

	SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE KATEDRA ZA MOSTOVE Kačićeva 26, Zagreb	MOSTOVI I MASIVNI MOSTOVI	šk. god. 2006/07
		SEPARAT UZ VJEŽBE (01)	

GREDNI MOST - PLOČA

5.3 PLOČA

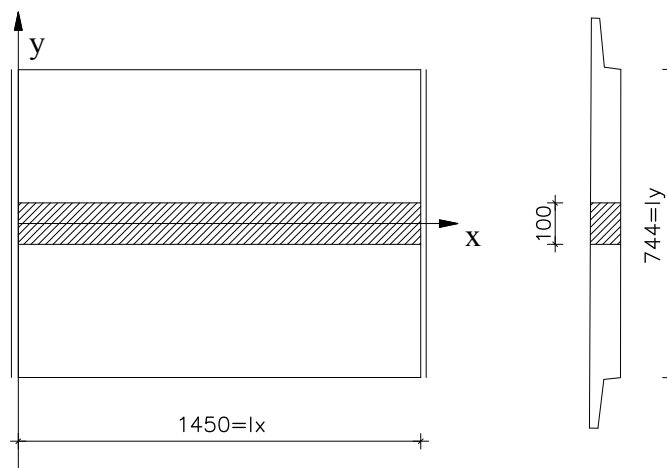
5.3.1 UVOD

U primjeru je prikazan proračun pločastog rasponskog sklopa mosta po teoriji greda. Načelno, pločaste (ravninske) nosače treba računati koristeći teoriju ploča kada su ispunjene pretpostavke:

- debljina je mala u odnosu na raspon
- gradivo je izotropno i elastično
- omjer progiba i debljine je malen.

Treba računati slijedeće unutarnje sile:

- m_x – momente savijanja u smjeru vožnje
- m_y - momente savijanja okomito na smjer vožnje
- m_{xy} – momente torzije
- q_x – poprečne sile u uzdužnom smjeru



Slika 5.3.1 Koordinatni sustav
i osnovni smjerovi.

Za proračun unutarnjih sila u pločastim mostovima razrađeni su priručnici koji pokrivaju slučajeve do omjera $ly/lx = 0,5$, dakle za raspon manje ili jednake dvostrukoj vrijednosti širine ploče. Za uže pločaste mostove s dovoljnom točnošću može se primijeniti teorija grednih nosača. Ovakvim postupkom pločastu (ravninsku) konstrukciju prevodimo u grednu (štapnu), vršeći proračun za traku nosača jedinične širine, slično kao što činimo u proračunu ploča u visokogradnji. (Proračun na metar širine.) Pri tome je glavni problem kod cestovnih mostova naći mjerodavno opterećenje jedinične trake.

5.3.2 PRORAČUNSKI PRIMJER – NADVOŽNJAK PREKO DVA POLJA

Projekt nadvožnjaka razrađen je za prijelaz lokalne ceste preko autoceste na dionicama u brdovito- planinskom terenu.

Trasa nadvožnjaka je u pravcu, okomita na os autoceste. Most ima dva polja jednakih raspona od 14.5 m, a ukupna duljina između krajeva upornjaka iznosi 37.7 m; razmak osi ležajeva na upornjacima iznosi 29 m. Ukupna širina rasponskog sklopa iznosi 10.10 m. Prometna ploha: $2 \times 330 + 2 \times 150$ (pješ. staze). Kolnik je poprečno u jednostrešnom padu od 2.5 %

Projektirani su masivni upornjaci sa ovješanim krilima. Rasponski sklop se oslanja na zid upornjaka kojim je upet u trakasti temelj. Krila su upeta u zid i nemaju vlastite temelje. Upornjaci i stupovi se izvode od betona MB-30, temelji načelno od betona MB-20. Ispod svih temelja izvodi se podložni sloj debljine 10 cm (MB-10).

