

## 8 SPREGNUTA KONSTRUKCIJA PLOČA SA PROFILISANIM LIMOVIMA

### 8.1 Uvodna razmatranja

Nosive sisteme zgrada svih namjena čine vertikalni nosivi elementi (zidovi, stubovi, okviri) i horizontalne medjuspratne - stropne i krovne konstrukcije.

Udio medjustrupne konstrukcije u cijeni nosivog sistema zgrada iznosi 50-70% pa je razumljiv interes da se primijene ekonomična rješenja.

Zahtjevi tržišta za većim slobodnim korisnim površinama prostorija povećali su razmake - rastere nosivih vertikalnih elemenata, a time i raspone medjuspratnih konstrukcija. Na većim rasponima dolazi do izražaja komparativna prednost čelika kao nosivog materijala. Armirano-betonska ploča prisutna je u medjuspratnoj konstrukciji po namjeni i kao sekundarni nosivi element. Razvojem spregnutih konstrukcija iskorišteno je, posredstvom moždanika, sadejstvo dva materijala.

Betoniranje stropnih ploča "in situ" pomoću drvene oplata zahtijeva dosta živog rada i dodatnih materijala pa je vremenom u industrijski razvijenim zemljama postalo neekonomično.

U SAD se od 1930. godine primjenjuju čelični profilisani limovi kao izgubljena oplata kod betoniranja medjuspratnih konstrukcija.

Nakon drugog svjetskog rata od 1950. godine intenzivnije se primjenjuje hladnooblikovani profilisani čelični lim ali u dvostrukoj ulozi kao oplata i kao nosivi dio betonske ploče u zajedničkom spregnutom presjeku.

Medjuspratna konstrukcija ima višeznačnu statičku i funkcionalnu namjenu. Pored neposrednog prijema vertikalnih i horizontalnih opterećenja djeluje i kao horizontalna dijafragma koja obezbjeđuje traženu krutost objekta kao cjeline i sprečava neželjene deformacije i oscilacije. U funkcionalnoj namjeni stropna konstrukcija je medij za horizontalni razvod svih vrsta instalacija i za obezbjeđenje toplotne,



~~zvučne i protupožarne zaštite. Navedeni razlozi statičke i funkcionalne prednosti,~~  
a prvenstveno ekonomičnost uticali su da se danas u industrijski razvijenim zemljama u visokom procentu primjenjuju spregnute konstrukcije ploča sa profilisanim limovima za medjuspratne konstrukcije zgrada različite namjene. Ovo je bio i osnovni razlog da materiju vezanu za ovu vrstu spregnutih konstrukcija izdvojimo u posebno poglavlje. U jedanaestom poglavlju: "Primjena spregnutih konstrukcija u visokogradnji" biće dat prikaz i drugih rješenja medjuspratnih spregnutih konstrukcija.

Spregnuta konstrukcija, ploča sa profilisanim limovima, pored primjene u visokogradnji gdje su pretežno mirna opterećenja, može se primjeniti u spregnutoj rasponskoj konstrukciji mostova uz uslov da se pouzdano dokaže obezbjedjenje sprezanja.

Jedan od razloga nedovoljne primjene ove vrste spregnutih površinskih konstrukcija u jugoslovenskoj praksi je nedostatak odgovarajućih propisa i literature. Novi standard JUS.U.Z1.010, 1988. kada bude usvojen obuhvata ovu materiju i poslužio je kao osnova za statičku analizu spregnutih ploča.

## 8.2 Materijali

Konstrukciju spregnutih ploča čine:

- hladnooblikovani profilisani čelični lim;
- beton;
- čelik za armiranje;
- sredstva za sprezanje;
- sredstva za zaštitu od korozije i požara.

Izabrani materijali treba da su kompatibilni i da ispunjavaju sve statičke i funkcionalne uslove koji su neophodni kod primjene za medjuspratne konstrukcije.

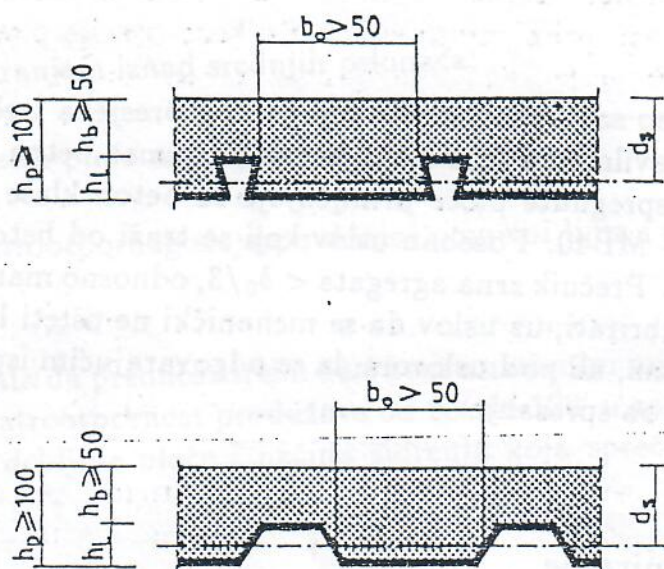
### 8.2.1 Hladnooblikovani profilisani čelični limovi

Za izradu profilisanih limova koristi se čelični lim sa minimalnom granicom razvlačenja  $\sigma_v = 240 \text{ N/mm}^2$  debljine od 0,75 do 2,00 mm.

Kod oblikovanja limova moraju se uvažavati odredjeni uslovi naznačeni na slici 8.1.

Ako se kao sredstvo za sprezanje koriste čepovi visina profilisanih limova  $h_l \leq 80$  mm.

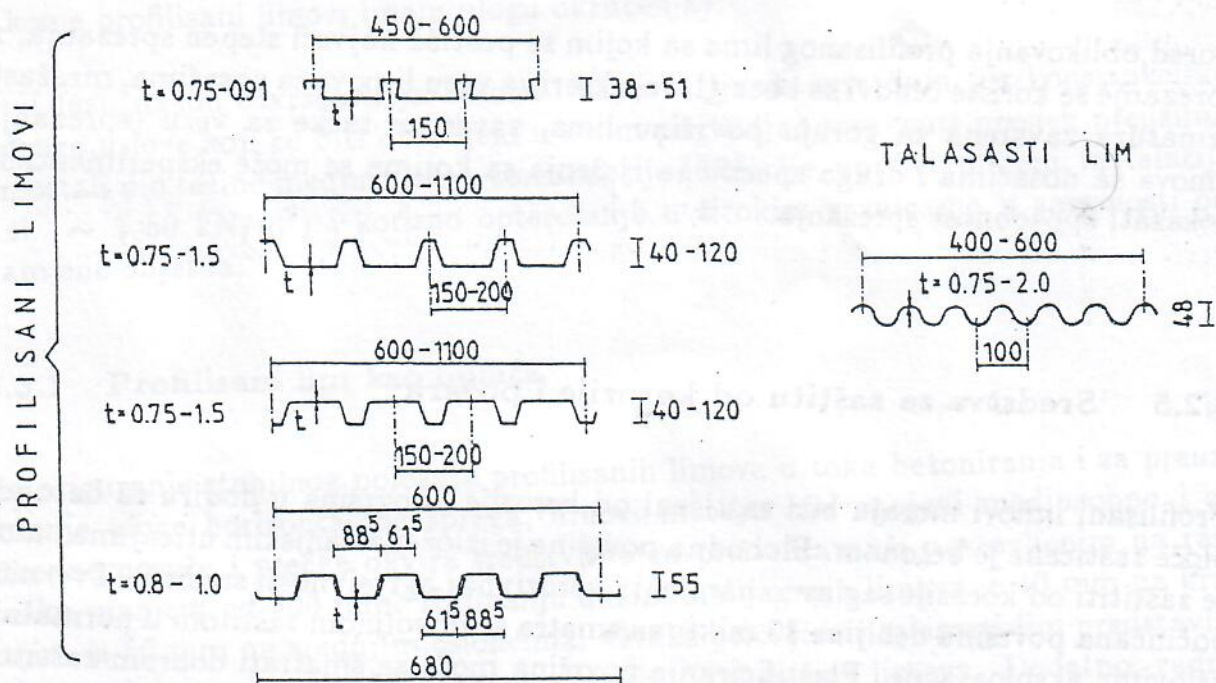




Slika 8.1

U dosadašnjoj praksi pojavio se veći broj različito profilisanih limova od kojih su karakteristične grupe profilisanih i talasastih limova prikazane na slici 8.2.

