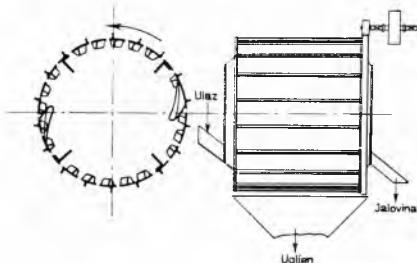


Materijal ulazi aksijalno i uslijed djelovanja centrifugalne sile prolazi radijalno između ploča, pri čemu ga neprekidno udaraju klinovi i mijenjaju mu pravac kretanja, dok ne izleti iz prostora među pločama. Usitnjeni materijal ispada kroz ispušt pri dnu. Ova drobilica nema osiguranja protiv pretvrdih komada pa pred ulazom u nju treba postaviti magnetski separator.

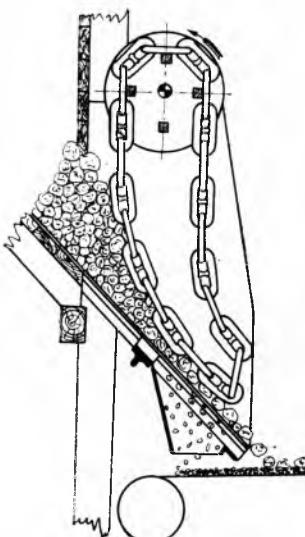
**Drobilice u kojima se materijal drobi uslijed svoje vlastite težine.** Takva mašina je *Bradfordova drobilica* (sl. 21), u stvari kombinacija drobilice i sita. Upotrebljava se za odvajanje



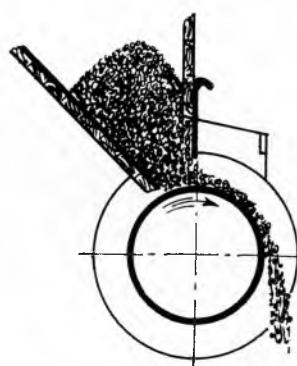
Sl. 21. Bradfordova drobilica

ugljenja od jalovine, i to krtih vrsta ugljenja. Sastoje se od limenog bubenja s uzdužnim prorezima (ili perforacijama različitog oblika), koji se polako vrti. Prilikom pada u unutrašnjosti bubenja ugljen se isitni pa izlazi kroz otvore kao prosjev, dok tvrda jalovina predstavlja odsjev i izlazi na kraju bubenja.

**Hranilice.** Od pomoćnih uredaja kod drobilica osobito su važne naprave za dodavanje materijala, jer su sve mašine za sitnjenje osjetljive u pogledu ravnomernog hranjenja. Za kru-pnozrnat ili rovni materijal, naročito za rude, dolazi u obzir *hranilica s lancem* (sl. 22). Sistem lanaca obješenih za vodo-

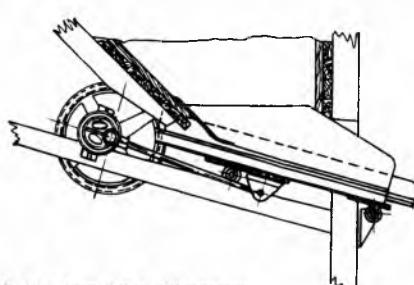


Sl. 22. Hranilica s lancem



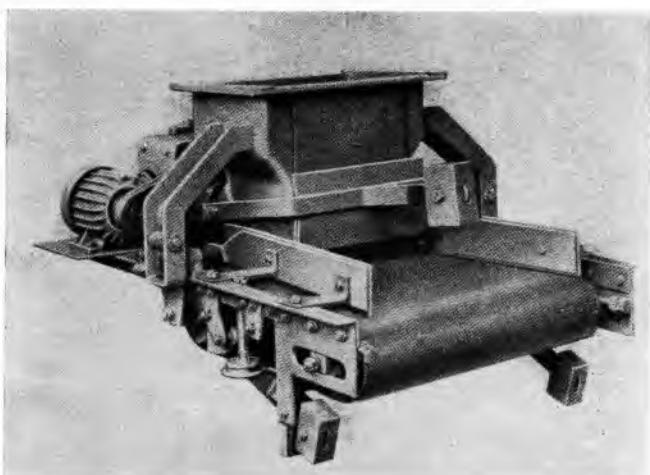
Sl. 23. Hranilica s valjkom

ravni valjak daje potrebitni otpor te osigurava ravnomerni ulazak materijala. Dok lanci miruju, oni svojom težinom zatvaraju spremište materijala, bunker. Kad se uslijed rotacije valjka počinju okretati, povlače materijal koji polako klizi iz bunkera. Brzina hranjenja podešava se brojem okretaja valjka. Za sitnozrnat materijal primjenjuje se *hranilica s valjkom* (sl. 23). Mnogo se upotrebljavaju i *hranilice s ekscentrom* (sl. 24), koje su naročito po-



Sl. 24. Hranilica s ekscentrom

godne za velike učinke i veoma gruboznat materijal (300 mm i više). Za automatsko dodavanje određene količine služi, npr.,



Sl. 25. Dozirni uredaj Hardinge

*dozirni uredaj Hardinge* (sl. 25). Tu se količina ulaznog materijala može podešavati pokretnim protutegom.

LIT.: E. C. Blanc, H. Eckart, Technologie der Brecher, Mühlen und Siebvorrichtungen, Berlin 1933. — W. Miller, Crushers for stone and ore, Princeton, N. J. 1935. — L. V. Левенсон, Г. И. Прейгерсон, Дробление и грохочение полезных ископаемых, Москва 1940. — C. Mittag, Die Hartzerkleinerung, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953. — В. А. Олевский, Конструкция, расчеты и эксплуатация дробилок, Москва 1958. — В. И. Фадеев, Современное оборудование для дробления и измельчения руд, Ленинград 1959. — С. Е. Андреев, В. В. Зверевич, В. А. Перов, Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых, Москва 1966.

K. Slokan

**DRVENE (INŽENJERSKE) KONSTRUKCIJE**, gradevinski objekti izrađeni od drva koji su namijenjeni nošenju nekog opterećenja. Takve drvene konstrukcije sadrže: krovista, stropovi, tornjevi, hale i tribine, stupovi, mostovi i dr.

Drvene inženjerske konstrukcije sastoje se od pojedinačnih štapova i oplata (dasaka) spojenih pogodnim sredstvima. Kao nosive konstrukcije, one moraju biti oblikovane i dimenzionirane tako da i kao cjeline i po svojim sastavnim dijelovima s određenom sigurnošću podnose opterećenja kojima mogu biti izložene.

**Drvo kao konstrukcijski materijal.** O općim svojstvima drva važnim u njegovoj primjeni kao konstrukcijski materijal (fizičkim i mehaničkim svojstvima, greškama i oštećenju drva, trajnosti itd.), kao i o vrstama gradevnog drva, v. članak *Drvo*.

Pri određivanju čvrstoće i dopuštenih napona potrebno je razlikovati, zbog vlaknaste strukture drva: smjer djelovanja sile u odnosu na smjer vlakana (parallelno, koso, okomito), na položaj godova i ravninu u kojoj sile djeluju. Tako se razlikuje, npr., tlačno naprezanje parallelno s vlaknima, koso prema vlaknima i okomito na vlakna, pa lokalno i totalno tlačno naprezanje itd. U tabl. I navedene su čvrstoće najvažnijih vrsta drva na vlak i tlak, parallelno s vlaknima (||) i okomito na vlakna (⊥), te čvrstoće na savijanje i odrez.

U odnosu na dopuštene napone u drvenim konstrukcijama mogu postojati ova naprezanja: centrički tlak parallelni, tlak okomito na vlakna i koso prema njima, pritisak praga, pritisak stupca, okomito na vlakna i koso prema njima, pritisak ispod podložne pločice vijka, čeoni pritisak (lokalni i totalni), bočni (parallelni i okomiti) pritisak po obodu rupa, centrički tlak parallelni, tlak okomito na vlakna i koso prema njima, savijanje parallelno, savijanje s uzdužnom silom; posmik parallelno, okomito i koso, u ravnini vlakna i okomito na nju, posmik srca moždanika; centrična i ekscentrična torzija. U praksi se redovito razmatraju samo ona naprezanja za koja su dani dopušteni naponi u tabl. 2.

Osnovne dopuštene napone potrebno je često modificirati popravnim koeficijentima, koji se nalaze u literaturi i propisima, uzimajući u obzir okolnosti koje utječu na čvrstoću drva kao što su: stupanj vlažnosti drva, veličina komada, vrst drva i porijeklo, kvalitet grade, ponovna upotreba, način uskladištenja, primjena

## DRVENE KONSTRUKCIJE

Tablica 1  
ČVRSTOĆE NAJAVAŽNIJIH VRSTA DRVA  
(kp/cm<sup>2</sup>)

Vrsta drva	$\sigma_v^{\parallel}$	$\sigma_v^{\perp}$	$\sigma_t^{\parallel}$	$\sigma_t^{\perp}$	$\sigma_s$	$\sigma_0$
Jelovina	470...1180	—	450...500	40	800...1000	—
Smrekovina	400...1400	20...60	300...750	40...50	400...1000	54...120
Borovina	400...1600	20...40	300...750	40...60	500...1100	78...142
Hrastovina	400...1600	130...170	240...810	90...180	250...1500	92...165
Bukovina	1000...1600	—	350...450	—	—	50...190

zaštitnih sredstava, položaj vlakna i godova, veličina plohe na koju sila djeluje, presječenost vlakna, izloženost vlazi i vodi, vrsta i način opterećenja, dinamički utjecaji, nesigurnost u proračunima ili pri izvođenju, trajanje maksimalnih opterećenja, učestalost i kombinacije opterećenja, vrsta građevine, predviđeno trajanje objekta.

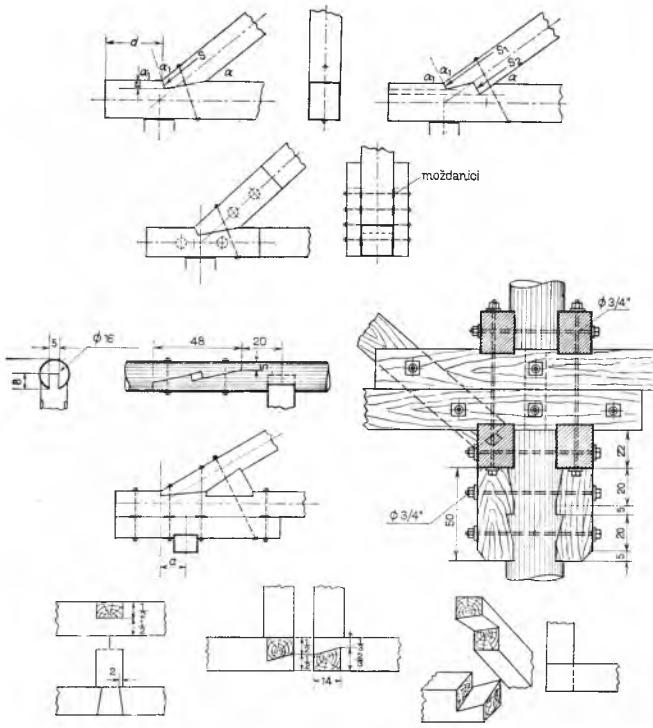
I za metalne dijelove u drvenim konstrukcijama postoje specifični, propisima određeni dopušteni naponi.

Tablica 2  
OSNOVNI DOPUŠTENI NAPONI  
(kp/cm<sup>2</sup>)

Narezanje	Smjer sile i vlakna	Četinari, klasa			Hrast, bukva, klasa		
		III	II	I	III	II	I
Centrički tlak, $\sigma_d^{\parallel}$		30	80	95	40	95	115
Centrički tlak, $\sigma_d^{\perp}$		65	90	100	80	100	120
Savijanje, $\sigma_s$		75	100	115	90	120	140
Posmik $\tau_d^{\parallel}$		8	10	12	10	12	15
Presijecanje vlakna, $\sigma_d^{\perp}$	±	25	30	35	30	35	40
Radikalni tlak $\sigma_d^{\perp}$	±	20	20	20	30	30	30
Kosi tlak, $\sigma_d^{\alpha}$	↗	$\sigma_d^{\alpha} = \sigma_d^{\parallel} - (\sigma_d^{\parallel} - \sigma_d^{\perp}) \cdot \sin \alpha$					

Modul elastičnosti drva u praksi se računa za četinare sa 100 000 kp/cm<sup>2</sup> paralelno s vlaknima a 3000 kp/cm<sup>2</sup> okomito na vlakna, za lišćare sa 125 000, odn. 6000 kp/cm<sup>2</sup>.

Pri projektiranju i izvođenju drvenih nosivih konstrukcija treba, prema prilikama, obratiti pažnju i na estetska svojstva drva,

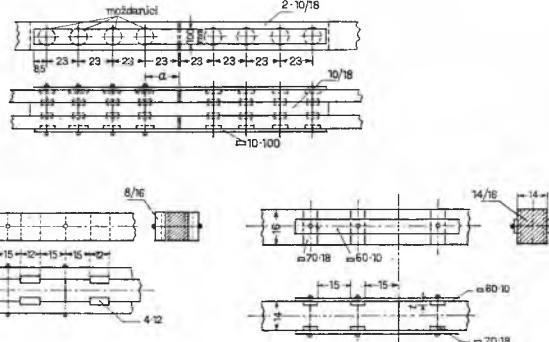


Sl. 1. Primjeri tesarskih vezova

vodljivost zvuka, prostornu težinu, žilavost, zapaljivost, trajnost. Ponekad je zanimljivo također utezanje i bubreњe drva s promjenama vlage u njemu (v. str. 425). Greške u drvu (v. str. 431) i njihov utjecaj na nosivost konstrukcija potrebno je poznavati jer je taj utjecaj vrlo velik, što se vidi i iz razlika među dopuštenim naponima za razne klase građe u koje se ona svrstava prema vrsti i broju grešaka u njoj. Cjepljivost drva može u vezovima i spojevima pri nespretnoj upotrebi drva i nepovoljnem obliku spoja biti pre-sudna za nosivost spoja.

**Spajanje drvenih elemenata.** Pojedini dijelovi konstrukcija, štapovi i oplate, mogu se spojiti u cjelovite sklopove na različne načine. Pri tome treba omogućiti prenos sile od jednog elementa na drugi i osigurati nepokretnost jednog dijela prema drugom. To se može postići gdjekad istim sredstvom, npr. pri lijepljenju, a u drugim slučajevima, npr. kad se sila prenosi moždanicima, redovito je potrebno staviti i vijke da drže dijelove zajedno. Takva sredstva spajanja koja nisu namijenjena prenosu sile nazivaju se konstruktivnim spajalima, za razliku od osnovnih »nosivih« spajala.

Od jednog komada drveta na drugi mogu se sile prenijeti i tako da se, na mjestima gdje se elementi sastavljaju, oblikuju prikladne



Sl. 2. Nastavljanje greda u dužinu moždanicima i plosnim vezicama

prenosne plohe. Tako nastaju *tesarski vezovi*, od kojih su na sl. 1 prikazani neki primjeri: zasjeci, zubi, preklopi, urezi. (Više o tome v. članak *Tesarski radovi*.)

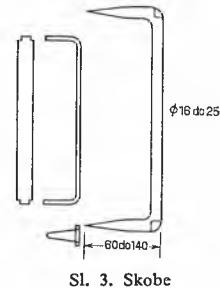
Nastavljanje komada u dužinu u drvenim konstrukcijama redovito je potrebno jer je dužina građe manja od dužine štapova u konstrukciji. Ti nastavci po pravilu se izvode spajalima, ali se mogu izvesti također tesarskim vezovima (sl. 2; v. i sl. 1) i lijepljenjem (v. sl. 11).

Kao spajala mogu služiti: lanci, užeta, skobe, trnovi, vijci s maticama, čavli, vijci za drvo, moždanići i ljepila.

*Lanci i užeta* danas se upotrebljavaju samo za posve provizorne veze, npr. pri montiranju konstrukcija. Nekad su se tako izvodile i složenije konstrukcije.

*Skobe* (klanfe, sl. 3) pomoćna su spajala. One se mogu upotrijebiti i za neke definitivne ali sporednje veze. Skobe mogu biti izradene od komada okruglog presjeka ili od plosnih profila, vrhovi im mogu biti nasječeni, tako da teže mogu ispasti iz drva.

*Trnovi* mogu biti metalni ili drveni. To su cilindrični komadi koji se stavljaju u iz-



Sl. 3. Skobe

bušene rupe, promjera nešto manjeg od promjera trna. Metalni trnovi imaju promjer 8...20 mm a drveni 20...40 mm (od tvrdog drva prosušenog na max. 12...17% vlage). Propisi određuju minimalne razmake između trnova: za čelične  $6d$  duž vlakna,  $3d$  popreko, za drvene  $4d$ , odnosno  $2,5d$ ; uz rub  $3d$ , odnosno  $1,5d$  i najmanje 3 cm od ruba drva ( $d$  je promjer trna).

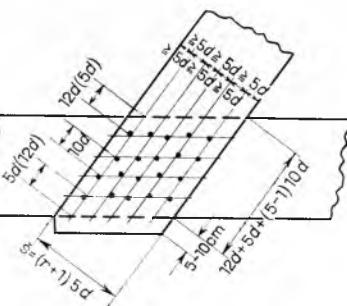
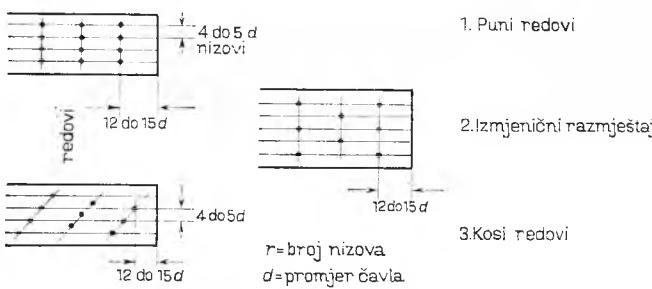
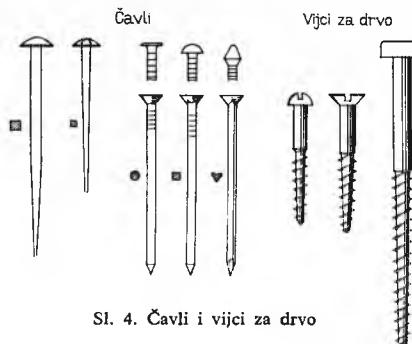
Čavli (sl. 4) su općenito poznato spajalo za drvene elemente, no u modernim drvenim konstrukcijama oni su našli primjenu samo uz niz uvjeta koji su određeni pokusima i kojih je potrebno pridržavati se pri projektiranju i izvedbi. Neki od tih uvjeta navedeni su u nastavku, no treba naglasiti da su ti podaci dani samo za ilustraciju te nisu dovoljni za ostvarivanje neke čavljane konstrukcije.

