

## 2.2.2. Krstasto armirane ploče

Ploče se tretiraju kao ravni površinski nosači ukoliko se oslanjaju duž sve četiri strane (ili duž tri strane, a četvrta strana je neoslonjena) i ako je odnos strana naleganja  $l_y/l_x < 2,0(2,5)$ . U ovim slučajevima se, za odgovarajuća raspodeljena, linijska ili koncentrisana opterećenja koja deluju upravno na srednju ravan ploče, sračunavaju sile u preseccima u dva ortogonalna pravca. Opterećenje upravno na srednju ravan ploče izaziva u preseccima momente savijanja ( $M_x, M_y$ ), momente uvijanja - torzije ( $M_{xy}$ ), transverzalne sile ( $T_x, T_y$ ). Za proračun vrednosti presečnih sila koriste se teorija elastičnosti i teorija plastičnosti.

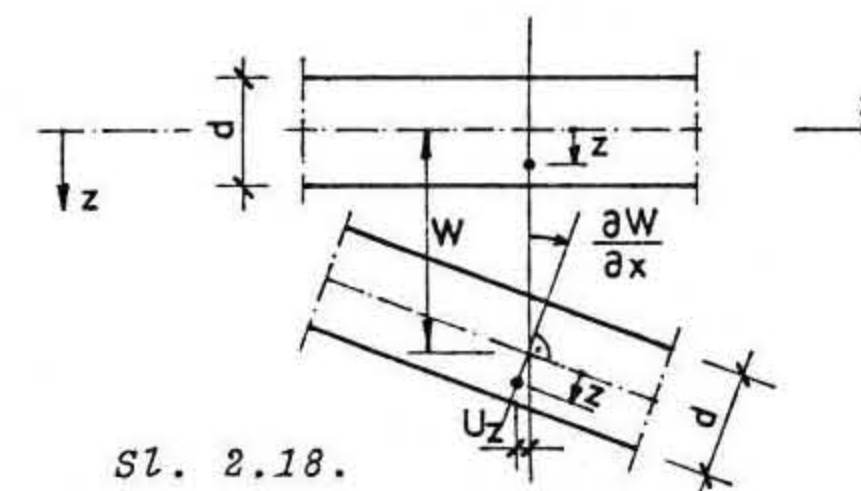
Kod ploča koje se koriste u građevinskom konstrukterstvu, za uobičajena opterećenja, dovoljno tačno se statički uticaji mogu računati primenom teorije elastičnosti za vrednosti Poasonovog (Poisson) koeficijenta  $\nu = 0 - 0,2$ . Kod kontinualnih ploča može se izvršiti ograničena preraspodela uticaja, time što se momenti jedne trake određene po linearnoj teoriji mogu povećati ili smanjiti do 25%, tako da odgovarajuće srednje vrednosti momenata u polju iste trake budu podešeni da zadovoljavaju uslove ravnoteže.

Proračun tankih ploča po teoriji elastičnosti zasniva se na sledećim pretpostavkama:

- debljina ploče je mala u odnosu na druge dve dimenzije ploče,
- tačke koje se nalaze na normali na srednju površinu i posle deformacije ostaju na pravoj koja je upravna na deformisanu srednju površinu,
- ugibi ploče su mali u odnosu na debljinu ploče,
- vlakna u srednjoj ravni ploče pri deformaciji ne menjaju svoju dužinu kao ni međusobni ugao.

Prilikom deformacije, pod dejstvom opterećenja, tačka srednje ravni ploče dobija pomeranje (*sl. 2.18*). Nagib normale na deformisanu srednju ravan određen je uglovima  $\partial w/\partial x$  i  $\partial w/\partial y$ . Tačka koja leži na odstojanju  $z$  od srednje ravni ima pri deformaciji pomeranja  $u_z$ ,  $v_z$  i  $w_z$ . Ova pomeranja se mogu izraziti kao:

$$w_z \approx w, \quad u_z = -z \frac{\partial w}{\partial x}, \quad v_z = -z \frac{\partial w}{\partial y} \quad (2.11)$$



Komponente deformacije (dilatacije i klizanja) mogu se izraziti u obliku:

$$\epsilon_x = \frac{\partial u_z}{\partial x} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \epsilon_y = \frac{\partial v_z}{\partial y} = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad \epsilon_z = 0 \quad (2.12)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial x} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad \gamma_{zx} = \gamma_{zy} = 0 \quad (2.13)$$

Uz zanemarenje napona u pravcu normale na srednju ravan ploče ( $\sigma_z$ ), čija je vrednost reda veličine opterećenja, i sa vrednostima smičućih napona  $\tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$ , veze između napona i dilatacija date su izrazima:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu \sigma_y), \quad \epsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \nu \sigma_x), \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \quad (2.14)$$

Komponente napona se mogu izraziti preko komponenata deformacija kao

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) = \frac{Ez}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.15)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) = -\frac{Ez}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.16)$$

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} = -2Gz \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = -\frac{Ez}{1+\nu} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.17)$$

Ako se presečne sile izraze preko komponenti napona:

$$M_x = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_x z dz \quad M_y = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_y z dz \quad M_{xy} = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xy} z dz = M_{yx}$$

$$T_x = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xz} dz \quad T_y = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{yz} dz \quad (2.18)$$

kombinovanjem izraza (2.12)-(2.18) posle integracije se dobija:

$$M_x = -K \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.19)$$

$$M_y = -K \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \quad (2.20)$$

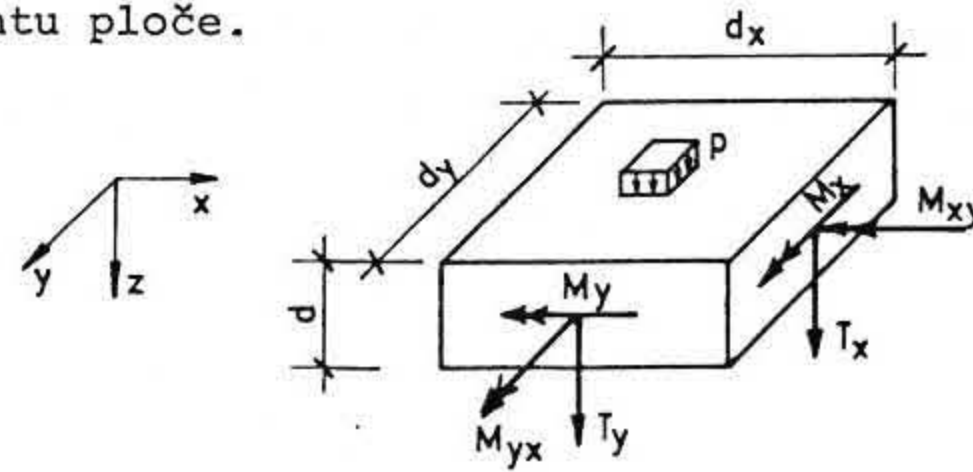
$$M_{xy} = -(1-\nu)K \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (2.21)$$

pri čemu je:

$$K = \frac{Ed^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2.22)$$

Veličina  $K$  naziva se krutost ploče na savijanje (za homogen betonski presek, bez uticaja armature u dva ortogonalna pravca).

Na sl. 2.19. prikazane su sile u preseku na izdvojenom elementu ploče.



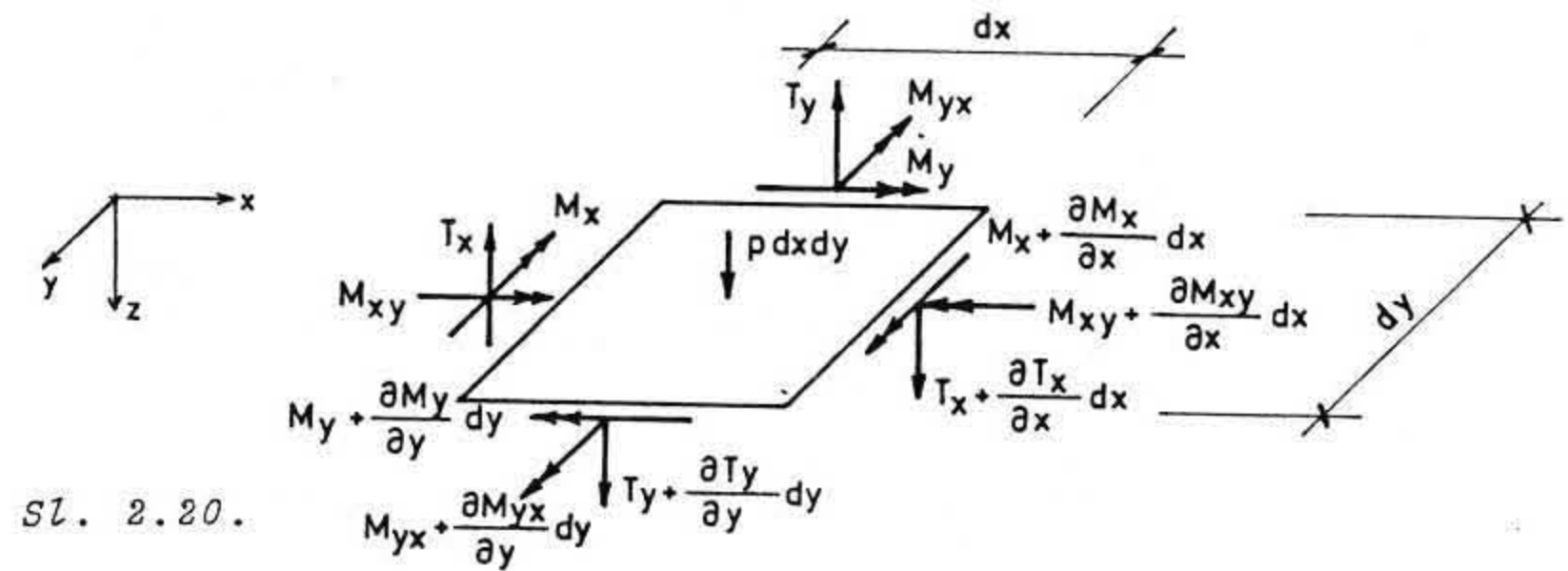
Sl. 2.19.

Postavljajući uslove ravnoteže za elementarni isečak iz ploče (sl. 2.20) dobija se:

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - T_x = 0 \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - T_y = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial T_x}{\partial x} + \frac{\partial T_y}{\partial y} + p(x,y) = 0 \quad (2.25)$$



Sl. 2.20.

Iz jednačina (2.23) i (2.24.) dobijaju se vrednosti transverzalnih sila kao:

$$T_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = -K \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (2.26)$$

$$T_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} = -K \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)$$

Vrednosti oslonačkih reakcija, koje uključuju i dopunske sile smicanja od ivičnih momenata uvijanja, mogu se izraziti kao:

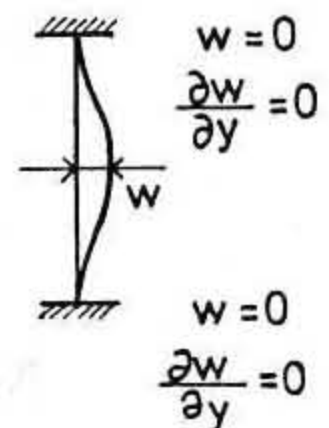
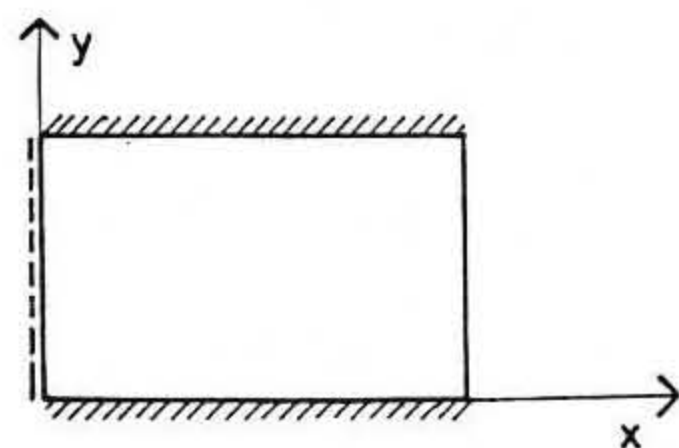
$$R_x = -K \left[ \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right] \quad (2.27)$$

$$R_y = -K \left[ \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right]$$

Iz jednačina (2.25) i (2.26) dobija se linearna, nehomogena parcijalna diferencijalna jednačina četvrtog reda za elastičnu površinu ploče  $w(x,y)$  u obliku

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x,y)}{K} \quad (2.28)$$

Opšti integral diferencijalne jednačine ploče mora da zadovolji uslove po konturi ploče i to ili po deformacijama ili po silama ili mešovito po deformacijama i silama.



Sl. 2.21

$$\begin{array}{ll} w=0 & M_x=0 \\ M_x=0 & R_x=0 \end{array}$$

Na primer (sl. 2.21) duž uklještenih ivica ploče granični uslovi se mogu postaviti po deformacijama. Ugib i nagib na elastičnu liniju moraju biti jednaki nuli:

$$w = 0 \quad \text{i} \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad (2.29)$$

Duž slobodno oslonjene ivice definisani su mešoviti granični uslovi, po silama i deformacijama. Ugib ploče mora biti jednak nuli, kao i momenat savijanja.

$$w = 0 \quad \text{i} \quad M_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad (2.30)$$

Duž neoslonjene ivice (slobodna ivica) konturni uslovi se definišu po silama.

$$M_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad (2.31)$$

$$R_x = \frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2 - \nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} = 0 \quad (2.32)$$

Rešenjem diferencijalne jednačine (2.28) uz zadate konturne uslove, dolazi se do funkcije elastične površine ploče  $w(x,y)$ . Kada je ova funkcija poznata, mogu se sračunati sve presečne sile u ploči.

Rešenje diferencijalne jednačine za slobodno oslonjenu pravougaonu ploču dao je, u obliku dvostrukog reda, Navier (Navije) još 1823. godine.

Za pravougaone ploče kod kojih su dve naspramne ivice slobodno oslonjene rešenja sa jednostrukim redovima dao je Levy (Levi) - 1899. god.

Doprinos teoriji ploča dali su u prethodnom periodu Bubnov, Galerkin, Leitz, Timošenko, Markus.

Za ploče sa pravougaonom osnovom oslonjene po obodu, izvršen je veliki broj opita u cilju provere teorijskih rezultata. Prvi veliki opiti izvršeni su u Štutgartu (1915 - 1926) i Drezdenu (1927-1930. god.).

Kod kvadratnih i pravougaonih ploča sa slobodnim oslanjanjem duž strana naleganja uočena je kod ispitivanja pojava da se ploča izdiže, na mestu gde se susreću dve slobodne ivice naleganja. Odizanje ploče u uglovima uslovljeno je momentima uvijanja. Prve prsline se javljaju u sredini ploče (na donjoj zategnutoj površini), da bi se sa povećavanjem opterećenja proširivale u pravcu dijagonala ploče.

Iz izraza za sile u presecima vidi se da su momenti savijanja i uvijanja u polju ploče zavisni od Poasonovog koeficijenta i da je njihova vrednost najmanja za  $\nu = 0$ . Momenti nad osloncima ne zavise od  $\nu$ . Veličine transverzalnih sila nisu zavisne od Poasonovog koeficijenta, dok reakcije oslonaca zavise (izuzev kod uklještenja, gde su jednake transverzalnim silama).

