

2. PRINCIPI KONSTRUISANJA I METODE PRORAČUNA ARMIRANOBETONSKIH RAVNIH POVRŠINSKIH ELEMENATA

2.1. VRSTE RAVNIH POVRŠINSKIH ELEMENATA, KARAKTERISTIKE I PRIMENA

U armiranobetonskim konstrukcijama primenjuju se najčešće dva osnovna tipa ravnih površinskih nosača:

1. armiranobetonske ploče
2. armiranobetonski zidni nosači (šajbne, visoke grede, pločasti nosači)

Armiranobetonske ploče su ravni površinski nosači kod kojih je debljina mala u odnosu na ostale dimenzije. Opterećene su po pravilu na savijanje, opterećenjem koje deluje upravno na srednju ravan ploče. Pod dejstvom opterećenja ploča se deformiše i u njoj se javljaju presečne sile: momenti savijanja, momenti uvijanja (torzije) i transverzalne sile. U pločama se mogu javiti i aksijalne sile od dejstva opterećenja u srednjoj ravni ploče.

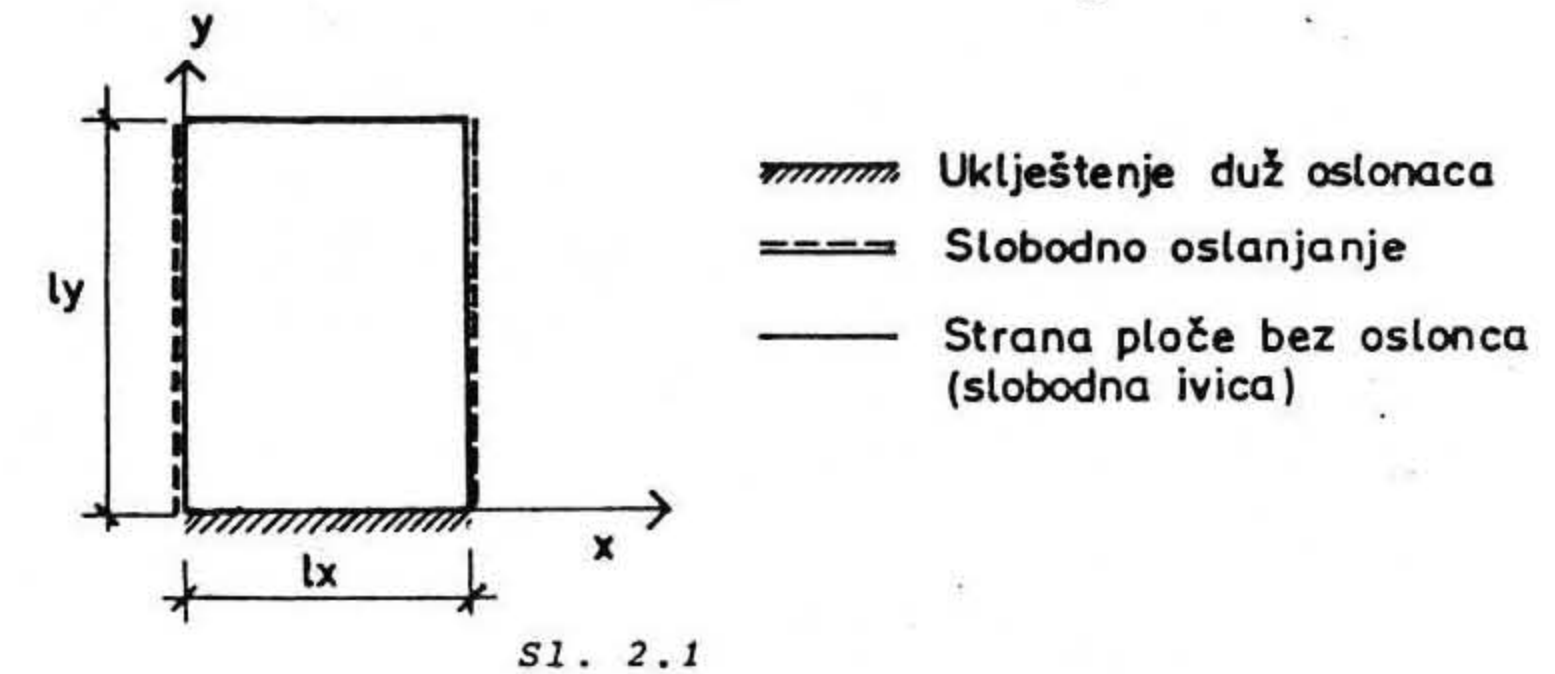
Ploče opterećene na savijanje su dvoosno napregnute. Napone pritiska prima betonski deo preseka dok napone zatezanja preuzima armatura postavljena najčešće u dva ortogonalna pravca.

Opterećenje upravno na srednju ravan ploče može da deluje bilo kao jednakopodeljeno po celoj površini ploče ili delimično, kao trouglasto ili trapezno rasporedjeno (uticaji od pritiska vode ili tla), odnosno kao koncentrisano u tačkama ili linijski. Koncentrisano opterećenje u realnim uslovima uvek deluje preko određene površine.

Površina koju pokriva ploča najčešće je pravougaona, ali može biti i drugih oblika (kružna, trougaona, trapezna), pa se po obliku osnove ploče razvrstavaju u pravougaone, trougaone, trapezne, poligonalne, kružne i ploče nepravilnog oblika.

Ploča može biti oslonjena linijski (na zid ili gredu) ili u tačkama (na stubove) ili može imati slobodnu ivicu (jedna ili više strana ploče može biti bez oslonca). U slučaju linijskog oslanjanja ploča može biti slobodno oslonjena (kada rotacija na osloncu nije sprečena-zglobna veza) ili kruto ili elastično uklještena (kada je rotacija potpuno ili delimično sprečena). Na slici 2.1. prikazane su oznake koje će se upotrebljavati za pojedine vrste

oslanjanja ploče. Kod ploča pravougaone osnove kraća strana naloganja označavaće se uvek sa l_x , a duža sa l_y .



Za odnos debljine (d) i kraće strane (l_x) ploče $d/l_x < 0,2$ ploče se računaju kao tanke. Statički uticaji se određuju primenom teorije elastičnosti ili teorije plastičnosti. U protivnom, kada je odnos $d/l_x > 0,2$ proračun se vrši po teoriji debelih ploča.

Ploče, po pravilu armirane, nalaze vrlo široku primenu u armiranobetonskim konstrukcijama u izradi stambenih i industrijskih objekata, u hidrotehničkim konstrukcijama i praktično svim ostalim objektima od armiranog betona.

U inženjerskim konstrukcijama primenjuju se uglavnom tanke ploče. Debele ploče se primenjuju redje, uglavnom kod konstrukcija temelja i skloništa.

Armiranobetonski zidni nosači su u suštini gredni nosači male širine i relativno velike visine u odnosu na raspon. Opterećenje koje deluje u srednjoj ravni zidnog nosača izaziva u presećima u opštem slučaju normalne i smičuće napone koji se ne mogu proračunavati po teoriji grednih linijskih nosača. Raspored ovih napona se mora tačnije određivati saglasno sa teorijom površinskih nosača opterećenih u svojoj ravni.

Proračunavaju se uglavnom po teoriji elastičnosti, mada se do vrlo dobrih rezultata dolazi i upotrebom razvijenih metoda teorije plastičnosti i granične analize.

Zidni nosači su sastavni deo velikog broja inženjerskih konstrukcija: višespratnih zgrada, silosa, bunkera i dr.

2.2. PRAVOUGAONE PLOČE

Ploče na pravougaonoj osnovi, linijski oslonjene po obimu, u zavisnosti od odnosa strana naleganja i konturnih uslova mogu se proračunavati kao:

- Ploče koje prenose opterećenje u jednom pravcu (kao linijski nosači) - u slučajevima da je ploča oslonjena samo na dve naspramne strane ili da je ploča oslonjena po svim stranama ali da je odnos raspona $l_y/l_x > 2$ (kada se računaju sa rasponom u kraćem pravcu).

- Ploče koje prenose opterećenje u dva pravca (kao površinski elementi) za odnos raspona $l_y/l_x < 2$.

Veličine presečnih sila u ploči zavise od odnosa strana i konturnih uslova oslanjanja ploče.

Ploče na pravougaonoj osnovi, odnosa strana $l_y/l_x < 2$, nazivaju se i krstasto armirane ploče po zategnutoj armaturi koja se postavlja u dva ortogonalna pravca (za koje se sračunavaju ekstremni statički uticaji i vrši dimenzionisanje i armiranje).

Kod svih ploča se ograničava donja granica debljine i to na 7 cm za ploče opterećene podeljenim opterećenjem, na 10 cm za ploče po kojima se kreću putnička vozila i na 12 cm za ploče opterećene teretnim vozilima. Kod krovnih ploča najmanja debljina može biti i 5 cm.

Ako se za ploče ne vrši dokaz deformacija minimalna debljina iznosi $d_{min} = l_o/35$, gde je l_o razmak nultih tačaka momentne površne po kraćem rasponu. Ovaj razmak l_o za kontinualne ploče i ploče delimično uklještenne može se uzeti da iznosi približno 4/5 raspona. Ograničenje debljine ploče ne odnosi se na sitnorebraste konstrukcije.

