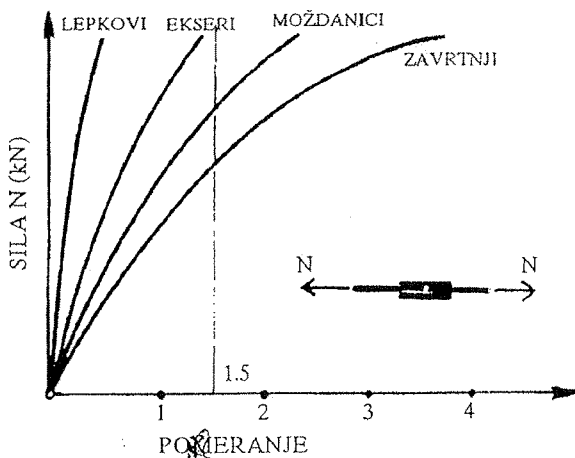
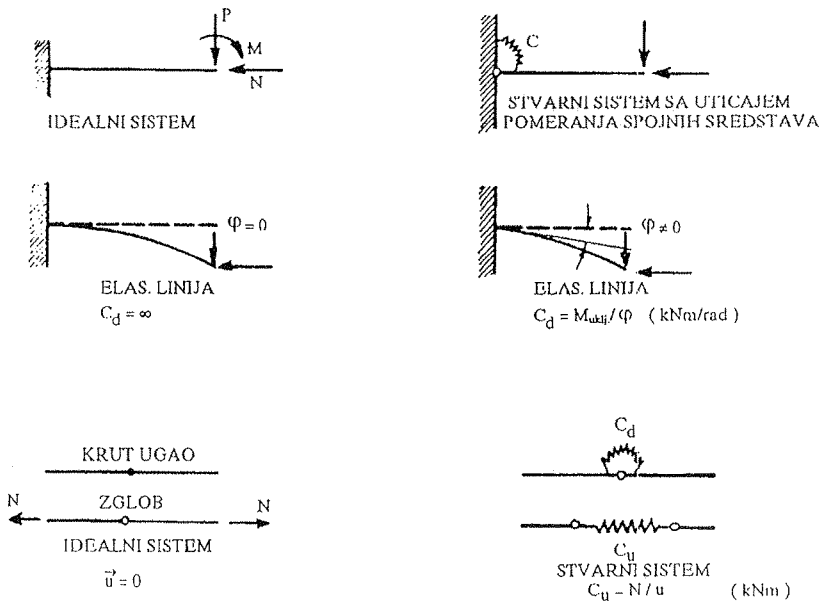


Kod sistema štapova čije su veze u čvorovima ostvarene mehaničkim spojnim sredstvima, posebno kod proračuna (stabilnosti) po teoriji II reda, potrebno je računati sa određenim stepenom krutosti veza, odnosno sa delimičnim uklještenjem. Ovakve veze se nazivaju "polukrute veze" (SI. IV-3 i SI.IV-4).



SI. IV-3. Dijagram pomerljivosti spojnih sredstava.



SI. IV-4. Model pomerljivosti veze u čvoru.

**Određivanje modula pomerljivosti veze:**

Modul pomerljivosti vezu za "n" spojnih sredstava u čvoru opterećenog momentom (Sl. IV-5) može se odrediti iz izraza:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_i \cdot r_i^2$$

gde je:

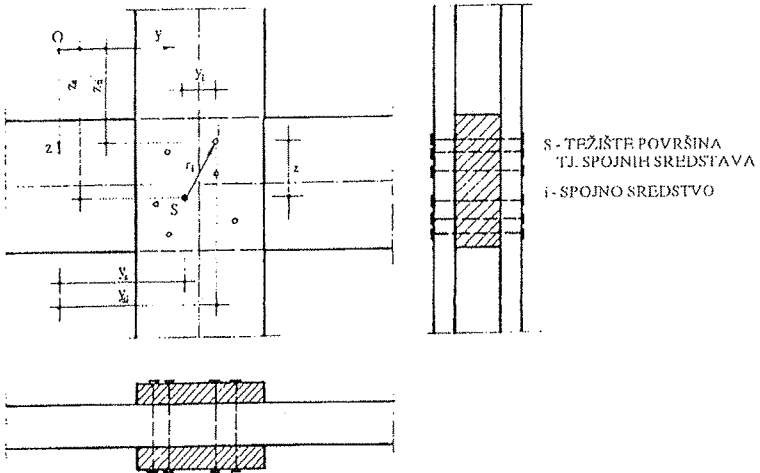
$$r_i = \sqrt{y_i^2 + z_i^2}$$

$$y_s = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot y_{si}}{\sum_{i=1}^n C_i} \qquad z_s = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot z_{si}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$C_i$  - modul pomerljivosti [N/cm] i-tog spojnog sredstva za

$C_i = C = \text{const.}$  i simetrične raspodele spojnih sredstava ( $y_s = z_s = 0$ )

$$C_d = C \cdot \sum_{i=1}^n r_i^2$$



Sl. IV - 5. Čvor rama.

Dopuštena nosivost za dvosečne eksere (ekseri koji nose u dve spojne ravni), s obzirom na napone savijanja u ekseru i napone pritiska po omotaču rupe, može se sračunati iz izraza:

$$N = 1.6 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\sigma_{rad} \cdot \sigma_{cd}} \qquad (\text{PREUSS})$$

$\sigma_{rad}$  - dopušteni napon savijanja eksera [N/mm<sup>2</sup>]

- $\sigma_{ed}$  - dopušteni napon pritiska po omotaču rupe [ $N/mm^2$ ]  
(proporcionalan napon pritiska || vlaknima)  
d - prečnik eksera [mm]

Prema normama CIB, SIA 164<sup>26)</sup> nosivost spojnog sredstva određuje se iz izraza:

$$N = K \cdot d^\alpha,$$

gde je:

- $\alpha=1.7$  - || vlaknima  
 $\alpha=1.5$  -  $\perp$  na vlakna ( $\alpha=1.7$  za eksere)  
 K - konstanta zavisna od spojnog sredstva i pravca sile u odnosu na pravac vlakana  
 K=50 - za eksere koji se ugrađuju zabijanjem (|| vlaknima)  
 K=60 - za eksere koji se ugrađuju u predhodno izbušene rupe (|| vlaknima)  
 K=50 - za eksere sa i bez predhodnog bušenja rupa ( $\perp$  na vlakna)  
 K=40 - za zavrtnje za drvo (|| vlaknima)  
 K=45 - za zavrtnje za drvo ( $\perp$  na vlakna)  
 K=44 - trnovi za drvo (|| vlaknima)  
 K=50 - za zavrtnje za drvo ( $\perp$  na vlakna)

*Primer.* Dopuštena nosivost za zavrtnjeve za drvo:

|| vlaknima:  $N_{||} = 40 \cdot d^{1.7}$

$\perp$  na vlakna:  $N_{\perp} = 45 \cdot d^{1.5}$

Vitkost štapastog spojnog sredstva:

$$\lambda = \frac{a}{d} = \frac{\text{debljina najtanjeg elementa u vezi}}{\text{prečnik spojnog sredstva}}$$

### 3. EKSERI

Ekseri kao spojno sredstvo u drvenim konstrukcijama mogu biti:

- kržnog preseka sa spljoštenom glavom* JUS M.B4.020 i upuštenom glavom JUS M.B4.021  
- izrađuju se od glatke žice pa se često nazivaju žičani ekseri;
- specijalni ekseri* SIA 164 - prema švajcarskim i DIN - nemačkim propisima i JUS-u (JUS.M.B4.095).

<sup>26)</sup> SIA 164 - definiše dopuštenu nosivost  
CIB - definiše karakterističnu nosivost

- to su ekseri sa polukružnom glavom, sa spiralnim navojima i rebrastim telom.

Prema načinu ugrađivanja ekseri se dele u dve grupe i to:

- ekseri koji se ugrađuju zabijanjem (ručno ili mašinski)
- ekseri koji se ugrađuju u predhodno izbušene rupe.

### Ekseri koji se ugrađuju zabijanjem

*Standardni ekseri od glatke žice.*

Oznaka eksera je E d/l, gde je:

- d - prečnik eksera u [mm/10]  
 l - dužina eksera u [mm]

Žica od koje se izrađuju ekseri mora da zadovolji i kriterijum čvrstoće na zatezanje  $\sigma_u$  [N/mm<sup>2</sup>].