U tehničkoj literaturi često su vrednosti presečnih sila u ploči date za  $\nu = 0$ . Vrednosti uticaja za  $\nu \neq 0$  mogu se naći iz vrednosti za  $\nu = 0$  preko izraza:

$$M_x(v) = M_x(v=0) + vM_y(v=0) \quad (2.33)$$

$$M_y(v) = M_y(v=0) + vM_x(v=0) \quad (2.34)$$

$$M_{xy}(v) = (1-v) M_{xy}(v=0) \quad (2.35)$$

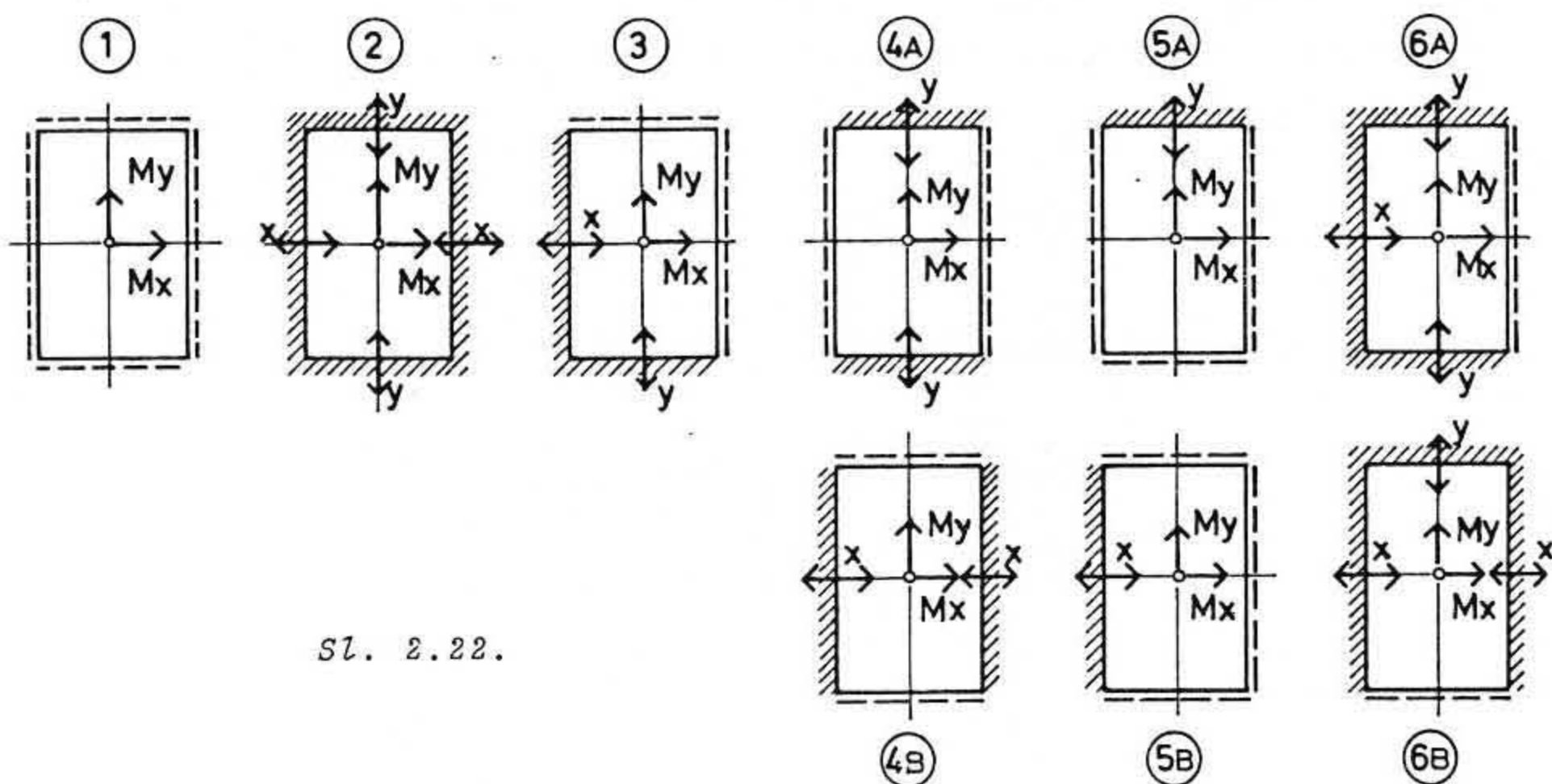
$$R_x(v) = R_x(v=0) (1-v) - vT_x \quad (2.36)$$

$$R_y(v) = R_y(v=0) (1-v) - vT_y \quad (2.37)$$

Izrazi za reakcije važe za slobodne linijske oslonce. Kod linijskih oslonaca sa uklještenjem, oslonačke reakcije jednake su transverzalnima silama pa nisu zavisne od  $v$ .

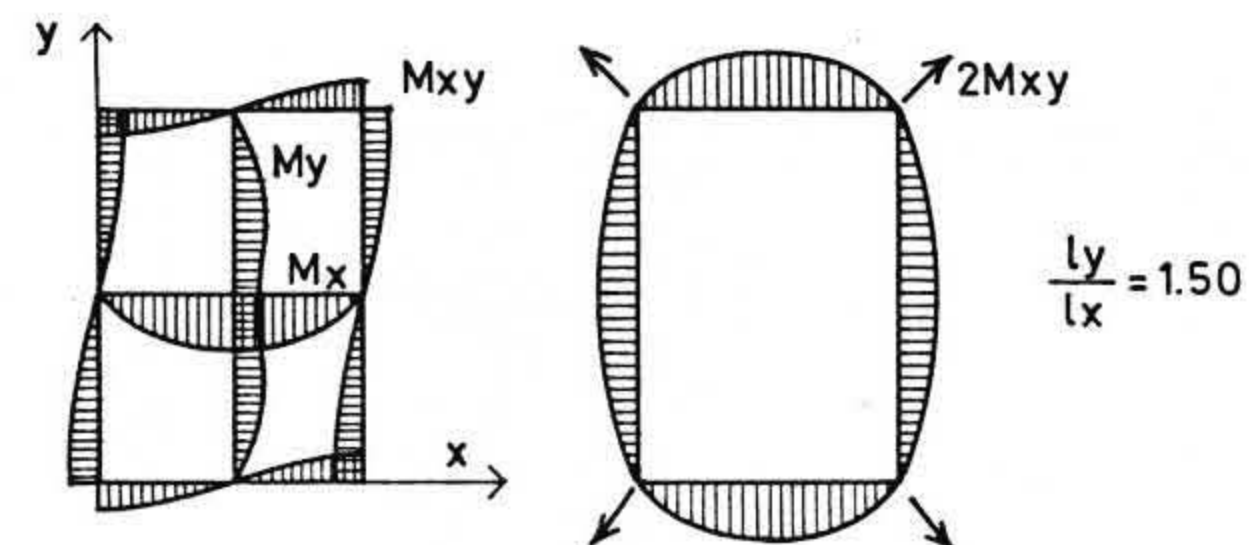
Krstasto armirane ploče pravougaone osnove, linijski oslonjene na 4 strane, razvrstane su kao pojedinačne ploče u šest tipova zavisno od uslova oslanjanja ploče duž oslonca.

Tipovi ploča prikazani su na sl. 2.22.



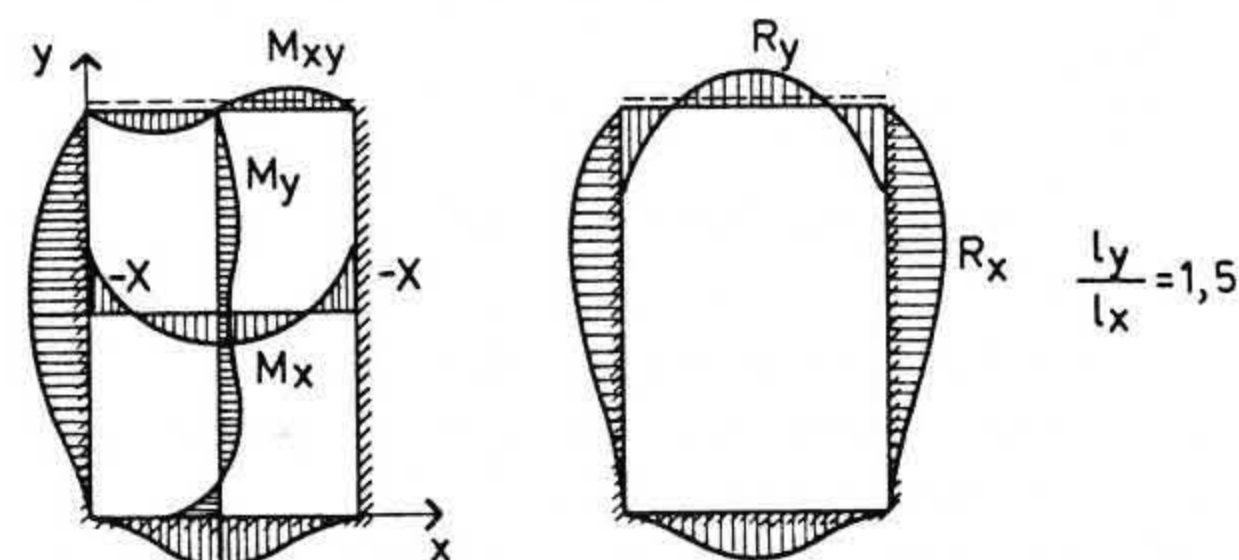
Sl. 2.22.

Raspodela momenata savijanja  $M_x$  i  $M_y$  momenata uvijanja  $M_{xy}$  i reakcija za ploču sa slobodno oslonjenim stranama, kao i za ploču sa tri uklještena i jednom slobodno oslonjenom ivicom za jednako podjeljeno opterećenje  $p$  prikazan je na sl. 2.23 i 2.24.



Sl. 2.23.

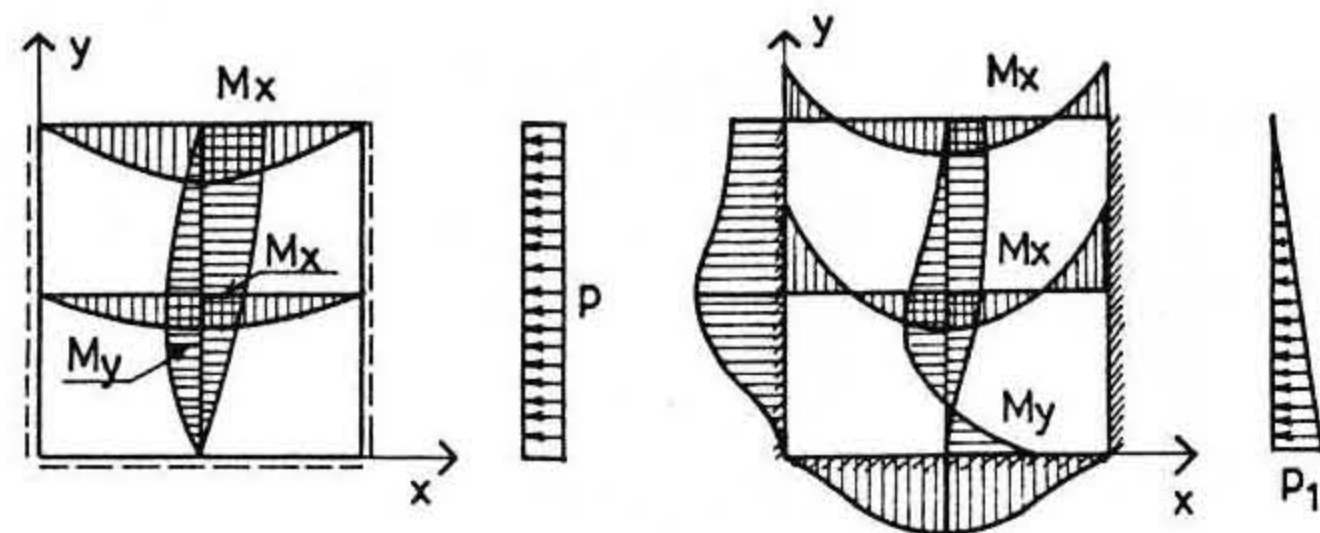
Momenti savijanja  $M_x$  i  $M_y$  zavisni su od odnosa raspona ploče  $l_y/l_x$  i od konturnih uslova. Momenti uvijanja umanjuju pozitivne momente u polju i kod oslonaca gde se susstiču dve slobodno oslonjene strane daju negativnu reakciju u vidu koncentrisane sile. Zbog toga se u uglovima, gde se susstiču dve slobodno oslonjene strane, ploča armira posebnom armaturom protiv odizanja kao i radi prijema odgovarajućih momenata.



Sl. 2.24.

Za pravougaone ploče sa jednom slobodnom stranom, opterećene jednako podjeljenim opterećenjem, najveći moment savijanja deluje duž slobodne ivice pa se o ovim momentima posebno vodi računa kod dimenzionisanja i armiranja.

Na primeru ploče sa jednom slobodnom ivicom na sl. 2.25. prikazani su dijagrami momenata za jednako podjeljeno i trouglasto opterećenje, za ploču odnosa raspona  $l_y/l_x = 1$ , sa različitim uslovima oslanjanja.



Sl. 2.25

Pri određivanju konturnih uslova oslanjanja ploče, ako je ploča vezana na krajnjim osloncima sa grednim nosačem ili serklažem koji nisu opterećeni zidom, smatra se da je ploča slobodno oslonjena. U ostalim slučajevima, kada nad srednjim osloncima postoji kontinuitet ploče ili ako su krajnji oslonci ploče opterećeni zidom debljine najmanje 40 cm, jedne spratne visine, može se uzeti da je ploča po konturi uklještena.

#### A) Ploče opterećene jednakopodeljenim opterećenjem

Ploča se dimenzioniše prema najvećim momentima savijanja u dva ortogonalna pravca. Moment uvijanja se po pravilu zanemaruje prilikom dimenzionisanja.

Radi lakše praktične primene sračunate su i tabulisane vrednosti momenata savijanja u dva ortogonalna pravca za ploče različitih konturnih uslova i odnosa strana.

a) Vrednosti maksimalnih momenata savijanja u polju ploče i nad oslonačkim uklještenjima, za osnovne tipove pravougaonih ploča, opterećenih jednako podeljenim opterećenjem, date su u tabeli u PRILOGU 4. Vrednosti su sračunate sa veličinom Poasonovog koeficijenta  $\nu = 0,2$ .

Veličina momenata savijanja dobija se množenjem koeficijenta  $k_i$  iz tabele (koji zavisi od odnosa strana ploče i konturnih uslova) sa rezultantom ukupnog opterećenja na površini ploče, kao:

$$M = k_i p l_x l_y = k_i P \quad (\text{kNm/m}) \quad (2.38)$$

gde je:

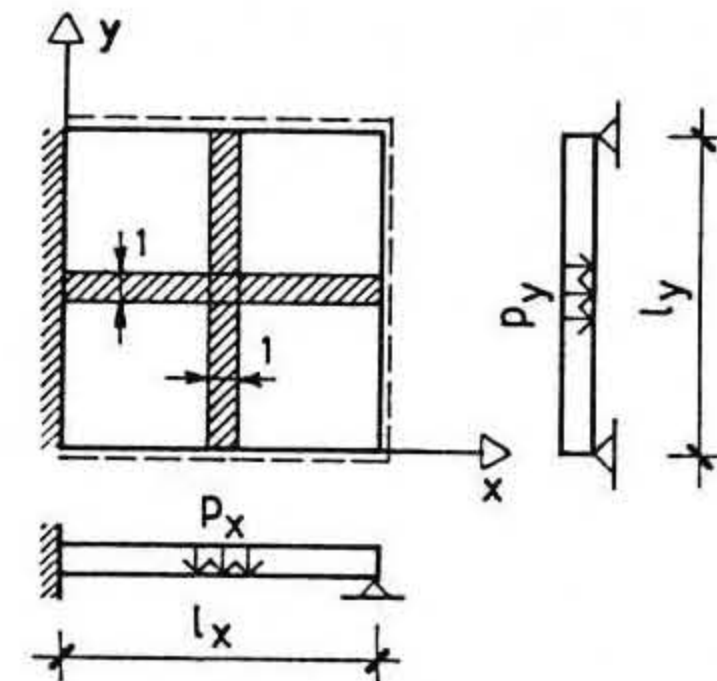
$p$  = jednako podeljeno opterećenje na ploči ( $\text{kN/m}^2$ ).

$P = p l_x l_y$  = rezultanta ukupnog opterećenja na ploči ( $\text{kN}$ )

b) Momenti savijanja se mogu, u nedostatku odgovarajućih tablica, sračunati približno, ali dovoljno tačno za praktičnu inženjersku primenu, Markusovom metodom zamenjujućih traka. Princip proračuna zasnovan je na razdvajanju jednako podeljenog opterećenja  $p$  na dva dela ( $p_x$  i  $p_y$ ), od kojih svako fiktivno deluje samo u jednom pravcu:

$$p = p_x + p_y \quad (2.39)$$

Ako se iz ploče izdvoje dve srednje trake jedinične širine, u dva ortogonalna pravca (sl. 2.26), onda se može zamisliti da je svaka traka poseban nosač sa svojom konturnim uslovima, rasponom i opterećenjem.



Sl. 2.26.

