

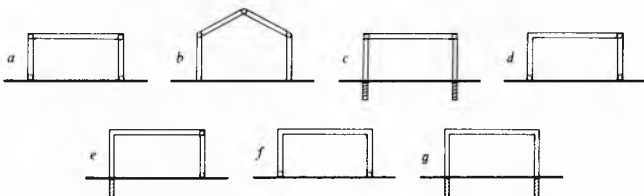
# H

**HALE I HANGARI**, građevine s velikim zatvorenim ili poluotvorenim prostorima zaštićenim od atmosferskih utjecaja; služe za potrebe industrijske proizvodnje, uskladištenje materijala, opreme i prometnih sredstava, tržnice, održavanje izložaba, sportskih i ostalih javnih priredaba. Ti su prostori omeđeni nosivom konstrukcijom i materijalom za ispunu i izolaciju, a hangari su posebno građena spremišta za avione i druge letjelice, koja su najmanje s jedne strane zatvorena velikim vratima radi uvlačenja i izvlačenja letjelica.

Pri projektiranju i gradnji hala i hangara moraju se ispuniti opći tehnološko-funkcionalni i ekonomski zahtjevi, te posebni zahtjevi sa stanovišta udobnosti, fleksibilnosti, sigurnosti od požara, zaštite od korozije i održavanja. Često se zahtijeva mogućnost premještanja objekta na drugu lokaciju i upotrebe za druge namjene.

Nosiva konstrukcija hala i hangara izvodi se od armiranog betona, od čelika i aluminija, od drva ili lameliranog drva i sintetskih materijala; za ispunu se mogu upotrijebiti različiti građevni materijali, već prema tehnološko-ekonomskim i klimatskim uvjetima. Moguće su, osim toga, kombinacije građe nosivih elemenata (npr. betonski stupovi i čelični krovni nosači). Hale se razlikuju prema broju polja (brodova), sustavu gradnje (s upetim stupovima, dvozglobnim, trozglobnim i četverozglobnim okvirima, lučne konstrukcije i sl.), obliku poprečnog presjeka (pravokutni, polukružni, eliptični itd.), te tipu krova (ravni, kosi, šed-krov itd.).

Jednobreodne su hala najjednostavniji i najrašireniji tip hala, osobito za industrijske pogone i sportske dvorane, te kao privremeni objekti. Najviše se grade s rasponom od 12m, jer je tada moguće osigurati danju rasvjetu kroz bočno postavljene prozore. Nosiva konstrukcija ovisi o rasponu, a izvodi se kao dvozglobnim, trozglobnim i četverozglobnim okvir, odnosno kao sustav stupova sa slobodno položenim krovnim nosačima (sl. 1).

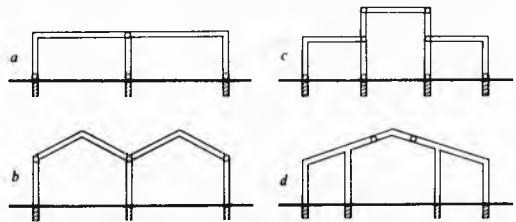


Sl. 1. Osnovni oblici jednobreodnih hala. *a* četverozglobna konstrukcija, *b* trozglobna konstrukcija, *c* dvozglobna konstrukcija sa dva upeta stupa, *d* zglobna konstrukcija s pendel-stupovima, *e* upeti stup s pendel-stupom, *f* dvozglobnim okvir, *g* upeti okvir

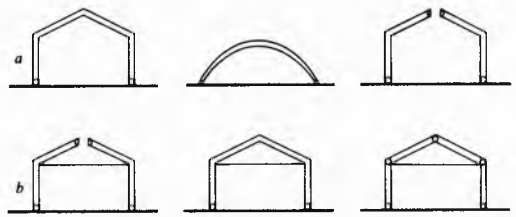
Kad nije moguće zadovoljiti prostorno-funkcionalne zahtjeve jednobreodnom halom, grade se višebreodne hale. Rasvjeta danjim svjetlom i odvodnja oborinskih voda s krova poseban su problem gradnje višebreodnih hala. Prije se rasvjeta danjim

svjetlom osiguravala tzv. bazikalnom rasvjetom, a danas se ostvaruje pomoću krovnih kupola, krovnih jahača od poliestera ili pleksiglasa, ravnog armiranog stakla, a često se izvode šed-krovovi, pogotovo kad se traži bolja rasvijetljenost danjim svjetlom. Oborinska voda s ravnih krovova usmjerava se prema sredini krova, a s kosih krovova na obje strane ako dubina hale nije veća od 25m. Višebreodne hale grade se kao okvirne ili lučne konstrukcije sa tri zgloba, odnosno kao poluokvir s kosim elementima (stupovi, grede), pogotovo kad su rasponi manji. Višebreodne hale (okvirne ili lučne konstrukcije) sa dva zgloba grade se za velike raspone; tada su stupovi obično upeti u temelje u kojima su ostavljeni otvori za uklještenje. Kad se veliki betonski nosači lijevaju na mjestu gradnje, hale se izvode kao kruti okviri bez zglobova. To se, međutim, rijetko primjenjuje zbog velike potrošnje čelika. Osnovni oblici višebreodnih hala vide se na sl. 2.

