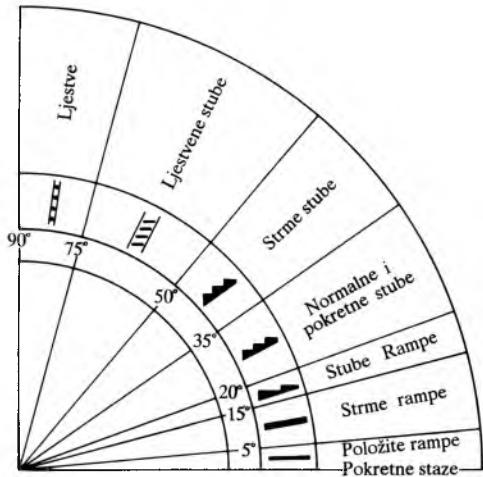


STUBIŠTA, građevne konstrukcije koje služe za osobnu komunikaciju između katova zgrade, za pristup do zgrada i za svladavanje različitih razina na terenu ili u nekom prostoru. Sastavljena su od niza stuba prilagođenih normalnom koraku.

Stube se moraju tako projektirati da se po njima može sigurno, brzo i sa što manje napora svladati uspon, te da budu prilagođene prometu koji se njima odvija. One su važan arhitektonski i konstruktivski element zgrade, a njihova vrsta i oblik ovise o vrsti, veličini i značenju zgrade, raspoloživom prostoru, materijalu i odabranoj konstrukciji. I prostor gdje se nalaze stube naziva se stubištem (stopeništem).



Sl. 1. Vrste vertikalnih komunikacija s obzirom na nagib

Za svladavanje visinskih razlika, osim stuba, upotrebljavaju se rampe, pokretnе stube, pokretnе staze, ljestvene stube i ljestve. Njihova upotreba ovisi o nagibu koji treba svladati (sl. 1). Za okomitу komunikaciju u visokim zgradama upotrebljavaju se dizala i paternosteri.

Već je u početku razvitke arhitekture zapaženo da stube mogu neupadljivo služiti svojoj svrsi, ali da one mogu biti monumentalno izražajno sredstvo koje



Sl. 2. Prilazne monumentalne stube

ujedinjuje svršishodnost i ljepotu. U arhitekturi starog vijeka nije se stubama unutar zgrade poklanjala posebna pažnja, pa su one obično bile neugledne i strme, ali su često slobodne prilazne stube imale monumentalne karakteristike (sl. 2). U srednjem vijeku ugradivale su se stube u tornjeve kružna oblika. U doba renesanse u palačama i javnim zgradama gradena su prostrana, reprezentativna i bogato dekorirana stubišta. To je još više naglašeno u razdoblju baroka.

Danas u visokim zgradama za osobnu komunikaciju služe mehanička transportna sredstva, a stube su potrebne samo kao vertikalna veza u slučaju kvara mehaničkih transportnih sredstava ili požara.

Stubište se sastoji od stuba, a više stuba iste visine čine krak stubišta. Prema broju krakova u jednom katu, stubišta su jednokraka, dvokraka ili višekraka, a prema smjeru uspinjanja, odnosno prema smještaju prihvavnika, ona su desna ako se pri uspinjanju skreće udesno, odnosno ako je prihvavnik s desne strane. Analogno vrijedi za lijeva stubišta. Prva stuba u kraku naziva se početnom, a posljedna, koja je već dio podesta, završnom. Podest ili odmoriste horizontalna je površina između krakova. Gornja se horizontalna površina stuba naziva gazištem ili nastupnicom, a prednja površina čelom. Uspon je stubišnog kraka omjer širine gazišta (a) i visine čela (s).

Visina je stube visinska razlika između dvaju gazišta, a širina je horizontalni razmak prednjih rubova dviju uzastopnih stuba. Korisna duljina stube, odnosno širina kraka razmak je između unutrašnjeg ruba prihvavnika i zida.

Visina i širina stuba moraju biti u nekom međusobnom odnosu. Prosječna duljina kraka odrasla čovjeka po horizontalnoj površini iznosi 63 cm. Što je površina strmija, korak postaje kraći, pa se pri uspinjanju po stubama normalne visine, koja iznosi 14…18 cm, korak smanjuje za dvostruku visinu stube. Zbog toga je širina stube određena izrazom

$$a = 63 - 2s. \quad (1)$$

Nekada se upotrebljava i izraz $a = 50,25 - 1,25s$ koji daje uz veću visinu stube nešto veću širinu, odnosno uz manju visinu nešto manju njenu širinu.

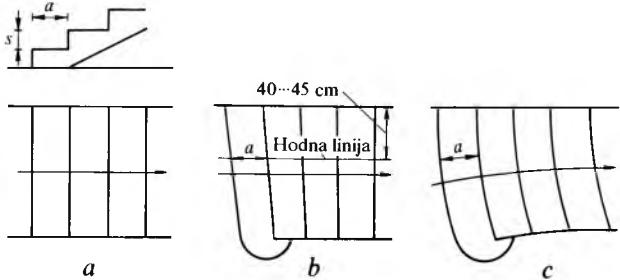
U stambenim zgradama visina stuba iznosi 14…18 cm, a širina najmanje 28 cm. S obzirom na utrošak energije za penjanje po stubama optimalan je nagib stubišta određen omjerom širine i visine stuba, a iznosi $a/s = 29/17$. Stube koje vode u nenastanjenu tavan ili podrum, te sigurnosne stube moraju biti široke najmanje 25 cm, a visoke najviše 20 cm.

Vrste stuba razlikuju se prema položaju, namjeni, obliku i konstrukciji.

Prema položaju stube mogu biti unutrašnje i vanjske. Unutrašnje su stube smještene u zatvorenu prostoru, stubištu, i one spajaju katove ili različite razine u zgradama. Vanjske su stube na otvorenu i služe za pristup zgradama ili kao veza različitih razina na terenu.

Prema namjeni, stube mogu biti glavne i sporedne. Glavne stube služe za vezu među svim katovima u zgradama i za nesmetan izlaz iz zgrade. One moraju biti lako pristupačne, masivno gradene, natkrите i vatrosigurne. Sporedne stube povezuju prostorije iste namjene u katovima ili služe u vatrosigurnosne svrhe kad je spriječen promet glavnim stubama.

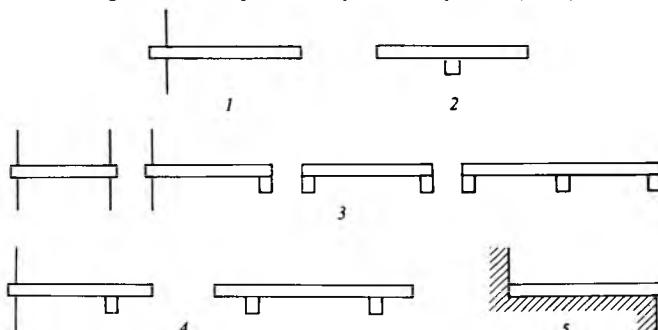
Prema obliku, krakovi stubišta mogu biti ravni, klinasti i savijeni. Stube su ravne kad su širine gazišta po cijeloj duljini kraka jednake. Stube su klinaste ako im je širina normalna na hodnoj liniji koja je 45 cm udaljena od vanjskog zida. Ta se širina, međutim, ne mijenja. Savijene stube mogu biti



Sl. 3. Oblici krakova stuba: a) ravni, b) klinasti, c) savijeni

konveksno ili konkavno savijene, ali su jednake širine i često različitih duljina (sl. 3).

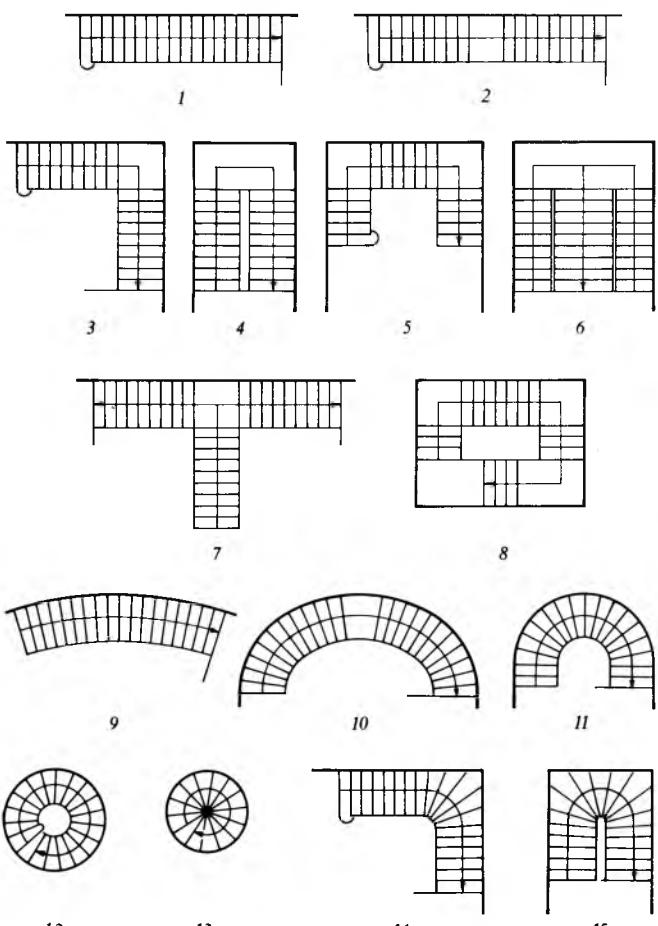
Prema konstrukciji, stube mogu biti konzolne, upete na jednom uporištu u sredini, položene ili upete na dva ili tri ležaja i djelomično položene ili upete i konzolne. Konačno, stube mogu ležati na podlozi cijelom duljinom (sl. 4).



Sl. 4. Konstrukcije stuba: 1 konzolne, 2 upete na jednom uporištu u sredini, 3 položene ili upete na dva ili tri ležaja, 4 djelomično položene ili upete i konzolne, 5 ležaj po cijeloj duljini stuba

Krakovi stuba mogu biti ravni, lučni ako je osovina kraka lagano savijena, zavojiti, spiralni ako je osovina kraka zatvorena krivulja te mješoviti ako je osovina kraka djelomično ravna i djelomično krivulja (sl. 5). Za glavna se stubišta preporučuju ravni ili lagano savijeni krakovi.

Sve stube kraka moraju biti jednake visine, a među krakovima istog stubišta treba da bude razmak od 10 cm. U jednom kraku ne bi trebalo biti više od 15–18 stuba. Treba



Sl. 5. Krakovi stuba. 1 jednokrake ravne desne stube, 2 dvokrake ravne desne stube, 3 dvokrake L-stube, 4 dvokrake U-stube, 5 trokrake U-stube, 6 trokrake m-stube, 7 trokrake T-stube, 8 četverokrake stube, 9 jednokrake lučne stube, 10 dvokrake ovalne stube, 11 jednokrake polukružne stube, 12 spiralne stube, 13 pužaste stube, 14 jednokrake zavojite L-stube, 15 jednokrake zavojite U-stube

izbjegavati samo jednu ili dvije stube u kraku. Ako se to, međutim, ne može izbjegići, treba da se u boji razlikuju od ostalog poda da bi se lako zapazile.

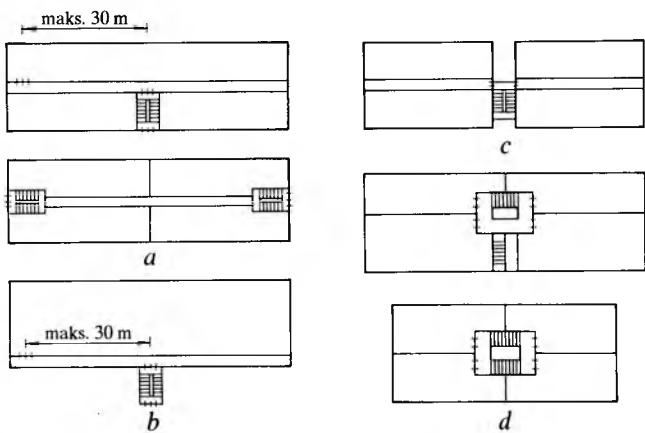
Koliko će biti stuba u katu, određuje se tako da se najprije visina kata podijeli približnom visinom stuba, a zatim se visina kata podijeli tako dobivenim brojem stuba i dobiva se točna visina stube. Pomoću izraza (1) određuje se širina stube.

Širina krakova ovisi o namjeni stubišta i o prometu koji se očekuje. Ta je širina redovito propisana. Korisna širina kraka u stambenim zgradama sa dva stana i za sigurnosna stubišta iznosi 90 cm, a unutar stana ili poslovnih prostorija 80 cm. U stambenim zgradama do šest stambenih katova i s najviše 20 stanova, te u zgradama namijenjenima javnoj upotrebi, ako služe za najviše 100 osoba, širina kraka iznosi 120 cm. Ako ima još više katova ili stanova ili ako se broj osoba poveća za stotinu, širina se kraka povećava za 30 cm. Za još više osoba treba širinu kraka odabrati prema prometnom opterećenju. Ne preporučuju se krakovi širi od 250 cm, već više glavnih stubišta.

Duljina podesta istosmjernih stubišta treba da bude jednak duljini koraka povećanog za širinu stube.

Širina podesta dvokrakih stuba u obliku slova U treba da bude najmanje jednak širini kraka, a glavnog podesta još i nešto veća. Kad stubišta imaju krakove različitih širina, širina se podesta ravna prema širem kraku.

Položaj stubišta (sl. 6). Glavno je stubište višekatnih zgrada smješteno redovno unutar zgrade uz vanjsku stijenu i osvijetljeno u svakom katu prozorom koji se može otvarati. Ono može, međutim, biti zaseban element prislonjen uz zgradu ili između zgrada. Izuzetno se dopušta smještaj stubišta unutar zgrade bez bočne rasvjete u građevinama s najviše 8 stambenih katova ako su krakovi razmaknuti najmanje za širinu krakova i ako je ujedno osigurana danja rasvjeta kroz stubišni strop, zatim prirodna ventilacija i naprava za odvod dima koja se dade otvarati u predzadnjem katu i u prizemlju. Dizala moraju tada biti pristupačna iz odijeljenog prostora.



Sl. 6. Položaj stubišta u višekatnim zgradama: a u zgradi uz vanjski zid, b izvan zgrade, c između zgrada, d unutar zgrade

Prema propisima nijedan ulaz u prostorije ne smije biti udaljen od stubišta više od 30 m hoda. Pristup do stubišta mora biti pregledan i što kraći. Širina glavnog ulaza mora biti najmanje jednak širini stubišnog kraka, a svjetla visina glavnog ulaza i sve visine unutar stubišta moraju iznositi najmanje 210 cm. Ako je ulaz kombiniran s kolnim ulazom, slobodan profil ulaza mora biti najmanje 300 cm × 420 cm.

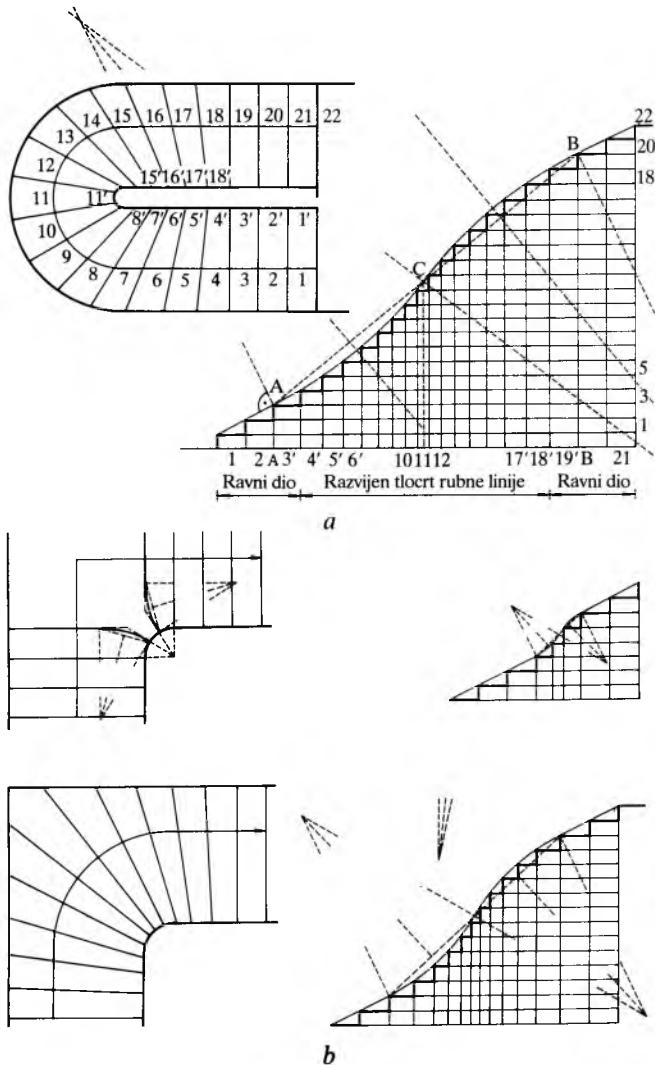
U stambenim zgradama sa dva kata, s posebnim stanom u svakom katu, pristup do gornjeg stana može biti s otvorenim prigradenim, ali natkritim stubištem.

Sigurnosne stube moraju voditi izvan zgrade izravno ili kroz tunel. Pristup do njih u katovima treba biti preko balkona, lođa ili galerija, da bi se sprječio prodor dima ili vatre na stubište. Ako su pri galerijskom tipu gradnje sigurnosne stube u obliku ljestava postavljene na kraju galerije kao nužni izlaz, one se prekidaju u svakom katu, a

otvori za prolaz moraju biti izmjenično raspoređeni u katovima.

Zavojite stube. Ako nema dovoljno prostora ili zbog uštede stubišnog prostora, rade se zavojita i ravna stubišta s klinastim stubama kojima se normalna širina nalazi na hodnoj liniji udaljenoj 40...45 cm od vanjskog ruba. Tada je dio stuba ili su sve klinasta oblike.

