

Orbiter Challenger stradao je zbog eksplozije jedne od raketa prilikom lansiranja 28. siječnja 1986, kad je poginulo svih 7 članova posade.

D. Bazjanac

SVODOVI, masivni zasvođeni stropovi koji prekrivaju neki prostor, preuzimaju i prenose nepokretna i pokretna opterećenja, a opiru se o obodne zidove, lukove i stupove. Osim za stropove, svodovi su se u konkavnom obliku upotrebljavali i za temeljenje. Između svoda i luka nema bitne razlike, jer je luk zapravo bačvasti svod male duljine koji prekriva otvor u zidu.

Prema obliku svodovi mogu biti cilindrični, kad su svodne plohe dijelovi valjka ili tijela slična valjku, i sferni, kad su svodne plohe dijelovi kojega rotacijskog tijela, npr. kugle, elipsoida, paraboloida i dr. Rjeđe su svodne plohe dijelovi koničnih, konoidnih i posve nepravilnih zakrivljenih ploha.

Svodovi su se kao masivni stropovi postepeno razvili od bačvastog svoda skromnih raspona u Mezopotamiji i Egiptu do veebnih konstrukcija u rimskoj i bizantskoj arhitekturi, te poslije u romanici, gotici i renesansi. Danas se rijetko primjenjuju u zgradarstvu, jer su ih postepeno u XIX. i početkom XX. st. istisnule čelične i armiranobetonske konstrukcije. U XX. st., međutim, pojavljuju se ponovno svodovi u obliku tankostijeni armiranobetonskih ljsaka (v. *Ljuske*, TE 7, str. 623), koji su po izgledu slični starim svodovima, ali se u konstrukcijskom pogledu bitno od njih razlikuju.

Prema konstrukciji i materijalu razlikuju se *a*) zidani svodovi, izgrađeni od prirodnog ili umjetnog kamena povezanog mortom, *b*) lijevani svodovi, izgrađeni lijevanjem betona i *c*) kombinacija zidanih i lijevanih svodova (gdje je dio zidan, a međuprostor zaliven).

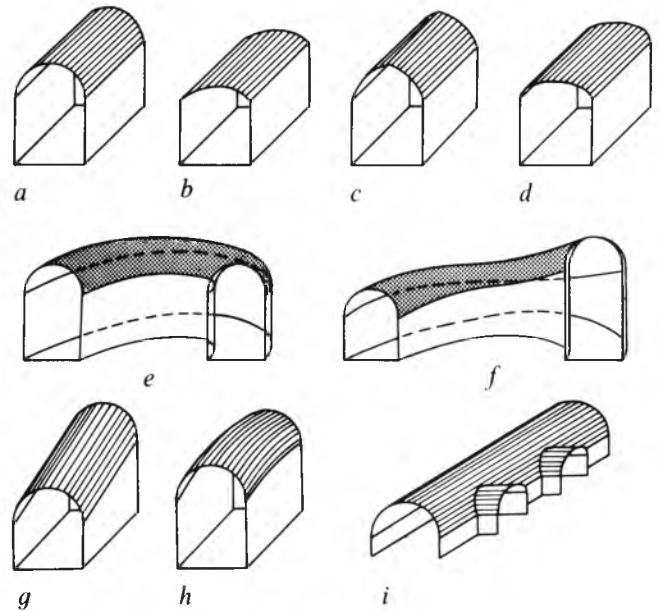
Opterećenje se svodova prenosi koso na uporišne zidove. Horizontalne komponente tog opterećenja (postrani potpisci) preuzimaju dovoljno jaki zidovi, po potrebi pojačani uporišcima (*kontraforima*), ili ugrađene čelične spone (*zatege*).

Svodovi su se redovito gradili nakon što je zgrada bila pokrivena i zaštićena od kiše, a uporišta su svodova već bila pripravljena u toku zidanja zidova. Uporište može biti usječeno u zid što oslabljuje zid, ili se svod, što je povoljnije, opire o istaknute opeke koje se ugrađuju istodobno s gradnjom zida. Svod se gradi od uporišta koje se naziva petom.