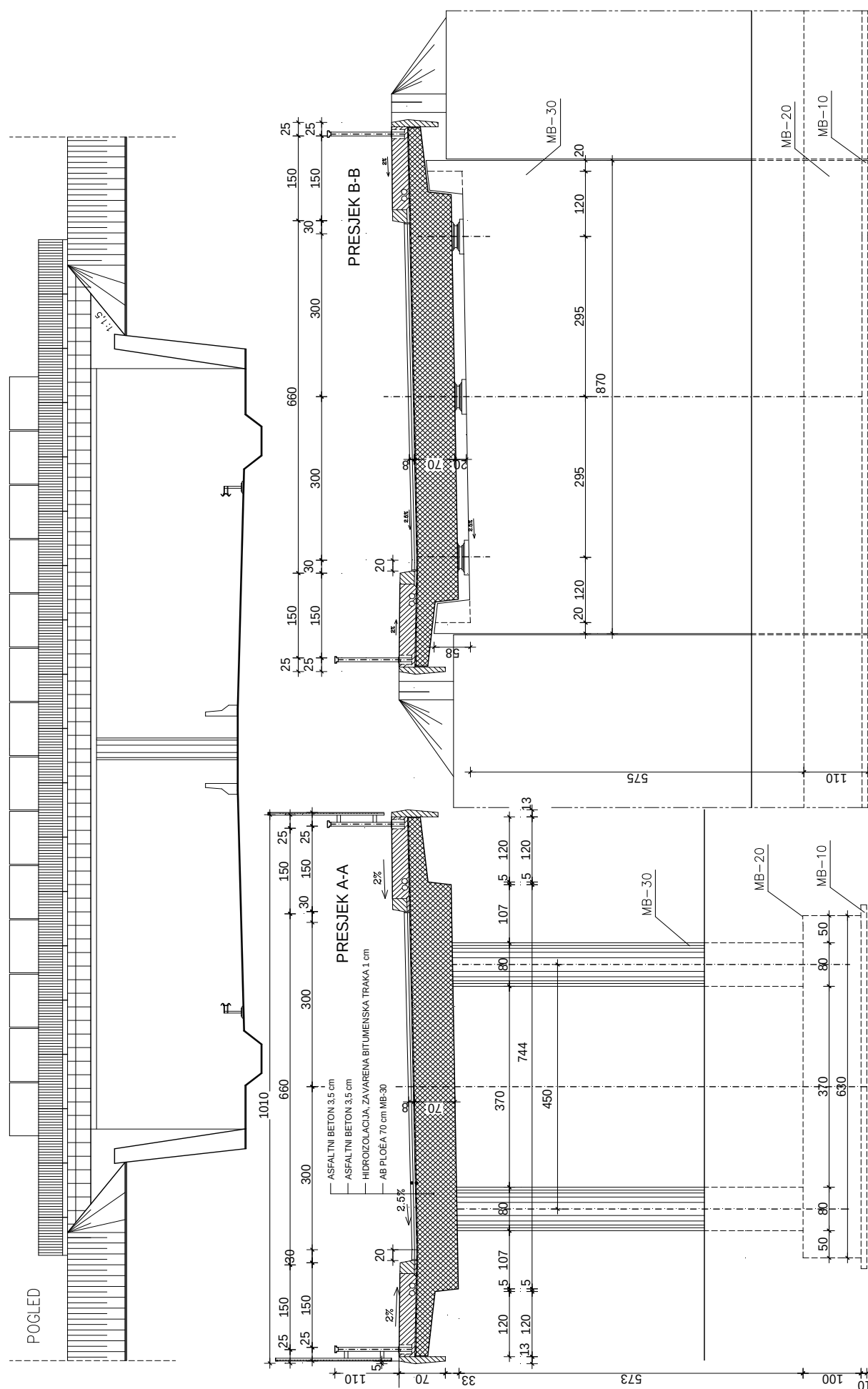
Stupište se sastoji od dva stupa promjera 80 cm. koji su povezani zajedničkim temeljem. Stupovi su na vrhu upeti u ploču. Armiranobetonski rasponski sklop je puna ploča debljine 70 cm statičkog sustava kontinuiranog nosača preko dva polja, načinjena od MB 30. Širina ploče pri vrhu (proširenje od konzola) je: $744+2 \times 120$. širina pri dnu je 744 cm (širina nosača koju koristimo kod proračuna).

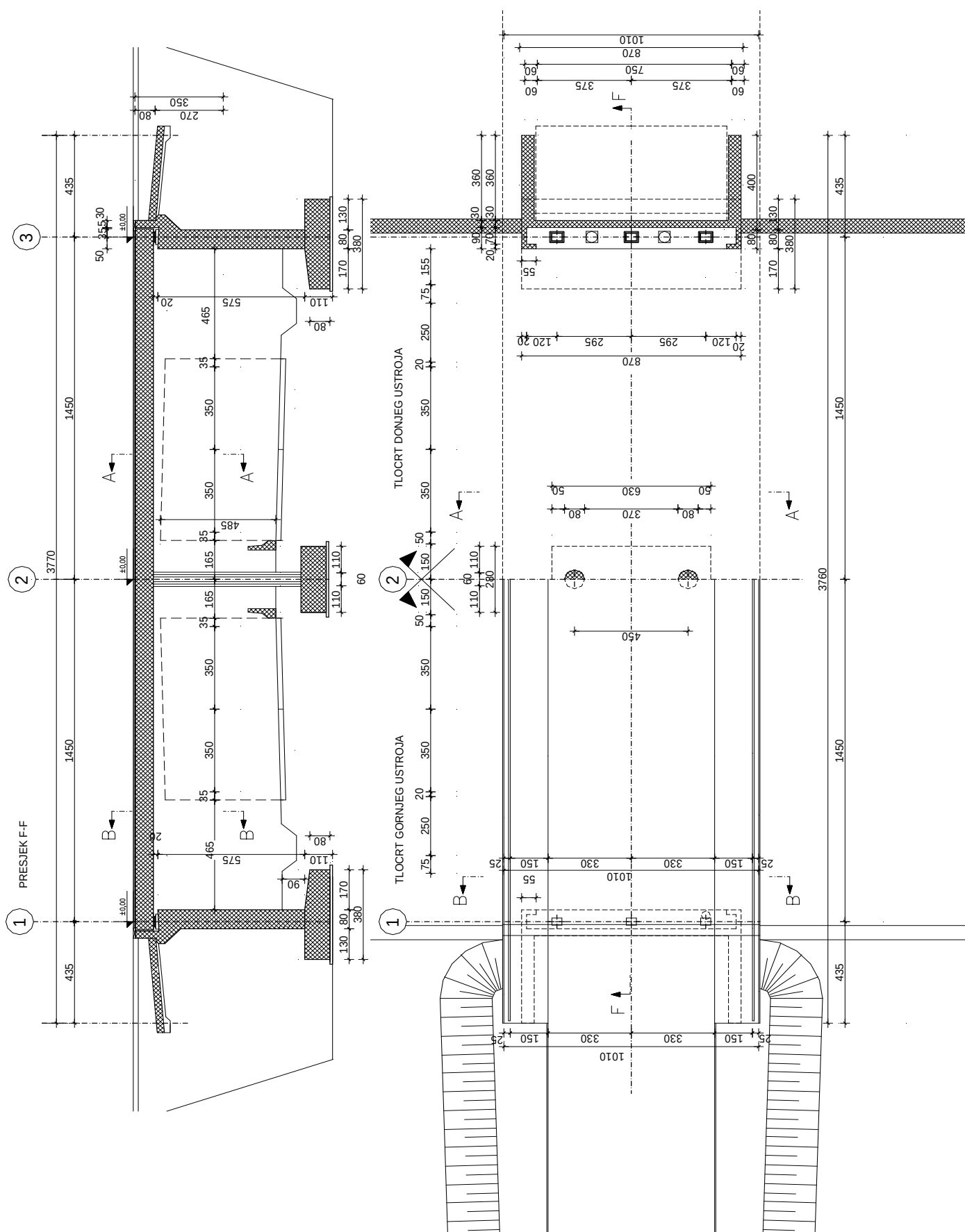
Nad svakim upornjakom se nalaze po tri ležaja. Ležaji su elastomerni, i to $250 \times 400 \times 41$ mm (rubni);