Razvojem, profilisanim limovima je povećavana nosivost, a time je omogućeno povećanje raspona spregnutih ploča, odnosno razmaka spregnutih stropnih nosača. Oblikovanjem limova znatno se utiče i na povećanje stepena sprežanja sa betonom.



Slika 8.2



## 8.2.2 Beton

Sve osobine betona kao sastavnog dijela spregnutog presjeka treba da odgovaraju uslovima datim u "Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton" iz 1987. godine. Za spregnute ploče primjenjuje se beton klase dva (Beton BII), marke betona MB30 - MB40. Poseban uslov koji se traži od betona je ograničenje veličine zrna agregata. Prečnik zrna agregata  $< b_0/3$ , odnosno manji od  $h_b/3$ . Beton ploče treba dobro izvibrirati, uz uslov da se mehanički ne ošteti lim. Dozvoljeno je korištenje i lakih betona, ali pod uslovom da se odgovarajućim ispitivanjem dokažu njegove osobine bitne za sprezanje.

## 8.2.3 Čelik za armiranje

Za armiranje se koriste šipke od glatkog čelika (GA) i visokovrijednih tvrdih rebrastih čelika (RA), mrežasta armatura (MAG i MAR) i Bi armatura (BiA) prema uslovima koji su regulisani u citiranom pravilniku za beton. Radi brzine montaže prednost se daje primjeni mrežaste armature.

## 8.2.4 Sredstva za sprezanje

Pored oblikovanja profilisanog lima sa kojim se postiže najveći stepen sprezanja, za sprezanje se koriste čepovi sa i bez glave, ekseri za vezu limova sa nosačima, mrežasta armatura zavarena za gornju površinu lima, zavarene tačke za vezu (sprezanje) limova sa nosačima i druga specifična rješenja sa kojima se može eksperimentalno dokazati sposobnost sprezanja.

## 8.2.5 Sredstva za zaštitu od korozije i požara

Profilisani limovi moraju biti zaštićeni od korozije. Površina u dodiru sa betonom ploče zaštićena je betonom. Slobodna površina je izložena vanjskim uticajima i mora se zaštititi od korozije saglasno namjeni i korozivnoj agresivnosti sredine. Tvornički pocinčana površina debljine 30 mikrona smatra se dovoljnom zaštitom u normalnim uslovima eksploatacije. Plastificiranje površina može se smatrati dobrom zaštitom od korozije. Vatrootpornost spregnutih ploča sa profilisanim limovima iznosi 30' - 60' u zavisnosti od stepena iskorišćenja napona i nije uvijek dovoljna u zavisnosti od namjene objekta. Otpornost na uticaj požara povećava se sledećim mjerama:



sprečavanjem horizontalnog pomjerenja spregnute ploče;

- dodatnim armiranjem iznad srednjih oslonaca;
- primjenom visećih plafona od vatrootpornih ploča;
- nanošenjem vatrootpornog sloja po donjoj površini lima i stropnih nosača.

Ispitivanja su pokazala da prednost treba dati konstruktivnim mjerama iz prve dvije tačke sa kojima se vatrootpornost produžava od 90' do 120' u zavisnosti od količine dodatne armature, debljine ploče i načina sidrenja koja sprečavaju horizontalna pomjerenja.

### 8.3 Statička analiza

Statička analiza spregnute ploče ili njenih dijelova mora se uskladiti sa tehnologijom izgradnje i uslovima eksploatacije uz uvažavanje adekvatnih opterećenja.

U I. fazi, dok beton kolovozne ploče ne očvrсне, profilisani lim je oplata i preuzima odgovarajuća vertikalna (sopstvena težina profilisanog lima, težina svježeg betona i radna opterećenja) i horizontalna opterećenja (uticaj vjetra na nosivi skelet objekta u kome profilisani limovi imaju ulogu ukrućenja).

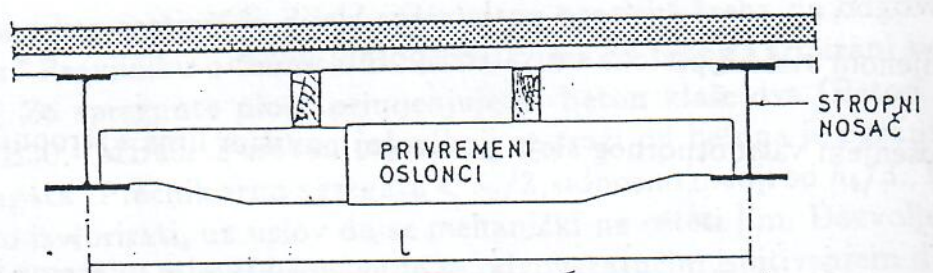
U II fazi, nakon očvršćavanja betona i uspostavljanja sprezanja (uz konstrukcije i druge uslove koji će biti obradjeni u ovom poglavlju) spregnuti presjek preuzima preostali dio težine medjuspratne konstrukcije (izolacije, podovi, plafoni, instalacije i sl.  $\sim 1,50 \text{ kN/m}^2$ ) i korisno opterećenje u širokim granicama u zavisnosti od namjene objekta.

#### 8.3.1 Profilisani lim kao oplata

Za osiguranje stabilnog položaja profilisanih limova u toku betoniranja i za preuzimanje uloge horizontalnog sprega, limovi moraju biti spojeni medjusobno i za stropne nosače i prečke okvira sredstvima za pričvršćavanje postavljenim na razmaku manjem od 500 mm. Najmanja dužina nalijeganja limova je 40 mm na krajnjim, a 50 mm na srednjim osloncima. Ovako pričvršćen talasasti lim predstavlja kontinualni nosač preko "n" oslonaca, zavisno od dužine limova. Dodatno, radno opterećenje lima iznosi  $1,5 \text{ kN/m}^2$ , a za raspone veće od 3,00 m, alternativno linijsko opterećenje  $2,0 \text{ kN/m}^1$ .



Kod većih razmaka stropnih nosača, odnosno većih raspona: profilisanih limova moguće je njihovo podupiranje privremenim osloncima prema slici 8.3 pa ovo treba uzeti u obzir kod statičke analize.



Slika 8.3

Proračun profilisanih limova može se izvršiti prema teoriji elastičnosti ili prema graničnoj nosivosti. Po preporukama Eurocode 4 i nacrtu novog standarda za spregnute konstrukcije proračun se provodi elastičnom analizom.

Statičke karakteristike presjeka lima (površina, momenat otpora, momenat inercije, statički momenat), računaju se uobičajenim postupcima iz otpornosti materijala i se uzimaju iz gotovih tabela proizvođača.

$$M_{stv.} < R$$

$$R = W_e \cdot \sigma_{dozv.}$$

$M_{stv.}$  - je najveća vrijednost stvarnog (projektovanog) momenta savijanja

$R$  - je otpornost na savijanje odgovarajućeg presjeka lima

$W_e$  - je efektivni momenat otpora presjeka lima

$\sigma_{dozv.} = \sigma_v / \gamma$  - (granica razvlačenja kroz faktor sigurnosti).

Treba kontrolisati i smičuće napone u zoni oslonaca.

Dozvoljeni ugib profilisanog lima od vlastite težine i težine svježeg betona (bez radnog opterećenja) treba da je manji od 1/250.

