine w_k		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

$$\Phi = \Phi^* f_{ct,eff} / f_{ct,0}$$

$f_{ct,0}$ – referentna čvrstoća 2,9 N/mm²

- Najmanje polovicu zahtijevane minimalne armature treba postaviti između polovice debljine ploče i plohe izložene većoj vlačnoj deformaciji.
- Minimalnu armaturu u skladu sa stavcima treba postaviti tamo gdje su pri karakterističnoj kombinaciji djelovanja naprezanja u betonu vlačna



Najveći razmaci za šipke rebraste armature

➤ Prema tablici:

Ograničenje pukotina

Naprezanje u čeliku σ_s (N/mm ²)	Najveći razmaci šipki (mm) za proračunsku širinu pukotine w_k		
	$w_k=0,4\text{mm}$	$w_k=0,3\text{mm}$	$w_k=0,2\text{mm}$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-





Progibi i deformacije

Proračun deformacija provodi se elastičnim proračunom za mjerodavna djelovanja uz uzimanje u obzir sudjelujućih širina.

Za definiranje nadvišenja koristi se nazovi-stalna kombinacija djelovanja.





NAČINI MONTAŽE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA ČELIČNIH I SPREGNUTIH MOSTOVA:

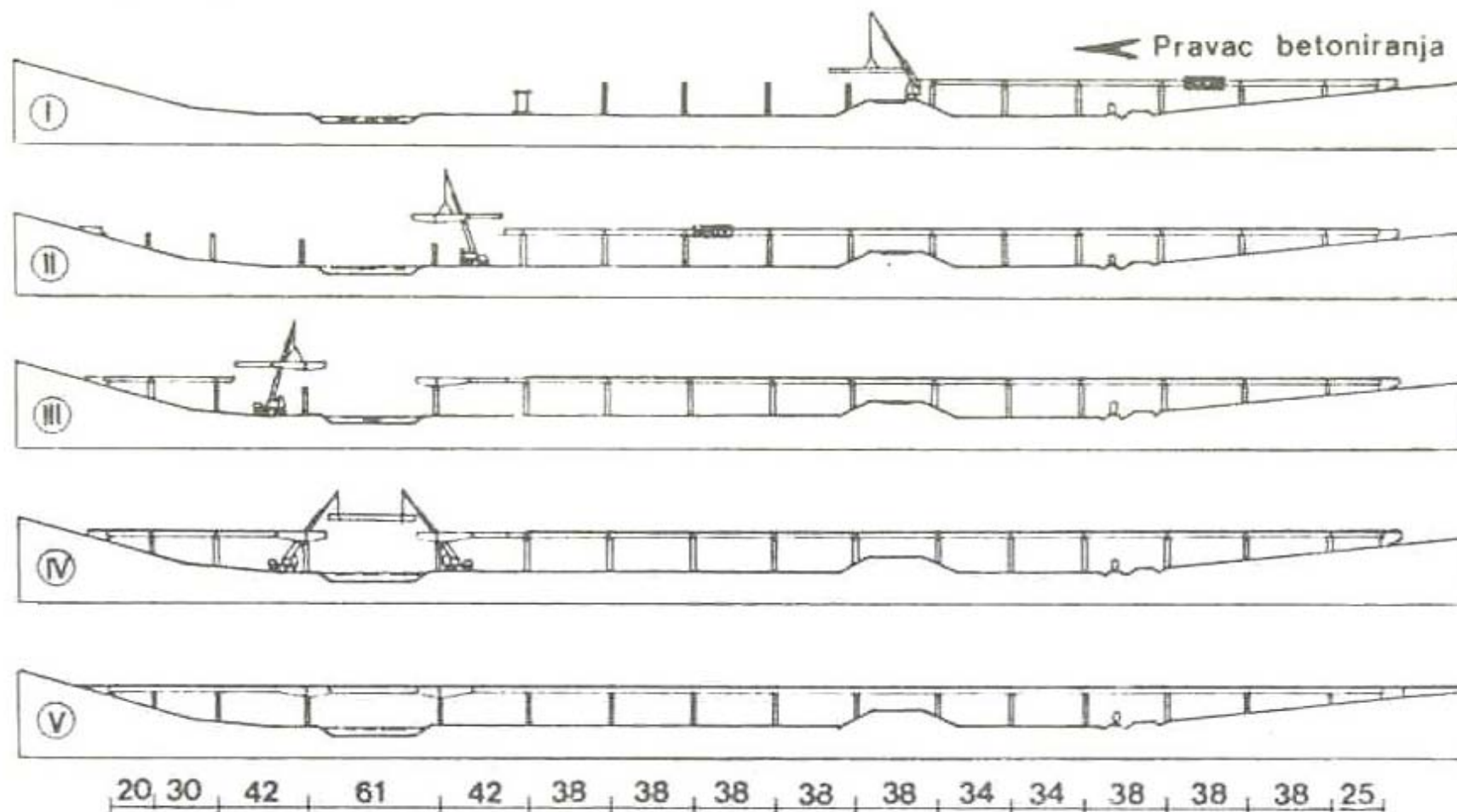
- montaža navlačenjem s čela
- montaža auto-dizalicama ili dizalicama sa vagona ili plovila
- montaža kabel-kranom
- montaža postupkom slobodne konzolne gradnje
- montaža postupkom bočnog prevlačenja
- montaža kombiniranim i specifičnim načinima





PRIMJER NAČINA MONTAŽE:

Izvedba



Karakteristične faze montaže čelične konstrukcije vijadukta dužine 592 m, ukupne težine 950 t sa autodizalicama.