$200 \times 300 \times 41$ (srednji). Visina ležajeva određena je u skladu sa horizontalnim silama i pomacima (temperatura, kočenje, pokretanje...)

Hidroizolacija se sastoji od zavarene bitumenske trake koja se postavlja na čitavoj širini ploče, dakle i ispod pješačkih staza te na horizontalnim djelovima krila upornjaka i na prelaznim pločama. Kolnički zastor se izvodi od dva sloja asfalt-betona, svaki debljine od po 3.5 cm.

Osnovne skice nadvožnjaka prikazane su na narednim stranicama.





5.3.3. ANALIZA OPTEREĆENJA

VLASTITA TEŽINA MOSTA

- ploča $25 \cdot 0,70 \dots\dots\dots 17,5 \text{ kN/m}^2$

DODATNO STALNO OPTEREĆENJE

kolnik

- asfalt $0,07 \cdot 22 \cdot 6,60 \dots\dots\dots 10,2 \text{ kN/m}^1$
 - izolacija $0,01 \cdot 10,1 \cdot 21 \dots\dots\dots 2,1 \text{ kN/m}^1$
 - dodatak* $0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 9,6 \dots\dots\dots 4,8 \text{ kN/m}^1$

UKUPNO: $\Delta g_1 = 17,1 \text{ kN/m}^1$

hodnik

- konzole $2 \cdot 0,25 \cdot 1,20 \cdot 25 \dots\dots\dots 15,0 \text{ kN/m}^1$
 - bet. staza $2 \cdot 1,67 \cdot 0,27 \cdot 25 \dots\dots\dots 22,5 \text{ kN/m}^1$
 - ograda $2 \cdot 0,4 \dots\dots\dots 0,8 \text{ kN/m}^1$
 - vijenac $2 \cdot 0,8 \cdot 0,1 \cdot 25 \dots\dots\dots 4,0 \text{ kN/m}^1$

UKUPNO: $\Delta g_2 = 42,3 \text{ kN/m}^1$

$$\Delta g = \Delta g_1 + \Delta g_2 = 59,4 \text{ kN/m}^1$$

* - prema propisu DIN 1072 dodajemo 50 kg/m^2 neplaniranog opterećenja na prometnoj plohi. Nije obavezno.

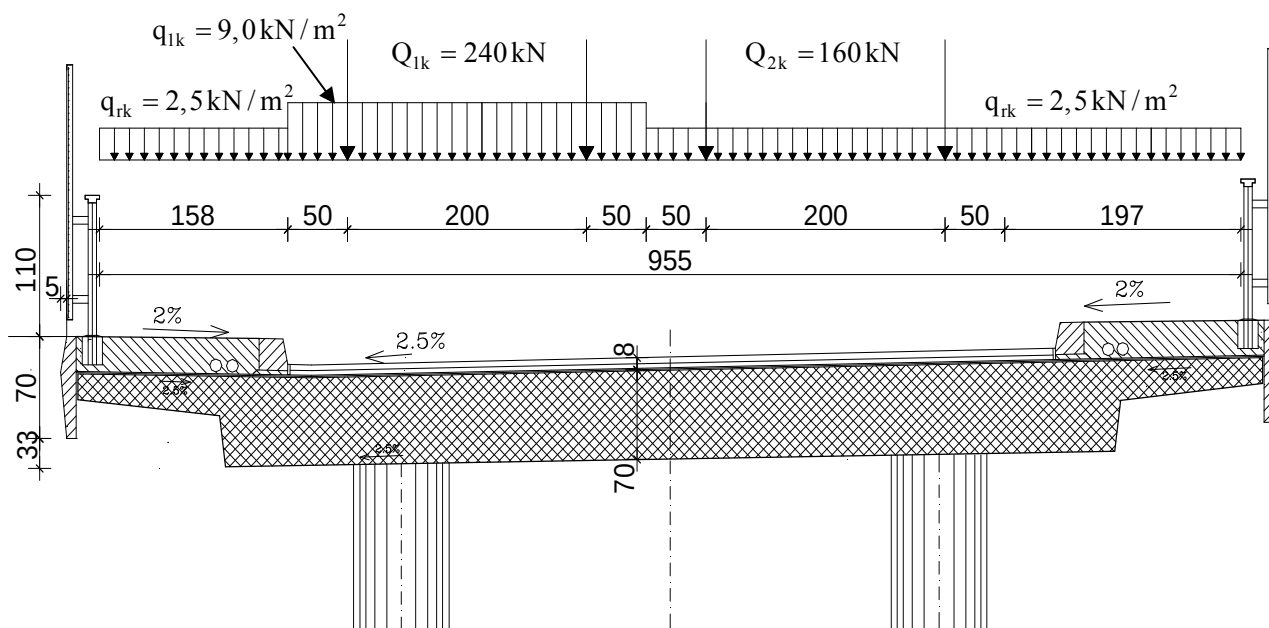
Izračunali smo opterećenje vlastitom težinom i stalnim teretom trake širine jednog metra u poprečnom smjeru mosta. Sada ovo opterećenje raspoređujemo na 1 m širine nosača (ploče). Zanimarili smo činjenicu da su rubni dijelovi ploče više opterećeni, zbog konzole koja je na njih "ovješena". Ovoga ćemo se sjetiti kasnije!