Hale s kosim i lučnim krovovima često imaju zatege da bi se smanjio moment savijanja. Zatege su u podnožju hale ili na pregibu krova (sl. 3).



Sl. 2. Osnovni oblici višebreodnih hala. *a* dvobreodna hala s ravnim krovom, *b* dvobreodna hala s kosim krovom, *c* trobreodna hala s nadsvijetlom za srednji brod (bazikalna rasvjeta), *d* trobreodna hala pod zajedničkim krovom



Sl. 3. Izvedbe hala sa zategama. *a* zatega u podnožju hale za preuzimanje horizontalnog potiska, *b* zatega na pregibu hale za smanjenje momenata savijanja (za raspone do 30m)

Za hale do raspona od 30m industrijski se proizvode elementi od prednapregnutog betona i čelika. Takvi elementi proizvode se za manje (raspon 6...18m), srednje (18...24m) i velike (24...30m) hale. Hale s kranskim stazama i raspona većeg od 30m grade se prema posebno izrađenim projektima.

Razvoj proizvodnje čelika i čeličnih konstrukcija u XIX stoljeću omogućio je gradnju građevinskih objekata s velikim slobodnim rasponom. Prvi takav objekt bio je *Kristalna palača* u Londonu (J. Paxton, 1851), a najveći objekt takve vrste podignut je za Svjetsku izložbu u Parizu (*Hala strojarstva*, 1889) sa srednjim brodom raspona od ~114m.

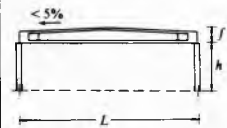
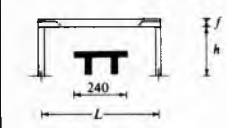
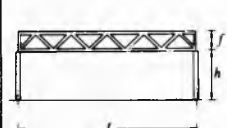
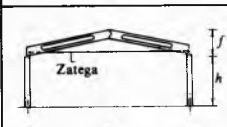
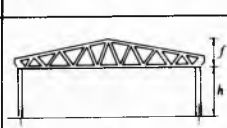
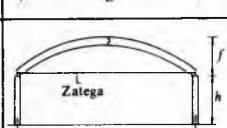
Krajem XIX stoljeća utvrđena su svojstva armiranog betona i postavljene su osnove za proračun takvih konstrukcija. Prve armiranobetonske hale grade se u početku XX stoljeća. To je *Stogodišnja hala* u Wrocławu (arh. M. Berg) s kupolom promjera od 70m od armiranobetonskih rebara. U razvoju arhitekture važna je gradnja dvaju hangara u Orlyju (kod Pariza), duljine 295m i visine 61,5m (arh. E. Freyssinet, 1916–1924), i to ne samo zbog njihovih dimenzija nego i zbog estetskog efekta postignutog čistom konstrukcijom. Hangari su natkriveni bačvastim svodom od tanke nabrane membrane paraboličkog presjeka da se što moguće smanje vlačne sile.

Nakon što su postavljene teorijske osnove ljuskastih armiranobetonskih konstrukcija dvadesetih godina ovog stoljeća (W. Bauersfeld i F. Dishinger), grade se prve bačvaste i kupolaste ljuske (krov izložbenog paviljona na Gesolci, Düsseldorf, 1926, i tržnica u Frankfurtu, 1926–1927), ukrštene bačvaste ljuske u obliku križnih svodova (tržnica u Leipzigu, 1927–1929; tržnica u Baselu, 1929; Freyssinetova tržnica u Reimsu s bačvastim svodom, 1928–1929).

Francuski inženjer B. Lafaille nastavlja razvijati ljuskaste konstrukcije i ostvaruje prve gradnje u Jugoslaviji: francuski paviljon na Zagrebačkom zboru (kružno krovšte promjera 33m, oblik okrenute čaše obrubljene metalnim obručem koji leži na 12 stupova promjera 80cm i visine 14m) i hangari u Pančevu (prva izvedba ljuske u obliku slova V kao okomitog elementa; prvi put s izvedena viseća krovšta). On pronalazi samonosive čelične ljuske (krovni polucilindri) i gradi hangare u Cazau i Dijonu (tlocrtna površina 67,5×67,5m).