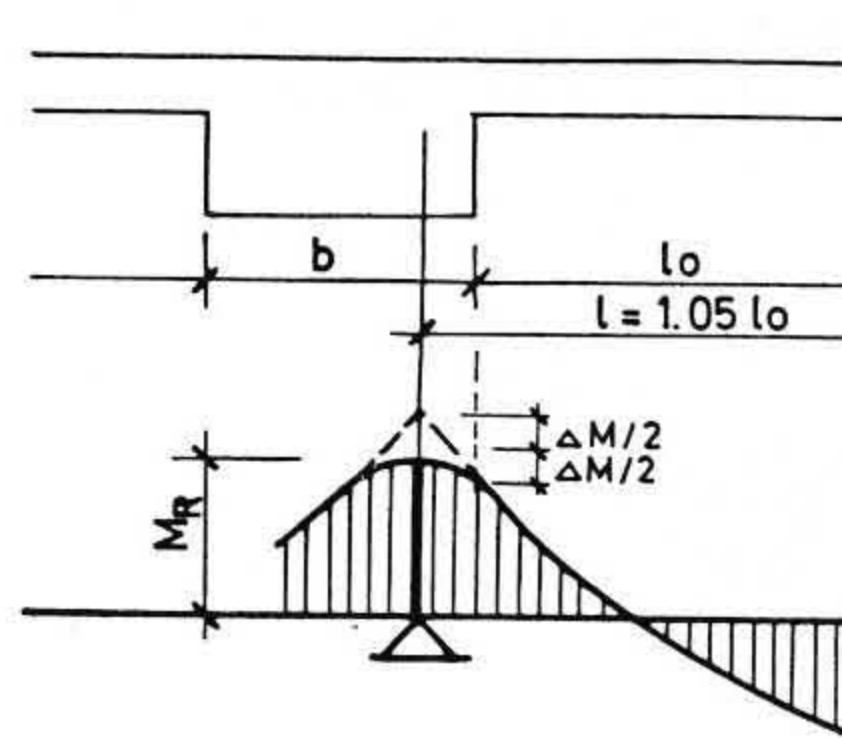
Ploča može biti pojedinačna sa rasponom l_x i l_y ili pak kontinualna (sistem ploča) sa istim ili različitim rasponima u odgovarajućim pravcima x i y .

Ako je ploča pojedinačna, teorijski raspon za svaki pravac sračunava se sa 5%-nim povećanjem raspona svetlog otvora pa je

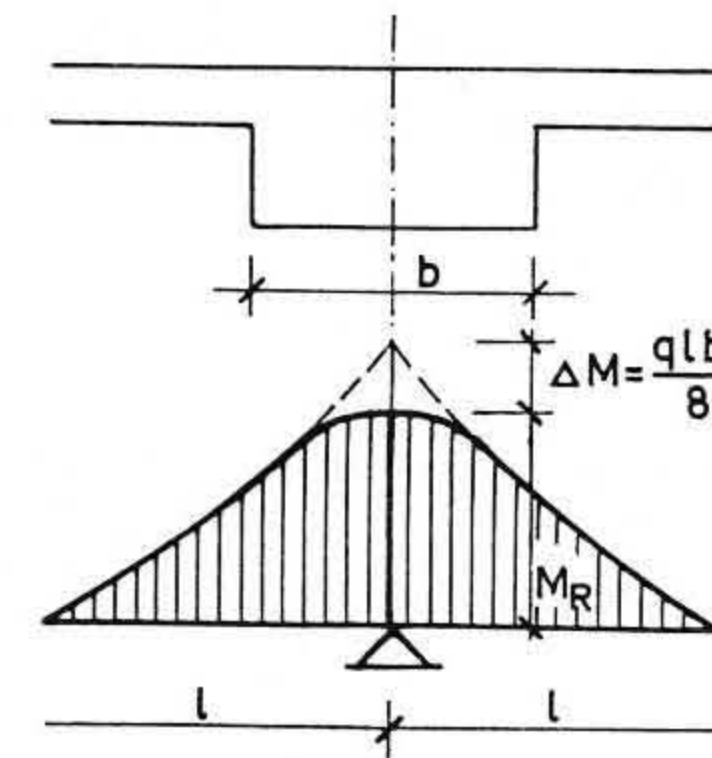
$$l_x = 1,05 l_{x0} \text{ odnosno } l_y = 1,05 l_{y0} \quad (2.1)$$

Za kontinualne ploče, uzimaju se za raspone l_x odnosno l_y , osovinska odstojanja između zidova ili nosača (greda) na koje se ploča linijski oslanja. Ako je širina oslonačkih greda ili zidova veća od 10% svetlog otvora ($b > 0,1 l_o$), za raspon kontinualne ploče može se uzeti svetli otvor uvećan za 5% ($1,05 l_o$) pa se sa tim fiktivnim rasponima formira šema nosača za proračun statičkih uticaja. Dimenzionisanje preseka na osloncima se po pravilu vrši prema redukovanim momentima M_R (sl. 2.2.).

Za proračun ploča međuspratnih konstrukcija u zgradarstvu, gde oslonci ploča mogu biti široki ($b > 0,1 l$), mogu se oslonački momenti sračunati za kontinualnu ploču sa neredukovanim rasponima i na osloncu umanjiti za veličinu ΔM (sl. 2.3.):

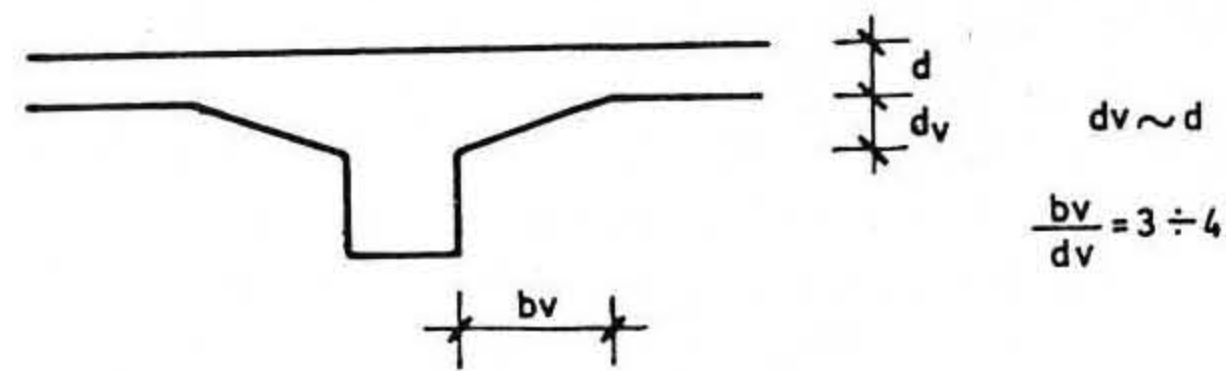


Sl. 2.2.



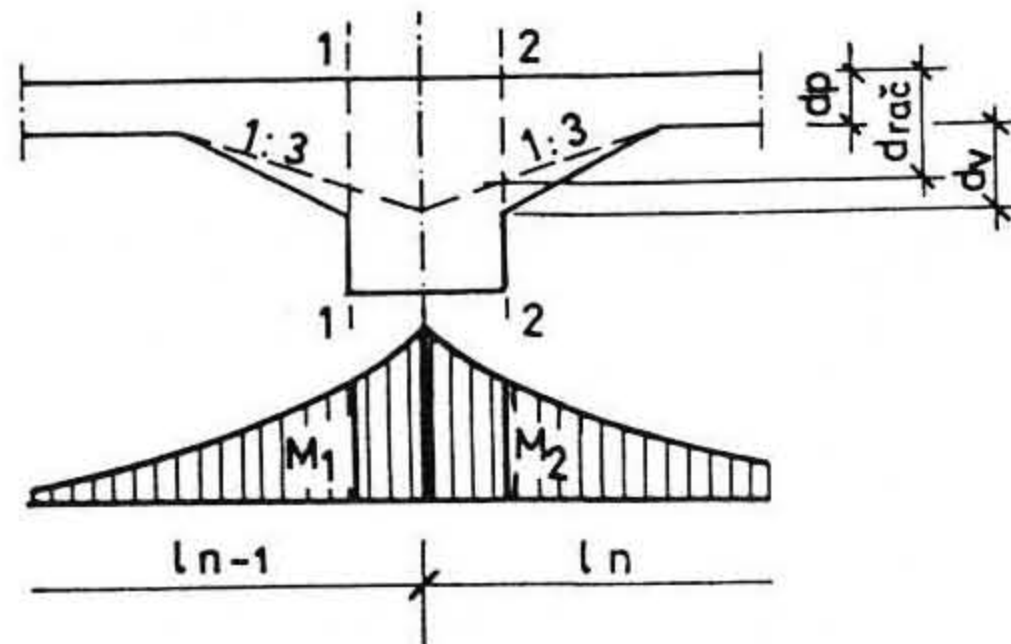
Sl. 2.3.

Ploče se projektuju i izvode po pravilu konstantne debljine. Izuzetno, debljina ploče se nad osloncima može povećati. Povećanje debljine ploče vrši se formiranjem vute, najčešćeg nagiba 1:3 ili 1:4. Visina vute je obično približno jednaka debljini ploče (sl. 2.4). Sa ovakvim podebljanjem ploče nad osloncima, za proračun statičkih uticaja ne treba uzimati promenu krutosti od uticaja vute. Prilikom dimenzionisanja ploče sa vutama korisna (računska) visina preseka na mestu ojačanja ne može biti veća nego što bi bila sa vutom nagiba 1:3 (sl. 2.5).



Sl. 2.4.

