

6 KONSTRUISANJE I PRORAČUN SREDSTAVA ZA SPREZANJE

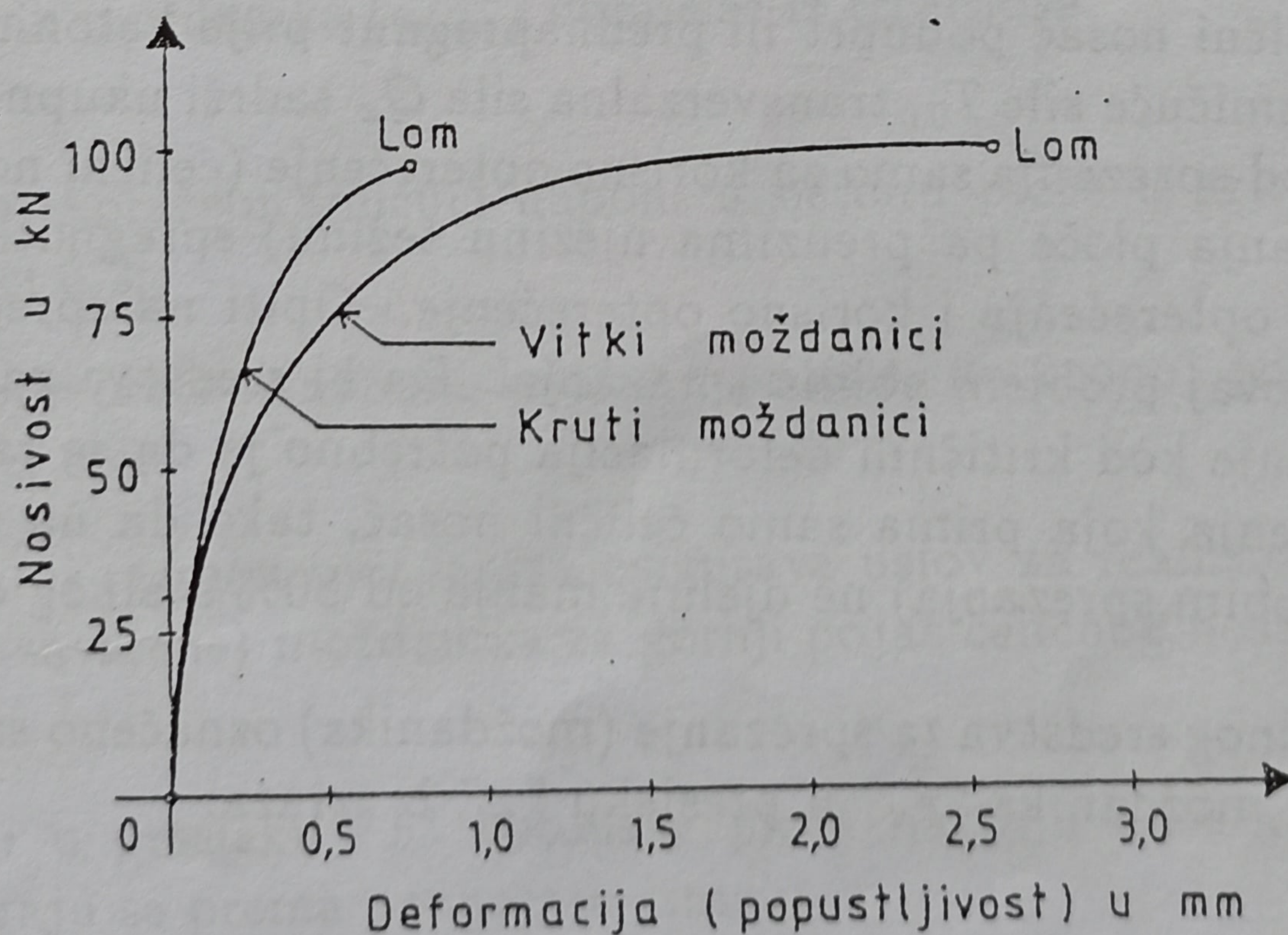
6.1 Opšta razmatranja

6.1.1 Uvod i podjela

U drugom poglavlju pod tačkom 2.3 dati su opšti pojmovi o sredstvima za sprezanje, a u četvrtom poglavlju, tačka 4.2.4 izveden je opšti izraz za smičuće sile po jedinici dužine nosača, koje nastaju na spoju između čeličnog nosača i armirano-betonske ploče.

Kao sredstvo za sprezanje, u dosadašnjoj praksi primjene spregnutih konstrukcija u mostogradnji i visokogradnji, koriste se moždanici, sidra, čepovi, trenje posredstvom visokovrijednih vijaka i njihove kombinacije. U literaturi i u praksi odomaćen je zajednički naziv moždanici koji uslovno obuhvata sva sredstva za sprezanje i dozvoljava druge bitnije podjele.

Prema načinu preuzimanja smičućih sila i ponašanja u dijagramu nosivost deformacija (slika 6.1), moždanike možemo uslovno podijeliti na vitke (fleksibilne, popustljive, elastične) i krute (nepopustljive).



Slika 6.1

Vitki moždanici preuzimaju smičuće sile savijanjem, zatezanjem i smicanjem u najnižim dijelovima na vezi za pojas čeličnog nosača, a u blizini područja granične nosivosti pretrpe velike plastične deformacije.

Kruti moždanici preuzimaju smičuće sile posredstvom čela smicanjem, a u blizini područja granične nosivosti neznatne su plastične deformacije.

6.1.2 Općenito o nosivosti moždanika

U tački 4.2.4 izveden je izraz za vrijednost smičuće sile od gravitacionih opterećenja na kontaktnoj spojnici između betonske ploče i čeličnog nosača u nekom presjeku "X"

$$T_0 = \frac{S_i \cdot Q_x}{J_i} \quad (6.1)$$

Sila smicanja koju prima jedan moždanik je

$$T = T_0 \cdot e_x \quad (6.2)$$

Kod proračuna po teoriji elastičnosti moždanike treba tako dimenzionirati i rasporediti da na svakom dijelu spregnutog nosača preuzmu sile smicanja od gravitacionih (stalno i korisno opterećenje) i vremenskih opterećenja (skupljanje betona i nejednake promjene temperature). Kod sprežanja za korisno i ukupno stalno opterećenje (čelični nosač poduprt ili prednapregnut prije betoniranja ploče) tada kod proračuna smičuće sile T_0 , transverzalna sila Q_x sadrži ukupno stalno i korisno opterećenje. Kod sprežanja samo za korisno opterećenje (čelični nosač nije poduprt u toku betoniranja ploče pa preuzima njezinu težinu) spregnuti nosač preuzima ostatke stalnog opterećenja i korisno opterećenje. Opiti na spregnutim nosačima obuhvatili su i ovaj problem obima sprežanja. Da bi sredstva za sprežanje mogla da izdrže smicanje kod kritičnih deformacija potrebno je da se računaju i na 50% stalnog opterećenja koja prima samo čelični nosač, tako da na spregnuti presjek (bez obzira na obim sprežanja) ne djeluje manje od 80% stalnog opterećenja.

Ako nosivost jednog sredstva za sprežanje (moždanika) označeno sa " N_{dop} " možemo odrediti razmak moždanika " e_x " u presjeku "X" iz izraza:

$$e_x = \frac{N_{dop} \cdot J_i}{Q_x \cdot S_i} \quad (6.3)$$

Na nosivost moždanika utiču: oblik i dimenzije moždanika, kvalitet materijala moždanika, čvrstoća betona, vrsta opterećenja (statičko ili dinamičko opterećenje), način spajanja za čelični nosač, razmak moždanika, dimenzije betonske ploče, procenat i način armiranja.

Vidimo da nosivost moždanika zavisi od niza pojedinačnih faktora kao i međusobnog odnosa tih faktora, pa je nemoguće bez eksperimentalnih istraživanja na modelima doći do zadovoljavajućih izraza za proračun nosivosti.

6.1.3 Granični razmaci moždanika i uzdužni smičući naponi u betonskoj ploči

Za ostvarenje jedne od četiri pretpostavke na kojima se zasniva proračun spregnutih konstrukcija, kontinualnost i nepopustljivost veze na kontaktu dva različita materijala, bilo bi poželjno da se sredstva za sprezanje realizuju bez razmaka, tj. neprekidno. Teoretska pretpostavka kontinualnog sprezanja ostvaruje se samo trenjem dodirnih površina posredstvom visokovrijednih vijaka i trenjem između profilisanih limova sa neprekinutim uzdužnim žljebovima i betona ploče. U svim drugim slučajevima sprezanje je diskontinualno pa je razumljiv značaj što tačnijeg definisanja najmanjeg i najvećeg razmaka moždanika.

Najveći razmak moždanika (e_{max}), koji još garantuje kontinuitet sprezanja, mora da bude manji od 2 do 3 debljine betonske ploče

$$e_{max} < (2 - 3) d_{b.pl.} \quad (6.4)$$

Najmanji razmak moždanika (e_{min}) dobije se iz tri uslova:

- da nisu prekoračeni smičući naponi u betonu ploče u kritičnim presjecima prema slici 6.2;
- da nisu prekoračeni naponi lokalnog pritiska na čonoj površini moždanika prema slici 6.4;
- da najmanji razmak moždanika osigurava uslov za realizaciju veze (u većini slučajeva zavarene) moždanika za gornji pojas čeličnog nosača.

Smičući naponi u presjeku "x" betonske ploče nastaju od savijanja spregnutog nosača, a računaju se prema poznatom izrazu:

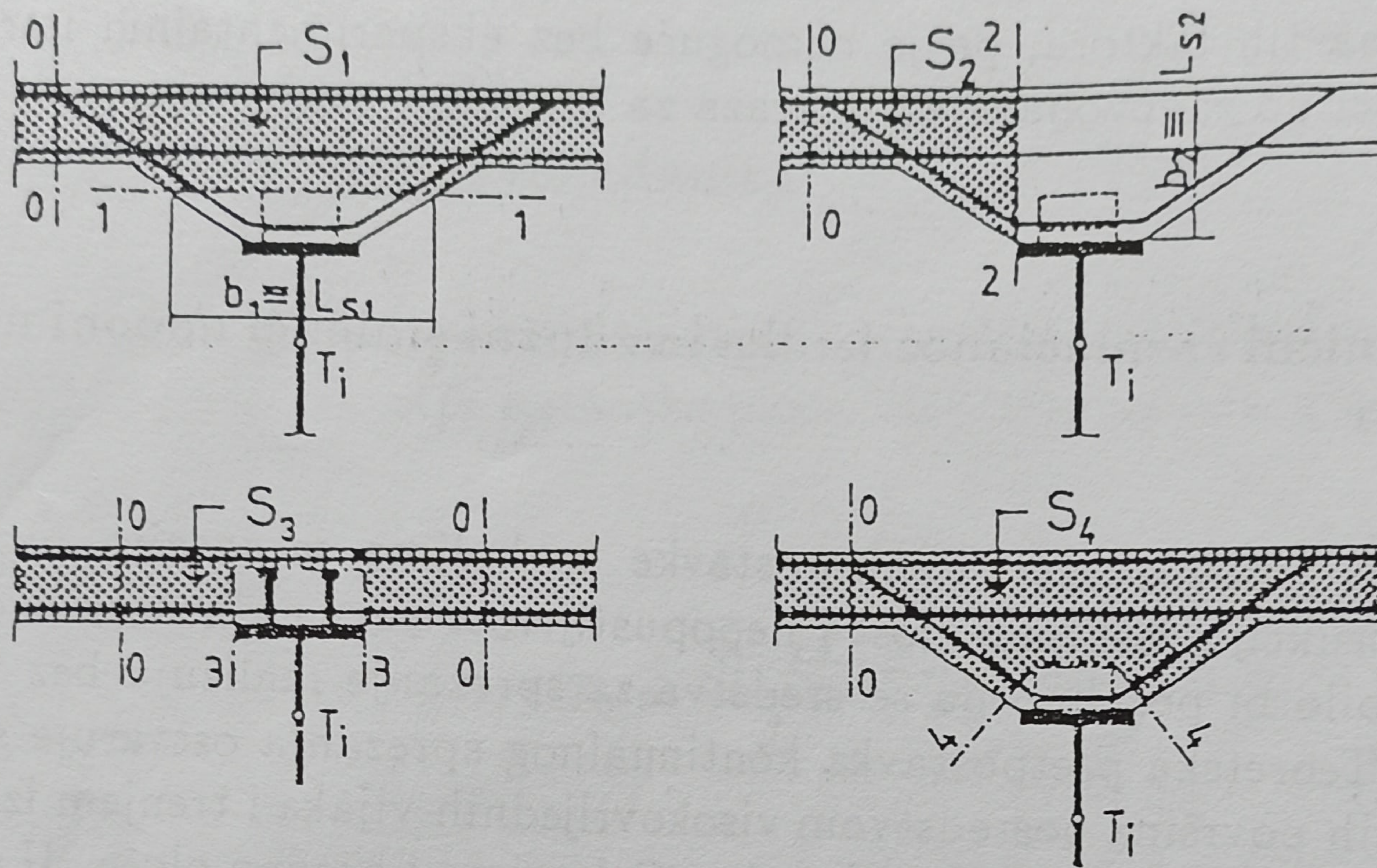
$$\tau = \frac{Q_x \cdot S_b}{J_i \cdot b} \quad (6.5)$$

Q_x - je transverzalna sila u presjeku "x" nosača

S_b - je statički moment dijela betonske ploče izdvojen presjekom za koji se računa smičući napon u odnosu na težište T_i

J_i - je idealni moment inercije spregnutog presjeka

b - je širina presjeka za koji se određuje smičući napon..