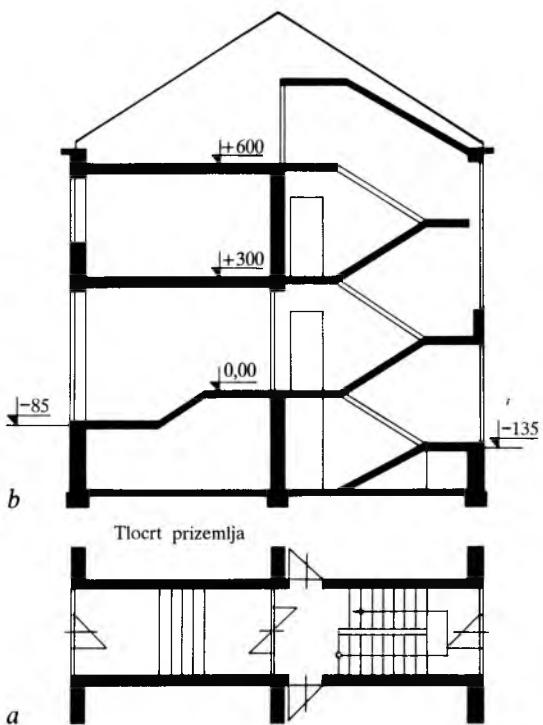
Sirina na najužem unutrašnjem rubu gazišta ne smije biti manja od 23 cm kad je stubište lagano zavojito, a kad je stubište sporedno, već prema njegovoj namjeni, širina ne smije biti manja od 7...13 cm. Prijelaz od normalnog na uže rubove gazišta radi se postupno i postoji više metoda, već prema tome kako se konstruira taj prijelaz.



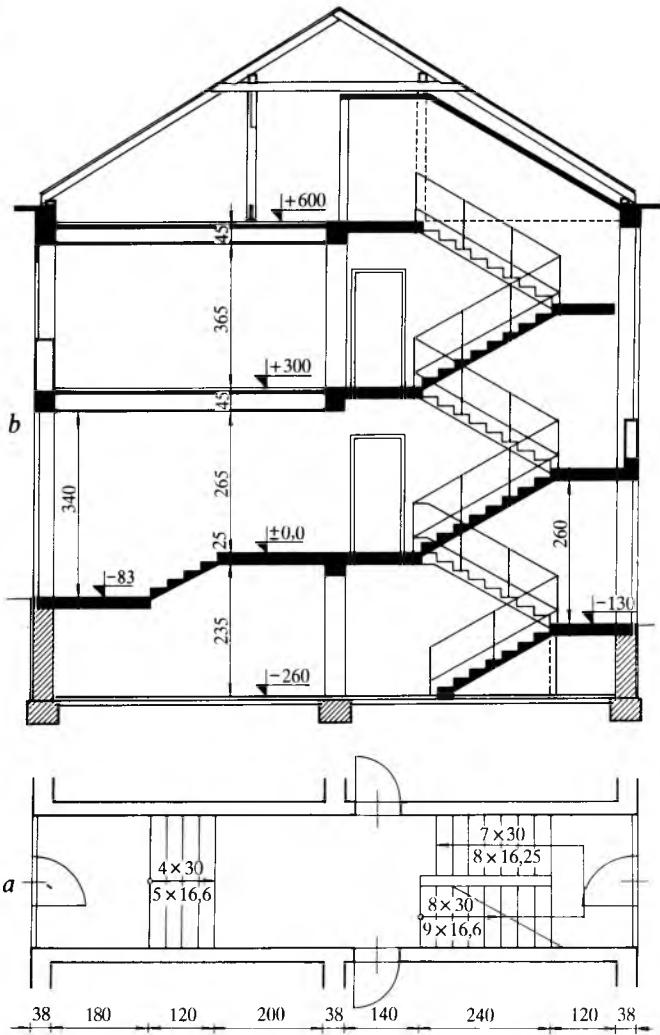
Sl. 7. Zavojite stube, konstrukcija lučnom metodom: a U-stube, b L-stube

Najbolja je lučna metoda (sl. 7) kod koje razvijeni unutrašnji rub i prihvativni prelaze iz nagiba u nagib postupno u tangenti. U tom se postupku na apscisu nanosi razvijeni tlocrt rubne linije, a na ordinatu visine stuba. Spoje li se vrhovi zadnjih ravnih stuba u kraku, konstruirat će se tangentni lučni prijelaz. Presjekom visina stuba s tom krivuljom dobivaju se širine klinastih stuba na unutrašnjem rubu, pa se one prenose na apscisu. Ako se širina gazišta na najužem dijelu dobije manja od 7 cm, savijanje stuba treba početi prije.

Nacrti stuba. U idejnim nacrtima u mjerilu 1:200 crtaju se u tlocrtu krakovi sa stubama, podestim, te smjer uspinjanja punim tankim linijama (sl. 8). Pritom se prvi krak koji polazi u gornji kat ucrtava samo do kose linije koja ga presjeca. U ostalom dijelu tlocrta crtaju se vidljivi dijelovi krakova i



Sl. 8. Način prikazivanja stuba u mjerilu 1:200, idejni nacrt: a tlocrt, b presjek



Sl. 9. Način prikazivanja stuba u mjerilu 1:100, glavni nacrt: a tlocrt, b presjek

podesta koji vode od nižeg kata do tlocrta onog kata koji se prikazuje na nacrtu.

U nacrtu presjeka označuju se presječeni krak i podest debelom kosom linijom, a nepresječeni krakovi u pogledu tankim linijama. Idejni se nacrti ne kotiraju.

Ako se idejni nacrt iznimno crta u mjerilu 1:500, tada se krakovi crtaju bez pojedinih stuba i označuju se smjerom uspona.

U glavnim nacrtima u mjerilu 1:100 crta se tlocrt stubišta kao u idejnem nacrtu, ali se na svakom kraku uz liniju uspona upisuje broj stuba i kao razlomak širina i visina stuba u prikazanom kraku (sl. 9). U tlocrtu se kotira ukupna duljina i širina stubišta, te duljine i širine krakova i podesta. Ujedno se upisuju visinske kote katova od početne kote 0,0 koja je u prizemlju stubišta. Ograda se ucrtava samo ako je puna, i to tankim linijama.

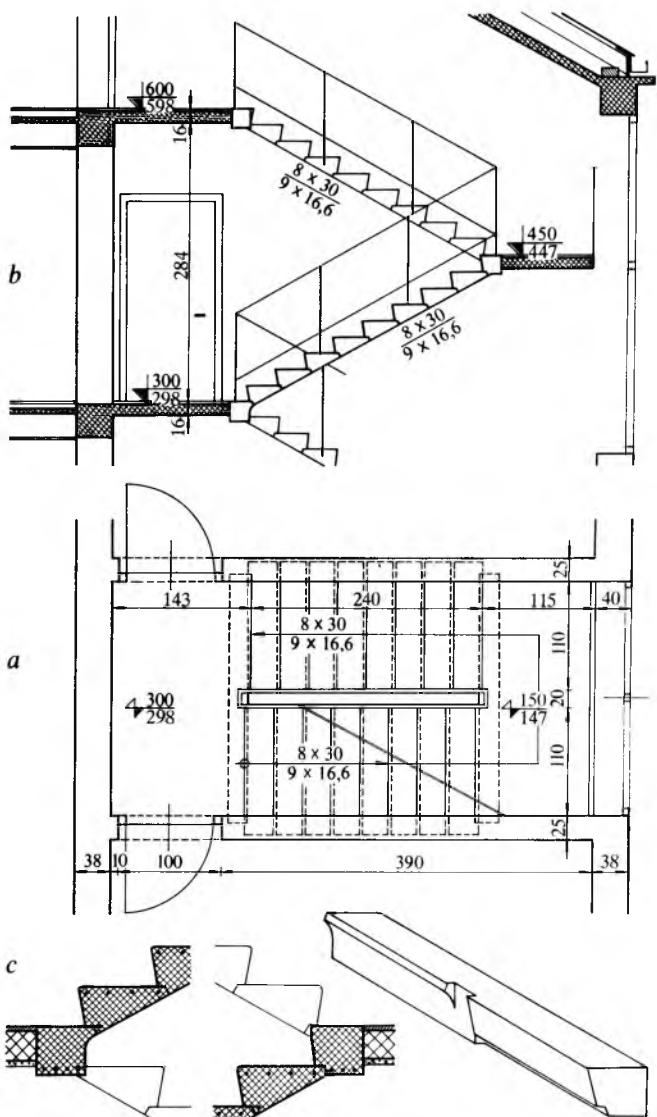
U presjeku se crtaju presječeni krakovi i podesti debelim linijama, a krakovi u pogledu tankim konturnim linijama. Ograda se označuje tankim linijama shematski. Upisuju se visinske kote katova i podesta, te visine katova i debljina podesta.

U izvedbenim nacrtima u mjerilu 1:50 ucrtavaju se u tlocrt konstrukcijski detalji, i to vidljivi dijelovi punim tankim linijama, a skriveni i ugrađeni dijelovi crtkanim linijama (sl. 10). Na svakoj se stubi upisuje redni broj gazišta, a na podestima visinske kote poda i konstrukcije podesta. Detaljno se kotiraju sve mjere, a u presjeku se ucrtavaju svi važniji konstrukcijski detalji.

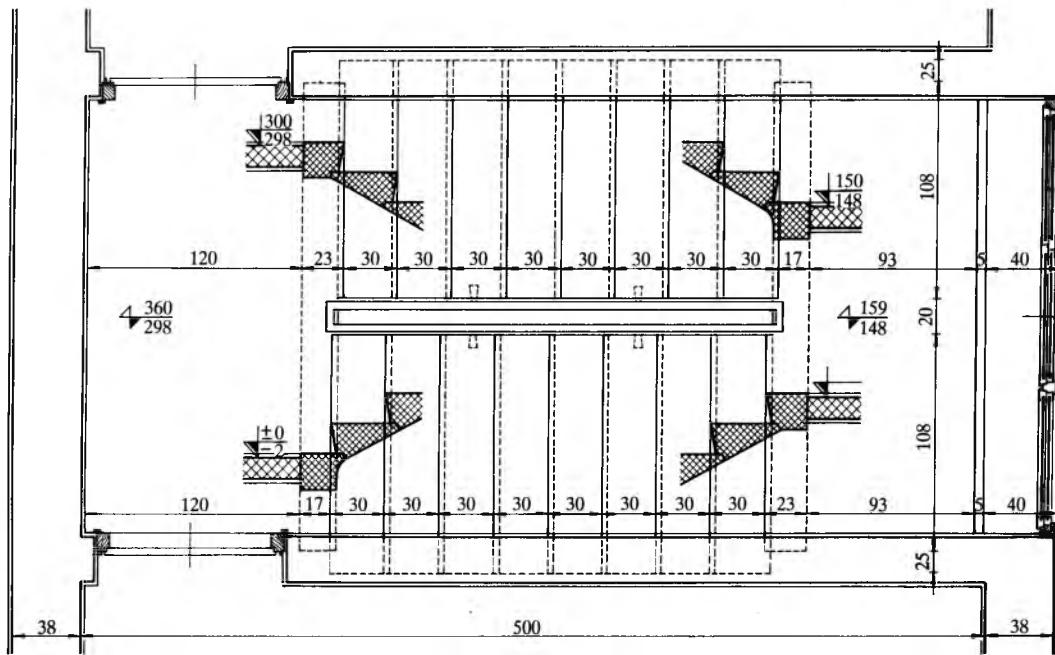
U detaljnim nacrtima u mjerilima 1:20 i 1:10 odstupa se od načina crtanja u manjim mjerilima, te se u tlocrtu prikazuju svi krakovi kata od sredine donjeg do sredine gornjeg podesta (sl. 11). Na svakoj se stubi upisuje redni broj i ucrtavaju svi važniji konstrukcijski detalji, i to vidljivi punim linijama, a skriveni crtkanim linijama. Presjek se ne crta posebno, nego se ucrtavaju u tlocrtu prevajeni presjeci krakova i podesta debelim crtama.

Materijal stubišta. Svi dijelovi stubišta, zidovi, stropovi, krakovi i podesti, moraju biti izgrađeni od vatrostalnog materijala, osim stubišta unutar stanova za jednu obitelj i sporednih stubišta unutar poslovnih prostorija, koja mogu biti od drveta.

Stube od opeke (sl. 12) zidaju se u produžnom mortu na čvrsto nabijenoj šljunčanoj ili betonskoj podlozi sjekomičnom operekom ili prepekom većeg formata prilagođenom mjerama stuba, odnosno operekom normalnog formata sječenom prema



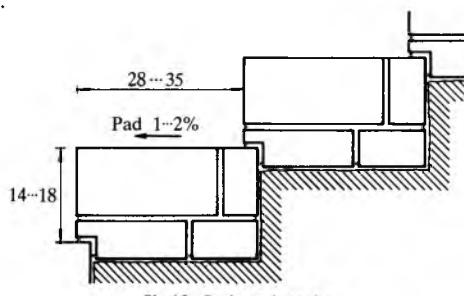
Sl. 10. Način prikazivanja stuba u mjerilu 1:50, izvedbeni nacrt: a tlocrt, b presjek, c detalji



Sl. 11. Način prikazivanja stuba u mjerilu 1:20 i 1:10, detaljni nacrt: tlocrt

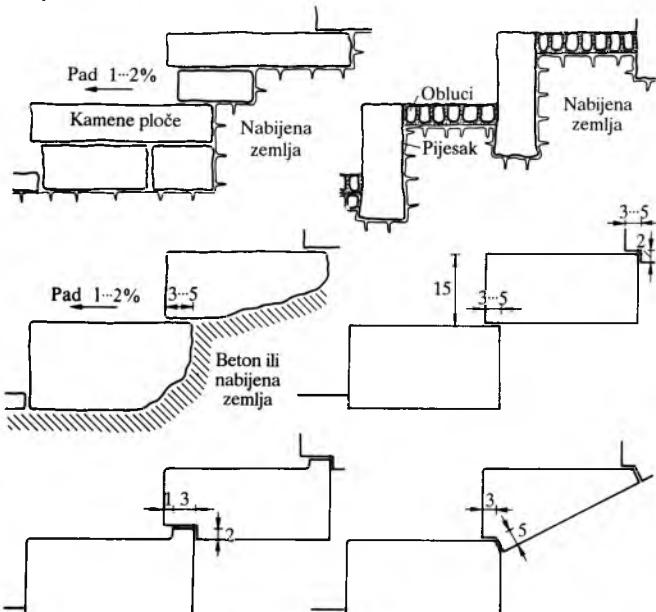
STUBIŠTA

potrebi. Na slobodnim bočnim krajevima stube se završavaju slojevima položene opeke. Površina može biti ožbukana slojem zagladene cementne žbuke omjera 1:3, debelim 2...3 cm.

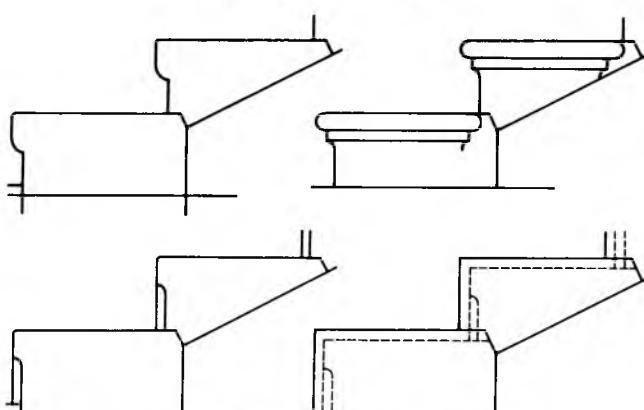


Sl. 12. Stube od opeke

Kamene stube (sl. 13). Kamen mora biti otporan na habanje, a ako se upotrebljava za vanjske stube, mora biti i postojan na mrazu. Upotrebljavaju se granit, gabro, bazalt, sitnozrnati tvrdi pješčenjaci i gusi vapnenci. Površina vanjskih stubišta može biti neobrađena i gruba, a na unutrašnjim stubama sve vidljive površine moraju biti čisto obradene, izbrušene i izglađane. Gazište se djelomice zrnča da ne bude sklisko, ili se 4 cm od ruba gazišta ugraduju protuklizni elementi od gume ili korunda. Vrtnе stube mogu biti od pločastog kamena, neobrađene i položene na nabijenu zemlju, ili pravokutna oblika s malo zatupljenim prednjim bridom. One se preklapaju 3...5 cm ili sjede pravokutnim zasjekom širine 3...5 cm i dubine ~ 2 cm.



Sl. 13. Kamene stube

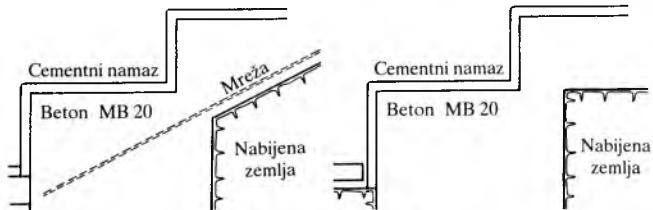


Sl. 14. Profili i podgled unutrašnjih stuba

Unutrašnje stube (sl. 14) imaju često vidljiv kosi podgled kraka. Masivne su kamene stube trokutaste. Donja im površina može biti obrađena kao i gornja, ili ostaje gruba i ožbukana. Čelo je stube često malo koso prema unutra ili profilirano. Profil može biti ravan, povratan ili prelazi na bočnu stranu gdje i završava.

Konzolne su se kamene stube radile kao konzolne istake do duljine od 250 cm ako su bile od granita, a od vapnenca do 150 cm. Konzolne su stube danas propisima zabranjene. Osim toga, rijetko se rade masivne kamene stube, nego se armiranobetonske stube oblažu kamenim pločama.