Ploče se po pravilu dimenzionišu prema momentima savijanja ili prema momentima savijanja i aksijalnim silama (ukoliko postoje od opterećenja u srednjoj ravni ploče). Transverzalne sile su po pravilu takve da nije potrebna provera smičućih napona τ , izuzev kod temeljnih ploča, gde su transverzalne sile značajne, ili pak ako je opterećenje ploče veliko a raspon mali.



Sl. 2.5.

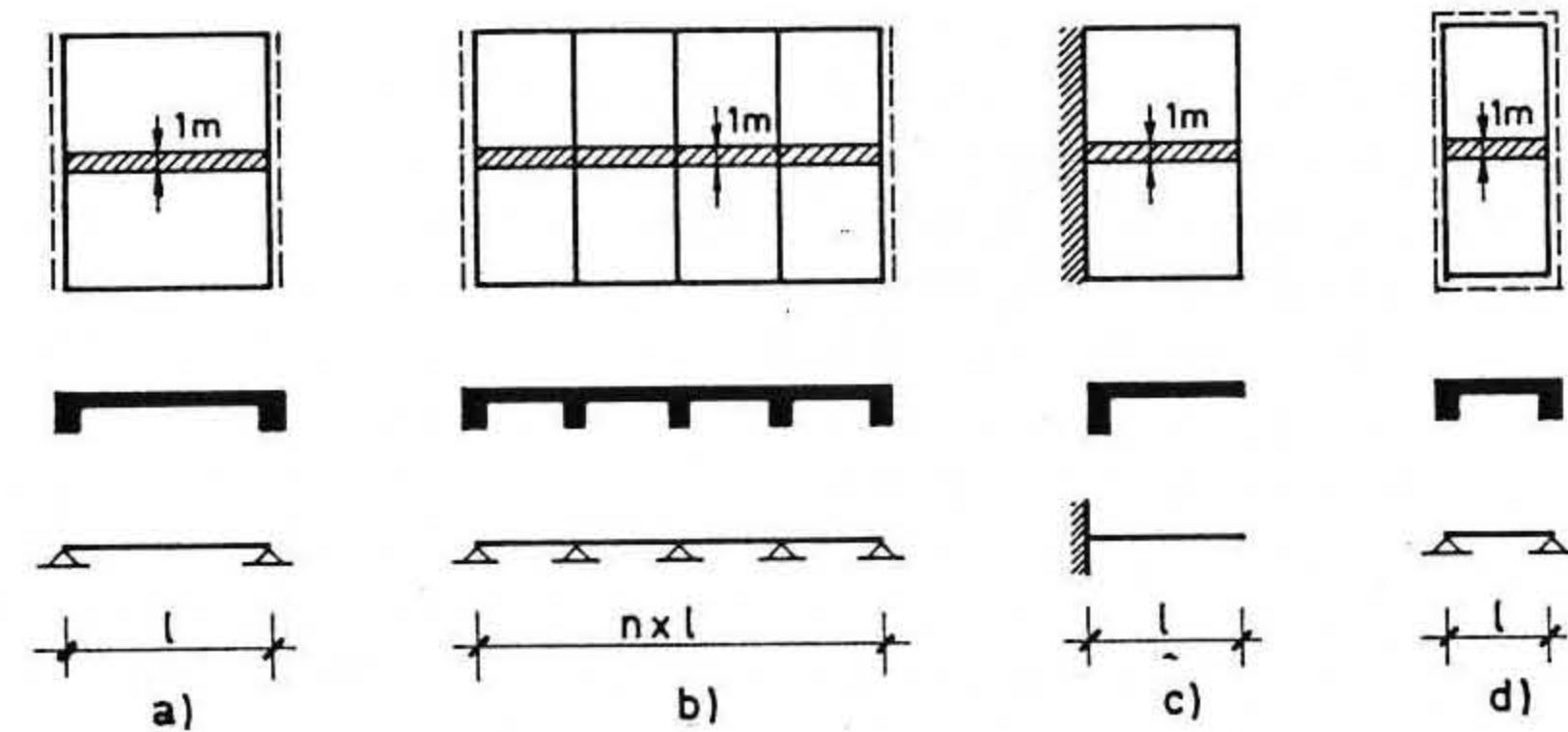
2.2.1. Ploče koje prenose opterećenje u jednom pravcu

Ploče se tretiraju kao linijski nosači (smatra se da opterećenje prenose u jednom pravcu) u sledećim slučajevima:

a) kada je ploča oslonjena samo na dve suprotne strane, preko jednog ili više raspona (sl. 2.6.a,b).

b) kada je uklještena sa jedne strane, a ostale strane su slobodne (konzolna ploča - sl. 2.6.c).

c) kada je oslonjena na tri ili četiri strane, ali je odnos strana naleganja ploče $l_y/l_x > 2$ (sl. 2.6.d).



Sl. 2.6.

U prva dva slučaja dovoljno je tretirati traku jedinične širine kao običan linijski nosač. Sračunati uticaji važe za svaku susednu traku, pa se glavna armatura (f_a) određuje dimenzionisanjem i postavlja u pravcu raspona. Zbog sprečenosti bočnih deformacija ploče javljaju se i momenti u drugom ortogonalnom pravcu koji su po vrednosti jednaki:

$$M_y = \nu M_x \quad (2.2)$$

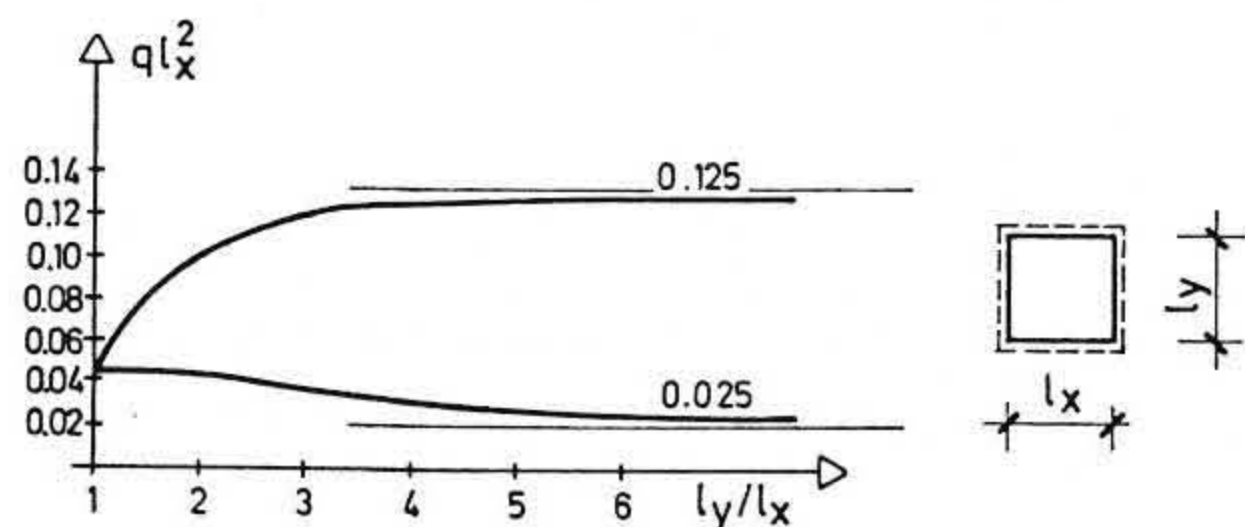
gde je ν = Poasonov koeficijent, koji za beton iznosi približno 0,16 - 0,2. Postavljanjem odgovarajuće armature, koja se naziva podeona, prihvataju se naponi zatezanja, a velična podeone armature propisima je definisana kao minimalno dvadeset procenata od glavne armature.

$$\min f_{ap} = 0,2 f_a \quad (2.3)$$

Za odnos raspona $l_y/l_x > 2$ ploče se tretiraju kao linijski elementi zbog toga što su momenti savijanja u pravcu kraćeg raspona (M_x) primarni, dok su momenti savijanja u dužem pravcu (M_y) znatno manji. Ilustracije radi, na sl. 2.7. prikazane su vrednosti momenata savijanja M_x i M_y za slobodno oslonjenu ploču po svim ivicama, opterećenu ravnomernim opterećenjem u zavisnosti od odnosa strana l_y/l_x , a za Poasonov koeficijent $\nu = 0,2$. Sa slike je jasno da za vrednosti $l_y/l_x > 2$, veličina momenta u kraćem pravcu teži momentu linijskog nosača (trake) na dva oslonca ($max M_x = 0,125 ql_x^2$), sa kojim se momentom ploča sračunava i dimenzioniše.

U pravcu dužeg raspona moment M_y opada ka vrednosti:

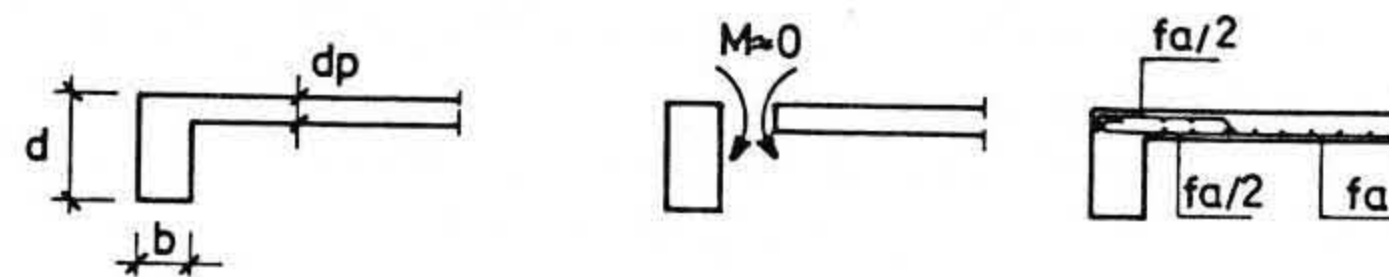
$M_y \rightarrow \nu max M_x = 0,2 \cdot 0,125 ql_x^2$, tako da je i u ovom slučaju propisima predviđena podeona armatura praktično dovoljna da prihvati napone zatezanja od savijanja, pa se ovakve ploče mogu tretirati kao da nose opterećenje samo u jednom-kraćem pravcu.