Slika 6.2

Ako su prekoračeni smičući naponi u nekom od naznačenih presjeka, povećavaju se odgovarajuće dimenzije ploče, odnosno dimenzije i razmak moždanika.

Uzdužno smicanje u naznačenim presjecima betonske ploče osigurava se minimalno potrebnom poprečnom armaturom u naznačenim ravnima smicanja prema slici 6.2.

$$A_s \geq \frac{q_p - K_1 \cdot L_s}{n \cdot 0,7\beta_{sv}} \quad (6.6)$$

A_s - je površina armature po jedinici dužine nosača u ispitanim presjecima 0-0, 1-1, 2-2, 3-3, 4-4

L_s - je mjerodavna širina površine smicanja u mm

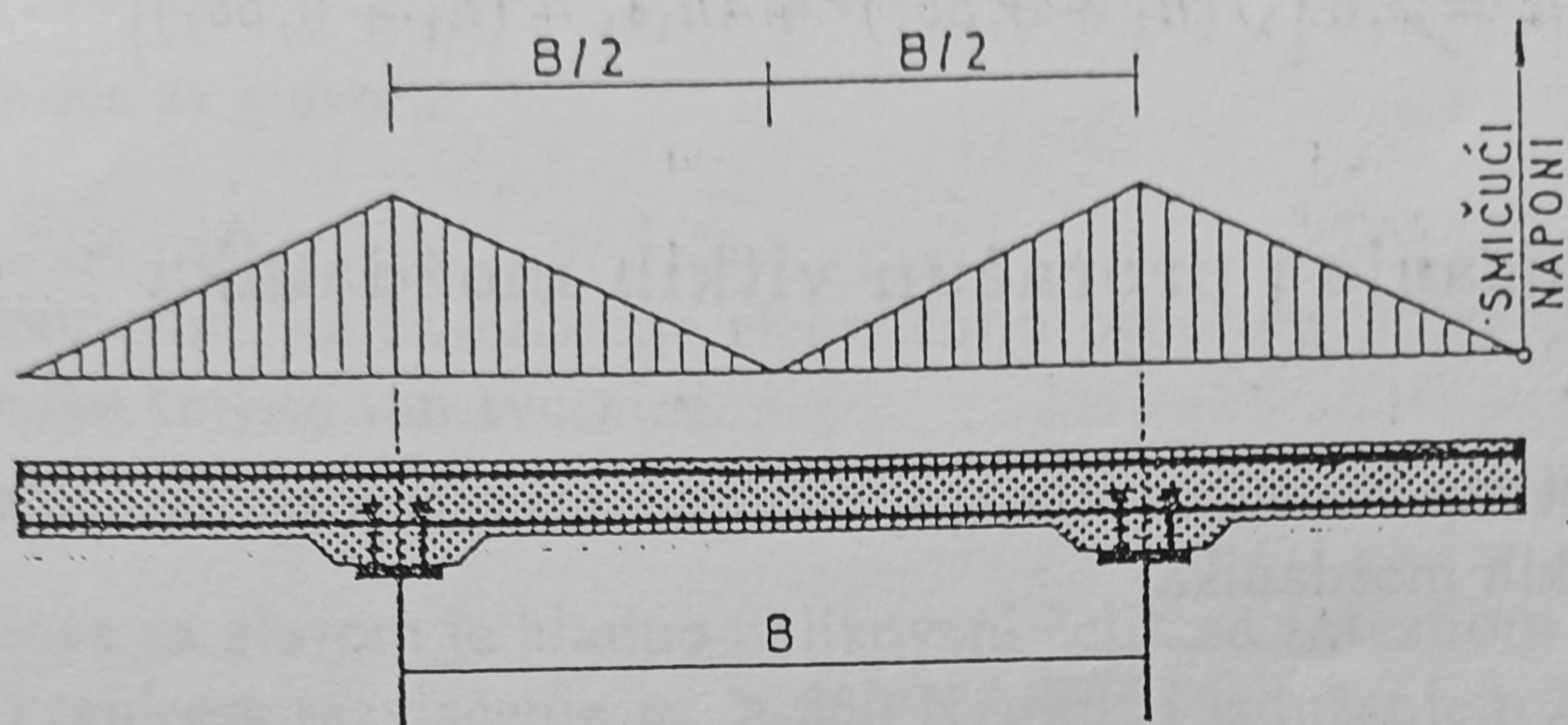
q_p - je smičuća sila po jedinici dužine nosača od vanjskih uticaja u mjerodavnim presjecima (0-0, 1-1 ...) u N/mm^2

K_1 - je računaska čvrstoća pri smicanju (τ_r) 0,8 (za MB 20), a 1,5 (za MB 50) u N/mm^2

β_{sv} - je granica popuštanju armature u N/mm^2

n - je broj presjeka armature u ispitanim ravnima smicanja (na primer u presjeku 1-1, $n = 2$).

Sračunata poprečna armatura raspoređuje se saglasno pojednostavljenom dijagramu poprečne distribucije uzdužnih smičućih napona.



Slika 6.3

Uticaj lokalnog pritiska na minimalni razmak moždanika

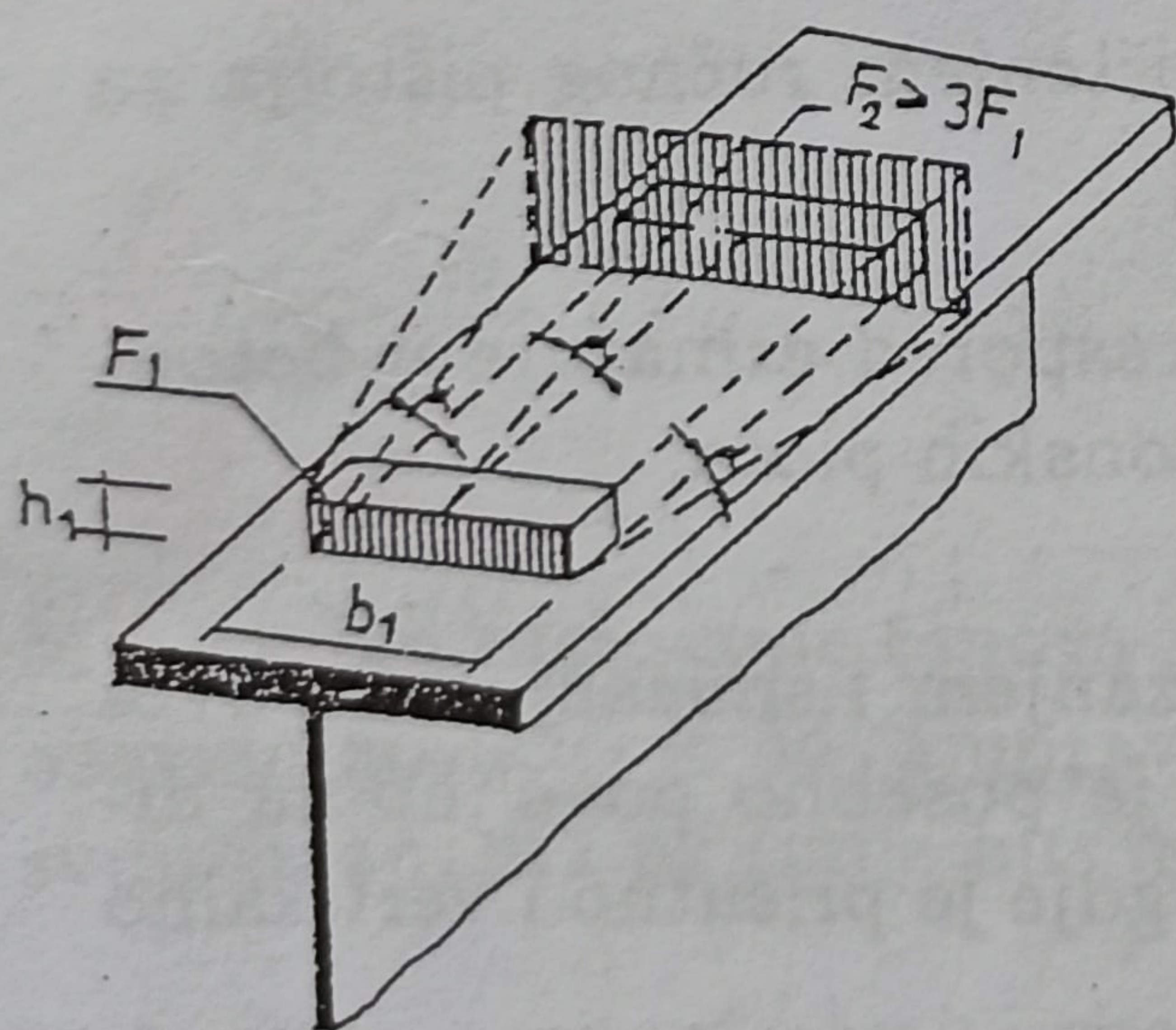
Usljed troosnog naponskog stanja betona ispred moždanika dopušta se povećan lokalni pritisak u betonu σ_1 prema izrazu

$$\sigma_1 = \sigma \sqrt[3]{\frac{F_2}{F_1}} \quad (6.7)$$

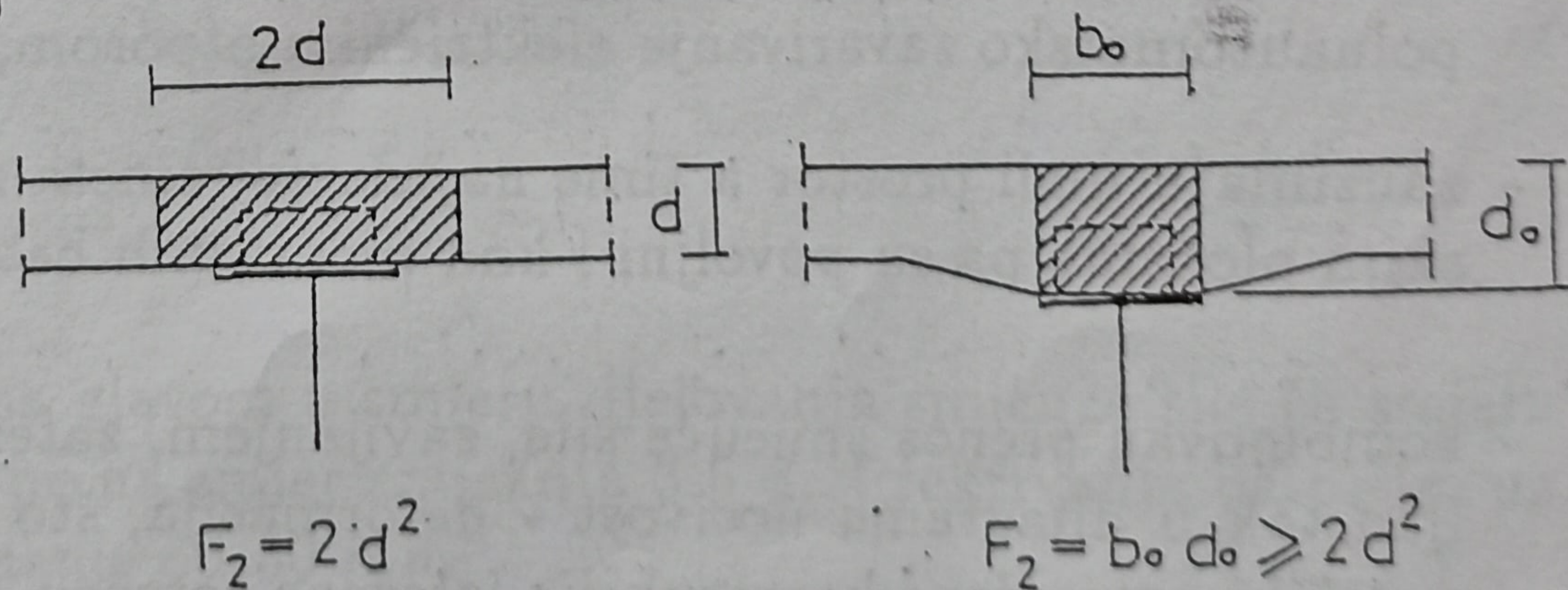
σ - je dozvoljeni napon pritiska za određenu marku betona

F_1 - je dodirna površina moždanika i betona

F_2 - je površina na koju se raspodjeljuje pritisak prema slici 6.4. Uzima se za ploče bez vuta $F_2 = 2 \cdot d^2$, a za ploče sa vutom $F_2 = b_0 d_0$ (slika 6.5)



Slika 6.4



Slika 6.5

Granični minimalni razmak moždanika e_{min} dobije se iz uslova da ukupni superponirani napon σ'_1 od dva susjedna moždanika bude manji od $\sigma'_1 \leq 1,33\sigma_1$ pri čemu je $F_2 \geq 3F_1$, a $tg\alpha = 1/5$

$$e_{min} = 2,5 \left[\sqrt{(h_1 + 0,5b_1)^2 + 4h_1b_1} - (h_1 + 0,5b_1) \right] \quad (6.8)$$

6.2 Konstruisanje i proračun vitkih moždanika

Prema specifičnostima konstruisanja, proračuna i primjene razlikujemo tri karakteristična tipa vitkih moždanika:

- čepovi sa glavom
- sidra zatvorena i otvorena raznih oblika
- prednapregnuti vijci posredstvom trenja.