Konačno, proračunsko stalno opterećenje na mostu iznosi:

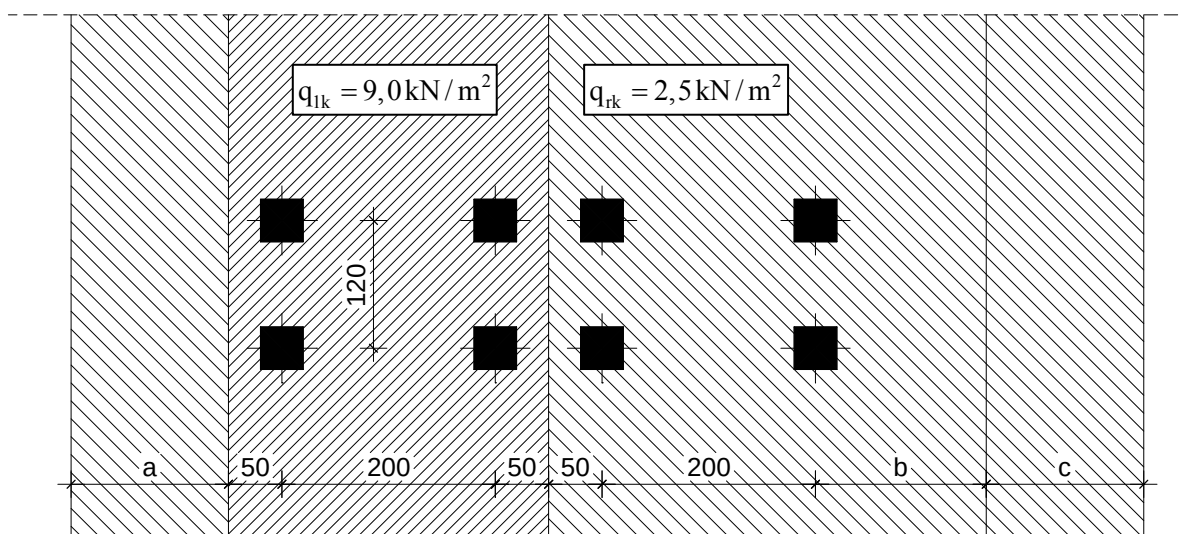
$$g = \frac{17,5 \cdot 7,44 + 59,4}{7,44} = 25,50 \text{ kN/m}^1$$

PROMETNO OPTEREĆENJE

U konkretnom proračunskom primjeru:



Slika 5.3.2 Shema korisnog opterećenja na mostu. Tipsko vozilo treba postaviti u položaj koji daje najveći utjecaj.



Slika 5.3.3 Tlocrtna shema tipskog vozila.

Prema iskustvenim preporukama, koncentrirana opterećenja na ploči mogu se razdijeliti na smjer okomito na smjer glavne armature na širinu b_s (sudjelujuća širina) koju odredimo kao: $b_s = b_1 + \frac{A_{ar}}{A_a} \cdot l_x \leq l_y/2$

b_1 – širina rasprostiranja koncentriranog opterećenja do sredine ploče

$\frac{A_{ar}}{A_a}$ – odnos površine presjeka razdjelne i glavne armature, koji se obično pretpostavi u iznosu od 0,2.

Ovaj omjer proizlazi iz činjenice da momenti u ploči u poprečnom smjeru dostižu najviše petinu vrijednosti uzdužnih momenata. Uvevši ovu iskustvenu pretpostavku, eliminirali smo proračun poprečnih momenata (računamo samo m_x , a pretpostavili smo vrijednost m_y).

Proračun b_1

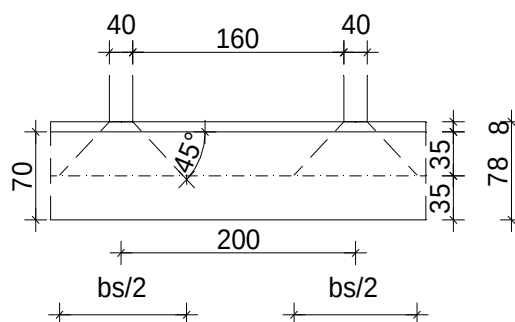
Promatramo dva slučaja i računamo širinu rasprostiranja ($b_1=b_{11}$ ili b_{12}). Mjerodavna je manja širina, a ako je i ona veća od polovice širine ploče, tada je mjerodavna širina $l_y/2$. Opterećenje od kotača tipskog vozila (propisanih izmjera 40×40 cm) rasprostire se do neutralne osi nosača (ploče).