Svod se gradi na punim ili djelomičnim oblučilima. Oblučilo se sastoji od oplata izrađene od dasaka ili letava, koje čine donju plohu svoda, zatim od obluka od zbijenih dasaka ili platica koje se režu prema obliku svoda i na koje se pribija oplata, te konačno od skele sagrađene od stupova, greda i kosnika, koja nosi i podupire obluku. Između oblučila i skele ulazu se drveni klinovi ili se stupovi stavljaju u posude s pijeskom, da bi se oblučilo moglo postaviti točno na predviđenu visinu i da bi se, nakon što se svod sagrađi, oblučilo moglo lako spustiti i rastaviti. Oblučilo mora imati stanovito nadvišenje radi kompenziranja kasnijeg slijeganja svoda. U zgradarstvu su se obično gradili svodovi od obične ili lake opeke u cementnom ili produžnom mortu, dok su se svodovi većih građevina gradili od klesanog i lomljenog kamena. Reške na hrptu svoda naknadno su se zalijevale rijetkim cementnim mortom, a uglovi između svoda i uporišnih zidova izdavali su se opekama ili ispunjali betonom, da bi se pri većem opterećenju spriječila deformacije svoda i otvaranje rešaka. Ako iznad svoda dolazi ravan pod, on se izravna nasipavanjem što laganijim i sušim materijalom.

Vrste svodova. Postoji više vrsta i podvrsta svodova. To su bačvasti, samostanski, koritasti, zrcalni, križni, mrežasti, lepezasti i kupolasti svodovi.

Bačvasti svod. Dio valjka svodna je ploha bačvastog svoda. Prema obliku čelne linije bačvasti svod može biti pun (polukružan, sl. 1a), plosnat (segmentan, sl. 1b), šiljast (sl. 1c), ovalan (sl. 1d) i sl., a prema obliku osi svod može biti ravan (sl. 1a do d), zavojit (prstenast, sl. 1e), spiralan (sl.



Sl. 1. Bačvasti svodovi. *a* puni (polukružni), *b* plosnati (segmentni), *c* šiljasti, *d* ovalni, *e* puni zavojiti (prstenasti), *f* puni spiralan, *g* puni kosi, *h* puni savijeni bačvasti svod, *i* bačvasti svod s lunetama

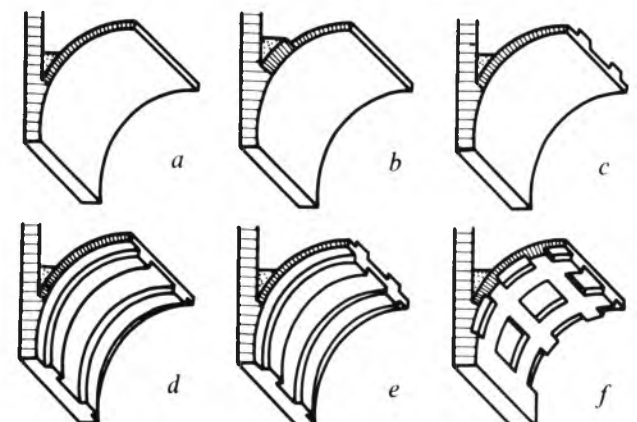
1f) i sl. S obzirom na položaj osi svoda prema čelnoj plohi svod je okomit (sl. 1a do d), kos (sl. 1g) i savijen (sl. 1h).

Bačvasti se svod upotrebljavao u zgradarstvu za presvođivanje uskih i dugih prostorija, a u građevinarstvu za presvođivanje kanala, propusta, mostova i tunela.

Rasvjeta prostora presvođenog bačvastim svodom najjednostavnija je preko čelnih ploha. Ako se otvori za rasvjetu moraju predvidjeti u uporišnim zidovima te ako zasijecaju u plohu svoda, potrebno je nad otvorom probiti donji dio svoda i otvor presvođiti malim svodovima (*lunetama*, sl. 1i) različitih oblika.