- Tako prema predlogu CIB-a čvrstoća žice mora biti:

$$\sigma_u = 40(20 - d) \quad \text{N / mm}^2$$

- Prema SIA - švajcarskim propisima:

$$\sigma_u = 600 \quad \text{N / mm}^2$$

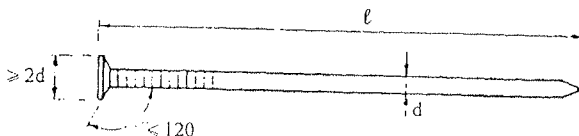
- Prema Majeru (Mayer):

$$\sigma_u = 75(13.3 - d)$$

- Prema Stoju (Stoy):

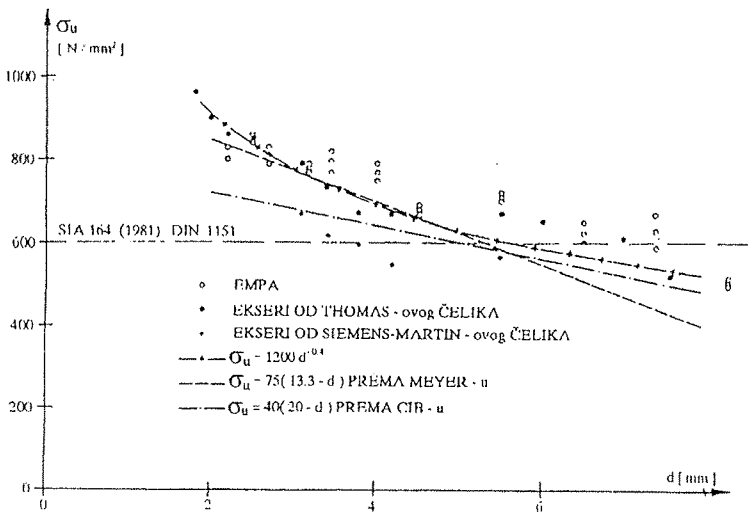
$$\sigma_u = 1200 \cdot d^{0.4} \quad ; \quad d \text{ [mm]}.$$

Forma glatkog - žičanog eksera data je skicom (Sl. IV-6).



Sl. IV-6. Geometrijske karakteristike eksera.

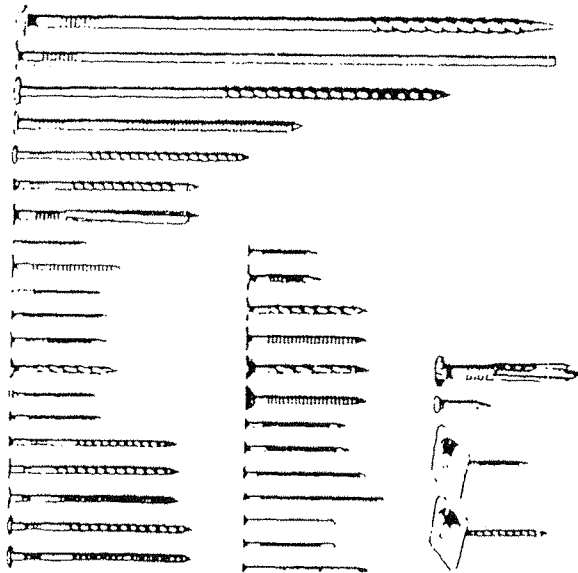
Istraživanja EMPE i Stoy-a, kao i predlozi CIB-a i SIA normi predstavljeni su grafikom (Sl. IV-7).



Sl. IV-7. Zavisnost čvrstoće na zatezanje i prečnik eksera.

Specijalni ekseri - ugrađuju se najčešće mašinskim putem - pneumatskim pištoljima.

Forma specijalnih eksera data je na slici (Sl. IV-8.).



Sl. IV-8 Specijalni ekseri.

## Maksimalni prečnik eksera

Debljina (prečnik) eksera bira se prema debljini najtanjeg drveta u vezi.

- Prema istraživanju Grabek-a prečnik eksera se određuje u granicama:

$$d = \frac{a}{8} + \frac{a}{12}$$

odnosno debljina drveta je:  $8d \leq a \leq 12d$

- Prema predlogu CIB-a maksimalna debljina eksera je:

$$d = \frac{a}{7} \quad \text{odnosno: } a = 7d \quad \text{za } d \leq 5 \text{ mm.}$$

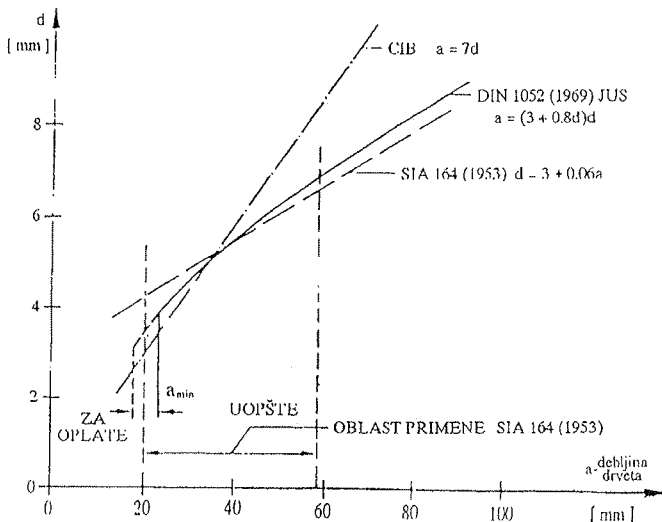
- Prema našim propisima, identično sa DIN 1052 iz 1969. godine maksimalna debljina eksera određuje se iz izraza:

$$a = (3 + 0.8 \cdot d) \cdot d \geq 2.4 \text{ cm} \quad \text{za meku građu.}$$

- Prema SIA 164 (iz 1953. godine) maksimalni prečnik se određuje iz izraza:

$$d = 3 + 0.06 \cdot a.$$

Komparacija pojedinih preporuka za određivanje maksimalnog prečnika, u zavisnosti od debljine najtanjeg drveta u vezi, predstavljena je dijagramom (Sl. IV-9).



Sl. IV-9. Zavisnost prečnika eksera i debljine drveta.

## Vitkost eksera

$$\lambda = \frac{a}{d} = \frac{\text{debljina najtanjeg drveta u vezi}}{\text{prečnik eksera}}$$

pri čemu vitkost treba da se kreće u granicama:

$$6 \leq \lambda \leq 11.5 .$$

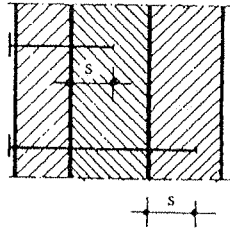
Sa upotrebom debljih eksera, smanjuje se vitkost. Najmanji broj eksera u vezi je 4.

## Minimalna dubina zabijanja eksera

Glatki ekser, računa se punom nosivošću, ako je dubina zabijanja S:

- za jednosečnu vezu:  
 $S \geq 12d$
- za dvosečnu vezu:  
 $S \geq 8d$

Dubina zabijanja eksera data je na sl. IV-10.



Sl. IV-10. Dubina zabijanja eksera.

Kod specijalnih eksera, prema klasi nosivosti (prema sili prijanjanja u pravcu eksera), prema DIN-u 1052 iz 1988.

- $S=12d$  - za klasu nosivosti I
- $S=18d$  - za klase nosivosti II i III (tabela IV-1).

Kad je dubina zabijanja jednosečnog eksera  $6d \leq S < 12d$  onda je njegova nosivost

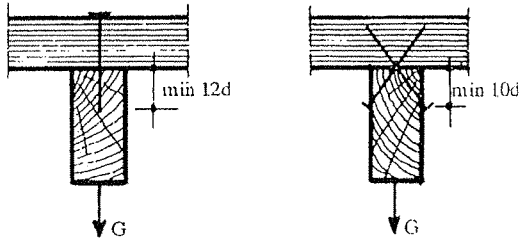
$$N_1' = N_1 \cdot \frac{S}{12d} .$$

Takode, kod dvosečnih (i višesečnih) eksera kada je  $4d \leq S < 8d$ , nosivost je:

$$N_2' = N_1 \left( \frac{S}{8d} + 1 \right) .$$

Kada je dubina zabijanja manja od  $6d$ , kod jednosečnih eksera, odnosno manja od  $4d$ , kod dvosečnih i višesečnih eksera, smatra se da ekser u vezi ne nosi. To je onda samo konstruktivan ekser.

Aksijalno opterećeni ekseri (na čupanje) dati su na slici IV-11.



Sl. IV-11. Ekseri opterećeni na čupanje.