Pretpostavlja se da je proizvođač limova, prije njihove serijske proizvodnje, obavio odgovarajuća eksperimentalna istraživanja sa kojima je obezbijedio da ne dodje do gubljenja stabilnosti pritisnutih elemenata profilisanog lima izloženog savijanju.



### 8.3.2 Spregnuta ploča sa profilisanim limovima

Tretman spregnute ploče mogu dobiti samo one betonske ploče kod kojih se posebnim konstruktivnim mjerama (oblikovanjem profilisanih limova, mehaničkim spojnim sredstvima i sidrenjem ploče iznad oslonaca) obezbijedi efikasno sprezanje sa profilisanim limovima. Sama athezija između glatkih površina lima i betona ne može u svim slučajevima (vremenske deformacije, dinamička opterećenja) obezbijediti potpuno sprezanje pa se takve ploče tretiraju kao djelimično spregnute i ne primjenjuju se kod svih objekata. U tački 8.4 biće prikazani način i detalji vezani za obezbjedjenje sprezanja.

Stepen sprezanja ploče " $\eta$ " u funkciji je osiguranja prenosa smičućih sila između dodirne površine profilisanog lima i betona.

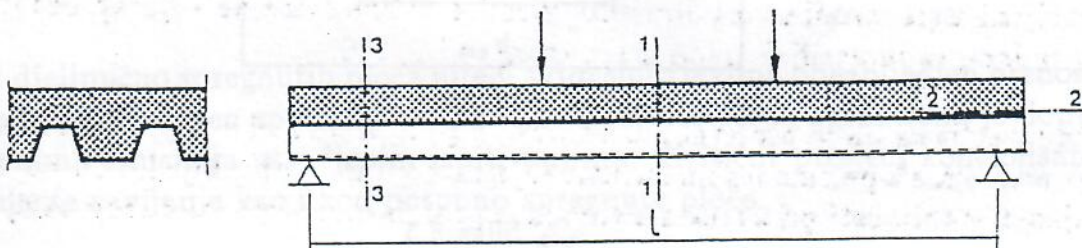
$$\eta = \frac{\sum D_s}{N_{pl,a}} \quad (8.3)$$

$\sum D_s$  - je ukupna horizontalna smičuća sila između betona i profilisanog lima od oslonca do presjeka u kome se računa moment nosivosti

$N_{pl,a} = A_a \cdot \sigma_v$  - je granična horizontalna sila koju, može pri plastifikaciji cijelog presjeka primiti profilisani lim.

U slučaju da nije obezbijedjen prenos smičućih sila  $\sum D_s = 0$ , a stepen sprezanja  $\eta = 0$ , tada cjelokupno opterećenje preuzima profilisani lim ( $\max M = M_{pl,a}$ ). U slučaju kad je obezbijedjen potpun prenos smičućih sila  $\eta = 1,0$  pa se sa lima u beton može prenijeti puna granična smičuća sila  $\sum D_s = D_b = N_{pl,a} = A_a \cdot \sigma_v$ . Moment nosivosti spregnute ploče ( $\eta = 1$ ) je 2-3 puta veći od momenta nosivosti samo profilisanih limova ( $\eta = 0$ ) pa ima punog ekonomskog i drugih razloga da se projektuju i koriste spregnute ploče.

Granične nosivosti spregnute ploče sa profilisanim limovima mogu biti određene na tri načina u tri karakteristična presjeka prikazana na slici 8.4.



Slika 8.4



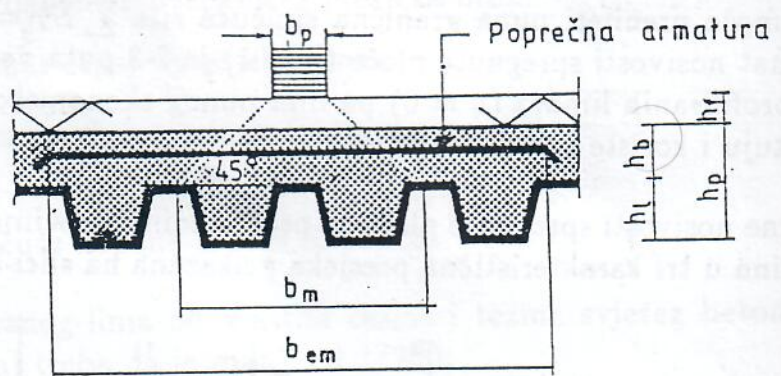
- lom od maksimalnog momenta savijanja u kritičnom presjeku 1-1 ako je zadovoljen uslov:  $\eta = 1,0$ ;
- otpornost na savijanje pri lomu utvrđuje se teorijom plastičnosti;
- lom od uzdužnog smicanja u kritičnom presjeku 2-2 kod oslonaca ploče obično određuje se ograničenjem vertikalnog smicanja u dozvoljene granice;
- lom od vertikalnog smicanja u betonu kritičnom presjeku 3-3, nastaje u slučajevima kada se koinceiraju velika opterećenja, mali rasponi i male debljine ploče. Mora se dokazati otpornost presjeka na probijanje.

Granično stanje upotrebljivosti kontroliše se kroz ograničenje prslina u betonu u zonama negativnih momenata prema pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton i ograničenje ugiba.

Približan proračun ugiba može se odrediti uz aproksimaciju odnosa modula elastičnosti, pa se za  $t = t_0$  i  $t = t_n$  uzima zajednički  $n = 15$  i prosjek vrijednosti momenta inercije za beton bez i sa prslinama.

U kontinuiranoj spregnutoj ploči preko "n" oslonaca određuju se mjerodavni pozitivni i negativni momenti a proračun provodi prema teoriji dozvoljenih napona. U pucala zona betona iznad srednjih oslonaca se ne uzima u obzir pa se mogu oslonični momenti smanjiti do 30%, a pozitivni momenti u susjednim poljima za odgovarajuću mjeru povećati.

Za djelovanje koncentrisanog i linijskog opterećenja na spregnutu ploču utvrđuje se efektivna širina ploče prema slici 8.5 i obrascima koji slijede.



Slika 8.5



Širina rasprostiranja opterećenja na gornjem nivou lima:

$$b_m = b_p + 2(h_b + h_f) \quad (8.4)$$

Efektivna širina za savijanje kontinualnih ploča:

$$b_{em} = b_m + 4/3(1 - x'/l)x' \quad (8.5)$$

Efektivna širina za savijanje diskontinualnih ploča:

$$b_{em} = b_m + 2(1 - x'/l)x' \quad (8.6)$$

Za kontrolu smičućih napona:

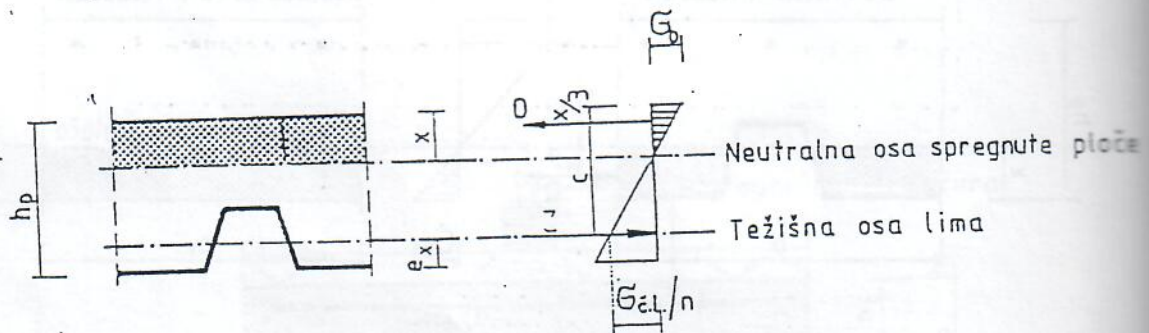
$$b_{em} = b_m + x'(1 - x'/l) \quad (8.7)$$

$l$  - je raspon ploče

$x'$  - je odstojanje koncentrisanog opterećenja od bližeg oslonca.