Kao nosiv spoj s čavlima smatra se veza u kojoj postoji najmanje četiri čavla napregnuti na odrez u jednoj ravnini. Čavli u

spoju mogu biti jednoredzni ili višerezni, prema tome kroz koliko režaka oni prolaze, kako su duboko u krajnji dio prodrli i koji elementi čine pojedini štap u čvoru.

U tabl. 4 navedene su za pojedine profile (promjere): nosivost jednoredzog čavla, otpor na čupanje i podesne dužine čavala. Preporuča se upotreba dužina označenih kosim brojkama. Sl. 5 prikazuje kako je reznost čavla odredena duljinom čavala u odnosu na debljinu elemenata koje čavao spaja, u odnosu na ravnine u kojima je napregnut na odrez i u odnosu na smjer sila koje ga naprežu. Nosivost dvorezne čavle dvostruko je veća od nosivosti jednoredzne. Nosivost ovisi i o broju čavala koji se nalaze u jednom nizu.

Da se drvo pri zabijanju čavala ne bi cijepalo, potrebno je odabratи promjer čavla prema debljini drva. U tablici 3 navedeni su promjeri čavala koji su dopušteni za drvene elemente određene

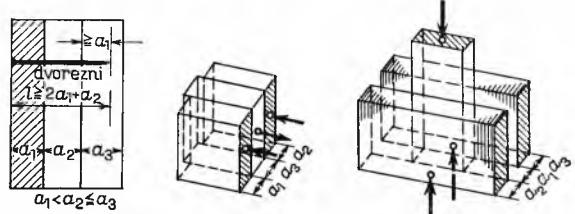
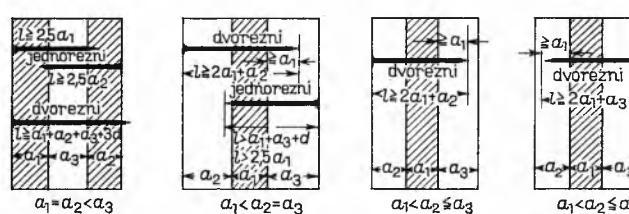
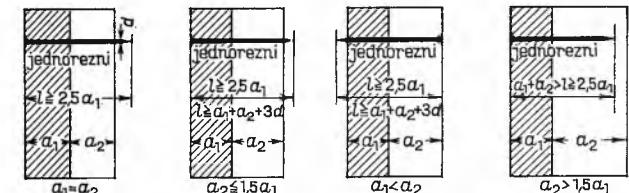
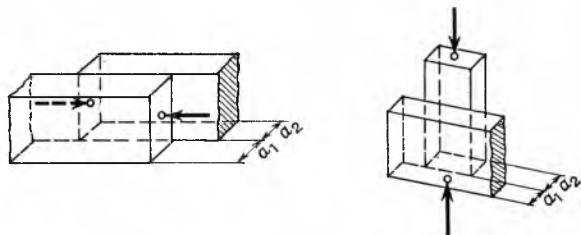


Tablica 3  
OVISNOST PROMJERA ČAVLA O DEBLJINI DRVA KOJE SE ZAKIVA

Debljina drvenog elementa mm	Dopušteni promjer čavla mm $\times$ 10
10	20 22
12	20 22 25
15	20 22 25 28
18, 20	22 25 28 31 34
24, 25	28 31 34 38 42
28, 33	31 34 38 42 46
38, 40	38 42 46 50 55
48, 50	46 50 55 60 65
60	50 55 60 65 70
70	60 65 70 75 80
80	65 70 75 80 90
90	70 75 80 90 (100)
100	75 80 90 (100)
110	80 90 (100)

Tablica 4  
NOSIVOST I DUŽINE ČAVALA

Profil čavala mm $\times$ 10	Nosivost jednoredzog čavala, kp	Otpor na čupanje kp/cm	Podesne dužine čavala mm
20	15	2,0	25 30 35 40 45
22	20	2,5	30 35 40 45 50 55
25	25	3,0	40 45 50 55 60
28	30	3,5	50 55 60 65 70 75 80
31	35	4,0	55 60 65 70 80 90 95
34	45	4,5	60 65 70 80 90 100
38	55	5,0	70 80 90 100 110 120
42	65	5,5	90 100 110 120 130
46	75	6,0	120 140 160 180
50	85	6,5	140 160 180 200
55	100	7,0	220 230 250 310
60	115	8,0	
65	130	8,5	
70	145	9,0	
75	160	10,0	
80	175	11,0	
90	210	11,0	



Sl. 6. Određivanje reznosti čavala

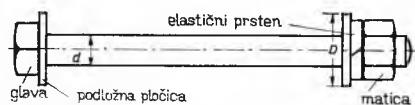
debljine. Promjer čavala bira se prema najtanjem drvu koje se može njih spaja.

Čavli moraju biti razmješteni na način koji je pokusima utvrđen kao najpovoljniji. Rezultati tih pokusa iskorišteni su u propisima o minimalnim razmacima uz različite načine razmještanja čavala, kako je to prikazano na sl. 6.

Nekad su se u nosivim drvenim konstrukcijama upotrebljavali isključivo kovani čavli; danas se redovito upotrebljavaju žični čavli, ali ima i danas slučajeva kad je bolje koristiti se kovanim čavlima, koji su žilaviji i koji se mogu na vrhu nasjeći, da se poveća sigurnost na čupanje ili ispadanje čavla.

Slično kao čavli upotrebljavaju se *vijci za drvo* (vidi sliku 4). Ti vijci imaju pri vrhu navoj pa je stoga potrebna veća sila pri čupanju.

*Vijak* (s maticom) (sl. 7) staro je spajalo koje je takođe općenito poznato. Za drvene konstrukcije takvi vijci moraju imati posebne podložne pločice, znatno veće od onih koje se upotrebljavaju u čeličnim konstrukcijama; te pločice moraju imati najmanji promjer  $3,5 d$  ako su okrugle, ili isto toliku dužinu stranice ako su kvadratnog oblika. Najmanja debljina pločice je 4 mm,



Sl. 7. Vijak

odnosno  $\sim 1/10$  njene stranice (promjera). Uz to se preporuča ispod matice staviti elastični prsten, koji će i pri usušivanju drveta održavati vijak napetim.

Dopuštena nosivost vijaka pri opterećenju u pravcu vlakna, a u ovisnosti o njihovu promjeru, njihovoj reznosti i vrsti drva, navedena je u tablici 5. Ona nije ovisna o klasi drveta. Za tako odmjerene veličine ne treba dokazivati napon na savijanje u vijku.

Tablica 5  
DOPUŠTENA NOSIVOST VIJKA  
PRI OPTERECENJU U PRAVCU VLAKNA

Reznost	Drvo četinja	Hrastovina i bukovina
Jednorezno, $a_1 \leq a_3$	$N = 40 a_1 d$ najviše $170 d^2$	$N = 50 a_1 d$ najviše $200 d^2$
Dvorenzno, $a_1 \leq a_3$	srednji štap: $N = 86 a_1 d$ najviše $380 d^2$ bočni štapovi: $N = 55 a_1 d$ najviše $260 d^2$	srednji štap: $N = 100 a_1 d$ najviše $450 d^2$ bočni štapovi: $N = 65 a_1 d$ najviše $300 d^2$

$a$  i  $d$  u cm,  $N$  u kp

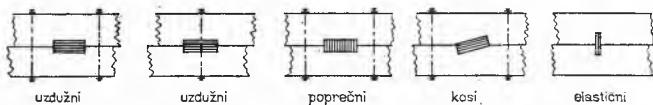
Ako se umjesto bočnog drva stave metalne vezice, može se dopuštena nosivost povećati za 25%. Kad sila djeluje koso na vlakna, treba vrijednosti iz tablice smanjiti.

I za upotrebu vijaka u nosivim konstrukcijama postoje određeni propisi. U nastavku se navode neki od njih.

Rupe za vijke moraju biti nešto manje od presjeka vijka, a u višereznim spojevima treba ih, po mogućnosti, bušiti mašinskim alatom. Vijke moraju biti promjera najmanje  $10 \text{ mm}$  ( $\frac{3}{8}''$ ), a pri debljini drva preko  $8 \text{ cm}$  najmanje  $12 \text{ mm}$  ( $\frac{1}{2}''$ ). Razmak medu vijkeima, kao i razmak vijke od kraja štapa, mora da iznosi — u pravcu vlakna — najmanje 7 promjera vijke, ali ne manje od  $10 \text{ cm}$ .

*Moždanici* su ulošci koji se stavlju u reške između drvenih elemenata, da bi se sprječilo pomicanje jednog elementa prema drugom, odnosno omogućio prelaz sila iz jednog u drugi element.

Tesarski moždanici (sl. 8) su takvi ulošci izrađeni od tvrdog i prošušenog drva (12...17% vlage), a obično su pravokutnog paralelepipednog oblika. Prema položaju vlakna, u odnosu na vlakna

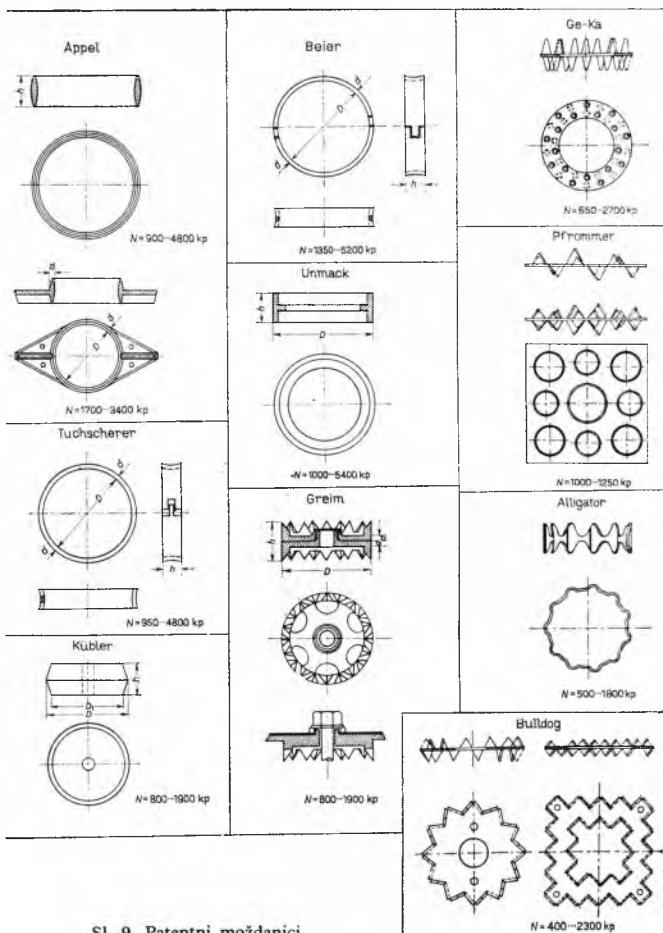


Sl. 8. Tesarski moždanici

osnovnih elemenata, takvi moždanici mogu biti: uzdužni, poprečni i kosi, te okomiti i paralelni. U novije vrijeme upotrebljavaju se drvene pločice kojima su vlakna okomita na rešku između elemenata; to su »elastični moždanici Derevgagina«. Uz tesarske moždanike treba dodati i vijke, kojima se osnovni elementi drže zajedno.

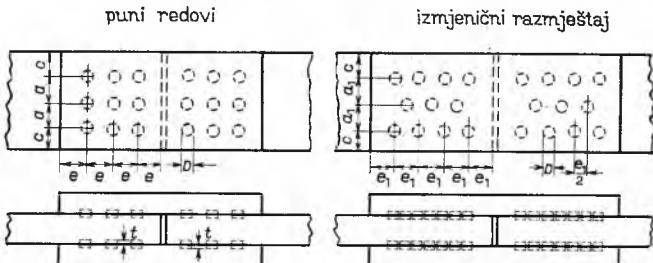
Moždanici mogu biti i komadi čeličnih profila: ugaonika, Z-profil pa i plosnatih komadi, ili pak cijevi.

U novije doba upotrebljavaju se mnogo metalnih moždanici vrlo različitih oblika, na primjer: prstenasti, čunjasti, tanjurasti,



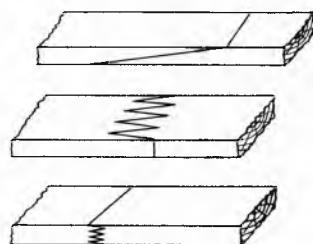
Sl. 9. Patentni moždanici

štapasti, zubati i drugi moždanici za koje već naziv kaže kakvog su osnovnog oblika. Neki su takvi moždanici patentom zaštićeni produkti stanovitih producenata, koji su im dali i posebna imena (sl. 9). Kao moždanici mogu se upotrebljavati također nazupčani i narovašeni limovi. Zanimljivi su prstenovi, koji mogu biti za-



Sl. 10. Razmještaj moždanika

tvoreni i otvoreni ili rezani. Prečanim prstenima nosivost je veća od nosivosti jednakih prstena koji nisu rezani. Neki se od metalnih moždaničkih stavljuju u izdubljene udubine, a neki se utiskuju u drvo. Kako se moždaniči razmještaju pokazuje sl. 10. Udaljenosti  $a$ ,  $e$ ,  $c$ ,  $a_1$ ,  $e_1$  među horizontalnim i vertikalnim redovima moždaničkih, odnosno udaljenosti moždaničkih od ruba, određene su propisima u ovisnosti o promjeru moždaničkih  $D$  i dubini njegova prodiranja u drvo  $t$ .



Sl. 11. Spojevi lijepljeni na sučeljak



Sl. 12. Presjeci nosača sastavljenih lijepljenjem

primjer, u spojevima oko rupa i udubina. Lijepljenje drvenih elemenata poznato je već vrlo dugo, ali se je tek u novije vrijeme počelo upotrebljavati za spajanje elemenata u nosivim konstrukcijama. Naročito je pojava ljepila na bazi umjetnih

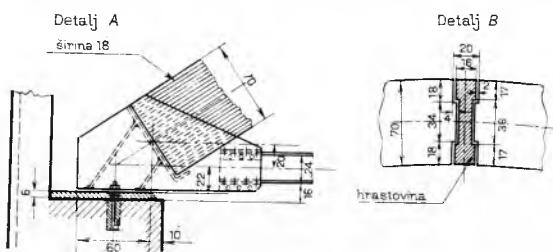
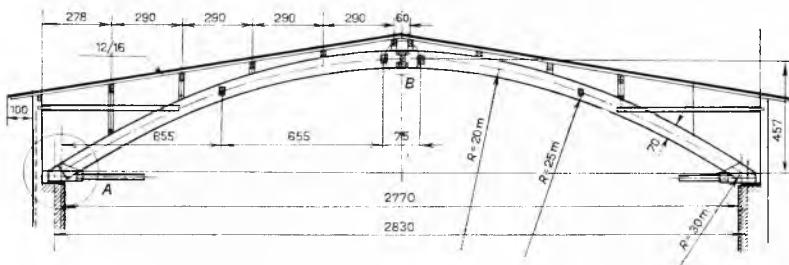
Za izradu lijepljenih konstrukcija smije se upotrebljavati drvo koje po glavnim karakteristikama odgovara bar II klasi, i to u obliku dasaka debljine do 25 mm. Ovo drvo smije sadržavati najviše 17% vlage. Preporuča se upotrebljavati drvo čija širina godova nije veća od 6 mm; kvrge veće od 5 cm treba izbjegavati, naročito kod vlačnih elemenata. Čeoni sastavci lamela moraju biti dovoljno prekriveni. Nisu dopušteni čeoni sastavci na vanjskoj, vlačnoj strani nosača. Dozvoljavaju se zakošeni čeoni sastavci nagiba do 1:10, izuzev u zoni najvećih momenata.

Nosivost lijepljenih konstrukcija treba, po pravilu, dokazati pokusima do sloma; dopuštena nosivost ne smije biti veća od 1/3 vrijednosti utvrđene pri slomu. Nosivost se može odrediti i na koji drugi način, ako se ovaj osniva na naučnim postavkama.

Sl. 11 prikazuje primjenu lijepljenja za spajanje dvaju dijelova na sučeljak. Lijepljenjem se mogu izraditi elegantne nosive konstrukcije velikih raspona, bilo tako da se zajedno slijeve tanki komadi grade u štapove, a štapovi da se drugim načinom tada u čvorovima spajaju u čitave konstrukcije, ili pak tako da se čitavi nosači dobiju sljepljivanjem malih komada (sl. 12). Kao primjer lijepljene drvene konstrukcije prikazan je na sl. 13 troglobojni lučni nosač krovista.

*Druga spajala.* Uz nabrojene vrsti spajala upotrebljavaju se i spone, obruči, stezala, zglobovi od čelika, papuče, čelične vezice, čvorne ploče od metala ili od furnira i drugo. Na sl. 14 prikazana su neka od tih spojnih sredstava.

U drvenim su konstrukcijama mogućnosti spajanja elemenata veoma široke; to je upravo jedna od najbitnijih karakteristika tih konstrukcija. Posebnu pažnju treba обратити činjenici da su deformacije spojeva ostvarenih pomoću većine tih spajala vrlo velike, pa ih treba uzeti u obzir pri provjeravanju napona u konstrukcijama. Pri malim opterećenjima može se pretpostaviti kao dovoljno tačno da je deformacija koja nastaje u spoju izravno proporcionalna opterećenju u spoju. Time se mogu



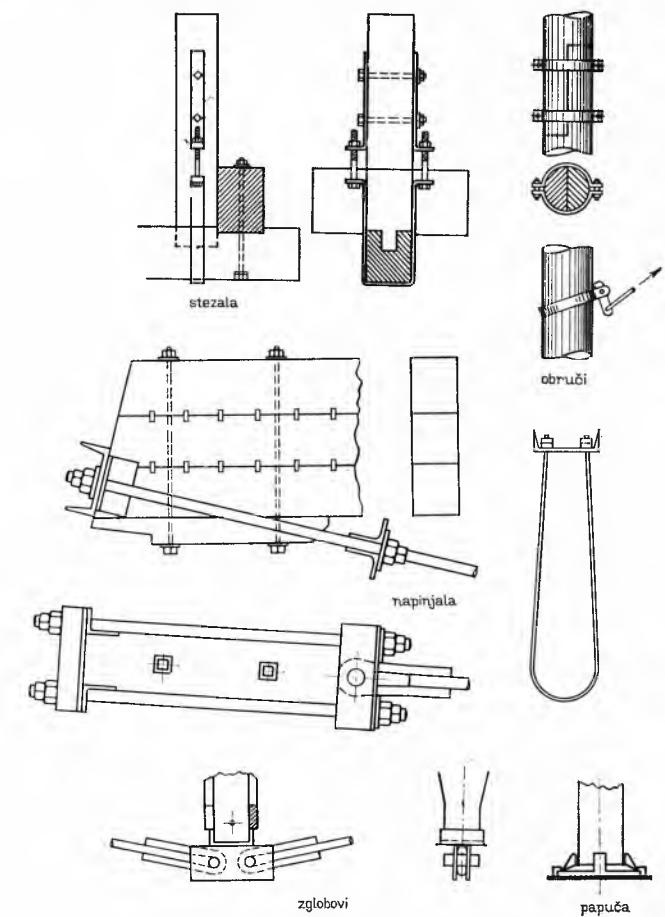
Sl. 13. Primjer krovista s lijepljenim nosačima

smola omogućila velik napredak u izvođenju modernih drvenih konstrukcija. Po načinu ugradbe razlikuju se hladna i vruća ljepila, a po sastavu to mogu biti ljepila izrađena od kosti, rogovca, kože, krvi, zatim od dekstrina, kazeina itd. (v. *Ljepila*). Ljepila od umjetnih smola dolaze u trgovini pod raznim nazivima koje su im dali producenti.