Dopuštena nosivost na čupanje DIN 1052 (iz 1988.).

$$N_d = B \cdot d \cdot S \quad [\text{N}]$$

gde je: B - vrednost iz tabele IV-1

Tabela IV-1

Klasa nosivosti	B [N/mm <sup>2</sup> ]
I	1.8
II	2.5
III	3.2

S [mm], d [mm].

*Za okrugle - glatke eksere:*

$$\text{DIN 1151, DIN 1143} \quad \Rightarrow \quad B=1.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}.$$

Nosivost eksera

Prema istraživanjima MAYER-a sila loma veze sa dvosečnim ekserima, dobija se iz izraza:

$$N^I = 2.82 \cdot \sqrt{M \cdot d \cdot \sigma_c}$$

gde je: M - moment nosivosti eksera [Nmm]  
 $\sigma_c$  - čvrstoća na pritisak po omotaču rupe.



Prema našim propisima JUS, nosivost jednosečnog eksera, dobija se iz izraza:

$$N_1 = \frac{5000 \cdot d^2}{1+d} ; d \text{ [cm] , } N_1 \text{ [N]}$$

odnosno:

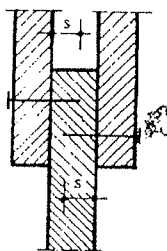
$$N_1 = \frac{5000 \cdot d^2}{10+d} ; d \text{ [mm] , } N_1 \text{ [N].}$$

Za višesečne eksere sa  $m$  presečnih površina, nosivost se može računati:

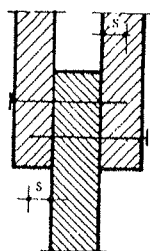
$$N_m = m \cdot N_1$$

Pod uslovom da ekser ima odgovarajuću dubinu zabijanja (Sl. IV-12).

jdnosečni ekser



dvosečni ekser



Sl. IV-12. Jdnosečni i dvosečni eksere.

Ako u jednom redu u vezi ima više od 10 eksere, onda je nosivost, prema CIB-u (DIN 1052), računa sa efektivnim brojem eksere, tako što se broj eksere veći od 10 redukuje za 1/3 odnosno:

$$n_{ef} = 10 + \frac{2}{3}(n-10)$$

Prema našim normativima ako je broj eksere u redu  $n \geq 10_{kon}$  uzima se da je nosivost  $0.9 N_1$ .

- Specijalni eksere, koji su jednovremeno opterećeni u ravni spajanja i upravno na ravan spajanja, računaju se prema izrazu:

$$\left( \frac{N}{N_1} \right)^m + \left( \frac{N_{\perp}}{N_{1d}} \right)^m = N_{rat}$$

gde je:

$m=1$  za klasu nosivosti I

$m=2$  za klasu nosivosti II i III

$m=1.5$  za glatke eksere.

## Gustina eksera

Predstavlja odnos između odgovarajuće površine spojne ravni koja pripada jednom eksersu i površine eksera:

$$D = \frac{A}{A_d}$$

Najmanja površina koja pripada jednom eksersu je:

$$A = 5d \cdot 10d = 50 \cdot d^2 \quad \text{za eksera } d < 42 \text{ mm}/10$$

a za  $d \geq 42 \text{ mm}/10$  je:

$$A = 5d \cdot 12d = 60 \cdot d^2$$

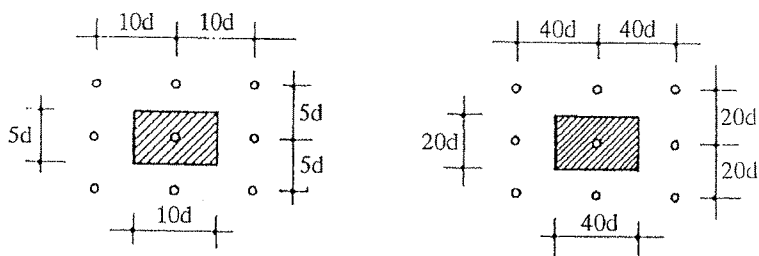
Maksimalna gustina eksera:

$$D_{\max} = \frac{5d \cdot 10d}{\frac{d^2 \pi}{4}} = 64 \quad (d < 42 \text{ mm} / 10)$$

Minimalna gustina eksera:

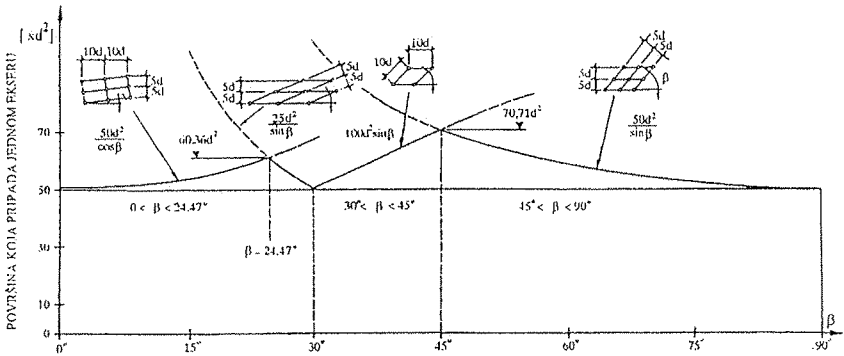
$$D_{\min} = \frac{20d \cdot 40d}{\frac{d^2 \pi}{4}} = 1020$$

u svemu prema Sl. IV-13.



Sl. IV-13. Minimalna i maksimalna gustina eksera.

Ako linije eksera zaklapaju međusobno ugao  $\beta$ , minimalni razmaci eksera prema SIA 164 - normama, mogu se odrediti prema dijagramu (Sl. IV-14).



Sl. IV-14. Korelacija ugla  $\beta$  i minimalnog razmaka eksjera.

Modul pomerljivosti u pravcu sile (II vlaknima), prema Möhler-Ehlbeck-u:

$$C \approx 40 \cdot d \cdot \frac{1}{\sqrt{E}} \quad d \text{ [mm]}, \quad C \text{ [N/mm]}.$$

Nosivost eksjera koji se ugrađuje u predhodno izbušene rupe, prema našim propisima treba uvećati za 25%. Tako da je :

$$N_1^I = 1.25 \cdot N_1.$$

Ako se eksjeri zabijaju u tvrdo drvo, tada je:

$$N_1^{II} = 1.5 \cdot N_1.$$

Prema CIB-u i švajcarskim propisima SIA 164, nosivost eksjera sa bušenim rupama je:

$$N_{||} = 60 \cdot d^2 \quad \text{ako je pravac sile II vlaknima}$$

$$N_{\perp} = 50 \cdot d^2 \quad \text{ako je pravac sile } \perp \text{ na vlakna.}$$

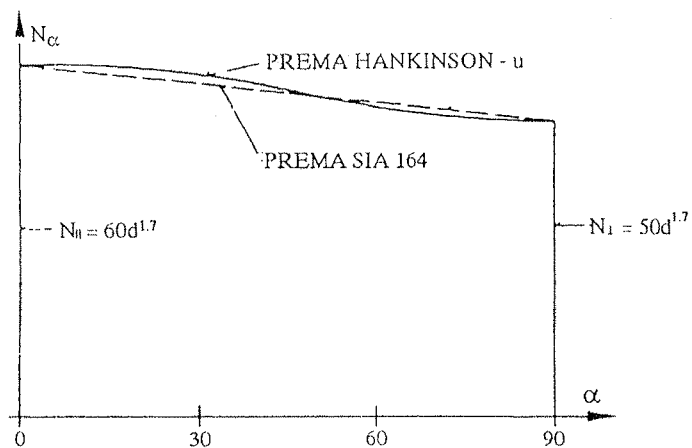
Ako sila zaklapa ugao  $\alpha$  sa pravcem vlakana, onda nosivost eksjera može da se odredi iz Hankinson-ove relacije:

$$N_{\alpha} = \frac{N_{||} \cdot N_{\perp}}{N_{||} \cdot \sin^2 \alpha + N_{\perp} \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Komparacija Hankinson-ove relacije i linearne aproksimacije gornjih kriterijuma data je dijagramom (Sl. IV-15).

Debljina drveta kod eksjera koji se ugrađuju u predhodno izbušene rupe je:

$$a = 6 \cdot d \quad \text{odnosno} \quad d = \frac{a}{6}.$$



Sl. IV-15. Korelacija sile  $N_{\alpha}$  i ugla koji sila zaklapa sa vlaknima.