6.2.1 Čepovi sa glavom

Od svih do sada poznatih i korištenih sredstava za sprezanje, čepovi sa glavom se daleko najviše koriste i u oblasti mostogradnje i u oblasti visokogradnje. Naš važeći pravilnik za sprezanje konstrukcije (29) nije obuhvatio i ovaj tip moždanika iz razloga što nije bilo adekvatnog iskustva i ispitivanja za definisanje nosivosti. Uobičajen naziv ovih moždanika u Evropi je "Peco", a u SAD "Nelson", a odnose se na firme - proizvođača pa ih treba izbjegavati. Projektanti spregnutih konstrukcija, koristeći podatke iz literature, dosta primjenjuju čepove sa glavom. Nacrt novog standarda za spregnute konstrukcije (30) daje neophodne elemente za primjenu ovih moždanika.

Prednosti moždanika čepovi sa glavom su:

- brzo i jednostavno spajanje za čelični nosač korištenjem ručnog pištolja za poluautomatsko zavarivanje električnim otporom;
- zauzimaju mali prostor a time najmanje remete raspored armature u betonskim pločama pa su povoljni i kod montažnih betonskih ploča;
- kombinovan prenos smičuće sile, savijanjem, zatezanjem i smicanjem i povoljan tok u dijagramu nosivost - deformacija, što je posebno povoljno za dinamički opterećene konstrukcije izložene zamoru, gdje je prisutno i vertikalno smicanje;

- manja težina za 15-30% u odnosu na druge tipove moždanika;
- postavljaju se u radionici na već gotove nosače bez posljedica na deformacije lamele na koju se vare i bez bojazni za oštećenja u toku transporta.

Nedostaci čepova sa glavom:

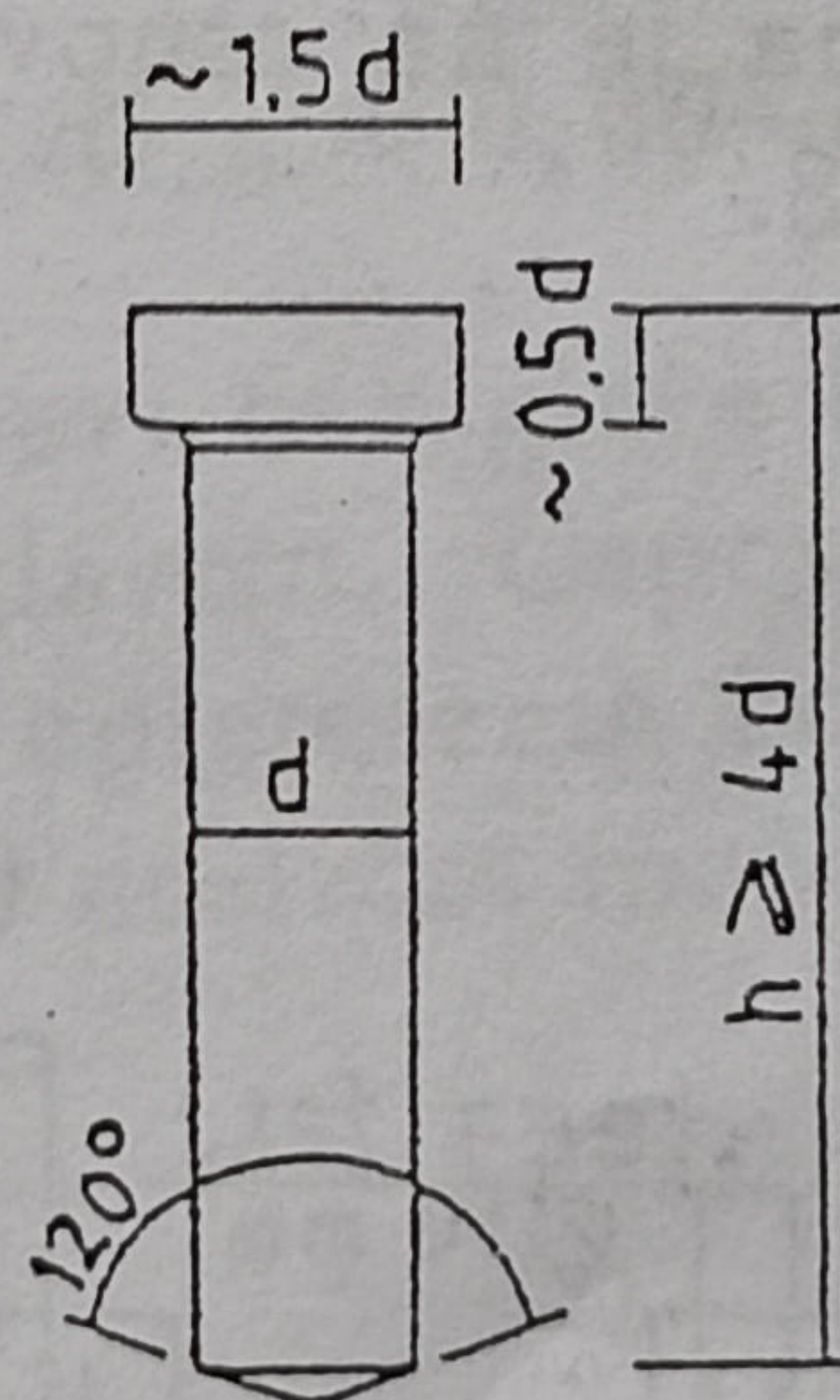
- za poluautomatsko zavarivanje električnim otporom potrebna je jaka struja pa se teško koriste van tvornica.

Materijal čepova sa glavom je hladno-oblikovani čelik sa zateznom čvrstoćom $\sigma_u \geq 450 \text{ N/mm}^2$ granicom razvlačenja $\sigma_v \geq 350 \text{ N/mm}^2$ i izduženjem $\delta, 25\%$.

Materijal čepova sa glavom je hladno oblikovani čelik sa zateznom čvrstoćom $\sigma_u \geq 450 \text{ N/mm}^2$ granicom razvlačenja $\sigma_v \geq 350 \text{ N/mm}^2$ i izduženjem $\delta, \geq 25\%$.

Tabela 6.1 Osnovne dimenzije čepova sa glavom

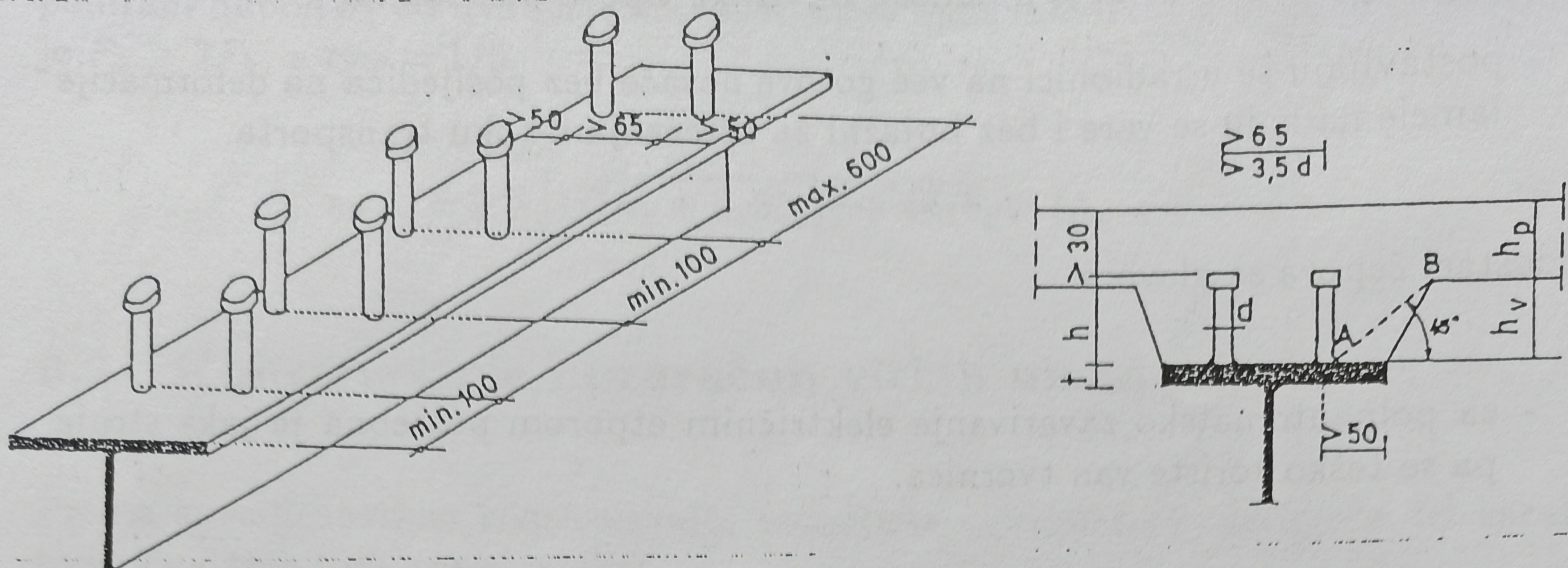
DIJAMETAR ČEPOVA	d(mm)	13	16	19	22
VISINA NAKON ZAVARIVANJA	h(mm)	60	70	80	100
		90	100	150	175



Slika 6.6

Minimalno rastojanje čepova sa glavom u smjeru djelovanja smičuće sile (u smjeru osovine nosača) je $5d$, a upravno na smjer smicanja $3,5d$. Prekrivanje betonom na svim stranama ne smije biti manje od 30 mm.

Najveći razmak čepova je 600 mm. Nosivost grupisanih moždanika na većim razmacima koji se primjenjuju kod montažnih betonskih ploča mora se posebno dokazati.



Slika 6.7 Normativni razmaci čepova i odnosi prema betonskoj ploči u pojasu čeličnog nosača.