Izjednačavanjem ugiba na mestu ukrštanja dve trake, sračunavaju se vrednosti  $p_x$  i  $p_y$ , na sledeći način:

$$w_x = w_y \quad (2.40)$$

$$w_x = \frac{\phi_x p_x l_x^4}{EJ_x} \quad w_y = \frac{\phi_y p_y l_y^4}{EJ_y} \quad (2.41)$$

Ako se zanemari uticaj armature na krutost preseka važi:

$$EJ_x = EJ_y \quad (2.42)$$

pa je:

$$\phi_x p_x l_x^4 = \phi_y p_y l_y^4 \quad (2.43)$$

$$p_x = \frac{\phi_y}{\phi_x} \left(\frac{l_y}{l_x}\right)^4 p_y \quad (2.44)$$

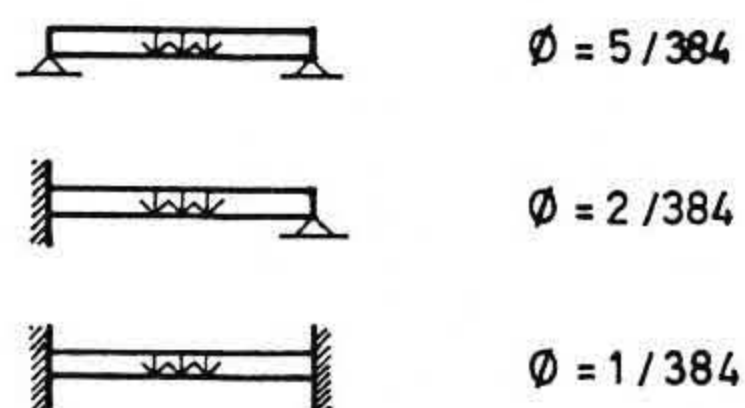
Jednačina (2.44) sa izrazom (2.39) daje posle sredjivanja

$$p_x = \frac{\phi_y \gamma^4}{\phi_x + \phi_y \gamma^4} p \quad (2.45)$$

$$p_y = p - p_x \quad (2.46)$$

gde je:  $\gamma = l_y/l_x \quad (2.47)$

Vrednosti koeficijenta  $\phi$  zavise od konturnih uslova oslanjanja trake i mogu se uzeti kako je prikazano na sl. 2.27.



Sl. 2.27.

Vrednosti momenata savijanja se sračunavaju za traku u svakom pravcu sa svojim opterećenjem. Ovako dobijene vrednosti su veće od momenata savijanja koji se realno ostvaruju, jer je zanemaren uticaj momenata uvijanja. Da bi se obuhvatio uticaj momenata uvijanja Markus je još uveo korekzione koeficijente (<1,0) za tačnije određivanje momenata savijanja u polju ploče. Metod je dalje razradio Lezer, pa se vrednosti koeficijenata za određivanje momenata savijanja za pojedine tipove ploča mogu u tehničkoj literaturi naći pod imenom Markus-Lezerovi koeficijenti /3/.

Tačno određivanje oslonačkih reakcija ploče vrši se po teoriji elastičnosti. Sa tačnim rešenjima se u praksi samo izuzetno radi, s obzirom da je raspored reakcija duž oslonačkog elementa krivolinijski. Oslonačke sile, koje se prenose na oslonačke elemente (grede ili zidove) i opterećuju ih, najčešće se u tehničkoj praksi određuju aproksimativno, na sledeće načine:

a) U tablicama se mogu naći vrednosti koeficijenata ( $k_j$ ) pomoću kojih se može odrediti ukupna rezultanta reakcije oslonca koja se prenosi na pojedinu stranu ploče. Vrednost ukupne rezultante se može naći kao:

$$Q = k_j p l_x l_y = k_j P \quad (kN) \quad (2.48)$$

Za praktičan proračun oslonačke grede, može se ova ukupna rezultanta deljenjem sa rasponom grede, predstaviti kao jednako podeљeno opterećenje.

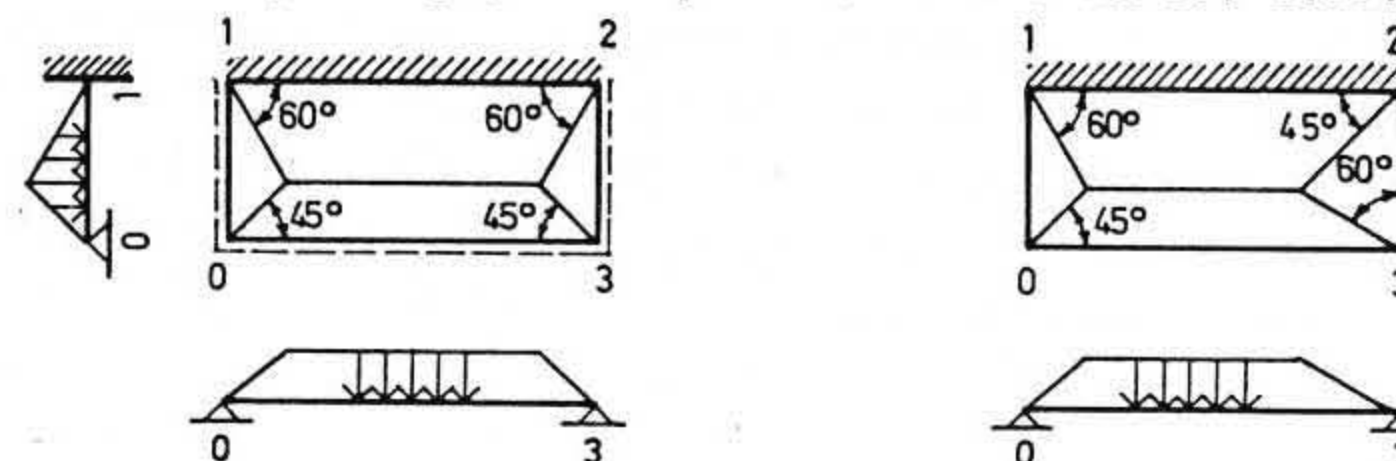
$$q = Q/l \quad (kN/m) \quad (2.49)$$

Iako ovaj proračun teorijski nije na strani sigurnosti što se grede tiče, jer realni raspored oslonačke reakcije po dužini grede ima paraboličan oblik sa većim ordinatama bliže sredini raspona (sl. 2.28) što izaziva veće momente savijanja u gredi, on ipak u potpunosti zadovoljava tehničku praksu.



Sl. 2.28.

b) Oslonačke sile se mogu približno odrediti i preko pripadajućih površina koje odgovaraju linijskom slobodnom oslanjanju ili uklještenju, kako je to pokazano na sl. 2.29.



Sl. 2.29.

Uglovi prema kojima se površine određuju približno odgovaraju onima koji obrazuju prsline na ploči pri opterećenju do loma.

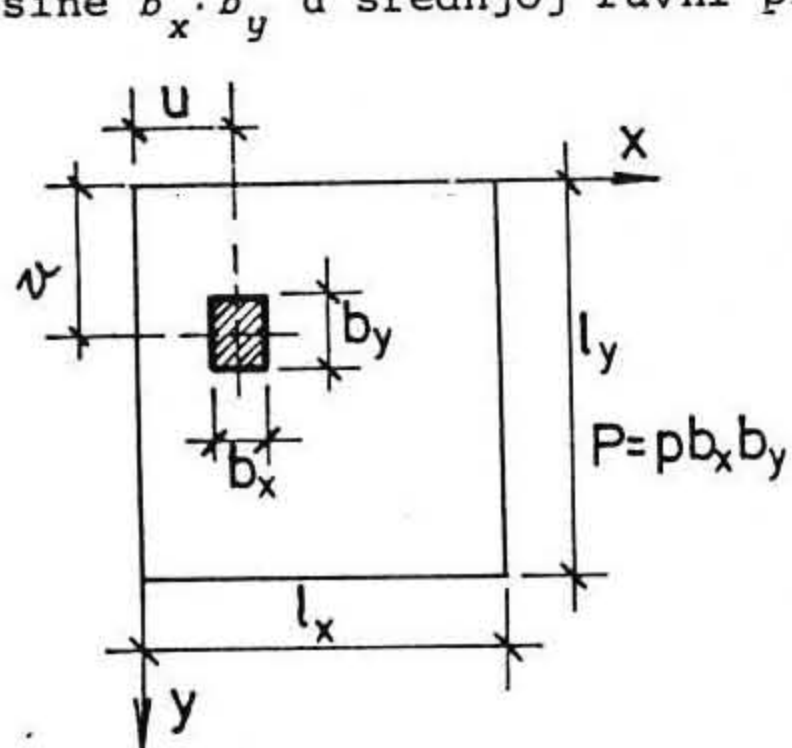
Na oslonačku gredu se prenose odgovarajuća trougaona ili trapezna opterećenja i za njih vrši proračun statičkih uticaja i dimenzionisanje.

c) Oslonačke sile se mogu sračunati i prema Markusovoj metodi zamenjujućih traka, gde reakcija svake trake od odgovarajućeg opterećenja predstavlja opterećenje za oslonačku gredu u svemu kako je to prethodno izloženo.

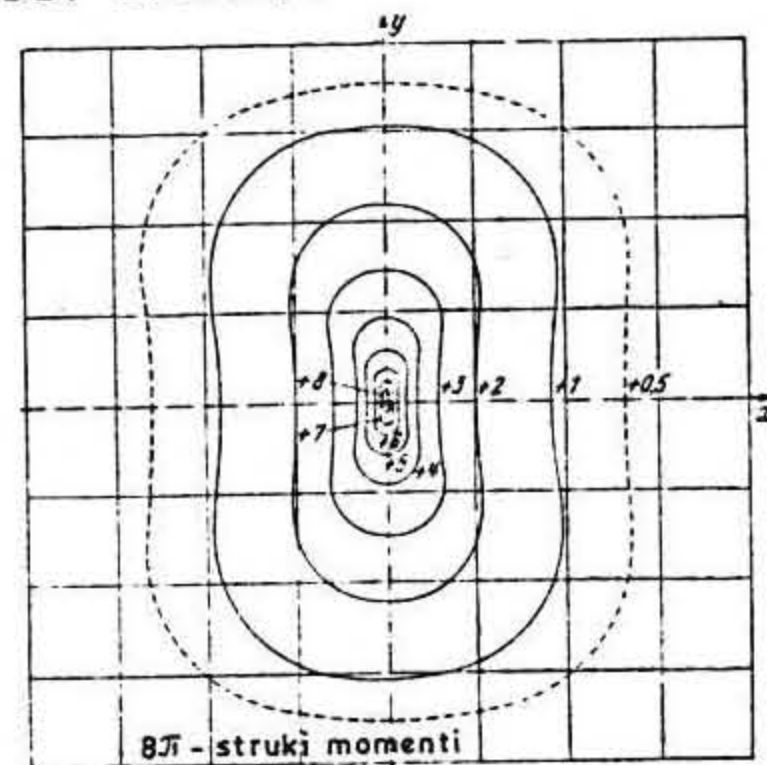
#### B) Ploče opterećene koncentrisanim opterećenjem

U realnim uslovima krstaste ploče mogu biti opterećene koncentrisanim opterećenjem. To je slučaj, na primer, kod ploča drumskih mostova koje su opterećene pritiscima točkova vozila.

Koncentrisano opterećenje prenosi se preko odgovarajuće površine  $b_x \cdot b_y$  u srednjoj ravni ploče (sl. 2.30.a).



Sl. 2.30.a



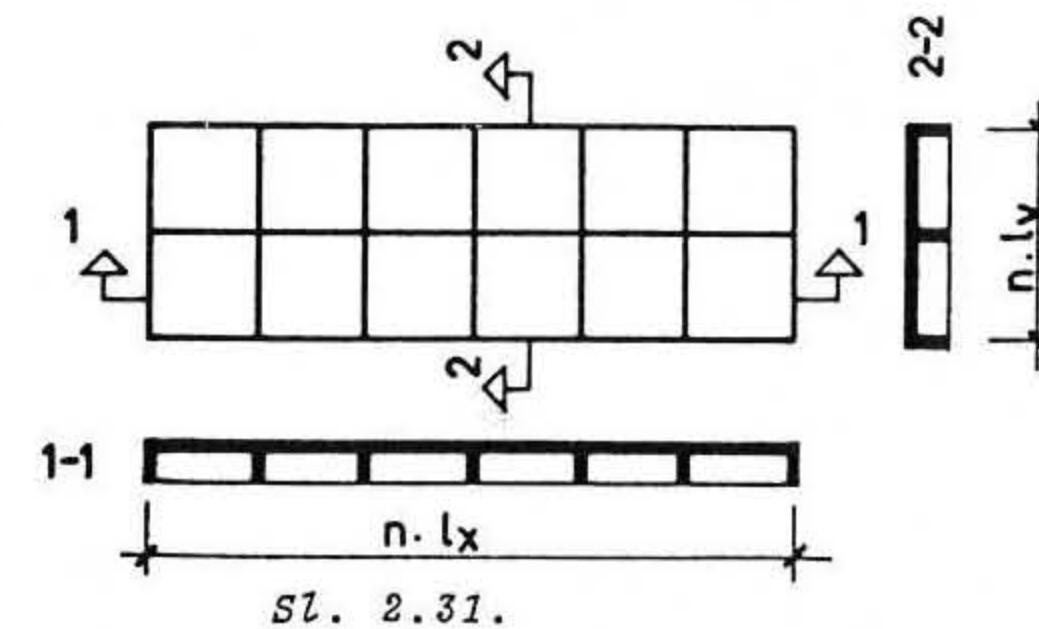
Sl. 2.30.b

Proračun presečnih sila u ploči sa poznatim konturnim uslovima je za proizvoljan položaj opterećenja veoma složen. Vrednosti momenata savijanja zavise od konturnih uslova, raspona ploče, intenziteta koncentrisane sile, od položaja opterećenja na ploči kao i od površine u srednjoj ravni ploče ( $b_x \cdot b_y$ ) na koju se sila efektivno prenosi. Rešenja za određene slučajeve mogu se naći sredjena u tabelama u literaturi /4/.

U slučaju da opterećenje može da menja položaj potrebno je naći ono mesto njegovog delovanja koje izaziva najnepovoljnije uticaje u posmatranom preseku. Analogno uticajnim linijama kod linijskih nosača mogu se kod ploča konstruisati uticajne površine za određene statičke veličine kao posledica delovanja koncentrisane jedinične sile. Na sl. 2.30.b prikazana je kao ilustracija uticajna površina za moment savijanja  $M_x$  u centru slobodno oslonjene kvadratne ploče. Uticajne površine se u ravni mogu predstaviti izohipsama (linijama koje povezuju mesta u kojima delovanje jedinične sile izaziva uticaje iste veličine u razmatranom preseku). Uticajne površine za pojedine tipove ploča mogu se takodje naći u literaturi /5/.

#### 2.2.3. Kontinualne krstasto armirane ploče

U konstrukcijama se ploče najčešće ne javljaju kao pojedinačne, već kao niz ploča monolitno izlivenih sa nosećim gredama u dva ortogonalna pravca (sl. 2.31).



Sl. 2.31.

Ukoliko je odnos strana za pojedinačne ploče u sistemu  $l_y/l_x < 2$  tada se radi o sistemu kontinualnih krstasto armiranih ploča. Po pravilu je debljina ploča u sistemu međusobno ista, a najčešće je i razmak nosećih greda u pojedinačnom pravcu međusobno jednak.

Analiza uticaja u kontinualnim pločama se svodi na proračun pojedinačnih ploča sa određenim konturnim uslovima.

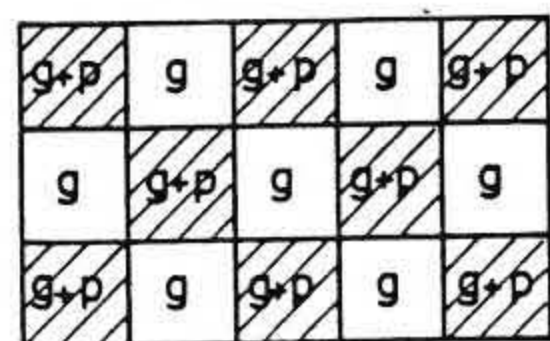
U slučaju kada je ploča opterećena velikim korisnim opterećenjem, koje može da menja svoj položaj (kod konstrukcija skladišta na primer) neophodno je odrediti ekstremne vrednosti momenata savijanja u dva ortogonalna pravca. U stambenim objektima se,

medjutim, analiza najčešće sprovodi za totalno opterećenje, jer je udeo korisnog opterećenja u odnosu na stalno opterećenje relativno mali.

U analizi kontinualnih ploča zanemaruje se uticaj savijanja nosećih greda, pa se za ploču predpostavlja da je linijski oslonjena na grede čiji su ugibi  $w = 0$ . Isto tako se zanemaruje i uticaj torziona krutosti nosača, tako da se na krajnjim osloncima (ivičnim gredama) ploče mogu smatrati slobodno oslonjene.

*Odredjivanje ekstremnih vrednosti momenta savijanja kod kontinualnih krstasto armiranih ploča opterećenih jednakopodeljenim opterećenjem*

Najveći i najmanji momenti savijanja u polju u dva pravca kontinualne ploče dobijaju se kada se sva polja opterete stalnim opterećenjem, a sa korisnim opterećenjem samo polje u kome se traži vrednost momenta i naizmenično svako drugo polje (sl. 2.32) tzv. šahovski raspored. Ovaj raspored korisnog opterećenja odgovara uticajnoj površini (slično kao uticajna linija kod kontinualnih nosača).