Sl. 2.7.

Proračun statičkih uticaja se vrši za traku jedinične širine, usvajajući odgovarajuće opterećenje i konturne uslove.

U slučajevima ploča preko jednog ili više raspona, veza između ploče i ivične grede je u realnosti elastično uklještenje, gde stepen uklještenja zavisi i od torziona krutosti grede na koju se ploča oslanja. U praktičnim proračunima usvaja se najčešće da je ploča slobodno oslonjena, čime se u njoj dobijaju nešto veći momenti savijanja i time ostaje na strani sigurnosti. Podizanjem polovine armature u gornju zonu iznad krajnjeg oslonca prihvataju se eventualno ostvareni negativni momenti savijanja (sl. 2.8).

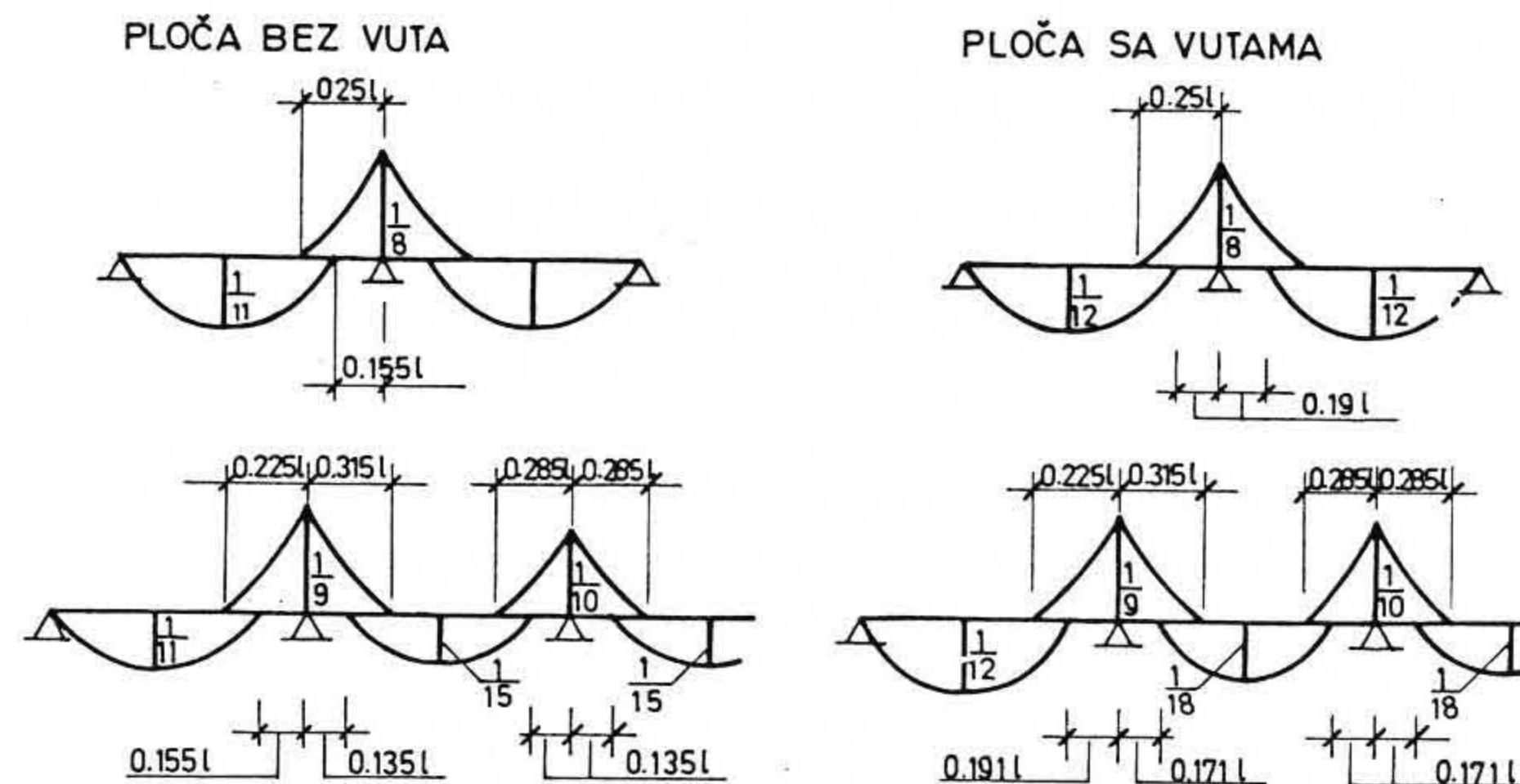


Sl. 2.8.

Za proračun statičkih uticaja kontinualnih ploča, međusobno jednakih raspona ili raspona koji se međusobno razlikuju do 20%, pod dejstvom jednakopodeljenog opterećenja, mogu se primeniti približni obrasci, za ploče sa ili bez vuta, u obliku:

$$max M = (g + p) k l^2 \tag{2.4}$$

gde je g stalno opterećenje, a p korisno opterećenje na ploči. Koeficijenti k prikazani su na sl. 2.9. za ploče preko dva ili više raspona.



Sl. 2.9.

Za jednako podeljena opterećenja sračunavaju se najveći uticaji u polju i nad osloncima i to za traku širine $1m^2$, pa su momenti izraženi u kN odnosno kNm/m^2 .

Dimenzionisanje ploče vrši se za presek sa širinom $b = 1m$ gde su statička visina (h) i površina armature (f_a):

$$h = k_b \sqrt{\frac{M_u}{\beta_B} \left(\frac{kN}{kN/cm^2} \right)} \quad (cm) \quad (2.5)$$

$$f_a = h \bar{\mu} \frac{\beta_B}{\sigma_v} \quad (cm^2/m^2) \quad (2.6)$$

pri čemu mora biti $f_a \geq 0,15 F_b \%$ za glatki čelik GA, $0,10 F_b \%$ za rebrast čelik RA, $0,075 F_b \%$ za mrežastu armaturu MA.

Razmak noseće (glavne) armature, površine jedne šipke f_1 , postavljene duž manjeg raspona ploče l_x , sračunava se kao:

$$e = \frac{f_1 \cdot 100}{f_a} \quad (cm) \quad (2.7)$$

Veličinu e treba zaokružiti na manju vrednost, kako bi se ostalo na strani sigurnosti.

Armatura po dužem rasponu, tzv. podeona armatura uzima se najmanje

$$f_{ap} \geq 0,2 f_a \text{ za jednako podeljena opterećenja}$$

$$f_{ap} \leq 0,65 f_a \text{ za koncentrisana opterećenja.}$$

Podeona armatura f_{ap} nesme biti manja od $0,1 F_b \%$ za GA, $0,085 F_b \%$ za RA i $0,075 F_b \%$ za MA.

gde je $F_b =$ površina preseka ploče $= 100 d \text{ (cm}^2\text{)}$.

Maksimalni razmak šipki glavne armature kod ploča iznosi:

$max e \leq 2d$ odnosno 20 cm za jednako podeljena opterećenja i za ploče debljine $d < 60 \text{ cm}$.

U području oslonaca gde se armatura smanjuje zbog smanjenja momenata razmak šipki ne sme iznositi više od 40 cm .

$$max e = \frac{d}{3} \text{ za ploče } d > 60 \text{ cm}$$

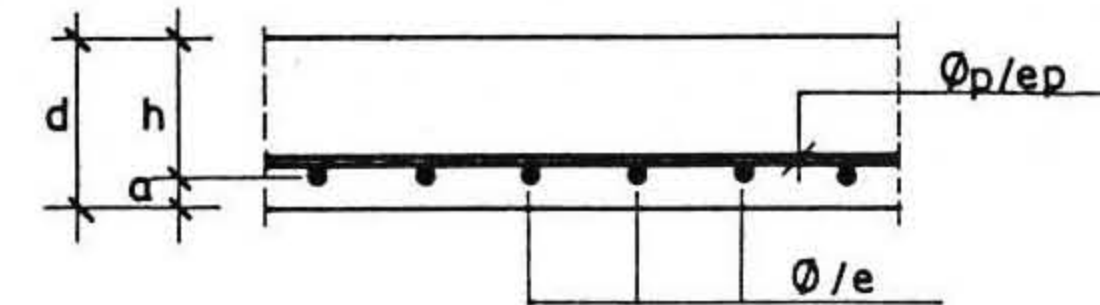
$max e \leq 1,5 d$ odnosno 20 cm za koncentrisana opterećenja.

Razmak šipki podeone armature ograničen je na:

$max e_p \leq 4 d$ za jednako podeljena i $\leq 3d$ za koncentrisana opterećenja. Razmak podeone armature ograničava se na najviše 30 cm izuzev u području oslanjanja, gde se zbog smanjenja momenata M_y smanjuje i armatura ali do najviše 40 cm razmaka šipki.