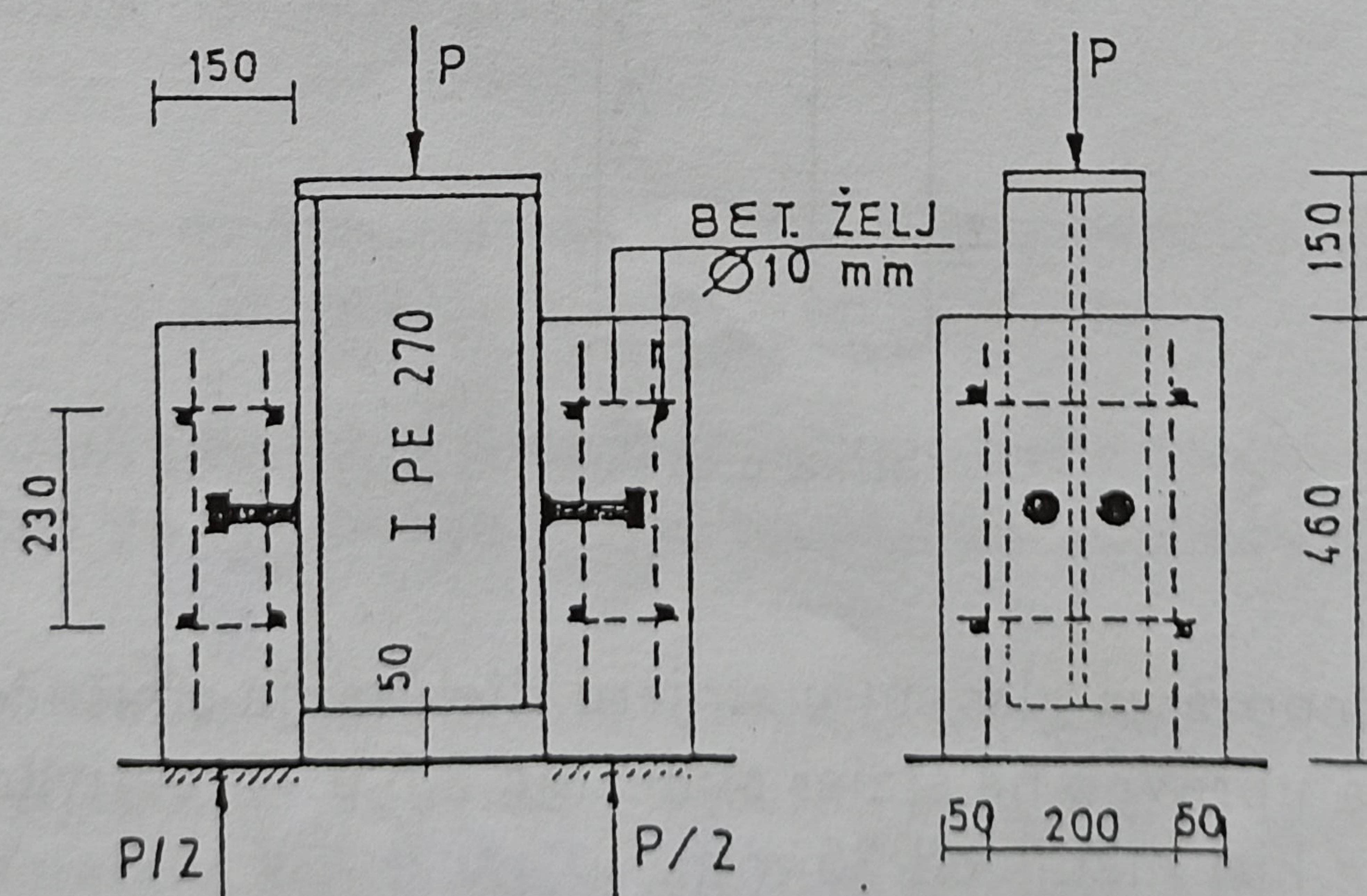
Slobodna površina vute mora biti izvan naznačene linije A-B na slici 6.7.

Veličina dijametra čepova ograničava se do 22 mm radi postupka varenja električnim otporom jer raste potrošnja i cijena električne energije.

Veličina dijametra se, takodje, ograničava debljinom t pojasa čeličnog nosača:

- za pritisnuti pojas, $d \leq 2,5 t$
- za zategnuti pojas, $d \leq 1,5 t$

Nosivost čepova sa glavom odredjena je na osnovu mnogobrojnih ispitivanja na normiranim modelima kao na slici 6.8.



Slika 6.8 Model za ispitivanje nosivosti čepova sa glavom

Granična nosivost vitkih moždanika u obliku čepova sa glavom visine $h \geq 4,0 d$ određena je manjom od dvije vrijednosti:

$$R_D = 0,25 d^2 \sqrt{E_b \cdot \beta_{b28}} \quad (6.9)$$

(mjerodavno je gnječenje betona)

$$R_D = 0,7 \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \sigma_u \quad (6.10)$$

(mjerodavno je otkazivanje moždanika)

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

β_{b28} - je čvrstoća na pritisak betonske kocke (MB) u N/mm^2

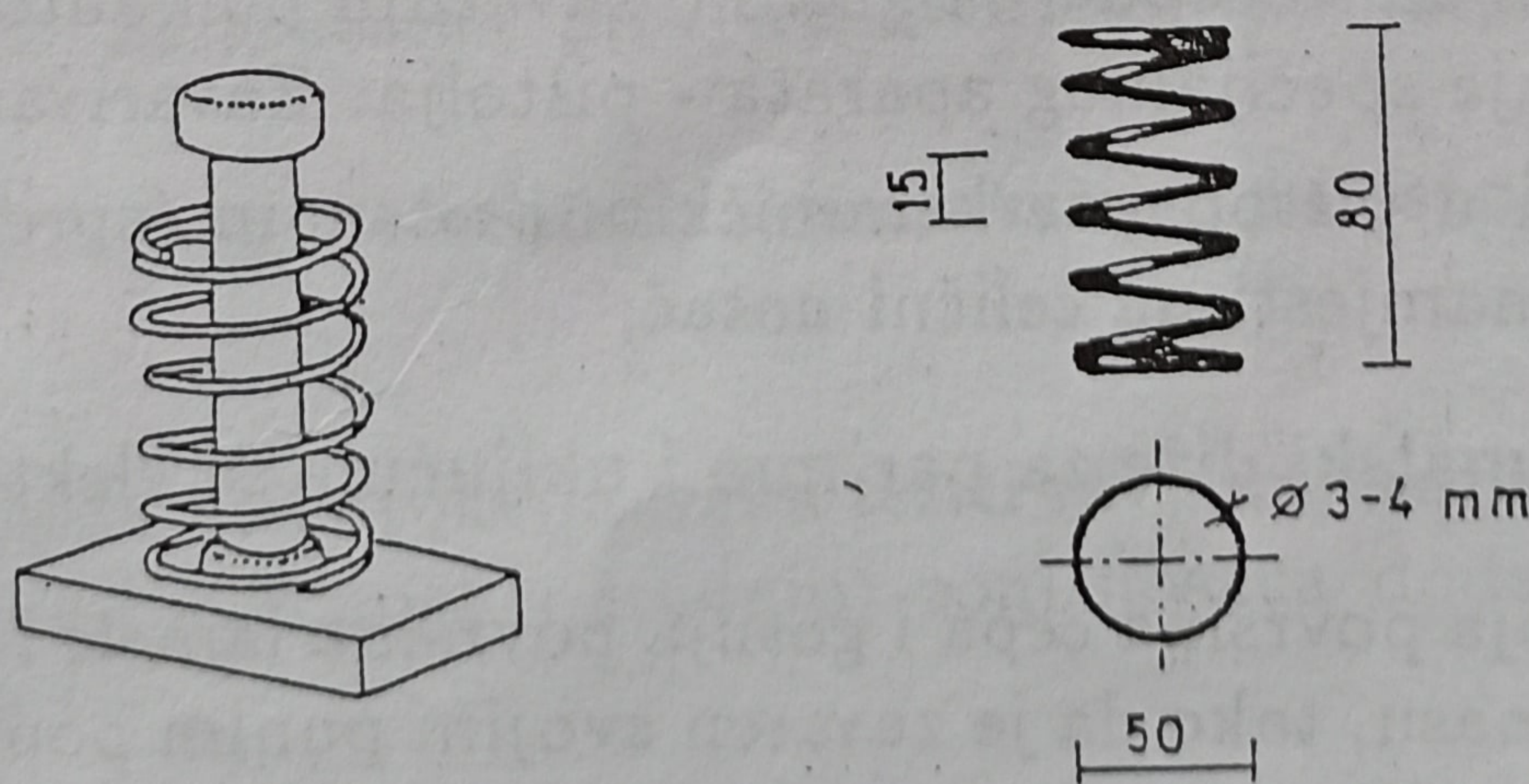
σ_u - je čvrstoća na zatezanje čelika moždanika u N/mm^2

d - je dijametar čepa sa glavama u mm.

Kada se otpornost spregnutog nosača računa po teoriji elastičnosti, graničnu nosivost moždanika datu izrazom 6.9 treba redukovati.

$$R_{DE} = 0,60 \cdot R_D \quad (6.11)$$

Eksperimenti su pokazali da čepovi bez glave imaju nosivost približno dvostruko manju u odnosu na čepove sa glavom. Čepove bez glave ne treba primjenjivati kod mostova i drugih dinamički opterećenih konstrukcija. Ako se čepovima doda spiralna armatura prema slici 6.9 nosivost moždanika se može povećati za 20%.



Slika 6.9 Čep sa glavom ojačan spiralom

Za primjenu u projektantskoj praksi, vrijednosti granične nosivosti čepova sa glavom date su u tabeli 6.2.

Tabela 6.2 Granična nosivost R_D čepova sa glavom u kN za $\sigma_u \geq 450 \text{ N/mm}^2$ i $h \geq 4d$

DIJAMETAR ČEPA $d \text{ (mm)}$	R_D PO TEORIJI PLASTIČNOSTI		R_D PO TEORIJI ELASTIČNOSTI		
	$\beta_{b28} = 20$ N/mm^2	$\beta_{b28} \geq 30$ N/mm^2	$\beta_{b28} = 20$ N/mm^2	$\beta_{b28} = 30$ N/mm^2	$\beta_{b28} \geq 40$ N/mm^2
13	32	40,1 42	19	25	30
16	48	63	29	38	46
19	68	89	41	53	65
22	91	120	55	71	87
MJERODAVAN IZRAZ	(6,9)	(6,10)	(6,9) sa redukcijom 0,6		

Veliki broj ispitivanja čepova sa glavom pokazao je da kod čvrstoća betona spregnuta veza otkazuje usljed prekoračenja lokalnog pritiska u betonu, a kod viših čvrstoća betona lom čepova nastaje smicanjem kao kod nepopustljivih moždanika. Iz ovog saznanja izlazi da su povoljne marke betona od MB30 do MB50.

U ranijoj projektantskoj praksi, po teoriji dozvoljenih napona, sila smicanja koju prima jedan moždanik dobijala se iz izraza:

$$P_{doz.} = 0,4 \cdot d^2 \sqrt{10 \cdot \beta_{b28}}$$

(mjerodavan je lokalni napon pritiska u betonu)

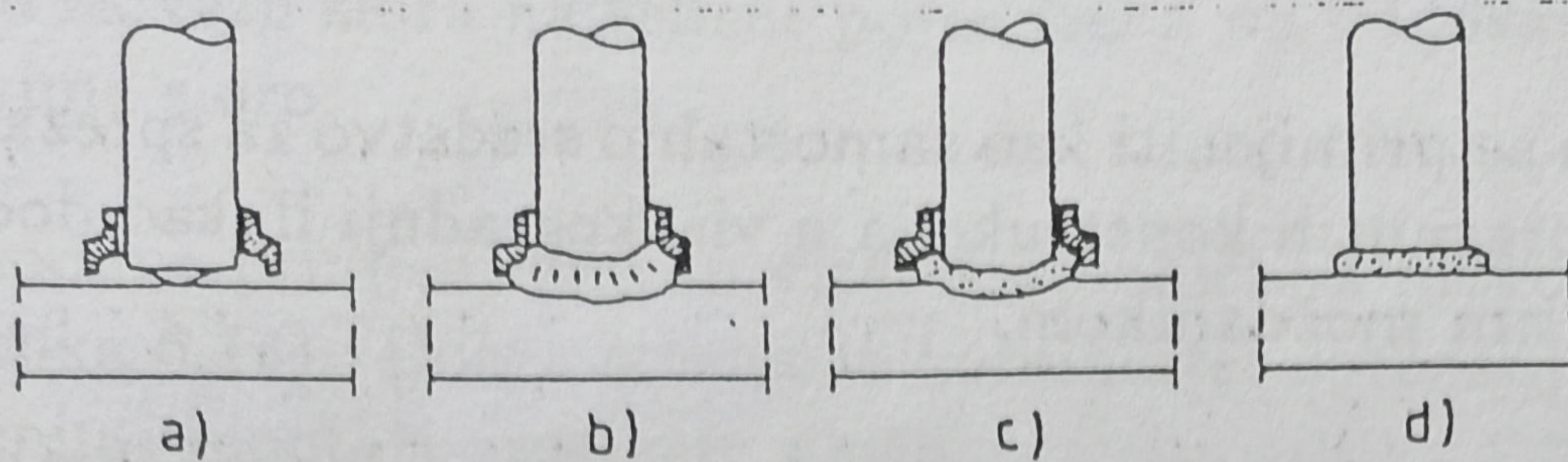
$$P_{doz.} = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \tau_d \quad (6.12)$$

(mjerodavan je napon smicanja u čeliku moždanika).