Betonske stube (sl. 15) služe u sporedne svrhe i rade se na čvrsto nabijenu tlu u opłati od betona MB 20. U donji se dio često stavlja tanka mrežasta armatura. Površina se prevlači cementnom žbukom, a ako služe za teži promet, rubovi se zaščituju metalnim trakama.

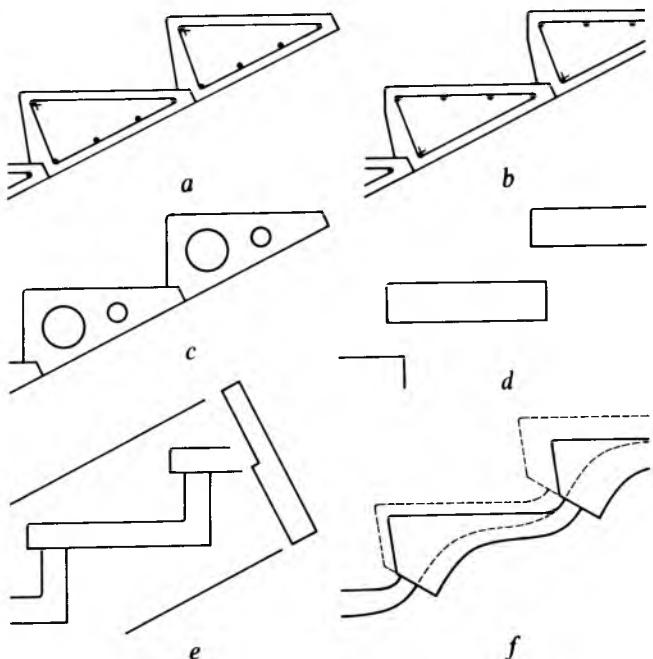


Sl. 15. Betonske stube

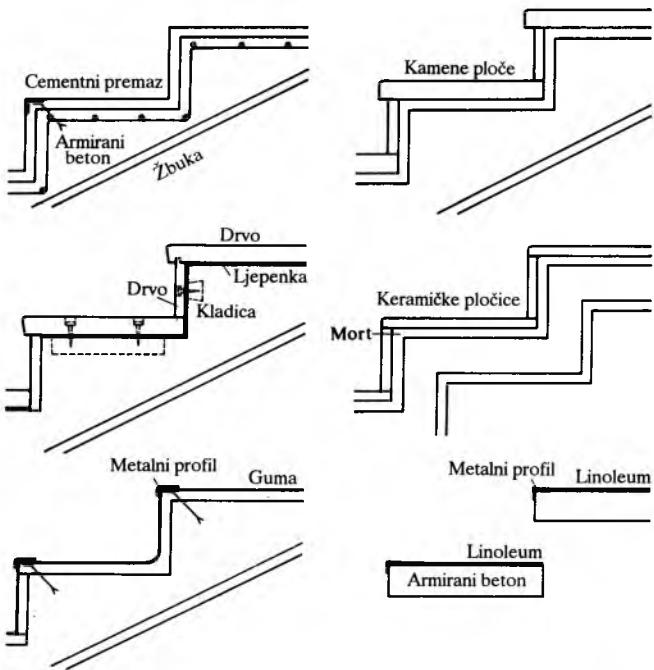
Armiranobetonske stube (sl. 16) mogu se izraditi tako da svaka stuba bude zaseban element izrađen u radionici, koji se sastoji od armiranobetonske jezgre obložene 2...3 cm debelim slojem cementnog morta od zrnaca kamena, uz eventualni dodatak boje. Vidljive se površine bruse i glaćaju, a dio se gazišta po potrebi zrnča. Stube mogu biti pune ili šuplje, normalna trokutastog profila, zatim u obliku ploča debelih 8...10cm, ploča u obliku slova L ili kao finske stube kojima se može mijenjati širina i visina.

Druga je mogućnost da se krakovi i podesti izrade kao nosiva armiranobetonska konstrukcija na gradilištu i naknadno obložje, prema namjeni zgrade, cementnim namazom, kulirom, pločama prirodнog ili umjetнog kamena, keramitom, drvom, linoleumom ili polimernim materijalom (sl. 17).

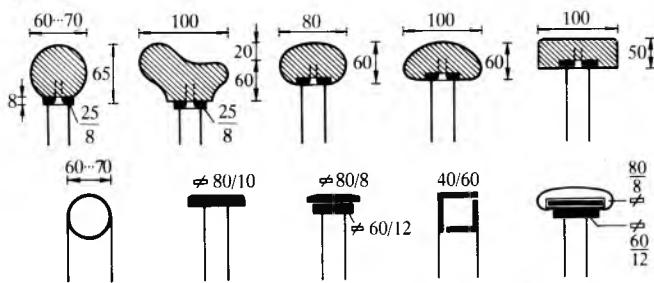
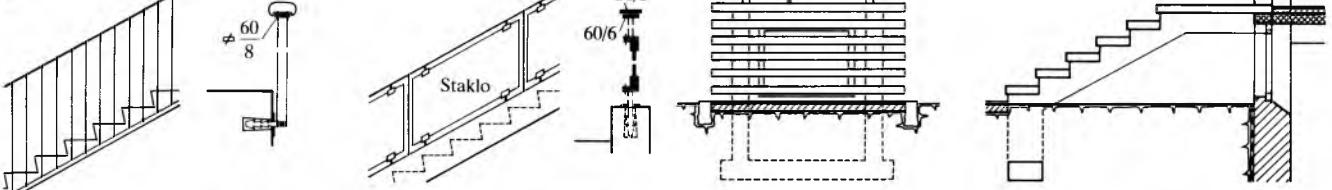
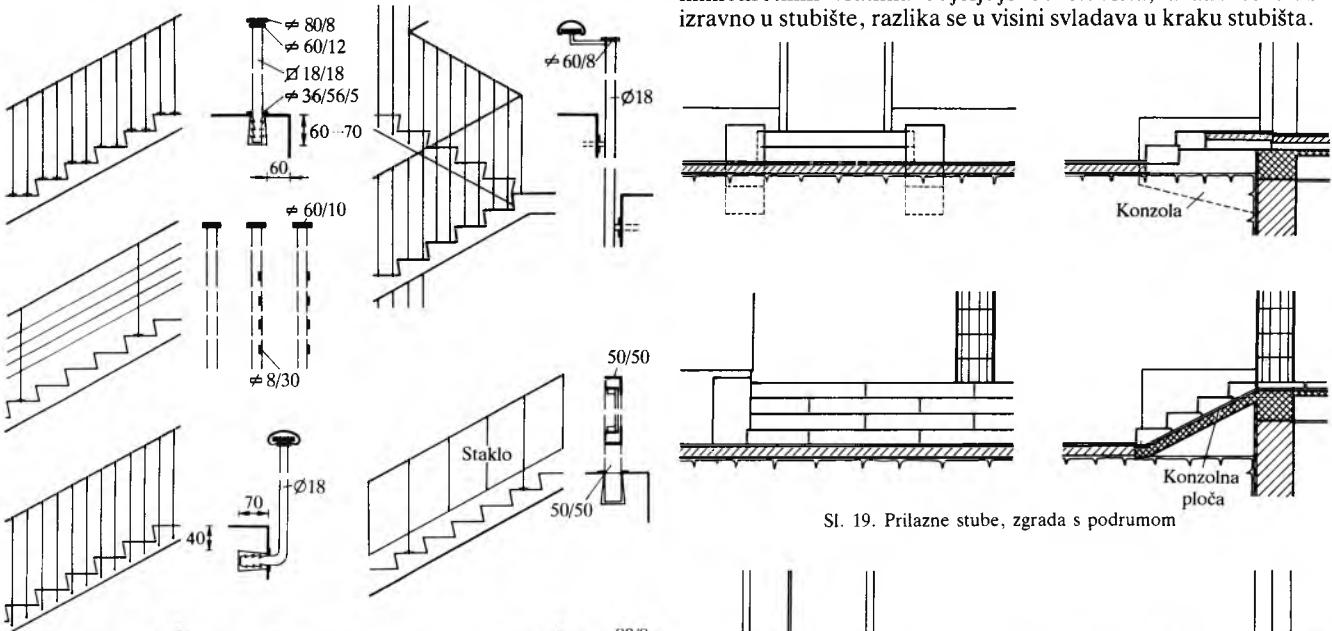
Treća je mogućnost da se cijeli krakovi i podesti izrade u radionicama te se kao posve gotovi, obradeni elementi ugrade na gradilištu, što je vrlo često u montažnoj gradnji.



Sl. 16. Armiranobetonske stube: a na dva ležaja, b konzolne, c šuplje stube, d pločaste stube, e stube u obliku L-ploča, f finske stube



Sl. 17. Obloga gornjih i donjih površina stuba



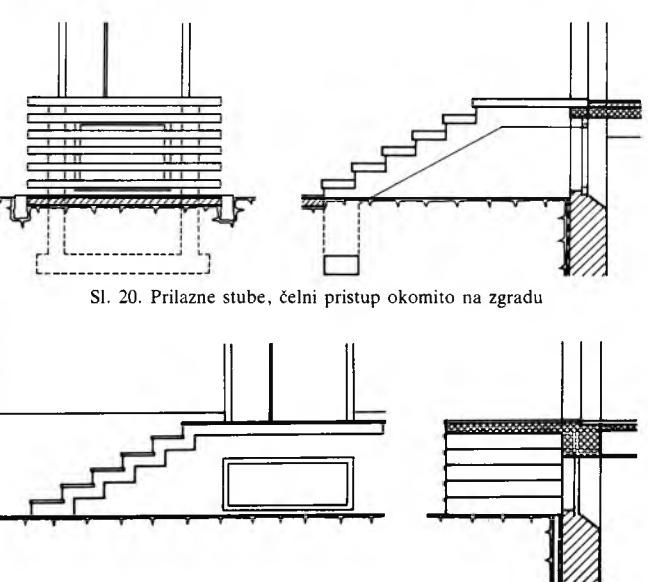
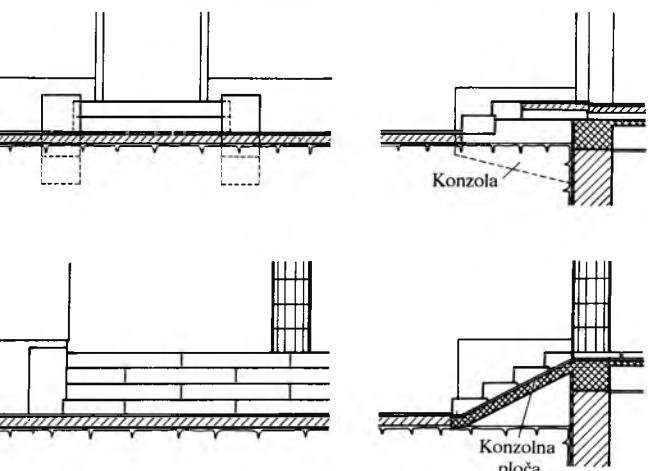
Ograda (sl. 18). Krakovi i podesti stubišta ograđuju se s otvorene strane ogradom visokom ~100 cm, izrađenom od metala, drveta, sigurnosnog stakla, armiranog betona ili od kombinacije tih materijala. Svaki krak mora imati prihvatanje barem s jedne strane, a kad su krakovi široki, stavljuju se prihvatanici s obje strane. Prihvatanik je obično od tvrdog drveta, metala ili polimernog materijala, oblih rubova, a pričvršćuje se na gornji rub ograde ili na metalnu traku koja leži na konzolama ugrađenima u zidu.

Ograda se najčešće radi od metalnih šipaka kvadratna ili okrugla profila u dimenzijama od 14...20 mm, s razmakom do 15 cm. Ona se ugrađuje ili u gazište 5 cm od ruba ili bočno u stube, pa se tako dobiva veća korisna širina kraka.

Armiranobetonska ograda radi se kao monijerka debljine 5...6 cm, povezana s konstrukcijom kraka. Površina se često žbuka, a podnožje oblaže pločama. Gornja se strana završava drvenim ili kamenim pločama i prihvatanjem.

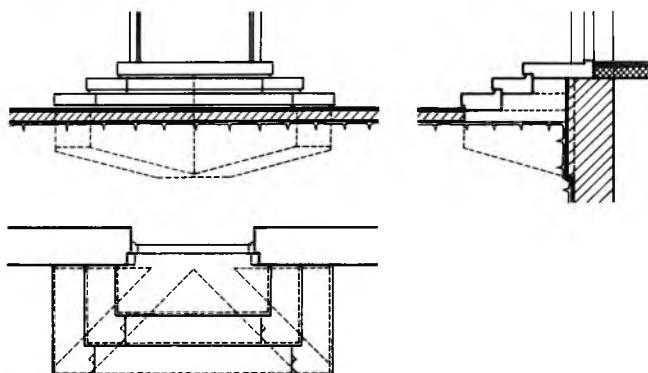
Visina ograde stubišnih prozora mora biti najmanje 90 cm, a kad je ograda niža, treba ugraditi zaštitnu ogradu do potrebe visine.

Prilazne stube. Ako je ulaz u zgradu uz rub pločnika (sl. 19), stavlja se na ulazu samo jedna stuba visine 8...12 cm. Ako je pod prizemlja podignut iznad visine prilaza radi smještaja podruma, iza ulaza se postavlja podest duljine ~120 cm i stube potrebne da bi se svladala razlika do visine prizemlja (sl. 19). Ako je stubište odmaknuto od ulaza, prilazne se stube stavljaju obično u poseban prostor koji se mimokretnim vratima odjeljuje od stubišta, a ako se ulazi izravno u stubište, razlika se u visini svladava u kraku stubišta.



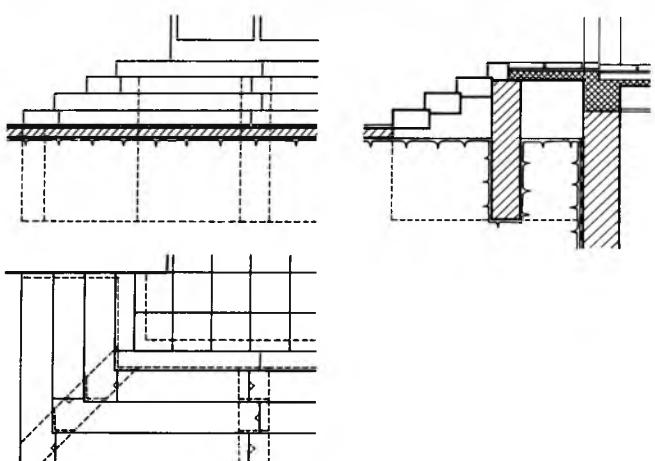
STUBIŠTA

Ako je zgrada odmaknuta od prometne površine, mogu se prilazne stube do prizemlja zgrade staviti djelomice ili posve ispred zgrade. One mogu biti s čelnim pristupom okomito na zgradu (sl. 20), s bočnim jednostranim ili dvostranim pristupom usporedno sa zgradom (sl. 21) ili s trostranim pristupom okomito na zgradu i usporedno s njome (sl. 22). Javne veće zgrade imaju često na prilazu izgrađene

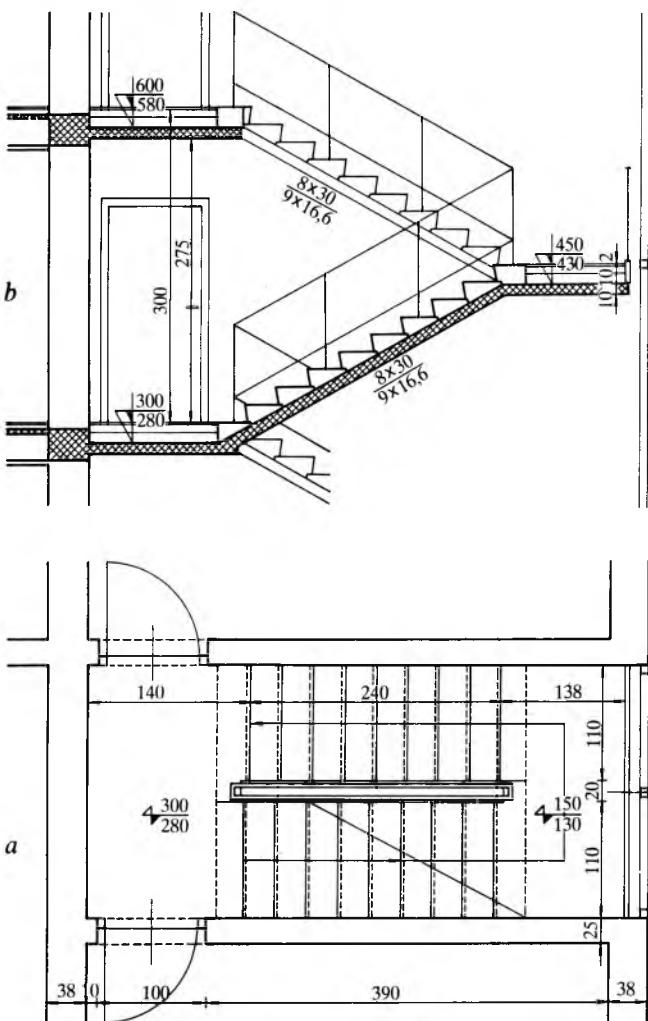


Sl. 22. Pristupne stube, trostrani prilaz okomito i usporedno sa zgradom

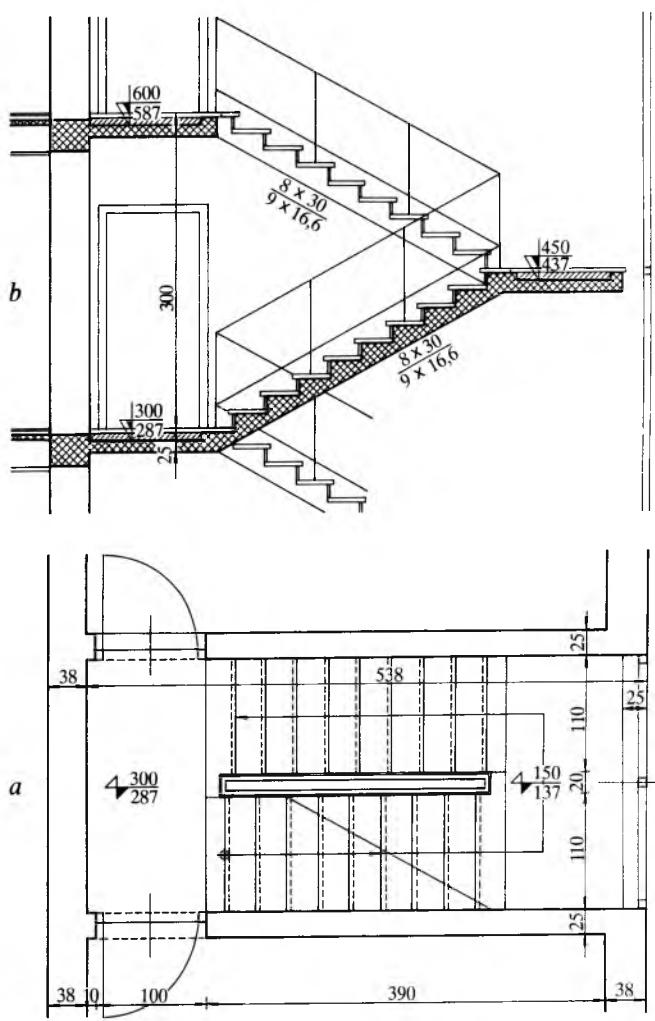
višekrake monumentalne stube (sl. 23). Ispred ulaznih vrata s čelnim pristupom, ako je više stuba, treba izgraditi odmorište dugo najmanje 60 cm. To vrijedi i za bočni pristup. Širina podesta iznosi najmanje kao širina kraka.