1. slučaj: širine rasprostiranja se ne preklapaju

Kod računa treba uzeti u obzir i debljinu zastora na mostu!

$$b_{11} = \frac{b_s}{2} + \frac{b_s}{2}$$

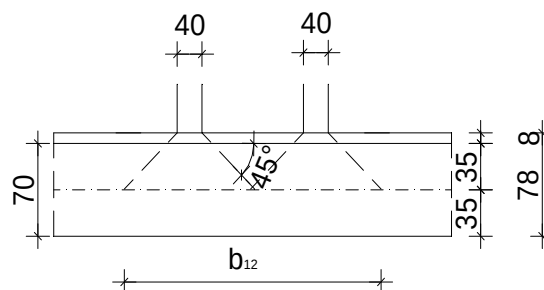
Q – opterećenje kotačem vozila
(koncentrirana sila iz propisa)



Slika 5.3.4a Širina rasprostiranja opterećenja kotačima vozila – 1. slučaj

2. slučaj: širine rasprostiranja se poklapaju

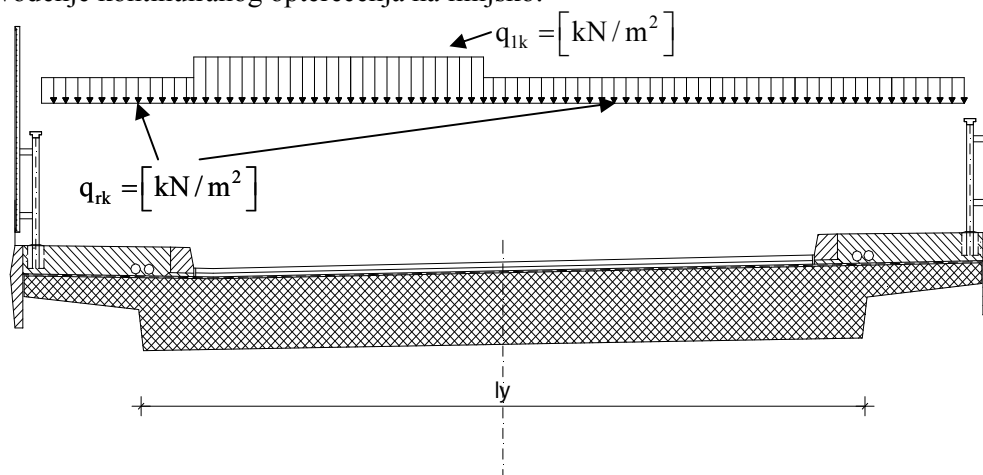
b_{12} odrediti prema skici



Slika 5.3.4b Širina rasprostiranja opterećenja kotačima vozila – 2. slučaj

Konačno, koncentrirano opterećenje za linijski (štapni) kontinuirani nosač iznosi: $Q_1 = \frac{2Q}{b_s}$

Svođenje kontinuiranog opterećenja na linijsko:



Slika 5.3.5 Kontinuirano opterećenje mosta u poprečnom presjeku.

$$Q_{\text{proračunsko}} = \frac{\sum q_i l_i}{l_y}$$

mjerodavno koncentrirano opterećenje:

$$\frac{b_s}{2} = 0,40 + 2 \cdot 0,43 = 1,26 \text{ m}$$

$$b_l = 2 \cdot \frac{b_s}{2} = 2,52 \text{ m}$$

$$b_s = 2,52 + 0,2 \cdot l_x$$

$$b_s = 2,52 + 0,2 \cdot 14,5 = 5,42 \text{ m}$$

$$5,42 \geq \frac{l_y}{2} = 3,72 \text{ m} \Rightarrow b_s = 3,72 \text{ m}$$

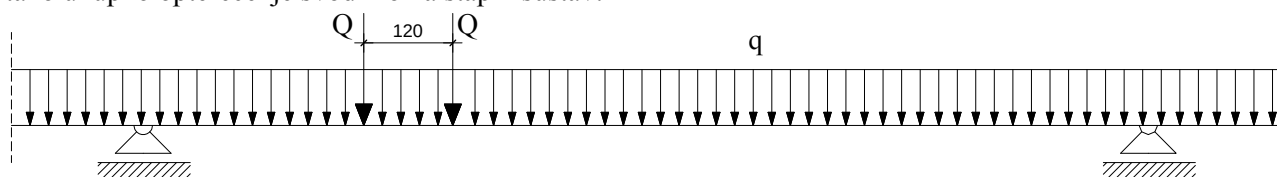
$$Q = \frac{Q_{1k}}{b_s} + \frac{Q_{2k}}{b_s} = \frac{240}{3,72} + \frac{160}{3,72} = 107,53 \text{ kN}$$

Dobili smo zamjensku koncentriranu silu, kojom zamjenjujemo djelovanje dva kotača (jedne osovine) na proračunsku traku širine 1 m.

Veličinu kontinuiranog opterećenja određujemo kako je prikazano na Sl. 5.3.3:

$$q = \frac{2,5 \times 1,58 + 9 \times 3,0 + 2,5 \times 4,97}{7,44} = 5,83 \text{ kN / m}^1$$

tako ukupno opterećenje svodimo na štapni sustav:



Slika 5.3.6 Uzdužno postavljanje opterećenja proračunske trake širine 1 m.

OPTEREĆENJA ZA PRORAČUN

stalno (djeluje uvijek)

$$g = 25,50 \text{ kN/m}^1$$

pokretno (postaviti na nosač tako da izazove najnepovoljniji efekt)

kontinuirano

$$q = 5,83 \text{ kN/m}^1$$

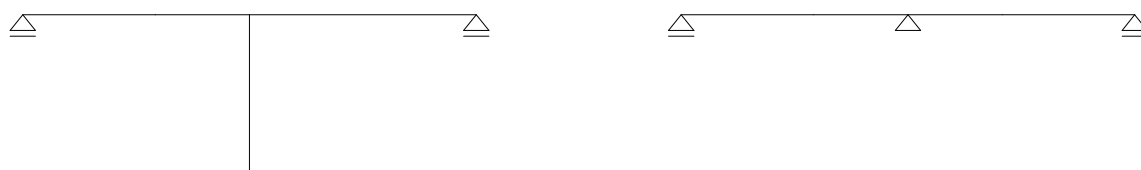
koncentrirano

$$Q = 107,53 \text{ kN}$$

Ostala proračunska opterećenja (npr. horizontalne sile od potresa, vjetra, jednolike i nejednolike promjene temperature, sila kočenja i polaska vozila, te vertikalne sile, npr. od nejednolikog slijeganja oslonaca) nisu uzeta u obzir.