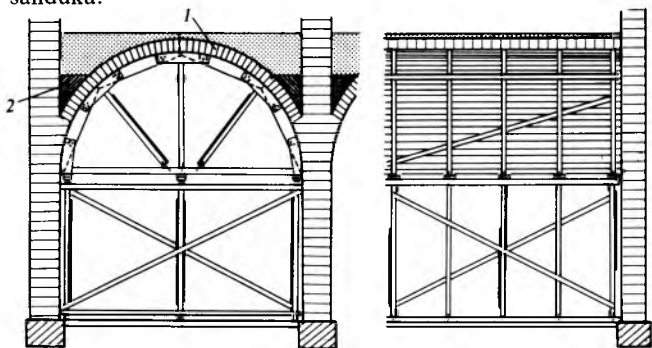
Debljina polukružnoga bačvastog svoda do raspona od 4m iznosi 1/2 opeke (sl. 2a) za normalno opterećenje. Za veće raspone i veća opterećenja potrebno je svod pojačati, pa se podebljava dio svoda (sl. 2b) ili cijeli svod. Svod se, osim toga, pojačava i lukovima. Lukovi se grade ili na gornjoj strani svoda (sl. 2c) i ne vide se u prostoriji, ili kao vidljiva rebra na donjoj strani svoda (sl. 2d) koja se nastavljaju na zidu kao pilastri ili leže na konzolama kao uporištima. Još se veće pojačanje postiže lukovima s gornje i s donje strane svoda (sl. 2e). Ako se lukovi postavje s donje strane i povežu uzdužnim rebriima usporedo sa svodnom osi, nastaje kasetirani bačvasti svod (sl. 2f).

Svod se gradi u uzdužnim, prstenastim ili kosim prstenastim slojevima. Kad se gradi u uzdužnim slojevima, pojedini



Sl. 2. Pojačanje bačvastog svoda. *a* nepojačan bačvasti svod, *b* bačvasti svod pojačan u donjem dijelu, *c* pojačan rebriima s gornje strane, *d* pojačan rebriima s donje strane, *e* pojačan rebriima s gornje i donje strane, *f* kasetirani bačvasti svod

slojevi se zidaju usporedno sa svodom osi, a ležajne ravnine prolaze kroz os valjka. Zida se usporedno s oba uporišta i završava se u tjemenu. Za takvu je gradnju potrebno potpuno oblučilo (sl. 3). Kad se gradi u prstenastim ili malo kosim lukovima, oblučilo može biti u obliku pomičnog obluka ili sanduka.

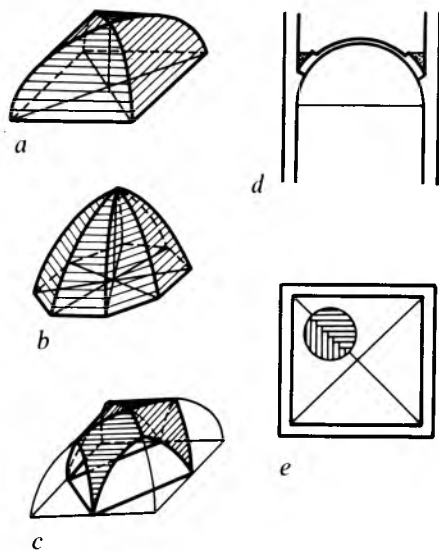


Sl. 3. Bačvasti svod s oblučilom. 1 svodjenje uzdužnim slojevima, 2 ispuna

Gradnja svoda na lastin rep upotrebljava se za plosnate svodove manjeg raspona. Tada se slojevi polažu u svakoj četvrtini svoda pod kutom od 45° prema svodnoj osi i opiru se o obodne i čelne zidove, a međusobno se razupiru.

Pruski svod je plosnat bačvasti svod kojem je visina ~1/10 raspona. Zbog male visine i jednostavne izradbe bio je vrlo proširen u XIX. st. prije primjene armiranobetonskih konstrukcija. Gradio se do raspona od 5 m, a veći su se prostori dijelili na usporedna polja lukovima međusobno udaljenim do 3 m ili čeličnim nosačima međusobno udaljenim do 1,8 m. Plosnati su se svodovi opirali o lukove ili o čelične nosače. Pruski su se svodovi najčešće gradili prstenastim lukovima na pomičnoj oplati.

Samostanski svod je zatvoren svod (sl. 4a i b) kojem su svodne plohe dijelovi valjaka jednake visine. Svod ima jednu tjemenu točku, koja je obično iznad težišta tlocrta, i toliko svodnih ploha i uporišta koliko je stranica tlocrta. Presječne svodnih ploha projiciraju se u tlocrtu kao pravci (sl. 4e) koji spajaju tjeme s uglovima tlocrta. Samostanski se svod može izgraditi i na nepravilnom tlocrtu ako razlike među stranicama nisu velike. Ako je zadana jedna svodna ploha ili jedan dijagonalni luk, određene su i sve ostale plohe.