Sl. 23. Pristupne stube, trostrani monumentalni prilaz



Sl. 24. Stube na armiranobetonskoj ploči. a tlocrt, b presjek, c detalji



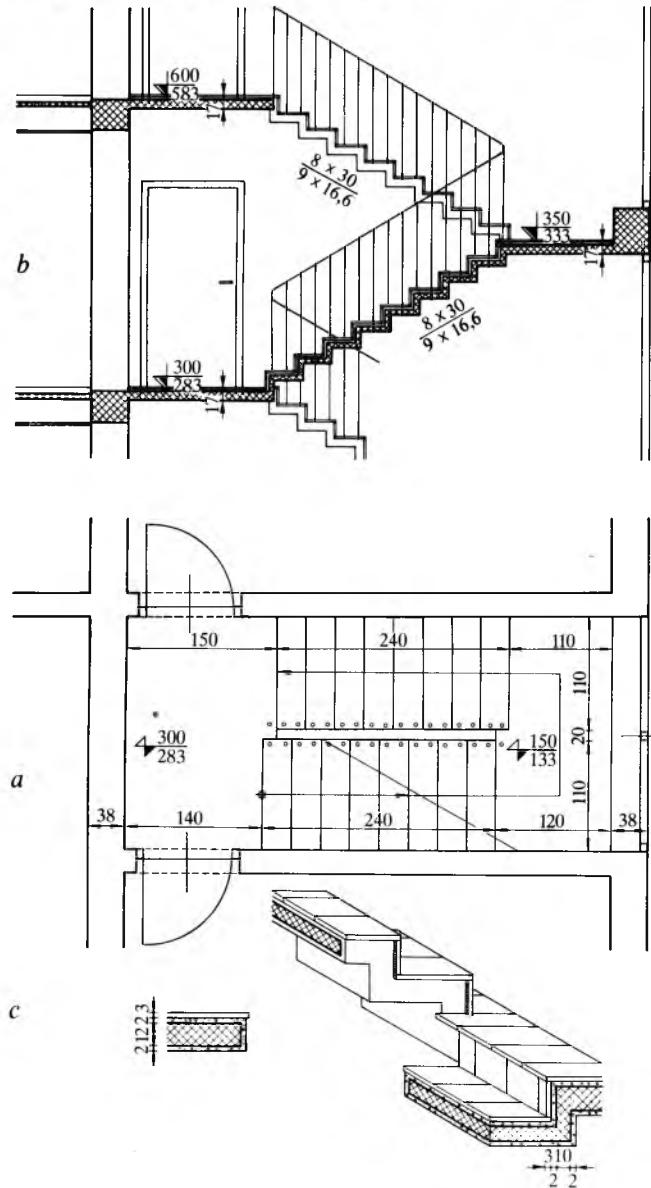
Sl. 25. Stube kao dio armiranobetonske ploče. a tlocrt, b presjek, c detalji

Manje prilazne stube leže redovito na konzolnoj konstrukciji, tako da se sliježu zajedno sa zidom zgrade. Kad su prilazne stube veće, nosiva se konstrukcija odjeljuje dilatacijom od zidova zgrade. Tada se često prostor ispod prilaznih stuba priključuje na podrumski prostor zgrade. Kod bočnog pristupa, što je vrlo često, nosiva se konstrukcija konzolno veže o zidove ako prilazne stube vode do prvog kata.

Prilazne se stube izrađuju od tvrdo pečene opeke, prepeke, kamena, umjetnog kamena i armiranog betona, a gazišta i podesti imaju nagib od 1% radi otjecanja vode.

Unutrašnje stube. Masivne konzolne stube od prirodnog ili umjetnog kamena danas više nisu dopuštene. Takve su se stube ugradivale 25 cm u bočne zidove, a završna se stuba donjem kraku, koja je ujedno bila i podložna stuba gornjem kraku, izradivala kao greda na dva uporišta i ležala je po 10 cm na zidovima. Odmorišta su bile ploče na dva uporišta, a pod pod ploča ili teraca.

Stubišta s nosivom konstrukcijom od kosih željeznih nosača ispod krakova i horizontalnih ispod podesta, koja su bila vrlo raširena početkom našeg stoljeća, danas se više ne rade, nego se stube pretežno rade od prirodnog ili umjetnog kamena na nosivoj konstrukciji od armiranog betona u obliku ploča ili greda (sl. 24). Masivne su kamene stube skupe i rijetko se rade. Umjesto njih gradi se gornji dio konstrukcije kosog kraka stepeničasto, te se gazišta oblažu kamenim

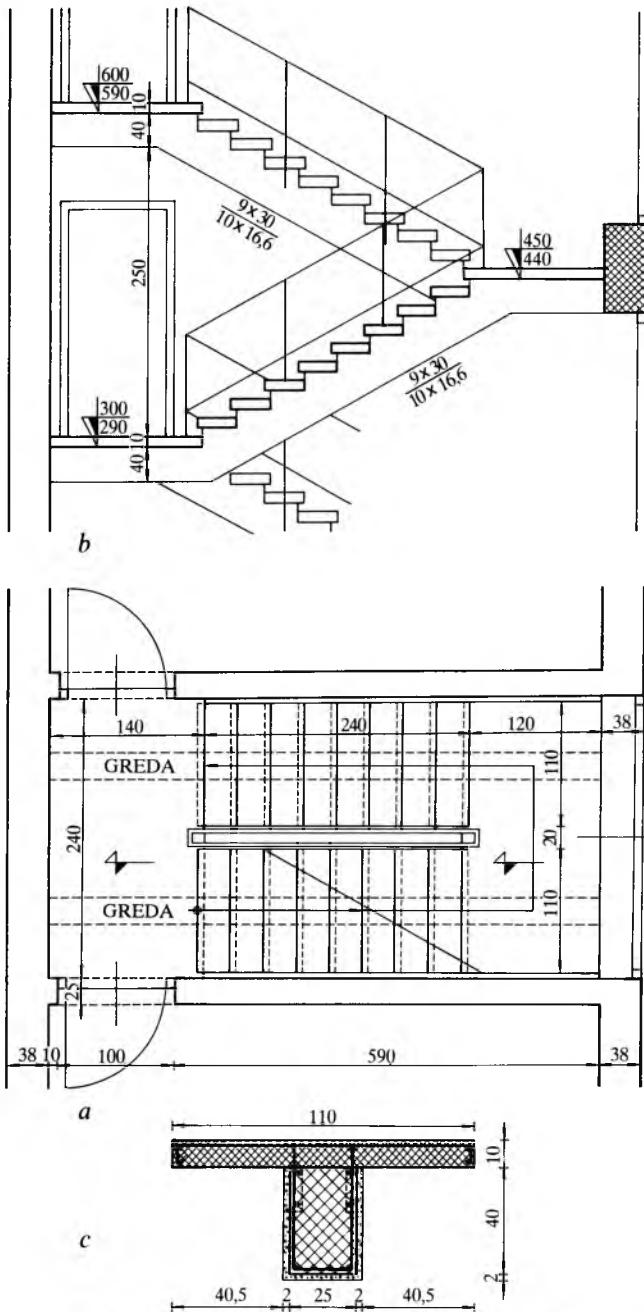


Sl. 26. Nosiva konstrukcija kraka u obliku stuba. a tlocrt, b presjek, c detalji

pločama debljine 3...5 cm, a čela pločama debljine 2...3 cm (sl. 25). No može se oblagati i pločama od umjetnog kamena ili keramita, a pri jednostavnijoj izradbi namazom teraca ili cementnog morta.

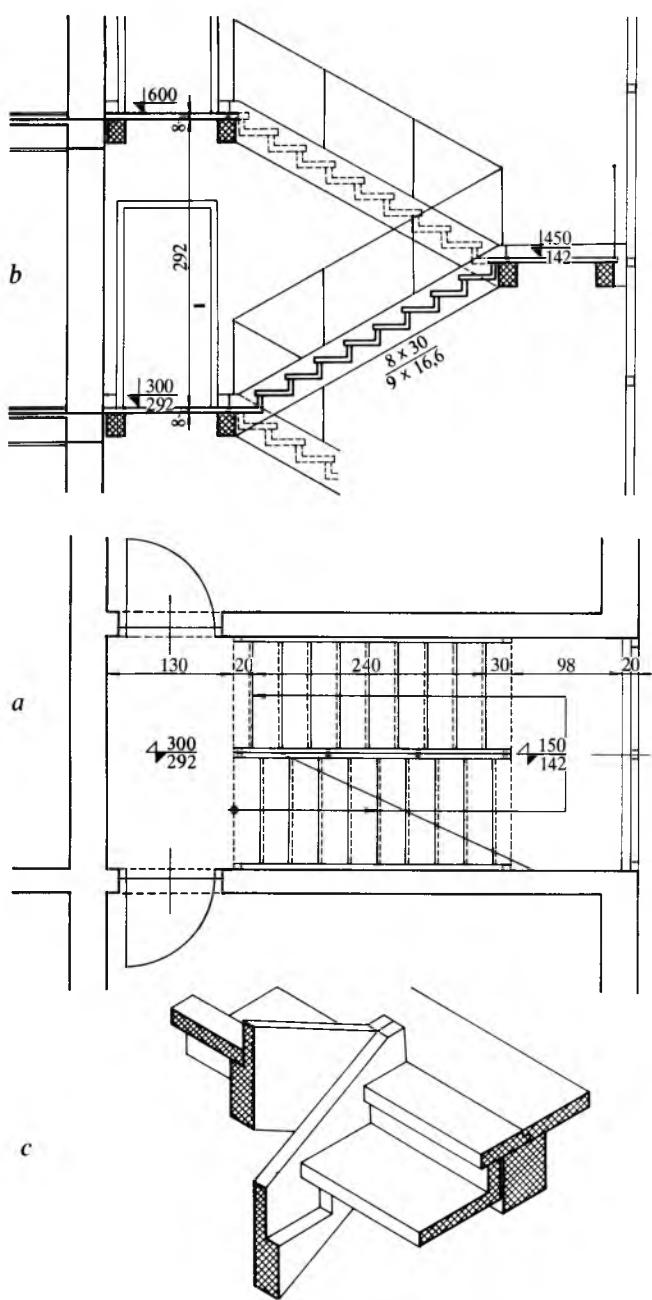
Podgled se donje armiranobetonske konstrukcije obično žbuka, a da bi se dobila čista izradba, presjeci se donjih ploha sijeku u pravim linijama. Nosiva konstrukcija kosih krakova može biti u obliku stube (sl. 26) ili u obliku grede (sl. 27) koja prolazi ispod sredine kraka i podesta, te je u kosom dijelu s gornje strane stepeničasta, a na njoj se sidre konzolne pločaste stube ili stube u obliku slova L.

Montažne armiranobetonske stube (sl. 28) sastoje se od gotovih pretfabriciranih elemenata koji se na gradilištu ugrađuju. One mogu biti od gotovih podestnih ploča koje nose kose kračne grede pojačane s unutrašnje strane, na koje se polažu pretfabricirane stube, šuplje ili drugačije izradbe. Međutim, i cijeli se kosi krak može izraditi kao jedinstven stepeničast pretfabricirani element s ležajima na pretfabriciranom podestu.



Sl. 27. Greda kao nosiva konstrukcija kraka i podesta. a tlocrt, b presjek, c detalj

STUBIŠTA



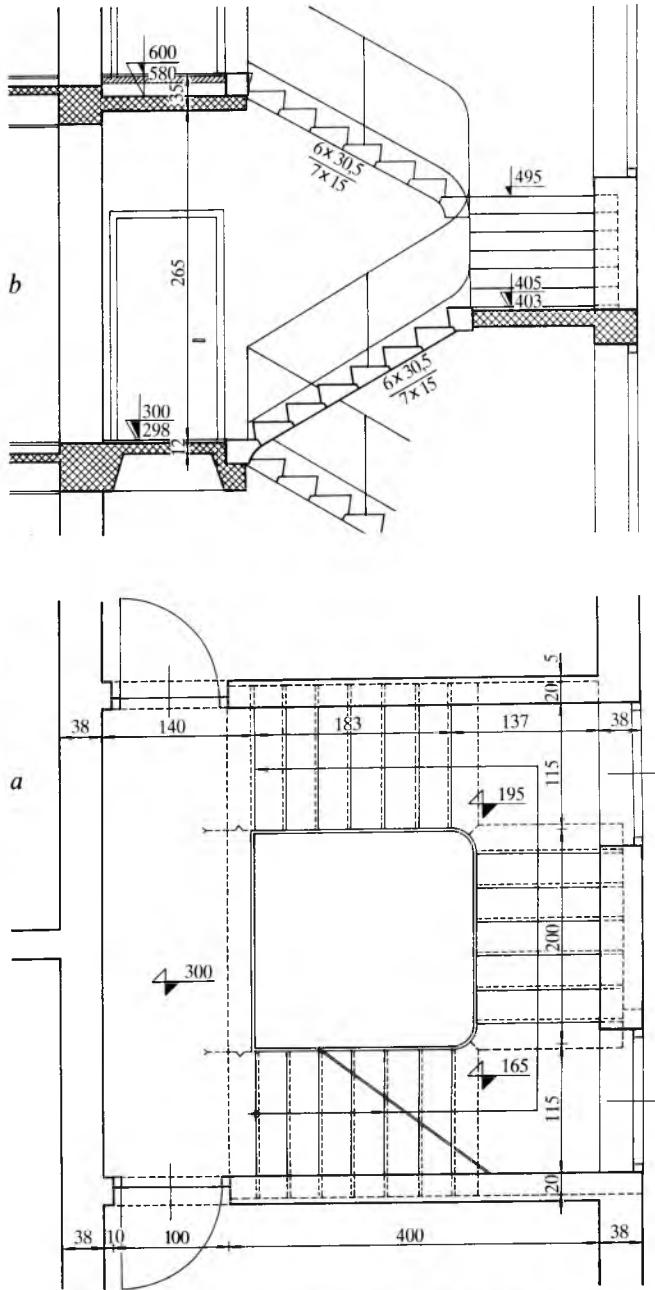
Sl. 28. Montažne dvokrake armiranobetonske stube. a tlocrt, b presjek, c detalj

Na isti se način, kao dvokrako stubište, mogu graditi i ostala višekraka stubišta. Trokrako stubište (sl. 29) ima uz cijeli rub glavnog podesta odmoriošnu stubu koja je u jednom dijelu profilirana kao istupna kračna stuba, zatim kao rubna i konačno kao podložna stuba. Manji se podesti mogu raditi od jednog komada ili od istupne i podložne stube i armiranobetonske ploče.

Zavojne stube (sl. 30) koje služe kao sporedna stubišta rijetko se rade od zasebnih komada, jer je svaki drugačiji, nego kao armiranobetonska konstrukcija u oplati. Površina se prevlači teracom ili cementnim namazom.

Polukružne stube (sl. 31) konstruirane su kao spiralne. S gornje je strane stepeničasta armiranobetonska ploča koja je odozgo obložena kamenim pločama, a čela mogu biti u cementnoj žbuci.

Vretenaste ili pužaste stube (sl. 33) jesu kružne stube malog promjera (~200cm i više), s punim ili šupljim vretenom. Stube su jednakе, klinasta oblika, i leže na obodnom kružnom zidu te na zidanom vretenu promjera 25–50cm, ili su stube



Sl. 29. Montažne trokrake armiranobetonske stube. a tlocrt, b presjek

izradene s kružnom glavom koja je dio vretena. Ako je vreteno šuplje, stube su konzolno uzidane u obodni zid. Često se takve stube grade kao slobodne konzolne stube. Tada imaju kružnu šuplju glavu i tvore vreteno, a vertikalna se šupljina armira i ispunjava betonom.