Tridesetih se godina razvijaju različiti sustavi gradnje hala. Lafaille postavlja (1935) teorijske osnove za konstrukciju vitopernih ljuski. Na toj osnovi gradi se više hala i hangara, među kojima se ističe hala cementne industrije na izložbi u Zürichu (arh. R. Maillart, 1936–1939).

Nastojanje da se razbiju teške masivne konstrukcije ostvario je P. L. Nervi, koji je sve više olakšavao konstrukciju razbijajući je u mrežu jednakih nosivih elemenata što se križaju (hangar br. 1 tlocrtna površina 100×40m i hangar br. 2 izveden od prefabriciranih elemenata). Izložbena hala u Torinu vrhunsko je ostvarenje upotrebom takve konstrukcije.

Izvedba	Schema konstrukcije	Osnovne mjere (m)			
		L	h	f	b
A		15–25	5–6 i više	$\frac{L}{15} \dots \frac{L}{20}$	6–12
B		6–20	5–6 i više	$\frac{L}{30}$	6–12
C		15–25	5–6 i više	$\frac{L}{10}$	6–12
D		12–24	5–6 i više	1,8–3,7	3–7,2
E		12–32	5–6 i više	prema nagibu krova	5–12
F		20–40	5–6 i više	prema rasponu	6–10

Sl. 4. Tipizirane armiranobetonske hale (b razmak nosača). A prednapregnuti I-nosači, B armiranobetonski ili prednapregnuti TT-nosači, C prednapregnute betonske rešetke, D trozglobni kosi armiranobetonski nosači sa zategom, E prednapregnute betonske rešetke, F trozglobni puni armiranobetonski luk sa zategom

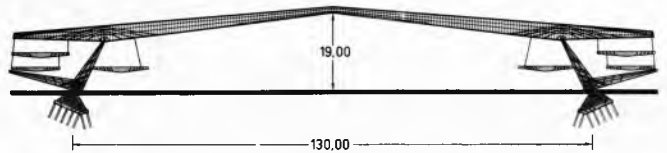
Prostrane rešetke postaju sve važnije za budući razvoj jer omogućuju ostvarenje velikih slobodnih prostora i veliku prilagodljivost različitim zahtjevima. R. B. Fuller razvio je prostorne strukture na osnovi oktaedra i tetraedra, što je omogućilo upotrebu prefabriciranih elemenata. Hangar Union Tank Car Co. u Baronrougu (1958) najveća je takva kupola promjera 115m. K. Wachsmann razvio je (1946) za američku vojsku sustav hangara bilo kojih dimenzija na osnovi prostornih rešetaka.

**Armiranobetonske hale.** Najraširenija je upotreba armiranog betona kao materijala za nosive konstrukcije hala. To su uglavnom montažni elementi od prednapretnog betona, stupovi, nosači s punim stijenama, rešetkasti ili lučni nosači. Za ispunu se upotrebljavaju prednapregnute armirane betonske ploče, tanke ploče, tanke ploče s rebrima olakšane otvorima, ploče od pinobetona ili od drvocementa.

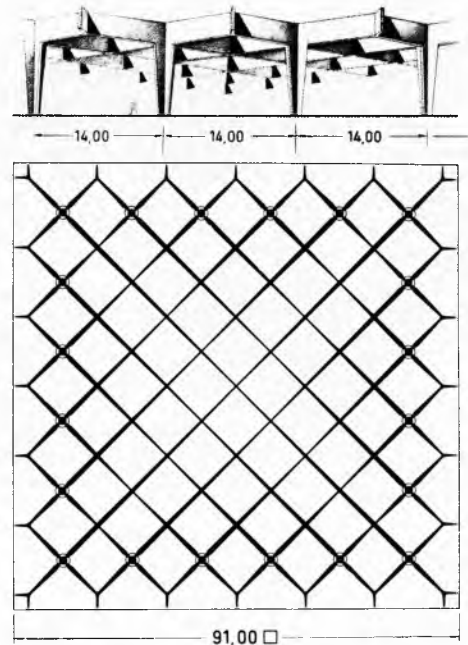
Prednosti su armiranobetonskih hala: jednostavno i ekonomično održavanje, postojanost na vatri i na vlazi, otpornost na kemijske utjecaje. Među nedostatke takvih hala mogu se ubrojiti: težina elemenata, potreba posebne opreme za montažu, komplicirani spojevi (često zahtijevaju zalijevanje betonom prilikom sastavljanja), obično veliki transportni troškovi za prijevoz elemenata od mjesta proizvodnje do gradilišta. Da se izbjegnu transportni troškovi, na velikim gradilištima organizira se proizvodnja elemenata.