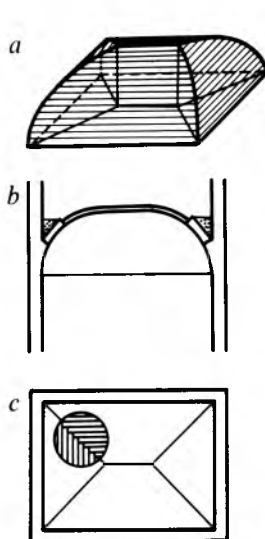
Sl. 4. Samostanski svod. a puni, b šiljasti, c otvoreni samostanski svod, d presjek, e tlocrt samostanskog svoda

Polukružni i slični svodovi grade se s uzdužnim slojevima, a plosnati svodovi s kosim slojevima u obliku lastina repa. Do raspona od 4 m debljina svoda iznosi 1/2 opeke, a kad su rasponi veći, svod se pojačava dijagonalnim lukovima i debljim donjim krakovima (sl. 4d). Oblučilo je u obliku

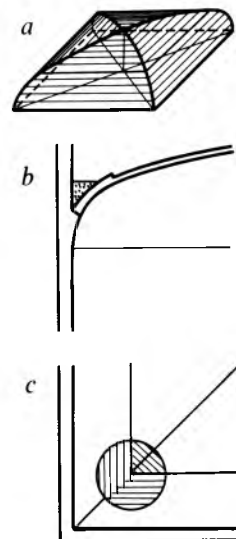
zatvorene kape i sastoji se od oplata, dijagonalnih rebara, međurebara i poduporne konstrukcije.

Ako se unutar osnovke samostanskog svoda upiše manji tlocrt s vrhovima u polovištima stranica osnovke, a uglovi se osnovke odsijeku okomitim ravninama, nastaje otvoreni samostanski svod (sl. 4c) kojemu se dijagonalni lukovi opiru o tjeme čelnih lukova.

Koritasti svod (sl. 5) gradi se na duguljastu četverokutnu tlocrtu s dvije usporedne stranice, a jednak je bačvastom svodu kad su mu čelne stranice zatvorene jednakim cilindričnim polusvodovima.



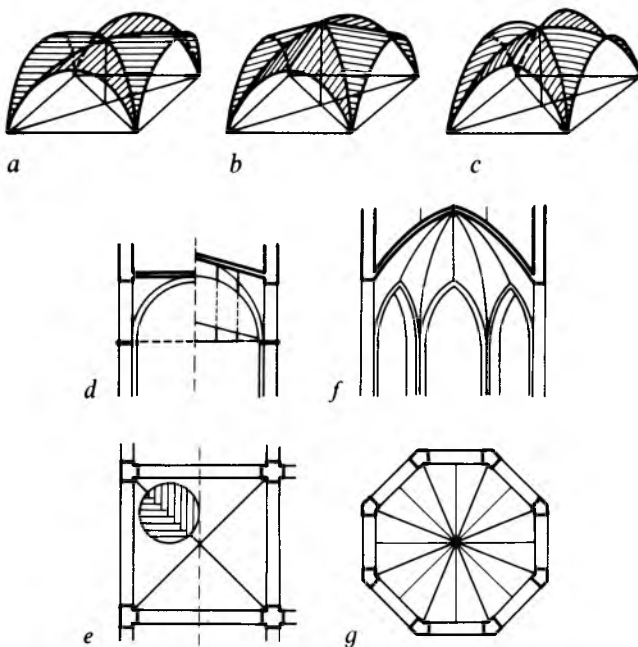
Sl. 5. Koritasti svod. a pogled, b presjek, c tlocrt



Sl. 6. Zrcalni svod. a pogled, b presjek, c tlocrt

Zrcalni svod (sl. 6) kombinacija je bačvastog i samostanskog svoda. Na uporišne zidove oslanja se poput užljebine polovica bačvastog svoda o koji se upire vrlo plosnat samostanski svod, tzv. zrcalo. Prijelaz užljebine bačvastog svoda i zrcala posebno je profiliran, a užljebina je često probijena lunetama iz dekorativnih razloga.

Križni (nakrsni) svod (sl. 7). Svodne plohe cilindričnih križnih svodova nastaju presijecanjem valjaka iste visine.