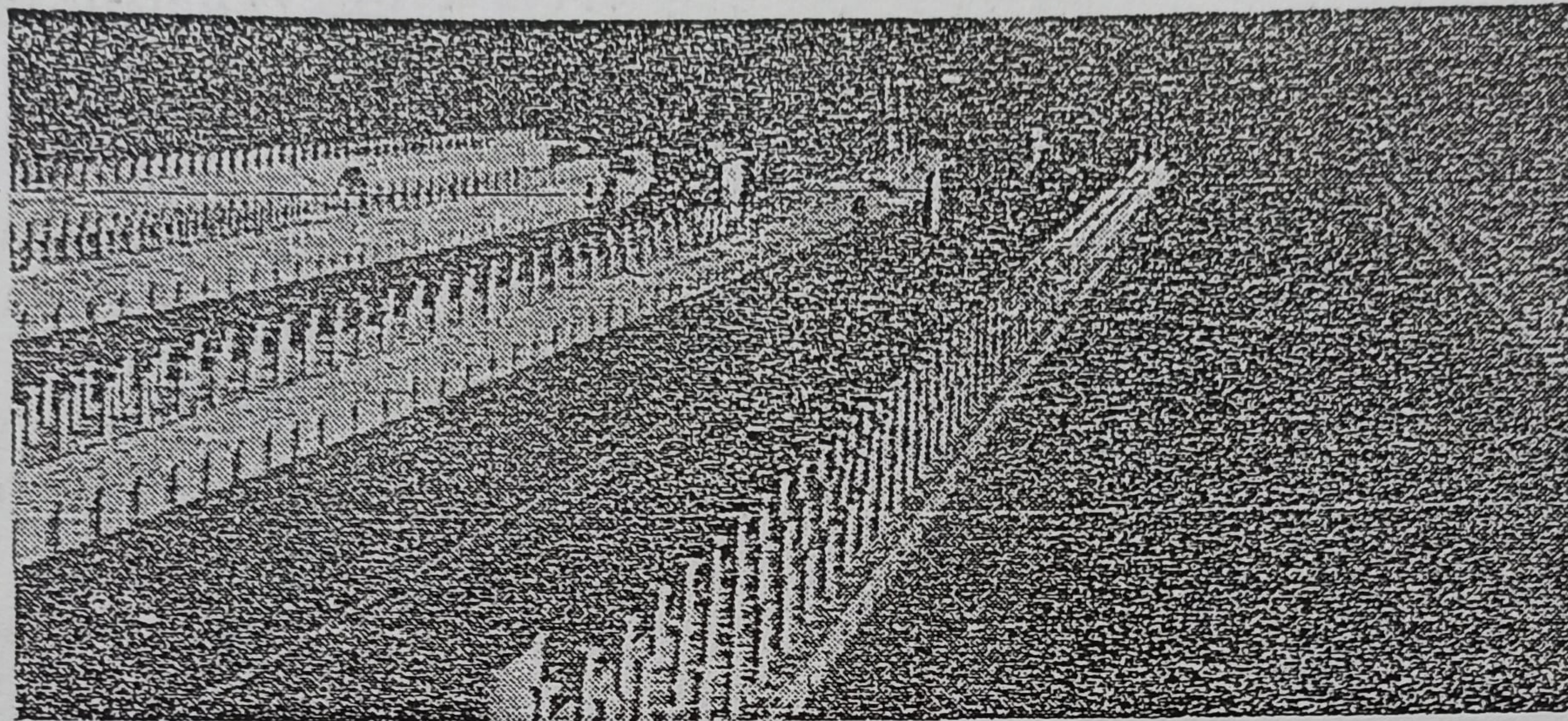
Upoređenjem rezultata proračuna po graničnoj nosivosti (izrazi 6.9, 6.10) sa rezultatima po teoriji dozvoljenih napona (izrazi 6.11 i 6.12) vidimo da proračun po graničnoj nosivosti daje veće vrijednosti za nosivost moždanika što je i logično.

Već smo konstatovali da se čepovi sa glavom zavaruju poluautomatskim električnim otporom uz korišćenje specijalnog aparata - pištolja. Zavarivanje ima sledeće faze:

- Čep se uklješti u pištolj i sa keramičkim prstenom (sprečava prodor zraka u zonu varenja) namjesti na čelični nosač;
- Prsten se automatski diže za par mm i uključuje se električni luk;
- Rastapa se donja površina čepa i gornja površina lamele i moždanika se utisne u rastopljenu masu, tako da je zavaren svojim punim poprečnim presjekom, a ne samo rubnim dijelom vara;
- Skida se keramički prsten, a čep je zavaren.

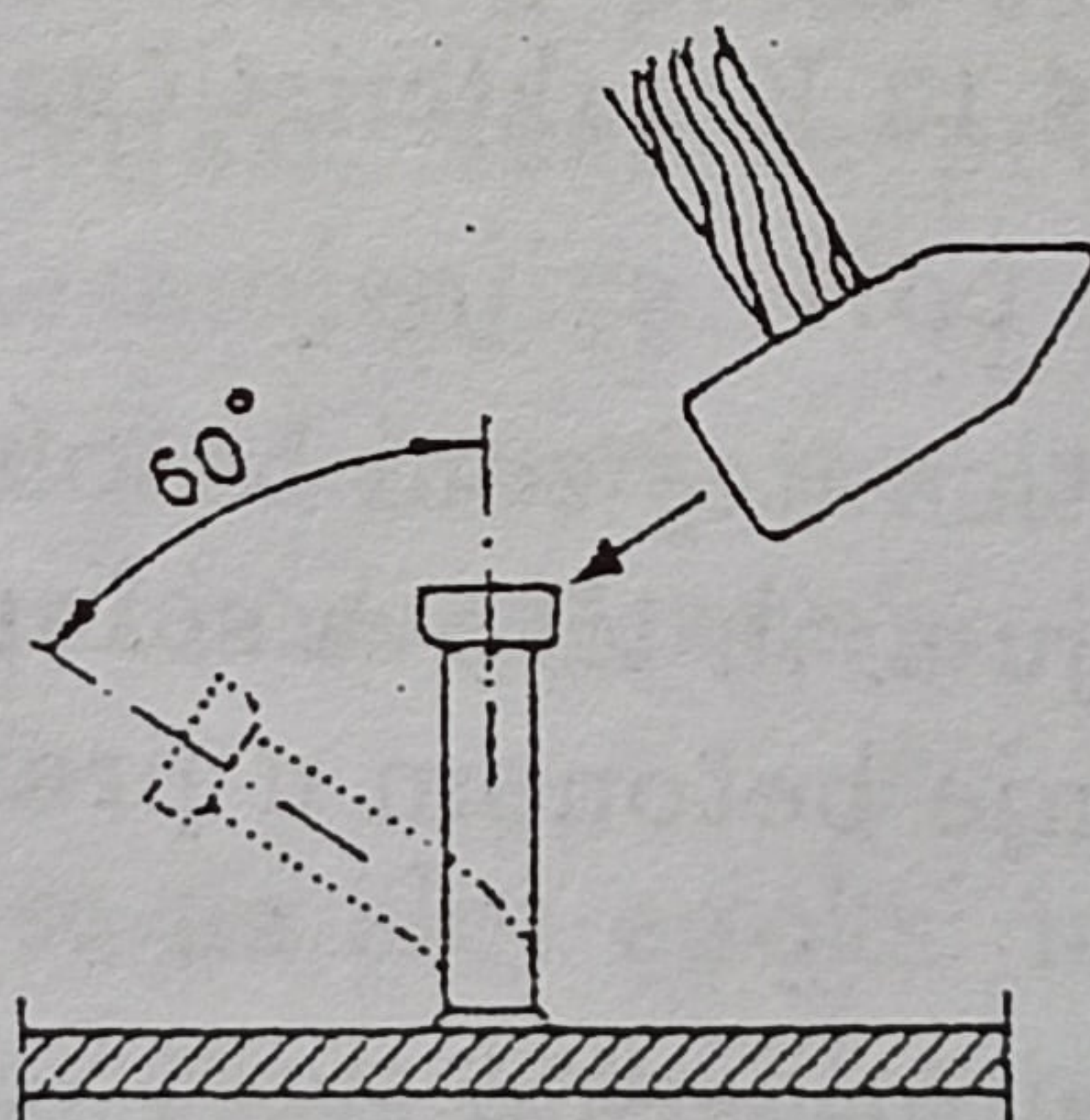


Slika 6.10 Faze zavarivanja čepa



Slika 6.11 Glavni nosači spregnutog mosta sa zavarenim čepovima

Ispitivanje kvaliteta zavarivanja čepova obavlja se na taj način da se 5% moždanika savije za ugao od 60° udarcima čekića kao što to pokazuje slika 6.12. Savijene čepove ne treba ispravljati jer ako pri tom savijanju nije došlo do oštećenja vara ispitani moždanik ima potrebnu nosivost.



Slika 6.12 Jednostavna provjera kvaliteta vara čepova

Raspored moždanika duž raspona čeličnih nosača vrši se na osnovu dijagrama smičućih sila.

Kod dinamički opterećenih konstrukcija treba težiti ravnomjernijem rasporedu moždanika duž raspona, jer moždanici u srednjoj zoni nosača dodatno su opterećeni vertikalnim smicanjem.

Pod uticajem zona plastifikacije dijagram smičućih sila postaje ravnomjerniji što, takodje, ide u prilog ravnomjernijem rasporedu moždanika duž raspona, tj. usvajanju manjih razmaka i u srednjoj zoni raspona nosača.

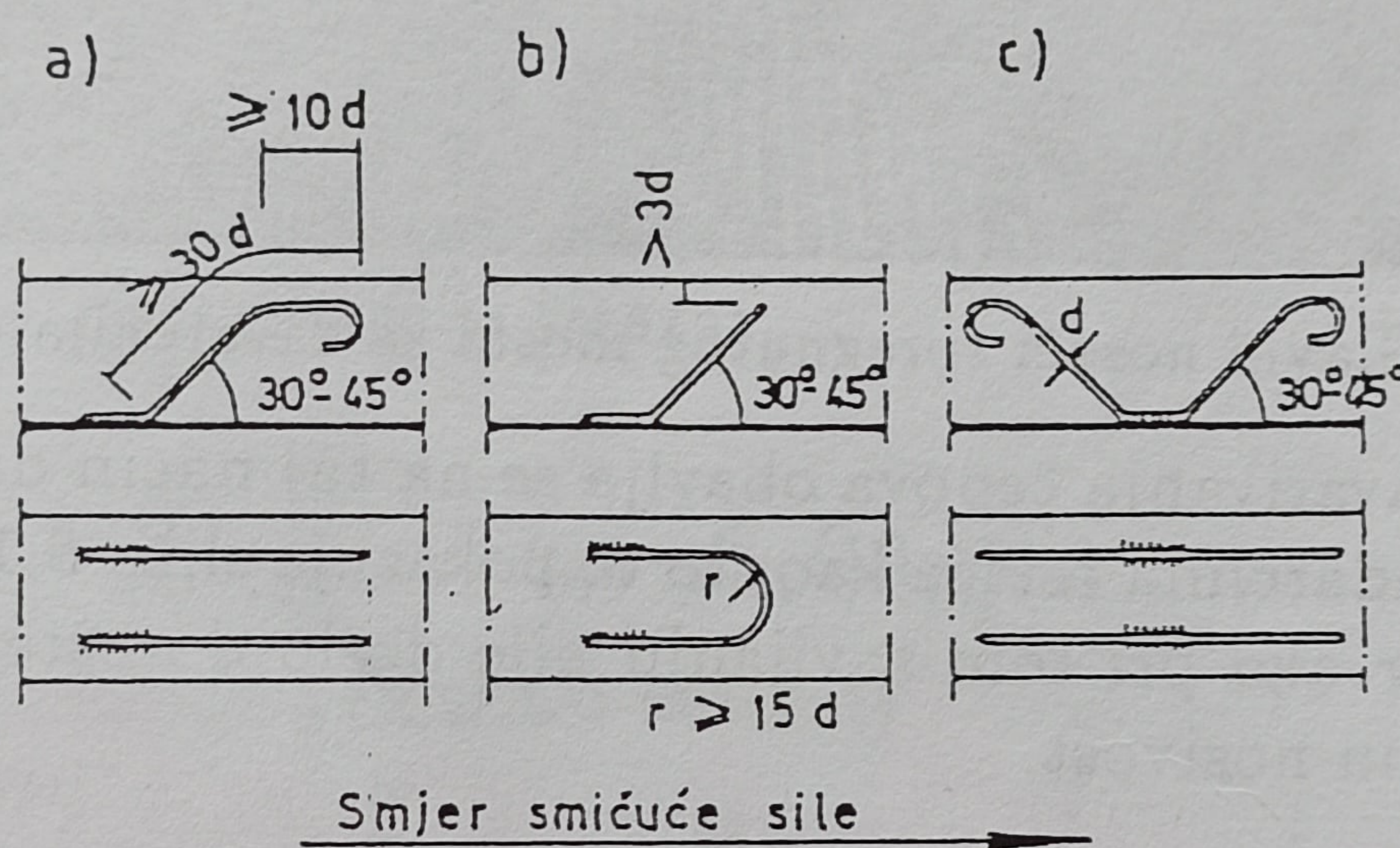
6.2.2 Sidra zatvorena i otvorena raznih oblika

Sidra ili ankeri mogu se primijeniti kao samostalno sredstvo za sprezanje kod lakše i mirno opterećenih spregnutih konstrukcija u visokogradnji ili kao dodatno sredstvo u kombinaciji sa krutim moždanikom.