Sl. 2.32.

Ekstremne vrednosti negativnih momenata, iznad oslonca, dobijaju se kada se sva polja opterete stalnim opterećenjem, a kada se korisno opterećenje nalazi na susednim pločama, čije se ivice sustiču na mestu gde se traži najveći uticaj, i dalje u svakom drugom polju (sl. 2.33).

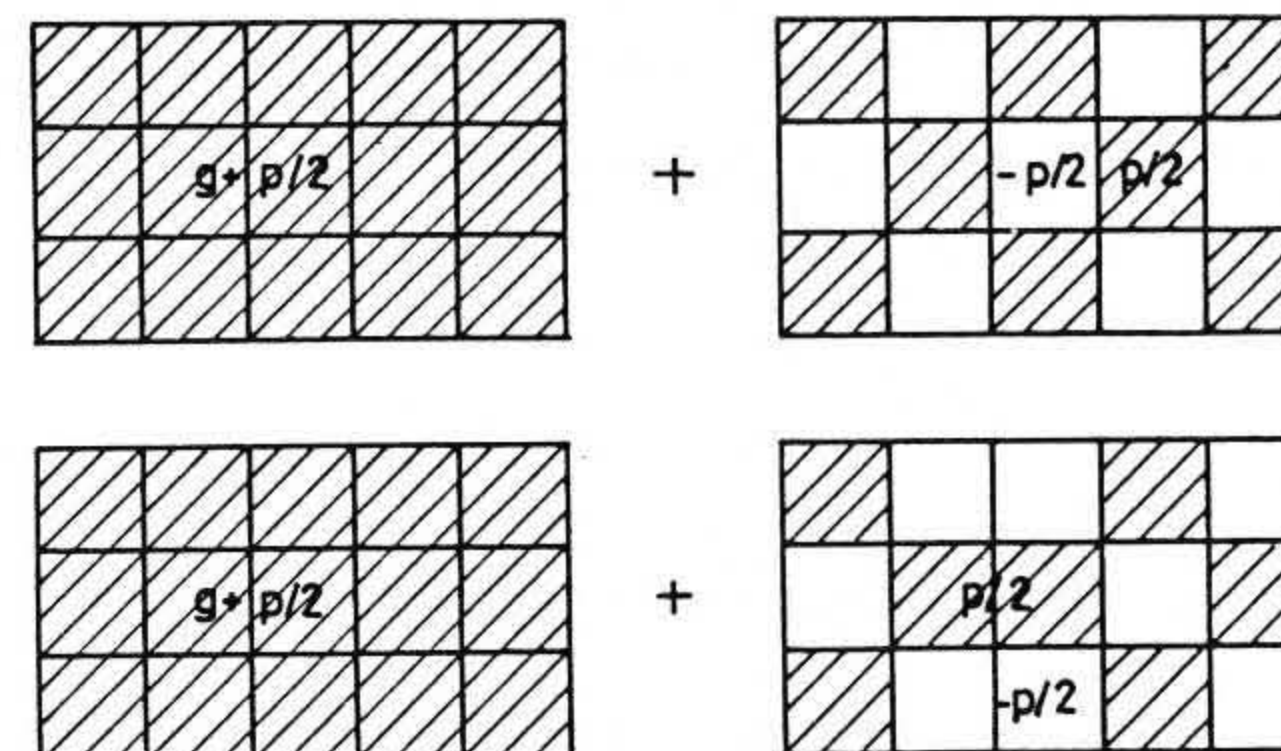
Kako se stepen elastičnog uklještenja za dve susedne ploče opterećene sa različitim intenzitetom opterećenja ne može pravilno proceniti, to se opterećenje razlaže na dva dela:



Sl. 2.33.

1. Sa opterećenjem  $q' = g + p/2$  opterećuju se sve ploče.
2. Sa opterećenjem  $q'' = p/2$  opterećuju se polja u kojima treba da je ukupno opterećenje (šrafurom označena polja na sl. 2.32 i 2.33). Sa opterećenjem  $q''' = -p/2$  opterećuju se preostala polja (nešrafirana).

Na ovaj način, sistem ploča je opterećen prema šemi prikazanoj na sl. 2.34, simetričnim i antisimetričnim opterećenjem.



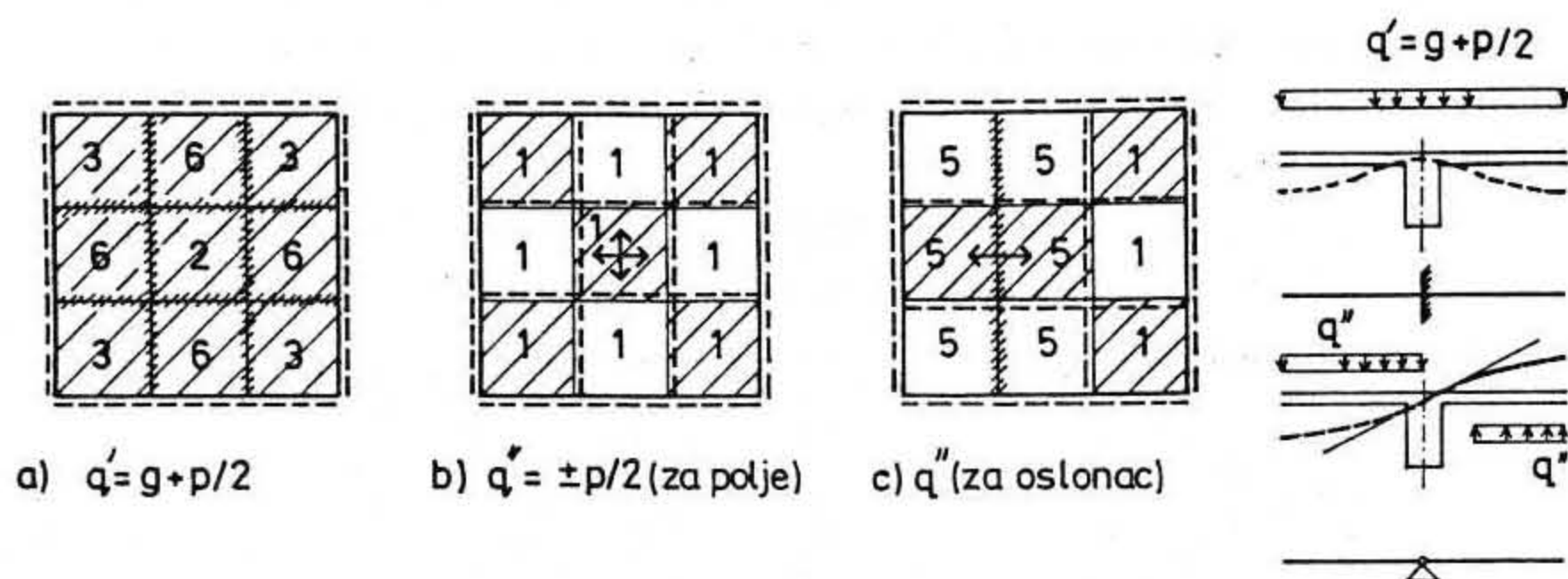
Sl. 2.34.

Za jednako podeljeno opterećenje  $q'$  po svim pločama, smatra se da se na mestima kontinuiteta (na osloncu između dve ploče) ostvaruje uklještenje. Sa usvojenim slobodnim oslanjanjem duž ivičnih greda, poznati su svi konturni uslovi, pa se mogu odrediti tipovi pojedinačnih ploča i izvršiti proračun svih momenata. Na primeru na sl. 2.35a u osnovi su prikazani konturni uslovi i tip ploče za slučaj opterećenja  $q'$  na ploči.



Za antimetrično opterećenje  $q'' = \pm p/2$ , između ploča koje su opterećene u suprotnom pravcu može se usvojiti da je rotacija nesprečena, tj. da je konturni uslov slobodno oslanjanje ploče. Ako je opterećenje  $q''$  u istom pravcu (kod određivanja negativnih oslonačkih momenata) između dve susedne ploče se opet može usvojiti puno uklještenje.

Na sl. 2.35b su prikazani tipovi ploče sa konturnim uslovima za opterećenje  $q''$  kojim se određuju momenti savijanja u polju ploče, a na sl. 2.35c za opterećenje  $q''$  kojim se dobija jedan od negativnih momenata.



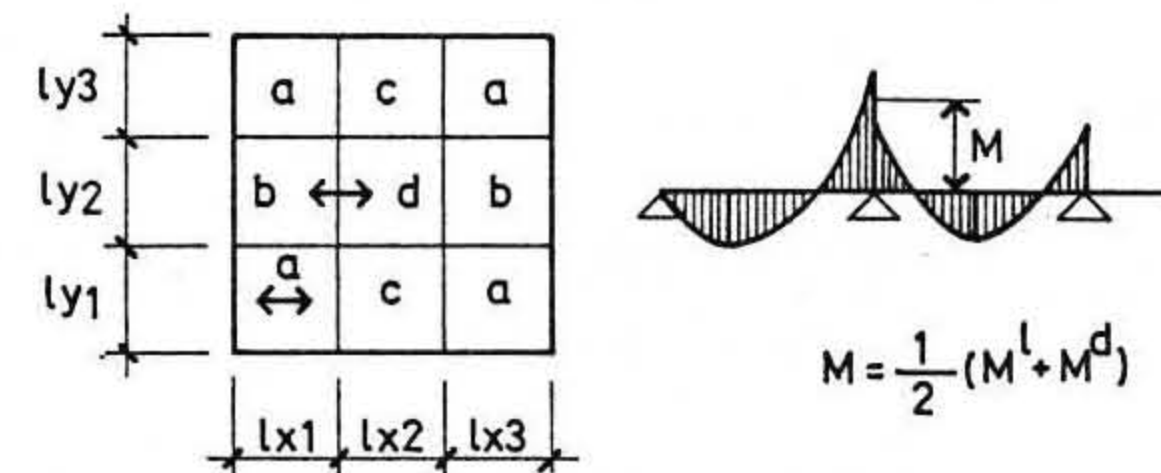
Sl. 2.35

Sa ovako određenim konturnim uslovima mogu se odrediti momenti savijanja za slučaj opterećenja ploče antimetričnim opterećenjem  $q''$ .

Ekstremne vrednosti momenata savijanja u polju (pozitivnih momenata) dobijaju se superpozicijom vrednosti dobijenih proračunom za pojedinačne ploče za simetrično i antimetrično opterećenje. Mala odstupanja, koja nastaju zbog toga što momenti za ova dva slučaja opterećenja ne deluju u identičnom preseku, se zanemaruju.

Ekstremni negativni momenti nad osloncem dobijaju se takođe superpozicijom rešenja za simetrično i antimetrično opterećenje, uz osrednjavanje vrednosti momenata između ploča koje nisu istog tipa.

Na primeru kontinualne ploče prikazane na sl. 2.36 vrednosti maksimalnog momenta u polju ploče "a" i negativnog momenta između ploča "d" i "b" nalaze se kao:



Sl. 2.36.

$$\max M_{ax} = M'_{ax3} + M''_{ax1} = k_3 P'_a + k_1 P''_a \quad (2.50)$$

$$\text{gde su: } \left. \begin{aligned} P'_a &= q' l_{x1} l_{y1} \\ P''_a &= q'' l_{x1} l_{y1} \end{aligned} \right\} \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} \min X_{bd} &= -0,5 |X'_{b6} + X'_{d,2}| - 0,5 |X''_{b5} + X''_{d5}| = \\ &= -0,5 |k_6 P'_b + k_2 P'_d| - 0,5 |k_5 P''_b + k_5 P''_d| \end{aligned} \quad (2.52)$$

$$\text{gde su: } \left. \begin{aligned} P'_b &= q' l_{x1} l_{y2} & P''_b &= q'' l_{x1} l_{y2} \\ P'_d &= q' l_{x2} l_{y2} & P''_d &= q'' l_{x2} l_{y2} \end{aligned} \right\} \quad (2.53)$$

Izravnavanje negativnih momenata nad srednjim osloncima odnosi se za traku u sredini ploče i predstavlja prvi korak Krosovog iterativnog postupka.

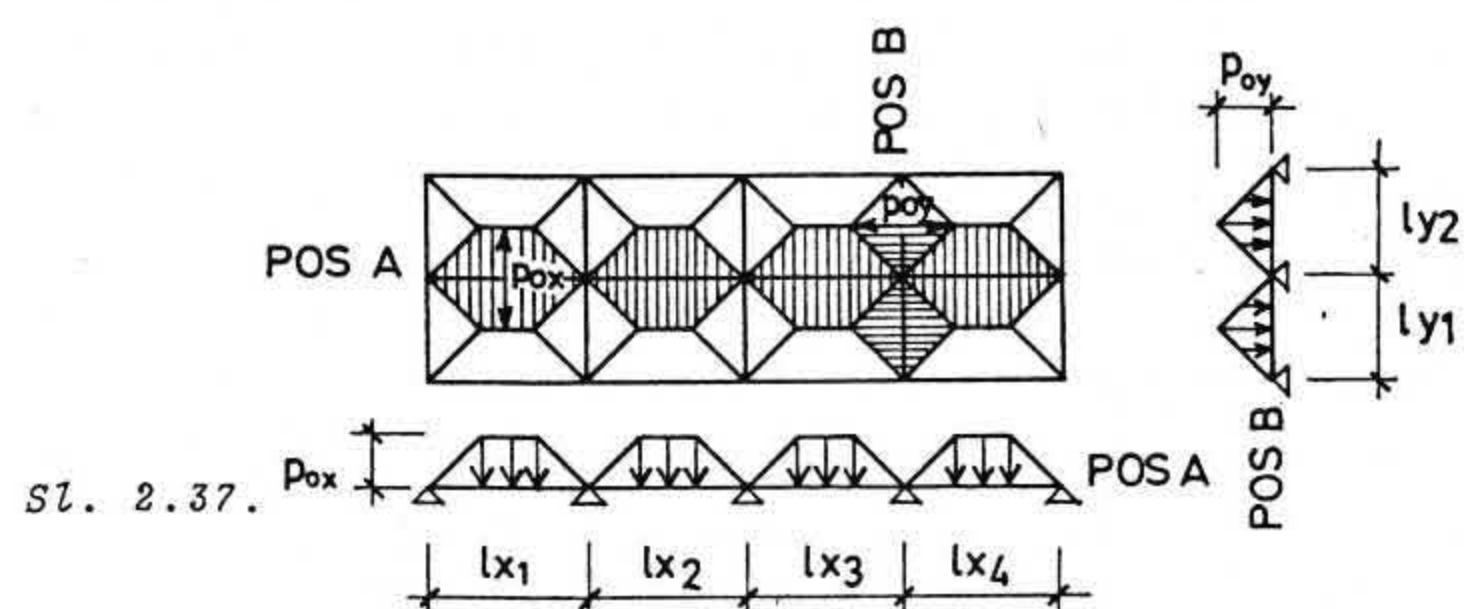
Prikazani način proračuna može se primeniti sve dok je odnos susednih raspona ploče u granicama od 0,8-1,2. U drugim slučajevima razvijen je postupak izravnavanja oslonačkih momenata metodom Krosa za ploče.

U slučaju da je sistem ploča opterećen totalnim jednako podeljenim opterećenjem ( $q$ ) vrednosti momenata savijanja se određuju kao za pojedinačne ploče sa konturnim uslovima koji od-

govaraju uklještenjima na mestima kontinuiteta (na osloncima) između dve susedne ploče. Oslonačke momente takodje treba usvojiti kao srednje vrednosti za dve susedne ploče.

Vrednosti reakcija oslonaca određuju se kod kontinualnih ploča na isti način kao i kod pojedinačnih ploča, s tim da treba voditi računa da svaku oslonačku gredu koja nije ivična opterećuju reakcije dveju susednih ploča.

Ako se određivanje reakcija vrši preko pripadajućih površina, ukazuje se potreba da se oslonačka greda proračuna sa trouganim ili trapeznim opterećenjem. (sl. 2.37).



sl. 2.37.