Modul pomerljivosti u pravcu sile i II vlaknima:

$$C = 60 \cdot d^{1.7}$$

a kod veza sa čeličnim limovima:

$$C = 120 \cdot d^{1.7}$$

Prečnik predhodno izbušene rupe treba da bude:

- prema JUS-u ..... 0.85 d
- prema DIN-u ..... 0.90 d

## 4. ZAVRTNJI I TRNOVI

### 4.1 UOPŠTE

Zavrtnji i trnovi su cilindrična štapasta tela  $\phi 8 \div \phi 30$  mm, ugrađena  $\perp$  na površinu spajanja.

Zavrtnji na jednom kraju imaju glavu, a na drugom maticu. Postoje i zavrtnji sa obostranom maticom.

Trnovi su štapasta tela  $\phi 8 \div \phi 30$  mm, bez glave i navoja.

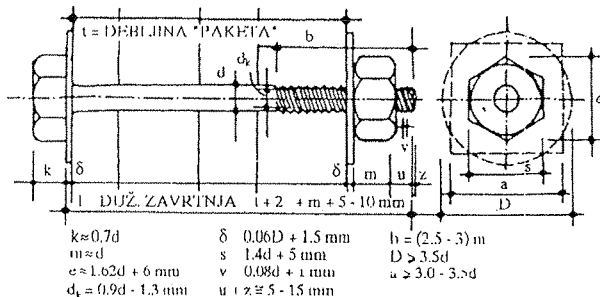
Obični zavrtnji i zavrtnji sa obostranom maticom moraju obavezno da imaju podložne pločice.

Za izradu zavrtnja i trnova koristi se čelik čija je granica razvlačenja  $\sigma_r \geq 235$  [N/mm<sup>2</sup>], (250 N/mm<sup>2</sup>).

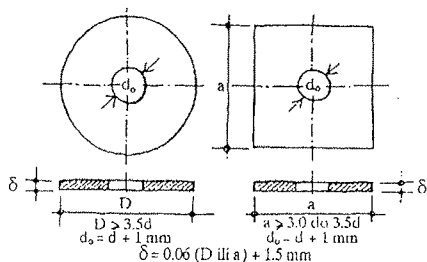
Zavrtnji i trnovi mogu biti (prema položaju i funkciji u drvenim konstrukcijama):

- konstrukcijski i
- statički.

Oblik i dimenzije zavrtnjeva predstavljene su na Sl. IV-16. Prečnik zavrtnjeva određuje se statičkim proračunom. Oblik i dimenzije podložnih pločica date su na Sl. IV-17.



Sl. IV-16. Oblik i dimenzije zavrtnja.

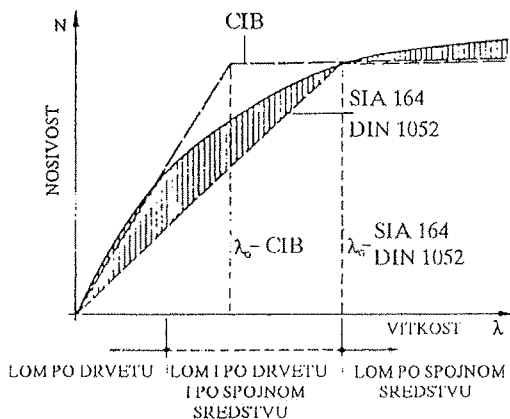


Sl. IV-17. Oblik i dimenzije podložnih pločica.

## 4.2 NOSIVOST ZAVRTNJA

Na osnovu ispitivanja i aproksimacija u normama, u principu, za sva spojna sredstva koja se ugrađuju u predhodno izbušene rupe, nosivost veze zavisi od vitkosti spojnog sredstva (Sl. IV-18).

Tako za male vitkosti nastaje lom po drvetu, dok za veće vitkosti nastaje lom i po drvetu i po spojnim sredstvima, a za velike vitkosti samo po spojnim sredstvima.



Sl. IV-18. Korelacija nosivosti  $N$  i vitkosti  $\lambda$ .

Kod dvosečnih veza, prema srednjem drvetu je:

$$\text{JUS (DIN 1052): } N = \kappa \cdot d^2 = 25.5 \cdot d^2$$

za srednje drvo  $a_m \geq 6d$  i krajnje drvo  $a_s \geq 4.6d$

za međusobni razmak II vlaknima  $5d$

za međusobni razmak  $\perp$  na vlakna  $3d$ .

$$\text{CIB: } N = 56 \cdot d^2$$

za  $a_m \geq 3.6d$  i  $a_s \geq 1.8d$

za razmake II vlaknima  $7d$

za razmake  $\perp$  na vlakna  $4d$ .

$$\text{SIA 164: } N = 44 \cdot d^{1.7}$$

za  $a_m \geq 6d$  i  $a_s \geq 4d$

za razmake II vlaknima  $6d$

za razmake  $\perp$  na vlakna  $3.5d$ .

Nosivost drveta i trnova, prema JUS (DIN 1052) propisima, određuje se na osnovu izraza:

$$N = \min \left\{ \begin{array}{l} \sigma_d \cdot a \cdot d \\ \kappa \cdot d^2 \end{array} \right\},$$

gde su veličine u izrazu definisane tabelom IV-2 - za zavrtnje i tabelom IV-3 - za trnove.

Nosivost zavrtnjeva [N]

Tabela IV-2.

VRSTA VEZE	Vrste drveta	$\sigma_d$	$\kappa$	$\kappa : \sigma_d$
Jednosečna veza	Četinari	400	1700	4.25
	Tvrdo drvo	500	2000	4.00
Dvosečna veza	Srednje drvo			
	Četinari	850	3800	4.47
	Tvrdo drvo	1000	4500	4.5
	Bočno drvo			
	Četinari	550	2600	4.73
	Tvrdo drvo	650	3000	4.62

Nosivost trnova [N]

Tabela IV-3.

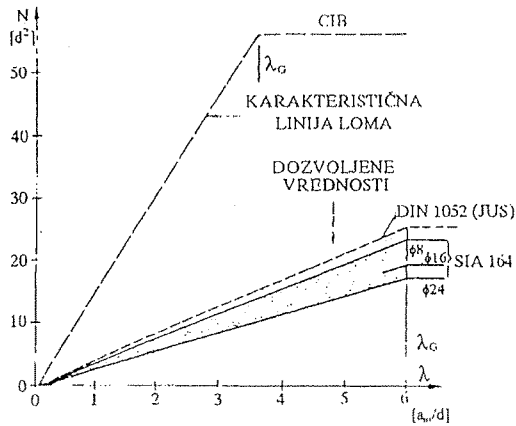
VRSTA VEZE	Vrste drveta	$\sigma_d$	$\kappa$	$\kappa : \sigma_d$
Jednosečna veza	Četinari	400	2300	5.75
	Tvrdo drvo	500	2700	5.40
Dvosečne i višesečne veze	Srednje drvo			
	Četinari	850	5100	6.00
	Tvrdo drvo	1000	6000	6.00
	Bočno drvo			
	Četinari	550	3300	6.00
	Tvrdo drvo	650	3900	6.00

Ako pravac sile zaklapa ugao  $\alpha \leq 90^\circ$  sa pravcem vlakana, onda se nosivost zavrtnjeva redukuje koeficijentom:

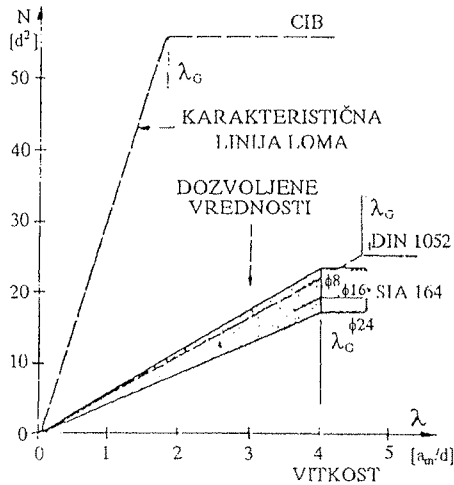
$$1 - \frac{\alpha}{360}$$

Nosivost zavrtnjeva po jednoj smičućoj ravni, prema CIB, DIN (JUS) i SIA normama, u zavisnosti od vitkosti  $\lambda = \frac{a_m}{d}$  date su na slikama (Sl. IV-19 a i b).

a. za srednje drvo:



b. za krajnje drvo:



Sl. IV-19. Komparacija  $N$  i  $\lambda$  prema aktuelnoj svetskoj regulativi.