Pored prijema, smičuće sile sidra služe i da spriječe odizanje betonske ploče od čeličnog nosača pa se primjenjuju na krajevima nosača gdje se javlja tendencija odizanja od uticaja skupljanja betona i promjene temperature (vidjeti sliku 6.21).

Za sidra se koristi glatka armature od mekog betonskog čelika GA 240/360 dijametra 12-18 mm.

U projektantskoj praksi i literaturi prisutno je više različitih oblika ankera. Osnovna podjela je na zatvorena sidra ili omče i otvorena sidra. Na slici 6.13 data su tri karakteristična sidra od kojih su (a) i (c) otvorena, a (b) je omča.



Slika 6.13 Karakteristična sidra

Dužina ubetoniranog sidra u pritisnutoj zoni betonske ploče treba da je veća od 30 d (d je dijametar sidra). Na kraju svih tipova sidara mora biti kuka. Prečnik omče uzimati veći od 15 d, a prekrivanje betonom u pravcu sile veće od 3 d.

Veličina sile smicanja koju preuzima jedno sidro je:

$$S_a = \mu \cdot A_a \cdot \sigma_a \quad (6.13)$$

A_a - je površina presjeka sidra

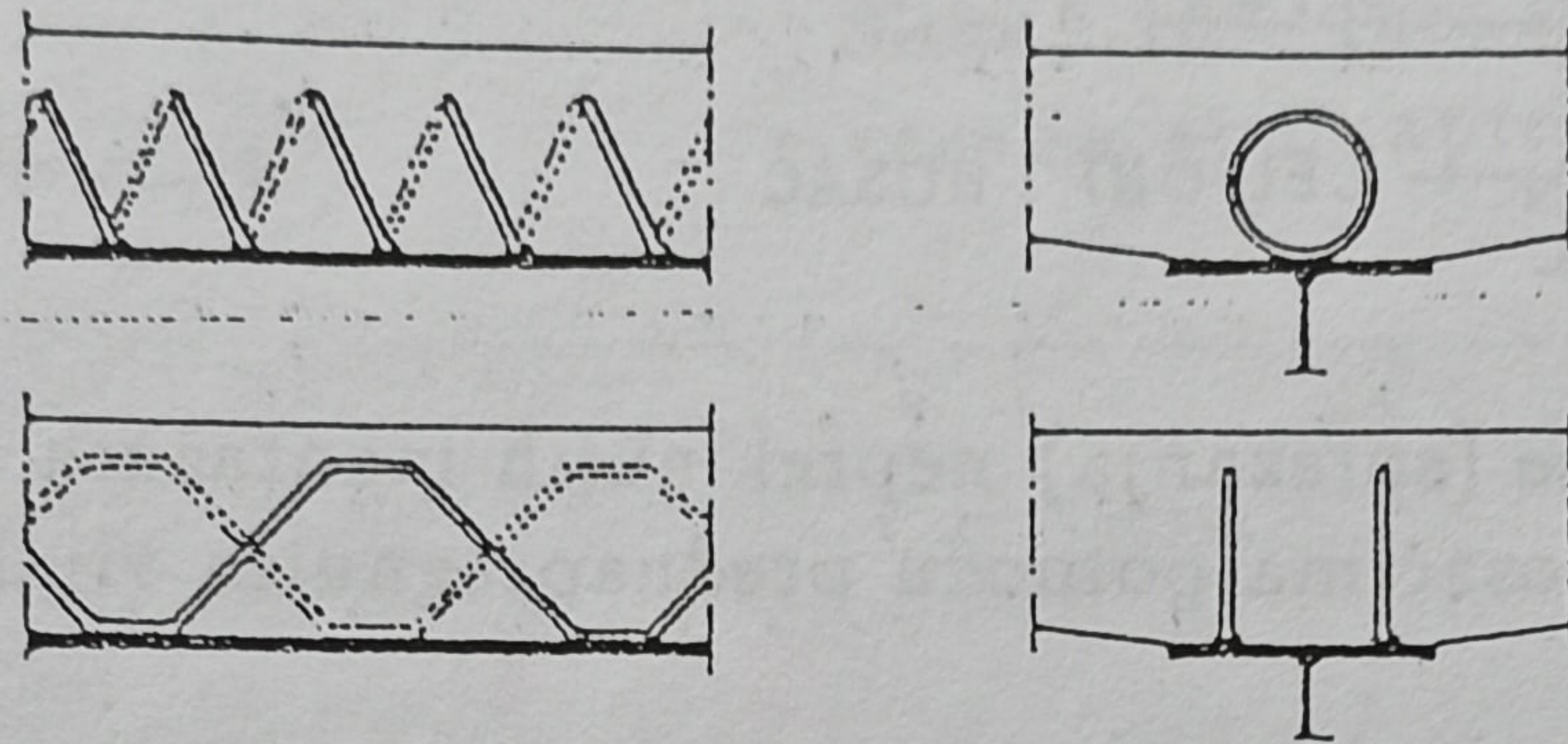
σ_a - je dopušteni napon u betonskom čeliku sidra (160 MPa)

$\mu = 0,5$ za otvorena sidra

$\mu = 0,7$ za zatvorena sidra - omče

Dimenzije vara za vezu sidra na čelični pojas treba da odgovaraju veličini smičuće sile koju preuzima sidro.

U ranijim periodima primjenjivani su vitki moždanici od mekog betonskog čelika u vidu spirale (slika 6.14). Dobra strana je kontinuitet sprezanja, a loša dosta rada na izradi, varenju i montaži armature ploče.



Slika 6.14 Sidra u vidu neprekidnih spirala

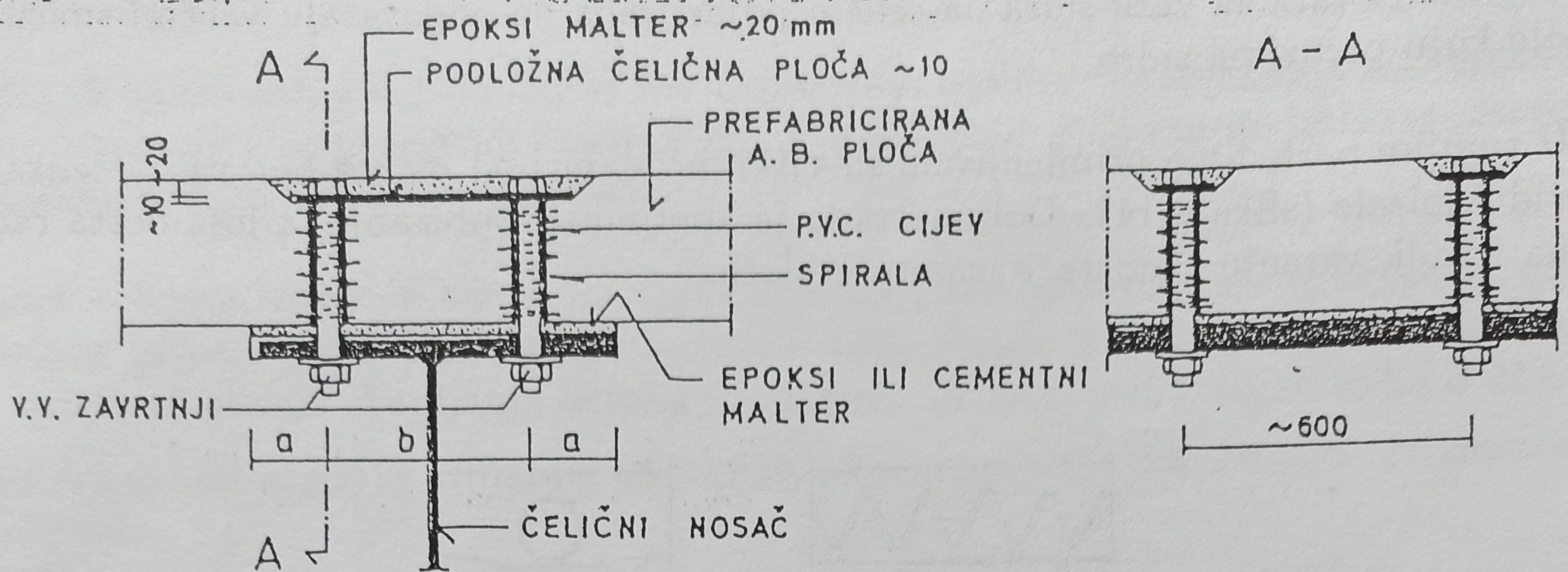
6.2.3 Prednapregnuti vijci, posredstvom trenja, kao vitki moždanici

Sprezanje trenjem posredstvom prednapregnutih vijaka koristi se za vezu prefabriciranih (montažnih) armirano-betonskih ploča sa pojasem čeličnih nosača. Radi visoke cijene prednapregnutih vijaka veza se prvenstveno koristi kod montažno-demontažnih objekata gdje je nezamjenjiva. Kod sprezanja trenjem betonske ploče se pomoću visokovrednih vijaka pritisnu na pojas čeličnog nosača, tako da nastale sile trenja preuzimaju smičuće sile od sprezanja.

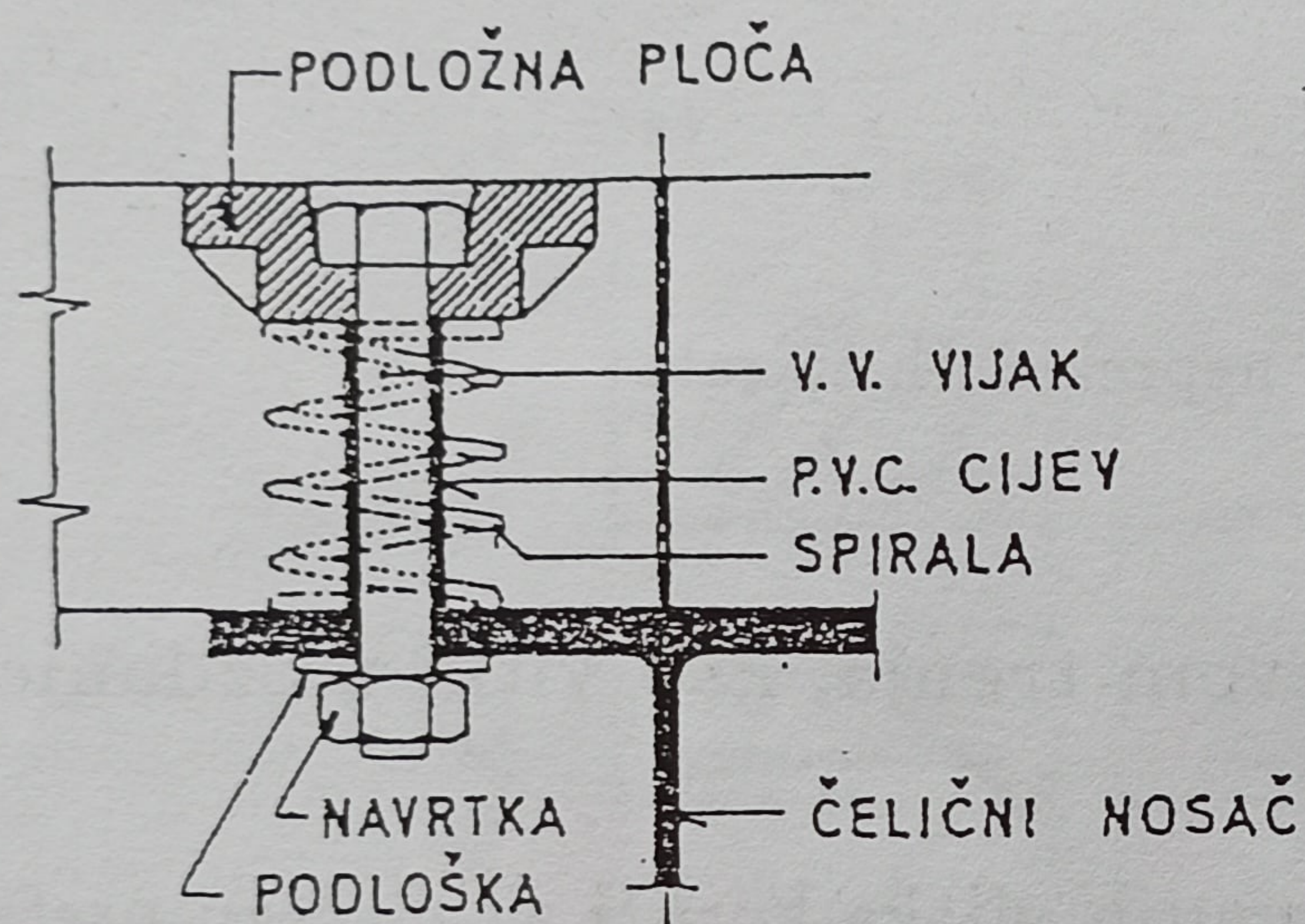
Gotove betonske ploče polažu se na sloj epoksi maltera (može i cementni malter) debljine 10-30 mm, ili na ravnu čistu pripremljenu površinu pojasa čeličnog nosača. Neposredno nakon spajanja, spojnica je spremna da preuzme opterećenje.