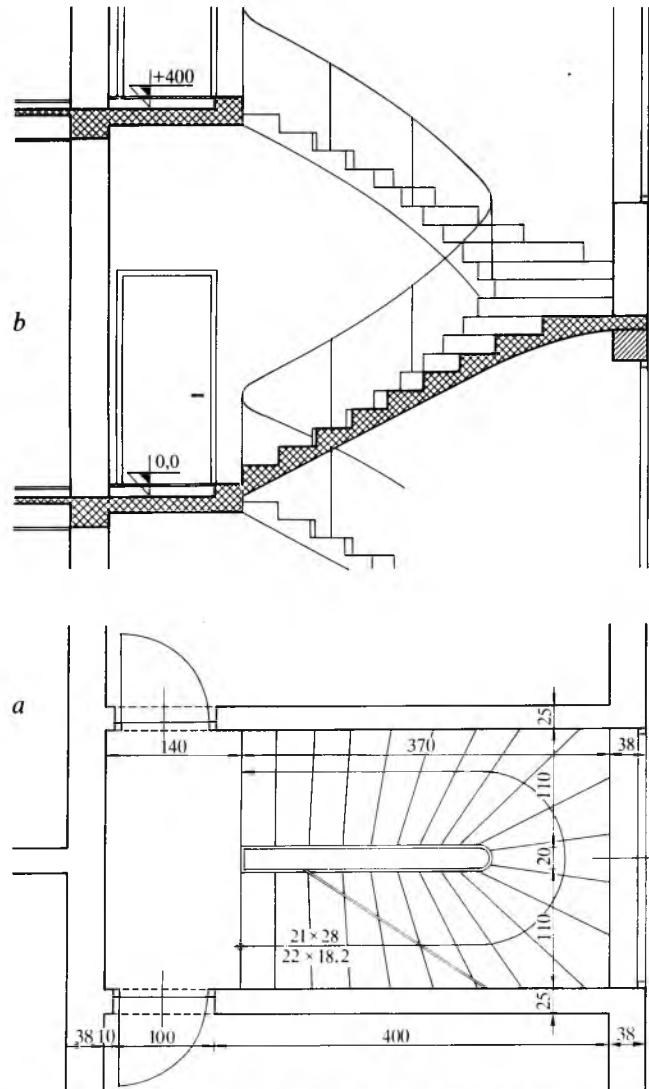
Drvene stube grade se danas u individualnoj stambenoj gradnji u dvokatnim stanovima ili u poslovnim prostorijama. Drvena građa mora biti suha i bez kvrga, za jednostavnu izradbu od borovine ili smrekovine, a za bolju od hrastovine ili bukovine. Često se kombinira, pa su gazišta od tvrde, a ostali dio od meke građe.

Gredne stube od pravokutnih greda, s dimenzijama kao u stuba, koje se preklapaju 3–4 cm i s jedne su strane uzidane u zid a s druge podzidane, danas se rijetko grade. One mogu biti i trokutasta presjeka i ležati na tetivama od drvenih greda (sl. 32).

Danas se rade stube na tetivama od sjekomičnih platica debljine 4–8 cm, koje nose gazišne ploče debljine 4–5 cm. Prema načinu njihova povezivanja na tetive razlikuju se letvene, utorene, usadene i nasadene stube (sl. 34).

Gazišne se ploče preklapaju ~4 cm i prednji rub može biti profiliran, a gornji brid malo zaobljen. Tetiva uz stijenu može biti tanja, oko 4...5 cm, jer leži na sidrima i vezana je o zid, a ona uz slobodnu stranu redovito je deblja, jer leži na dva uporišta i često je oslabljena izrezima za ogradu. Tetive su ispod svakih 4...5 stuba međusobno povezane dugim čeličnim sponama promjera 12...15 mm, s maticom na jednom i plosnatom glavom na drugom kraju. Matica je često upuštena u tetivu i prekrivena rozetom.

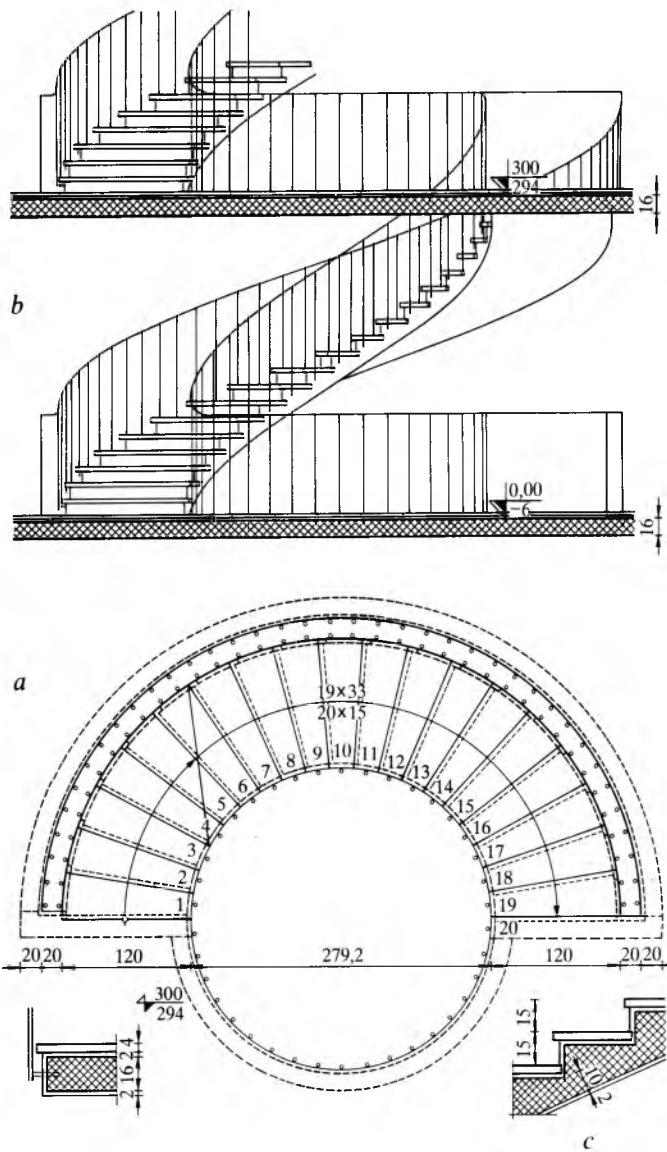
Da stube ne budu prozračne i da se donji prostor odijeli, pribija se na koso rezane donje rubove gazišta oplata od utorenih ili običnih dasaka na koje se pričvršćuje trstika i nanosi žbuka, pa se tako stube zaštićuju od požara.



Sl. 30. Zavojne armiranobetonske stube. a tlocrt, b presjek

Kad su stube usađene ili nasadene, kod bolje se izradbe stavljaju ispod gazišnih ploča čelne sjekomične daske debljine 20mm, koje su s gornjom pločom utorene ili tupo sudarene, a sudar se prekriva letvicom, dok su s donje strane pribijene na donju gazišnu ploču ili su o nju vezane vijcima.

Obične jednokrake drvene stube (sl. 35) sastoje se od dviju tetiva 6...8/25cm, koje su međusobno stegnute sa 3 spone promjera 12...15 mm, i od gazišnih platica debljine 40...50 mm, koje su utorene ili usađene u tetive i prekrivaju se 3...5cm. Tetive su donjim krajem usidrene u pod, a gornjim su učepljene u stropnu gredu ili su usidrene u stropnu armiranobetonsku konstrukciju. Drvena je ograda pričvršćena na tetivu.



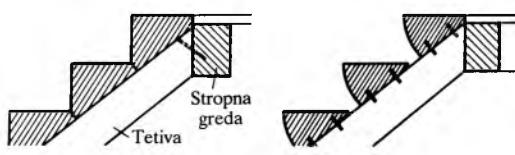
Sl. 31. Polukružne armiranobetonske stube. a tlocrt, b pogled, c detalj

Ako nema dovoljno prostora, mogu se izgraditi *jednokrake strme* ili *brodske stube s izmjeničnim gazištima*. Stube su široke 70...80 cm, a gazišne su platice izmjenično do polovice izrezane, tako da je gazišna ploha cijela u svakoj drugoj polovici stube (sl. 36).

Ljestvene tavanske stube montažne su jednokrake stube (sl. 37). Sastoje se od dviju tetiva, koje mogu biti dvodijelno i trodijelno sklopive, te od gazišta iznad ploče poklopca koji s donje strane zatvara otvor (70 x 110...140 cm) u stropu pomoću opruga skrivenih u kućištima. Stube su, kad je tavanski prostor zatvoren, složene u stropnom otvoru tako da je prostor ispod otvora slobodan.

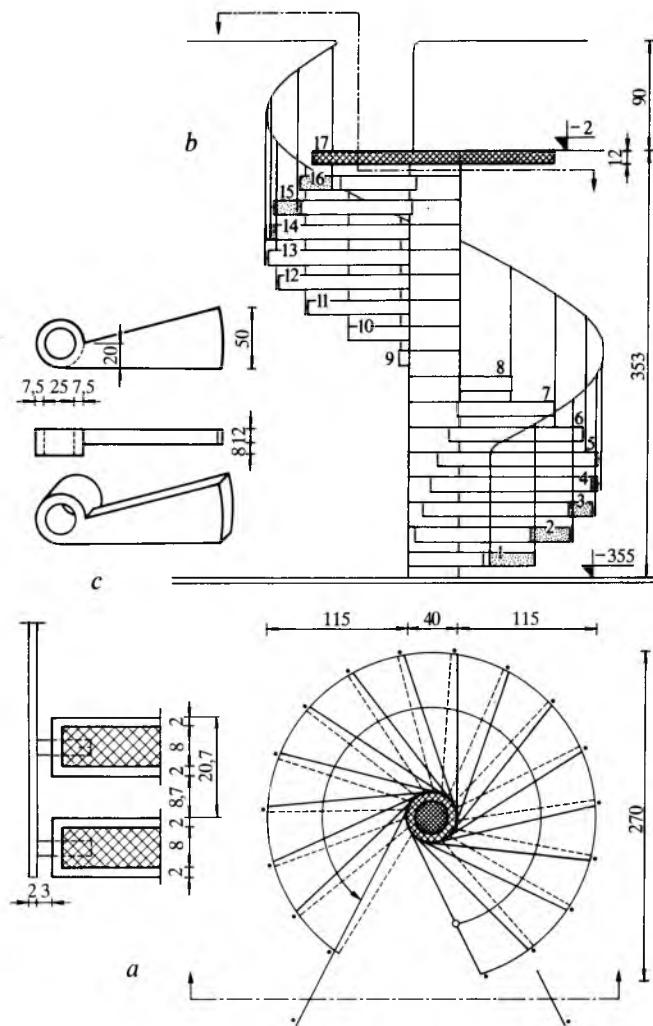
Kad su stube dvokrake (sl. 38), prva, nastupna stuba na kojoj sjede tetive i stup ograde sastoji se od masivnih krajeva koji su povezani nastupnom i čelnom daskom i usidreni u pod. Tetive su međusobno stegnute vijcima, a tetiva uza zid može biti tanja i vezana za zid.

Gredne stube

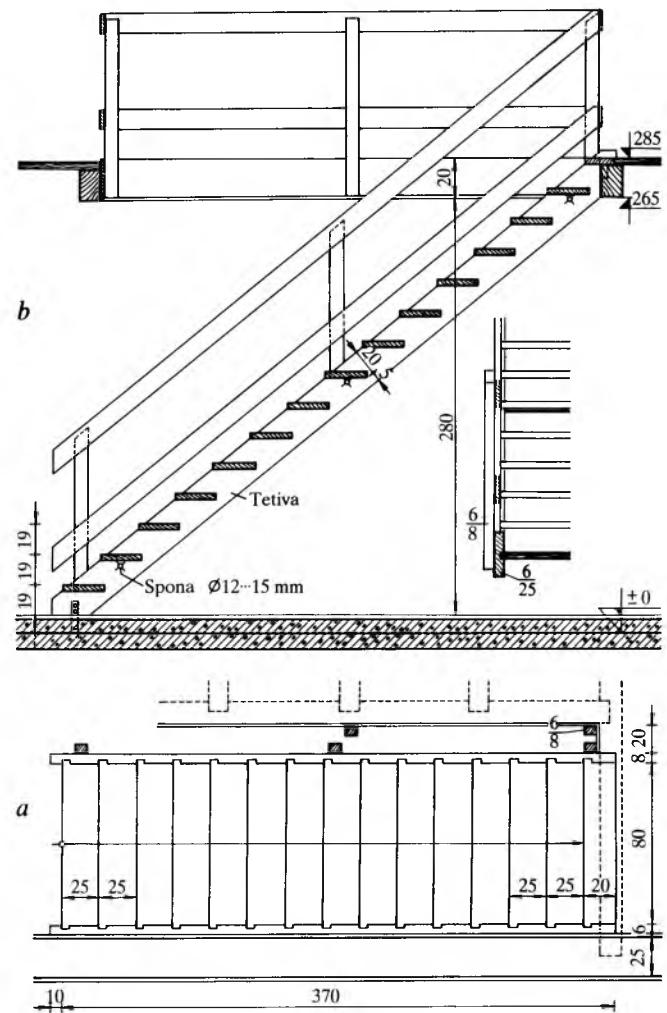


Sl. 32. Drvene gredne stube

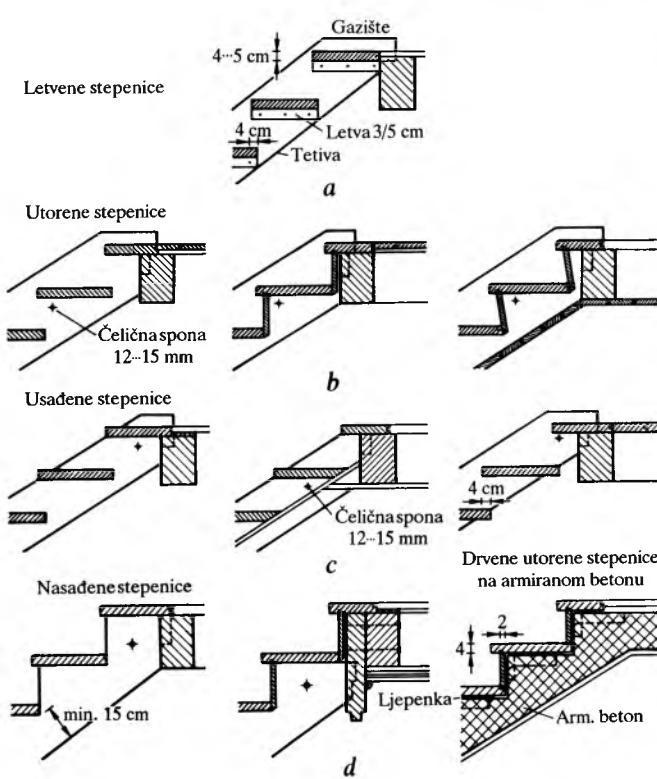
STUBIŠTA



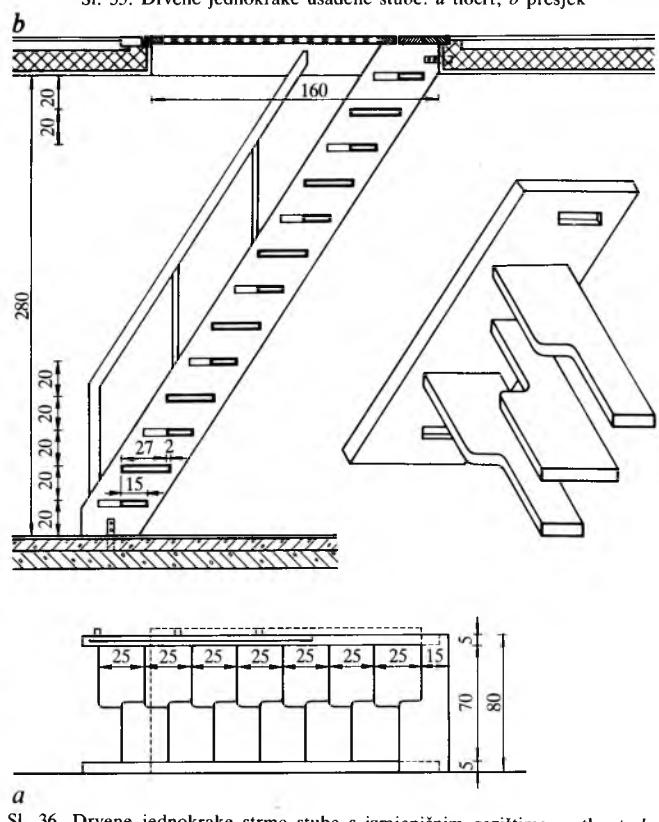
Sl. 33. Vretenaste ili pužaste stube. a tlocrt, b pogled, c detalji



Sl. 35. Drvene jednokrake usadene stube. a tlocrt, b presjek



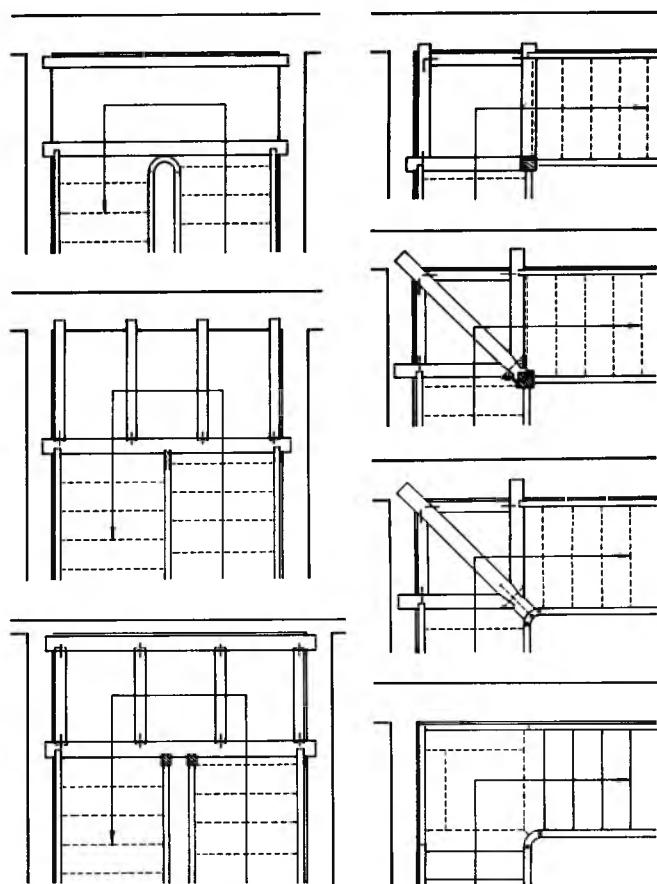
Sl. 34. Drvene stube na tetivama: a letvene, b utorene, c usadene, d nasadene