Radi mogućnosti pravilnog ugradjivanja betona, razmak armature u ploči ne bi trebalo da bude ni suviše mali. Preporučuje se da čist razmak između šipki ne bude manji od 5 cm . Ako se računski dobije manji potreban razmak, armatura se može grupisati po dve bliske šipke ili se može redjati u vertikalnim redovima (kod ploča veće visine),

Armatura u preseku ploče prikazana je na sl. 2.10.



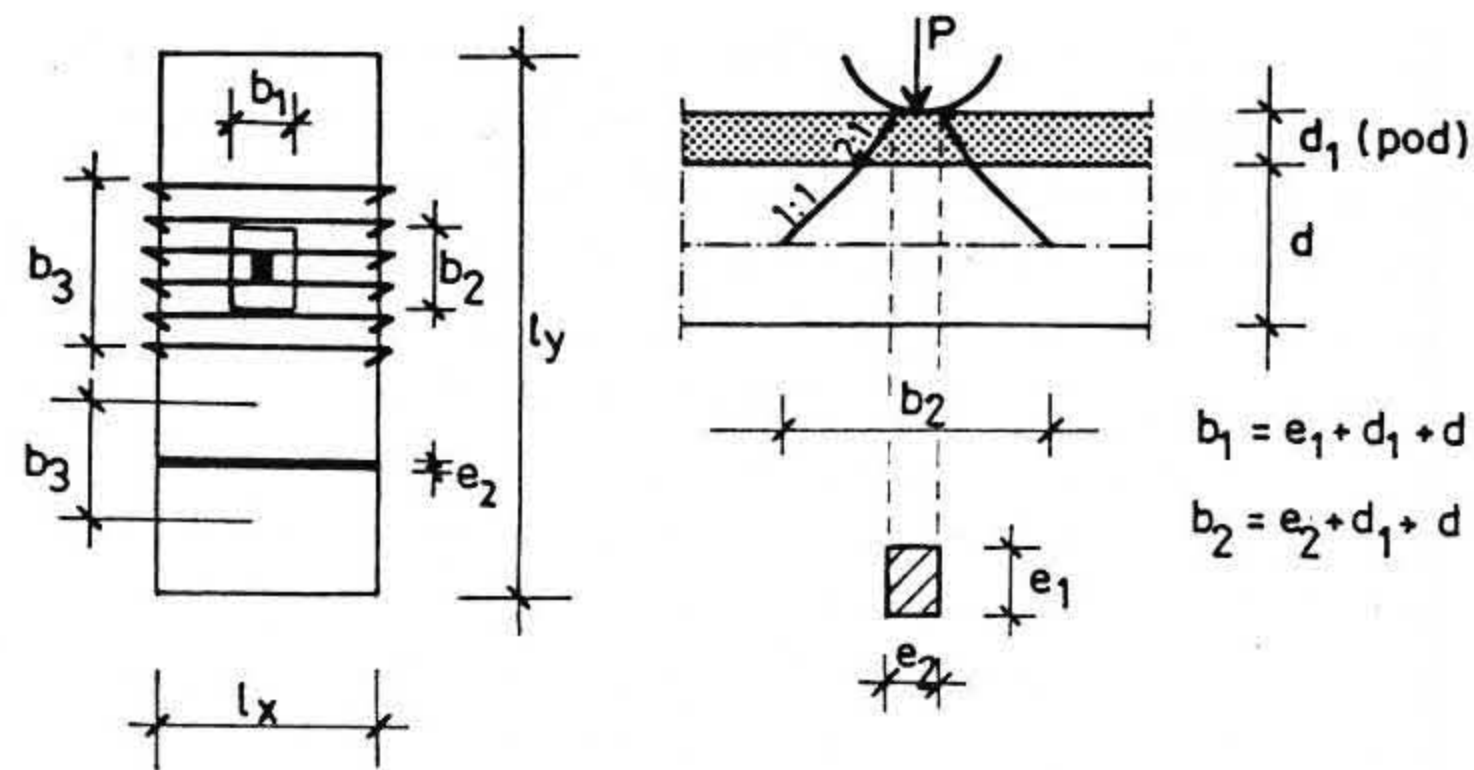
Sl. 2.10.

Uticaj koncentrisanih sila na ploču uzima se preko raspodelne površine $b_1 \cdot b_2$, pa se za opterećenje na toj površini sračunava uticaj od koncentrisane sile (momenat savijanja po kraćem rasponu $M_x^P \text{ (kNm/b}_3\text{)}$). Uticaj od koncentrisane sile rasprostire se na širinu ploče b_3 , koja je prema PBAB (sl. 2.11).

$$b_3 = b_2 + \frac{f_{ap}}{f_a} l_x \quad (2.8)$$

U izrazu (2.8) je:

- f_{ap}/f_a unapred-usvojeni odnos podeone i glavne noseće armature koji ne može biti veći od $0,65$
- b_2 ili b_1 širina rasprostiranja opterećenja u srednjoj ravni ploče u pravcu upravnom na glavnu armaturu za uticaj koncentrisane sile



Sl. 2.11.

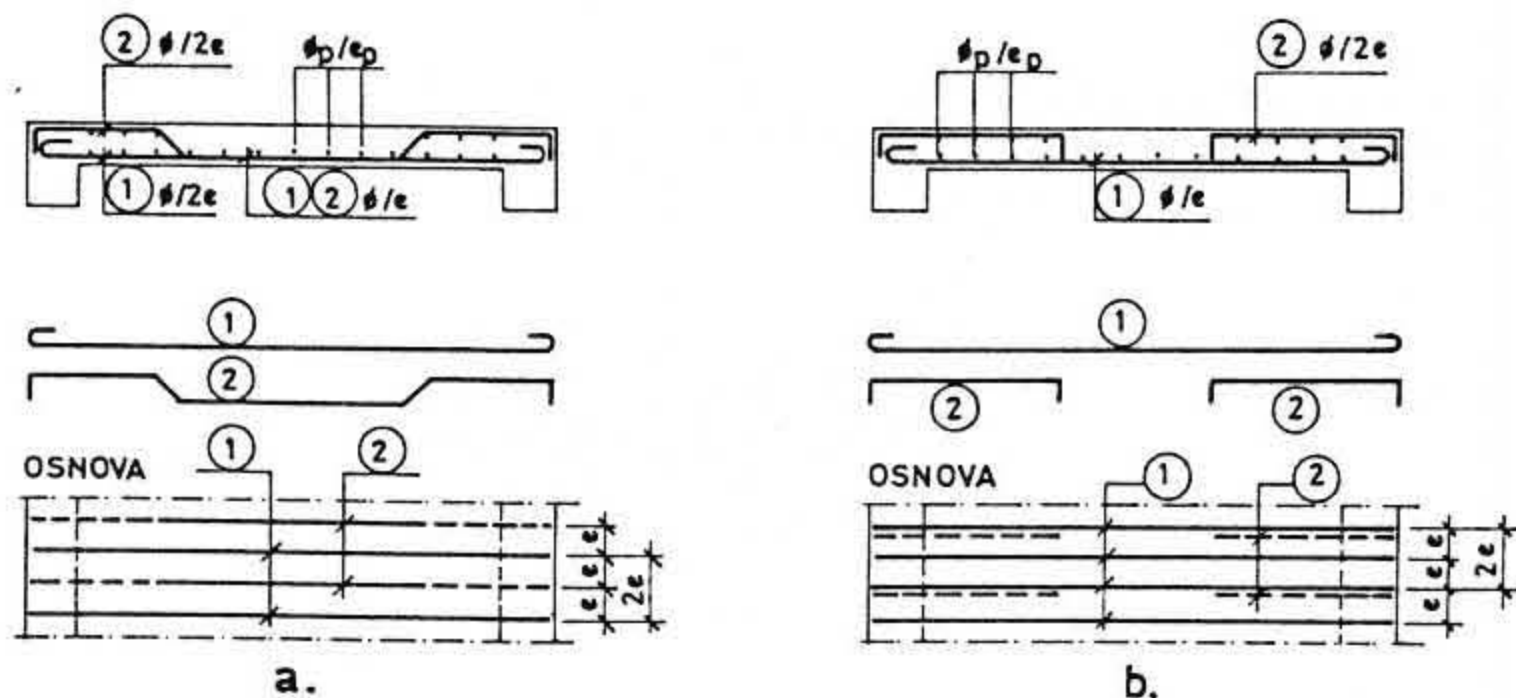
Za linijsko koncentrisano opterećenje duž manjeg raspona l_x , širina rasprostiranja b_3 određuje se isto prema izrazu (2.8) sa shematskim prikazom na sl. 2.11.

Merodavni momenat za dimenzionisanje od stalnog jednakopodeljenog opterećenja g i koncentrisanog opterećenja P sračunat za $1 m^2$ iznosi:

$$M = M_g + \frac{M_P}{b_3} \quad (kNm/m^2 = kN) \quad (2.9)$$

Armiranje ploča se vrši šipkama tanjeg profila, koje mogu biti prave ili povijene. Teži se da broj različitih pozicija bude što manji.

Ploče preko jednog raspona se armiraju prema sl. 2.12.