Ako je greda kontinualna, jednakih raspona, za sračunavanje isključivo oslonačkih momenata može se koristiti šema za ekvivalentno jednako podeljeno opterećenje  $p_e$ , gde je:

$$p_e = \frac{5}{8} p_o \quad \text{za trougaono opterećenje} \quad (2.54)$$

$$p_e = (1 - 2\alpha^2 + \alpha^3) p_o \quad \text{za trapezno opterećenje} \quad (2.55)$$

U izrazima za  $p_e$  je:

$p_o$  = intenzitet trougaonog ili trapeznog opterećenja

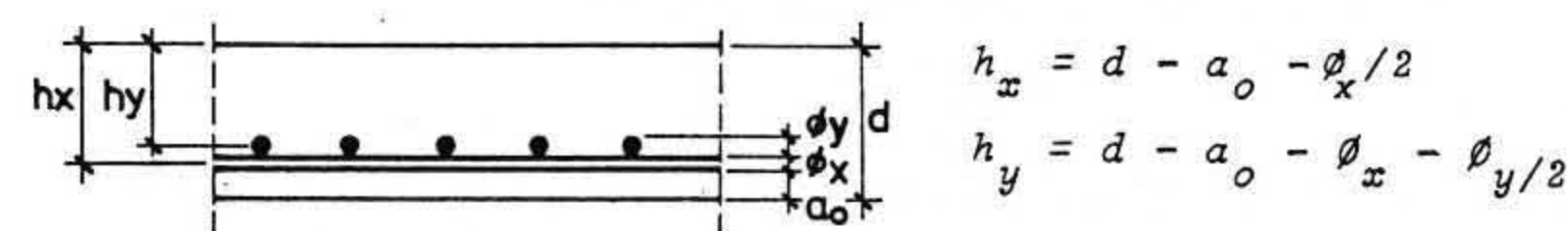
$$\alpha = \frac{l_x}{2l_y} \quad \text{pri čemu je } l_x < l_y.$$

Pozitivni momenti u poljima i transverzalne sile i reakcije oslonaca nosača moraju se odrediti za stvarnu šemu trapeznog ili trougaonog opterećenja sa poznatim oslonačkim momentima (sračunatim za jednakopodeljeno ekvivalentno opterećenje).

### Dimenzionisanje i armiranje krstastih ploča

Ploče se dimenzionišu i armiraju prema momentima savijanja u dva ortogonalna pravca. Ukoliko se ploče konstruišu konstantne debljine obično su za dimenzionisanje merodavni momenti u oslonačkim uklještenjima. Debljina ploče se može odrediti i prema momentima u polju, kada se za prijem oslonačkih momenata formira vuta.

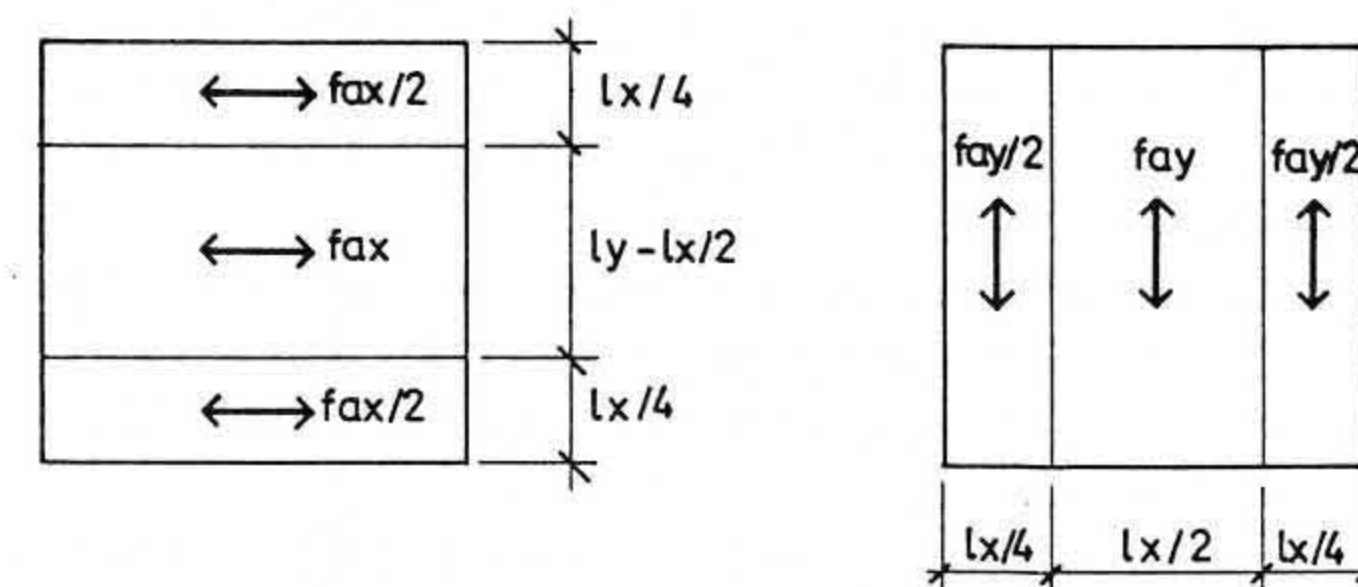
Merodavni momenat za dimenzionisanje ploče ne mora biti po apsolutnoj vrednosti i najveći, jer treba voditi računa da je statička visina ploče u dva ortogonalna pravca različita (sl. 2.38).



sl. 2.38.

Zato treba sračunati potrebnu debljinu ploče prema najvećim momentima u jednom i drugom pravcu, pa usvojiti veću vrednost.

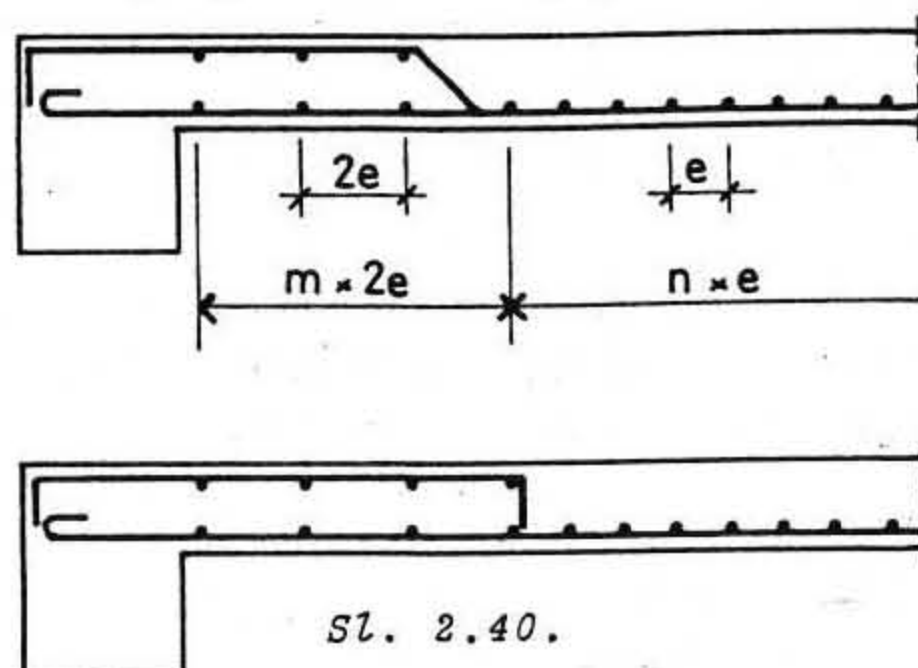
Armatura u ploči se raspoređuje za svaki pravac, za pretežno jednakopodeljena opterećenja, prema šemi koja je definisana Pravilnikom (PBAB 86) sl. 2.39.



sl. 2.39.

Središnji deo ploče se armira prema računski dobijenoj armaturi, odnosno armaturom postavljenom na računski potrebnom razmaku. Zona ploče u blizini oslonaca se armira armaturom na dvostruko većem razmaku (dvostruko manja količina armature na  $m'$ ) jer su momenti savijanja u ovim zonama ploče dosta manji od maksimalnih vrednosti u sredini ploče.

Na krajnjem slobodnom osloncu, radi prijema eventualnih momenata elastičnog uklještenja ploče u oslonački nosač, potrebno je poviti svaku drugu šipku armature iz polja nad oslonac. Detalj armiranja ploče na krajnjem osloncu prikazan je na sl. 2.40.



Sl. 2.40.

U načelu krstaste ploče se armiraju po istim principima prikazanim na primeru ploča u jednom pravcu (sl. 2.12 i 2.13), samo što se računaska armatura postavlja u oba ortogonalna pravca. Potreba za podeonom armaturom javlja se samo u zoni negativnih momenata, jer je u polju u oba pravca armatura računaska.

Prečnik armature treba tako usvajati da budu ispoštovani razmaci armature u svemu kako je to prikazano kod ploča koje nose u jednom pravcu.

Pri projektovanju armature u ploči preporučuje se:

- da se vrsta čelika izabere kao i za ostale elemente konstrukcije, s tim da je poželjno kod ploča većih površina upotrebiti mrežastu armaturu,
- da je obrada armature za ploče što jednostavnija, što se postiže time da se armatura vodi u ploči bez povijanja (prave šipke) iz donje u gornju zonu, ili da broj šipki za armiranje ploče ima što manje pozicija.

Nastavke armature treba vršiti u zoni najmanjih momenata. Armatura u ploči treba da je kontinuirana, bez prekida, a po količini treba da zadovolji i mogućnost prihvatanja napona zatezanja usled skupljanja betona i temperaturnih promena, koje se ne obuhvataju računskim putem.

Za armiranje polja krstastih ploča često se upotrebljavaju prefabrikovane  $\rho$  - mreže, formirane od iste armature u oba ortogonalna pravca. Za negativne oslonačke momente upotrebljavaju se R - mreže.

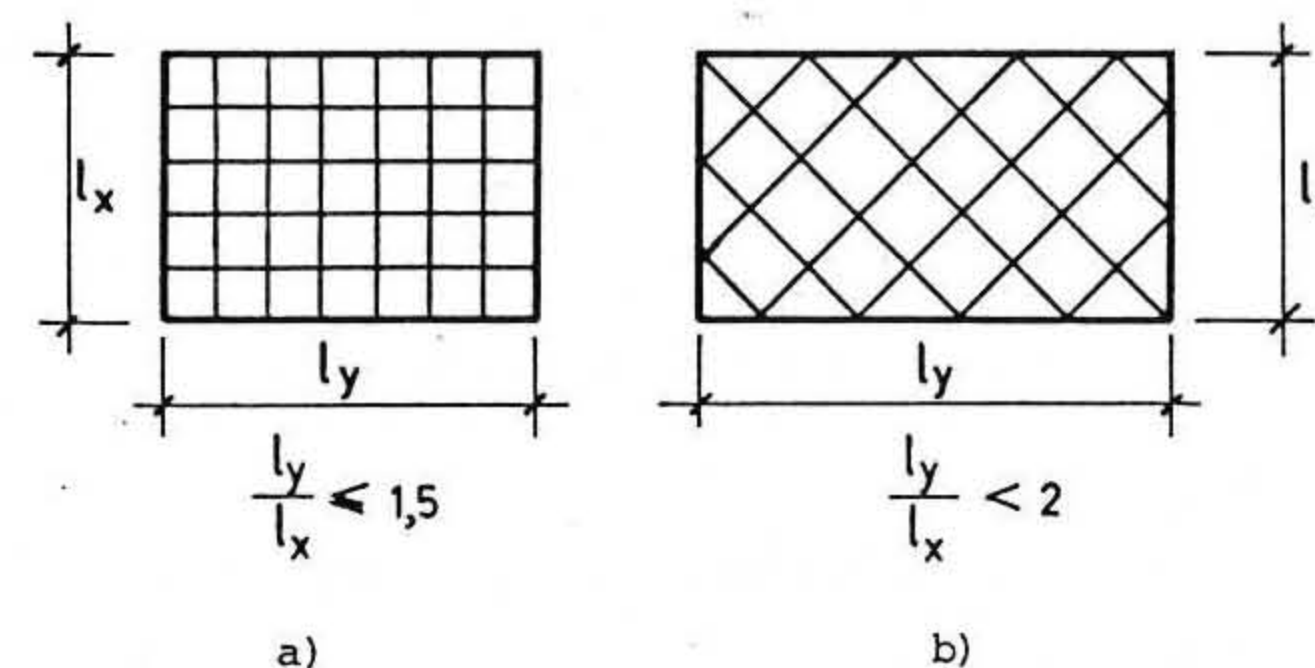
#### 2.2.4. Kasetirane tavanice

Kasetirana tavanica je ploča ojačana sa nizom unakrsnih rebara na malom međusobnom razmaku ( $< 2 m$ ), oslonjena po svom obimu. Rebra su monolitno vezana sa pločom, i najčešće se konstruišu tako da ostanu vidljiva u prostoru. Zbog svog estetskog izgleda primenjuju se za sale, holove, vestibile i dr.

Kasetiranjem tavanicom se pokrivaju kvadratne i pravougaone osnove, raspona  $l_x$  odnosno  $l_y$ .

Rebra se mogu projektovati paralelno sa stranama oslanjanja (sl. 2.41a) na međusobnom rastojanju  $\lambda_x$  odnosno  $\lambda_y$  čime se formiraju kvadratne ili pravougaone kasete. Rebra se često projektuju pod uglom od  $45^\circ$  prema stranama oslanjanja (sl. 2.41b) čime se formira dijagonalna kasete.

Najveći odnos strana raspona površine koja se pokriva kasetiranjem konstrukcijom ne treba da bude veći od  $l_y/l_x = 1,5:1,0$  za slučaj kasete sa rebrima paralelnim stranama oslanjanja, odnosno  $l_y/l_x = 2:1$  u slučaju dijagonalnih kasete.



Sl. 2.41

Kod dijagonalne kasetirane konstrukcije ukupna dužina rebara je veća za istu površinu pokrivanja ali ukupni utrošak betona i čelika kod ovih tavanica nije veći od konstrukcije čija su rebra paralelna stranama naleganja. Razlog tome je povolj-

niji statički rad konstrukcije. Ova povoljnost potiče od postojanja kratkih rebara u uglovima, koja imaju ulogu elastičnih oslonaca za duža rebra.

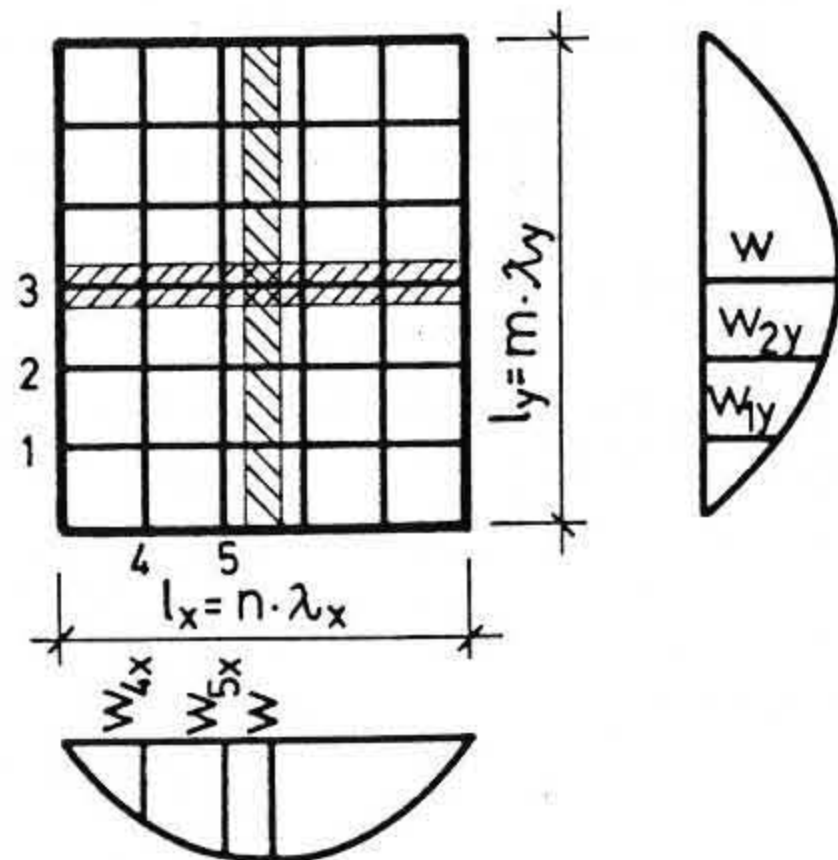
Izduženija rebra dijagonalne kasetirane tavanice imaju i određene estetske prednosti.

Visina rebara kod kasetiranih tavanica je ista u oba pravca. Pri armiranju se vodi računa da u rebrima sa većim momentima zategnutu armaturu treba postaviti tako da ima veću statičku visinu.

Kasetirane tavanice izvode se monolitno ili montažno. Montažni način gradjenja primenjuje se specijalno kod bogatije arhitektonske obrade kasete.

Kasetirane tavanice se proračunavaju uz pretpostavku slobodnog oslanjanja po čitavom obimu.

Kada je razmak rebara  $\lambda < 1,0 \text{ m}$  ( $1,25 \text{ m}$ ) kasetirana tavanica može se približno sračunati po opštoj teoriji krstasto armiranih ploča.