Kod sila koje se prenose  $\perp$  na vlakna, nosivost zavrtnejeva se smanjuje. Tako

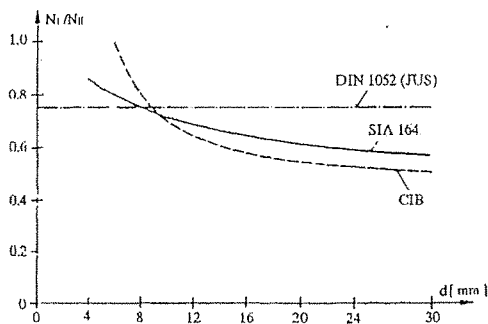
po:

$$\text{DIN-u} \quad \frac{N_t}{N_{II}} = \frac{3}{4}$$

$$\text{CIB-u} \quad \frac{N_t}{N_{II}} = 0,45 + 8 \cdot d^{-1,5} ; \quad d \text{ [mm]} .$$



Grafički prikaz  $\frac{N_{\perp}}{N_{\parallel}}$  u funkciji prečnika zavrtnja dat je na slici (Sl. IV-20).

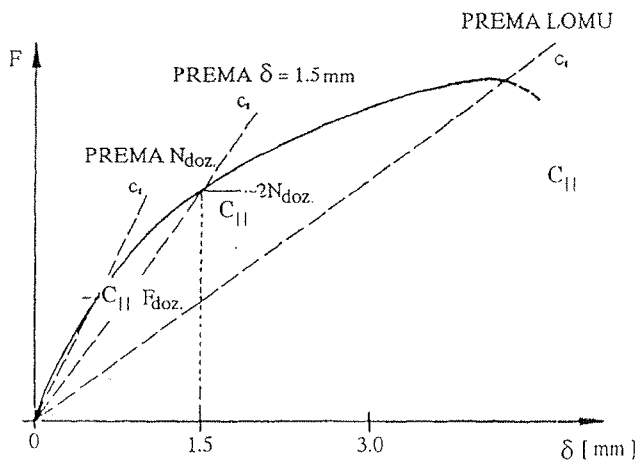


Sl. IV-20. Zavisnost  $\frac{N_{\perp}}{N_{\parallel}}$  i prečnika zavrtnja.

#### 4.3 MODUL POMERLJIVOSTI C

Promena pomeranja sa promenom sile nije linearna, pa zato i modul pomerljivosti nije konstanta.

Na donjem dijagramu predstavljen je modul pomerljivosti za  $C_{\parallel}$  slučaj sile  $F$  paralelno vlaknima, za dozvoljenu nosivost zavrtnjeva prema  $N_{\text{doz}}/n$ , zatim za pomeranje od 1.5 mm i za stanje loma, (Sl. IV-21.).



Sl. IV-21. Modul pomerljivosti.

Prema preporuci Ehlbeck-a prečnik rupe u drvetu treba da bude veći od prečnika zavrtnja max 1 mm, dok prečnik rupe za trnove treba da bude jednak prečniku trna<sup>26</sup>.

Najmanji broj zavrtnjeva u vezi je dva, ali izuzetno kod zglobova sa jednim zavrtnjem, potrebno je nosivost zavrtnja smanjiti za 50%, odnosno potrebno je da bude:

$$F \leq 0.5 \cdot N_{dez}$$

Najmanji broj trnova u vezi je dva, ali uz uslov da ima četiri spojne ravni.

Ako je broj zavrtnjeva (trnova) veći od 6, onda se računa sa efektivnim brojem:

$$n_{ef} = 6 + \frac{2}{3}(n - 6)$$

Ako je  $n > 12$ , onda se računa sa  $n = 12$ , odnosno  $n_{ef} = 10$ .

Prema CIB-u, minimalan broj zavrtnjeva je 4, a za veći broj važi:

$$n_{ef} = 4 + \frac{2}{3}(n - 4)$$

#### 4.3.1 Modul pomerljivosti $C_{II}$ [N/mm] za eksere

Kao srednja vrednost tri merne veličine data je u tabeli IV-4 [Möhler/Ehlbeck]:

Tabela IV-4

Prečnik eksera	$F_{II\ dop}$ (DIN 1052)	Pomeranje usled $F_{II\ dop}$	Sila pri pomeranju od 1.5 mm	$C_{II}$	
				za $F_{II\ dop}$	za $w=1.5\ mm$
[mm]	N	[mm]	N	[N/mm]	[N/mm]
2.8 → <sup>1)</sup>	300	0.58	496	514	331
2.8 —	300	0.41	485	732	324
4.2 →	625	0.40	1024	1550	683
4.2 —	625	0.28	999	2206	666
5.2 →	975	0.58	1560	1681	1040
5.2 —	975	0.26	1681	3798	1120

<sup>1)</sup> specijalni ekseri

## 4.3.2 Modul pomerljivosti za zavrtnjeve

Prema Egner-u modul pomerljivosti dati su u tabeli IV-5.

Tabela IV-5

Prečnik eksera	$F_{II\ dop}$ (DIN 1052)	Pomeranje usled $F_{II\ dop}$	Sila	$C_{II}$	
				za $F_{II\ dop}$	za $w=1.5\ mm$
[mm]	N	[mm]	N	[N/mm]	[N/mm]
12	2735	0.07	7940	39100	5210
16	4865	0.30	13310	16200	8870
		0.39	10690	12500	7130
24	10950	0.15	28625	73000	19080

## 5. MOŽDANICI

Spojna sredstva koja se ugrađuju u unapred pripremljene žljebove-zareze u spojnoj ravni (ili se utiskuju u spojnu ravan), opterećeni na pritisak i smicanje (savijanje) nazivaju se moždanicima.

Prema obliku moždanici mogu biti:

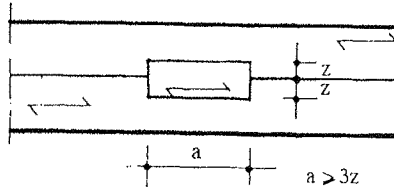
- *prizmatični*
- *cilindrični* i
- *specijalno oblikovani moždanici.*

Prema materijalu:

- drveni (tesarski) moždanici
- čelični moždanici
- moždanici od plastičnih masa.

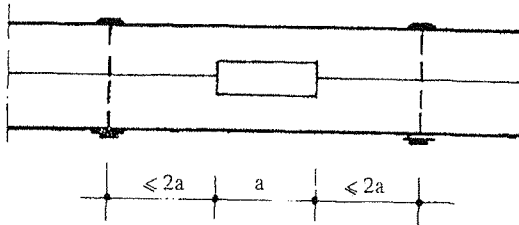
Paralelopipedni moždanici od drveta ili od čelika

Pravci vlakana moždanika i elemenata koji se spajaju su paralelni (Sl. IV-22):



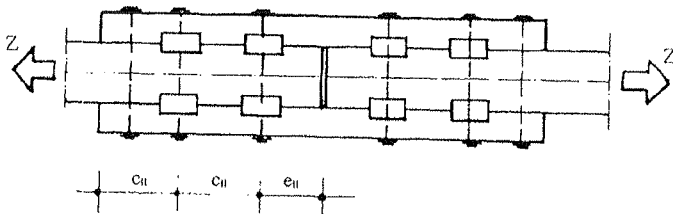
Sl. IV-22. Geometrijske karakteristike moždanika.

Veza moždanicama osigurava se zavrtnjima (Sl. IV-23).:



Sl. IV-23. Osiguranje zavrtnjima.

Kod veza sa podvezicama potrebno je krajeve dodatno osigurati zavrtnjima, ako je dužina prepusta  $\geq 13$  cm (Sl. IV-24).



Sl. IV-24. Veza drvenim podvezicama.

Broj i veličina moždanika određuje se statičkim proračunom.

Proračun moždanika - treba da obuhvati proveru napona u osnovnom drvetu, u moždaniku i zavrtnjima.

Model za određivanje nosivosti (prema Sl. IV-25).

Sila  $T$  je jednako podeljena po pritisnutom čelu moždanika

$$\frac{T}{z \cdot b} = \sigma_{ell}$$

Predpostavlja se ravnomerna raspodela napona smicanja u osnovnom drvetu na površini b-v (Sl.IV-25).