Rasprostiranje koncentrisanog ili linijskog opterećenja osigurava se poprečnom armaturom u iznosu 2% površine presjeka betona iznad rebara lima. Poprečna armatura se daje na širini  $b_{em}$ .

Spregnuta ploča izložena savijanju ponaša se kao rebrasta ploča kod koje na potezima pozitivnih momenata profilisani lim ima ulogu armature.



Slika 8.6 Presjek i naponi spregnute ploče na potezima pozitivnih momenata savijanja

Napon pritiska u betonu spregnute ploče:

$$\sigma_b = \frac{M}{J_i} \cdot x \leq \sigma_{bdop.} \quad (8.8)$$



$$\sigma_{\epsilon.l.} = n \cdot \frac{M}{J_i} (h_p - x - e_x) \leq \sigma_{\epsilon.l.dop} - \sigma_{\epsilon.l.I.f} \quad (8.9)$$

$$n = \frac{E_{\epsilon.l.}}{E_b} = 10 - 15 \quad (8.10)$$

$J_i$  - je moment inercije spregnute ploče;

$\sigma_{b.dop.}$  - je dopušteni napon betona pri savijanju;

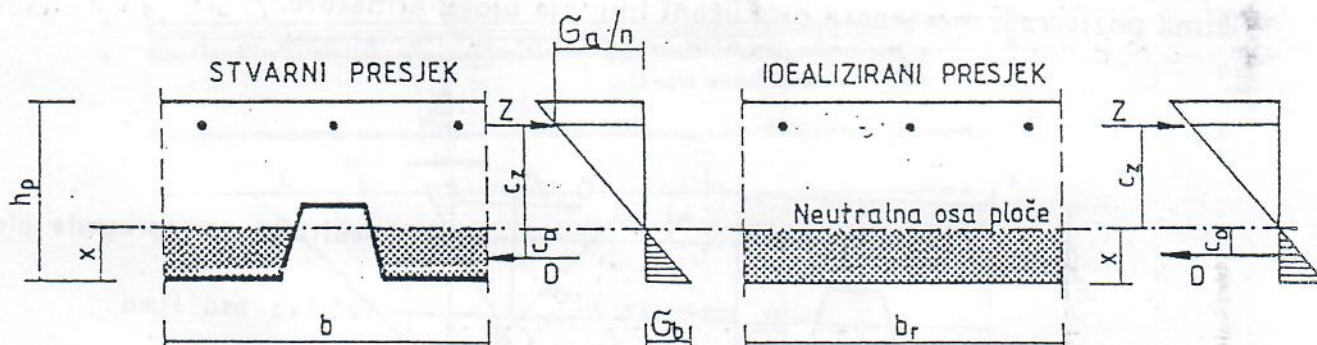
$\sigma_{\epsilon.l.dop}$  - je dopušteni napon profilisanog na savijanje;

$\sigma_{\epsilon.l.I.f}$  - je napon u profilisanom limu od I. faze (lim kao oplata).

Iznad srednjih oslonaca, na potezima gdje su negativni momenti, spregnuta ploča djeluje kao armirano-betonska iste visine. Stvarni poprečni presjek zamjenjuje se (radi uproštenja) idealiziranim, koga čine pritisnuti beton površine  $b_r \cdot X$  i armatura ploče.

Ukupni napon u profilisanom limu je:

$$n \cdot \sigma_b + \sigma_{\epsilon.l.I.f} \leq \sigma_{\epsilon.l.dop.} \quad (8.11)$$



Slika 8.7 Presjeci i naponi spregnute ploče na potezima negativnih momenata

Kod djelimično spregnutih ploča nije u svim slučajevima obezbijedjen prenos smičućih sila pa je stepen spreznjanja  $0 < \eta < 1$ . Nosivost ploča ograničena je dopuštenim naponima smicanja utvrdjenim ispitivanjima. Kritični presjeci kontrolisani su na momente savijanja kao i kod potpuno spregnute ploče.



## Smičući napon na kontaktu betona i profilisanog lima

$$\tau = \frac{Q \cdot S_h}{J_h \cdot b_r} \leq \tau_{dop} = 5 \text{ N/cm}^2 \quad (8.12)$$

*0,005 kN/cm<sup>2</sup>*

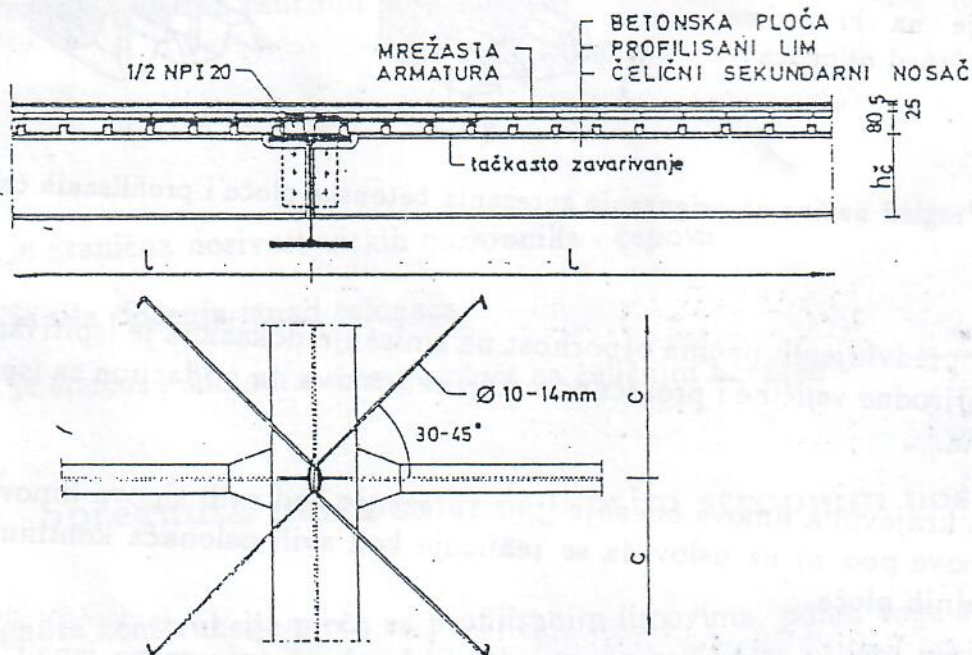
$Q$  - je transverzalna sila u razmatranom presjeku

$S_h$  - je statički moment homogenog presjeka bez prslina u betonu

$J_h$  - je moment inercije homogenog presjeka bez prslina u betonu

$b_r$  - je razvijena širina profilisanog lima.

Smičući naponi od skupljanja betona čija je vrijednost obično veća od  $\tau_{dop}$ , preuzimaju se na krajevima stropnih nosača posredstvom armaturnih mreža i ankera razne konstrukcije. Na slici 8.8 dat je detalj primjenjenog rješenja kod izvedenog objekta.



Slika 8.8

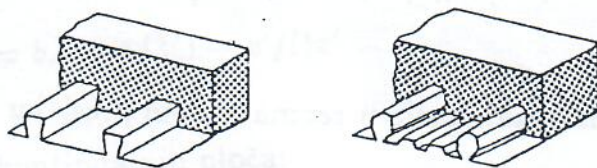
Za kontrolu ugiba spregnute ploče uzima se da je presjek homogen po cijeloj visini i na potezima pozitivnih i negativnih momenata. Dozvoljeni ugib od stalnog i korisnog opterećenja ograničava se u većini zemalja na 1/250 što zavisi i od namjene objekata (1 je raspon spregnute ploče). Pri kontroli ugiba vodi se računa o fazama rada i opterećenja lima odnosno spregnute ploče.



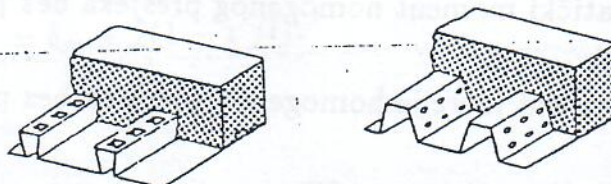
## 8.4 Konstruisanje za osiguranje sprezanja

Osiguranje trajnog i sigurnog sprezanja između čeličnog profilisanog lima i betona ostvaruje se na više načina od kojih su neki glavni prikazani na slici 8.9.