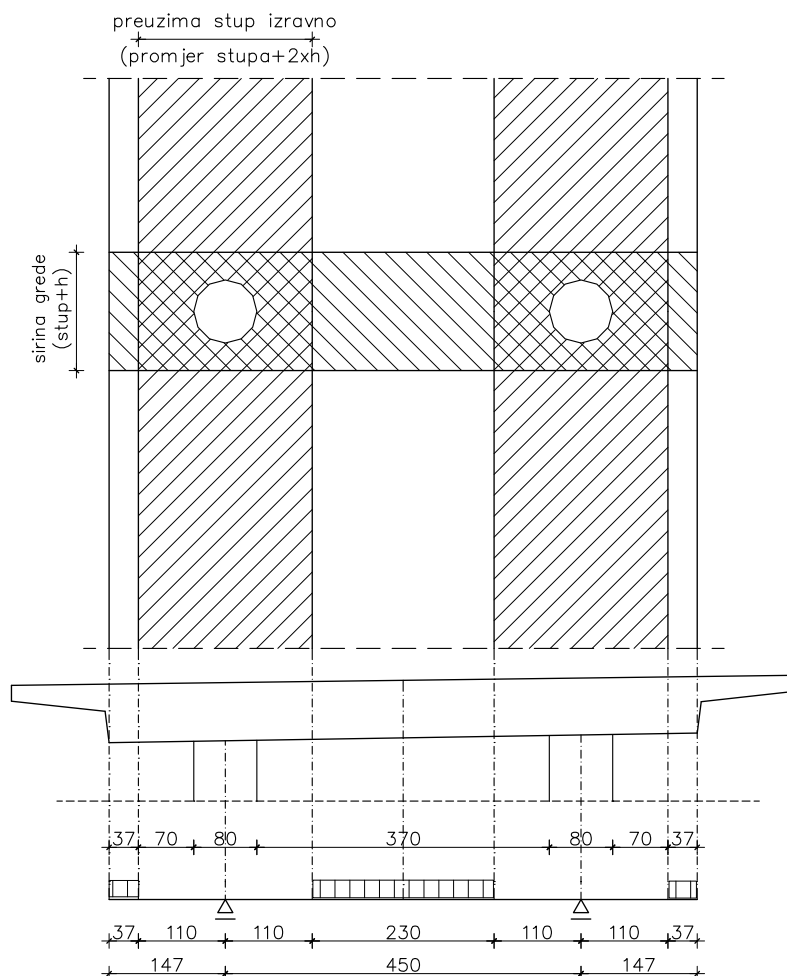
5.3.4 STATIČKI SUSTAVI

Proračun se provodi na nekoliko statičkih sustava. Glavni uzdužni smjer mosta može se zamjenjeniti okvirnim sustavom, kojeg ćemo pojednostavniti na štapni, prema skici 5.3.7:



Slika 5.3.7 Statički model: kontinuirani nosač preko dva polja.

Proračun unutarnjih sila na linijskom kontinuiranom nosaču preko dva polja načiniti ćemo prema poznatim načelima tehničke mehanike. Bitno je uzeti u obzir sve mjerodavne kombinacije opterećenja. Na taj način dobivamo sile za proračun glavne uzdužne armature i vilica.



Slika 5.3.8 Model za proračun skrivene grede nad stupovima. Dio opterećenja s ploče prenosi se izravno na stupove (trake širine $d_{stupa} + 2 h_{ploče}$).

Ranije smo u proračunu zanemarili činjenicu da su rubni dijelovi ploče više opterećeni. U principu, ako vozilo može stajati blizu ruba ploče tada vrijednosti glavnih uzdužnih momenata u rubnim trakama ploče treba povećati za 10 do 20%. Time pokrивamo i utjecaj konzole uz rub nosača (ploče) mosta.

Tijekom proračuna također smo usvojili pretpostavku linijskog oslanjanja ploče u ležajnim osima. Ova pretpostavka nije na strani sigurnosti, osobito na srednjim stupovima, koji predstavljaju diskretne oslonce. Zbog toga ćemo unutar ploče nad stupovima izvesti tzv. "skrivenu gredu", odnosno poprečni nosač. Statički sustav je greda s prijepustima, prema Slici 5.3.8, opterećen reakcijama proračunskog nosača (reakcije predstavljaju opterećenje dužnog metra grede s prijepustima). Na isti bismo način proračunali i oslonačku gredu nad upornjakom. (Kada bi bio ispunjen uvjet da je razmak ležaja manji od 2 m ovaj bismo proračun mogli pojednostavniti.)