Sl. 7. Križni svod. a puni križni svod, b šiljasti križni svod s usponom, c šiljasti križni svod sa segmentnim sljemenom, d presjek punoga križnog svoda s ravnim tjemenu i s tjemenu s usponom, e tlocrt punoga križnog svoda, f presjek, g tlocrt šiljastoga križnog svoda

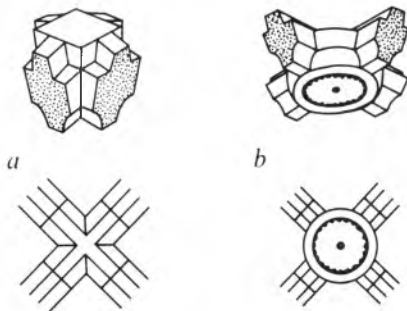
Takvi se svodovi mogu izgraditi na svakom višestraničnom tlocrtu. To je otvoren svod, a prednost mu je prema ostalim vrstama svodova što mu se opterećenja prenose dijagonalnim rebrima samo na uglove, odnosno na stupove. Svodovi se mogu nizati jedan za drugim i tako prekrivati velike površine koje su međusobno odijeljene samo stupovima. Rebra, koja su presječnice svodnih ploha, projiciraju se u tlocrtu kao pravci koji spajaju težište tlocrta s vrhovima, a tjemene linije projiciraju se također kao pravci koji spajaju težište s tjemenom čelnih lukova. Oblik svoda ovisi o tlocrtu, čelnim lukovima i tjemnim linijama. Čelni lukovi mogu biti polukružni (sl. 7a), šiljasti (sl. 7b i c), segmentni i sl., a tjemena linija može biti horizontalni (sl. 7a) i nagnuti pravac (sl. 7b) ili segment neke krivulje (sl. 7c), pa su valjci od kojih se sastoje svodne plohe horizontalni, kosi ili savijeni. Kad je za cilindrični križni svod određena jedna ploha, određene su i sve ostale.

Debljina svodova od opeke do raspona od 3 m iznosi 1/2 opeke, dok se svodovi većih raspona pojačavaju u prvom redu dijagonalnim rebrima. Svodovi s rasponom većim od 4 m grade se s malim usponom (1/30 duljine dijagonale) da bi se kompenziralo naknadno slijeganje. Manji se rasponi zasvođuju uzdužnim slojevima i ravnim ležajnicama, a veći rasponi i sferne plohe zasvođuju se u obliku lastina repa, s ležajnim ravninama okomitim na dijagonalno rebro. Peta svoda zida se isticanjem slojeva istodobno sa zidanjem zida, a prostor se između svoda i zida naknadno ispunja opekama ili betonom do 2/3 visine svoda.

Sferni križni svodovi imaju dijelove kugle kao svodne plohe koje su određene čelnim i dijagonalnim lukovima tako da dva kruga koji se dodiruju u uporištu određuju sfernu plohu koja je između njih.

Dijagonalna rebra i čelni lukovi mogu se zbog konstrukcijskih i arhitektonskih razloga izraditi od klesanog kamena. Oni su profilirani i vidljivi s donje strane. Duljina pojedinih klesanaca iznosi 1...1,5 m. Oni su međusobno povezani bakrenim ili pocinčanim trnovima, a ležajnice su ispunjene cementnim mortom. Rebra se postavljaju na obluka, a svodne se ljuske, debljine 1/2 opeke, naknadno izdavaju i upiru se o ležajeve isklesane na gornjoj strani rebra.

Profilirana rebra mogu završiti na kapitelima stupova ili na konzolama zida, a mogu se i nastaviti bez prekida na stupove ili zidove. Da bi se izbjegao prevelik istak kapitela ili konzole, rebra se međusobno spajaju do mjesta gdje su potpuno razvijena. Kamena rebra u tjemenu završavaju zaglavnom kamenom (sl. 8a) ili rozetom (sl. 8b) na kojoj su već isklesani izdanci rebra.