Sl. 2.42

Za traku širine  $1,0 \text{ m}$  duž sredine tavanice najveći momenti savijanja za jednako podeljeno opterećenje sračunavaju se po teoriji ploča kao (sl.2.42):

$$m_x = k_x P \quad \text{i} \quad m_y = k_y P \quad (\text{kNm/m}) \quad (2.56)$$

gde je  $P = p l_x l_y$ , a koeficijenti  $k_x$  i  $k_y$  zavisni su od odnosa strana  $l_y/l_x$ .

Ako su rebra postavljena na međusobnom razmaku  $\lambda_x$  i  $\lambda_y$  onda max. momenti savijanja za srednja rebra iznose približno

$$M_{sx} = \lambda_y m_x \quad \text{i} \quad M_{sy} = \lambda_x m_y \quad (\text{kNm}) \quad (2.57)$$

Za ostala rebra koja imaju manje ugibe, momenti savijanja su manji. Približan proračun momenata u rebrima zasniva se na pretpostavci da su momenti srazmerni ugibima rebra, pri istoj krutosti rebara u dva ortogonalna pravca. Prema tome, kada je veličina ugiba za srednje zamišljene trake  $w$ , onda su za rebra vrednosti ugiba  $w_{1x}, w_{2x}, \dots, w_{ix}$  odnosno  $w_{1y}, w_{2y}, \dots, w_{iy}$ , pa je moment savijanja za nosač "i" raspona  $l_x$ :

$$M_{ix} = \frac{w_{iy}}{w} M_{sx} = \frac{w_{iy}}{w} m_x \lambda_y = \frac{w_{iy}}{w} k_x P \lambda_y \quad (2.58)$$

odnosno za nosač "i" raspona  $l_y$ :

$$M_{iy} = \frac{w_{ix}}{w} M_{sy} = \frac{w_{ix}}{w} k_y P \lambda_x \quad (2.59)$$

Za slučaj slobodnog oslanjanja kasetirane konstrukcije po obimu, ugib u bilo kome preseku grede raspona  $l_y$  na rastojanju  $y_i$  od oslonca iznosi:

$$w_{iy} = \frac{p l_y^4}{24 E J} \left[ \frac{y_i}{l_y} - 2 \left( \frac{y_i}{l_y} \right)^3 + \left( \frac{y_i}{l_y} \right)^4 \right] \quad (2.60)$$

Ugib u sredini grede ( $y = l_y/2$ ) je:

$$w = \frac{5}{384} \frac{p l_y^4}{E J} \quad (2.61)$$

Odnos ugiba  $w_{iy}/w$  iznosi tada:

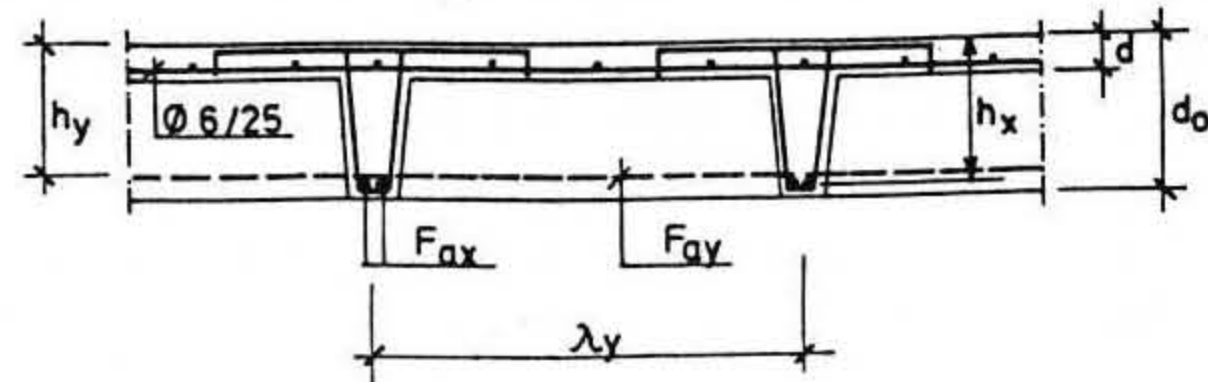
$$\frac{w_{iy}}{w} = \frac{16}{5} \left[ \frac{y_i}{l_y} - 2 \left( \frac{y_i}{l_y} \right)^3 + \left( \frac{y_i}{l_y} \right)^4 \right] \quad (2.62)$$

Moment u rebru "i" se dobija tako preko izraza (2.58) i (2.62). Na isti način je i:

$$\frac{w_{ix}}{w} = \frac{16}{5} \left[ \frac{x_i}{l_x} - 2 \left( \frac{x_i}{l_x} \right)^3 + \left( \frac{x_i}{l_x} \right)^4 \right] \quad (2.63)$$

Visina rebra proračunava se prema najvećem momentu savijanja. Armatura se u svakom rebru određuje prema odgovarajućem sračunatom momentu. Presek rebra se tretira najčešće kao T presek sa neiskorišćenim naponima. Armatura se u rebru vodi duž raspona tako da pokriva momente oblika parabole.

Rebro se najčešće armira sa 2 ili 4 profila prečnika  $\phi$ . Detalj armiranja rebra u poprečnom preseku prikazan je na sl.2.43



Sl. 2.43

Ploča se armira za pozitivne momente armaturom u donjoj zoni prečnika  $\phi 6/25$  cm, dok se uzengije u rebrima  $\phi 6/25$  koriste za prijem negativnih momenata u ploči i oblikuju se kao i uzengije za sitnorebraste tavanice.

Ploča se može armirati i mrežastom armaturom po sredini visine.

Radi lakšeg vadjenja oplata iz kaseti rebra se najčešće oblikuju promenljive širine tako da su na vezi sa pločom do 2 cm šira nego na donjoj ivici.

Za razmak rebara  $\lambda > 1,25$  m kasetirane konstrukcije proračunavaju se kao roštiljne. Proračun se najčešće vrši po metodi sila zanemarujući torzionu krutost nosača - rebara, pa se broj jednačina svodi na broj srednjih čvorova, pri čemu se vodi računa o geometrijskoj simetriji i simetriji opterećenja.

Ako se uvodi torziona krutost rebara onda se u svakom čvoru formiraju tri nepoznate i to par sila  $X_1$  i par momenata  $X_2$  i  $X_3$  za oslobađanje međusobne krute veze rebara za  $x$  i  $y$  pravac. Broj jednačina svodi se na 3 puta broj srednjih čvorova iz kojih se određuju nepoznate za svaki čvor, u svemu kako objašnjeno u poglavlju 1.6.1.

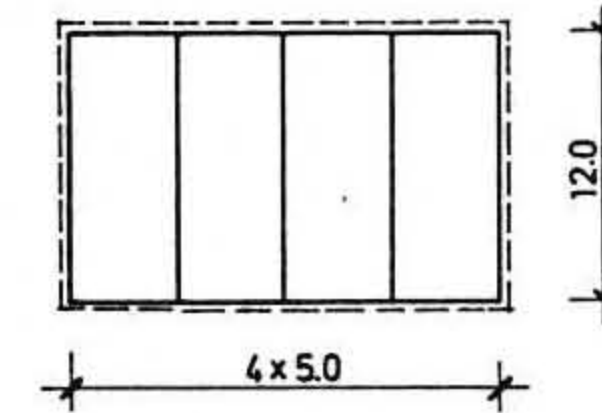
## BROJNI PRIMER 6

Za kontinualnu ploču preko četiri polja (sl.2.44) konstantne debljine, opterećenu totalnim opterećenjem  $q = g+p$  potrebno je sračunati statičke uticaje i izvršiti dimenzionisanje po teoriji granične nosivosti

Podaci:

MB 30

GA 240/360

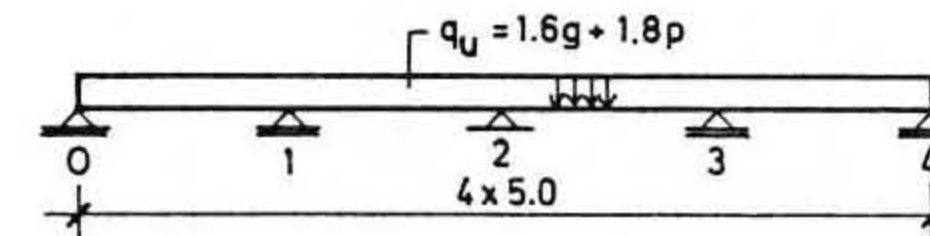
 $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$  $l_y = 12,0 \text{ m}$  $l_x = 5,0 \text{ m}$ 

Sl. 2.44

Za odnos strana  $l_y/l_x = 12/5 = 2,4 > 2,0$  ploča se može tretirati kao linijski nosač jedinične širine u kraćem pravcu. Debljina ploče:

$$d \geq \frac{0,8 l_x}{35} = \frac{0,8 \cdot 5,00}{35} = 11,4 \text{ cm} \Rightarrow d = 12 \text{ cm}$$

Statička šema (sl.2.45)



Sl. 2.45

Analiza opterećenja

$$\text{Sopstvena težina} \quad 0,12 \cdot 25,0 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pod i plafon} \quad = 1,0$$

$$\text{Stalno opterećenje } g = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Korisno opterećenje} \quad p = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Granično opterećenje: } q_u = 1,6g + 1,8p = 1,6 \cdot 4,0 + 1,8 \cdot 5,0 = 15,4 \text{ kN/m}^2$$

Statički uticaji:

$$M_1 = M_3 = -0,107 \cdot 15,4 \cdot 5,0^2 = -41,2 \text{ kNm/m}$$

$$M_2 = -0,071 \cdot 15,4 \cdot 5,0^2 = -27,3$$

$$\max M_{01} = \max M_{34} = 0,077 \cdot 15,4 \cdot 5,0^2 = 29,6$$

$$\max M_{12} = \max M_{23} = 0,036 \cdot 15,4 \cdot 5,0^2 = 13,9$$

Merodavni moment za dimenzionisanje srednjih polja:

$$\text{mer } M_{12} = M_{23} = 15,4 \cdot 5,0^2 / 24 = 16,0 > 13,9 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzionisanje:  $\beta_B = 20,5 \text{ MPa}$   $\sigma_v = 240 \text{ MPa}$   $h = d - a = 12 - 2 = 10 \text{ cm}$

Oslonci 1 i 3:

$$-M_1 = -M_3 = 41,2 \text{ kNm/m'}$$

$$k_b = 10 / \sqrt{\frac{41,2}{2,05}} = 2,230 \quad \bar{\mu} = 22,8\%$$

$$f_a = 22,8 \cdot 10 \cdot \frac{2,05}{24,0} = 19,5 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 16/10 (20,1 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

Oslonac 2

$$-M_2 = 27,3 \text{ kNm/m'}$$

$$k_b = 10 / \sqrt{\frac{27,3}{2,05}} = 2,740 \quad \bar{\mu} = 14,4\%$$

$$f_a = 14,4 \cdot 10 \cdot \frac{2,05}{24,0} = 12,3 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 14/20 + \phi 12/20 (13,35 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

Polja 0-1 i 3-4

$$M = 29,6 \text{ kNm/m'}$$

$$k_b = 10 / \sqrt{\frac{29,6}{2,05}} = 2,63 \quad \bar{\mu} = 15,75\%$$

$$f_a = 15,75 \cdot 10 \cdot \frac{2,05}{24,0} = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 14/10 (15,4 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

Polja 1-2 i 2-3

$$\text{merod. } M = 16,0 \text{ kNm/m'}$$

$$k_b = 10 / \sqrt{\frac{16}{2,05}} = 3,58 \quad \bar{\mu} = 8,2\%$$

$$f_a = 8,2 \cdot 10 \cdot \frac{2,05}{24} = 7,0 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 10/10 (7,9 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

Podeona armatura

$$f_{ap} = 0,2 f_a$$

$$\text{Oslonci 1 i 3} \quad f_{ap} = 0,2 \cdot 20,10 = 4,02 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 10/20 (3,95 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

$$\text{Oslonac 2} \quad f_{ap} = 0,2 \cdot 13,35 = 2,67 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 8/15 (3,33 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

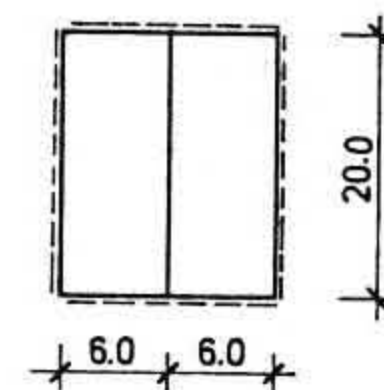
$$\text{Polja 0-1 i 3-4} \quad f_{ap} = 0,2 \cdot 15,4 = 3,08 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 8/15$$

$$\text{Polja 1-2 i 2-3} \quad f_{ap} = 0,2 \cdot 7,9 = 1,58 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 8/30 (1,67 \text{ cm}^2/\text{m'})$$

### BROJNI PRIMER 7

Dimenzionisati kontinualnu ploču preko 2 polja (sl. 2.46) opterećenu totalnim opterećenjem ( $q = g + p$ ). Visinu ploče odrediti iz momenta u polju, a nad osloncima konstruisati vutu tako da armatura povijena iz polja zadovolji.

Dimenzionisanje izvršiti po klasičnoj teoriji.



Sl. 2.46

Podaci:

MB 30

RA 400/500

$p = 8,5 \text{ kN/m}^2$

$l_y = 20 \text{ m}$

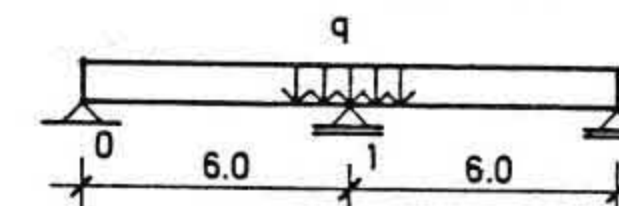
$l_x = 6 \text{ m}$

Za odnos strana  $l_y/l_x = 20/6 = 3,3 > 2,0$  ploča se tretira kao linijski nosač jedinične širine u kraćem pravcu.

$$\text{Debljina ploče: } d \geq \frac{0,8 \cdot 600}{35} = 13,7 \text{ cm}$$

Usvojeno  $d = 16 \text{ cm}$

Statička šema (sl. 2.47)



Sl. 2.47

Analiza opterećenja

Sopstvena težina

$$0,16 \cdot 25,0 = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

Pod i plafon

$$= 1,0$$

$$g = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Korisno

$$p = 8,5 \text{ kN/m}^2$$

Totalno

$$q = 13,5 \text{ kN/m}^2$$

Statički uticaji

$$\max M_{01} = M_{12} = 0,070 \cdot 13,5 \cdot 6,0^2 = 34,0 \text{ kNm/m'}$$

$$\min M_1 = -0,125 \cdot 13,5 \cdot 6,0^2 = -60,8 \text{ kNm/m'}$$

Dimenzionisanje

MB 30 RA 400/500

$$\sigma_{b/a} = 12/240 \text{ MPa} \quad r = 2,37$$

$$h = r \sqrt{M_{01}} = 2,37 \sqrt{34,0} = 13,8 \text{ cm}$$

$$d_p = h + a = 13,8 + 2,0 = 15,8 \Rightarrow d_p = 16 \text{ cm}$$

$$h = 16,0 - 2,0 = 14,0 \text{ cm}$$

$$r = 14/\sqrt{34,0} = 2,40 \quad \sigma_{b/a} = 11,8/240 \text{ MPa} \quad \mu = 0,810\%$$

$$f_a = 0,810 \cdot 14,0 = 11,3 \text{ cm}^2/\text{m}' \Rightarrow \emptyset 12/10 (11,3 \text{ cm}^2/\text{m}')$$

Ako se armatura iznad oslonca formira povijanjem svake druge šipke iz susednog polja, onda se po količini dobija ista armatura nad osloncem kao u polju.