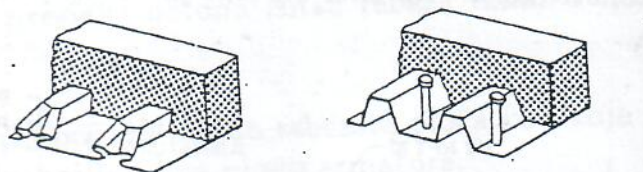
a) Kontinualno sprezanje posredstvom prijanjanja čiste površine profilisanog lima



b) Kontinualno sprezanje trenjem posredstvom is-pupčenja i udubljenja na rebrima profilisanih limova ili zavarenom mrežom armature



c) Sidrenje na krajevima limova iznad oslonaca



Slika 8.9 Pregled načina za osiguranje sprezanja betonske ploče i profilisanih čeličnih limova

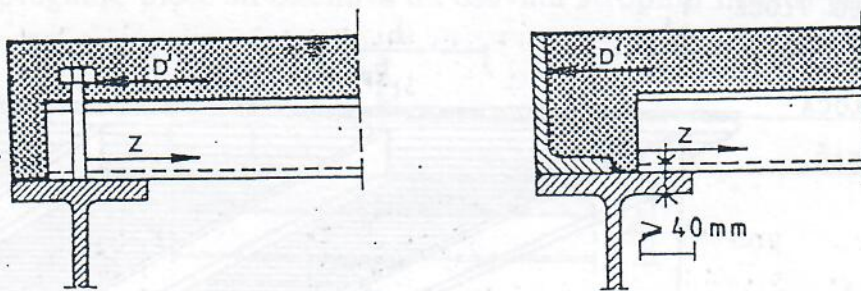
Za svaki od predvidjenih načina otpornost na smicanje dokazana je ispitivanjem na modelima prirodne veličine i proračunom koji se zasniva na podacima za ispitivanja na modelima.

Sidrenje na krajevima limova obezbjeđuje sprezanje kod svih tipova limova uključujući i limove pod a) uz uslov da se realizuje kod svih oslonaca kontinualnih ili diskontinualnih ploča.

Ako se primjenjuju limovi pod b) dovoljno je ankerovanje samo iznad krajnjih oslonaca.

Na slici 8.10 pokazana su dva uobičajena načina sidrenja spregnute ploče iznad krajnjih oslonaca.





Slika 8.10

Sidrenje na krajnjim osloncima dimenzionira se na smičuću silu koja u profilisanom limu izaziva plastifikaciju (napon u limu na granici razvlačenja  $\sigma_v$ ).

$$D = Z = A_a \cdot \sigma_v \quad (8.13)$$

Ako se kao sredstvo za sidrenje na krajnjim osloncima primjene ankeri u vidu čepova treba voditi računa da se u njima superponira i sila od njihove uloge kao moždanika za sprezanje ploče sa čeličnim nosačem.

$$R_D \geq \sqrt{D^2 + R_u^2} \quad (8.14)$$

$R_D$  - je granična nosivost vitkih moždanika - čepova

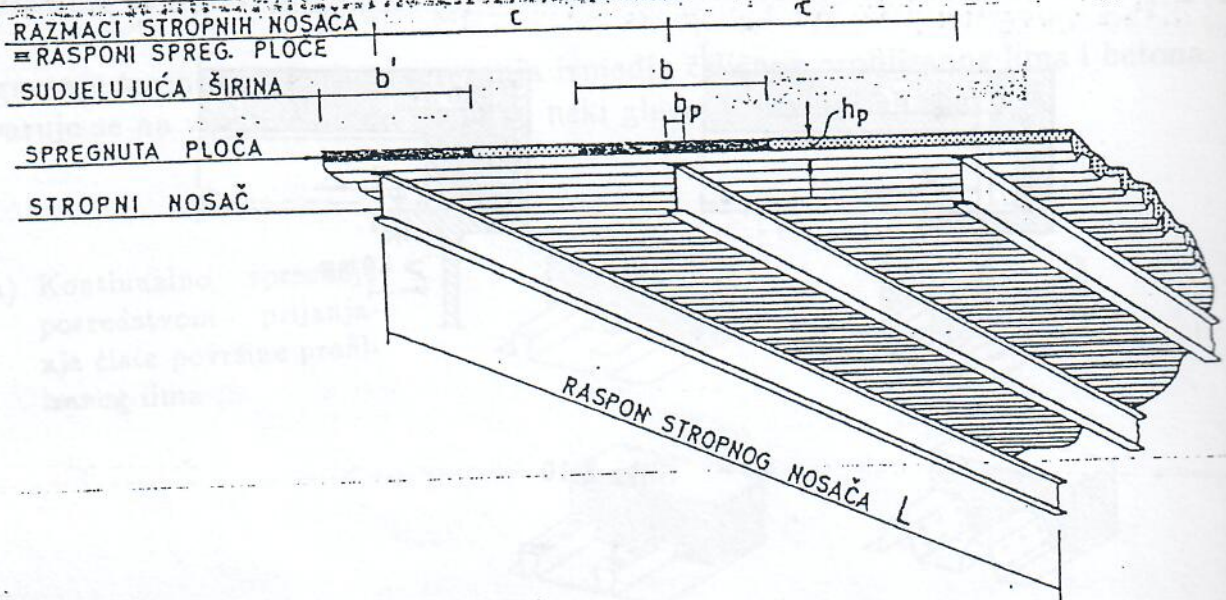
$D$  - je sila sidrenja iznad oslonaca

$R_u$  - je smičuća sila od sprezanja ploče sa čeličnim nosačem.

## 8.5 Spregnuta ploča sa spregnutim stropnim nosačima

Spregnute konstrukcije ploča sa profilisanim limovima, pored toga što djeluju kao samostalne površinske konstrukcije, mogu da se (posredstvom moždanika) objedine - sprežu sa linijskim stropnim nosačima tako da se i stropni nosači konstruišu, računaju i djeluju kao spregnuta konstrukcija. Cjelovito spegnuta medjuspratna konstrukcija je veoma racionalna i ima veliku nosivost i krutost i povećava krutost objekta kao cjeline. Racionalni rasponi ovih konstrukcija kreću se u širokim granicama od 6 do 15,00 m.





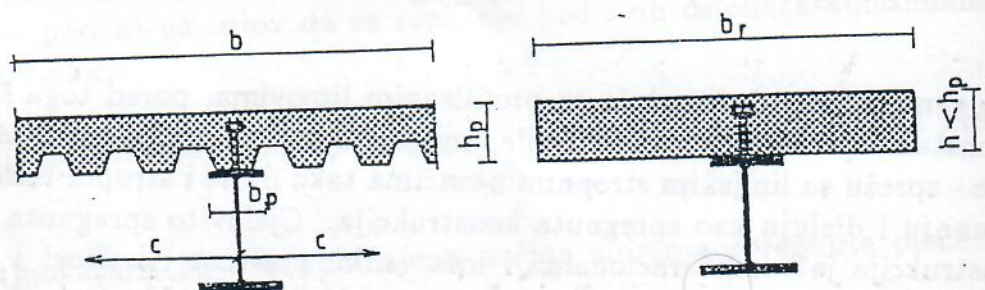
Slika 8.11 Aksonometrijski izgled dijela spregnute stropne konstrukcije

Sudjelujuća širina  $b$  određuje se na način koji je dat u tački 2.2. Za slučaj ravnomjernog površinskog opterećenja sudjelujuća širina može se odrediti kao najmanja od tri vrijednosti:

$$\left. \begin{aligned} b &= C \text{ (razmak stropnih nosača)} \\ b &= b_p + 0,25L \text{ (} L \text{ - je raspon stropnih nosača)} \\ b &= b_p + 16h_p \text{ (} h_p \text{ - je ukupna debljina spregnute ploče)} \\ b_p &= \text{je širina pojasa čeličnog stropnog nosača} \end{aligned} \right\} \quad (8.15)$$