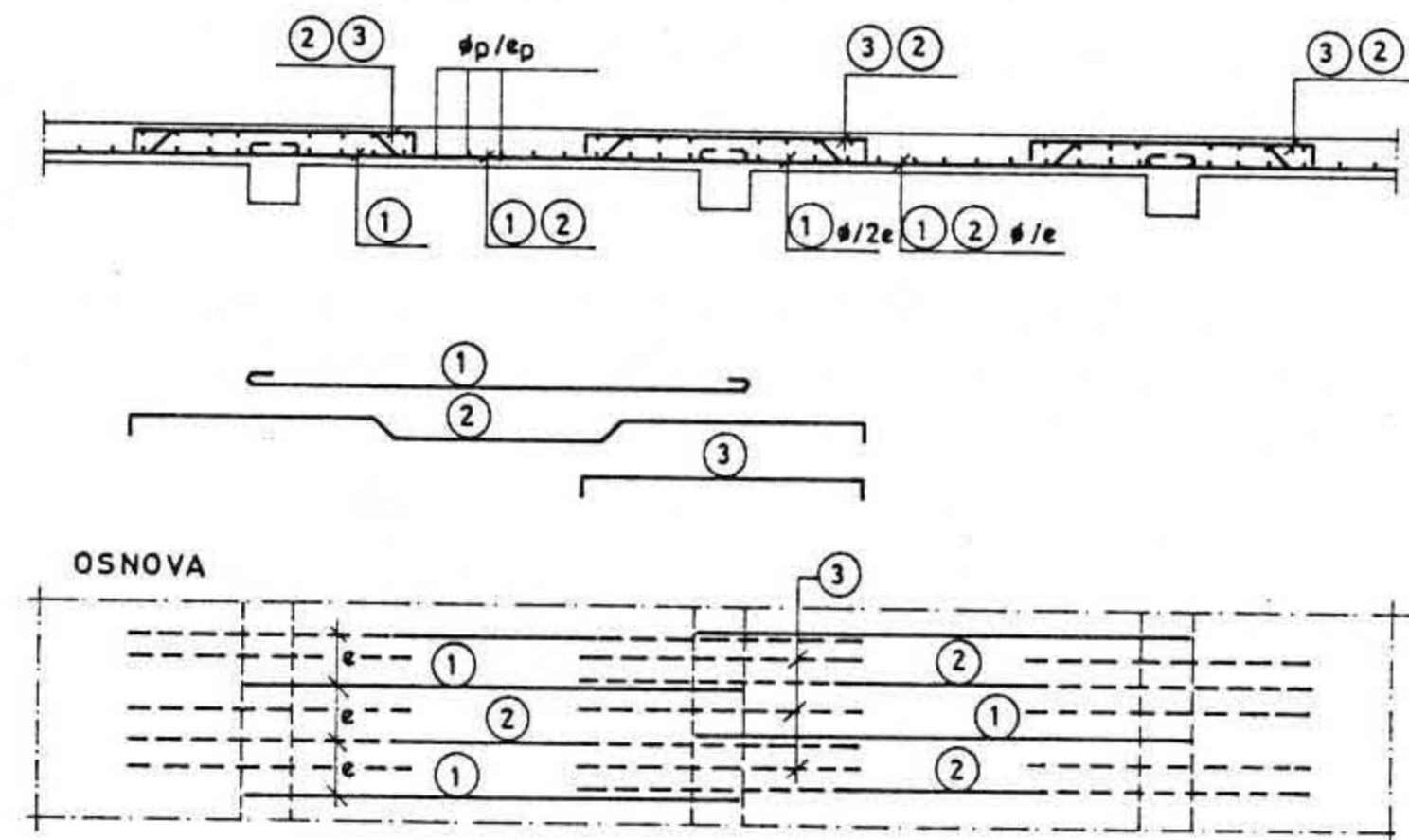
Sl. 2.12.

----- armatura u gornjoj zoni
 ————— armatura u donjoj zoni

Pri tome se povijanjem svake druge šipke iz polja nad oslonac, prihvataju eventualni momenti elastičnog uklještenja, ili se oni primaju posebnim pravim šipkama u gornjoj zoni ploče (sl. 2.12 a, b). Glavna armatura se polaže tako da ima veću statičku visinu. Podozna armatura se polaže preko glavne armature u ortogonalnom pravcu. Svaka šipka glavne armature treba da ima podoznu armaturu.

U slučaju kontinualnih ploča bez vuta, armatura nekog srednjeg polja prikazana je na sl. 2.13. Armatura se može formirati na više načina.

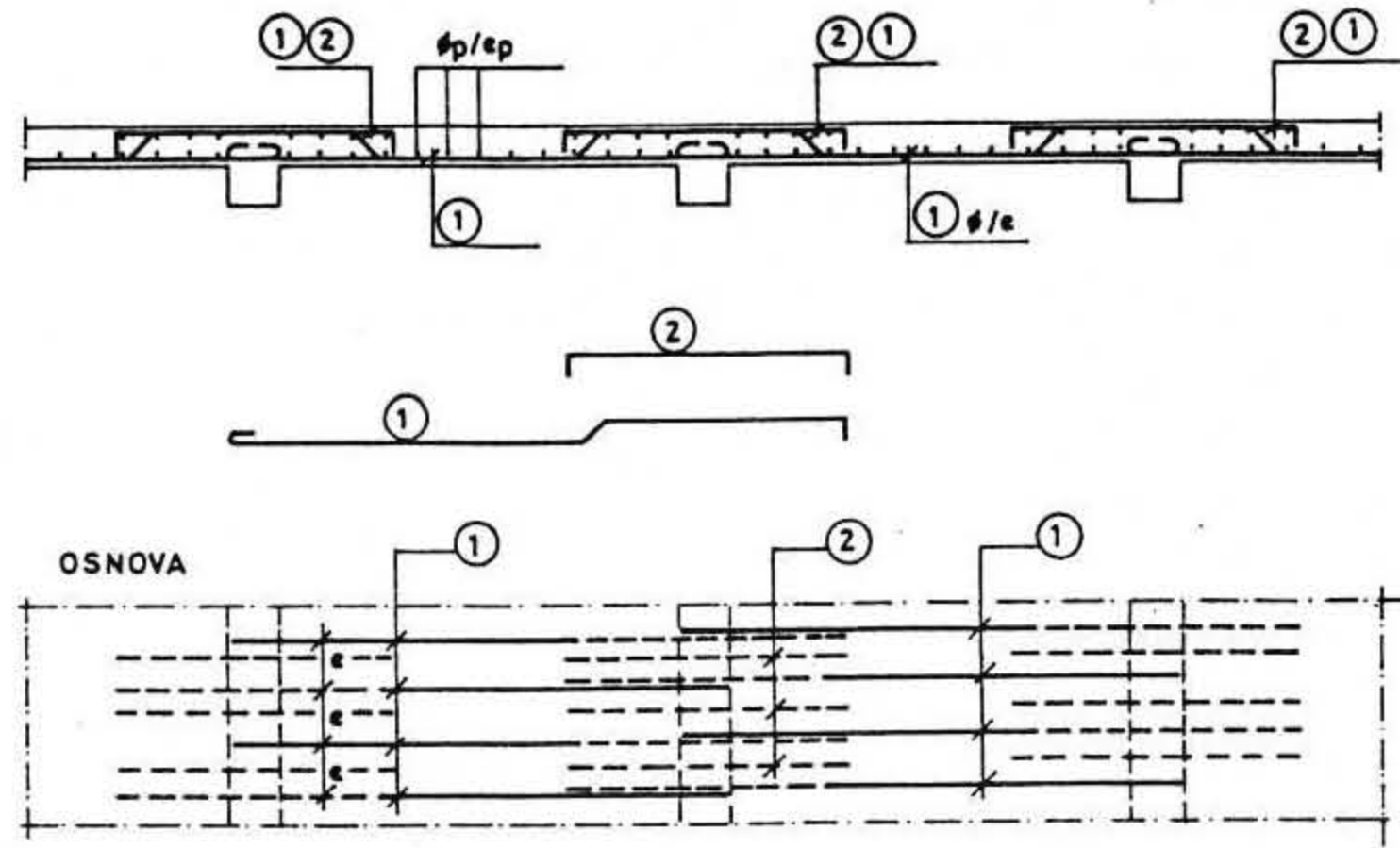
Najčešći je slučaj da se armatura polja formira iz jedne prave i jedne povijene šipke, koje se naizmenično redjaju, obrazujući u polju računski potreban razmak armature. Kako se u susjednom polju armatura formira na isti način samo smaknuto za rastojanje e , to se nad osloncima formira armatura po količini jednaka armaturi u polju (sl. 2.13.a). Kako su nad osloncem momenti savijanja veći, to se u zonu iznad oslonca mora dodati dopunska armatura u vidu pravih šipki.



Sl. 2.13a

----- armatura u gornjoj zoni
 ————— armatura u donjoj zoni

Osnovna armatura u polju i nad osloncem može se formirati i od jedne jedine pozicije armature, oblika prikazanog na sl. 2.13.b koja se naizmenično okrenuta na jednu ili drugu stranu postavlja u svakom polju. Ponovo se formira jednaka armatura u polju i nad osloncem, pa se dodaju dopunske prave šipke za prijem većih negativnih momenata iznad oslonca.