Naprezanja u drvenom elementu:

Napon smicanja:

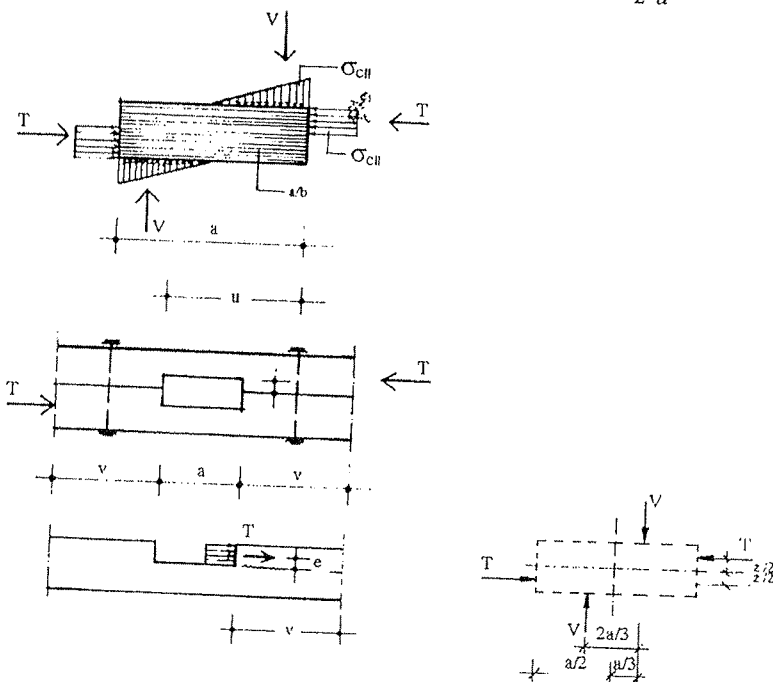
$$\tau_{\parallel d} = \frac{T}{v \cdot b} \leq \tau_{\parallel d} \quad \Rightarrow \quad v = \frac{T}{\tau_{\parallel d} \cdot b}$$

Napon pritiska || vlaknima:

$$\sigma_{cll} = \frac{T}{z \cdot b} \leq \sigma_{cll} \quad \Rightarrow \quad z = \frac{T}{\sigma_{cll} \cdot b}$$

Napon pritiska  $\perp$  na vlakna, iz uslova ravnoteže:

$$T \cdot z = V \cdot \frac{2}{3} a \quad \Rightarrow \quad V = \frac{3 \cdot T \cdot z}{2 \cdot a}$$



Sl. IV-25. Raspodela napona i sila u moždaniku i osnovnom štapu.

Rezultanta sila:

$$V = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{cl} \cdot b \cdot \frac{a}{2} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{cl} = \frac{4 \cdot V}{b \cdot a}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{6 \cdot T \cdot z}{b \cdot a^2} \leq \sigma_{c1d} \Rightarrow a = \sqrt{\frac{\sigma_{c1d}}{6 \cdot T \cdot z}}$$

Naprezanja u moždaniku:

Napon smicanja:

$$\tau_{II} = \frac{T}{a \cdot b} \leq \tau_{II d} \Rightarrow a = \frac{T}{\tau_{II d} \cdot b}$$

Napon pritiska || vlaknima:

$$\sigma_{cII} = \frac{T}{z \cdot b} \leq \sigma_{cII d} \Rightarrow z = \frac{T}{\sigma_{cII d} \cdot b}$$

Napon pritiska  $\perp$  na vlakna:

$$\sigma_a = \frac{6 \cdot T \cdot z}{b \cdot a^2} \leq \sigma_{c1d} \Rightarrow a = \sqrt{\frac{\sigma_{c1d}}{6 \cdot T \cdot z}}$$

Od sračunatih vrednosti za a, z i v, merodavne su i treba usvojiti veće.

Napon u zavrtnju

Iz uslova ravnoteže:

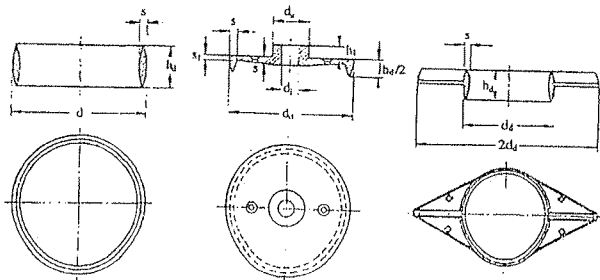
$$V_z \cdot u = V \cdot z \Rightarrow \text{sila u zavrtnju} \quad V_z = V \cdot \frac{z}{u}$$

$$\sigma_t = 1,6 \cdot \frac{V_z}{A_z} \leq \sigma_{tu} \Rightarrow A_z = \frac{1,6 \cdot V_z}{\sigma_{tu}} ; \quad \sigma_{tu} = 240 \text{ [N/mm}^2\text{]}.$$

Pritisak podložne pločice:

$$\sigma_{c1} = \frac{V_z}{A_p} \leq \sigma_{c1d} \Rightarrow A_p = \frac{V_z}{\sigma_{c1d}}$$

Patentirani čelični moždanici dati su na Sl. IV-26.



Sl. IV-26. Patentirani čelični moždanici.

## 6. NAZUBLJENE METALNE PERFORIRANE PLOČICE

Nazubljene metalne perforirane pločice koriste se najčešće kao spojno sredstvo čvorova rešetkastih nosača kod krovova kuća ili hala srednjeg raspona (ne više od 30 m).

Postoji nekoliko vrsti metalnih pločica:

- Metalne pločice - perforirane tako da su im zubi upravni na ravan pločice:
  - Gang - Nail,
  - Twinplate.
- Metalne pločice sa okruglim otvorima i kandžama:
  - Trans - Canada - Roll - (Loch).
- Metalne pločice sa ili bez rupa - sistem Bostitch.
- Dvosečne pločice sistema Menig.

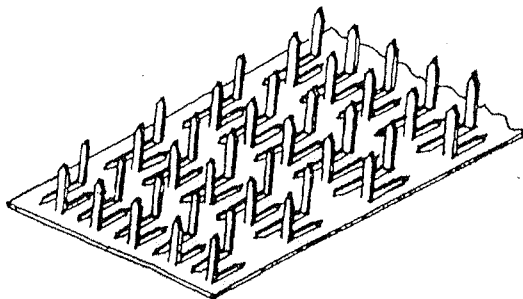
Gang -Nail pločice - Ispitivane su u Institutu za građevinarstvo u Berlinu.

Minimalna nosivost zuba u pločici je  $240 \text{ N/mm}^2$ , a dozvoljena nosivost kreće se u granicama između  $340 \text{ N/mm}^2$  i  $420 \text{ N/mm}^2$ .

Tabela IV- 6

Tipovi pločica	Debljina lima [mm]
GN 20 A	0.99
GN 18	1.25
GN 14	1.98

Tipovi pločica sa debljinama limova dati su u tabeli IV-6.  
Oblik metalnih perforiranih pločica date su na Sl. IV-27.



Pločice se izrađuju mašinskim putem, tako što se perforiranjem dobijaju zubi, savijeni pod  $90^\circ$  u jednu stranu. Metalne perforirane pločice koriste se samo kod drveta vlažnosti,  $w \leq 20\%$ .

Sl. IV-27. Nazubljene metalne perforirane pločice.

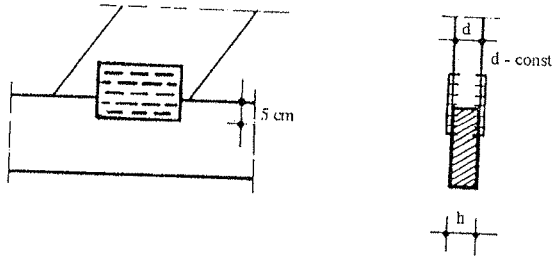
Minimalne dimenzije drveta:

GN 20 A	$d = 30 \text{ mm}$	$h = 60 \text{ mm}$
GN 18	$d = 35 \text{ mm}$	$h = 70 \text{ mm}$
GN 14	$d = 47 \text{ mm}$	$h = 80 \text{ mm}$

$d$  - debljina drveta

$h$  - širina drveta

Pločica mora da naleže na priključno drvo najmanje 5 cm (Sl. IV-28.).



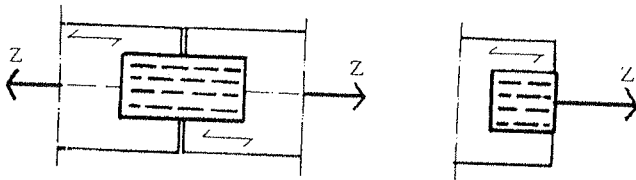
Sl. IV-28. Naleganje pločice.

### Proračun pločica

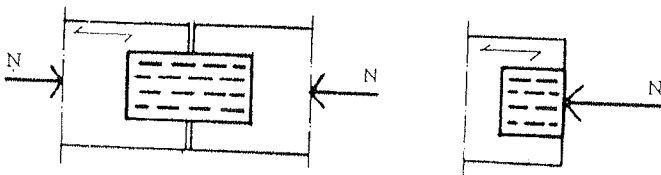
Pločice se računaju na dejstvo normalne i transverzalne sile, bez momenta savijanja.  
Proračun treba da sadrži dokaz sigurnosti zuba i dokaz sigurnosti - nosivosti ploče.