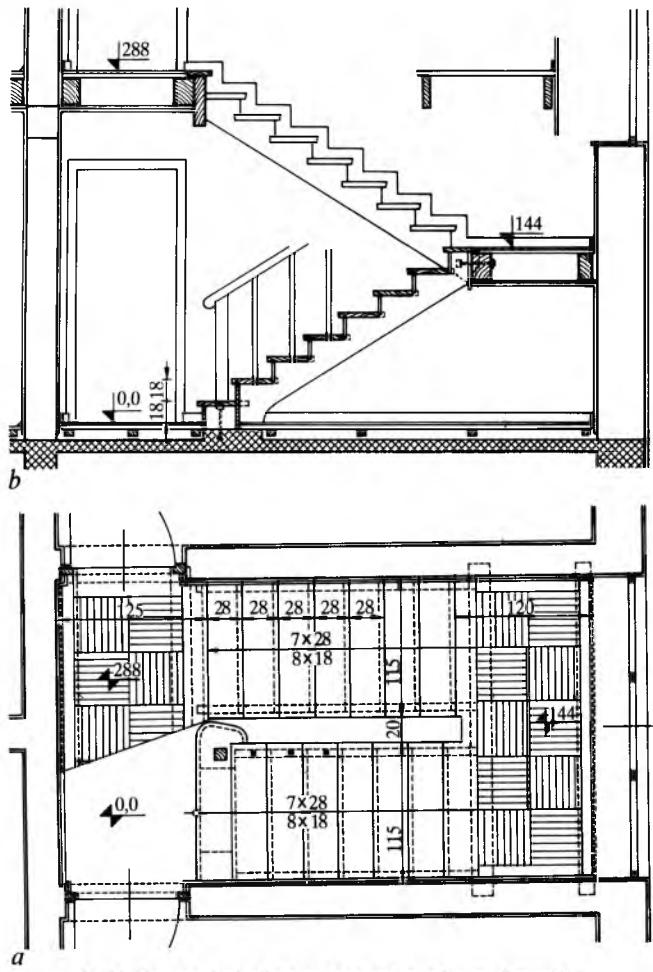
Sl. 36. Drvene jednokrake strme stube s izmjeničnim gazištima. a tlocrt, b presjek



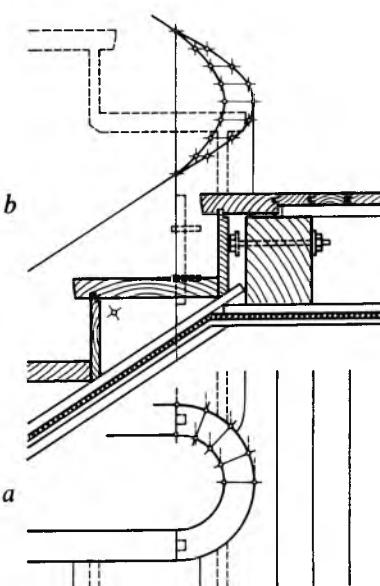
Sl. 37. Ljestvene tavanske sklopive stube



Sl. 39. Konstruktivno rješenje podesta drvenih stuba



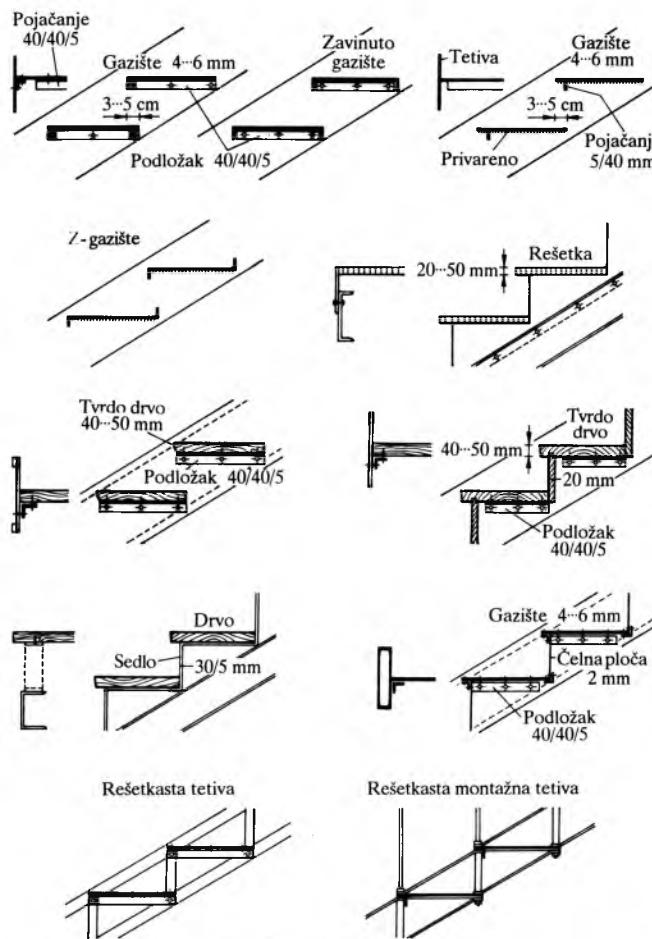
Sl. 38. Drvene dvokrake nasadene stube. a tlocrт, b presjek



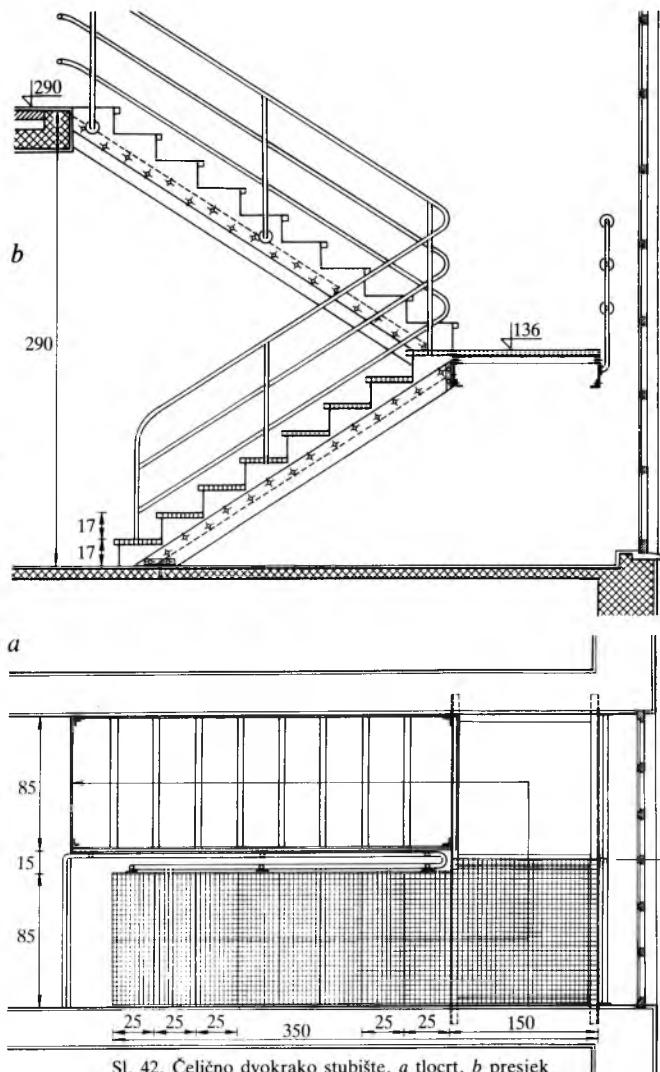
Sl. 40. Zavojiti dio tetive drvenih stuba. a tlocrт, b presjek

Međupodest se sastoji od drvenih greda; na prvoj gredi leže tetine i stupovi ograde koji su vezani vijcima za gredu (sl. 39). On može biti od dviju greda koje leže na bočnim zidovima, od dviju greda s međugredama ili od glavne greda i međugreda koje leže na glavnoj gredi i na čelnom zidu. Ako tetiva donjeg kraka prelazi u tetivu gornjeg kraka zavojitim komadom, a isto tako i ograda, zavojiti komad sjedi na gredi i povezan je s njome vijkom (sl. 40). Tetine donjeg i gornjeg kraka mogu ležati u istoj ravni i biti utorene u stup iste šrine kao i tetine, a ograda ispunjava trokutasti prostor između teticava.

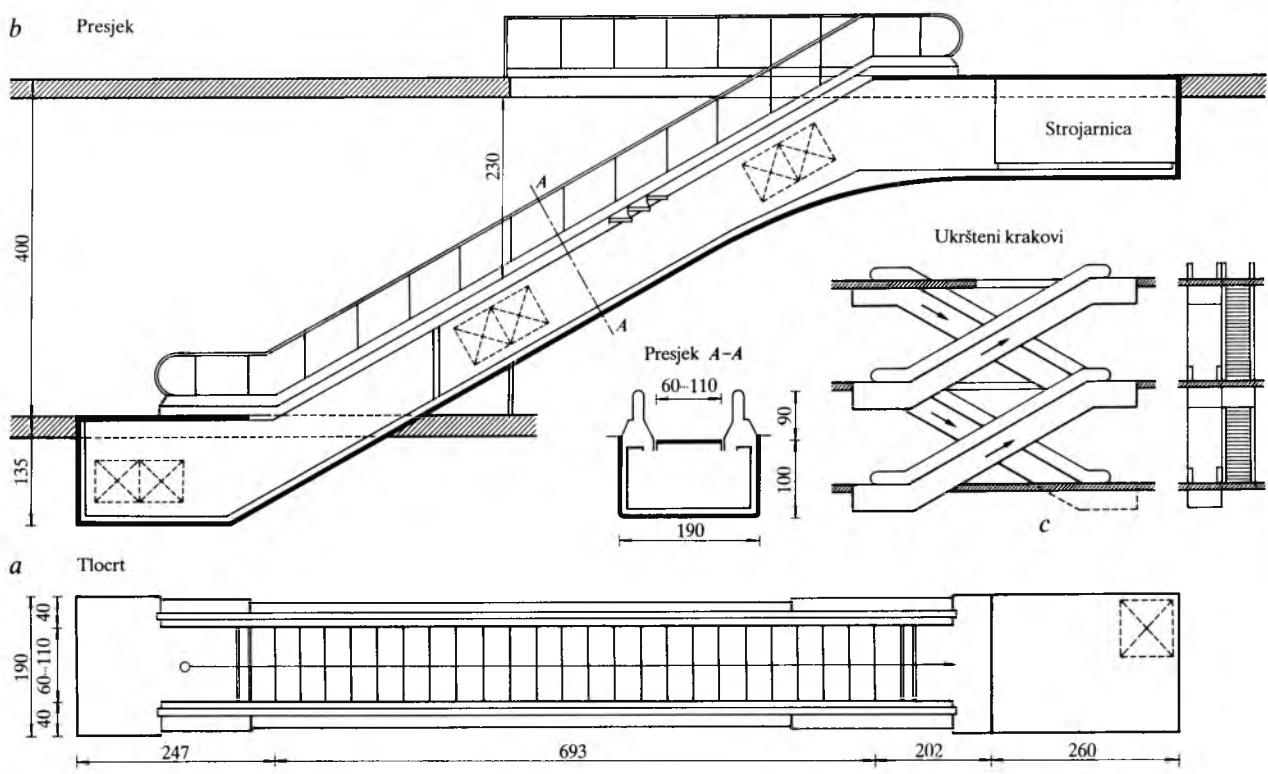
STUBIŠTA



Sl. 41. Čelične stube, detalji



Sl. 42. Čelično dvokrako stubište. a tlocrt, b pressek



Sl. 43. Pokretnе stube. a tlocrt, b presjeci, c ukršteni krakovi

Čelične stube (sl. 41). Rade se kao jednokrake, višekrake ili kao vretenaste (pužaste) stube u industrijskim pogonima i radionicama, te kao sporedna stubišta radi zaštite od požara. Sastoje se od tetiva, gazišta i ograda. Tetive su od tračnog lima debljine 6…12 mm i širine 160…220 mm, a ukrućuju se privarenim plosnatim profilima, kutnim profilima, profilima u obliku slova I i U ili različitim kombinacijama lima i profila. Stube većih raspona i vretenaste (pužaste) stube imaju tetive izradene kao rešetkaste konstrukcije. Gazišta trebaju biti hraptava pa se izrađuju od rebrasta, brazdasta ili bradavičasta lima debljine 4…6 mm. Lim je na krajevima zavinut ili pojačan kutnim profilima te privaren za tetivu ili leži na podlošcima od kutnih profila 40/40/5 mm koji su zavareni ili prikovani za tetivu. Gazište se može izraditi i kao rešetkasti roštilj od sjekomična plosnatog željeza visine 20…50 mm. Gazišne se ploče preklapaju 3…5 cm (sl. 42).

Ako se ne želi da stube budu prozračne, čelo se zatvara ispod gazišta limenim pločama od 2…3 mm, koje se vežu kutnim profilima s gornjim i donjim gazištem. Gazišta u boljoj izradbi oblažu se gumom, linoleumom ili polimernim materijalom, a umjesto čeličnih ploča mogu biti ploče od tvrdog drveta.

Pokretne stube i trake (sl. 43) transportni su uređaji za masovni prijevoz osoba između različitih ili istih prometnih razina. To su zglobno sastavljene metalne stube ili armirane polimerne trake koje se neprekidno pomiču pomoću električnog pogona u obilaznom toku.

Pokretne stube imaju nagib 27°18', 30° ili 35°, a pokretnе trake do 12°. Brzina gibanja stuba s nagibom od 27°18' i 30° iznosi maksimalno 0,75 m/s, s nagibom od 35° maksimalno 0,5 m/s, traka s nagibom do 6° maksimalno 1 m/s, a traka s nagibom do 12° maksimalno 0,75 m/s. Stube i trake ne smiju biti uže od 60 cm niti šire od 110 cm.

S obje strane stuba i traka postavlja se balustrada od glatkih elemenata ili sigurnosnog stakla, s glatkim pokretnim rukohvatom na gornjoj strani koji se giba u istom smjeru i istom brzinom kao stube ili trake. Izuzetno se dopušta da brzina rukohvata bude 3% veća od brzine stuba ili trake.

Svi dijelovi pokretnih stuba i traka, osim samih stuba, traka i rukohvata, moraju biti zatvoreni u donjem pravokutnom kanalu od čeličnog lima. Kanal se u početnom i završnom kraju proširuje i povisuje za potreban pristup u kanal i u strojarnicu, koja je obično iza izlaznog dijela kanala.

Visina dizanja stuba u jednom kraku za kut od 35° iznosi najviše 6 m, te se obično cijela visina kata svladava samo jednim krakom. Prolazna visina iznad stuba i trake ne smije biti manja od 210 cm. Širina ulaza na stube i trake i izlaza sa njih mora biti najmanje jednak na njihovoj širini, a duljina najmanje 2,5 m od kraja balustrade. Vodilice se stuba grade tako da se na početku i na kraju gibaju horizontalno na duljini za tri širine gazišta, a na ulazu i izlazu postavljaju se češljevi da bi se osigurao prilaz stubama i silaz sa stuba. Gornja ploha stuba mora biti horizontalna, a nastupni pod na ulazu i izlazu ne smije biti sklizak. Osobe mogu mirno stajati na gazištu ili se mogu istodobno i penjati kao po običnim stubama. Širina je pokretnih stuba tolika (1,02 m) da ne dopušta obilazak osoba koje stoje.

Krakovi pokretnih stuba za više katova raspoređuju se jedan povrh drugoga, izmjenično jedan pokraj drugoga ili po dva protusmjerno ukrištena kraka u svakom katu.

Prijevozni kapacitet pokretnih stuba s nagibom od 30° ovisi o njihovoj širini i iznosi na sat 6000 osoba za stube široke 0,62 m, 7000 osoba za stube od 0,82 m, a 8000 osoba za stube od 1,02 m.

Z. Vrklijan

NOSIVE KONSTRUKCIJE STUBIŠTA

Najčešća su pločasta stubišta jer su estetska, a zbog jednostavnog opakovanja i armature ekonomična su i lako se grade.

Prema mehaničkim karakteristikama pločasta se stubišta mogu svrstati u dvije grupe: stubišta s membranskim djelovanjem i stubišta bez membranskog djelovanja. Stubišta s

membranskim djelovanjem ponašaju se kao naborane konstrukcije, pa se nazivaju i naboranim stubišta. Posebna su vrsta naboranih stubišta slobodna stubišta; medupodestim nemaju vanjskih ležaja.

Osnovni odnosi. Visina h i horizontalna duljina L kraka stubišta, izražene širinom a i visinom s stube, određene su izrazima:

$$h = ns, \quad L = na, \quad (2)$$

gdje je n broj stuba kraka. Širina i visina stuba moraju, dakako, biti u skladu s izrazom (1). Na temelju omjera $m = s/a = h/L$ dobiva se kut nagiba kraka $\beta = \arctan m$.

Ploče krakova i podesta čine prelomljene jednosmjerne ploče napregnute na savijanje. Naprezanja se u njima analiziraju, kao što je uobičajeno za armiranobetonske konstrukcije, na osnovi isječka, tj. proračunske trake široke jedan metar. Ako se opterećenja definiraju po četvornom metru horizontalne površine (kN/m^2), to su ujedno i opterećenja po metru horizontalne duljine trake.