Nosivost lijepljenih spojeva treba ustanoviti pokusima na određenom broju uzoraka. Uz to je potrebno ustanoviti i trajnost takvih spojeva, pa se uzorci kidaju nakon kuhanja. Čvrstoča ovisi u znatnoj mjeri o postotku vlage u drvu. Ispitivanja lijepljenih spojeva propisana su, a potrebno ih je provesti prije upotrebe na svakom objektu. Propisana je i procedura lijepljenja, stanje i ravnost ploha koje se lijepe, trajanje i pritisak stiskanja elemenata itd.

Lijepljenje nosivih konstrukcija dopušteno je izvesti samo ljepilima za koja je prethodnim pokusima dokazano da pomoću njih spojeni konstruktivni elementi stvarno bespriječno savladavaju statička, a eventualno i dinamička djelovanja, da trajno zadržavaju svoja svojstva i u nepovoljnim okolnostima, da su izdržljiva u vlažnom zraku i vodi. Kazeinska ljepila mogu se upotrebljavati samo za konstrukcije koje su potpuno zaštićene od vlage. Za ljepila izložena visokim temperaturama treba dokazati da su otporna u takvu stanju.

Čvrstoča na posmik lijepljenih spojeva mora biti najmanje jednak posmičnoj čvrstoći samog drveta.



Sl. 14. Neki posebni načini spajanja drvenih konstrukcija

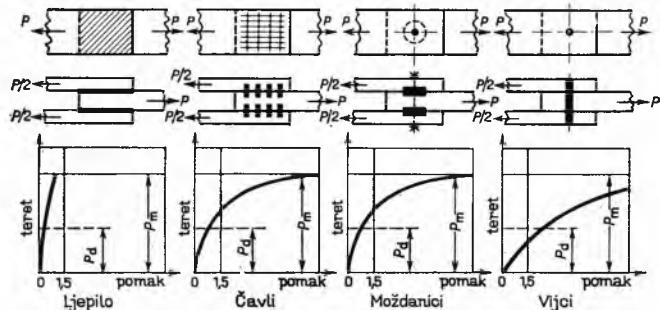
## DRVENE KONSTRUKCIJE

pojednostavniti proračuni i kad se uzimaju u obzir te deformacije, ili, kako se još kaže: kad se uzima u obzir podatnost spojeva drvenih konstrukcija. No ako se žele slijediti stanja u konstrukciji do njenog sloma, proces se provjeravanja znatno komplikira. K tome treba uzeti u račun i promjenu svojstava drva u vremenu.

Budući da nas zanimaju i deformacije konstrukcija, nosivosti spojeva ostvarenih pomoću spajala ne odredujemo proračunom stanja napona u spajalu ili u drvu oko njega, nego se nosivost određuje pokusima. Pri tim ispitivanjima utvrđuje se nosivost primjenjujući dva kriterija s obzirom na prelomni teret: uzimajući da je nosivost polovina do trećine čvrstoće pri slomu, ili uzimajući da je nosivost onaj teret pri kojem je deformacija u spaju dosegla veličinu od 1,0...2,0 mm. Vrijedi manja od te dvije veličine. Za različite objekte i različite okolnosti potrebno je predviđati prikladan stepen sigurnosti ili pak veličinu pomaka, jer veličina dopuštenih pomaka u spojevima ovisi o tipu konstrukcije i objektu u kojem se ona nalazi, pa je to potrebno konkretno razmotriti u danim okolnostima. Odstupanja od osnovnih dopuštenih napona treba primijeniti i na utvrđivanje dopuštene nosivosti spojeva.

Sama spajala izvode se toliko jaka da njihova čvrstoća redovito ne dolazi u pitanje, pa treba, ukoliko se provode teoretska ispitivanja, računati sa stanjem napona u čitavom spaju, dakle u prvom redu u okolnom drvu.

Razne vrste spajala daju spojeve koji pod jednakim opterećenjem dobivaju vrlo različite deformacije, zato su neki spojevi mnogo podatniji od drugih. Sl. 15 daje uvid u te odnose, koji su naročito zanimljivi jer pokazuju da se — ukoliko u nekom spaju postoje razne vrste spajala — ne može računati da je nosivost toga spoja jednostavno zbroj nosivosti svih spajala. Lijepljenjem



Sl. 15. Podatnost spojeva drvenih konstrukcija.  $P_m$  maksimalno opterećenje,  $P_d$  dopušteni teret (nosivost),  $\delta$  pomak u spaju;  $P_d = 0,5 P_m \dots 0,3 P_m$ .  $P_d = P$  kod  $\delta = 1,5$  mm

dobivaju se najkrući, a vijcima najpodatniji spojevi. U višestruko neodređenim drvenim konstrukcijama može uslijediti tih pojava nastati osebujni prenos ili raspodjela sila u elementima konstrukcije. Primjer za to su sistemi složenih razupora.

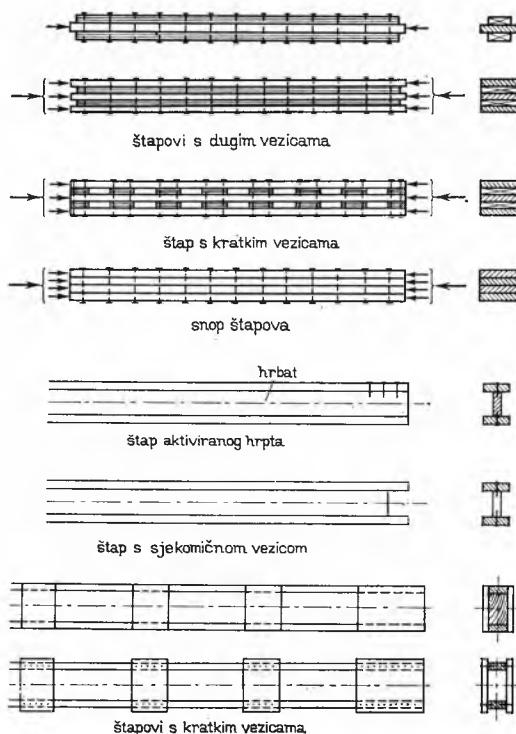
**Provjeravanje elemenata drvenih konstrukcija.** Drvene konstrukcije sastavljene su redovito od štapova, koji mogu biti cijelovitog presjeka ili sastavljeni (višedijelni). Postoje i štapovi sastavljeni od dijelova koji su kraći od njihove ukupne dužine. Prema tome kako su dijelovi štapa spojeni u cjelinu razlikuju se, na primjer, snop štapova, štapovi s dugim ili kratkim vezicama i štapovi s rešetkastim vezicama (sl. 16).

Tablica 6

KOEFICIJENT UMANJENJA DOPUŠTENIH NAPONA KOD IZVIJANJA

Vitkost $\lambda$	Koeficijent $\varphi$	Vitkost $\lambda$	Koeficijent $\varphi$
0	1,000	80	0,485
10	0,990	90	0,380
20	0,970	100	0,310
30	0,930	110	0,155
40	0,870	120	0,215
50	0,800	130	0,183
60	0,710	140	0,158
70	0,610	150	0,138
75	0,550		

U provjeravanju nosivosti konstrukcije potrebno je ispitati: napone u elementima, čvorove u kojima su elementi povezani i



Sl. 16. Neki tipovi sastavljenih štapova

stabilnost čitave konstrukcije. U nastavku daju se samo specifični podaci za provjeravanje elemenata drvenih konstrukcija.

**Vlačni monolitni štapovi** provjeravaju se na napon u neto-presjeku, te se od ukupnog preseka odbijaju sva oslabljenja od rupa i udubina, i to ne samo u dotičnom poprečnom presjeku, nego i u susjednim presjecima na udaljenosti do osmerostrukog profila rupe ili udubine. Tako, npr., u sl. 17 računat će se napon u presjeku  $A-A$  uzimajući u obzir neto-presjek prikazan šrafirano samo ako je udaljenost  $r$  od susjedne rupe za vijak veća nego osmerostruki promjer rupe; inače treba odbiti i oslabljenje od te rupe.

**Tlačne štапove** treba ispitati, uz usporedbu s dopuštenim naponima kao kod vlačnih, i na izvijanje.

Kod kontrole na izvijanje, koeficijent  $\varphi$  treba odrediti u ovisnosti o najvećoj vitkosti štapa, po ovim formulama:

$$\text{Za } \lambda \leq 75 \quad \varphi = 1 - 0,8 (0,01 \lambda)^2,$$

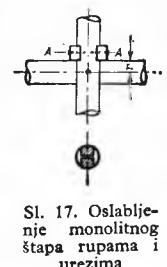
$$\text{Za } \lambda > 75 \quad \varphi = 3100 / \lambda^2$$

$$i = \sqrt{\frac{J_b}{F_b}}, \quad \lambda = \frac{l_1}{i}, \quad \sigma_1 = \frac{P}{F_b} \leq \varphi \sigma_{dt}''$$

(u njima je  $\lambda$  vitkost,  $l_1$  proračunska dužina izvijanja štapa,  $J_b$  momenat tromosti bruto-presjeka,  $F_b$  bruto-površina presjeka,  $P$  sila,  $i$  radij tromosti). Koeficijent  $\varphi$  može se odrediti i po tabl. 6. Nije dopuštena veća vitkost štapa od 150, osim za drugorazredne elemente, koji smiju imati vitkost do 175. Za glavne nosive dijelove preporuča se odabirati vitkost od max. 120.

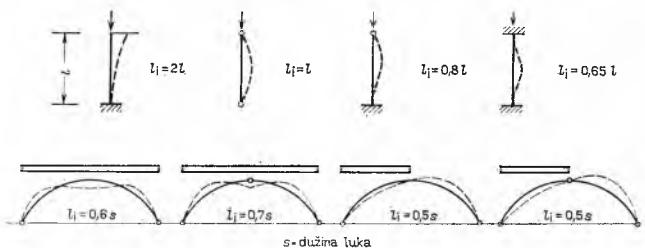
Dužine izvijanja treba u drvenim konstrukcijama naročito pažljivo odrediti. Osnovne su dužine izvijanja za razne načine pričvršćenja štapa i lukova dane u sl. 18. One su u nekim slučajevima veće od teoretskih dužina zbog nepotpune upetosti uslijed podatnosti spojeva.

U konstrukcijama treba odrediti izvijanje u ravnini nosača i okomito na tu ravninu. Pri tome mogu postojati razni slučajevi (pojasni prekinuti i neprekinuti, ispuna i dr.).



Sl. 17. Oslabljenje monolitnog štapa rupama i urezima

Štap se smatra da je za određivanje dužine izvijanja dovoljno pričvršćen samo ako je spregovima (ili na koji drugi način) onemogućeno pomicanje čvora u stranu.



Sl. 18. Proračunske dužine izvijanja drvenih ravnih štapova i lukova

Pri savijanju najveći rubni napon (računat s momentom otpora oslabljenog presjeka na najnepovoljnijem mjestu) ne smije prijeći dopušteni napon na savijanje. Osim naprezanja od momenta savijanja treba kontrolirati posmične napone i progibe.

Štapovi koji su istodobno napregnuti na savijanje i na tlak moraju se u ravnini savijanja provjeriti po formuli

$$\sigma = \frac{P}{F_n} + \frac{M}{\xi W_n} < \sigma_{dt} ||.$$

Tu je  $P$  uzdužna sila,  $F_n$  neto-presjek štapa,  $M$  moment savijanja,  $W_n$  moment otpora neto-presjeka štapa, a  $\xi$  je koeficijent kojim se uzima u obzir dodatni moment od tlačne sile uslijed početnih deformacija štapa. Izračunava se prema formuli:

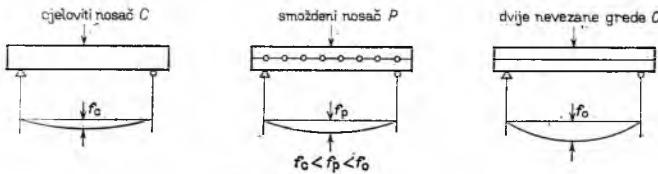
$$\xi = 1 - \frac{\lambda^2 \sigma_t^0}{3100 \sigma_{dt}},$$

u kojoj je  $\sigma_t^0$  tlačni napon od tlačne sile, računat po bruto-površini, a  $\sigma_{dt}$  dopušteni tlačni napon. Koeficijent  $\xi$  kreće se unutar granica 1 i 0.

Posmična naprezanja treba također ispitati u čvorovima i spojevima. Pri posmiku u čeonom drvetu (priključak kosnika, pritisak moždanika) može se računati s jednoličnim naponima po cijeloj površini, na određenoj dužini (npr.  $d$  na sl. 1 lijevo gore), ako je ta dužina manja od osmerostruke dubine zasjeka ( $u$ ). Ako je ta dužina veća, treba računati s reduciranim dužinom  $d'$  prema ovoj tablici:

$d'$	8,0 u	9,0 u	10,0 u	12,0 u	$\geq 15$ u
$d$	8,0 u	8,5 u	9,0 u	9,5 u	10 u

Stanja u višedijeljnim elementima posebno su zanimljiva za drvene konstrukcije zbog pojave podatnosti. Osnovni je problem: kako se ponašaju štapovi sastavljeni od više elemenata pomoću spajala koja dopuštaju veće pomake u spojevima.



Sl. 19. Progibi različnih nosača opterećenih istom silom

Na slici 19 prikazana su tri nosača jednakog raspona i presjeka, jednako opterećena na savijanje koncentriranom silom smještenom u sredini raspona. U nosaču  $O$  elementi nisu povezani. Progib takvog nosača  $f_0$  veći je nego progib cijelovitog nosača  $C$ . Spojeva između greda uopće nema, pa je sila  $T_0$  u spojevima jednaka nuli. Pod djelovanjem opterećenja elementi će se na dodirnim plohama skliznuti jedan po drugom. Nosivost nosača bit će  $n$ -terostruka, ako je  $n$  broj elemenata. Ako se grede povežu tako da se one ne mogu nimalo pomaknuti jedna prema drugoj, nosač će djelovati kao da je monolitan. Npr. ljepljivo može preuzeti čitavu posmičnu silu koja se javlja na dodirnoj plohi elemenata. Teoretski će se na taj način povećati nosivost nosača od  $n$ -terostrukih nosivosti na  $n^2$ -terostruku nosivost jednog ele-

menta. Progib  $f_c$  takvog nosača je progib monolitne grede visine  $2h_1$  i širine  $b$ . Potpuno kruto mogu se povezati elementi u drvenim konstrukcijama samo lijepljenjem, stoga će svaki nosač sastavljen od više elemenata pomoći drugih spajala biti manje nosivosti od jednog monolitnog nosača. U gredi  $P$  posmične sile preuzimaju podatna spajala. Progib  $f_p$  bit će veći od progiba grede  $C$ , a manji od progiba grede  $O$ . U praksi projektiranja progib  $f_p$  određuje se po formuli za cijelovitu gredu uvedenjem proračunskog momenta tromosti grede  $J_p$ :

$$J_p = \psi J_c.$$

Ovdje je  $\psi$  koeficijent manji od jedinice.

Unutarnje sile  $T_p$  u bilo kojem spoju kreću se u granicama od  $T_0 = 0$  do  $T_c$ . Te sile mogu se naći naročitim proračunom i pokusima, a mogu se izraziti silom  $T_c$ :

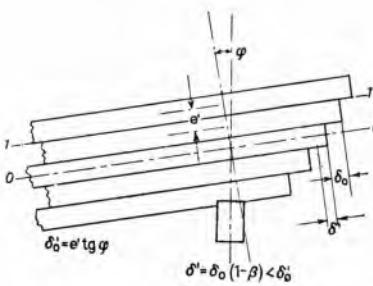
$$T_p = \beta T_c \text{ ili } \beta = \frac{T_p}{T_c}.$$

Koeficijent  $\beta$  također je manji od jedinice.

Za iste grede pod djelovanjem centrične uzdužne sile postojiće kritično opterećenje  $N_k$  koje još štap može podnijeti. Ako su svi ostali uvjeti jednakvi, ono ovisi o momentu tromosti štapa, a bit će za svaki od ta tri štapa različito. Jednako tako možemo rasudivati i kad postoji istodobno savijanje i pritisak.

Zadatak se može rješiti tačnjom ili približnom metodom. Obje metode rješavanja promatraju rad materijala štapa u elastičnom području i nužno pretpostavljaju ovisnost između unutarnjih sile u spojevima i pomaka u spoju koji odgovara dotočnom tipu spajala, a koji se može odrediti eksperimentima.

Kod približnog načina promatra se kako se ponaša sastavljeni štap pod opterećenjem raspodijeljenim duž raspona po zakonu sinusoida. Linija unutarnjih sile u podatnim spojevima neka se mijenja duž duljine greda po zakonu kosinusoida već prema uplivnicima za  $Q$  od tereta  $q_x = q \sin(\pi x/I)$ . U cijelovitoj je gredi posmična sila koja djeluje u spoju na ležaju u reški  $I-I$  (sl. 20):



Sl. 20. Pomaci u reškama sastavljenog nosača opterećenog na savijanje

$$T_c' = Q_a \frac{S'}{J_c} \cdot \frac{l}{m} = \frac{q l}{\pi} \cdot \frac{l}{m} \cdot \frac{S'}{J_c}.$$

Ovdje je  $S'$  statički moment dijela presjeka od reške  $I-I$  s obzirom na os  $0-0$  čitavog presjeka,  $J_c$  momenat tromosti čitavog presjeka grede s obzirom na os  $0-0$ ,  $m$  broj spajala na čitavoj dužini nosača,  $Q_a$  ležajni pritisak,  $l$  razmak ležajja, raspon.