Prema načinu primjene razlikujemo dva odnosa položaja rebara profilisanog lima spregnute ploče i osovine stropnih nosača:

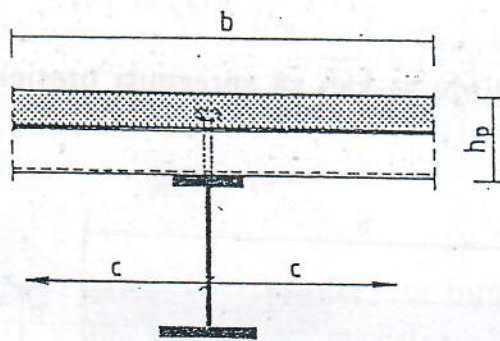
a) Rebra spregnute ploče su paralelna sa osovinom stropnih nosača (slika 8.12)



Slika 8.12



b) Rebra spregnute ploče su okomita na osovину stropnih nosača (slika 8.13)



Slika 8.13

Kod proračuna spregnutog presjeka stropnog nosača iz odnosa a) u predjelu pozitivnih momenata u spregnuti presjek ulaze površine presjeka betona, armature ploče, profilisanog lima i čeličnog nosača. Uvodjenjem idealiziranog homogenog presjeka betona umjesto stvarnog betona i profilisanog lima dobije se uobičajen presjek spregnutog nosača koji se rješava na poznate načine.

U predjelu negativnih momenata u spregnuti presjek ulaze površine presjeka armature, profilisanog lima i čeličnog nosača.

#### 8.5.1 Osnove proračuna spregnutog nosača kada su rebra spregnute ploče okomite na nosač

Na osnovu rezultata eksperimentalnih i teoretskih istraživanja ovaj slučaj spreznjanja može se, uz određena pojednostavljenja, svesti na poznate postupke proračuna. Podrazumijeva se postizanje punog spreznjanja koje omogućuje dovoljna širina rebra lima i adekvatan broj elastičnih moždanika za spreznjanje saglasno smičućim silama. Na mjestima pozitivnih momenata u spregnuti presjek ulaze površine presjeka betonske ploče, armature ploče i čeličnog nosača.

Na mjestima negativnih momenata u spregnuti presjek ulaze površine presjeka armature ploče i čeličnog nosača.

Proračun se može obaviti primjenom teorije elastičnosti ili teorije plastičnosti.

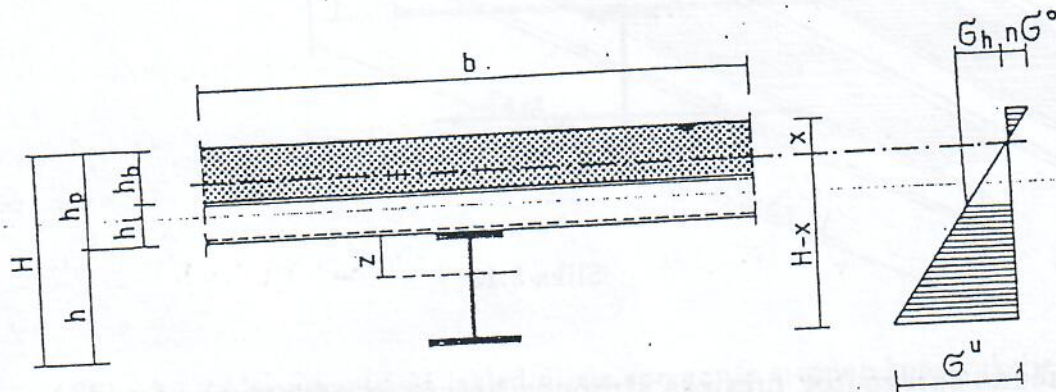
##### 8.5.1.1 Proračun spregnutog nosača primjenom teorije elastičnosti

Karakteristike spregnutog presjeka na mjestima pozitivnih momenata.



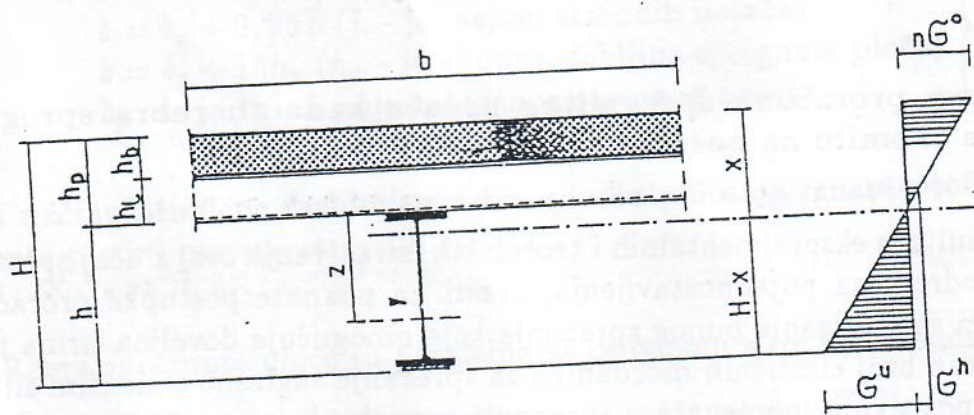
- a) Visina rebara profilisanog lima  $h_l \leq 40$  mm, a neutralna osa je u betonskoj ploči  $x \leq h_b$ .

Karakteristike presjeka odredjuju se kao za spregnuti presjek sa pločom površine  $b \cdot h_b$ .



Slika 8.14

- b) Visina rebara profilisanog lima  $h_l \leq 40$  mm, a neutralna osa prolazi kroz čelični presjek  $X > h_b$ .



Slika 8.15

Na karakteristike presjeka utiče i čelični profilisani lim. Za kontrolu napona mogu se koristiti približne vrijednosti karakteristika presjeka.

Moment inercije spregnutog presjeka

$$\bar{J}_i = \left(1 - \frac{h_l}{5 \cdot h_p}\right) J_i \quad (8.16)$$



Moment otpora na gornjem rubu ploče

$$\overline{W}_i^o = \left(1 - \frac{h_l}{2h_p}\right) W_i^o \quad (8.17)$$

Moment otpora na donjem rubu čeličnog nosača

$$\overline{W}_i^u = W_i^u \quad (8.18)$$

$J_i$ ,  $W_i^o$ ,  $W_i^u$  su karakteristike spregnutog presjeka sa punom betonskom pločom debljine  $h_p$ .

$\overline{J}_i$ ,  $\overline{W}_i^o$ ,  $\overline{W}_i^u$  su karakteristike spregnutog presjeka uključujući i čelični profilisani lim.

Ako je visina rebra profilisanog lima  $40 \text{ mm} < h_l < 75 \text{ mm}$ . Nezavisno od položaja neutralne ose karakteristike presjeka zavise od ponašanja profilisanog lima pa se karakteristike spregnutog presjeka računaju kao i u slučaju b).

#### 8.5.1.2 Proračun spregnutog nosača primjenom teorije plastičnosti

Za proračun po teoriji plastičnosti moraju biti ispunjeni uslovi:

- osobine čelika i betona moraju biti poznate sve do loma;
- presjeci ostaju ravni sve do loma;
- presjek mora da ima sposobnost rotacije;
- sredstva za sprežanje moraju osigurati sprežanje sve do pojave loma.

Proračunom po teoriji plastičnosti dokazuju se dva karakteristična stanja nosača:

- granično stanje nosivosti i
- granično stanje upotrebljivosti

Graničnim stanjem nosivosti dokazujemo da smo nosač obezbijedili od stvaranja plastičnog zgloba u sredini raspona usljed djelovanja momenta savijanja ili od loma na osloncu usljed djelovanja poprečne sile.