Elementi za tipizirane hale proizvode se već prema izvedbi i mogućnosti montaže (sl. 4).

Posebni zahtjevi (rasponi veći od 30m, danja rasvjeta, kranske staze) traže posebne konstrukcije, posebnu proizvodnju elemenata i montažu.

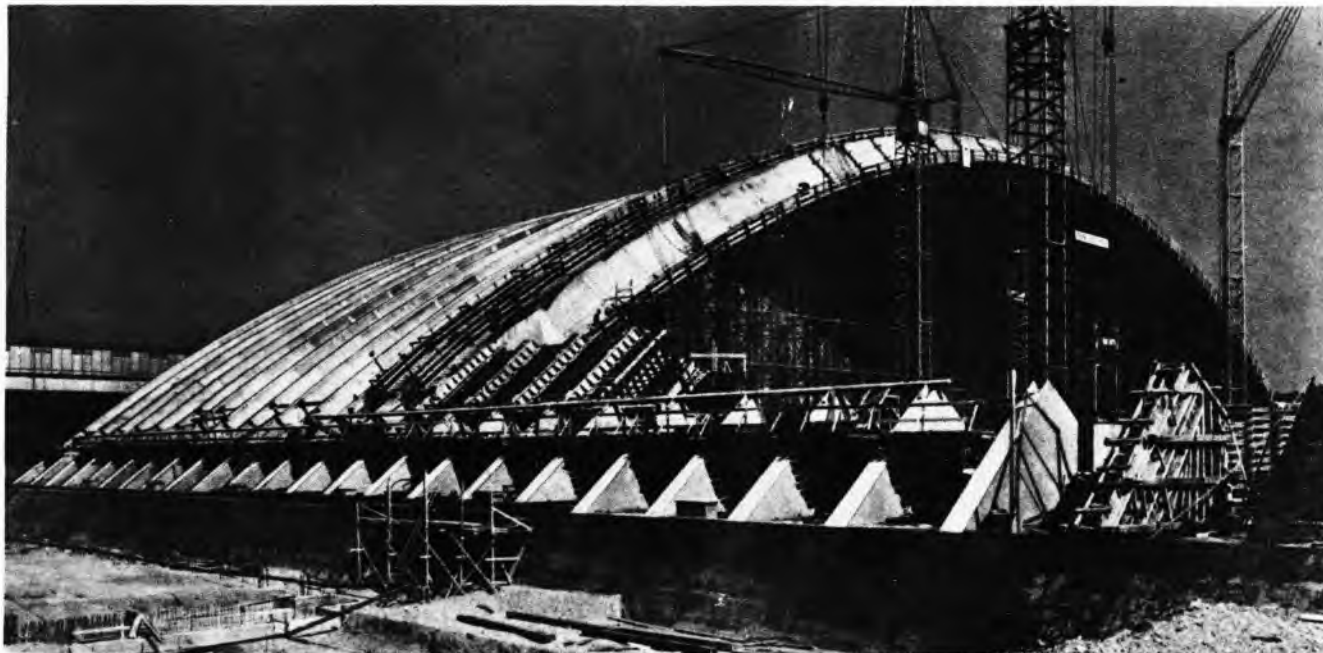


Sl. 5. Primjer okvirne konstrukcije hale (arh. K. Morandi)



Sl. 6. Primjer konstrukcije s križnim roštiljem (arh. P. L. Nervi)

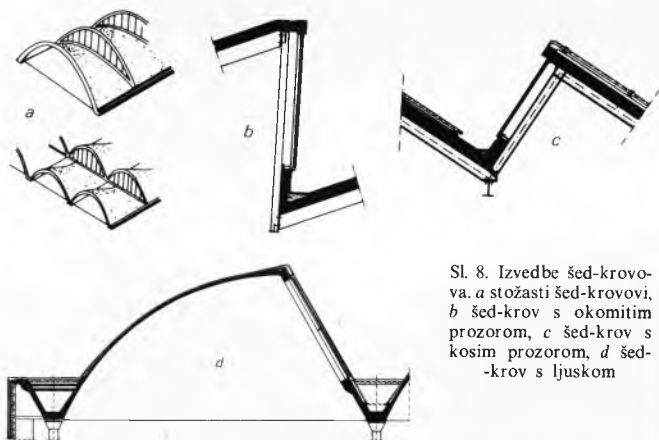
Za hale velikih raspona (više od 30m) najčešće se upotrebljavaju okvirne konstrukcije, roštilji i lučni nosači. Karakterističan je primjer za okvirnu konstrukciju hala raspona 130m i visine 19m (sl. 5, arh. K. Morandi), za konstrukciju križnog roštilja hala dimenzija 91×91m (sl. 6, arh. P. L. Nervi), a za dvozglobnu lučnu konstrukciju s rebrastim lukovima hala površine 20000m<sup>2</sup> (sl. 7, R. Rosefeld i H. Zettel).