Kod nosača sa nepovezanim elementima, pomak u reškama mijenjat će se duž raspona također po zakonu kosinusa, a prema promjeni kuta nagiba tangente na elastičnu liniju nosača. Budući da će elastična linija za sve elemente biti jednakva, pomaci će u reškama istog presjeka biti proporcionalni razmaku  $e'$  između težišta susjednih elemenata. Prema slici 20 kod sinusoidnog je opterećenja:

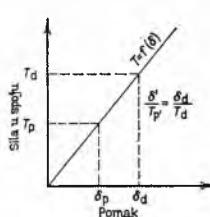
$$\tan \varphi = \frac{q l^3}{\pi^3 E \sum J_1} \text{ i } \delta_0' = e' \frac{q l^3}{\pi^3 E \sum J_1}.$$

U nosaču s podatnim spajalima posmične su sile u omjeru  $\beta : 1$  ( $\beta < 1$ ) manje od onih posmičnih sile koje postoje u cijelovitom nosaču, pa će stvarni pomak na ležaju iznositi:

$$\delta' = \delta_0' - \beta \delta_0' = \delta_0' (1 - \beta).$$

$$\text{Dalje je: } \delta' = \delta_0' \left( 1 - \frac{T_p'}{T_c'} \right).$$

Pretpostavka je ovog računa da je veličina pomaka na ležaju  $\delta'$  proporcionalna unutarnjoj sili u spoju  $T_p'$  (sl. 21).  $T_d$  je poznata unutarnja sila u spoju, koju uzimamo jednakom dopuštenom optere-



Sl. 21. Ovisnost pomaka i sile u spoju

čenju u spoju. To je dopuštena nosivost spajala.  $\delta_d$  je pomak u spoju koji odgovara toj sili. Nadalje je:

$$T_p' = \delta \frac{T_d}{\delta_d} = \frac{T_d}{\delta_d} \cdot \delta_0' \left( 1 - \frac{T_p'}{T_c'} \right),$$

a odatle dobivamo:

$$\frac{T_p'}{T_c'} = \beta = \frac{1}{1 + \frac{T_c'}{\delta_0'} \cdot \frac{\delta_d}{T_d}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \Sigma J_1}{J_e} \cdot \frac{E S'}{e l m} \cdot \frac{\delta_d}{T_d}}.$$

Ako se uvedu oznake:

$$a = \frac{\Sigma J_1}{J_e}; \quad B = \frac{\pi^2 E S'}{e l m} \cdot \frac{\delta_d}{T_d},$$

izrazi primaju ove oblike:

$$\beta = \frac{1}{1 + a B} \quad \text{ili} \quad T_p' = \frac{T_c'}{1 + a B}.$$

Koeficijent  $B$  naziva se *koeficijentom podatnosti spojeva*, jer on karakterizira stupanj sniženja monolitnosti sastavljenog štapa:

$$B = K \frac{S'}{e l m}.$$

Veličina  $K = \pi^2 E \delta_d / T_d$  može se odrediti eksperimentalnim putem za svaku vrst spajala.

Ako se u spojevima grede dodaju sile  $T_p = \beta T_c$ , pojavit će se progib prema gore; taj će obratni progib biti:  $\beta(f_0 - f_c)$ , a traženi progib  $f_p = f_0 - \beta(f_0 - f_c)$ .

Proračunski moment tromosti grede s podatnim spojevima bit će:

$$J_p = \psi J_c = \frac{1 + a B}{1 + \beta} J_c, \quad \psi = \frac{J_p}{J_c} = \frac{f_c}{f_p} = \frac{1 + a B}{1 + B}.$$

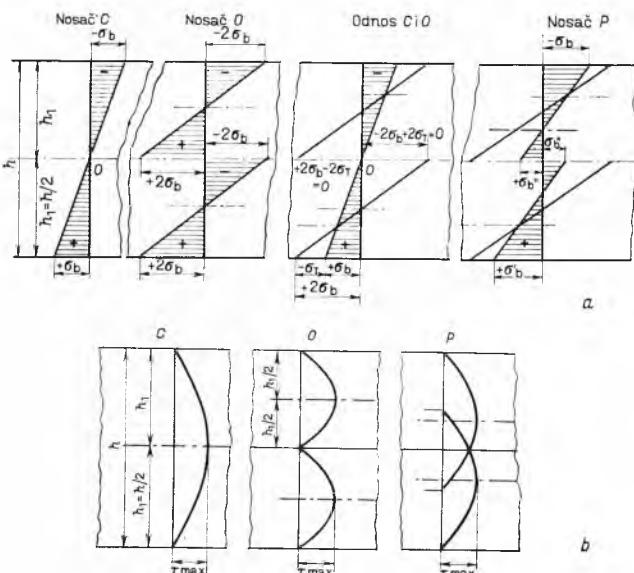
Koeficijent  $\psi$  karakterizira krutost sastavljenje grede i naziva se *koeficijent krutosti sastavljenog nosača*.

Za naprezanje u bilo kojoj tački grede potreban je moment otpora  $W$ .

Ako je  $y_1$  razmak od neutralne osi elementa do tačke u tom elementu u kojoj se određuju naponi, a  $y$  razmak iste tačke do neutralne osi čitavog presjeka, bit će za krajnje vlakno presjeka proračunski moment otpora:  $W_p = \eta W_c$ . Ovdje je:

$$\eta = \frac{1 + a B}{1 + \frac{y_1}{y} B}.$$

Koeficijent  $\eta$ , koji karakterizira stupanj povezanosti elemenata u jedan nosač, naziva se *koeficijent smoždenosti nosača*.



Sl. 22. Naponi u nosačima opterećenim na savijanje (v. sl. 19).  
a) Normalni naponi, b) posmični naponi

Naprezanja u nosačima sastavljenim od dva elementa i naprezanim na savijanje prikazana su grafički na sl. 22.

U pravim štapovima, sastavljenim po presjeku od nekoliko elemenata, trebalo bi da spojevi ostanu neopterećeni kad je štap opterećen uzdužnom silom. Međutim, uslijed manjih početnih iskrivljenja, ekscentričnosti i netačnosti izvedbe, dolazi do preopterećenja pojedinih elemenata na račun drugih, pa se već na početku opterećivanja javljaju manji pomaci u spojevima.

Ako je  $J_e$  moment tromosti štapa čiji su elementi posve kruto spojeni, kod podatnih spojeva će biti:  $J_p = \psi J_e$ ,

$$\lambda_p = \frac{l_i}{i} = \frac{l_i}{\sqrt{\psi \frac{J_e}{F}}} = \frac{l_i}{i \sqrt{\psi}} = \lambda_0 \frac{1}{\sqrt{\psi}} = \mu_0 \lambda_e.$$

Veličina  $\mu_0$  naziva se *koeficijentom prividne vitkosti štapa*. Koeficijent  $\psi$  može se dovoljno tačno uzeti da je jednak kao kod savijanja štapa.

Pri kontroli izvijanja sastavljenog tlačnog štapa na os 0—0 treba računati s vitkošću  $\lambda_p$  određenom po formuli:

$$\lambda_p = \sqrt{\mu_0^2 \lambda_0^2 + \lambda_1^2},$$

u kojoj je  $\lambda_0$  vitkost čitavog štapa kao cijeline, s obzirom na os 0—0,  $\lambda_1$  vitkost dijela štapa (jednog člana) s obzirom na njegovu os I—I. Za lokalnu duljinu izvijanja računat je razmak spojeva. Koeficijent prividne vitkosti  $\mu_0$  može se odrediti i po formuli:

$$\mu_0 = \sqrt{1 + k_s \frac{v \cdot n_r}{l_i^2 \cdot n_s}},$$

u kojoj je  $k_s$  koeficijent prema propisima,  $v$  visina poprečnog presjeka štapa u ravnini izvijanja,  $n_r$  proračunski broj režaka među dijelovima štapa,  $n_s$  broj spajalâ u jednoj reški, na metar duljine štapa,  $l_i$  duljina izvijanja.

Za razne tipove štapova postoje izrazi koji vrijede za izvijanje takvih sastavljenih drvenih štapova.

Krajnji članovi sastavljenih elemenata opterećenih na tlak i savijanje provjeravaju se na stabilitet po formuli:

$$\sigma = \frac{P}{F_b} + \frac{M}{\xi W_p} \leq \varphi_1 \sigma_{ds},$$

gdje je  $P$  uzdužna sila,  $F_b$  bruto-presjek,  $M$  moment savijanja,  $W_p$  moment otpora bruto-presjeka sastavljenog elementa (izračunat množenjem momenta otpora jednodijelnog, monolitnog elementa istog bruto-presjeka s koeficijentom smoždenosti  $\eta$ ),  $\xi$  koeficijent za dodatni moment uslijed početnih deformacija (vidi sprjeda),  $\varphi_1$  koeficijent izvijanja pojedinog člana računat na njegovu proračunsku duljinu.

Broj »rezova«  $n$  spojnjog sredstva (među članovima sastavljenog štapa, ekscentrički pritisnutog) na polovini njegove duljine, mora zadovoljavati formulu

$$n \geq \frac{1,5 M S_b}{T_d J_b \xi},$$

u kojoj je  $S_b$  statički moment onog dijela poprečnog bruto-presjeka koji je odsječen promatranom reškom, s obzirom na neutralnu os čitavog presjeka,  $T_d$  dopušteno opterećenje jednog »reza« spajala,  $J_b$  moment tromosti čitavog bruto-presjeka kao da je jednodijeljan.

*Nastavci elemenata* koji leže u istom smjeru mogu biti izvedeni pomoću čeličnih vezica i moždanika (v. sl. 2).

Vijke kod nastavaka s metalnim vezicama i moždanicima treba rasporediti između moždanika, prvenstveno uz neaktivnu stranu moždanika. Krajne vijke treba smjestiti iza moždanika na krajevima vezica. Vijke treba računati na raspot  $Q_r$  određen po formuli:

$$Q_r = T_m \frac{u + d_v}{2 e_v},$$

gdje je  $T_m$  opterećenje,  $d_v$  debljina vezice,  $e_v$  udaljenost aktivne strane moždanika od osi vijke,  $u$  dubina ureza za moždanik.

Preporuke i propisi za drvene konstrukcije ograničavaju i veličinu deformacija. Neki podaci dati su u nastavku.

Deformacije konstrukcija dobivene proračunom za opterećenje od korisnog tereta, vjetra i snijega, bez obzira na podatnost

spojeva, smiju iznositi: kod rešetkastih nosača najviše 1/700 raspona, kod visulja i razupora najviše 1/500 raspona, kod punostijenih nosača (običnih, smoždenih, čavljanih, lijepljenih) najviše 1/400 raspona, za stropne grede 1/300 raspona, za podrožnice i robove 1/200 raspona, za stropne grede i krovove poljoprivrednih zgrada (šupe i sl.) 1/200 raspona, za konzolne nosače 1/500 dužine.

Za mostove, kranske staze i druge specijalne konstrukcije mogu se predviđjeti i manji ili veći dopušteni progibi, ako se to može tehnički opravdati.

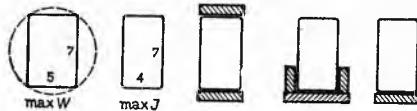
Nadvišenje konstrukcije treba izvesti do te mjere da se predviđeni izgled nosača dobije onda kada je nosač opterećen vlastitom težinom, stalnim teretom i polovinom korisnog opterećenja (bez dinamičkog faktora).

#### Tipovi drvenih inženjerskih konstrukcija

U nastavku dat je pregled uobičajenih drvenih konstrukcija i njihovih dimenzija. Te konstrukcije mogu biti *ravninske* ili *prostorne*.

**Ravninske drvene konstrukcije.** To su uglavnom monolitne i sastavljene grede (nosači), punostijeni daščani nosači i rešetkaste ravninske konstrukcije.

**Monolitni nosači** sastoje se od jednodijelnih drvenih greda, ovdje opterećenih na savijanje. Takvi nosači mogu u poprečnom presjeku biti okrugli (balvani) ili su to polovine oblice (poluoblice) a mogu biti i četvrtastog presjeka. Uz uvjet da nisu prekoračeni dopušteni naponi na savijanje, treba provjeriti da nisu deformacije prevelike (progibi). Obično propisi traže da progibi ne budu veći od 1/300 raspona. Budući da se nosači četvrtasta presjeka dobivaju iz oblog drveta, zanimljivo je promotriti koji je omjer stranica presjeka optimalan, tj. koji omjer daje gredu najveće nosivosti.



Sl. 23. Optimalni odnosi stranica monolitnih greda i pojačanje greda daskama i platicama

S obzirom na napone taj je omjer visina 7 : širina 5, a s obzirom na progibe omjer je 7 : 4. Povoljno je, dakle, da greda bude viša nego šira. Takve drvene grede mogu se i pojačati dodavanjem dasaka ili platica, koje se prikuju ili prilijepe na osnovnu gredu (sl. 23).

**Sastavljeni nosači** (sl. 24) ostvareni su spajanjima od dva dijela ili više njih. Pomoću moždanika spajaju se najviše tri elementa u jedan smoždeni nosač. Slijepiti, međutim, može se znatno veći broj tankih dijelova. Kao što je već prikazano ranije, u provjeravanju nosivosti sastavljenih nosača treba promotriti djelovanje podatnosti spojeva, osim kod lijepljenih nosača, u kojima nema zamjetnih deformacija između elemenata.

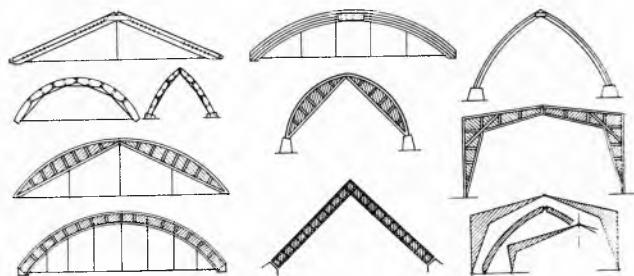


Sl. 24. Sastavljeni nosači

Spajala u ravnini između elemenata treba da preuzimaju posmična naprezanja koja se pri savijanju u toj reški javljaju. Posmična je sila u nekom presjeku:  $T = Q \cdot S/J$ , gdje je  $Q$  poprečna sila u presjeku,  $S$  statički moment dijela presjeka,  $J$  moment tromači čitavog presjeka nosača.

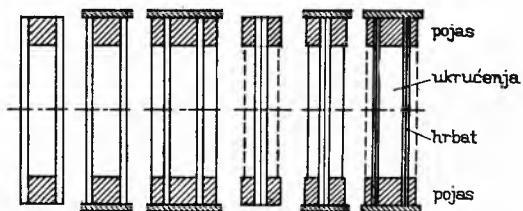
**Daščani nosači** ili *punostijene konstrukcije* (sl. 25) sastoje se od hrpta, pojasa i ukrućenja. Hrbat može biti izведен bilo od

furnirske ploče bilo od unakrsno složenih dasaka ili platica. Pojas je obično dvije platice ili više njih. Spajati se mogu ti elementi lijepljenjem ili čavljanjem, a mogu se upotrijebiti i čelični ili drveni trnovi.



Sl. 25. Punostijene drvene konstrukcije (sheme)

Po obliku poprečnog presjeka razlikuju se nosači I-profila i šuplji nosači (sl. 26). Gredni nosači I-profila primjenjuju se uglavnom kod položitih krovišta raspona 6...12 m. Ove konstrukcije mogu se, međutim, primjeniti i za konstrukcije međuspratova, nosače mostova i sl. Prilikom izvedbe treba nosačima dati konstruktivno izvedbeno nadvišenje jer se oni znatno provjese.



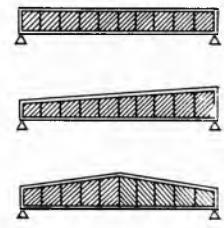
Sl. 26. Presjeci daščanih nosača

Po obrisu gornjeg pojasa razlikuju se: grede s paralelnim pojasmima, grede s jednostrano nagnutim pojasmom i grede s dvostrano nagnutim pojasmom (sl. 27). Odnos čitave visine grede u sredini prema rasponu kreće se po pravilu u granicama  $1/L = 1/12$  do  $1/7$ . Visina na ležaju ( $h'$ ) grede promjenljive visine ovisi o kutu nagiba krova. Obično je  $h' = 0,7 h$ , gdje je  $h$  maksimalna visina grede. Za krovišta uobičajenih raspona debljina dasaka varira od 4 do 7 cm, širina od 16 do 22 cm. Potrebna količina čavala razmješta se u vertikalnim redovima, a čavli se zabijaju izmjenično s jedne i s druge strane.

Rasponi daščanih nosača obično su veći od normalne duljine grade u trgovini; stoga je potrebno daske pojasa nastavljati. Nastavak gornjeg tlačnog pojasa ostvaruje se nalijeganjem čelo u čelo i tačnim pripajanjem dasaka. Nastavak se smješta u sredini raspona ili negdje bliže ležajima, prema veličini raspona i najpodesnijem iskorištenju dasaka. Nastavak vlačnog pojasa rado se smješta na mjestu minimalnih poprečnih sila, jer se tamo može izostaviti spoj hrpta i pojasa te umjesto dijela hrpta između platica pojasa staviti unutarnja vezica. Tada će spajala biti dvostrzna.

Hrbat daščanog nosača sastoje se od dva unakrsno položena sloja dasaka. Smjer dasaka prema pojusu je  $30\text{--}45^\circ$ , obično  $45^\circ$  prema donjem pojusu. Rebra za ukrućenje povećavaju krutost hrpta i raspodjeljuju opterećenje na obe pojase i hrbat. Ukrucenja se stavljuju na razmake od  $\frac{1}{8} \dots \frac{1}{10}$  raspona, i to tako da razmaci ne budu mnogo veći od visine nosača. Ostala ukrućenja se sastoje od podmetača i rebara.

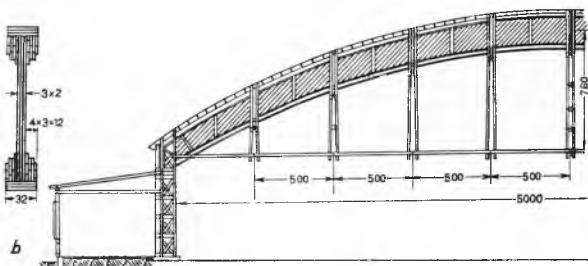
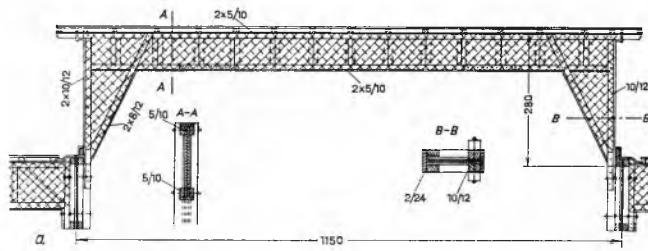
Budući da je visina grede velika u odnosu na širinu pojasnog daske, osnovna se trapezna linija normalnih naprezanja u pojasmima približuje pravokutniku, pa se može uzeti kod nosača veće visine da je naprezanje u pojusu jednolikog intenziteta po visini pojusa.