Koeficijent sigurnosti za čisto savijanje  $\gamma_M = 1,75$

Koeficijent sigurnosti za čisto smicanje  $\gamma_Q = 1,60$

Cilj proračuna je da odredimo presjek spregnutog nosača koji protiv loma od savijanja ima sigurnost  $\gamma_M = 1,75$ , tj. da je:



$$M_{pl} \geq \gamma_M \cdot (M_g + M_p) \quad (8.19)$$

a protiv loma od transverzalne sile sigurnost  $\gamma_Q = 1,60$ , tj. da je:

$$Q_{pl} \geq \gamma_Q \cdot (Q_g + Q_p) \quad (8.20)$$

Da bi se izbjegla mogućnost gubljenja stabilnosti pritisnutog dijela čeličnog presjeka i omogućio puni rotacioni kapacitet (presjek klase 1) kontrolirše se i granična vitkost  $b/t$ , koja prema eurocode 4 iznosi:

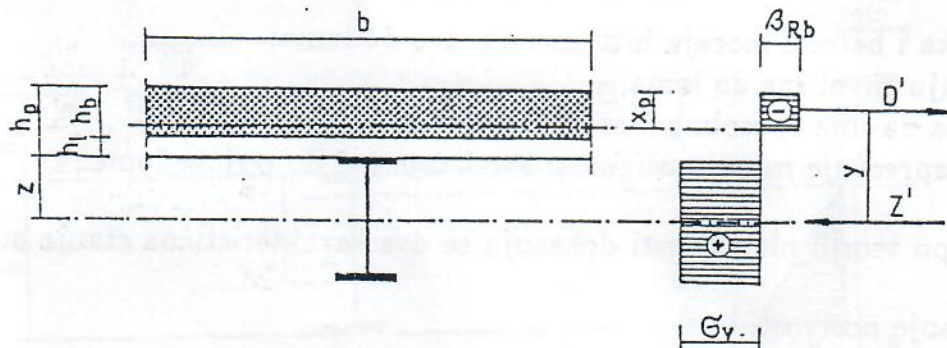
$$b/t = 24 \varepsilon \quad (8.21)$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/\sigma_v} \text{ (MPa)} \quad (8.22)$$

Graničnim stanjem upotrebljivosti dokazujemo da se nosač u eksploataciji, pod uticajem najnepovoljnije kombinacije opterećenja (uključujući skupljanje i tečenje) ponaša elastično. Za ovo stanje koeficijent sigurnosti  $\gamma = 1,0$ . Sa istim koeficijentom sigurnosti dokazujemo da je ugib nosača manji od dozvoljenog ugiba ( $L/250$ ).

Ovdje će se dati aplikacija proračuna spregnutih nosača po teoriji plastičnosti na dva karakteristična presjeka iz tačke 8.5.1.1 u području pozitivnih momenata savijanja.

a) Neutralna osa leži u betonskoj ploči  $X_p \leq h_b$



Slika 8.16

Rezultujuća sila pritiska:

$$D' = \beta_{Rb} \cdot b \cdot X_p \quad (8.23)$$

Rezultujuća sila zatezanja:

$$Z' = \sigma_v \cdot A_n \quad (8.24)$$

Iz uslova  $Z' = D'$  dobijemo položaj neutralne ose:

$$X_p = \frac{\sigma_v \cdot A_n}{\beta_{Rb} \cdot b} \quad (8.25)$$



Razmak sprega sila:

$$Y = Z + h_p - \frac{X_p}{2} \quad (8.26)$$

Momenat plastičnosti:

$$M_{pl} = Z' \cdot Y \quad (8.27)$$

$$M_{pl} = \sigma_v \cdot A_n \cdot \left( Z + h_p - \frac{\sigma_v \cdot A_n}{2\beta_{Rb} \cdot b} \right) \quad (8.28)$$

Granična smičuća sila:

$$R_u = A_n \cdot \sigma_v \quad (8.29)$$

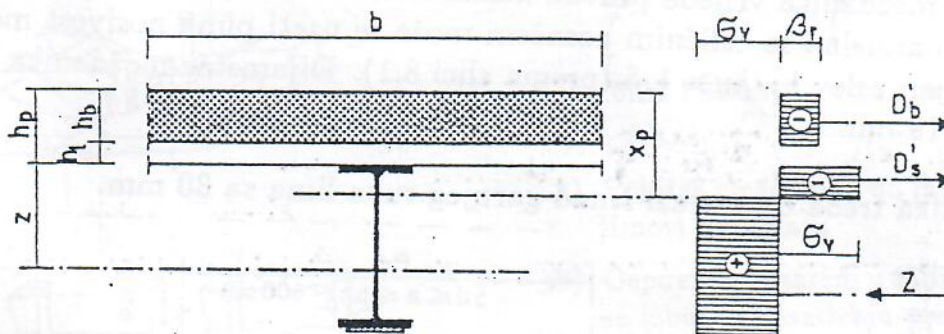
$A_n$  - je površina presjeka čeličnog nosača

$\sigma_v$  - je granica razvlačenja čelika

$\beta_{Rb}$  - granična nosivost betona (0,6)

$z$  - je položaj težišta čeličnog nosača

b) Neutralna osa leži u vertikalnom limu čeličnog nosača  $X_p > h_p$



Slika 8.17

Momenat pune plastičnosti spregnutog presjeka:

$$\bar{M}_{pl} = 0,85 M_{pl} \quad (8.30)$$

Granična smičuća sila:

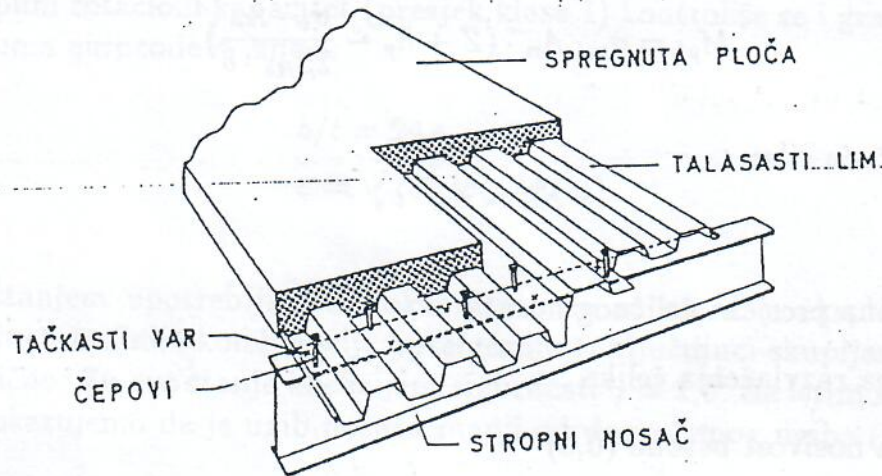
$$R_u = \beta_{Rb} \cdot b \cdot h_b \quad (8.31)$$

$M_p$  - je momenat pune plastičnosti presjeka sa neoslabljenom pločom debljine  $h_p$