Na samom kraju preostaje načiniti proračun konzole kao pojedinačnog dijela mosta (na 1 m¹ u poprečnom smjeru):

stalno opterećenje:

g_1 = vlastita težina konzole

g_2 = težina hodnika

$q_2 = 2,5 \text{ kN/m}^2$ od prometne sheme

$$g_1 = 0,25 \cdot 1,00 \cdot 25 = 6,25 \text{ kN/m}$$

$$g_2 \text{ (ploča hodnika+izolacija)} = 6,46 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{ograda}} = 1,0 \text{ kN}$$

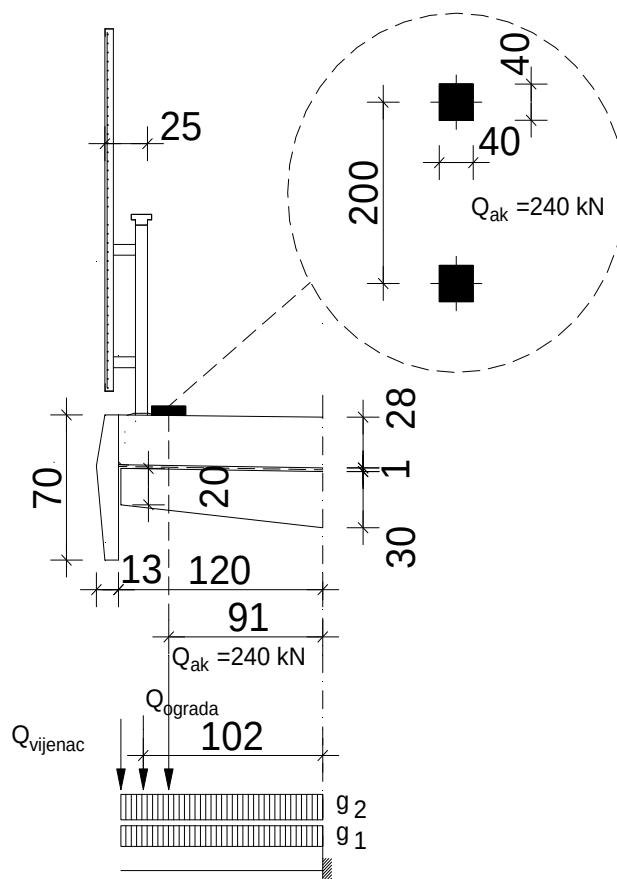
$$Q_{vijenac} = 2,0 \text{ kN}$$

$$M_g = (g_1 + g_2) \cdot 1,2^2/2 + Q_{\text{ograda}} \cdot 1,02 + Q_{\text{vijenac}} \cdot 1,2$$

$$M_g = 12,71 \cdot 1,2^2 / 2 + 1 \cdot 1,02 + 2 \cdot 1,2 = 12,55 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_q = 120 \times 0.91 = 109,2 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{sd} = 1,35 \cdot 12,55 + 1,5 \cdot 109,2 = 180,74 \text{ kNm/m}^1$$



Slika 5.3.9 Proračun konzole.

Nakon proračuna mjerodavnih unutarnjih sila slijedi dimenzioniranje.

Uzdužni smjer: Pokrivanje M i T dijagrama vršimo za središnju traku širine 1 m. Rubne dijelove ploče (uzmimo širinu $0,2 l_v$) ojačavamo s 10 do 20% više glavne armature, u skladu s naprijed navedenim pretpostavkama.

Poprečni smjer: Pokrivamo dijagrame unutarnjih sila za skrivenu gredu (jednu ili više njih), a potom preostale dijelove ploče armiramo s 20% vrijednosti glavne uzdužne armature.

Utjecaj torzije: Sekundarna torzija, čiju veličinu nismo računali javlja se u uglovima ploče, koje bi trebalo dodatno ojačati armaturom. Kod pločastih mostova s diskretnim oslanjanjem (npr. pješački most koji se oslanja na pojedinačni stup) torzija je primarna unutarnja sila, pa proračun treba pažljivo provesti.

5.3.5. PRORAČUN UNUTARNJIH SILA

Koristiti tablice dane u knjigama:

I. Tomičić: “Betonske konstrukcije”

I. Tomičić: “Priručnik za proračun AB konstrukcija”

5.3.5.1. Opterećenja: g , Δg , q

za g :

$$M_{polje} = 0,07gl^2$$

$$R_A = 0,375gl$$

$$M_{ležaj} = 0,125gl^2$$

$$R_B = 1,250gl$$

za p (u istom popr. presjeku):

$$M_{polje} = 0,094ql^2$$

$$R_A = 0,438ql$$

$$M_{ležaj} = 0,125ql^2$$

$$R_B = 1,250ql$$

	M_{polje}	$M_{ležaj}$	R_A	R_B
g	375,3	670,2	138,7	462,2
q	103,8	138,0	33,3	95,2

5.3.5.2. Koncentrirano prometno opterećenje

Koncentrirano opterećenje uzimamo u obzir preko utjecajnih linija. Ako jediničnu silu pomičemo uzduž nosača ona će u nekom poprečnom presjeku “i” davati određene rezne sile (npr. Momente). Ako ispod svakog položaja sile nanesimo vrijednost rezne sile koju ona izaziva u poprečnom presjeku “i” – dobivamo utjecajnu liniju za tu reznu silu u popr. Presjeku “i”. Za potrebe ovog proračuna upotrebljene su tablične vrijednosti utjecajnih linija. Te tablice daju vrijednosti utjecajnih linija u točkama na razmaku 1/10 raspona. Za međuvrijednosti možemo upotrijebiti linearnu aproksimaciju.