Sl. 27. Obrisi uobičajenih daščanih nosača

## DRVENE KONSTRUKCIJE

Provjeravanje gornjeg pojasa na izvijanje provodi se na mjestu gdje je uzdužna sila maksimalna. Slobodna duljina izvijanja jednaka je razmaku poprečnih ukršćenja (kod krova-roženice). Potrebno je provjetriti i pritisak u nastavcima tlačnog pojasa.



Sl. 28. Primjeri daščanih nosača. a Okvirni nosač, b lučni nosač

U tim nosačima potrebno je provjeriti spoj hrpta s pojasmima prema posmičnoj sili (vidi sprijeda) i nastavke pojasa. Daske hrpta koje su tlačne treba provjeriti na izvijanje izvan ravnine nosača. Čavli u hrptu razmještaju se u horizontalnim redovima.

Konstrukcije punostijenog tipa mogu se projektirati kao gredni slobodni ili kontinuirani nosači opterećeni na savijanje, a mogu to biti i okvirni nosači (sl. 28 a), lučni nosači (sl. 28 b) ili pak dijelovi kombiniranih konstrukcija.

Kao okvirni nosači oni se izvode obično dvozglobni ili trozglobni sistem, a jednakost tako i lučni punostijeni nosači. Sl. 29

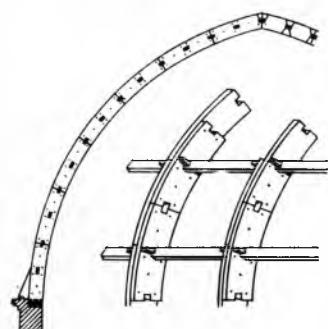
prikazuje, primjera radi, trozglobni daščani okvir.

Punostijeni lukovi od savijenih ili ravnih dasaka mogu biti izvedeni na različite načine, npr. kao lukovi od oblučila (Delormeo lukovi), lukovi od savijenih dasaka (Emyjevi lukovi), daščani lukovi s hrptom od unakrsnih dasaka, lukovi od oplate (sl. 30).

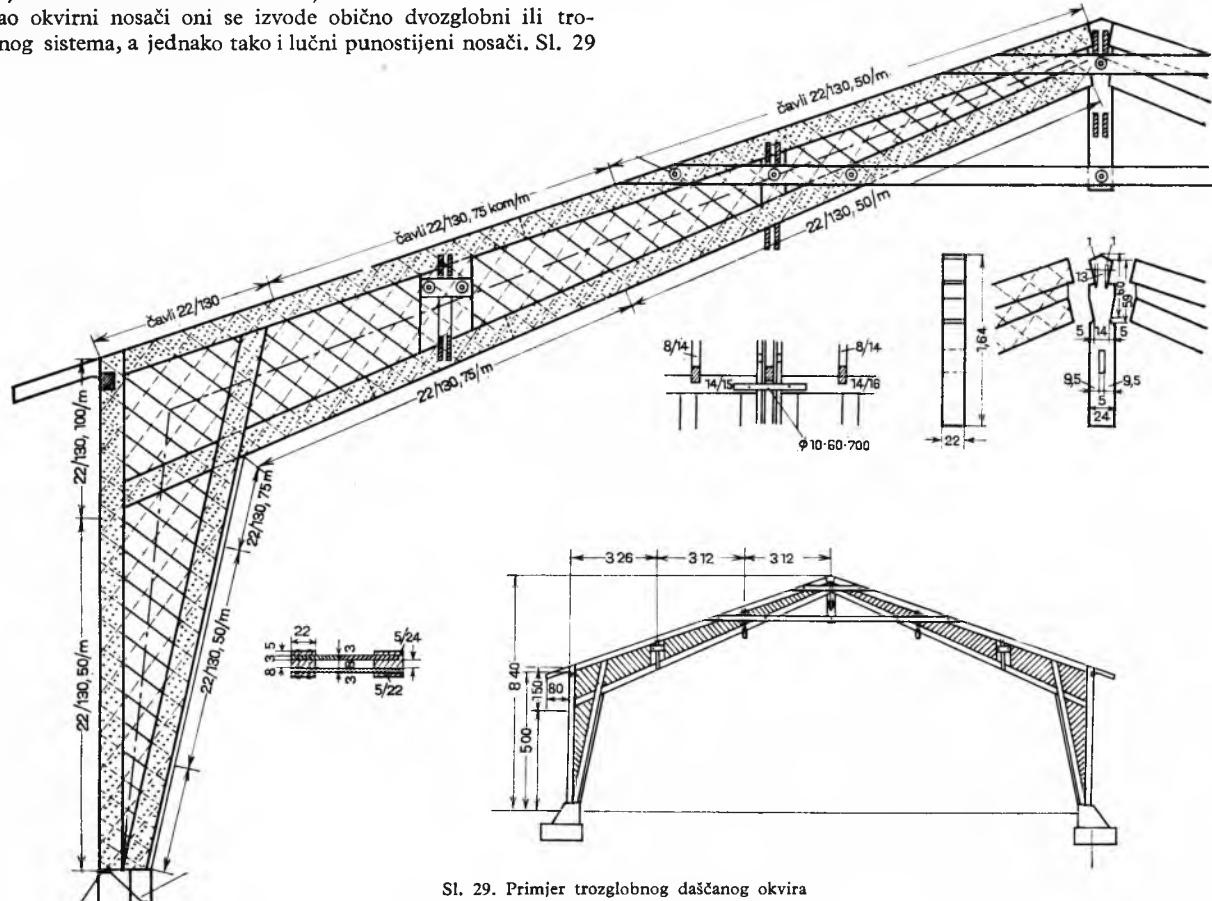
Lukovi od oblučila (Delormeo lukovi) su konstrukcije sastavljene od kratkih komada drvene grade. Nosač ima zakrivljenu os te djeluje kao lučni nosač. U poprečnom presjeku nosač je sastavljen od dva, tri ili više slojeva dasaka ili platica, koje su stisnute i spojene čavlima, trnovima, vijcima s maticama ili vijcima za drvo. Sastavci dijelova jednog sloja naizmjenično su smješteni prema sastavcima drugog sloja. Platice luka (oblučila) izrezane su u obliku koji odgovara osi luka, tako da su bridovi elemenata zakriveni (sl. 31), no pojedini komadi mogu biti i ravnih rubova, pa će tada oblik luka biti poligonalan. Obično se poligonalni rub izvodi samo s unutarnje strane luka, jer se na takve lukove na gornjoj strani često oslanja oplata ili drugi element neke konstrukcije. Čela platica podrezuju se u radikalnom smjeru, da presjek bude okomit na smjer sile. Prema tome da li je presjek dvodijeljan ili trodijeljan, i oblik luka je u pogledu različan i raspored nastavaka razmješten u polovinama ili trećinama dužine oblučila. Dužina oblučila ovisi o radijusu zakrivenosti luka i visini oblučila, ona je obično 150–250 cm. Visina oblučila u sredini



Sl. 30. Tipovi punostijenih luka



Sl. 31. Delormeo luk (1561)



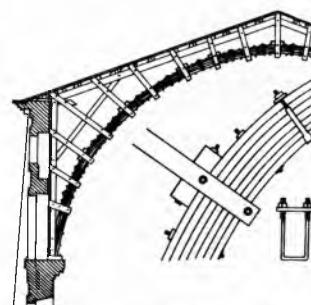
Sl. 29. Primjer trozglobnog daščanog okvira

njegove dužine treba da je bar 1/80 raspona luka. Normalni je odnos dužine prema visini oblučila 13, no bolje je da ne bude manji od 10. Strelica luka prema rasponu neka ne bude ispod odnosa 1/6.

Lukovi od savijenih dasaka (Emyjevi lukovi) sastoje se od nekoliko slojeva dasaka položenih ploštimice jedna na drugu, a spojenih čavlima ili trnovima. Takvi su lukovi veoma gipki zbog podatnosti spojeva i velikog broja režaka. Krutost takvih lučnih nosača može se povećati sljepljivanjem dasaka, ili također skraćenjem slobodnih duljina neučvršćenih dijelova luka putem kombiniranja s krutom gredom. Kao samostalni nosači mogu se ovi lukovi primijeniti za dvozglobne nosače kružnoga oblika s odnosom dimenzija  $f/L = \frac{1}{6}$ , i  $h/L = \frac{1}{60}$  kod raspona do 16 m (f je strelica luka).

Nije uputno vješati o takve lukove znatnije koncentrirane terete. Primjena debljih dasaka kod manjih radiusa zakrivljnosti nije dopuštena bez poduzimanja posebnih mjera, kao što je parenje drva, jer savijanjem neparenih debelih dasaka nastaju preveliki prvojni naponi.

Nastavci dasaka razmještaju se naizmjeno po duljini luka, i to tako da je razmak među susjednim nastavcima dasaka jednak bar 20 debljinama daske. Ako su daske luka zabijene čavlima ili spojene hrastovim trnovima, preporuča se staviti stezne vijke po čitavoj



Sl. 32. Emyjev luk (1828)

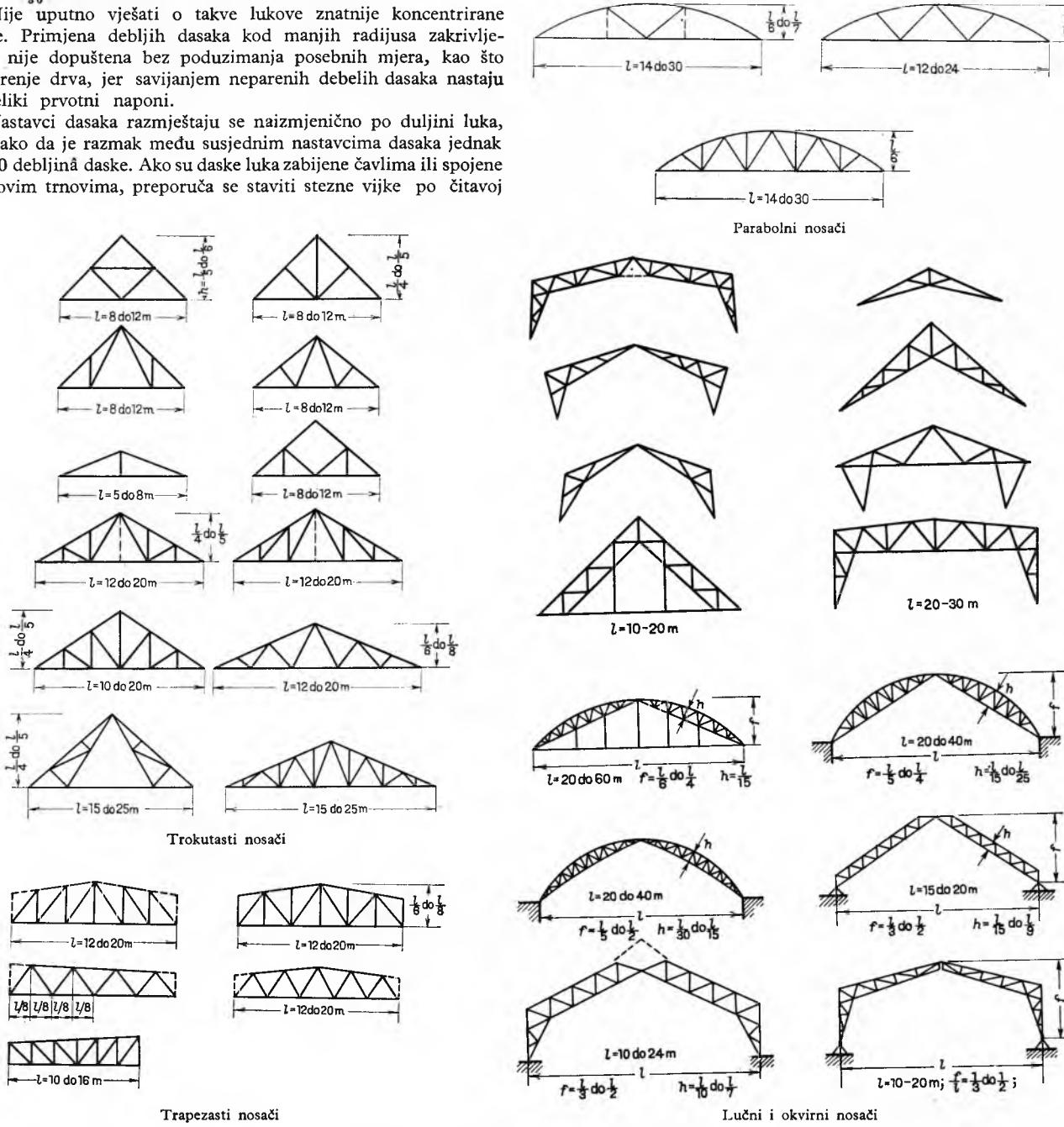
duljini luka na razmacima približno jednakim trostrukoj visini presjeka luka (sl. 32).

**Rešetkaste drvene konstrukcije.** Drvo se odavnina upotrebljava za građenje krovnih konstrukcija; u savremenom se građevinarstvu za krovne konstrukcije obično izvode statički određeni sistemi rešetkastih nosača. Pri tome se primjenjuju trokutasti, trapezasti i segmentni oblici nosača, te nosači konstantne visine.

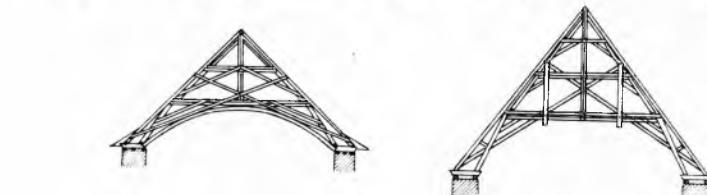
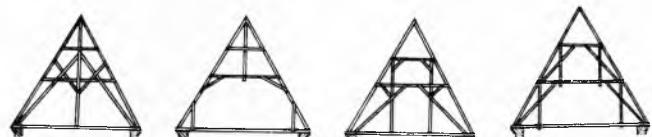
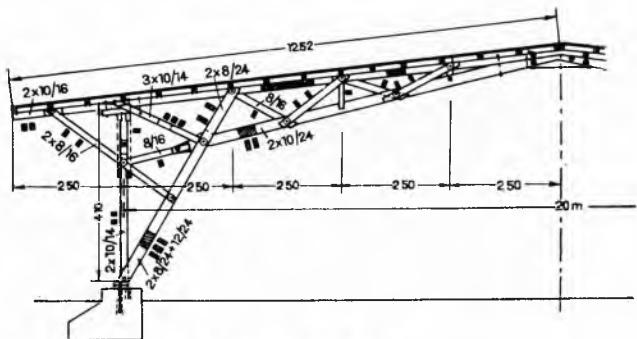
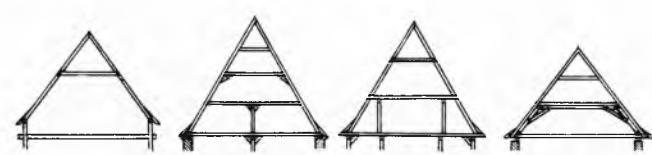
Vlačni štapovi mogu se izvoditi čitavi od čelika (tada su detalji čvorova jednostavniji) ili se samo stanoviti dijelovi tih štapova izvode od drveta.

U novije vrijeme izvode se i tlačni štapovi slijepljeni od tankih dijelova. Inače je veliki napredak u drvenim rešetkastim konstrukcijama postignut upotrebom patentnih moždanika i korištenjem čavala za spojeve u takvima konstrukcijama.

Rešetkasti nosači sastoje se od pojasa i ispune. Pri tome je ispuna sastavljena od sistema vertikalnih i kosih štapova, koji mogu biti različno razmješteni. Osnovni je element takva rešetkastog nosača trokut, pa se osnovni nosač sastoji od niza trokutastih dijelova. Sistemi ispune prikazani su na sl. 33.



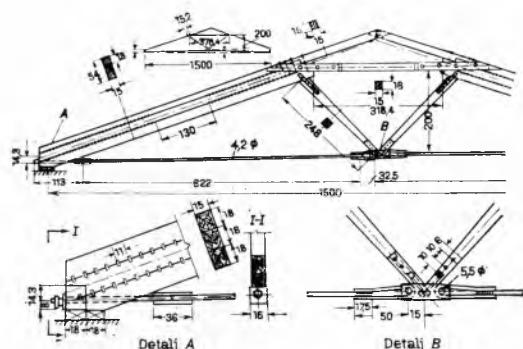
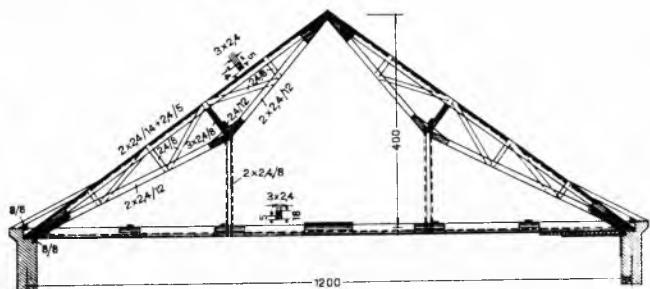
Sl. 33. Sheme rešetkastih ravninskih konstrukcija



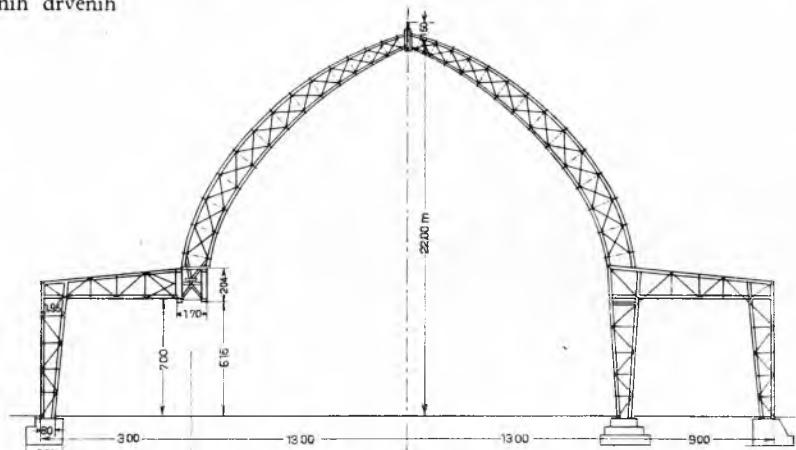
Sl. 34. Primjeri drvenih krovista starijeg tipa

Da bi se smanjila dužina izvijanja štapova pojasa, ili smanjilo savijanje tih štapova uslijed vješanja drugih nosača, predviđaju se i sekundarni štapovi u kojima se pod osnovnim djelovanjem sistema ne javljaju sile. Takvi štapovi vide se na spomenutoj slici.