### 8.5.1.3 Proračun sredstava za sprezanje

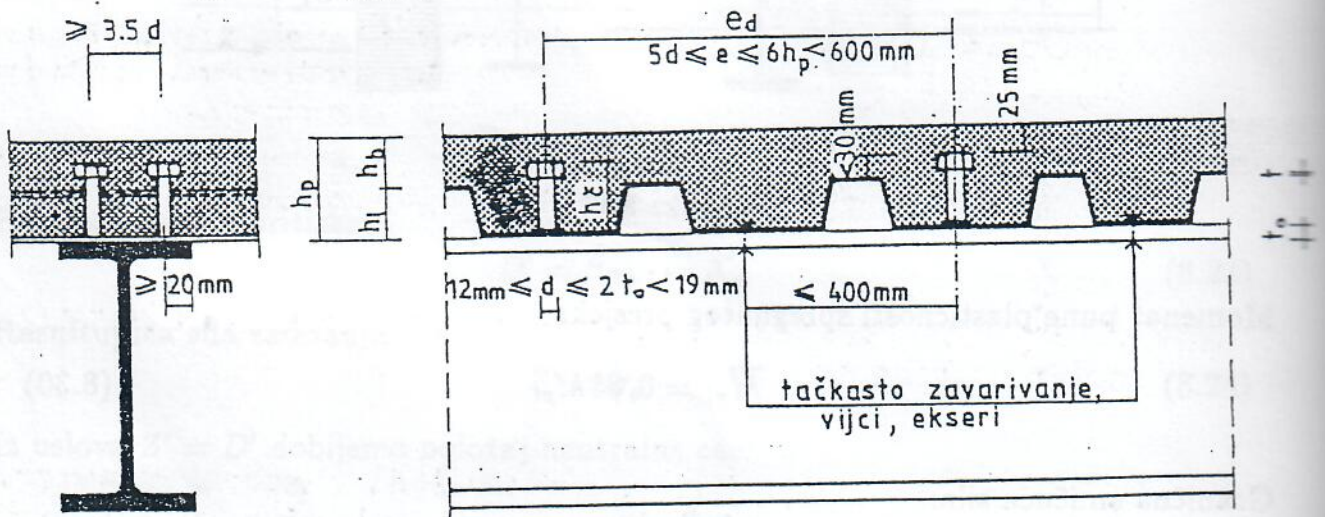
Kod spregnutih konstrukcija ploča i nosača skoro isključivo se koriste elastični cilindrični moždanici - čepovi sa glavom. Kao dodatno sredstvo koristi se i tačkasto zavarivanje koje povećava stepen sprezanja i ojačava lim za funkciju dijafragme. Na slici 8.18 dat je aksonometrički izgled dijela spregnute stropne konstrukcije sa položajem moždanika i varova.



Slika 8.18

Za raspored moždanika vrijede pravila naznačena u tački 6.3. Kada su rebra spregnute ploče paralelna sa čeličnim nosačem može se uzeti puna nosivost moždanika ako je ispunjen uslov  $b_o/h_l > 1,5$  (prema slici 8.1). Dijametar moždanika treba da je manji od 19 mm.

Vrh moždanika treba da prelazi iznad gornjeg ruba lima za 30 mm.



Slika 8.19 Raspored i odnosi moždanika na sprezanje



$$R_D = 0,25 \cdot d^2 \cdot \sqrt{E_b \cdot \beta_{b28}} < 0,7 \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sigma_u \quad (8.32)$$

$E_b$  - je modul elastičnosti betona u  $N/mm^2$

$\beta_{b28}$  - je marka betona ploče u  $N/mm^2$

$\sigma_u$  - je zatezna čvrstoća čelika moždanika u  $N/mm^2$

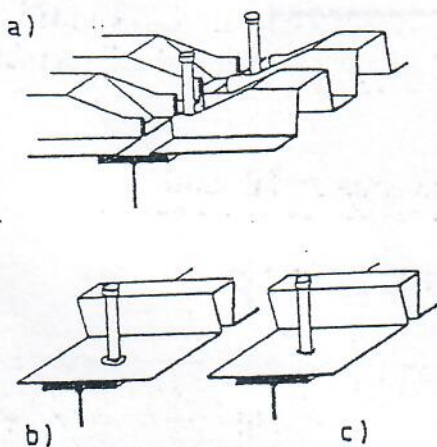
$d$  - je dijametar tijela čepa u mm

$h_z$  - je ukupna visina čepa sa glavom

Izraz za nosivost važi za odnos  $\frac{h_z}{d} > 4$

Za nosivost moždanika kada su rebra spregnute ploče okomita na čelični nosač i kada nije ispunjen uslov  $b_o/h_l > 1,5$  kod paralelnih rebara nosivost moždanika mora se korigovati sa koeficijentom  $\alpha < 1.0$

$$\alpha = 0,6 \frac{b_o}{h_l} \left( \frac{h_z - h_l}{h_l} \right) \quad (8.33)$$



Slika 8.20 Položaj i način spajanja čepova

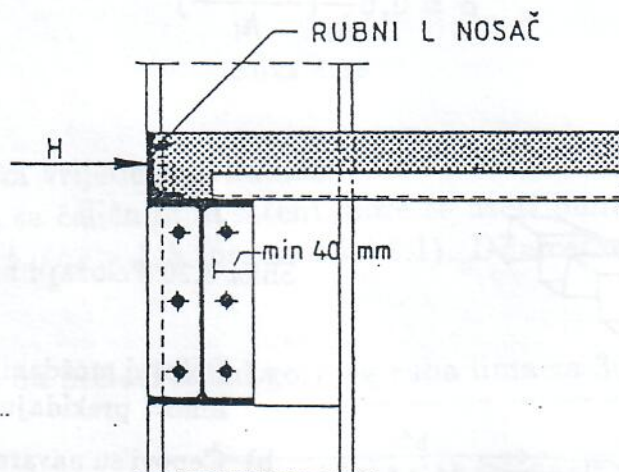
- a) Položaj moždanika na mjestima gdje se limovi prekidaju
- b) Čepovi su navareni u radionici, a limovi se izbuše i montiraju preko moždanika (lošija veza traži preciznost)
- c) Čepovi se vare na gradilištu nakon montaže nosača i limova

## 8.6 Spregnuta stropna (krovná) konstrukcija kao horizontalna dijafagma

U uvodnom dijelu ovoga poglavlja smo konstatovali da medjuspratna spregnuta konstrukcija, pored prijema vertikalnih opterećenja, djeluje kao horizontalna dijafagma u prijemu horizontalnih sila od vjetrova i seizmike i njihovom prenošenju na kruta jezgra ili vertikalne dijfragme.



- U fazi montaže višetažnog objekta kada se horizontalna krutost objekta postiže samo preko profilisanih limova koji su adekvatno spojeni sa nosivim skeletom i stropnim nosačima. U ovoj fazi bitan je pravilan raspored smjerova rebara da bi se dobila približno ista krutost u oba ortogonalna pravca, jer su ispitivanja pokazala da ploče profilisanih limova nemaju istu krutost u oba pravca.
- U fazi eksploatacije objekta kada kao horizontalna dijafragma djeluje spregnuta ploča. U ovom slučaju spojna sredstva - moždanici koji spajaju spregnutu ploču sa stropnim nosačima i prečkama okvira moraju da prime i preuzmu horizontalne smičuće sile. Iz navedenog razloga treba uvijek ostaviti rezerve u nosivosti spojnih sredstava za vertikalna opterećenja, posebno u rubnim zonama horizontalne konstrukcije gdje se neposredno uvode spoljna horizontalna opterećenja. Za prihvatanje ovih horizontalnih opterećenja predviđaju se posebni čelični rubni nosači posredstvom betona povezani sa profilisanim limom (slika 8.21).



Slika 8.21

Spregnuta ploča sa profilisanim limovima zamjenjuje se betonskom pločom debljine  $h_p$  i tretira kao neograničeno krut nosač na elastičnim osloncima (mjestu vertikalnih dijafragmi ili jezgra).

Dalje analize izlaze iz okvira ovoga poglavlja.

U poglavlju 11: Primjena spregnutih konstrukcija u visokogradnji, dat je primjer proračuna spregnute medjuspratne konstrukcije javnog objekta sa primjenom profilisanih limova koji dobro ilustruje primjenu materije izložene u ovom poglavlju.



Korištenjem odgovarajućih programa i računara mogu se rezultati dimenzioniranja i kontrole nosivosti tabelarno svrstati što olakšava poslove projektovanja. U knjizi (13) date su takve tabele.

Projektanti spregnutih konstrukcija i studenti mogu na vlastitim personalnim računarima napraviti parcijalne ili cjelovit program (zavisno od kapaciteta računara i nivoa programera) za proračun spregnutih nosača. U knjizi (27) dat je primjer takvog programa.