Stalno opterećenje krakova sastoјi se od doprinosa ploče, stuba, obložnih slojeva i žbuke. Ako je ploča ravna i masivna, stalno je opterećenje krakova:

$$G = \gamma \frac{d}{\cos \beta} + \gamma' \frac{s}{2} + G^\circ, \quad (3)$$

gdje je γ specifična težina armiranobetonske ploče, d debljina ploče kraka, γ' specifična težina betona stuba, a G° težina obložnih slojeva i žbuke. Ako je ploča kraka naborana, tada je stalno opterećenje:

$$G = \gamma(1+m)d + G^\circ. \quad (4)$$

Opterećenje je kraka, dakle,

$$Q = G + p, \quad (5)$$

gdje je p pokretno, tj. korisno opterećenje po četvornom metru horizontalne površine. Analogno je opterećenje podesta:

$$q = g + p, \quad (6)$$

gdje je g stalno opterećenje podesta.

Specifična je težina armiranobetonskih ploča $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, a stuba $\gamma \approx 23 \text{ kN/m}^3$ ako su izrađene od običnog betona. Ako su stube od lakog betona, njihova je specifična težina $\sim 20 \text{ kN/m}^3$. Uzima se da je pokretno opterećenje u stambenim zgradama $p = 3 \text{ kN/m}^2$, a u javnim zgradama $p = 4 \text{ kN/m}^2$.

Utjecaj težine ograda obično se zanemaruje.

Pločasta stubišta bez membranskog djelovanja

U stubištu bez membranskog djelovanja ploča je napregnutu samo ili pretežno na savijanje.

Ako se uz jedan od uzdužnih rubova stubišnog kraka nalazi zid od opeke ili bloketa, krak se obično, radi jednostavnije izvedbe, odvaja fugom od zida. Ako se krak ugradi u zid koji se može smatrati nosivim, stubište dobiva dodatni ležaj, pa mu je mehanička shema povoljnija, ali zbog malih dimenzija i malih opterećenja ugradnja u zid donosi malu korist u statičkom pogledu, a komplikiranju izvedbu i armaturu, pa se dodatno oslanjanje na uzdužne zidove u praksi obično zanemaruje.

Često se i podesti odvajaju fugom od uzdužnih zidova ako ih ima, pa se naslanjuju na zidove ili grede samo svojim poprečnim krajevima. Tako se dobiva konstrukcija koja opterećenje prenosi samo u svom uzdužnom smjeru.

Pravocrtna jednokraka stubišta. Takvo stubište od jedne ravne ploče ima ravan podgled i u statičkom je smislu ravna prosta ploča (sl. 44a). Ukupno opterećenje proračunske trake iznosi:

$$W = Ql, \quad (7)$$

gdje je Q opterećenje trake prema izrazu (5). Komponenta

STUBIŠTA

opterećenja u smjeru kraka, $W \sin \beta$, raspodjeljuje se jednako na oba ležaja. Tako reakcije okomite na krak, $(W/2) \cos \beta$, i reakcije u smjeru kraka, $(W/2) \sin \beta$, daju vertikalne reakcije $A = W/2$.

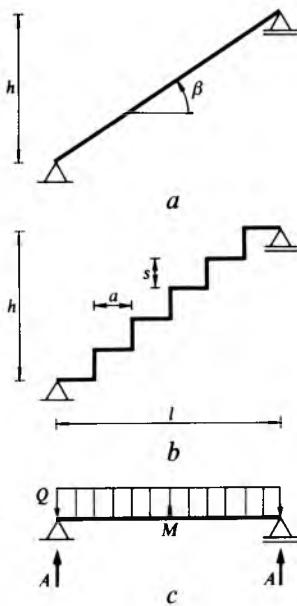
Opterećenje trake je, dakako, vertikalno i po metru kose duljine kraka iznosi $Q \cos \beta$. Komponenta tog opterećenja okomita na krak iznosi $Q \cos^2 \beta$, a komponenta u smjeru kraka $Q \sin \beta \cos \beta$. Kako je kosa duljina kraka $l/\cos \beta$, to je maksimalni moment savijanja ploče u polovici raspona:

$$M = Q l^2 / 8 = W l / 8. \quad (8)$$

Statička se analiza stubišta može, dakle, umjesto na osnovi kose ploče, jednostavnije provesti na osnovi horizontalne projekcije ploče, tj. s tlocrtnim rasponom l i opterećenjem Q po metru horizontalne duljine, odnosno s ukupnim opterećenjem $W = Ql$ proračunske trake. Pritom se uzima da je raspon stubišta l za 5% veći od horizontalne duljine kraka L (2).

Uzdužna sila $(W/2) \sin \beta$ tlačna je na donjem kraju ploče, a vlačna na gornjem. Između krajeva ona se mijenja po linearном zakonu. Normalna su naprezanja od uzdužnih sila malena, pa ih ne treba uzimati u obzir. Poprečni presjek ploče u polovici raspona dimenzionira se prema momentu M (8). Tangencijalna naprezanja ploče također su malena, pa se obično ne provjeravaju.

Pravocrtno jednokrako stubište od naborane ploče (sl. 44b) ima nazubljen podgled, a statički se ponaša kao stubište od ravne ploče.



Sl. 44. Pravocrtno jednokrako stubište: a od ravne ploče, b od naborane ploče, c statička shema

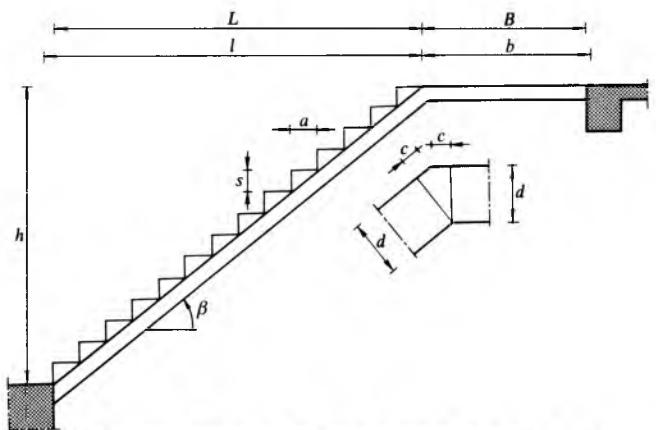
Presjek se ploče u polovici raspona dimenzionira prema maksimalnom momentu savijanja M (8), uz uvjet da je opterećenje Q određeno jednadžbama (4) i (5). Utjecaj uzdužnih i poprečnih sila može se zanemariti. Kako uz konkavne uglove ploče nastaju dodatna naprezanja koja se računski ne utvrđuju, preporučuje se da proračunska maksimalna naprezanja budu manja od dopuštenih.

Pravocrtna jednokraka jednopodestna stubišta često imaju jednake kračnu i podestnu debjinu d . Tada brid što ga čine gornje plohe kraka i podesta (sl. 45) i brid što ga čine donje plohe kraka i podesta (sl. 46) nisu u istoj vertikalnoj ravnini, već su horizontalno razmaknuti u pravcu kraka za

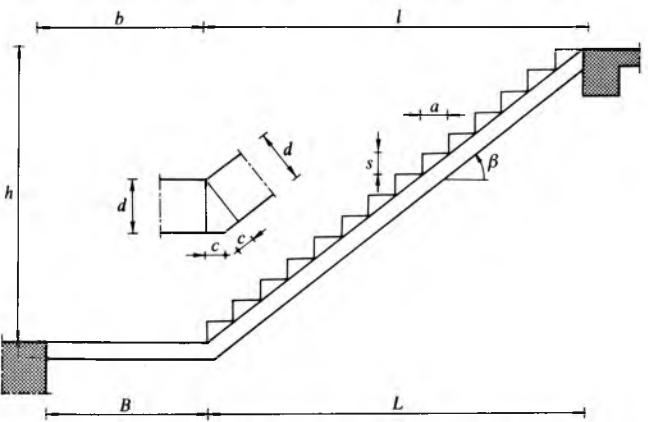
$$c = d \tan(\beta/2), \quad (9)$$

gdje je d debjina kračne ploče. Za nagib $m = 17/29$ taj razmak iznosi 9,5 cm.

Ako se ležaj na jednom od krajeva može smatrati horizontalno pomičnim, stubište statički predstavlja prelomljenu prostu ploču. Analizira se najjednostavnije na osnovi horizontalne projekcije stubišta. Pritom se uzima da su



Sl. 45. Pravocrtno jednokrako stubište s podestom na gornjem kraju



Sl. 46. Pravocrtno jednokrako stubište s podestom na donjem kraju

računska kračna duljina l i podestna b za 5% veće od horizontalne kračne duljine L odnosno stvarne podestne duljine B .

Ukupno opterećenje proračunske trake iznosi:

$$W = Ql + qb, \quad (10)$$

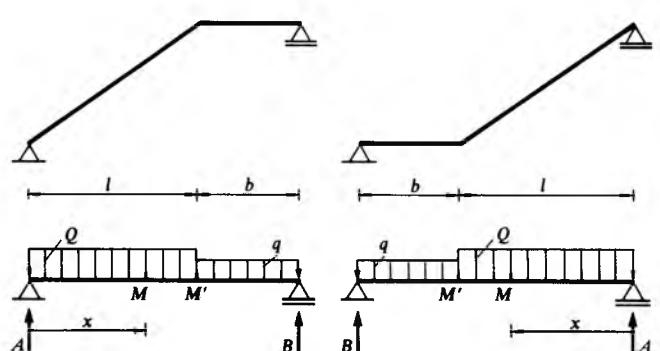
a reakcije u ležajima kraka i podesta:

$$A = \frac{Ql\left(\frac{l}{2} + b\right) + qb^2}{l+b}, \quad B = \frac{\frac{Ql^2}{2} + qb\left(l + \frac{b}{2}\right)}{l+b}. \quad (11)$$

Maksimalni moment savijanja

$$M = \frac{A^2}{2Q} \quad (12)$$

djeluje u kraku na udaljenosti $x = A/Q \leq l$ od ležaja kraka (sl. 47). Želi li se štedjeti armatura, poprečni se presjeci ploče

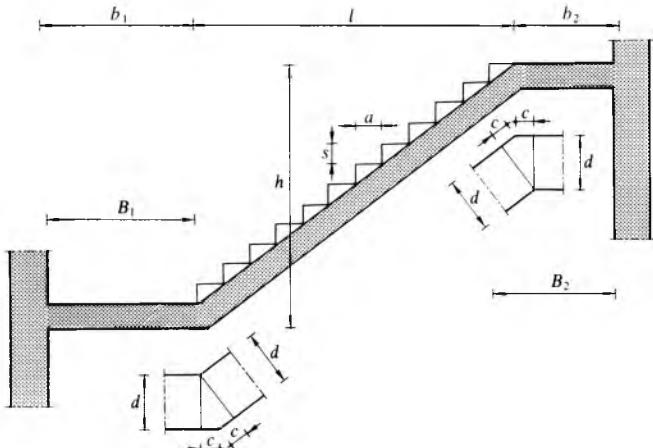


Sl. 47. Statičke sheme pravocrtnih jednokrakih stubišta s podestom na gornjem, odnosno donjem kraju

na sastavu kraka i podesta dimenzioniraju prema momentu savijanja:

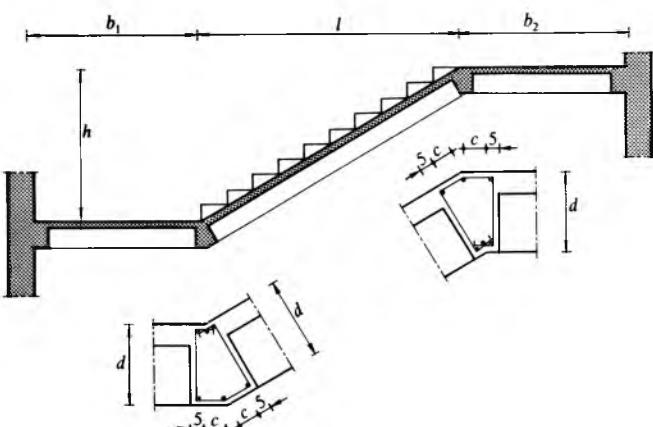
$$M' = \left(A - \frac{Ql}{2} \right) l. \quad (13)$$

Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva često ima krak i podest jednake debljine (sl. 48). Širina izlazne stube pripada gornjemu podestu. Razmak c bridova gornjih i donjih ploha ploče na prijelomima određuje se jednadžbom (9).



Sl. 48. Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište od masivne ploče oslonjeno uzduž poprečnih krajeva

Kad su rasponi ili širine stubišta veliki, može se umjesto masivne primijeniti rebrasta ploča (sl. 49). Osnovni je razmak rebara ~ 50 cm, a debljina ploče iznad rebara ~ 8 cm. Poprečna su rebra uzduž prijeloma promjenljiva presjeka, da bi se za gradnju stubišta mogli iskoristiti uobičajeni oplatni limovi. Poluširina je poprečnih rebara uzduž prijeloma na užem kraju c (9), a na širem $c + \sim 5$ cm. Ako je krak vrlo dug, u polovištu se njegova raspona stavlja još jedno poprečno rebro za ukrućenje, i to okomito na ploču radi jednostavnije izrade.



Sl. 49. Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište od rebraste ploče oslonjeno uzduž poprečnih krajeva

Mehanička shema stubišta prelomljena je prosta ploča, bez obzira da li je jedan od dvaju ležaja stubišta horizontalno pomičan ili nije (sl. 50). To je stoga što obje ležajne reakcije zbog simetrije konstrukcije i antimetrije opterećenja s obzirom na središte kraka moraju biti vertikalne, pa se okvirno djelovanje ne može ostvariti ni u konstrukciji u kojoj su oba ležaja horizontalno nepomična.

Stubište se najjednostavnije analizira na osnovi horizontalne projekcije ploče i opterećenja definiranih s obzirom na horizontalne površine. Ako je gornji podest dulji od donjega za širinu stube, tako da je $B_2 = B_1 + a$, statičke su duljine

obiju podesta jednake (sl. 50). Širina ležaja, zida ili grede uzima se u obzir tako da se za statičku duljinu kraka usvoji $l = 1,05 L$, a za statičku duljinu podesta $b = 1,05 B_1$.

Ukupno opterećenje

$$W = Ql + 2qb \quad (14)$$

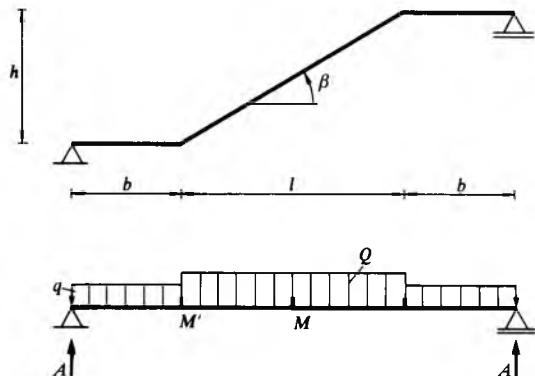
proračunske trake raspodjeljuje se na oba ležaja, pa su reakcije $A = W/2$. Maksimalni moment savijanja

$$M = qb^2/2 + (b + l/4)Ql/2 \quad (15)$$

djeluje u polovištu kraka, a na prijelomima moment savijanja iznosi

$$M' = (Ql + qb)b/2. \quad (16)$$

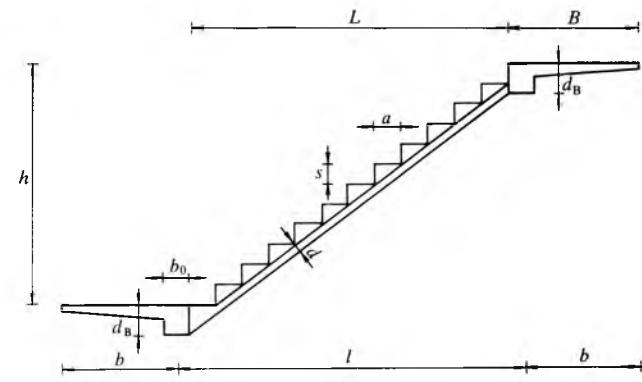
Ako statičke duljine obiju podesta nisu jednake, a razlika nije velika, momenti se savijanja mogu približno odrediti prema jednadžbama (15) i (16), s time da se za b uzme srednja vrijednost statičkih duljina obiju podesta.



Sl. 50. Statičke sheme stubišta na sl. 48 i 49

Utjecaj je uzdužnih sila na naprezanje stubišta malen, pa se karakteristični presjeci dimenzioniraju na savijanje. Ako je ploča rebrasta, primjenjuje se postupak za presjek u obliku slova T.

Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž prijeloma. To se stubište oslanja uzduž prijeloma ploče na podestne grede umjesto na svoje poprečne krajeve. Grede nalijezu na zidove ili stupove na uzdužnim krajevima stubišta. Iz estetskih razloga nepoželjno je da se grede u podgledu vide; takve su grede, osim toga, nepoželjne i zbog komplikiranije oplate i armature. Izvedba s poluskrivenim gredama (sl. 51) uklanja oba nedostatka.



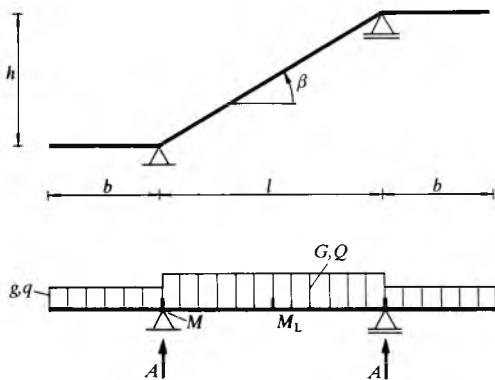
Sl. 51. Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž prijeloma

Debljina kraka d i njegov kut nagiba β te visina stuba s određuju visinu poluskrivenih podestnih greda d_B , pa je

$$d_B = \frac{d}{\cos \beta} + s. \quad (17)$$

Širina nastupne stube pripada donjem podestu.