Na sl. 34 prikazano je nekoliko primjera drvenih krovista starijeg tipa, a na sl. 35 nekoliko primjera modernih drvenih rešetkastih konstrukcija.



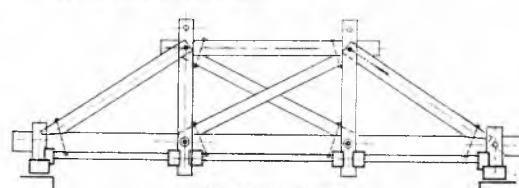
Kroviste sa zategom



Drvena hala s rešetkastim lukovima

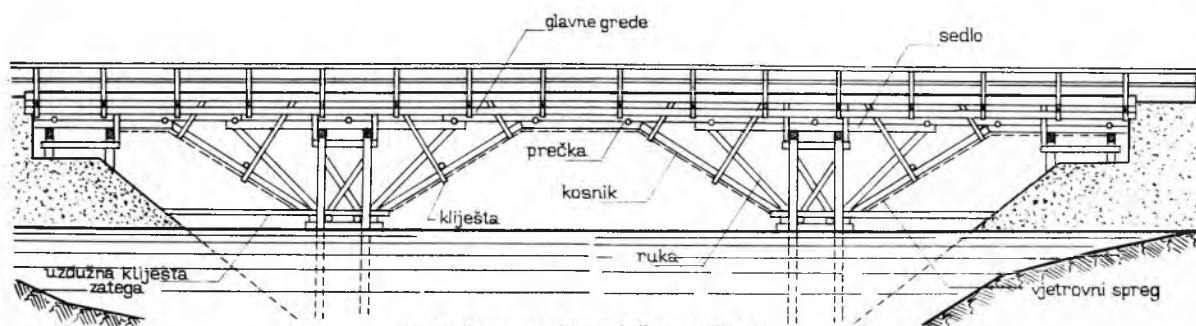


Prednapeta pojačana greda

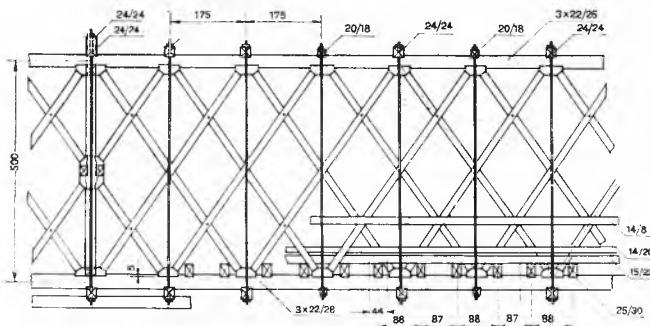


Trapezasta visulja

Sl. 35. Primjeri drvenih konstrukcija novijeg tipa

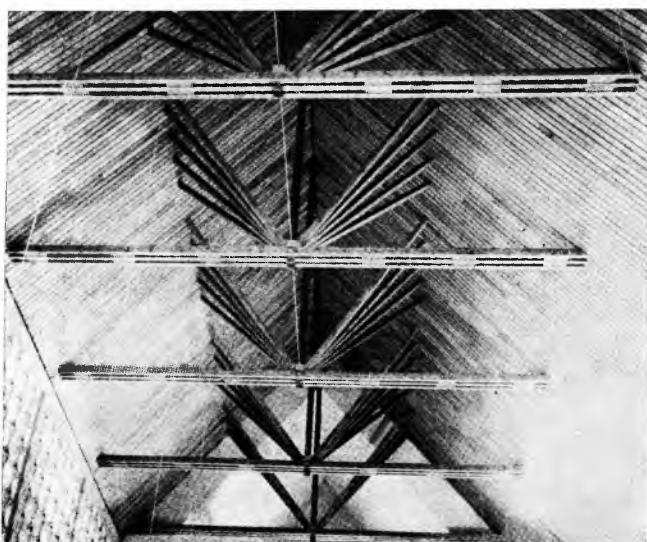


Sl. 36. Razuporna konstrukcija sa sedlima i rukama



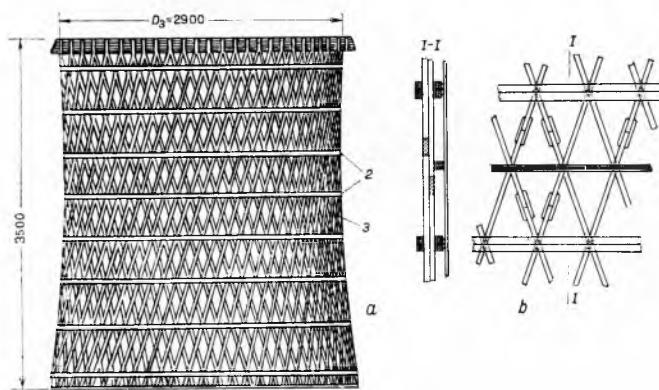
Sl. 37. Dio prednapete drvene Howeove konstrukcije (primjer)

Osebujne konstrukcije koje su u drvu vrlo omiljene, a neke se izvode od pradavnih vremena, prikazane su na sl. 35 do 38. To su različni sistemi zategnutih greda, pojačanih greda, visulja i razupora, nosači s rukama i sedlima i dr. Posebni tip drvene konstrukcije jesu Howeovi nosači (sl. 37). Oni imaju dvostrukе ili višestruke dijagonalne štapove, a vertikale su vijci s maticama, koji se prednapinju te izazivaju u dijagonalnim štapovima tlačne sile. I neke druge osebujne konstrukcije su u stvari prednapete (sl. 35), pa su prema njima u novije vrijeme izvedene i prednapete konstrukcije od armiranog betona. Uostalom, i smoždeni se drveni nosači izvode prednapeti.



Sl. 38. Podgled jedne moderne konstrukcije krova

**Prostorne drvene konstrukcije** mogu biti punostrijene i rebraste, a mogu se izvesti različitih sistema. Karakteristično je za prostorne drvene konstrukcije da se za svaku vrstu unutarnjih sila predviđa u konstrukciji posebni element za koji se smatra da jedini prenosi te sile.

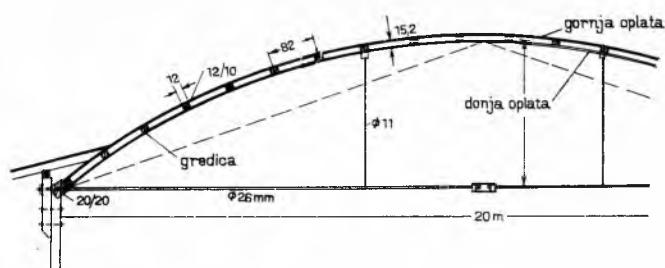


Sl. 39. Mrežasta konstrukcija tornja

Posebno su zanimljive drvene konstrukcije prostornih sistema koje se izvode tako da je pogled odzdo na njih otvoren. Takve su konstrukcije prikazane na sljedećim stranicama gdje se vidi njihova primjena. Prema podacima izvadča te su konstrukcije vrlo jeftine i povoljne su za velike dvorane, gledališta, sportske hale i slično.

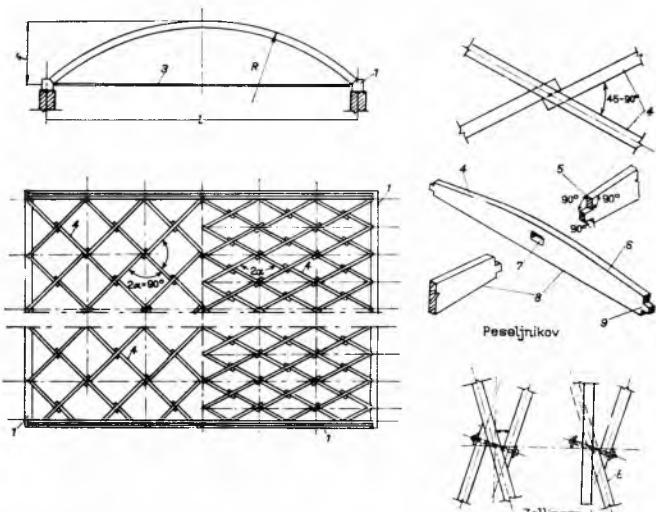
*Tornjevi od oplate* (sl. 40) sastoje se od dvije oplate, gornje i donje, koje su zabijene na gredice između njih. Povrh gornje oplate stavlja se još jedan sloj dijagonalno položenih dasaka. Takvi svodovi mogu se izvesti do raspona 20 m.

*Mrežasti svodovi* (sl. 41) prostorne su konstrukcije koje se sastoje od pojedinih sjekomčno postavljenih elemenata, kosnica,



Sl. 40. Svod od oplate (primjer)

koji su kraći od raspona konstrukcije. Sistemne linije po kojima leže kosnice teku u dva smjera spiralno po plohi svoda. Mrežasti svod se može predočiti kao niz lukova koji leže ukosno na plohi svoda. U poprečnom presjeku okomitom na izvodnicu svoda konstrukcija ima oblik kružnog segmenta ili je pravilno poligonalna. Os osnovnog svoda može biti »šiljata«, sastavljena od dva kružna segmenta. Iz razmjerne kratkih komada, bez naročitih spajala i detalja, mogu se izraditi konstrukcije velikih raspona. Konstruk-



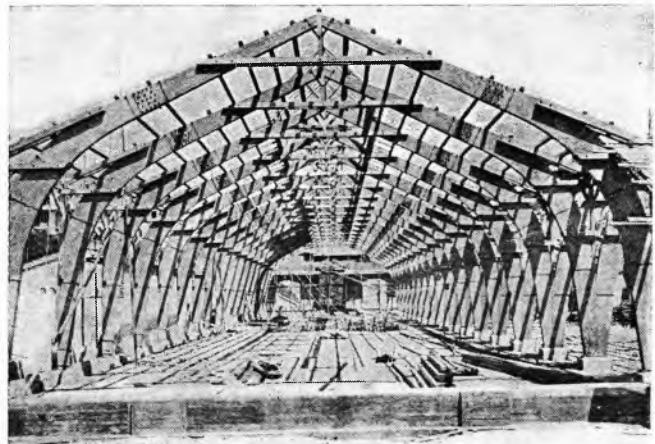
Sl. 41. Mrežasti svod

cija nema sekundarnih dijelova. Pokrov se može postaviti izravno na nosivu konstrukciju. Svetlo je lako dobiti u samom krovu bez prekidanja nosive konstrukcije. Takve konstrukcije ne mogu pouzdano preuzimati velike koncentrirane terete.

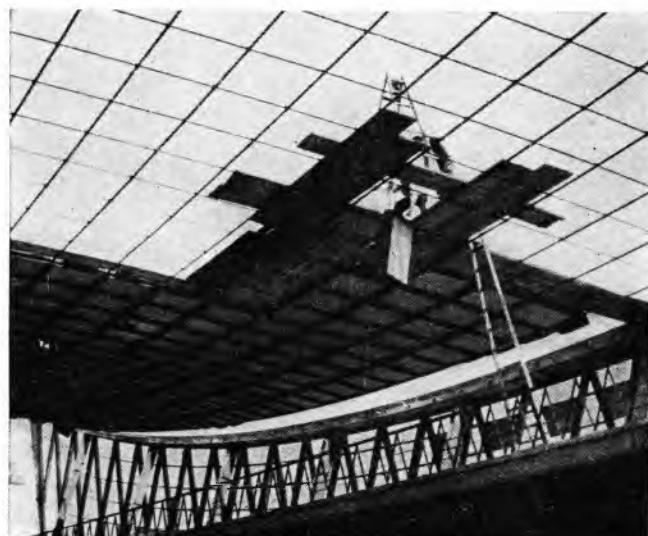
U konstruktivnom pogledu razlikuju se četiri tipa čvorova mreže. U osnovnim čvorovima sastavljaju se tri kosnice, od kojih jedna prolazi kroz čvor bez nastavljanja, a druge dvije tamo završavaju i povezane su s neprekinutom kosnicom. Po sastavku razlikuje se sistem Zollinger, u kojem se kosnice vežu vijkom, i sistem Peseljnikov, u kojem je spoj ostvaren perom i utorom.



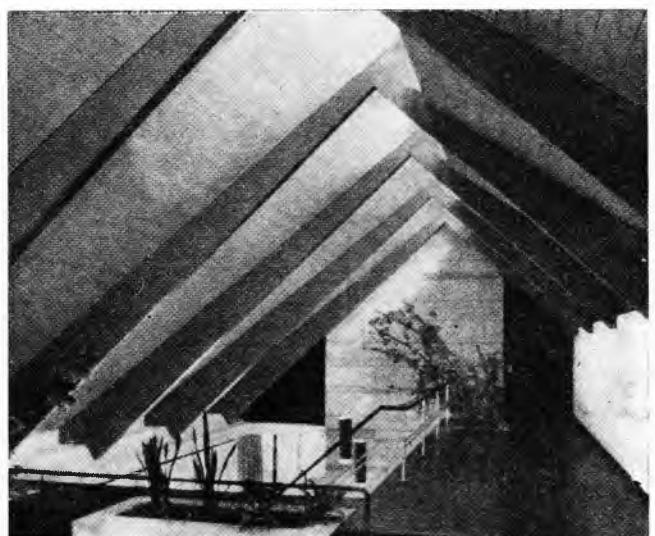
Montiranje drvene konstrukcije



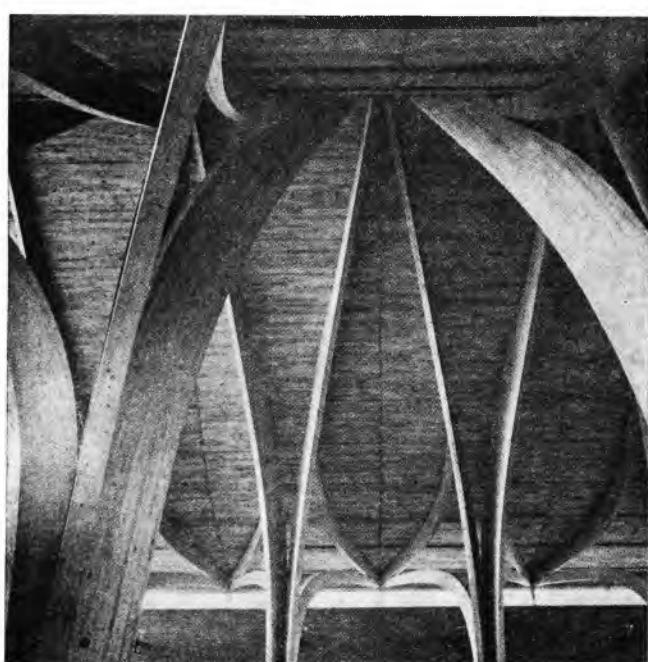
Hala raspona 24 m



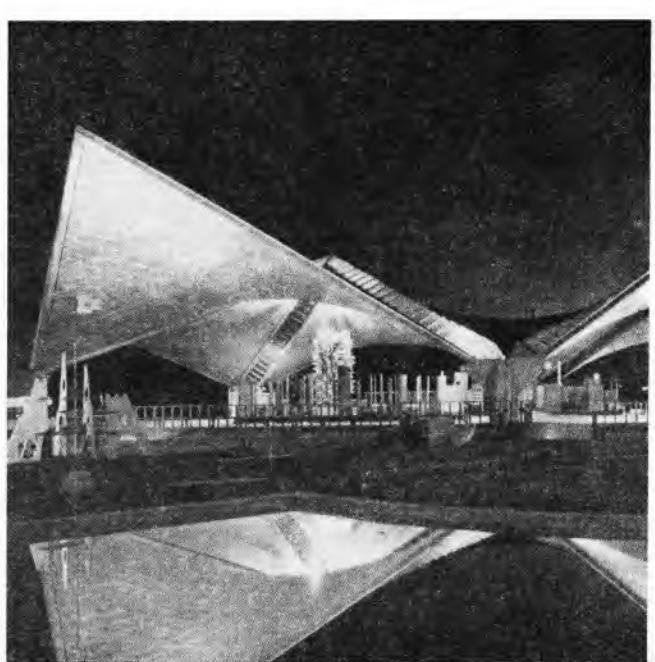
Viseće kroviste, u gradnji (Zagreb)