*Nosivost zuba* - računa se za 5 slučajeva opterećenja (Sl.IV-29):

#### 1. Aksijalno zatezanje

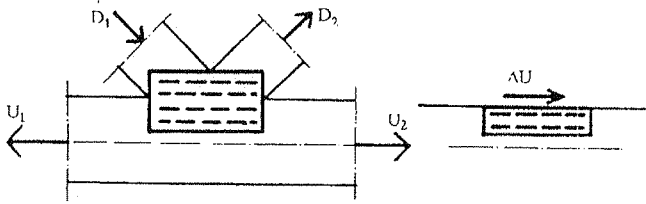


#### 2. Aksijalni pritisak

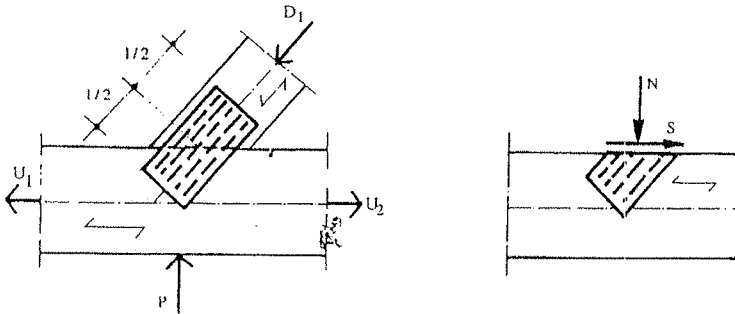




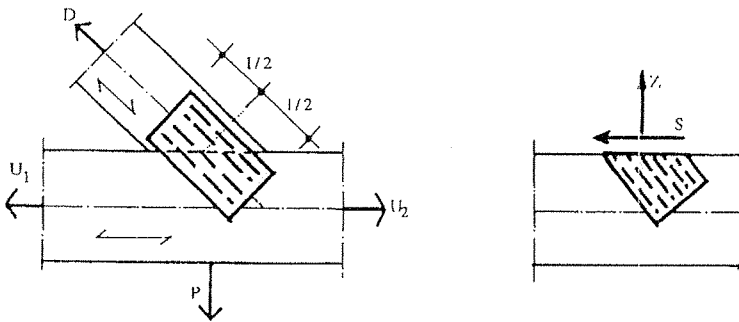
3. *Smicanje*



4. *Pritisak sa smicanjem*



5. *Zatezanje sa smicanjem*



SI. IV-29. Slučajevi opterećenja.

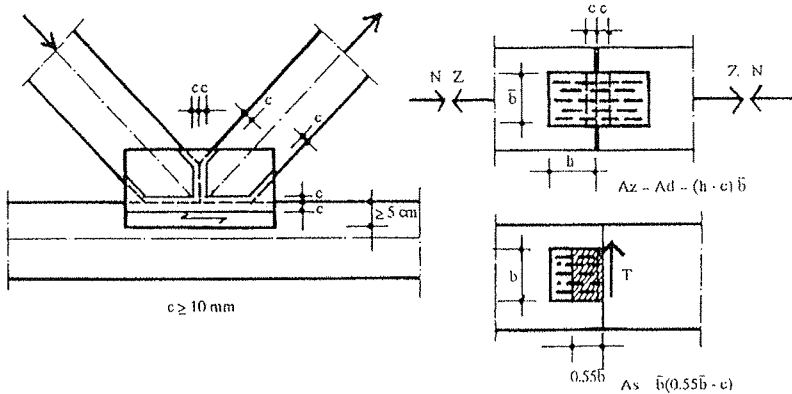
Proračun nosivosti pločica

$$F_z = \frac{Z}{2 \cdot A_z} \quad - \quad \text{za aksijalno zategnuti štap}$$

$$F_n = \frac{N}{2 \cdot A_c} \quad - \quad \text{za pritisnuti štap}$$

$$F_s = \frac{S}{2 \cdot A_s} \quad - \quad \text{za smicanje}$$

U proračun površina  $A_z$ ,  $A_c$ ,  $A_s$ , potrebno je odbiti deo površine koji pripada ivici (Sl. IV-30.).



Sl. IV-30. Deo površine koja pripada ivici.

Štapovi rešetkastih nosača, u čvorovima, kod veze sa pločicama, najčešće su ekscentrično vezani.

Mnogobrojna teorijska i eksperimentalna istraživanja su pokazala da se uticaj ekscentričnosti sile može zanemariti, ako je ekscentricitet  $e$  manji od polovine visine pojasnog štapa. U suprotnom ekscentricitet se mora uzeti u obzir.

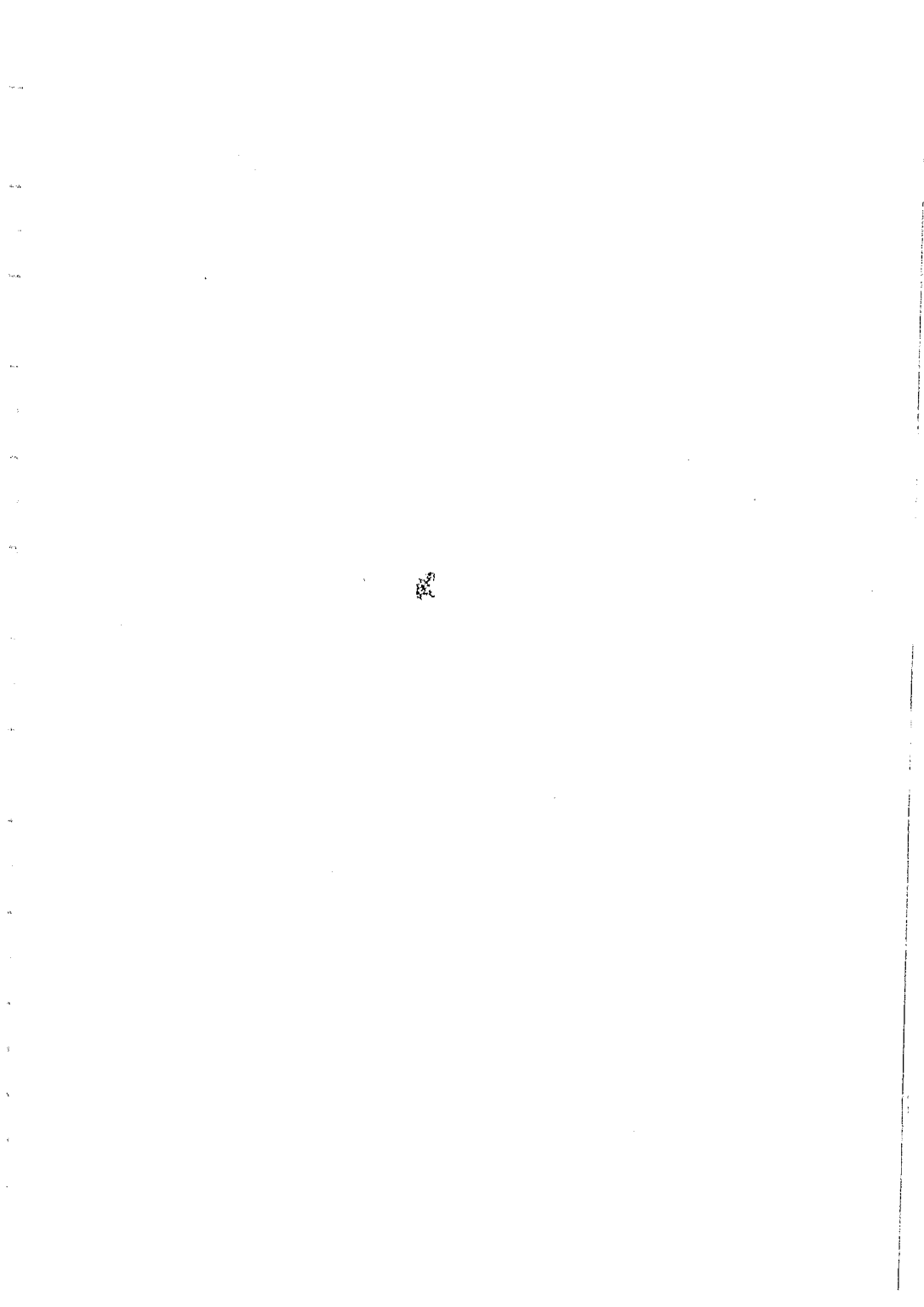
Za jednovremeno dejstvo smičuće i aksijalne sile u pločici potrebno je dokazati da je:

$$\left( \frac{F_z}{F_{zd}} \right)^2 + \left( \frac{F_s}{F_{sd}} \right)^2 \leq 1$$

$F_z, F_s$  - stvarna opterećenja  
 $F_{zd}, F_{sd}$  - dopuštena nosivost,

odnosno:

$$\left( \frac{F_c}{F_{cd}} \right)^2 + \left( \frac{F_s}{F_{sd}} \right)^2 \leq 1$$



## IV SPOJNA SREDSTVA

### 1. UOPŠTE

Spojna sredstva u drvenim konstrukcijama imaju ulogu da spoje dva ili više elemenata, odnosno ulogu prenošenja sile sa jednog elementa na drugi.