Sl. 7. Primjer dvozgladne lučne hale s rebrastim lukovima (arh. R. Rosefeld i H. Zettel)

Kad je potrebno osigurati danju rasvjetu u halama, izvode se šed-krovovi s kosim ili okomitim prozorima orijentiranim prema sjeveru da se spriječi neposredna insolacija. Šed-krovovi izvode se kao okomite i kose ploče, te kao stožaste ljuske (sl. 8 i 9).

Armiranobetonski hangari rjeđe se izvode zbog velikih raspona i visina. To su obično konstrukcije s velikim konzolama, a da se smanji težina, upotrebljava se prednapregnuti

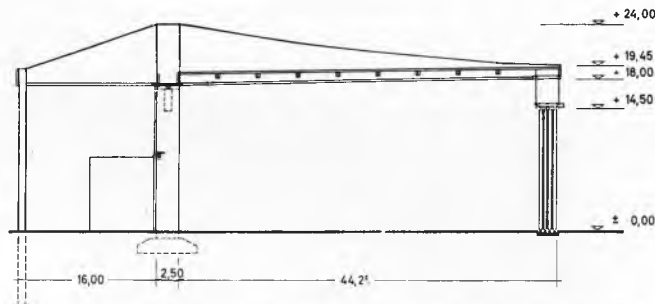


Sl. 8. Izvedbe šed-krova. a stožasti šed-krovovi, b šed-krov s okomitim prozorom, c šed-krov s kosim prozorom, d šed-krov s ljuskom



Sl. 9. Šed-krov aerodromske zgrade u Varšavi

beton ili laki konstruktivni betoni. Karakterističan je primjer betonskog hangara onaj na aerodromu Landsberg (SR Njemačka), sa slobodnom površinom od  $120 \times 44,25$  m bez unutrašnjih stupova i s vratima širokim 120 m (sl. 10 i 11).

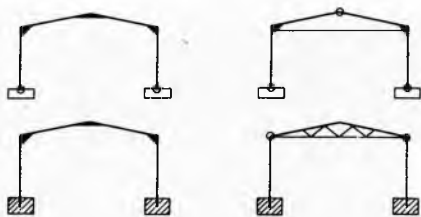


Sl. 10. Poprečni presjek hangara na aerodromu Landsberg (SR Njemačka)

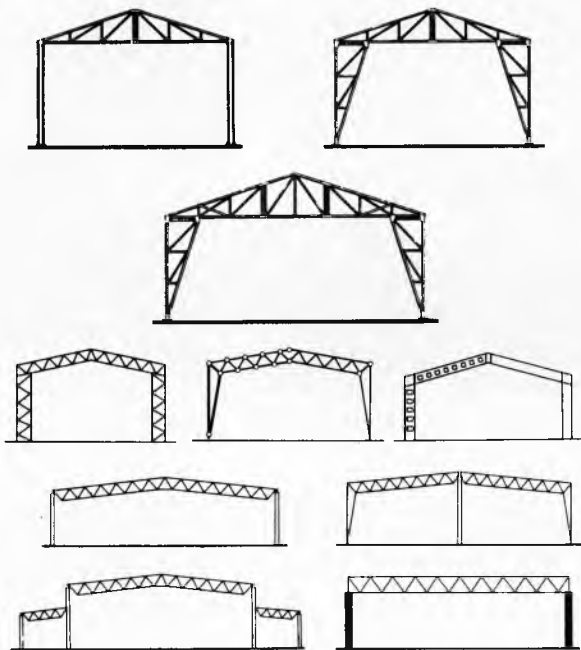


Sl. 11. Hangar na aerodromu Landsberg (SR Njemačka) za vrijeme gradnje

Čelične hale najviše su rasprostranjene. Njihove su prednosti: relativno mali utrošak materijala po jedinici površine hale, jednostavna proizvodnja jer se grade od industrijski pro-



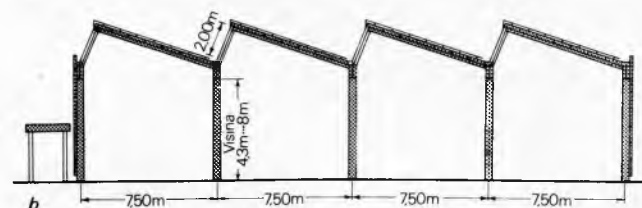
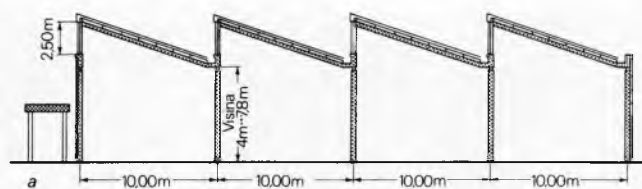
Sl. 12. Normalne izvedbe čeličnih hala