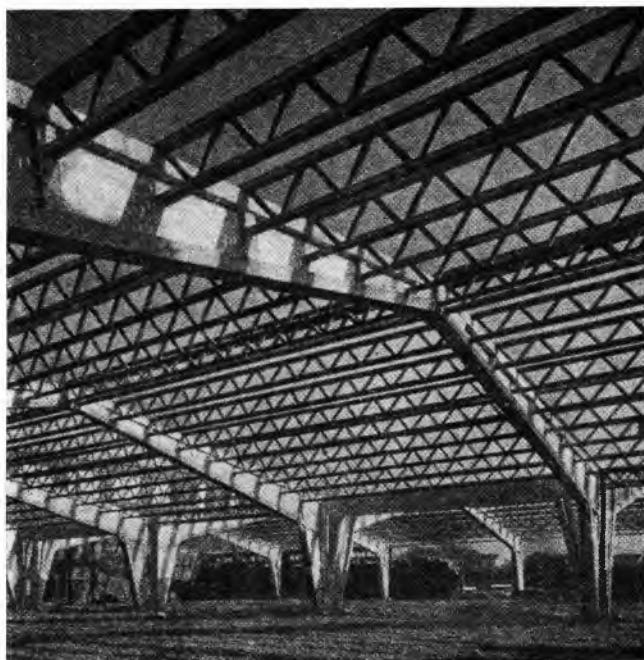


Unutrašnjost drvenog otvorenog krovista

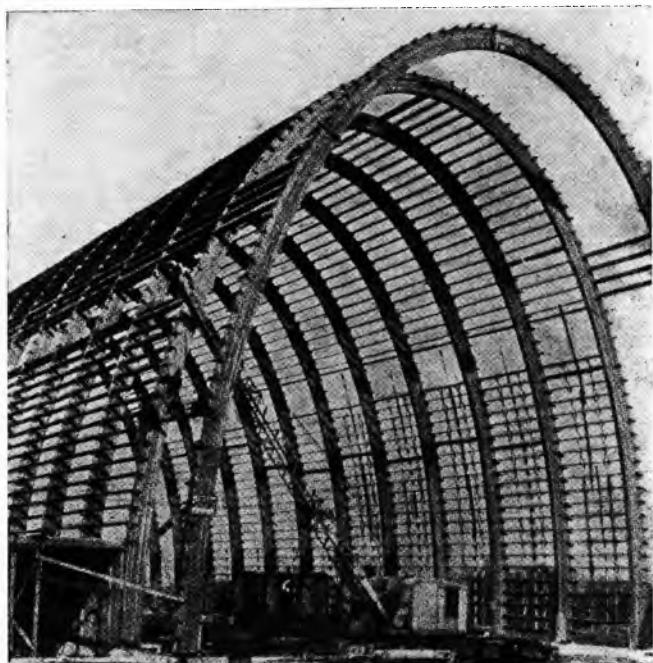


Otvoreno drveno kroviste hale tlocrta 16 × 26

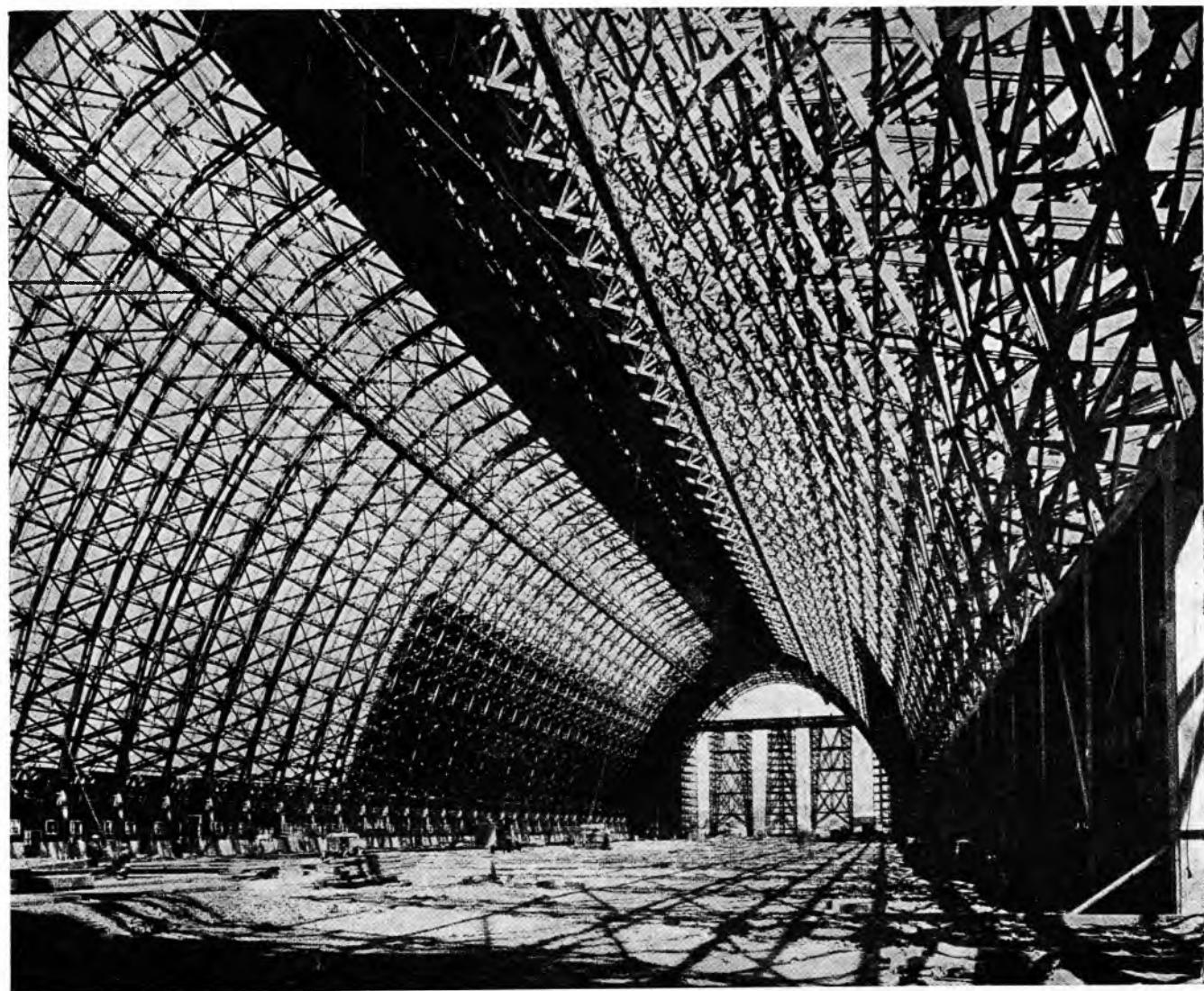
Prostorna sedlasta drvena konstrukcija tlocrta 2000 m<sup>2</sup>  
(hiperbolni paraboloidi)



Hala raspona 22 m , razmak vezača 8 m

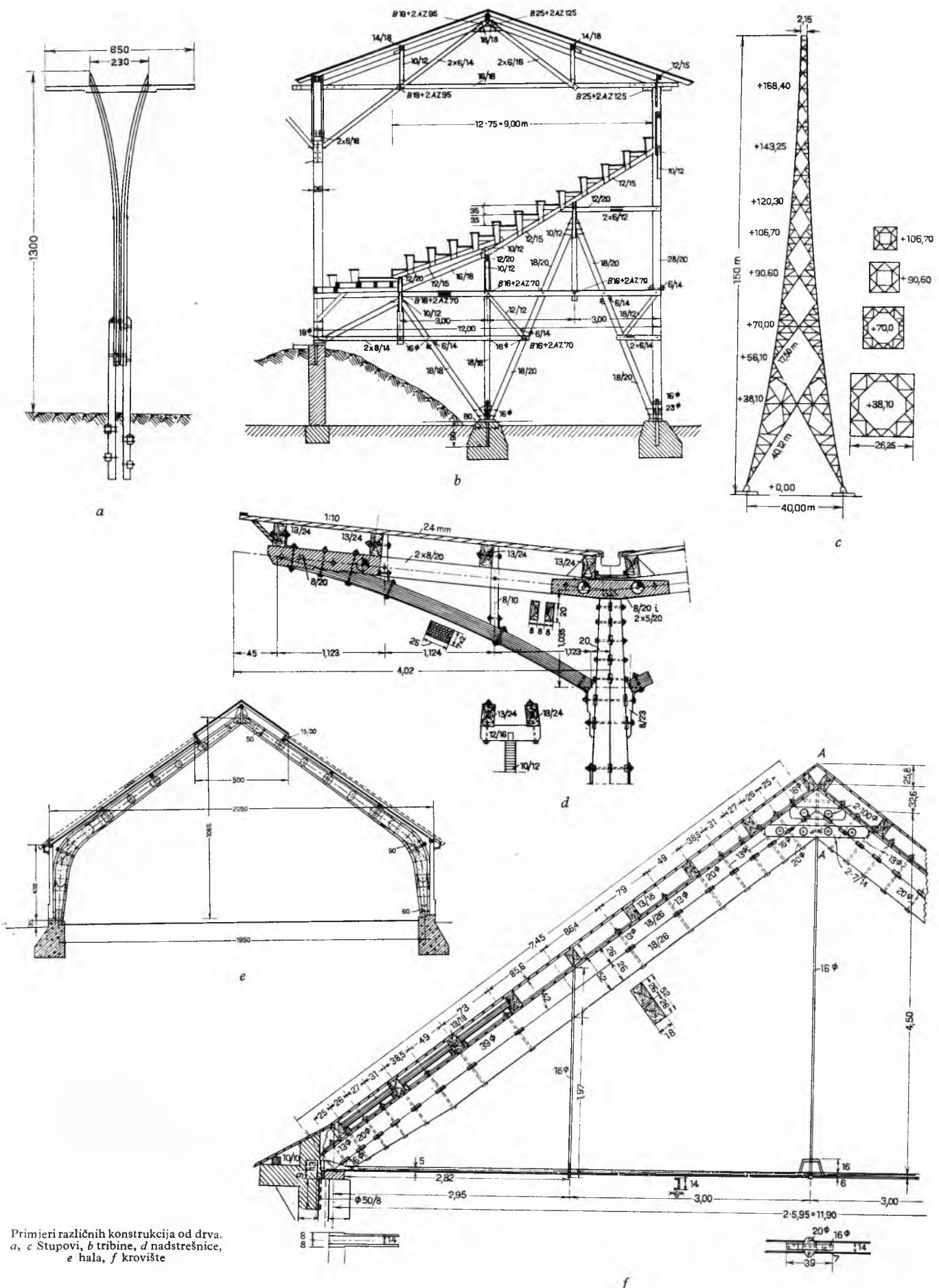


Hala s lijepljenim eliptičnim lukovima

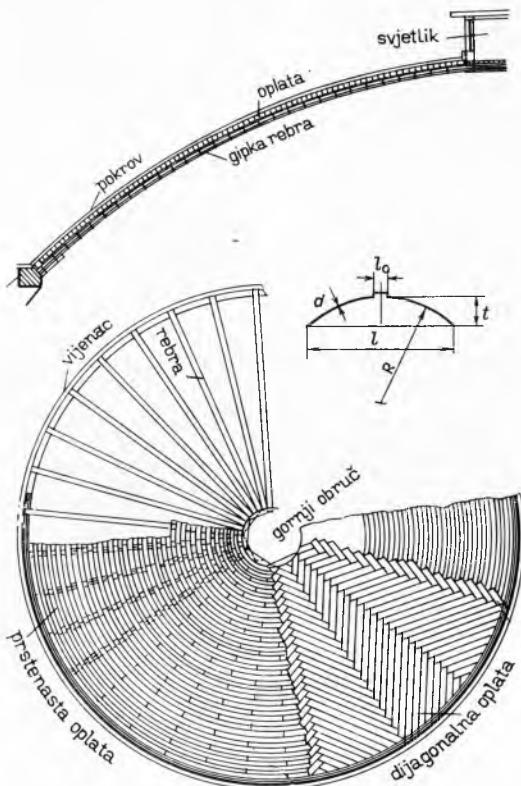


Gradnja drvenog hangara raspona 71 m i visine 48 m (USA)

## DRVENE KONSTRUKCIJE



Primjeri različnih konstrukcija od drva.  
a, c Stupovi, b tribine, d nadstrešnice,  
e hala, f kroviste



Sl. 42. Tankostijena konstrukcija kupole

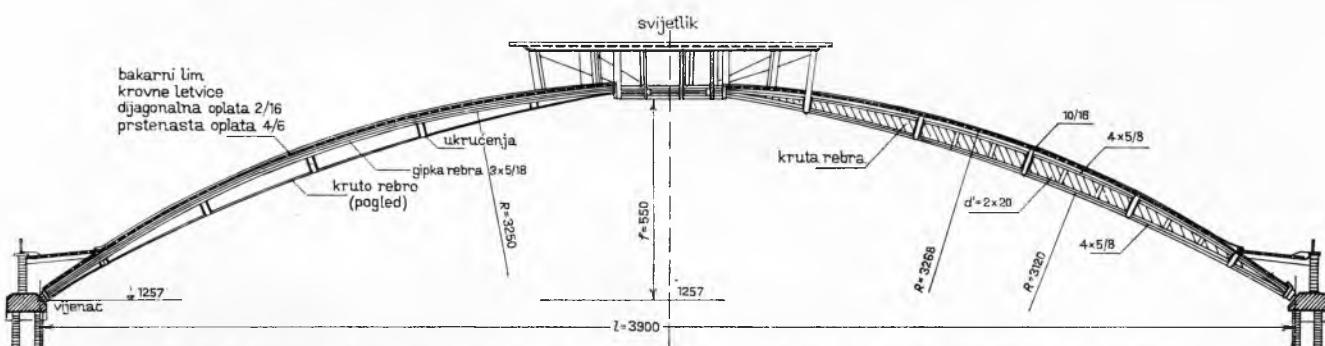
biti ljskaste i rebraste. Tankostijene, ljskaste, izvode se na rasponima 12...30 m, spljoštenosti 1 : 4 do 1 : 6, a kupole rebraste konstrukcije podesne su za raspone preko 30 m. U takvim su kupolama rebra obični punostijeni lukovi srpske oblike, no mogu se izvesti i rešetkasta rebra. Budući da je broj rebara određen potrebama gornjih oplat, a kruti lukovi se predviđaju zbog povećanja krutosti konstrukcije, redovito se samo svaki treći luk izvodi kao punostijeni ili rešetkasti, a ostali lukovi su sastavljeni od savijenih platica, kao lukovi tipa Emu. Sl. 43 prikazuje rebrastu drvenu kupolu nad manevarskim bazenom Institut za brodsku hidrodinamiku u Zagrebu.

Slično kao mrežasti svodovi mogu se izraditi i mrežaste kupole. Njihovi su osnovni elementi također kosnice, tj. kratki štapovi koji, prema obliku mreže, imaju svi jednaku dužinu ili im se dužina prema vrhu kupole smanjuje. Pri tome je kut između kosnice ili konstantan ili se i on mijenja od podnožja prema vrhu. U takvim kupolama predviđaju se još prstenaste oplate.

Viseća krovišta mogu se također izvesti od drveta. Tako na primjer postoji na Velesajmu u Zagrebu viseće krovište koje čine na mreži pletene užadi drveni okvir i tri sloja oplat. Dvije su oplate položene u smjeru užadi mreže, a jedna — dijagonalna — namijenjena je preuzimanju sila u tom smjeru. Raspon je krovišta 90 m, slojevi oplat debeli su 2,5 cm.

Slike na stranicama 414, 415 i 416 prikazuju još neke primjere izvedenih drvenih konstrukcija, koji pokazuju mnogostrane mogućnosti primjene toga materijala.

**Historijska bilješka o građenju drvom.** Općenito je poznato da se je čovjek već u pradavna vremena koristio drvom za građenje onih primitivnih objekata u kojima je stanovao, po kojima je prelazio zapreke i u kojima se sakupljao da bi obavio neke društvene djelatnosti. No drvo nije dovoljno trajan materijal da bi se takvi objekti sačuvali do današnjeg dana u onom opsegu u kojem su ostale sačuvane ruševine kamenih objekata.



Sl. 43. Presjek kroz rebrastu drvenu kupolu nad manevarskim bazenom Institut za brodsku hidrodinamiku u Zagrebu



Sl. 44. Drvena kupola iz sl. 43, pogled

Kupole mogu biti sastavljene od ravninskih konstrukcija, lukova, ili pak projektirane kao prostorne konstrukcije u kojima svi elementi prenose neko opterećenje.

U njima postoje: meridijalni lukovi, prstenasta oplata, dijagonalna oplata, gornji i donji obruc (sl. 42). Drvene kupole mogu

najjednostavniji način da čovjek sebi stvori krov nad glavom bio je, očito, da se skloni ispod nekog debla koje je našao porušeno ili koje je namjerno srušio. Možemo pretpostaviti da su (u krajevima gdje je bilo prikladnih stabala) prvi nosači, prve drvene nosive konstrukcije, bila obična monolitna debla. S vremenom se ustanovilo da je moguće umjesto debljem, dugim i teškim deblima koristiti se mnogo tanjim i kraćim, ako se ona na podesnim mjestima poduprnu stupcima. Kad je primijeteno da se te podupore mogu postaviti u koso, javili su se nosači s kosnicima. U istom procesu javila su se sedla i podvlake potrebne na mjestima gdje se nastavljuju grede. Tako su nastale najprije trokutaste razupore, pa zatim najrazličitiji sistemi složenih razupora, od kojih se neke mogu smatrati prečemama drvenih lučnih nosača. I sastavljanje smodenih nosača vjerojatno je bilo poznato u ranom periodu građenja drvetom.

Teži problem za primitivnog čovjeka nego što je izgradnja krovišta moralo je biti premoštenje vodotoka. Možemo smatrati da su konzolne konstrukcije bile podesan način za izradu prelaza preko širokih vodotoka, za izgradnju prvih mostova. Konzolne konstrukcije dobiju se ako se grede naslažu jedna na drugu tako da gornji slojevi sve više strže nad provaliom (sl. 45). Istureni vrhovi konzola



Sl. 45. Konzolni most Wandipore u Butanu iz XVII st. (raspon 34 m)

## DRVENE KONSTRUKCIJE

postavljenih s obje strane provalije na kraju se spoje i prelaz je omogućen. Takvim primitivnim, ali vrlo domišljatim načinom mogu se kratkim komadima gradi premostiti razmjerno veliki rasponi.

Drugi način kojim i danas primitivni čovjek premošćuje provalije jesu viseće konstrukcije od spletova lijana. Takvimi konstrukcijama, i sličnim tvorevinama primitivnih nastojanja da se premošćuju zapreke, moderne su nastojnice današnje čelične konstrukcije viseci mostova i visećih krovista; za povijest drvenih konstrukcija one nisu toliko zanimljive.

Nije važno da li su se u razvoju građenja drvom pojedine konstrukcije pojavile upravo u vremenskom slijedu kako je ovdje prikazano. U prehistoricu vrijeme razvojni su skokovi slijedili jedan za drugim u razmacima vremena od više stotina, pa i tisuću godina, u različitim dijelovima svijeta različitim slijedom. Zato je jedino moguće prikazivati vjerojatni historijski razvoj logičkiem slijedom od jednostavnog do složenog, od malenog do velikog, pretostavljajući pri tom da su u vrijeme iz kojeg se nisu sačuvali ostaci drvenih konstrukcija građeni objekti ličili na neke postojeće objekte u selima i naseljima nerazvijenih krajeva.

Gledano s tog stanovišta, prvom složenom konstrukcijom mogli bismo smatrati sklop bambusovih štapova koji sačinjava statički sastavni nejasnu — ali nosivu — konstrukciju nekih primitivnih mostova. U neku ruku to je preteća današnjih rešetkastih konstrukcija.

Paralelno s time pojavilo se i građenje brvnara, kuća sa zidovima od debala, a kasnije i četvrtstoto otesanijih greda, naslaganih jedna na drugu ili jedna uz drugu. Još mnogo kasnije građene su tako zgrade i crkve u Rusiji, Finskoj i drugim zemljama, u visinu i nekoliko desetaka metara, a da se pri tome način građenja nije mnogo razlikovalo od načina primijenjenog u gradnji najprimitivnijih objekata takve izrade. Na provizornim mostovima i u našem vrijeme tako su građeni neki stupovi i upornjaci, jer je taj način gradnje brz i tako jednostavan da to može raditi svatko.