Prefabricirane betonske ploče proizvode se uz uvažavanje svih tolerancija, koje važe za ovu vrstu proizvodnje. Ako se betonske ploče montiraju neposredno na čelični pojas njihova proizvodnja mora biti u čeličnim kalupima koji jedino garantuju ravnost dodirnih površina.

Jedan specifičan način spajanja (sprezanja) montažno-demontažnih ploča primijenili smo kod privremenih mostova preko rijeke Neretve. Na slici 6.16 vide se detalji veze. Ležište čelične ploče su preko kombinovanog moždanika spojeva sa pločom u postupku prefabrikacije. Na gradilištu se sa v.v. vijcima veže gotova a.b. ploča na gornji pojas čeličnog nosača. Otvori u gornjem pojasu bušeni su "in situ".

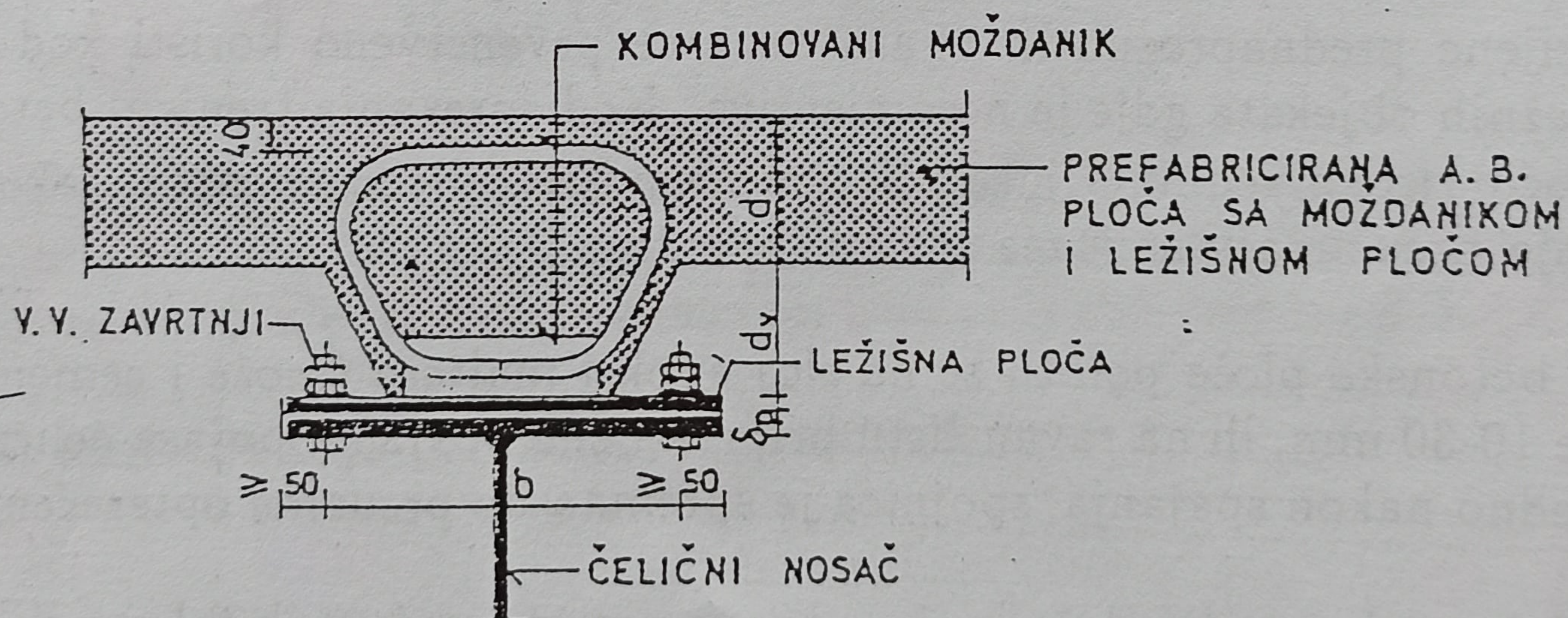


Slika 6.15 Detalji veze (sprezanja) neprekinutih montažnih a.b. ploča sa čeličnim nosačima pomoću prednapregnutih vijaka



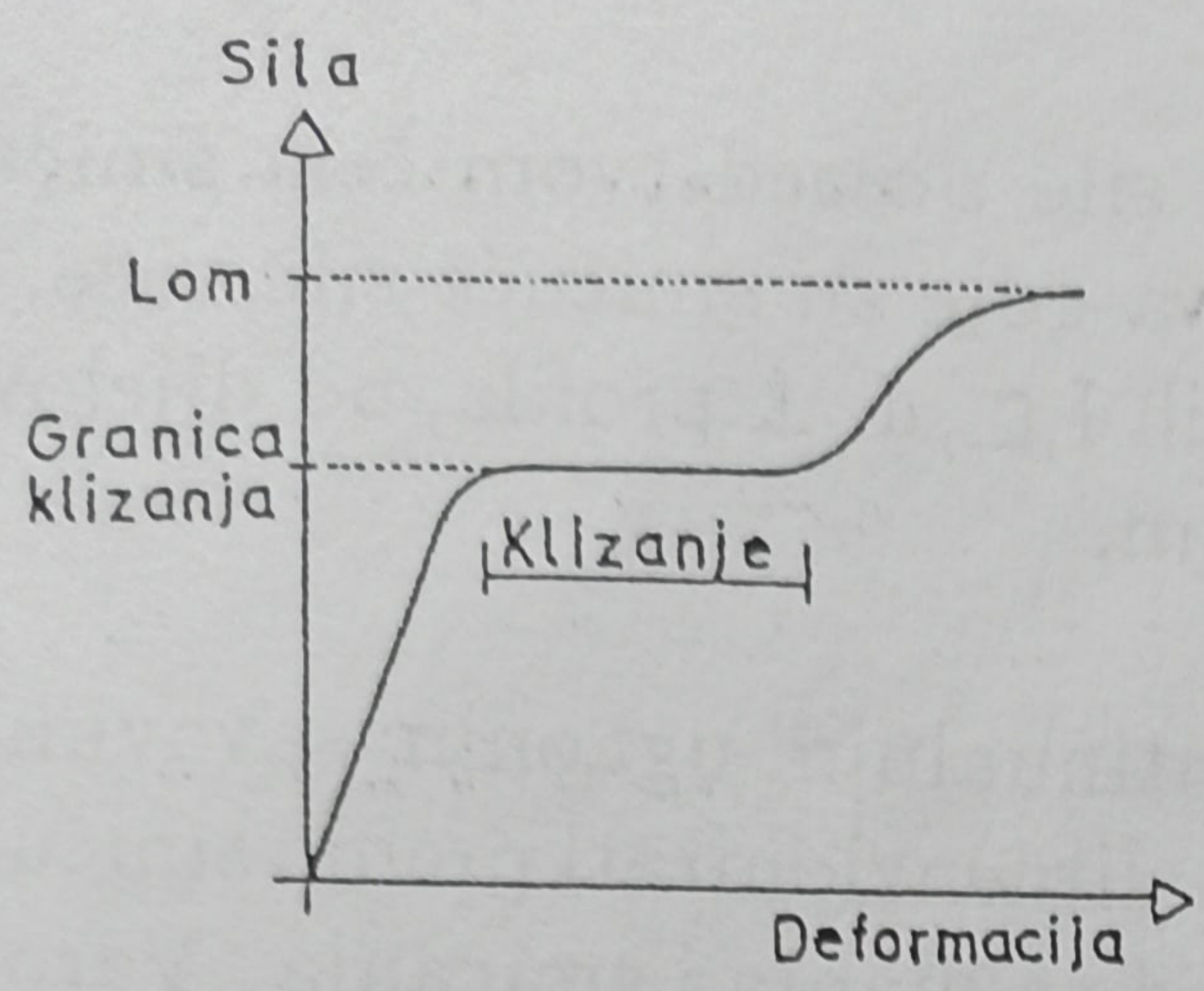
Slika 6.16

Detalj veze gotovih a.b. ploča koje se prekidaju iznad pojasa čeličnog nosača. Podložna pritisnuta ploča kružne osnove i naznačenog presjeka obradjena kovanjem



Slika 6.17

Sprezanje gotovih betonskih ploča za čeličnim nosačima sa prednapregnutim vijcima posredstvom trenja ponaša se kao veza prednapregnutim vijcima u čeličnim konstrukcijama. Kod manjih opterećenja trenje preuzima sile smicanja. Kada je sila trenja savladana pojavljuje se klizanje na dodirnim površinama u mjeri koja zavisi od postignutih tolerancija između cijevā i vijaka. Vrat vijka pritišće beton ploče i veza radi slično kao veza sa čepovima. Kod većih sila, veza ima značajne plastične deformacije i dolazi do povećanja nosivosti.



Slika 6.18 Odnos sile i deformacije kod veze sa prednapregnutim vijcima

Ispitivanjima je utvrđeno da koeficijent trenja najviše zavisi od načina obrade dodirnih površina betonske ploče i čeličnog nosača, a manje od debljine čeličnog pojasa na koji se spaja betonska ploča. Kvalitet betona ploče je bez uticaja na veličinu koeficijenta trenja.

Tabela 6.3 Koeficijenti trenja kod sprezanja sa v.v. vijcima

DEBLJINA G. POJASA ČEL. NOSAČA (mm)	OBRADA DODIRNE POVRŠINE ČELIKA	OBRADA DODIRNE POVRŠINE BETONA	KOEFICIJENT TRENJA μ
15	Valjaonička	Oplata bez uljnog premaza	0,766
	hrapavost	Oplata sa uljnim premazom	0,646
	Premaz cink-prajmer	Oplata bez uljnog premaza	0,618
10	Valjaonička	Oplata bez uljnog premaza	0,630
	hrapavost	Oplata sa uljnim premazom	0,585
	Premaz cink-prajmer	Oplata bez uljnog premaza	0,456

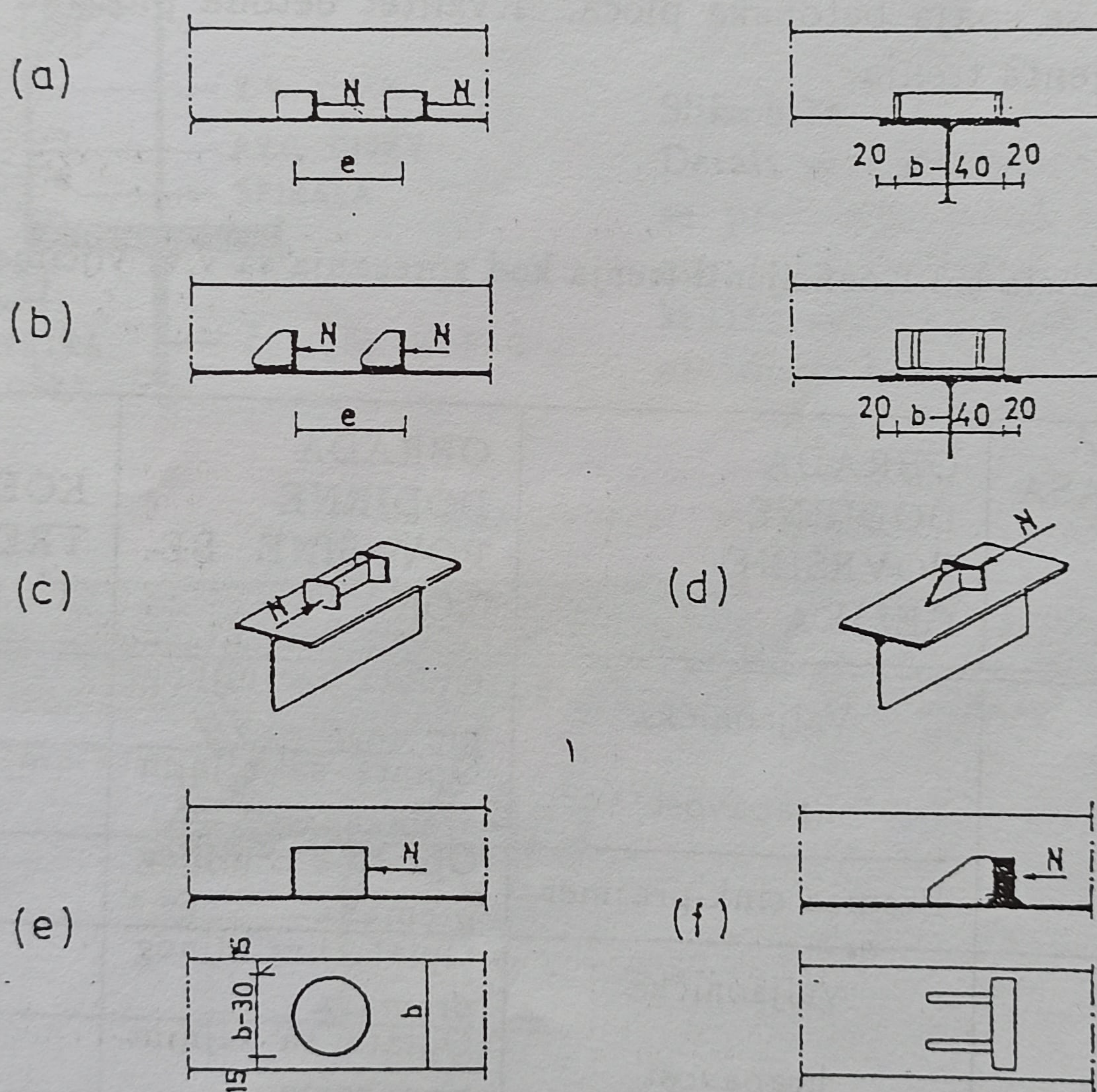
Proračun sprezanja sa visokovrijednim zavrtnjevima provodi se saglasno JUS.U.-Ez.140 uvažavajući neke specifičnosti veze a posebno realne koeficijente trenja. Broj, dijametar i klasa čvrstoće v.v. zavrtnjeva bira se saglasno veličini smičuće sile u presjeku spoja i vrsti spoja.