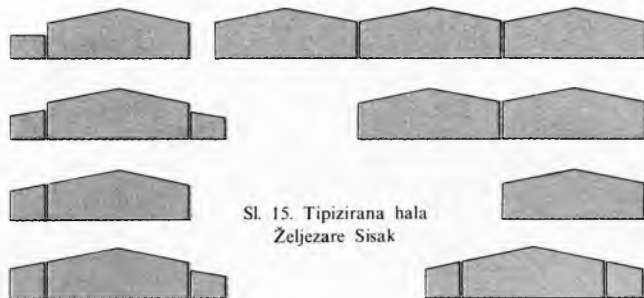
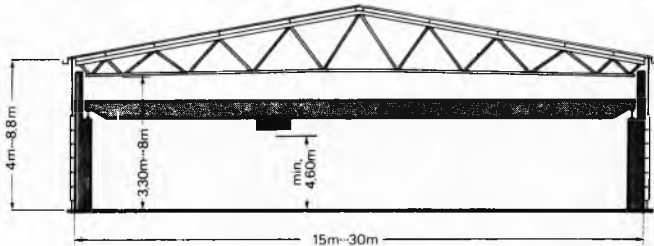
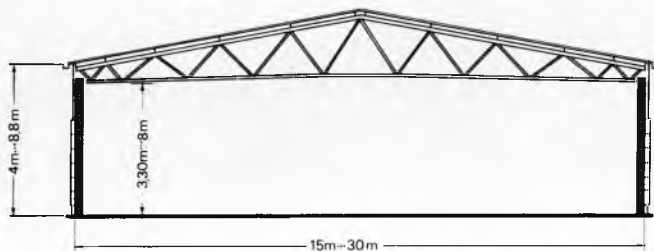
Sl. 13. Čelične hale od rešetkastih nosača



Sl. 17. Unutrašnjost hale sa sl. 16

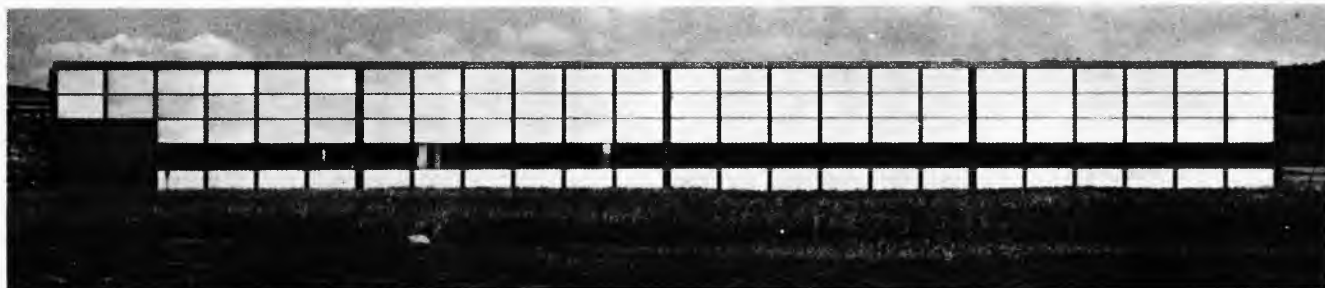


Sl. 14. Čelične hale sa šed-krovovima

Sl. 15. Tipizirana hala  
Željezare Sisak

izvedenih profila (valjani profili, zavareni profili, hladno oblikovani profili, šavne i bešavne cijevi), laka i brza montaža u svim vremenskim uvjetima, te jednostavan transport. Mane su čeličnih konstrukcija: mala otpornost prema požaru i koroziji.

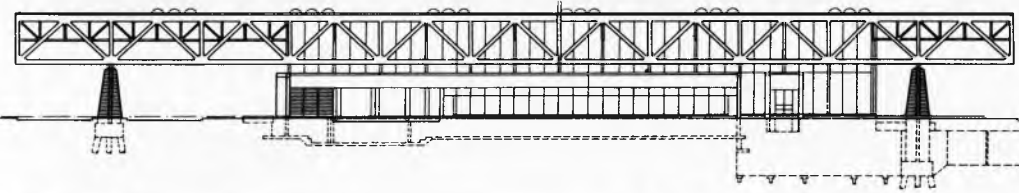
Osnovni oblici čeličnih hala vide se na sl. 1 i 2, a proizvođači čeličnih konstrukcija tipizirali su hale prema rasponima. Normalne izvedbe vide se na sl. 12, izvedbe s rešetkastim nosa-