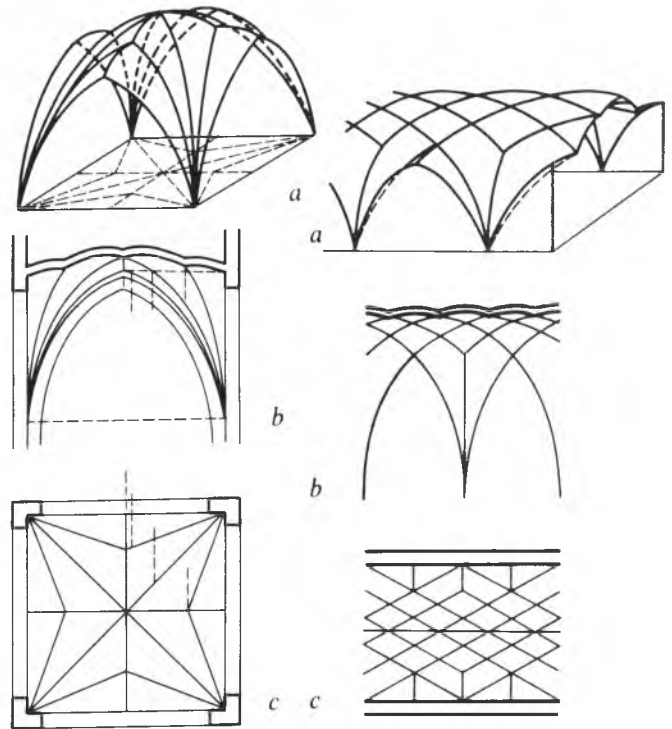


Sl. 8. Završeci kamenih rebra u tjemenu križnog svoda. a zaglavni kamen, b rozeta

Zvezdasti svod (sl. 9) podvrsta je križnog svoda. Površine između dijagonalnih i čelnih lukova podijeljene su međurebrima i tjemnim lukovima u manja trokutasta polja.

Rebra tvore zvezdoliku okosnicu, a između njih su razapeti tanki sferni svodovi. Radi jednostavnije izvedbe, sva rebra koja polaze iz istog uporišta mogu biti jednakog polumjera.

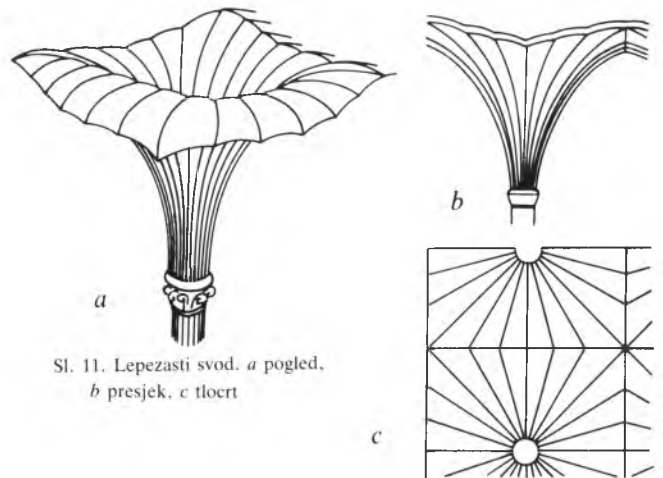
Mrežasti svod (sl. 10). Projekcija rebra na tlocrtu površinu tvori dekorativnu mrežu, često fantastična oblika. Kad je mrežasti svod cilindričan, rebra leže na površini valjka, a uporišta su pobijena lunetama.



Sl. 9. Zvezdasti svod. a pogled, b presjek, c tlocrt
Sl. 10. Mrežasti svod. a pogled, b presjek, c tlocrt

Lepezasti svod je sferni svod kojemu svodna ploha nastaje rotacijom čelnoga polukružnog, šiljastog ili dijagonalnog luka oko vertikalne osi, koja može biti u kutu tlocrta, na zidnim polustupovima ili na samostalnim stupovima. Rotacijom čelnih lukova nastaje na tjemenu među rubovima svoda zrcalo, obrubljeno profilima i zasvođeno plosnatim kupolastim svodom, dok rotacijom dijagonalnog luka nastaje svodna ploha u obliku lijevka s rebrima (sl. 11) koja se granaju iz stupova, a sijeku se u tjemnim krivuljama.