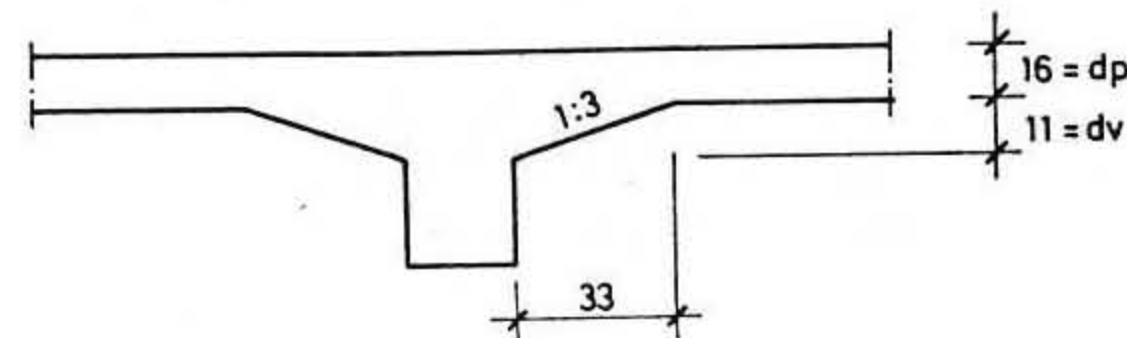
Odredjivanje visine vute

$$f_a = 11,3 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{potr } h \approx \frac{M_1}{0,9 f_a \sigma_a} = \frac{60,8 \cdot 10^2}{0,9 \cdot 11,3 \cdot 24} = 24,9 \text{ cm}$$

$$\text{potr } d = 24,9 + 2,0 = 26,9 \Rightarrow \text{Usvojeno } d = 27 \text{ cm}$$

$$d_v = \text{potr } d - d_p = 27 - 16 = 11 \text{ cm (sl. 2.48)}$$

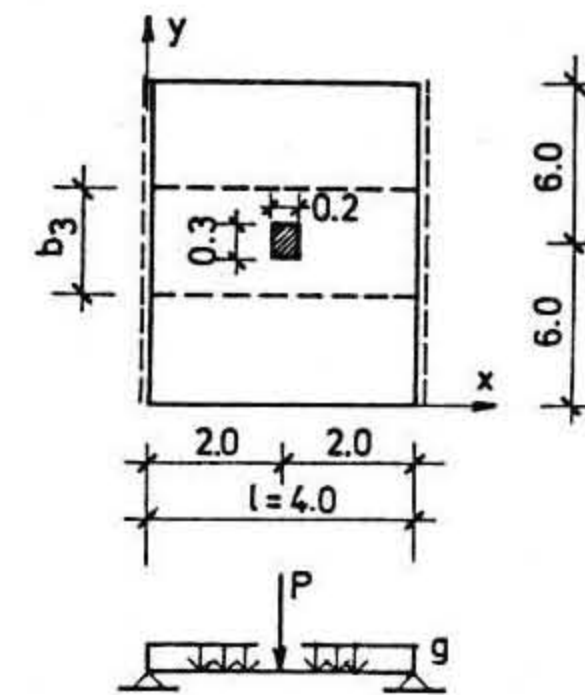


Sl. 2.48

#### BROJNI PRIMER 8

Na ploču oslonjenu samo na dve suprotne strane deluje pored stalnog tereta i koncentrisana sila od  $P = 100 \text{ kN}$ , čiji je položaj fiksiran (sl. 2.49). Dimenzionisati armaturu ploče. MB 30, GA 240/360, debljina ploče  $d = 20 \text{ cm}$ .

Koncentrisano opterećenje se prenosi preko površine  $20 \times 30 \text{ cm}$ .



Sl. 2.49

Analiza opterećenja:

Sopstvena težina

$$0,20 \cdot 25,0 = 5,0 \text{ kN/cm}^2$$

Pod

$$= 1,0$$

$$g = 6,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$P = 100 \text{ kN}$$

Koncentrisano opterećenje

Statički uticaji:

- na širini  $b_3$

$$\max M_x = \frac{gl^2}{8} + \frac{Pl}{4b_3} = \frac{6 \cdot 4,0^2}{8} + \frac{100 \cdot 4,0}{4 \cdot 3,15} = 12,0 + 31,7 = 43,7 \text{ kNm/m}'$$

Na preostaloj širini

$$\max M_x = \frac{gl^2}{8} = 12,0 \text{ kNm/m}'$$

Dimenzionisanje: MB30, GA 240/360  $\sigma_{b/a} = 12/160 \text{ MPa}$

na širini  $b_3$ :  $M_x = 43,7 \text{ kNm/m}'$   $h = d - a = 20 - 2 = 18 \text{ cm}$

$$r = 18/\sqrt{43,7} = 2,72 \quad \sigma_b = 8,7 \text{ MPa} \quad \mu = 0,958\%$$

$$f_{ax} = 0,958 \cdot 18 = 17,2 \text{ cm}^2/\text{m}' \Rightarrow \emptyset 16/11 (18,27 \text{ cm}^2/\text{m}')$$

$$f_{ap} = 0,65 f_a = 0,65 \cdot 17,2 = 11,2 \text{ cm}^2/\text{m}' \Rightarrow \emptyset 12/10 (11,3 \text{ cm}^2/\text{m}')$$

Kontrola probijanja

$$\tau = \frac{P}{2(b_2 + b_1)d} = \frac{100}{2(55 + 45)20} = 0,025 \text{ kN/cm}^2 = 0,25 \text{ MPa} < \tau_a$$

Na preostalom delu ploče:

$$M = 12,0 \text{ kNm/m}'$$

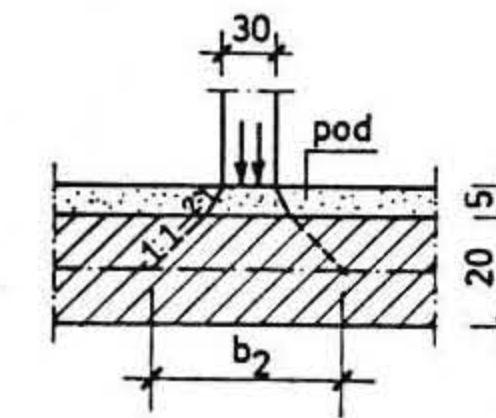
$$f_{ax} = \frac{12,0 \cdot 10^2}{0,9 \cdot 16 \cdot 18} = 4,63 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$f_{ap} = 0,20 \cdot 4,63 = 0,93 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$b_2 = 30 + 5 + 20 = 55 \text{ cm}$$

$$b_1 = 20 + 5 + 20 = 45 \text{ cm}$$

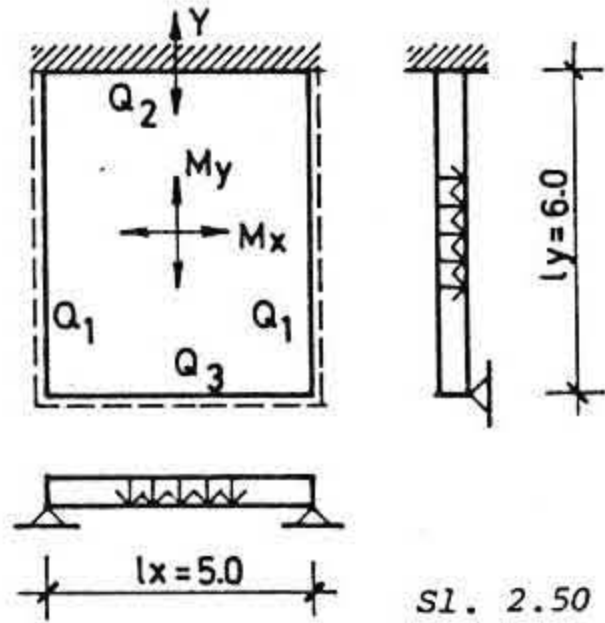
$$b_3 = b_2 + \frac{f_{ap}}{f_a} l = 55 + 0,65 \cdot 400 = 315 \text{ cm}$$



## BROJNI PRIMER 9

Odrediti statičke uticaje i dimenzionisati armaturu ploče čije su dimenzije i konturni uslovi dati na slici 2.50.

Debljina ploče je  $d = 14 \text{ cm}$



Sl. 2.50

$$l_y/l_x = 6/5 = 1,20 \Rightarrow \text{krstasto armirana ploča}$$

Analiza opterećenja

Sopstvena težina

Pod i plafon

Korisno

Totalno

Podaci:

MB 40

GA 240/360

$p = 10,0 \text{ kN/m}^2$

$l_y = 6 \text{ m}$

$l_x = 5 \text{ m}$

$$0,14 \cdot 25,0 = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

$$= 0,5$$

$$g = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 10,0$$

$$q = 14,0 \text{ kN/m}^2$$

Statički uticaji:

$$P = q \cdot l_x \cdot l_y = 14,0 \cdot 5,0 \cdot 6,0 = 420 \text{ kN}$$

Momenti savijanja

$$M_x = 0,038 \cdot 420 = 16,0 \text{ kNm/m'}$$

$$M_y = 0,034 \cdot 420 = 14,3 \text{ "}$$

$$-Y = 0,083 \cdot 420 = 34,9 \text{ kNm/m'}$$

Rezultante oslonačkih reakcija

$$Q_1 = 0,244 \cdot 420 = 102,5 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 0,298 \cdot 420 = 125,2 \text{ kN}$$

$$Q_3 = 0,214 \cdot 420 = 89,9 \text{ kN}$$

Vrednosti jednako podeljenih oslonačkih reakcija

$$q_1 = 102,5/6,0 = 17,1 \text{ kN/m'}$$

$$q_2 = 125,2/5,0 = 25,0 \text{ kN/m'}$$

$$q_3 = 89,9/5,0 = 18,0 \text{ kN/m'}$$

Dimenzionisanje: MB 40 GA 240/360  $\sigma_{b/a} = 16/160 \text{ MPa}$

Uklještenje:

$$h_y = d - a_o - \phi_y/2 = 14 - 1,5 - 1,6/2 = 11,7 \text{ cm}$$

$$Y = 34,9 \text{ kNm/m'}$$

$$r = 11,7/\sqrt{34,9} = 1,98 \quad \sigma_{b/a} = 13,2/160 \quad \mu = 1,86\%$$

$$f_a = 1,86 \cdot 11,7 = 21,8 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$\phi 16 \Rightarrow e_a = \frac{2,01 \cdot 100}{21,8} = 9,2 \text{ cm} \Rightarrow \phi 16/9$$

Polje:

$$h_x = d - a_o - \phi_x/2 = 14 - 1,5 - 1,2/2 = 11,9 \text{ cm}$$

$$h_y = d - a_o - \phi_x - \phi_y/2 = 14 - 1,5 - 1,2 - 1,2/2 = 10,7 \text{ cm}$$

$$M_x = 16,0 \text{ kNm/m'}$$

$$f_{ax} \approx \frac{16,0 \cdot 10^2}{0,9 \cdot 16 \cdot 11,9} = 9,3 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$\phi 12 \Rightarrow e_a = \frac{1,13 \cdot 10^2}{9,3} = 12,1 \text{ cm} \Rightarrow \phi 12/12$$

$$M_y = 14,3 \text{ kNm/m'}$$

$$f_{ay} \approx \frac{14,3 \cdot 10^2}{0,9 \cdot 16 \cdot 10,7} = 9,3 \text{ cm}^2/\text{m'} \Rightarrow \phi 12/12$$



## BROJNI PRIMER 10

Za sistem krstasto armiranih ploča (sl.2.51) konstantne debljine, odrediti ekstremne momente savijanja u eksploataciji, od stalnog opterećenja  $g$  i korisnog pokretnog opterećenja  $p = 11 \text{ kN/m}^2$ .

Dimenzionisati ploču po klasičnoj teoriji, MB 30 GA 240/360

## - Analiza opterećenja:

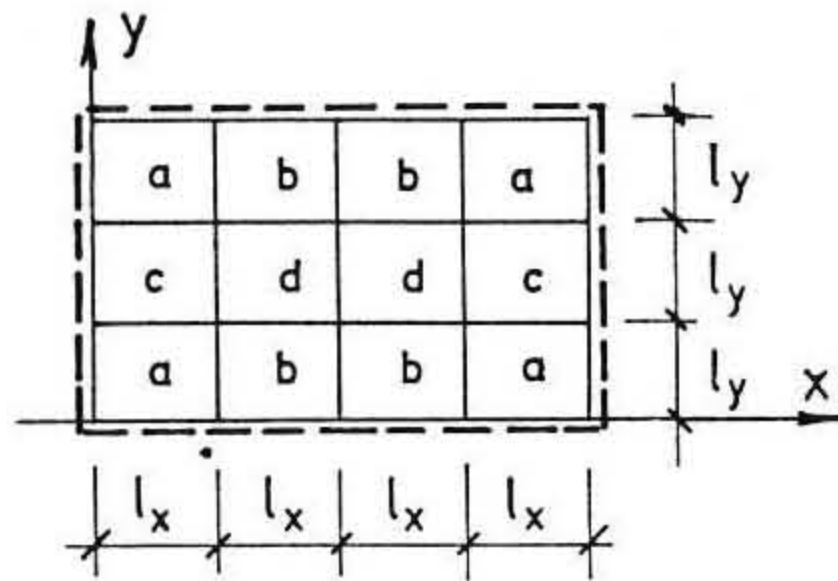
$$\text{sopstvena težina } 0,16 \cdot 25 = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{pod i plafon} = 1,00$$

$$\text{stalno opterećenje } g = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{korisno opterećenje } p = 11,00 \text{ kN/m}^2$$

## - Statički uticaji:



Sl. 2.51

$$P' = q' l_x l_y = 10,5 \cdot 5,0 \cdot 6,0 = 315,0 \text{ kN}$$

$$P'' = q'' l_x l_y = 5,5 \cdot 5,0 \cdot 6,0 = 165,0 \text{ kN}$$

$$M_{ax} = M'_{ax3} \pm M''_{ax1} = 0,032 P' \pm 0,049 P'' = 0,032 \cdot 315 \pm 0,049 \cdot 165 = 10,1 \pm 8,1 = \begin{cases} 18,2 \\ 2,0 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{bx} = M'_{bx,6B} \pm M''_{bx,1} = 0,027 P' \pm 0,049 P'' = 0,027 \cdot 315 \pm 0,049 \cdot 165 = 8,5 \pm 8,1 = \begin{cases} 16,6 \\ 0,4 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{dx} = M'_{dx,2} \pm M''_{dx,1} = 0,024 P' \pm 0,049 P'' = 0,024 \cdot 315 \pm 0,049 \cdot 165 = 7,6 \pm 8,1 = \begin{cases} 15,7 \\ -0,5 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{cx} = M'_{cx,6A} \pm M''_{cx,1} = 0,026 P' \pm 0,049 P'' = 0,026 \cdot 315 \pm 0,049 \cdot 165 = 8,2 \pm 8,1 = \begin{cases} 16,3 \\ 0,1 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$l_x = 5,0 \text{ m}$$

$$l_y = 6,0 \text{ m}$$

$$l_y/l_x = 6/5 = 1,20$$

$$q' = g + \frac{p}{2} = 5,0 + 11/2 = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q'' = \frac{p}{2} = \frac{11,0}{2} = 5,5 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ay} = M'_{ay,3} \pm M''_{ay,1} = 0,023 P' \pm 0,038 P'' = 0,023 \cdot 315 \pm 0,038 \cdot 165 = 7,2 \pm 6,3 = \begin{cases} 13,5 \\ 0,9 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{by} = M'_{by,6B} \pm M''_{by,1} = 0,016 P' \pm 0,038 P'' = 0,016 \cdot 315 \pm 0,038 \cdot 165 = 5,0 \pm 6,3 = \begin{cases} 11,3 \\ -1,3 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{cy} = M'_{cy,6A} \pm M''_{cy,1} = 0,023 P' \pm 0,038 P'' = 0,023 \cdot 315 \pm 0,038 \cdot 165 = 7,2 \pm 6,3 = \begin{cases} 13,5 \\ 0,9 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{dy} = M'_{dy,2} \pm M''_{dy,1} = 0,017 P' \pm 0,038 P'' = 0,017 \cdot 315 \pm 0,038 \cdot 165 = 5,4 \pm 6,3 = \begin{cases} 11,7 \\ -0,9 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$X_{ab} = 0,5(X'_{a,3} + X'_{b,6B}) \pm 0,5(X''_{a,5B} + X''_{b,5B}) = -0,5(0,071 + 0,059)P' \mp 0,082 P'' = -0,065 \cdot 315 \mp 0,082 \cdot 165 = -20,5 \mp 13,5 = \begin{cases} -34,0 \\ -7,0 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$X_b = X'_{b,6B} \pm X''_{b,5B} = -0,059 P' \mp 0,082 P'' = -0,059 \cdot 315 \mp 0,082 \cdot 165 = -18,6 \mp 13,5 = \begin{cases} -32,1 \\ -5,1 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$X_{cd} = 0,5(X'_{c,6A} + X'_{d,2}) \pm 0,5(X''_{c,5B} + X''_{d,5B}) = -0,5(0,062 + 0,053)P' \mp 0,082 P'' = -0,0575 \cdot 315 \mp 0,082 \cdot 165 = -18,1 \mp 13,5 = \begin{cases} -31,6 \\ -4,6 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$X_d = X'_{d,2} \pm X''_{d,5B} = -0,053 P' \mp 0,082 P'' = -0,053 \cdot 315 \mp 0,082 \cdot 165 = -16,7 \mp 13,5 = \begin{cases} -30,2 \\ -3,2 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$Y_{ac} = 0,5(Y'_{a,3} + Y'_{c,6A}) \pm 0,5(Y''_{a,5A} + Y''_{c,5A}) = -0,5(0,062 + 0,058)P' \mp 0,083 P'' = -0,060 \cdot 315 \mp 0,083 \cdot 165 = -18,9 \mp 13,7 = \begin{cases} -32,6 \\ -5,2 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$Y_{bd} = 0,5(Y'_{b,6B} + Y'_{d,2}) \pm 0,5(Y''_{b,5A} + Y''_{d,5A}) = -0,5(0,048 + 0,047)P' \mp 0,083 P'' = -0,0475 \cdot 315 \mp 0,083 \cdot 165 = -15,0 \mp 13,7 = \begin{cases} -28,7 \\ -1,3 \end{cases} \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