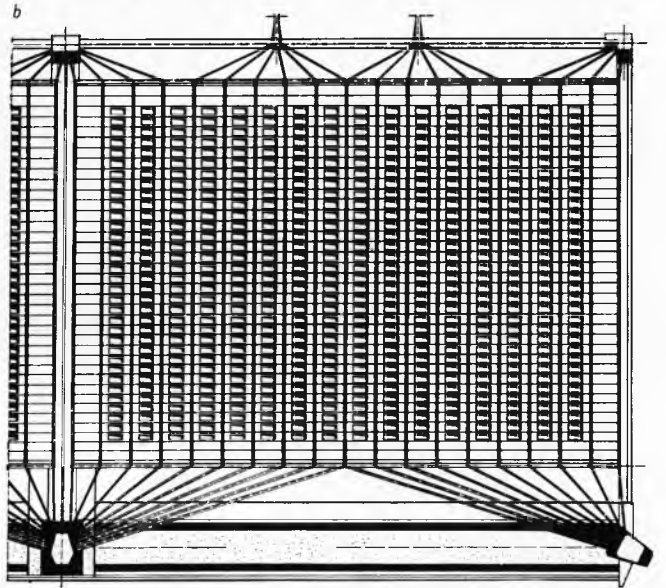
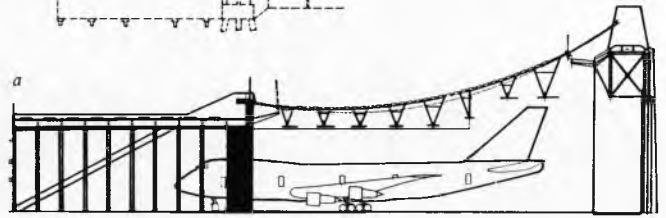
Sl. 16. Tipizirana čelična hala u Münsingenu, Švicarska (arh. B. i F. Haller)



Sl. 18. Hala kolodvora u Ottawi



Sl. 19. Hala tvornice MAN u Augsburgu



Sl. 20. Hangar na aerodromu Fiumicino u Rimu. a presjek, b nacrt krova

čima na sl. 13, a konstrukcije sa šed-krovovima na sl. 14. U nas se proizvode tipizirane hale od čeličnih cijevi s kranskom stazom ili bez nje, te koje se mogu sastavljati i u višebrodne hale (sl. 15).

Tipizirane čelične hale mogu se izgraditi s različitim ispunom, pa se mogu prilagoditi raznovrsnim zahtjevima. Primjer takva sustava (USM, Švicarska) vidi se na sl. 16 i 17.

Hale velikih raspona konstruiraju se prema posebnim zahtjevima. Većinom su to roštilji ili spregnute konstrukcije (hala kolodvora u Ottawi, sl. 18) ili teške konstrukcije (industrijska hala tvornice MAN u Augsburgu, sl. 19).



Sl. 21. Čelični hangar za Jumbo-jetove na aerodromu Heathrow



Sl. 22. Tipizirana aluminijska stajska hala

**Čelični hangari.** Hangari od čeličnih konstrukcija vrlo se često grade. Tipičan je primjer hangar na aerodromu Fiumicino u Rimu (arh. K. Morandi, sl. 20) i hangar na aerodromu Heathrow (sl. 21).

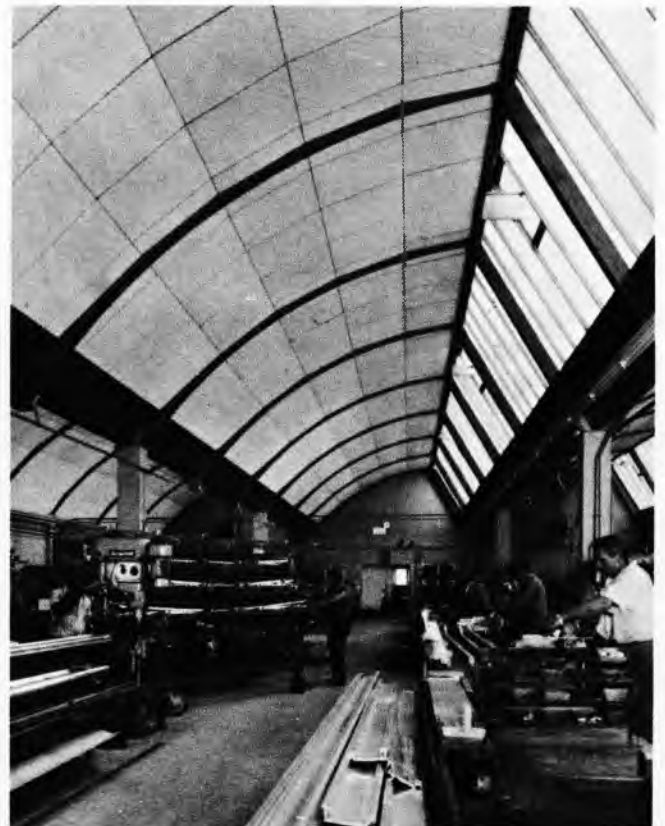
**Aluminijske hale i hangari** imaju slične karakteristike kao i čelične konstrukcije. Prednost im je što su otpornije prema koroziji, lakše se održavaju i lakše su po jedinici slobodne površine, ali su skuplje, teže je zavarivanje i imaju veći temperaturni koeficijent rastezanja. Uglavnom se grade kad se zahtijeva otpornost prema koroziji. U Italiji se proizvode tipizirane aluminijske stajske hale (sl. 22). Hangar na aerodromu Melsbroek u Belgiji (sl. 23) primjer je hangara izgrađenog od aluminijskih profila.