Mnogi poznati vrlo stari pontonski i gredni mostovi iz vremena prije naše ere u konstruktivnom pogledu sa stanovišta povijesti razvoja drvenih konstrukcija



Sl. 46. Trajanov most preko Dunava kod Oršave (fotografija detalja s Trajanovog stupa u Rimu)

nisu naročito zanimljivi. Dovoljno bi bilo spomenuti drvene mostove koje je gradila rimska vojska, a od kojih je Cezar pedesetih godina prije n. e. tačno opisao most preko Rajne. Upravo fantastičan potuhvat bila je gradnja Trajanova mosta na Dunavu kod Oršave (sl. 46), koji je izgradio Apollodorus g. 103 n. e. Most je imao drvenu rasponsku konstrukciju nekog, izgleda, lučnog sistema, s rasponima ~35 m. Treba imati na umu činjenicu da je i danas podizanje mostova na tako velikim rijekama prvoklasni konstrukterski zadatak.

Rimski graditelji izveli su mnoga krovista raspona do 20 m. To su bile trokutaste konstrukcije vrlo slične nekim drvenim konstrukcijama našeg vremena. Specifične drvene konstrukcije građene su u Kini, Japanu i drugim zemljama Dalekog istoka, no njima je više osobujnu oblikovnu stranu nego konstruktivnu. Neki drveni paviljoni tako izrade potječu iz doba prije XIII st.

Period iz rimskih epoha dalje do kraja X st. malo je što u Evropi ostavio od drvenih gradevina. U tom periodu nisu, koliko nam je poznato, građene nikakve velike i naročito značajne drvene konstrukcije. Ni na području sakralne arhitekture iz tog vremena nema potreba išta istaknuti. Krovista su stari graditelji ostvarivali grednim konstrukcijama uz pomoć kosnika, koji su vremenom postajali sve složeniji.

Pojava visulja može se izvesti iz trokutastih nosača krovista, jer se može pretpostavljati da su (nekoliko stoljeća prije pojava rešetkastih konstrukcija u našem smislu riječi) graditelji u starim krovistima izradili tesarskim načinom našli uzore za trokutaste, pa i složene visulje, koje se mogu smatrati već bližim pretećama današnjih rešetkastih konstrukcija.

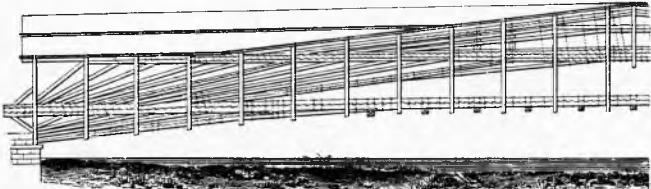
Sve do početka XIX st. i nosive su drvene konstrukcije građene po predaji i po intuiciji graditelja, bez provjeravanja po metodama teorije konstrukcija. Razvoj je bio veoma spor u usporedbi s razvojem u posljednja dva stoljeća.

Vjerojatno su i ranije izvođene složenije drvene konstrukcije, no obično se tek prikaz što ga je ostavio Andrea Palladio (1518—1580) smatra početkom razvoja rešetkastih drvenih nosača. Ali tada se javljaju već i lučne konstrukcije. Najprije je Philibert Delorme (1515—1570) uveo luk od oblučila poznat pod njegovim imenom, a onda i Emu svoj gipki luk.

Premda tome, period od početka građenja drvom do XVIII st. ispunile su drvene konstrukcije starog tipa i grednog sistema nosača, s time da su grede bile podupirane stupcima, vertikalnim ili kosim. Uz to su se vjerojatno primjenjivali i lučni nosači izrađeni po uzoru na odavna poznate svodove od debelih greda. Posebno se mogu navesti tako izgrađeni mostovi u Rusiji.

Iz XVIII st. poznati su nam već neki značajniji drveni mostovi, od kojih treba spomenuti u prvom redu most najvećeg ikad s drvetom postignutog raspona (119 m), ne riči Limmat kod Wettingen u Švicarskoj (sl. 47). Izgradio ga je 1778 N. Grubenmann. Taj most, koji je spaljen nakon dvadesetak godina, imao je — kao mnogi drugi drveni mostovi iz tog vremena — krov koji ga je štitio od djelovanja kiše i snijega. U Americi je veći napredak donesenao rad T. Palmera krajem XVIII st. Palmer je izgradio nekoliko velikih mostova s glavnim nosačima od drva; bile su to osobujne konstrukcije rešetkastog tipa s tri

pojasa, od kojih je jedan obično bio lučnog oblika. U Rusiji je I. P. Kulibin 1776 izradio projekt i model lučnog mosta od drva, raspona 300 m, za premoštenje Neve; do izgradnje tog mosta načelost nije došlo. Nekim Kulibinovim idejama koristili su se drugi projektanti za svoje objekte. Početkom XIX st. javljaju se novi tipovi drvenih konstrukcija, od kojih su ostali najpoznatiji Townovi i Howeovi nosači, nazvani po njihovim autorima. Tako su se od drvenih složenih razupora i visulja razvile najprije kombinirane konstrukcije tih sistema, pa drveni lukovi i, konačno, današnji drveni rešetkasti nosači.



Sl. 47. Drveni most preko Limmata u Wettingenu (1778)

Bitni napredak donesen je sa sobom pojava novih sredstava za spajanje drvenih elemenata i rezultati istraživanja o mogućnosti primjene ljepljiva i ljepila za spajanje dijelova konstrukcija. Najprije su se pojavili metalni moždanići vrlo različitih oblika, pomoću kojih su se mogle iz štapova preuzimati tlačne i vlačne sile mnogo djelotvornije nego dotada korištenim sredstvima. Ali tek u najnovije vrijeme i teoretski je obuhvaćeno stanje u drvenim elementima sastavljenim od malih, tankih i kratkih komada pomoću spajala koja oštvaruju podatne spojeve. Na tom su području prokrčili nove puteve radovi sovjetskih učenjaka, na čelu s G. G. Karlsenom. No i prije toga građene su drvene konstrukcije velikih raspona u kojima su primjenjivani novi sistemi ili tipovi konstrukcija i nosača. Tako se zaslugom Šuhova i Zollingera grade drveni mrežasti svodovi i mrežaste kupole. Treba spomenuti također rešetkaste lukove tipa Stephan, te konstrukcije Hetzera i Melzera, između drugih. Karakteristično je za tada nastale promjene da se sve više grade drvene konstrukcije jasnih statičkih sistema.

Posebni su zamah gradenju drvom dai rezultati istraživanja čavljanih spojeva i ustanavljenje Stoya i drugih konstruktera da se čavljanjem mogu izgraditi konstrukcije vrlo velikih raspona. Od tako građenih objekata treba istaknut skele koje je podigao Freyssinet za gradnju mosta St. Pierre du Vauvray i mosta Elorne kod Plougastela u Francuskoj (sl. 48). Posebno je naime područje drvenih konstrukcija izgradnja skela potrebnih za izvedbu masivnih svodenih mostova velikih raspona. Te su konstrukcije ponekad mnogo delikatniji inženjerski zadaci nego definitivni masivni lukovi za izgradnju kojih služe.



Sl. 48. Drvena skela na gradnji mosta Elorne kod Plougastela

U ranije doba bilo je na raspolaženju mnogo drva, i to velikih stabala, pa su konstrukcije radene od greda velikih duljina i velikog poprečnog presjeka. Danas je postignut znatan napredak u tehnički spajanju drvenih elemenata u konstrukcije pouzdanjima i djelotvornijima spajalima — počevši od spajanja posebnim moždanicima do ljepljenja — pa se više ne upotrebljavaju samo duge i krupe gredе, nego se od malih komada sastavljaju konstrukcije i vrlo velikih raspona. Uz to su pronađene i takve konstrukcije (kao mrežasti svodovi i mrežaste kupole) kojima se mogu i od malih, kratkih komada drva složiti veliki objekti uz znatnu ekonomiju materijalom.

U najnovije vrijeme građenje drvetom pod jakim je utjecajem primjene ljepljenja. Uz pomoć novih ljepila za drvo oštvaruju se danas vrlo ekonomične konstrukcije velikih raspona. Pri tome treba naročito istaknuti hale velikih raspona izgrađene na raznim mjestima u USA i SSSR. Pri tome su dosegnuti rasponi konstrukcija od 70 metara.



Sl. 49. Drveni lučni most preko Kokre u Kranju

U našoj zemlji gradnja drvom primjenjuje se mnogo manje nego što bi to bilo opravданo raspoloživošću materijala i ekonomičnošću gradnje. Ipak je u nas izgrađeno nekoliko objekata koji predstavljaju vrhunska dostignuća na tom području. God. 1938 sagrađen je po projektu inž. Dimnika u Kranju na rijeci Kokri drveni lučni most raspona 85 m; danas je nažalost zamijenjen armirano-betonim mostom. U Zagrebu sagradene su prema projektima prof. K. Tonković dijvi zanimljive drvene konstrukcije većeg raspona: kupola od hrastovine nad bazenom Instituta za brodsku hidrodinamiku (raspon 39 m, v. str. 417) i viseće kroviste jedne hale Velešajma rekordnog raspona 90 m.

V. također članke: *Gradjevinske konstrukcije, Statika gradjevinskih konstrukcija*.

LIT.: A. Gattner, *Bemessungstabellen für Holzbauten*, Berlin 1949. — W. Stoy, *Der Holzbau*, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1950. — N. Troche, *Grundlagen für den Ingenieur-Holzbau*, Hannover 1951. — B. M. Kochenov *Несущая способность элементов и соединений деревянных конструкций*, Москва 1953. — National Lumber Manufacturers Association, *Wood structural design data*, Washington, D. C. 1956. — Timber Engineering Company, *Timber design and construction handbook*, New York 1956. — A. H. Otrębsko, *Справочник проектировщика. Деревянные конструкции*, Москва 1957. — F. Fonrobert, W. Stoy, G. Dröge, *Grundzüge des Holzbau im Hochbau*, Berlin 1960. (Srpskokravatski prijevod Beograd 1951). — A. Gattner, F. Trysna, *Hölzerne Dach- und Hallenbauten*, Berlin 1961. — Г. Г. Карасен (ред.), *Деревянные конструкции*, Москва 1961. — Г. Б. Свирицкий, *Деревянные конструкции — состоящие и перспективы*, Москва 1962. — В. А. Иванов, *Деревянные конструкции*, Киев 1962. — К. Halasz (Herausg.), *Holzbau-Taschenbuch*, Berlin 1963. — В. Ф. Иванов, *Конструкции из дерева и пластмасс*, Ленинград-Москва 1966. — K. Hoffmann, H. Gries, *Bauen mit Holz*, Stuttgart 1966. — K. H. Stoy, *Holznagelbau*, Berlin 1967. — L. G. Booth, P. O. Reece, *The structural use of timber*, London 1967.

K. Tonković Z. Lončarić

**DRVO**, u tehničkom smislu, okorana debla, korijenje i grane različitih biljaka, prvenstveno četinjača i listača, ali također palmi, bambusa, penjačica i nekih drugih drenastih biljaka. Kao materijal, u prirodoznanstvenom smislu, drvom se naziva svaka vlaknasta tvar biljnog porijekla koja se sastoji prvenstveno od celuloze i hemiceluloze, a odrvenjela je uloženim ligninom. (U biološkom smislu upotrebljava se u našem jeziku riječ »drvno« i kao sinonim za »stablo«.)

**Kemijski sastav drva.** Veći dio drvene tvari sastavljen je od kemijskih spojeva visoke molekularne težine, pa su pojedinci — s obzirom na kemijski sastav — drvo definirali kao interpenetrirani sistem visokih polimera. Separacija i izolacija tih polimera bez njihove znatnije modifikacije vrlo je teška, pa će biti potrebna još mnoga istraživanja da se potpuno objasne priroda i svojstva tih polimera.

**Sastojci drvene tvari** mogu se kemijski klasificirati ovako: a) Ugljikohidrati, uglavnom polisaharidi; ukupna njihova količina dosije 3/4 težine suhe drvene tvari. To su celuloza, hemiceluloza, škrob, pektinske tvari i u vodi topljivi polisaharidi. Celuloza je najvažnija komponenta drvene tvari i iznosi u prosjeku 1/2 težine suhe drvene tvari. Šećeri se nalaze u bijeli i u tkivu u razvoju, a u zrelomu drvu ima ih samo u neznatnim količinama. b) Fenolne tvari, aromatske supstance s karakterističnim fenolnim hidroksilnim skupinama (djelomično metilirani); njihova se ukupna količina kreće od 20 do 30% težine suhe drvene tvari. Veći dio tih fenolnih tvari čini sistem poznat pod nazivom lignin, visoke molekularne težine i netopljiv u običnim otapalima. Neke fenolne tvari su topljive u vodi i organskim otapalima (tanini, flobafeni, bojila, lignani). Druge se daju odstraniti iz drvene tvari hidrolizom pomoću kiselina ili alkalija. c) Terpeni i njima srođni sastojci, sastoje se od isparljivih tvari i smolnih kiselina; po količini dosije do 5% težine suhe drvene tvari četinjača, a listače ih po pravilu ne sadrže ili ih sadrže u neznatnim količinama. d) Alifatske kiseline, nalaze se u drvu svih vrsta, većinom kao esteri masnih kiselina velike molekulske težine. e) Alkoholi, i to alifatski alkoholi i steroli. f) Proteini; tvore znatni dio tkiva u razvoju, a u zrelomu drvu njihovo učešće, procijenjeno po sadržaju dušika, dosije do 1% težine suhe drvene tvari. g) Anorganske tvari; njih ima manje od 0,5% u većini vrsta drva umjerene zone, dok neke tropске vrste drveta sadrže anorganske tvari (pepele) od 1 do 5% težine suhe drvene tvari.

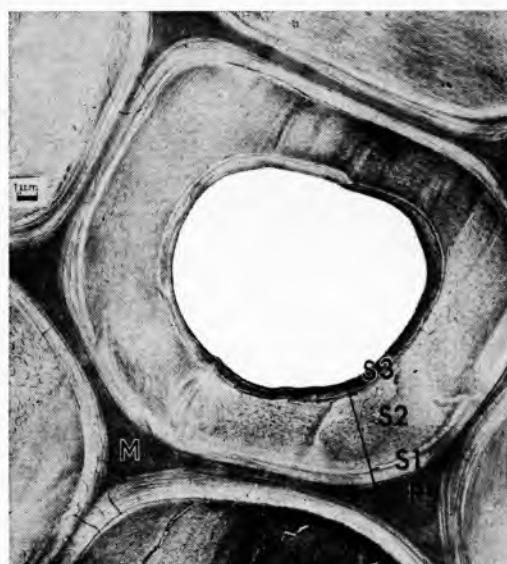
U drvu nalaze se osim navedenih mnoge druge organske tvari (ciklički alkoholi, aldehidi, ugljikovodici, alkaloidi i dr.), ali u vrlo malim količinama. Dvobazne kiseline česta su pojava u drvu, obično kao soli kalcijuma (kalcijum-karbonat, kalcijum-oksalat).

**Elementarni sastav** suhe drvene tvari gotovo je jednak za sve vrste drveta: suha drvena tvar sadrži u prosjeku 49,6% ugljika, 5,9% vodika, 44,0% kisika, 0,2% dušika i 0,3% pepela. Drvo listača i četinjača po sadržaju celuloze je jednako (50%), drvo četinjača ima manje hemiceluloze (23%) i više lignina (27%) nego drvo listača (26% odnosno 24%). (V. TE 2, str. 566, 567.)

**Voda** se u drvu nalazi dijelom u »slobodnom«, dijelom u »vezanom« stanju. Slobodna ili kapilarna voda nalazi se u šupljinama (lumenima) drvenih stanica, a vezana ili higroskopna voda u stijenkama stanica. Sadržaj vode u drvu izražava se na dva načina: kao težinski i kao volumni postotak. Težinski postotak može biti ili tzv. *standardni* (naučni) postotak, tj. težina vode u odnosu na težinu drveta sušenog na 103 °C, ili *tehnički* (komercijalni), tj. u odnosu na težinu vlažnog drva. Volumni postotak izražava volumen vode u 100 jedinica volumena drva. U ovom članku, gdje se god govori o sadržaju vode u drvu, podrazumijeva se standardni postotak.

Sadržaj vode u drvu u sirovom stanju, tj. u času obaranja, kreće se u širokim granicama: od 40 do 200% za drvo četinjača, od 35 do 130% za drvo listača. S obzirom na sadržaj vode treba razlikovati: sirovo drvo ( $v \approx 40\%$ ), provelo drvo ( $v = 22\cdots40\%$ ), prošušeno drvo ( $v = 8\cdots22\%$ ) i posve suho drvo ( $v = 0\%$ ). Prošušeno drvo dijeli se na brodosuhu ( $v = 18\cdots22\%$ ), zrakosuhu ( $v = 12\cdots18\%$ ) i sobnosuhu ( $v = 8\cdots10\%$ ).

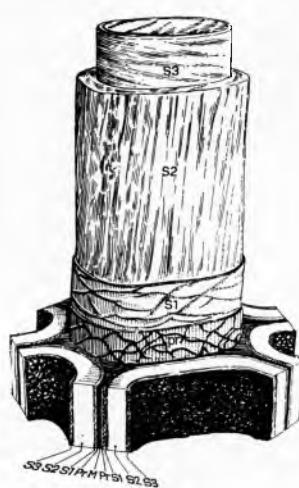
**Struktura drva.** Osnovni elemenat strukture drva je stanica. Živa stanica sastoji se od membrane i sadržine ili protoplazme.



Sl. 1. Poprečni presjek stijenke traheide kasnog drva bora

Kad stanica obamre, postepeno nestaje njene sadržine, ostaju samo stijenke (membrane) i šupljina stanice (lumen) ispunjena vodom ili zrakom.

Membrana stanice (sl. 1) sastavljena je od 5 slojeva: srednje lamele (*M*), primarne stijenke (*Pr*), vanjskog sloja sekundarne stijenke (prelaznog sloja *S1*), centralnog sloja sekundarne stijenke (sekundarne stijenke u užem smislu, *S2*) i unutarnjeg sloja sekundarne stijenke (tercijarne stijenke, *S3*). Neki autori središnju lamelu (pravu) i primarne stijenke zovu zajedno sastavljena središnja lamela. Središnja lamela amorfna je i izotropna, ostali slojevi membrane sastoje se od mikrofibrila i razlikuju se fizički među sobom po relativnoj orientaciji tih mikrofibrila (slika 2). Kemijski se slojevi membrane razlikuju po sadržaju lignina, hemiceluloze i celuloze (sl. 3). Središnja lamela sastoji se od samog lignina. Primarna stijenka sastavljena je od manje količine celuloze (~20%) u masi



Sl. 2. Shematski prikaz stijenke traheide četinjača. Vidi se vijčana (helikoidna) orijentacija mikrofibrila u sekundarnoj stijenici; na dnu slike stijenke susjednih traheida