6.3 Konstruisanje i proračun krutih i kombinovanih moždanika

Kruti (nepopustljivi) moždanici preuzimaju smičuće sile posredstvom čela smicanjem. Većinom se primjenjuju kod spregnutih mostova gdje su smičuće sile veće, a kolovozne ploče deblje. Izradjuje se od dijelova valjanih I, □, L ⊥ profila, od dijelova cijevi i radioničkih otpadaka limova debljine 15-30 mm.

Veza moždanika za pojas čeličnih nosača izvodi se kontinualnim ugaonim šavovima. Debljina šavova zavisi i od debljine elemenata, mora se dimenzionirati prema smičućoj sili koja djeluje u težištu moždanika i izaziva napone od savijanja i smicanja. Varovi moraju biti kontinualni.

Iz navedenih razloga najmanje dimenzije gornjeg pojasa čeličnog nosača su 200 · 10 mm. Kruti moždanici treba da su kraći od širine pojasa za najmanje $2 \cdot 20 = 40$ mm, što omogućuje kontinuitet varova i sa bočnih strana.



Slika 6.19 Karakteristični kruti moždanici

- (a) od NP □ profila
- (b) od L profila
- (c) od NP I profila

- (d) od T profila
- (e) od čelične cijevi
- (f) od dijelova lima.

Nosivost krutog moždanika uz korištenje lokalnog pritiska na beton σ_1 , prema izrazu 6.7 i slikama 6.4 i 6.5 je:

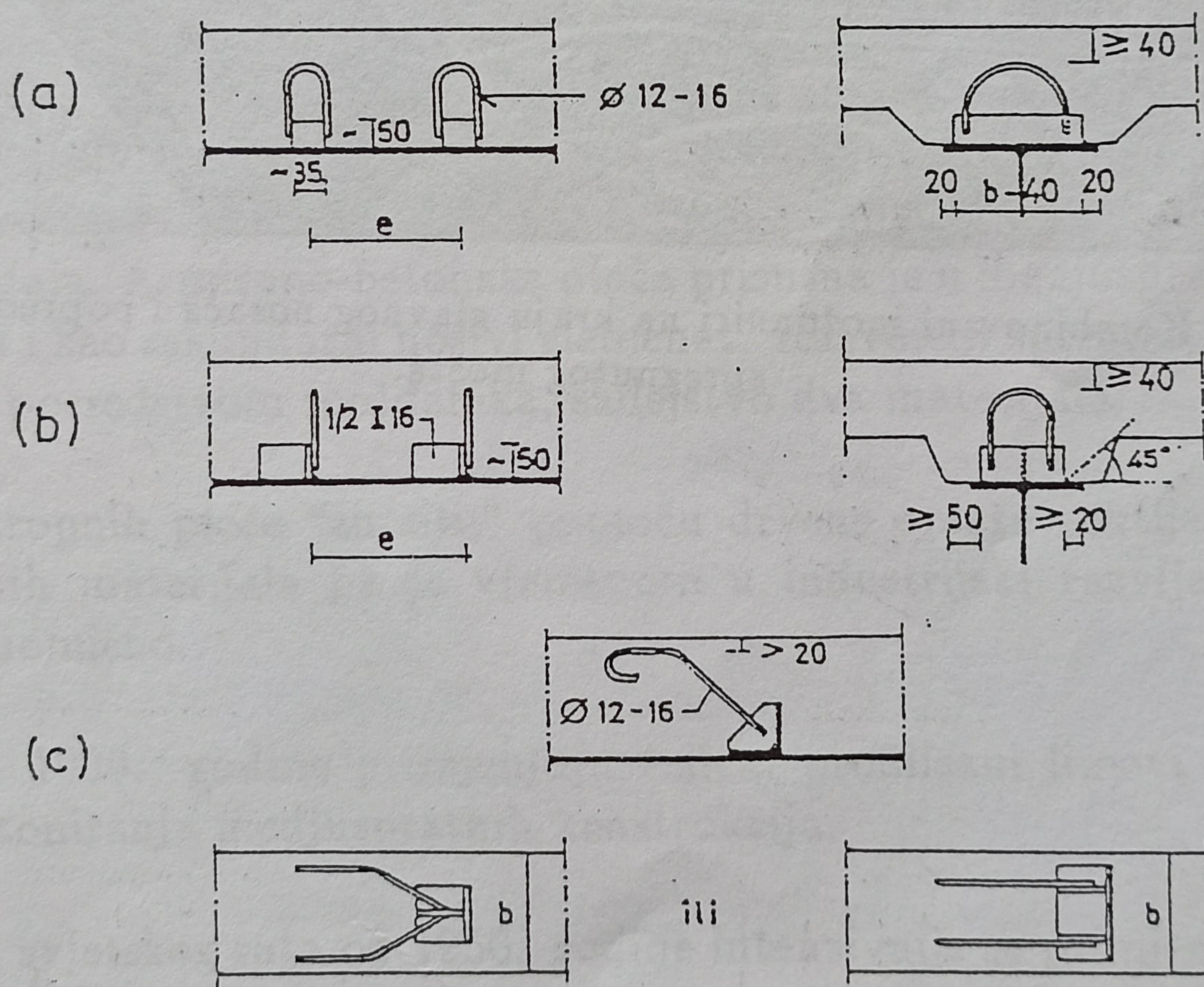
$$N_{dop} = \sigma_1 \cdot F_1 \quad (6.14)$$

$$N_{dop} \geq T \quad (6.15)$$

Prema izrazima 6.2 i 6.1 $T = T_0 \cdot e_x$, $T_0 = \frac{S_i \cdot Q_x}{J_i}$

Iz ovih relacija, na osnovu dijagrama smičućih sila, konstrukcije i nosivosti moždanika, može se napraviti raspored moždanika duž raspona nosača.

Tipovi kombinovanih moždanika nastali su spajanjem krutih moždanika i sidara u raznim kombinacijama sa ciljem da se poveća nosivost krutog moždanika, a radi preuzimanja smičuće sile angažuje veća površina betona. Na ovaj tip moždanika uputila su ispitivanja na modelima u nekim evropskim zemljama od 1950-1960. godine.



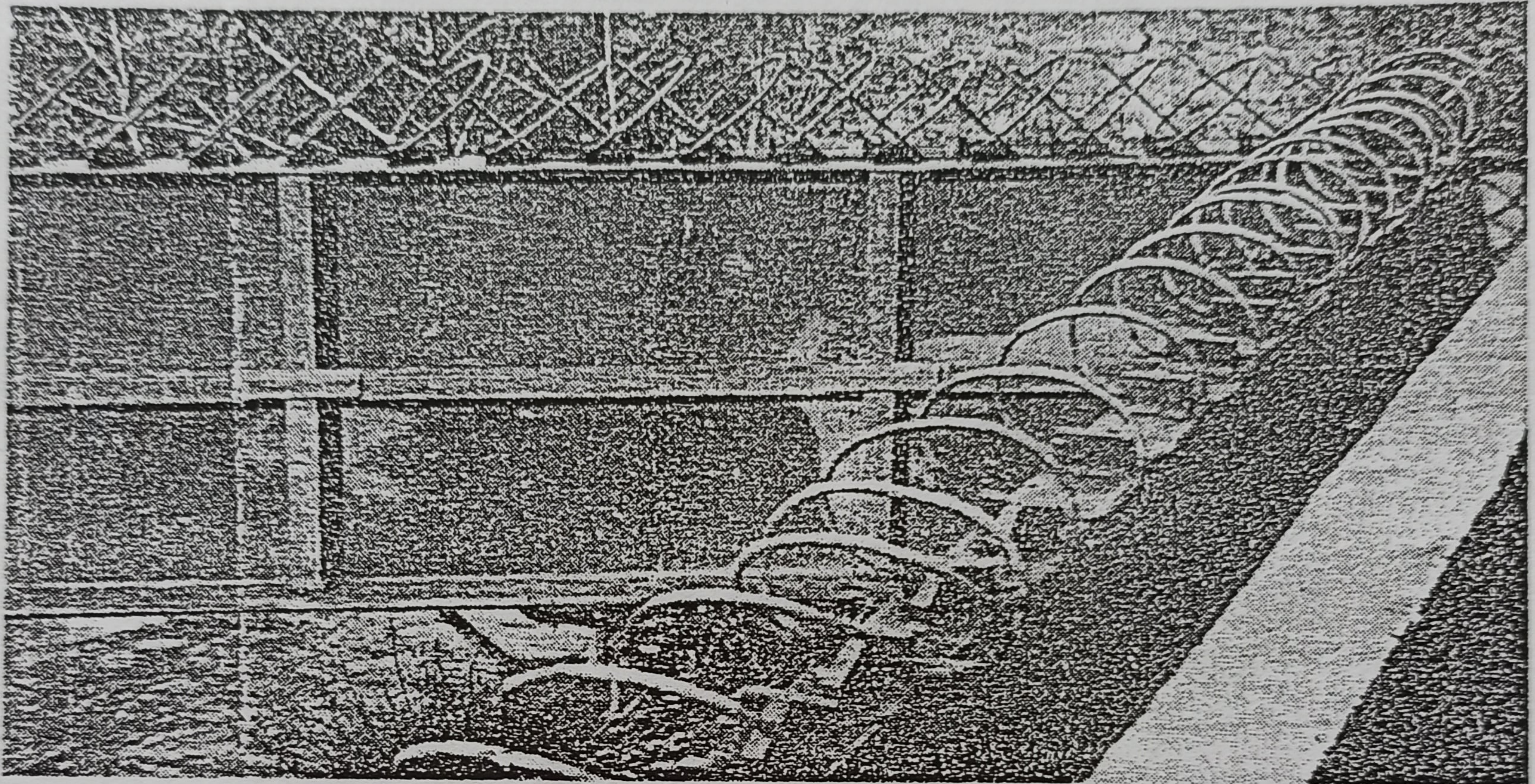
Slika 6.20 Konstrukcije kombinovanih moždanika

Nosivost kombinovanog moždanika jednaka je zbiru nosivosti krutog moždanika i sidra (iznosi 6.14 i 6.13).

$$D_{dop} = N_{dop} + S_a = \sigma_1 \cdot F_1 + \mu \cdot A_a \cdot \sigma_a \quad (6.16)$$

Kod proračuna varova za vezu kombinovanog moždanika ne treba zanemariti i silu zatezanja sidra.

U našoj praksi projektovanja spregnutih mostova, do osvajanja tehnologije primjene čepova sa glavom primjenjivali smo jedan specifičan vid kombinovanog moždanika koji je obradjen u zadatku br. 1 kod mostova, a vidi se na slici 6.21. Ankeri suprotnog smjera na kraju glavnog nosača preuzimaju smičuće sile od skupljanja betona i promjene temperature.



Slika 6.21 Kombinovani moždanici na kraju glavnog nosača i poprečnom nosaču spregnutog mosta.