**Drvene hale.** Razvoj obradbe i zaštite drva omogućio je gradnju drvenih hala, pogotovo razvojem konstrukcija od lijep-ljenog (lameliranog) drva. Drvene hale grade se kao sportske

dvorane, skladišta nezapaljivog materijala, staje i jahačke hale, izložbene dvorane i prodajni prostori, te kao privremeni objekti. Mala težina po jedinici natkrivene površine, brza gradnja i



Sl. 23. Aluminijski hangar na aerodromu Melsbroek (Belgija)



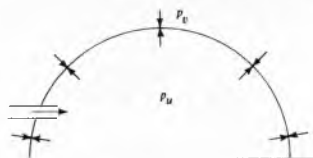
Sl. 24. Drvena radionička hala u Heilbronnu (SR Njemačka)



Sl. 25. Drvena skladišna hala u hamburškoj luci



Sl. 28. Prekriveno plivalište u Cannesu

Sl. 26. Princip održavanja stabilnosti hala od sintetskih materijala.  $p_u$  unutrašnji tlak,  $p_v$  vanjski tlak ( $p_u > p_v$ )

Sl. 29. Paviljon SAD na izložbi u Tokiju



Sl. 27. Plastenik poduprt čeličnim nosačima

otpornost na kemijske utjecaje prednosti su drvenih konstrukcija. Razvojem elemenata za spajanje (vijci, čavlaste spojnice) i ljepljiva omogućena je izradba rešetkastih konstrukcija i punih nosača koji se mogu upotrijebiti i za gradnju hala s rasponom većim od 30m (v. *Drvene konstrukcije*, TE3, str. 401). Osnovni su tipovi jednaki tipovima betonskih i čeličnih konstrukcija, a moguće su kombinacije s betonskim stupovima i čeličnim zategama.

Konstrukcije od lameliranog drva istiskuju ostale vrste drvenih konstrukcija zbog veće otpornosti prema požaru, manje ovisnosti o serijskoj proizvodnji, te mogućnosti slobodnijeg oblikovanja.

Na sl. 24 vidi se drvena radionička hala sa šed-krovom u Heilbronnu (SR Njemačka), a na sl. 25 drvena skladišna hala u hamburškoj luci.

**Hale od sintetskih materijala.** Razvoj tehnologije sintetskih materijala i potreba brze gradnje hala, osobito za privremenu upotrebu, uvjetovali su gradnju hala od takvih materijala. Oblik i stabilnost hale održava se pomoću pretlaka u hali što ga stvaraju posebni ventilatori koji u nju trajno tlače zrak (sl. 26); zbog toga su nazvane *pneumatskim halama*.

Hale od sintetskih materijala upotrebljavaju se kao plastenici (v. *Gospodarsko graditeljstvo*) u poljoprivredi, za pokrivanje sportskih terena i privremenih radionica, za potrebe vojske i smještaj stanovništva u slučaju prirodnih katastrofa, za izložbene prostore.

Na sl. 27 vidi se plastenik poduprt čeličnim nosačima, na sl. 28 prekriveno plivalište u Cannesu (Francuska), a na sl. 29 paviljon SAD na izložbi u Tokiju (1970).

LIT.: R. N. Dent, *Principles of Pneumatic Architecture*. Architectural Press, London 1971. — Aluminium-Tragwerke. Aluminium-Verlag, Düsseldorf 1972. — W. Mayer-Bohe, *Stahlbetonbau*. A. Koch, Stuttgart 1974. — W. Mayer-Bohe, *Stahlhochbau*. A. Koch, Stuttgart 1974.