- Dimenzionisanje:

MB 30 GA 240/360

 $\sigma_{b/a} = 12/180 \text{ MPa}$   $r = 2,19$ 

extr.  $X = X_{ab} = -34,0 \text{ kNm/m'}$

$$h_x = r \sqrt{\frac{M}{b}} = 2,19 \sqrt{34} = 12,8 \text{ cm}$$

$$d = h_x + \frac{\phi_x}{2} + a_o = 12,8 + \frac{1,2}{2} + 1,5 = 14,9 \text{ cm}$$

extr.  $Y = Y_{ac} = -32,6 \text{ kNm/m'}$

$$h_y = r \sqrt{\frac{M}{b}} = 2,19 \sqrt{32,6} = 12,5 \text{ cm}$$

$$d = h_y + \frac{\phi_y}{2} + \phi_x + a_o = 12,5 + \frac{1,2}{2} + 1,2 + 1,5 = 15,8 \text{ cm}$$

min  $d = \frac{l_o}{35} = \frac{0,8 \cdot 500}{35} = 11,4 \text{ cm}$

max  $d = 15,8 \text{ cm}$  usvojeno  $d = 16 \text{ cm}$

$$h_x \pm d - \frac{\phi_x}{2} - a_o = 16 - \frac{1,2}{2} - 1,5 = 13,9 \text{ cm}$$

$$h_y = d - \frac{\phi_y}{2} - \phi_x - a_o = 16 - \frac{1,2}{2} - 1,2 - 1,5 = 12,7 \text{ cm}$$

$$F_{ax} \approx \frac{M_x}{0,9h_x\sigma_a} = \frac{M_x}{0,9 \cdot 13,9 \cdot 18} = 4,44 \cdot 10^{-3} M_x$$

$$F_{ay} \approx \frac{M_y}{0,9h_y\sigma_a} = \frac{M_y}{0,9 \cdot 12,7 \cdot 18} = 4,86 \cdot 10^{-3} M_y$$

NAPOMENA: Prilikom usvajanja armature težiti da se u trakama usvaja isti razmak šipki

POLJE:

max  $M_{ax} = 18,2 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ax} = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 18,2 \cdot 10^2 = 8,08 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ax} = \frac{f_a(1)}{F_{ax}} 100 = \frac{1,13 \cdot 100}{8,08} = 14,0 \text{ cm} \quad \phi 12/14$$

max  $M_{bx} = 16,6 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ax} = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 16,6 \cdot 10^2 = 7,37 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ax} = \frac{1,13 \cdot 100}{7,37} = 15,3 \text{ cm} \quad \phi 12/14$$

max  $M_{cx} = 16,3 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ax} = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 16,3 \cdot 10^2 = 7,24 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ax} = \frac{1,13 \cdot 100}{7,24} = 15,6 \text{ cm} \quad \phi 12/15$$

max  $M_{dx} = 15,7 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ax} = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 15,7 \cdot 10^2 = 6,97 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ax} = \frac{1,13 \cdot 100}{6,97} = 16,2 \text{ cm} \quad \phi 12/15$$

max  $M_{ay} = 13,5 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ay} = 4,86 \cdot 10^{-3} \cdot 13,5 \cdot 10^2 = 6,56 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ay} = \frac{1,13 \cdot 100}{6,56} = 17,2 \text{ cm} \quad \phi 12/17$$

max  $M_{by} = 11,3 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ay} = 4,86 \cdot 10^{-3} \cdot 11,3 \cdot 10^2 = 5,49 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ay} = \frac{1,13 \cdot 100}{5,49} = 20,5 \text{ cm} \quad \phi 12/19$$

max  $M_{cy} = \max M_{ay} = 13,5 \text{ kNm/m'}$

$$e_{ay} = 17,2 \text{ cm} \quad \phi 12/17$$

max  $M_{dy} = 11,7 \text{ kNm/m'}$

$$F_{ay} = 4,86 \cdot 10^{-3} \cdot 11,7 \cdot 10^2 = 5,69 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$e_{ay} = \frac{1,13 \cdot 100}{5,69} = 19,9 \text{ cm} \quad \phi 12/19$$

OSLONCI: Armatura nad osloncem se dobija povijanjem svake druge šipke iz susjednih polja, tako da se formira armatura po količini jednaka poluzbiru armature iz susjednih polja i zatim se doda odgovarajući broj šipki koji nedostaje.

$$X_{ab} = -34,0 \text{ kNm/m'}$$

$$\text{pot } F_a = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 34,0 \cdot 10^2 = 15,1 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$\text{postoji } F_{a1} = \phi 12/14 = \frac{1,13 \cdot 100}{14} = 8,07 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$\Delta F = 14,25 - 8,07 = 6,18 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{Dodajemo još } \phi 12/14 = 8,07 \text{ cm}^2/\text{m}' > 6,18 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$X_{cd} = -31,6 \text{ kNm/m}'$$

$$\text{pot } F_a = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 31,6 \cdot 10^2 = 14,03 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{postoji } F_{a1} = \phi 12/15 = \frac{1,13 \cdot 100}{15} = 7,53 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\Delta F = 14,03 - 7,53 = 6,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{Dodajemo još } \phi 12/15 = 7,53 \text{ cm}^2/\text{m}' > 6,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$X_d = -30,2 \text{ kNm/m}'$$

$$\text{potr. } F_a = 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 30,2 \cdot 10^2 = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{postoji } F_a = \phi 12/15 = 7,53 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\Delta F = 13,40 - 7,53 = 5,87 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{dodajemo još } \phi 12/15 = 7,53 \text{ cm}^2/\text{m}' > 5,87 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$Y_{ac} = -32,6 \text{ kNm/m}'$$

$$\text{pot } F_a = 4,86 \cdot 10^{-3} \cdot 32,6 \cdot 10^2 = 15,85 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{postoji } F_{a1} = \phi 12/17 = \frac{1,13 \cdot 100}{17} = 6,65 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\Delta F = 15,85 - 6,65 = 9,20 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{Dodajemo još } \phi 14/17 = \frac{1,54 \cdot 100}{17} = 9,06 \approx 9,20 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$Y_{bd} = -28,7 \text{ kNm/m}'$$

$$\text{pot } F_a = 4,86 \cdot 10^{-3} \cdot 28,7 \cdot 10^2 = 13,95 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\text{postoji } F_{a1} = \phi 12/19 = \frac{1,13 \cdot 100}{19} = 5,95 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$\Delta F = 13,95 - 5,95 = 8,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

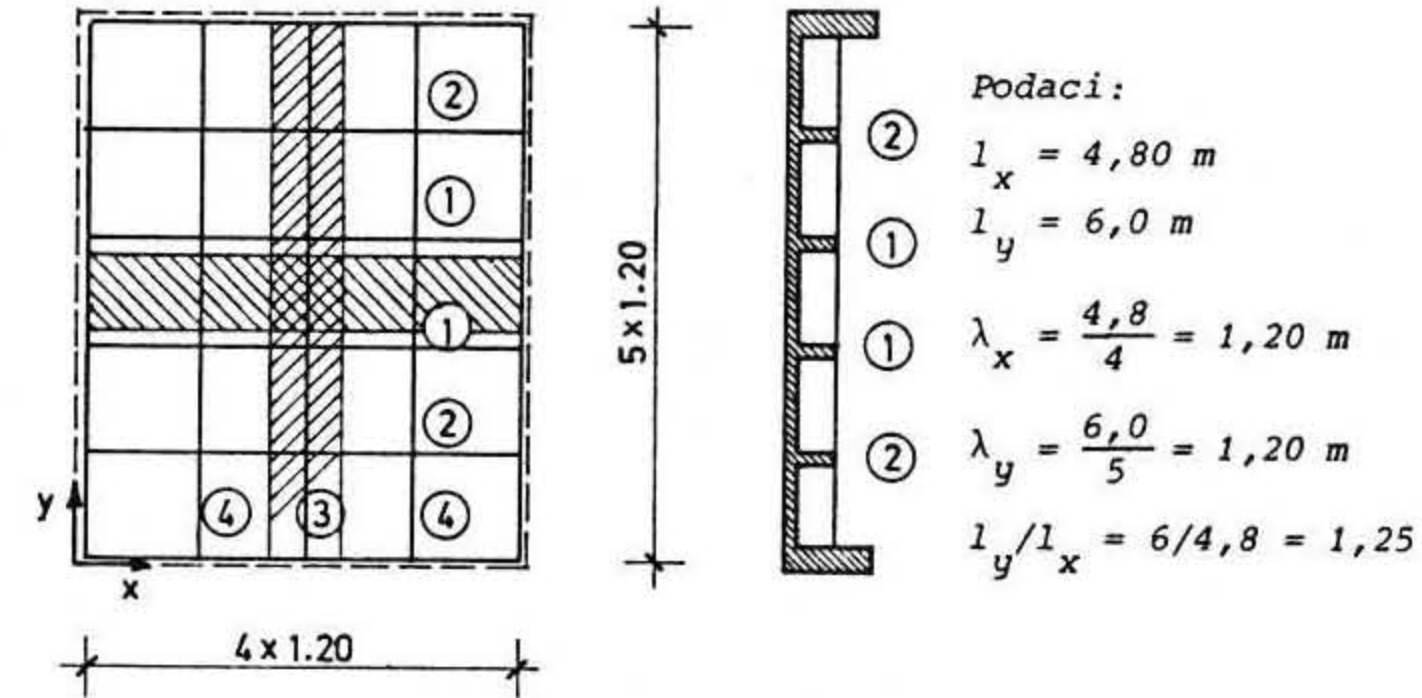
$$\text{Dodajemo još } \phi 14/19 = \frac{1,54 \cdot 100}{19} = 8,10 > 8,00 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

NAPOMENA:

Armatura nad osloncima se može i potpuno posebno usvojiti ako se ne vrši povijanje armature iz polja.

### BROJNI PRIMER 11

Sračunati statičke uticaje u konstrukciji tipa kasetirane tavanice. Rebra tavanice su postavljena u dva ortogonalna pravca, na međusobnom rastojanju 1,20m i istih su geometrijskih karakteristika (sl. 2.52). Zadato korisno opterećenje je  $p = 10,0 \text{ kN/m}^2$ . MB30, GA240/360



Sl. 2.52

Analiza opterećenja:

$$\text{Sopstvena težina ploče} \quad 0,05 \cdot 25,0 = 1,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sopstvena težina rebara} \quad \frac{0,10 \cdot 0,15 \cdot 25,0 (4 \cdot 4,8 + 3 \cdot 6,0)}{4,8 \cdot 6,0} = 0,50$$

$$\text{Pod} \quad = 1,0$$

$$g = 2,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Korisno} \quad p = 10,00$$

$$q = 12,75 \text{ kN/m}^2$$

$$P = 12,75 \cdot 4,8 \cdot 6,0 = 367,2 \text{ kN}$$

$$m_x = 0,050 \cdot 367,2 = 18,36 \text{ kNm/m}'$$

$$m_y = 0,036 \cdot 367,2 = 13,22 \text{ kNm/m}'$$

$$M_{ys} = \lambda_x m_y = 1,2 \cdot 13,22 = 15,86 \text{ kNm}$$

$$M_{xs} = \lambda_y m_x = 1,2 \cdot 18,36 = 22,03 \text{ kNm}$$

Momenti u rebrima

$$\frac{y_1}{l_y} = \frac{2,4}{6} = 0,4 \quad \frac{y_2}{l_y} = \frac{1,2}{6} = 0,2$$

$$M_{x1} = \frac{w_{1y}}{w} M_{sx} = \frac{16}{5} \left[ 0,4 - 2 \cdot 0,4^3 + 0,4^4 \right] 22,03 = 21,00 \text{ kNm}$$

$$M_{x2} = \frac{w_{2y}}{w} M_{sx} = \frac{16}{5} \left[ 0,2 - 2 \cdot 0,2^3 + 0,2^4 \right] 22,03 = 13,10 \text{ kNm}$$

$$\frac{x_3}{l_x} = \frac{2,4}{4,8} = 0,5 \quad \frac{x_4}{l_x} = \frac{1,2}{4,8} = 0,25$$

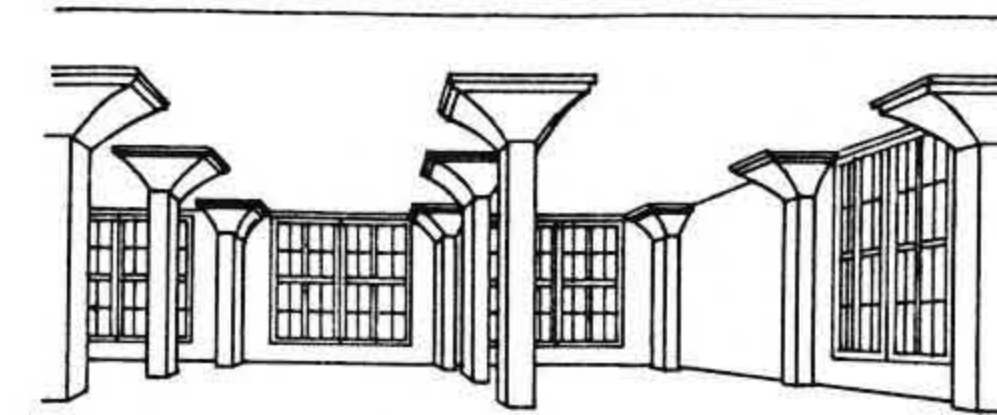
$$M_{y3} = \frac{w_{3x}}{w} M_{sy} = \frac{16}{5} \left[ 0,5 - 2 \cdot 0,5^3 + 0,5^4 \right] 15,86 = 15,86 \text{ kNm}$$

$$M_{y4} = \frac{w_{4x}}{w} M_{sy} = \frac{16}{5} \left[ 0,25 - 2 \cdot 0,25^3 + 0,25^4 \right] 15,86 = 11,30 \text{ kNm}$$

## 2.3. PEČURKASTE PLOČE ( PLOČE OSLONJENE NA STUBOVE )

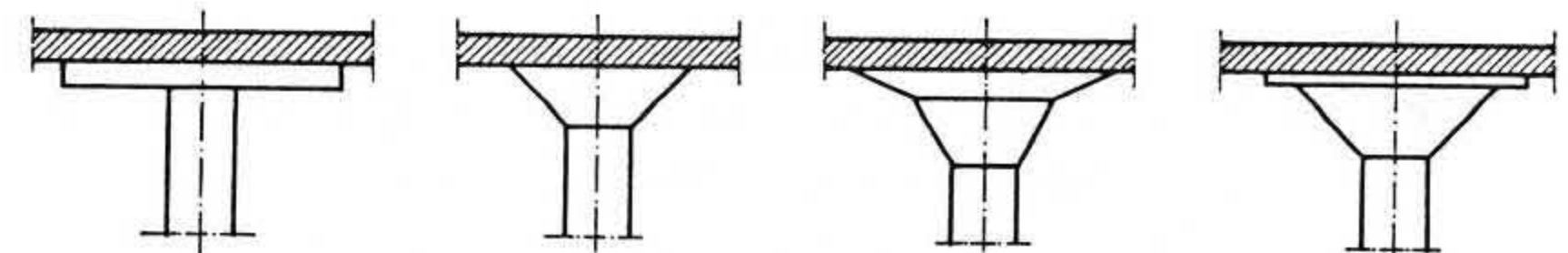
### 2.3.1. Karakteristike i primena

Početakom XX veka pojavile su se u SAD međuspratne konstrukcije tipa pune ravne ploče, oslonjene na stubove (bez podvalka), koje su zbog svoje jednostavnosti i ekonomičnosti izrade ubrzo našle široku primenu u konstrukcijama zgradarstva (sl. 2.53).



Sl. 2.53

Ploča ovakvog tipa izvodi se obično monolitno i kruto je vezana sa stubovima. Na mestu veze ploče i stuba po pravilu se konstruiše ojačanje u vidu kapitela, različitog oblika, radi smanjenja smičućih napona i obezbedjenja ploče od probijanja. Neki od mogućih načina konstruisanja kapitela dati su na sl. 2.54



Sl. 2.54