Spojna sredstva mogu biti:

1. Mehanička spojna sredstva, gde spadaju:
  - štapasta spojna sredstva (ekseri, zavrtnji, trnovi i sl.)
  - moždanici, i
2. Adhezivna spojna sredstva.

Štapasta spojna sredstva prenose smičuće sile, a u pojedinim slučajevima mogu da prenesu i silu u pravcu ose spojnog sredstva ( $\perp$  na ravan smicanja).

U procesu prenošenja sila preko spojnih sredstava dolazi do savijanja spojnih sredstava i pritiska po omotaču rupe, a naknadno dolazi do "efekta sajle" - ankerovanja spojnih sredstava uz pomoć trenja.

Efekat sajle javlja se kod velikih pomeranja. Ovaj uticaj je snažno izražen pri plastičnim deformacijama u drvetu. Kod vitkih spojnih sredstava efekat sajle i trenja dovodi do povećanja nosivosti veze i do dva puta.

Pri proračunu spojnih sredstava potrebno je voditi računa o redukciji dopuštenog opterećenja (nosivosti) veze. Naročito kod veza koje su izložene dejstvu vlage dopušteno opterećenje mora se smanjiti.

Pri merodavnom opterećenju  $q_{II}$  (osnovno + dopunsko) dopuštena nosivost veze može se uvećati za 25%, a za slučaj horizontalnih udara (potresa) i zemljotresa može se uvećati za 100%. Kod uticaja pri transportu i montaži dopuštena nosivost se takode može uvećati za 25%.

Za slučaj osnovnog dejstva vetra, u oblasti ekstremnog sišućeg dejstva može se nosivost uvećati 1.8 puta.

U određenim slučajevima potrebno je proveriti napon zatezanja (čupanja)  $\perp$  na pravac vlakna drveta.

Aktuelna problematika istraživanja zadnjih godina u svetu je zaštita čeličnih spojnih sredstava od korozije.

Za noseća spojna sredstva u industrijskim (agresivnim zonama, gde je relativna vlažnost vazduha  $\geq 70\%$ ) potrebno je obavezno koristiti pocinkovana spojna sredstva i to sa

400 gr/m<sup>2</sup> spojnog sredstva. Kod upotrebe limova debljine  $\leq 3$  mm u agresivnim industrijskim sredinama potrebno je koristiti nerđajući čelik.

U srednje agresivnim sredinama (gradski ambijent) potrebno je limove zaštititi i to sa 350 g/m<sup>2</sup> obostrano pocinkovanom oblogom i hromiranjem.

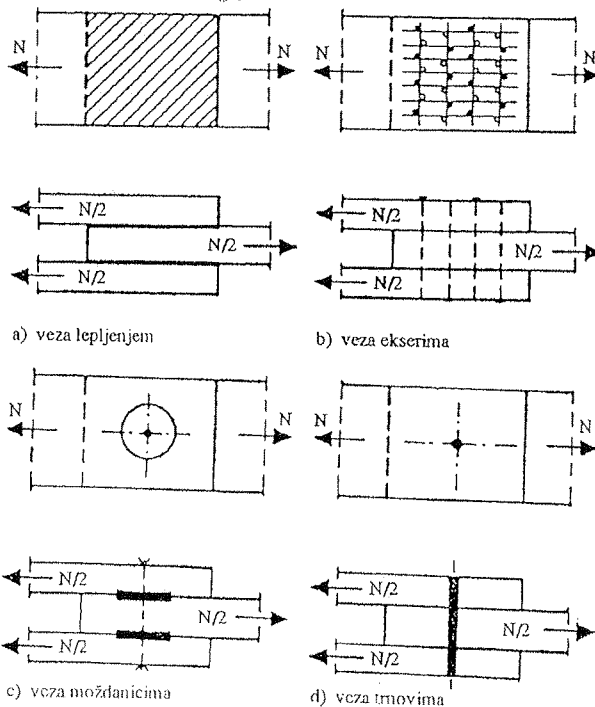
U neagresivnim sredinama, gde je relativna vlažnost vazduha  $\leq 70\%$ , za limove  $\delta \leq 3$  mm potrebno je 250 g/m<sup>2</sup> pocinkovane obloge, dok je za limove 3÷5 mm potrebno 100 g/m<sup>2</sup> obloge.

Za zavrtnje, eksere i trnove u neagresivnim sredinama i srednje agresivnim sredinama (grad), ne zahteva se posebna zaštita od korozije.

Nosivost spojnih sredstava (eksera), na osnovu ispitivanja MARTEN-a, kod eksera koji se ugrađuju zabijanjem  $2.8 \leq d \leq 6$  mm (max 8 mm), ne zavisi od pravca delovanja sile u odnosu na pravac vlakana.

Nosivost spojnih sredstava koja se ugrađuju u predhodno izbušene rupe,  $4 \leq d \leq 30$  mm, zavisi od pravca sile prema pravcu vlakana, tako da se ovaj uticaj ne može zanemariti.

Nosivost spojnih sredstava određuje se ispitivanjem veze do sloma. Dopusštena nosivost predstavlja silu pri pomeranju u vezi do 1.5 mm ili silu od 1/2.75 nosivosti spojnog sredstva pri slomu. Merodavna je manja vrednost.



Sl. IV-1. Vrste spojnih sredstava u vezi.

Pri ispitivanju veze ostvarene lepljenjem, dopuštena nosivost određuje se na osnovu smičućeg napona pri lomu. Ova vrednost je uvek merodavna. Kod eksera, koji pri opterećenju imaju relativno mala pomeranja, takode je merodavna sila loma u vezi (SI.IV-1).

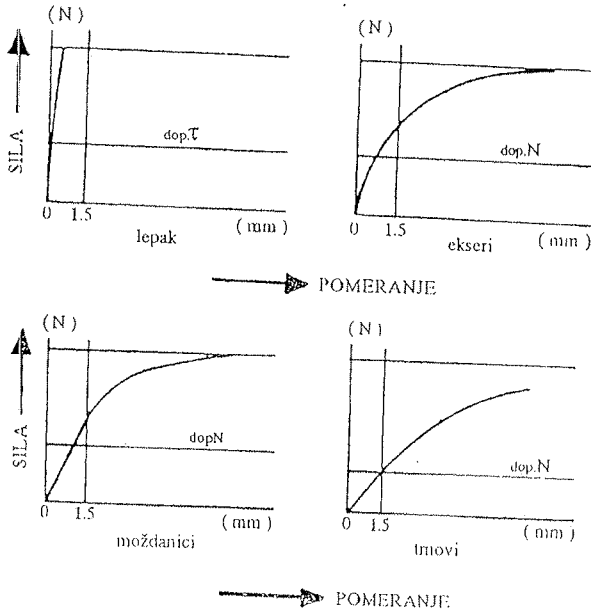
Veza moždanicima i trnovima imaju veća pomeranja, pa su često pomeranja merodavna pri određivanju dopuštene nosivosti.

## 2. MODELIRANJE VEZA IZVEDENIH MEHANIČKIM SPOJNIM SREDSTVIMA

U zavisnosti od tipa veze, spojnih sredstava i opterećenja, odnosno uticaja sila u preseku M, T i N, usled popustljivosti<sup>25</sup> - deformacije spojnih sredstava, dolazi do pomeranja u vezi.

Pomeranja u vezi, u pravcu sile (momenta) određuju se prema modulu popustljivosti spojnih sredstava, odnosno prema modulu popustljivosti veze.

Zavisnost pomeranja spojnih sredstava u vezi i sile N, za neka spojna sredstva, predstavljen je dijagramom (SI. IV-2).



SI. IV-2. Dijagram pomerljivosti različitih spojnih sredstava.