Maksimalni moment u polju:

$$\begin{aligned} M_{max} &= Q \times l \times (0,2064 + 0,1527 + 0,1625) = \\ &= 58,5 \times 14,5 \times (0,522) = 442,8 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maksimalni moment na ležaju:

$$\begin{aligned} M_{max} &= Q \times l \times (-0,0983 - 0,0960 - 0,0893) = \\ &= 58,5 \times 14,5 \times (-0,279) = -236,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

reakcije oslonaca:

$$R_A = Q \times (1 + 0,8753 + 0,7520) = 153,7 \text{ kN}$$

$$R_B = Q \times (0,9855 + 1,00 + 0,9855) = 173,8 \text{ kN}$$

5.3.6. DIMENZIONIRANJE

	M_{polje}	$M_{ležaj}$	R_A	R_B
Q	442,8	-236,7	153,7	173,8

Materijal:

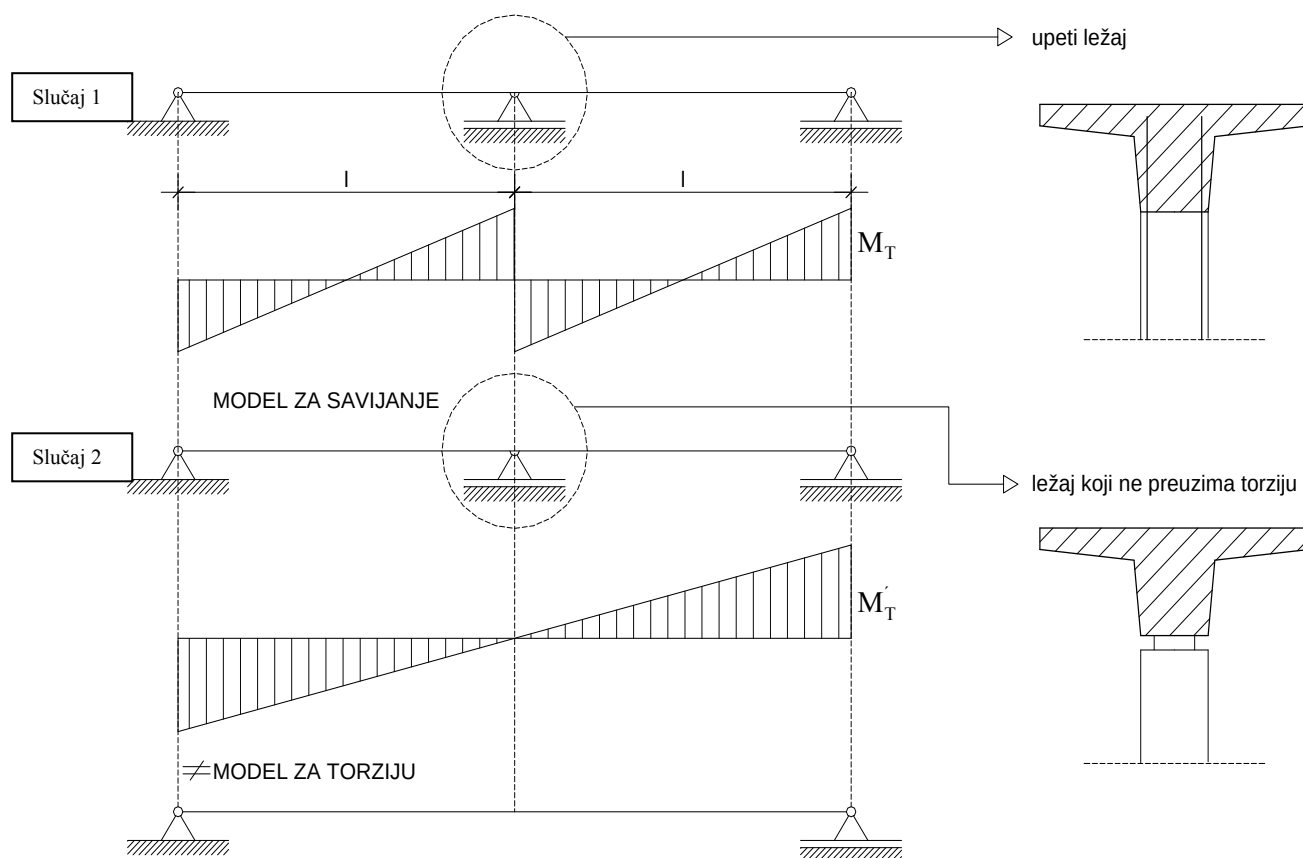
$$\text{Beton: MB 30} \left[C \frac{30}{37} \right] \quad f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_k} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2 = 2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Čelik RA} \frac{400}{500} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{100} = 400 = 400 \text{ kN/cm}^2$$

6. PJEŠAČKI MOST S JEDNIM REBROM

$$\text{Moment savijanja: } M_s = \frac{(g+q)}{8} \times l^2; \quad q = 5 \text{ kN/m}^2, \text{ bez } k_d$$

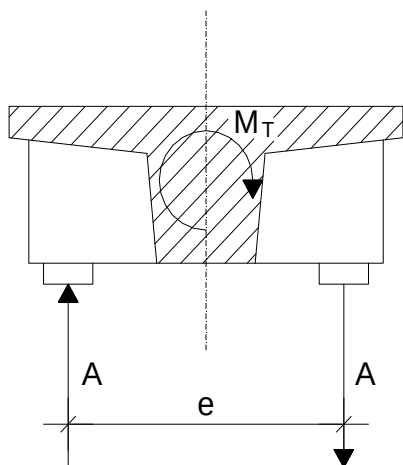
$$\text{Moment torzije: } M_T = q \times \frac{l}{2} \times \frac{l}{4} \times \frac{l}{2} = \frac{q \times b^2}{8} \times \frac{l}{2}$$



Slika 5.3.10

l-raspon od osi do osi oslonca gdje se preuzima torzija

Na kraju mosta: poprečni nosač → torziju prihvaćamo parom sila



Slika 5.3.11

$$A = \frac{\max M_T}{e}$$

Srednji ležaj, slučaj 1

$$\max M_T = 2 \times M_T$$

Širina e : postavlja se uvjet da se ne pojavi vlačna reakcija (odižuća, s koeficijentom 1.5)

Minimalna i maksimalna armatura u elementima naprežanim torziom + računski primjer mosta + armiranje

Tomičić, Betonske konstrukcije, (1996, DHGK), str. 301-309