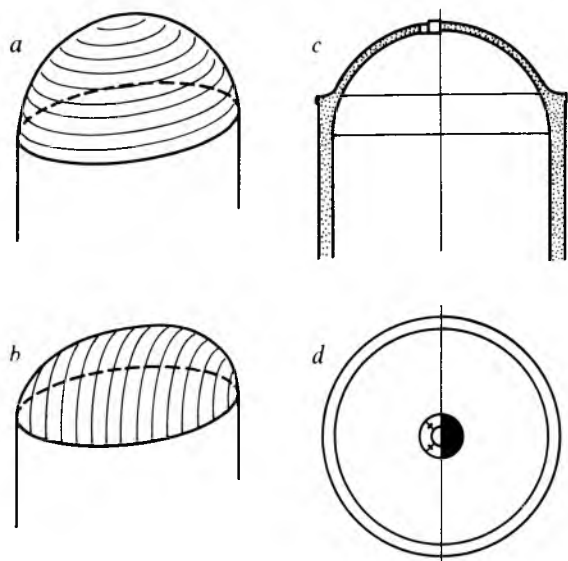
Normanski ili viseći svod podvrsta je lepezastog svoda, koji ima mali dekorativni lepezasti svod obješen u zrcalu o jake dijagonalne šiljaste lukove.



Sl. 11. Lepezasti svod. a pogled, b presjek, c tlocrt

Kupolasti svod. Svodna ploha kupolastih svodova nastaje rotacijom neke krivulje (polukružnice, segmenta kružnice, elipse i dr.) oko vertikalne osi ili rotacijom elipse ili ovala oko horizontalne osi. Tada se uvijek dobivaju kružnice kao presjeci s ravninama okomitim na os rotacije. Kupolasti je svod vrlo sličan samostanskom svodu, jer se može pretpostaviti da je on kupola samostanskog svoda iznad višekutnog tlocrta s neizmjereno mnogo stranica. Zbog toga se uobičajilo da se samostanski svodovi velikih dimenzija nazivaju kupolama.

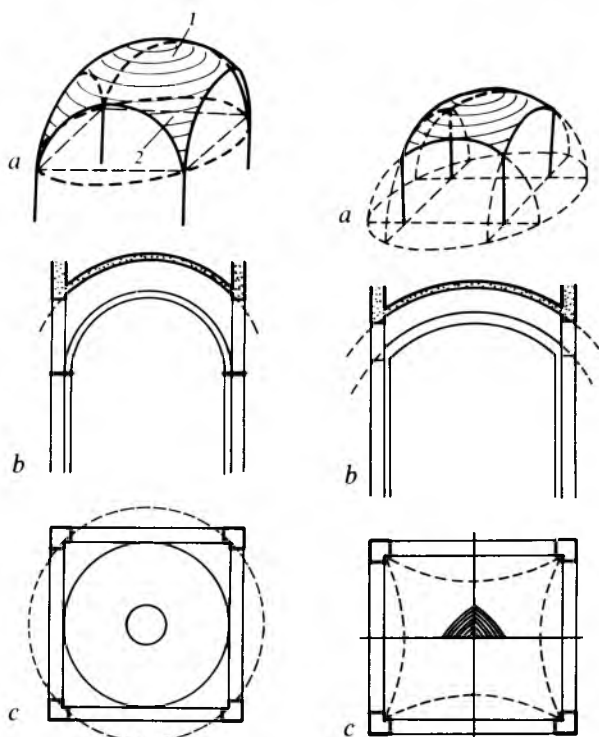
Najjednostavniji je kupolasti svod kad je tlocrt kružnica, elipsa ili oval. Tada se stijene kupole savijaju do tjemena (sl. 12).



Sl. 12. Kupolasti svod. *a* kupola na kružnom tlocrtu, *b* kupola na ovalnom tlocrtu, *c* presjek, *d* tlocrt kupole na kružnom tlocrtu

Višekutni tlocrti mogu se presvoditi opisanim ili upisanim kupolastim svodom. Višekutni tlocrt ne mora biti zatvoren punim zidovima, pa je često otvoren, sa stupovima u uglovima. Stupovi su povezani lukovima koji preuzimaju opterećenje kupole i prenose ga na stupove.