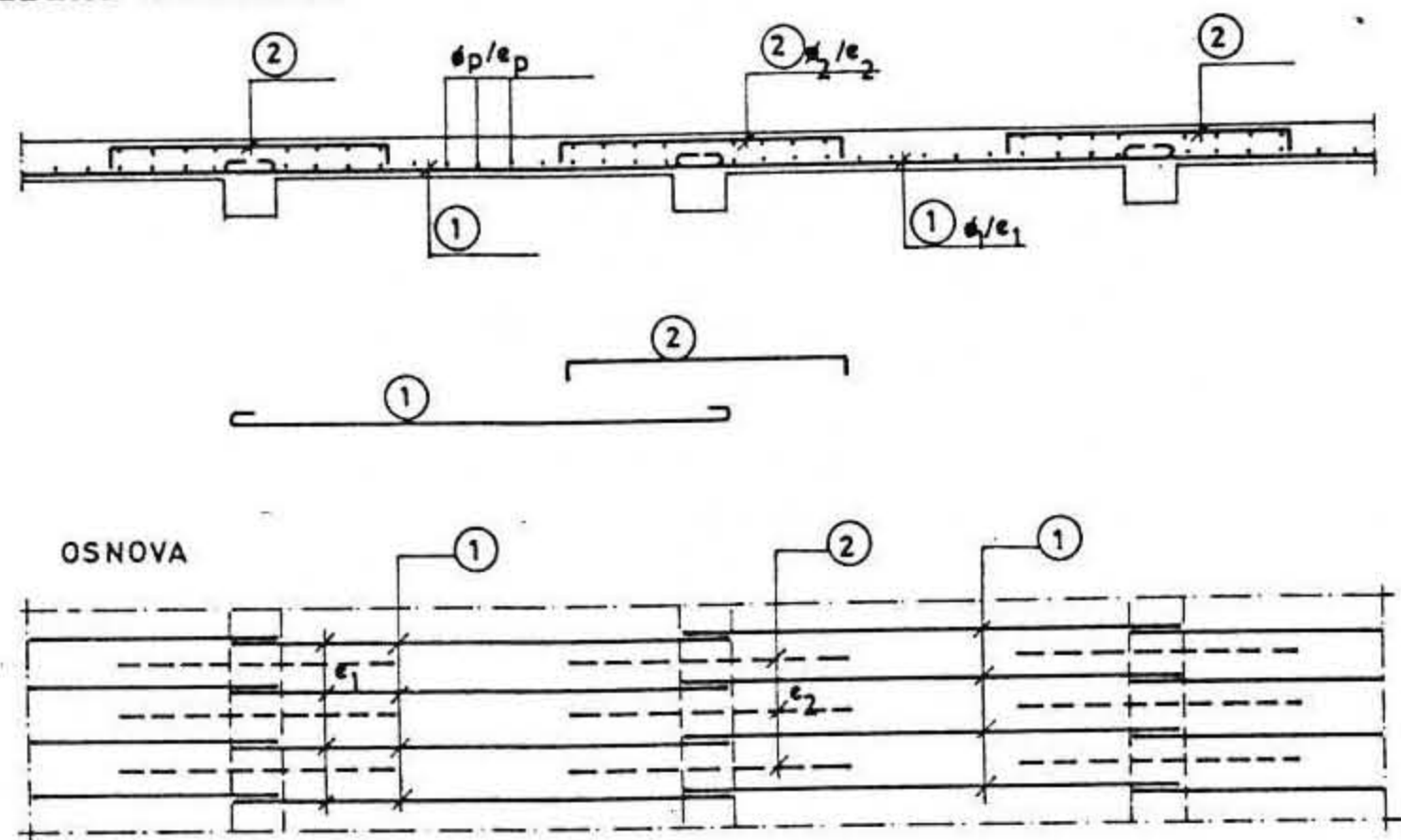


Sl. 2.13b
 - - - - - armatura u gornjoj zoni
 ————— armatura u donjoj zoni

Armatura u polju i iznad oslonca može biti obrazovana i od pravih šipki, međusobno nezavisnih, bez povijanja (sl. 2.13.c).

U slučaju ploča sa vutama, kada je visina vute dimenzionisana iz uslova da armatura povijena iz polja zadovoljava, primenjuju se najčešće prva dva načina formiranja armature, bez dopunskih šipki iznad oslonca.

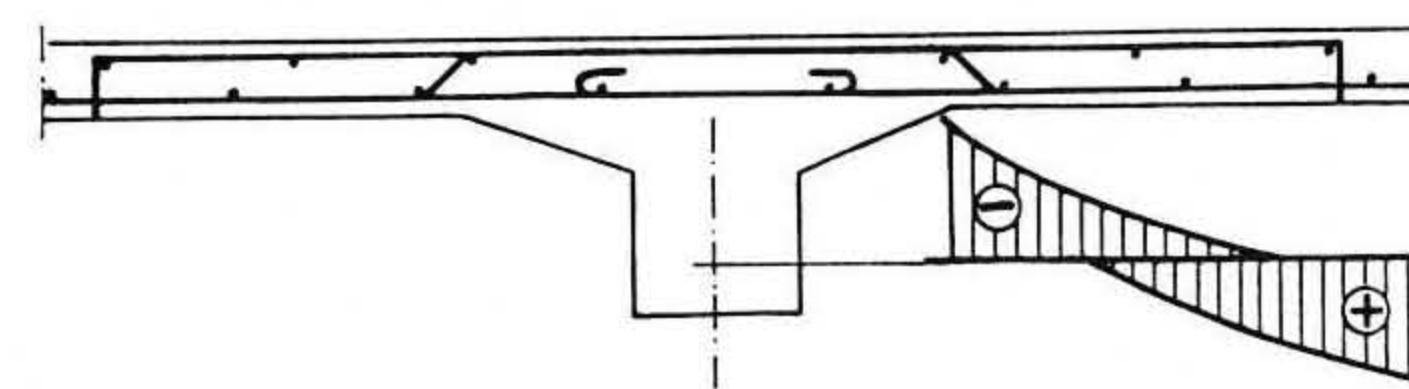
Nastavljanje donje armature u kontinualnoj ploči vrši se preklapanjem nad srednjim osloncima, s tim da kuke armature budu van širine oslonca.



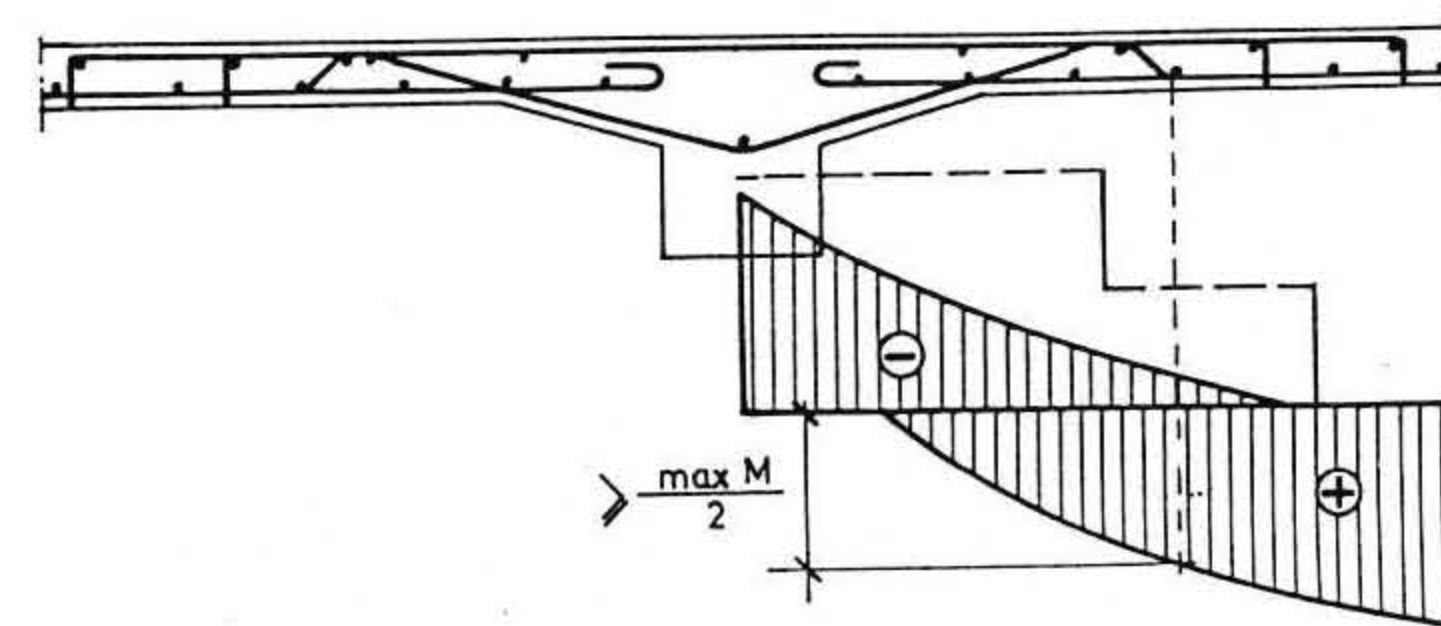
Sl. 2.13c
 - - - - - armatura u gornjoj zoni
 ————— armatura u donjoj zoni

Vuta nagiba 1:3 ili 1:4 ne mora se armirati kada je opterećenje pretežno duž cele ploče. Ako je korisno opterećenje znatno u odnosu na stalno opterećenje, a može doći samo u jednom rasponu, ili pak ako je ploča opterećena koncentrisanim silama tako da se u zoni vute jave zatezanja donje zone, vuta se mora armirati. Na sl. 2.14 i 2.15 prikazan je detalj armiranja ploče sa nearmiranim i sa armiranim vutama i to nad srednjim osloncem.