Upisani kupolasti svod nastaje kad se iznad poligonskog tlocrta postavi kupola kojoj osnovka dodiruje vrhove tlocrta, a vertikalnim se ravninama odsijeku dijelovi svoda koji su izvan konture tlocrta (sl. 13). Tako nastaju polukružni čelni



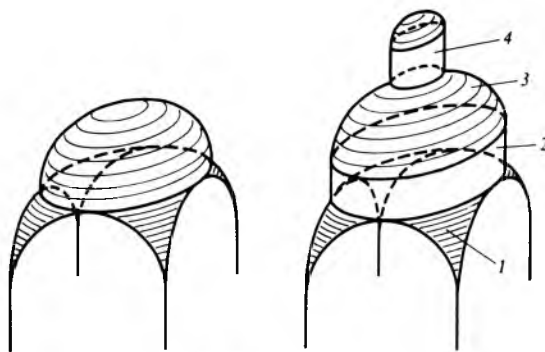
Sl. 13. Opisani kupolasti svod. *a* pogled, *b* presjek, *c* tlocrt, *1* kalota, *2* pandantiv

Sl. 14. Češki plosnati svod. *a* pogled, *b* presjek, *c* tlocrt

lukovi kad je kupola kružna, a čelni su lukovi iste visine kad je tlocrt istostraničan poligon. Plosnati dio svoda koji je iznad kruga i koji dira tjemena čelnih lukova naziva se *kalotom*, a sferni trokuti između čelnih lukova i osnovke kalote *pandantivima*.

Češki plosnati svod (sl. 14) zapravo je opisani kupolasti svod kojem visina u tjemenu iznosi $1/6 \cdot 1/10$ dijagonalnog raspona, a ploha je svoda dio opisane kugle, elipsoida ili koje druge sferne plohe. Središte je opisane kugle u težištu tlocrta, a čelni su lukovi segmenti. Kad je tlocrt nepravilan, lukovi su različite visine, a ni uporišta ne moraju biti u istoj visini.

Upisani kupolasti svod. Osnovka upisane kupole dodiruje stranice tlocrta. Za prijelaz od poligona u kružnu osnovku kupole služe pandantivi, sferni trokuti koji su dio opisane kupole. Polukružni kupolasti svod, koji leži izravno na pandantivima naziva se *bizantskom kupolom* (sl. 15).



Sl. 15. Upisana bizantska kupola

Sl. 16. Renesansna kupola. *1* pandantiv, *2* tambur, *3* kupola, *4* laterna

Ako se između pandantiva i kupole umetne cilindrična nadogradnja (*tambur*) s vijencem prozora za rasvjetu, nastaje *renesansna* kupola (sl. 16). Velike kupole često imaju u tjemenu okrugli otvor za rasvjetu (*oko*) iznad kojeg je opet manja cilindrična nadogradnja (*laterna*), pokrivena malom kupolom (sl. 16).

Gradnja kupolastih svodova. Svodovi malih kupola, do raspona od 12 m, gradili su se prstenastim slojevima, a ležajne su plohe bile nagnute prema središtu kupole. Debljina se kupole smanjivala od uporišta do tjemena. Kupola se završavala okom u tjemenu, prstenom od opeke ili od klesanca. Oko može biti zatvoreno ili, radi rasvjete, otvoreno. Pandantivi su se gradili usporedo sa zidanjem zida postepenim isticanjem slojeva koji završavaju horizontalnim lukovima. Češki plosnati svod gradio se redovito u obliku lastina repa, sa slojevima okomitim na dijagonalne lukove svoda.

Veće su se kupole sastojale od jač rebara koja se meridionalno dižu od osnovke do tjemena prstena. Između rebara izrađivao se tanak sloj, zasvođen u obliku lastina repa. Kasetirane kupole imaju između glavnih rebara horizontalna međurebra. Prostor uz gornju površinu zatvoren je tanjim svodom. Kupole velikih raspona gradile su se kao dvostruki kupolasti svod povezan rebrima. Između jakih vertikalnih rebara razapinju se dvije ljsuke kao svodovi, vanjski uz gornju, a unutrašnji uz donju površinu rebara.

Danas se kupole grade kao tanke armiranobetonске ljsuke.

LIT.: G. Wanderley, Die Konstruktionen in Stein. Verlag J. J. Arnd, Fulda-Leipzig 1895. – H. Ebinghaus, Der Hachbau. H. Kilinger Verlagsgesellschaft, Nordhausen 1941. – P. Krstić, Arhitektonske konstrukcije 2. Naučna knjiga, Beograd 1957. – Z. Vrkljan, Građevne konstrukcije II. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1962. – D. Smiljanić, Arhitektonske konstrukcije I., 2. dio. Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo 1967. – Đ. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada, I. dio. Tehnička knjiga, Zagreb 1980.