Za armiranje ploča većih površina treba koristiti armaturene mreže od žica odgovarajućih prečnika i razmaka vodeći računa o propisanim preklapima i nastavljanju armature. Ploče koje nose u jednom pravcu armiraju se R - mrežama čija je glavna armatura postavljena u jednom pravcu, dok je u drugom pravcu postavljena armatura koja odgovara podeonoj.



Sl. 2.14.



Sl. 2.15.

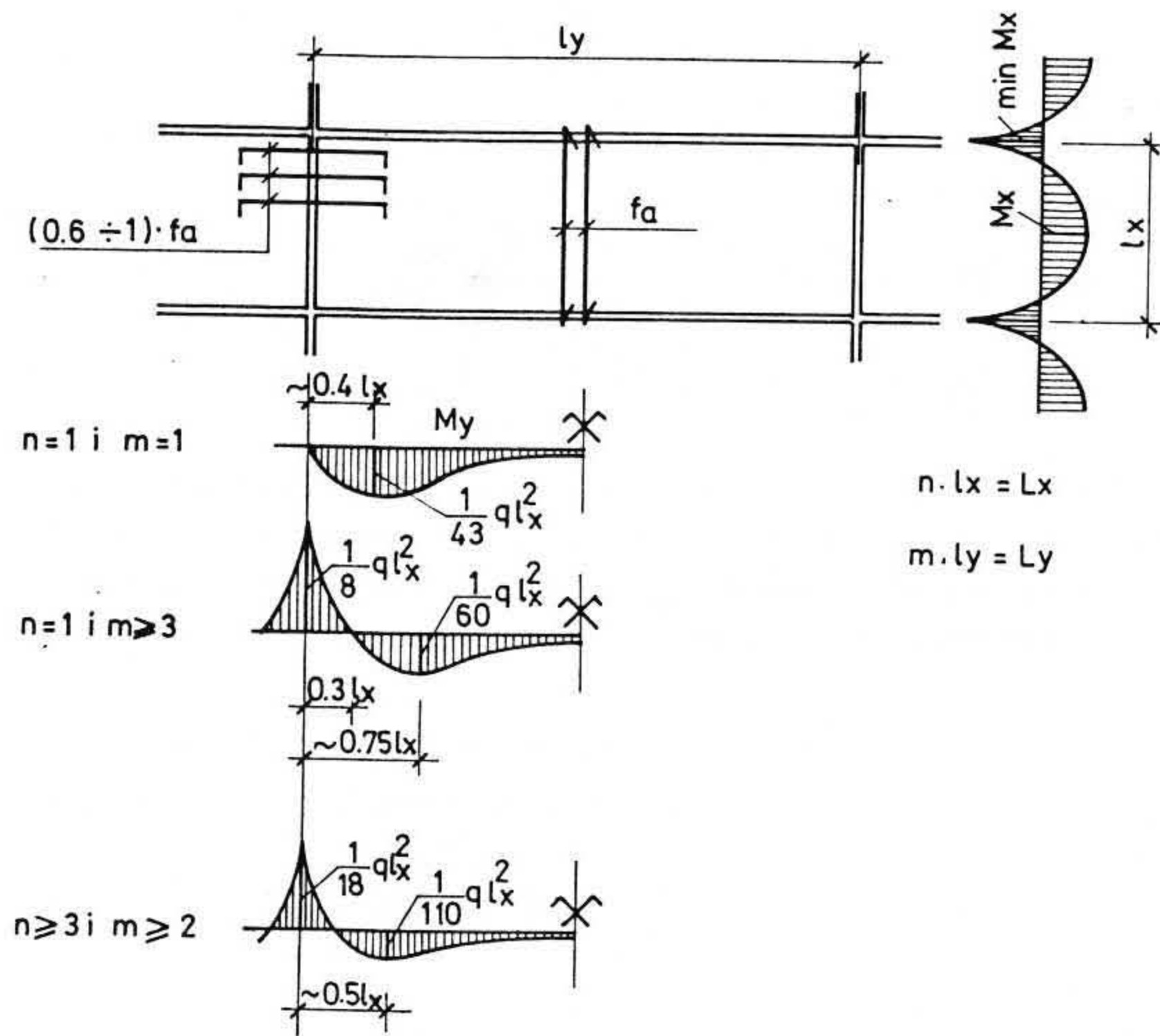
Kod kontinualnih ploča koje se proračunavaju kao linijski nosači u zoni srednjih linijskih oslonaca u pravcu dužeg raspona javljaju se negativni momenti u ploči M_y o kojima treba voditi računa kod proračuna i armiranja ploče.

Na sl. 2.16. prikazana je shema momenata od jednako podeljenog opterećenja za dva ortogonalna pravca za sistem ploča raspona $l_y/l_x > 2(2,5)$ za $\nu = 0$.

Podeona armatura u ploči po pravilu prihvata momente u polju za duži pravac koji mogu biti

$$M_y = \nu M_x = 0,20 M_x \quad (2.10)$$

što odgovara podeonoj armaturi od $f_{ap} = 0,20 f_a$.

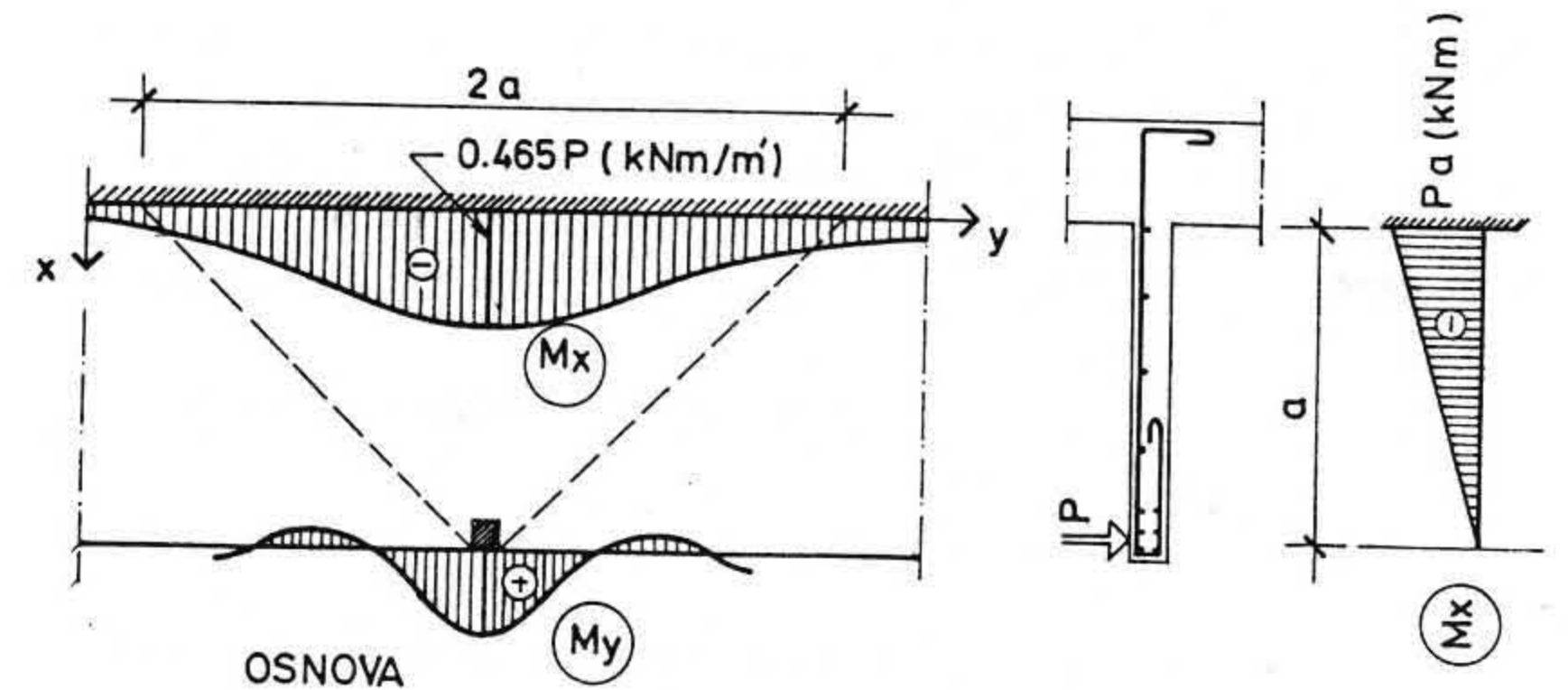


Sl. 2.16.

Za duži nenoseći pravac "y", armatura za prijem negativnih momenata M_y mora se obezbediti sa najmanje $0,6 f_a$, gde je f_a armatura u polju u pravcu kraćeg raspona l_x .

Podeona armatura f_{ap} prihvata momente za duži pravac, vrši bolju raspodelu opterećenja na veću površinu ploče, a od uticaja koncentrisane sile raspodeljuje opterećenje duž "y" pravca na veću aktivnu površinu. Zbog svih ovih činilaca, podeona armatura se usvaja u granicama $(0,2-0,65) f_a$ gde se niže vrednosti odnose za ravnomerna jednako podeljena opterećenja a više vrednosti za uticaje koncentrisane sile.

Za konzolne ploče za $l_y \gg l_x$ od koncentrisane sile na kraju konzole mogu se dobiti i pozitivni momenti, pa o raspodeli opterećenja i momentima treba voditi računa kod armiranja ploče. Na sl. 2.17 prikazan je slučaj opterećenja konzolne ploče koncentrisanom silom sa dijagramom momenata i načinom armiranja.



Sl. 2.17.