STUBIŠTA



Sl. 52. Statičke sheme stubišta na sl. 51

Statička je shema stubišta prelomljena ploča s obostranim prepustima (sl. 52). Analizira se najjednostavnije na osnovi horizontalne projekcije ploče i opterećenja definiranih s obzirom na horizontalne površine. Raspon kraka jednak je njegovoj horizontalnoj duljini uvećanoj za širinu greda, $l = L + b_0$, a raspon podesta b udaljenosti slobodnog kraja podesta od osi grede.

Ukupno opterećenje

$$W = Ql + 2qb \quad (18)$$

proračunske trake raspodjeljuje se na obje grede, pa su reakcije $A = W/2$. Pri analizi greda ne smije se zaboraviti da se akcije A odnose na jedinicu gredne duljine.

Ležajni momenti savijanja ploče iznose

$$M = -qb^2/2, \quad (19)$$

a maksimalni poljni moment savijanja kraka

$$M_L = Ql^2/8 - g b^2/2 \quad (20)$$

djeluje u njegovu polovištu. Minimalni poljni moment savijanja kraka također se može odrediti pomoću (20) ako se Q zamjeni sa G , a g sa q .

Kako reakcije zapravo nisu koncentrirane u osi ležaja, nego su raspodijeljene uzduž njegove širine b_0 , ležajni se momenti, određeni izrazom (19), smanjuju za iznos

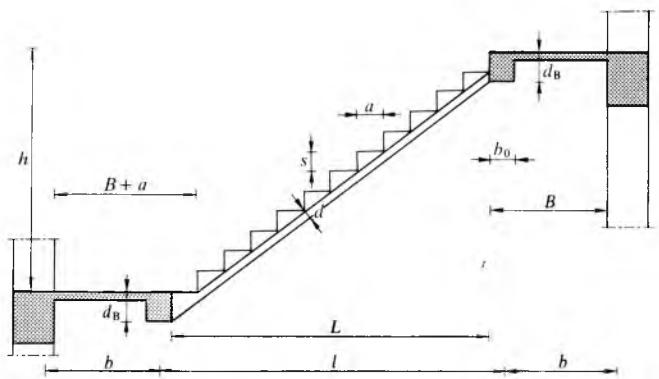
$$\Delta M = Ab_0/8. \quad (21)$$

Utjecaj je uzdužnih sila na naprezanje ploče malen, pa se mjerodavni poprečni presjeci dimenzioniraju na savijanje prema momentu $M + \Delta M$, odnosno M_L . Utjecaj je poprečnih sila također zanemariv.

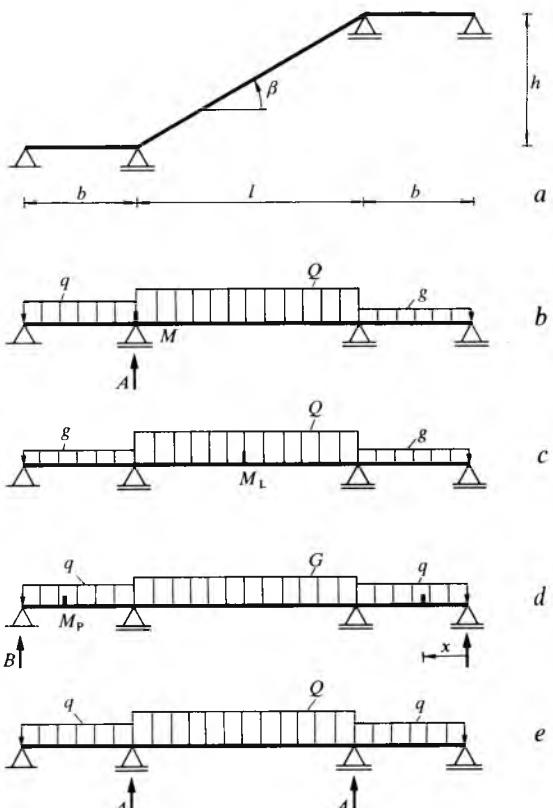
Ponekad se ležajni presjek ploče ne dimenzionira prema ležajnom momentu M u osi ležaja, niti prema reduciranoj ležajnom momentu $M + \Delta M$ u osi ležaja, nego prema nešto manjem ležajnom momentu na rubu ležaja. Ležajni moment na rubu ležaja manji je od ležajnog momenta M u osi ležaja za produkt obiju poprečnih sila uz ležaj i polovice širine ležaja. Kad su obje poprečne sile jednake, redukcija iznosi $\Delta M = Ab_0/4$, pa je ona dvostruko veća od redukcije koja se odnosi na os ležaja, a određena je jednadžbom (21).

Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma. Ako je duljina stubišta velika, svrsishodno je pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište osloniti uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma. Izvedba s poluskrivenim podestnim gredama (sl. 53) povoljnija je i s takvim osloncima. Visina d_B podestnih greda određuje se jednadžbom (17).

Statička shema stubišta prelomljena je kontinuirana tro-poljna ploča (sl. 54a). Raspon je kraka $l = L + b_0$, a raspon podesta $b = 1,025(B - b_0/2)$. Analizira se najjednostavnije na osnovi horizontalne projekcije ploče i opterećenja definiranih s obzirom na horizontalnu površinu. Upotrebljavaju se Clapeyronove tromomentne jednadžbe, tablice za kontinuirane nosače ili neki postupak izjednačenja momenata (v.



Sl. 53. Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma



Sl. 54. Statička shema i opterećenja stubišta na sl. 53. a statička shema, b opterećenje koje daje minimalne unutrašnje ležajne momente i maksimalne unutrašnje reakcije, c opterećenje koje daje maksimalni poljni moment kraka, d opterećenje koje daje maksimalne poljne momente podesta, e ukupno opterećenje stubišta

Statika građevnih konstrukcija. Ako se, radi jednostavnije analize, prepostavi da su omjeri duljina i momenata inercije jednaki u svim poljima, mogu se primjenom tromomentnih jednadžbi izvesti jednostavni izrazi za unutrašnje sile. Kako je krak dulji od podesta, a zbog nabetoniranih stuba ima i veći moment inercije od podesta, ta je pretpostavka realna.

Unutrašnji ležajni momenti poprimaju svoju ekstremnu vrijednost kada je pokretno opterećenje na dva susjedna polja (sl. 54b). Zadatak je, unatoč simetriji ploče s obzirom na vertikalu kroz polovište kraka, dva puta hiperstatičan jer opterećenje nije simetrično. Postave li se i rješe dvije tromomentne jednadžbe, dobiva se

$$M = -Ql^2/20 - (q - g/4)b^2/15. \quad (22)$$

Maksimalni moment savijanja kraka djeluje u polovištu raspona i nastaje kad se pokretno opterećenje nalazi na kraku (sl. 54c). Kako je tada i opterećenje simetrično, zadatak je jedanput hiperstatičan. Unutrašnji su ležajni momenti

pa je

$$M_{gQg} = -(gb^2 + Ql^2)/20, \quad (23)$$

$$M_L = Ql^2/8 + M_{gQg}. \quad (24)$$

Tročlani indeksi naznačuju opterećenja u trima poljima.

Minimalni poljni moment savijanja također se može odrediti pomoću jednadžbi (23) i (24) ako se Q zamjeni sa G , a g sa q .

Poljni moment podesta poprima svoju maksimalnu vrijednost kad se pokretno opterećenje nalazi na oba podesta (sl. 54d). Zadatak je opet jedanput hiperstatičan. Unutrašnji su ležajni momenti

$$M_{qGq} = -(qb^2 + Gl^2)/20, \quad (25)$$

a vanjske reakcije

$$B = qb/2 + M_{qGq}/b. \quad (26)$$

Maksimalni poljni moment

$$M_p = B^2/(2q) \quad (27)$$

djeluje u udaljenosti $x = B/q$ od vanjskog ležaja. Moment M_p , međutim, ne smije biti manji od momenta $qb^2/14$, koji bi nastao kad bi podest na unutrašnjem ležaju bio potpuno upet.

Na osnovi navedenih izraza može se, uz reakciju

$$B_{gQg} = gb/2 + M_{gQg}/b, \quad (28)$$

odrediti i minimalni poljni moment podesta:

$$M_{p,\min} = B_{gQg}^2/(2g). \quad (29)$$

Taj moment djeluje na udaljenosti $x_{gQg} = B_{gQg}/g$ od vanjskog ležaja. Ako je krak dosta dulji od podesta, može reakcija B_{gQg} biti negativna, tako da ploču treba usidriti; momenti su savijanja tada negativni uzduž čitava podesta.

Reakcije su unutrašnjih ležaja maksimalne kad se pokretno opterećenje nalazi na dva susjedna polja (sl. 54b), i iznose

$$A \approx (qb + Ql)/2 - M/b. \quad (30)$$

Kako reakcije zapravo nisu koncentrirane u osi ležaja, nego su raspodijeljene uzduž njegove širine b_0 , unutrašnji se ležajni momenti M (22) smanjuju za ΔM (21), gdje je reakcija A određena jednadžbom (30).

Ponekad se, radi jednostavnosti, ležajne konstrukcije ispituju na ukupno opterećenje stubišta umjesto na najnepovoljnije kombinacije opterećenja (sl. 54e); tada u jednadžbi (30) za akciju A treba umjesto ekstremne vrijednosti momenta savijanja M (22) srednjih ležaja uvrstiti vrijednost

$$M_{qqq} = -(qb^2 + Ql^2)/20, \quad (31)$$

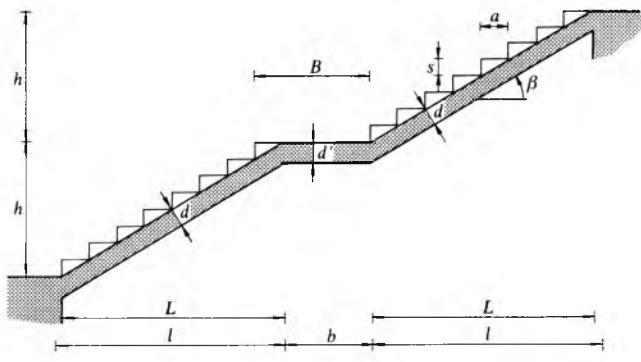
koja odgovara ukupnom opterećenju.

Navedeni su izrazi za momente savijanja i ležajne sile rezultati elastostatike. Međutim, zbog plastičnog toka, tj. puzanja betona, preraspodjeljuju se unutrašnje sile i reakcije. U praksi se ta preraspodjela može jednostavno uzeti u obzir tako da se unutrašnji ležajni momenti nešto smanje, do 15%, a poljni momenti prema kriterijima ravnoteže povećaju. U tu se svrhu izrazi (22), (23), (25) i (31) za unutrašnje ležajne momente pomnože faktorom k ($0,85 \leq k < 1$), pa se za poljne momente u (24), (27) i (29) dobivaju povećane vrijednosti. Taj jednostavni način uvođenja u račun preraspodjeli unutrašnjih sila preporučuje i evropski propis CEB-FIP i njemački DIN.

Preraspodjela se unutrašnjih sila preporučuje ako su, prema elastostatiki, ležajni momenti dosta veći od poljnih. Smanjenje razlika u vrijednostima momenata savijanja olakšava armiranje. Smanjenjem unutrašnjih ležajnih momenata smanjuju se akcije stubišta na podestne grede pa se one time rasterećuju.

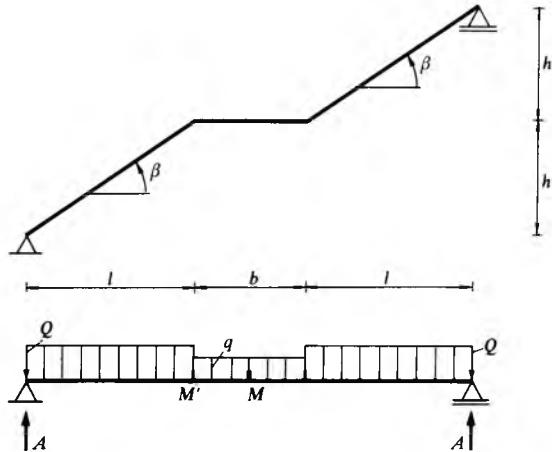
Pravocrtno dvokrako jednopodestno stubište. Za takvo stubište (sl. 55) svrshodno je uzeti debljinu podesta jednaku vertikalno mjerenoj debljini ploča krakova:

$$d' = d/\cos\beta. \quad (32)$$



Sl. 55. Pravocrtno dvokrako jednopodestno stubište

Tada su gornji i donji bridovi na prijelomima u istoj vertikalnoj ravni. Širina završne stube donjeg kraka pripada međupodestu. Statička je duljina krakova $l = 1,05L$, a statička duljina podesta $b = 1,05(B-a)$.



Sl. 56. Statičke sheme stubišta na sl. 55

Statička je shema podesta prelomljena prosta ploča (sl. 56). Analizira se najjednostavnije na osnovi horizontalne projekcije ploče i opterećenja definiranih s obzirom na horizontalnu površinu. Rezultati se mogu napisati polazeći od jednadžbi (14), (15) i (16), koje vrijede za jednokrako dvopodestno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva, kad se međusobno zamijene q i Q te b i l . Onda se za ukupno opterećenje, reakcije i momente savijanja dobiva:

$$W = 2Ql + qb, \quad A = W/2, \quad (33)$$

$$M = Ql^2/8 + (l+b/4)ql/2, \quad (34)$$

$$M' = (Ql + qb)l/2. \quad (35)$$

Dvokraka protusmjerna stubišta. U višekatnim stambenim zgradama vrlo su česta stubišta sa dva paralela protusmjerna kraka. Ona zauzimaju malo prostora i mogu se omediti zidovima, odnosno smjestiti unutar jezgre koja ujedno bočno okružuje zgradu i preuzima horizontalne utjecaje.

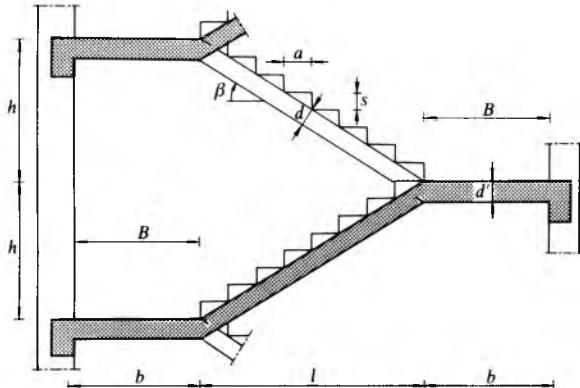
U pogledu podesta moraju, iz estetskih razloga, brid podesta i donjeg kraka te brid podesta i gornjeg kraka biti kolinearni.

U dvokrakom protusmjernom stubištu oslonjenom uzduž njegovih poprečnih krajeva (sl. 57) debljina se podesta d' određuje debljinom kraka d prema izrazu (32). U statičkom pogledu to se stubište može shvatiti kao par pravocrtnih jednokrakih dvopodestnih stubišta koja se oslanjaju uzduž poprečnih krajeva i smještenu su jedno do drugoga. Ako su krakovi u poprečnom smjeru stubišta razmaznuti, opterećenje se podesta na području tog razmaka dijeli na oba pravocrtna stubišta. U tu se svrhu opterećenja podesta g , p i q u izrazima (5) i (6) množe faktorom

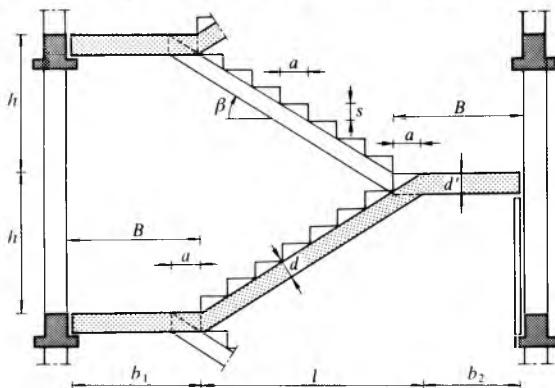
$$\kappa = 1 + \lambda/2, \quad (36)$$

pri čemu je λ kvocijent razmaka krakova b_A i njihove širine b' .

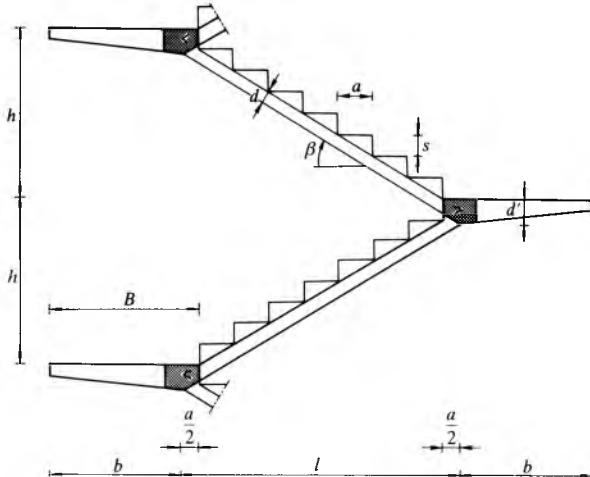
Dvokrako protusmjerno stubište može se sastaviti od dvaju prefabriciranih dijelova. Odustane li se od kolinearnosti bridova podesta i donjeg kraka te podesta i gornjeg kraka u pogledu, duljina se stubišta može smanjiti za širinu jedne stube (sl. 58). Tada je uzduž podesta njegova širina B konstantna, a statičke se duljine b_1 i b_2 podesta razlikuju za širinu stube, tako da je $b_2 = b_1 - a$. Unutrašnje se sile mogu približno odrediti primjenom jednadžbi (14) do (16), s time da se za statičku duljinu podesta uzme srednja vrijednost $b = (b_1 + b_2)/2$ statičkih duljina b_1 i b_2 .



Sl. 57. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva



Sl. 58. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva i sastavljeno od dvaju prefabriciranih dijelova



Sl. 59. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno uzduž prijeloma

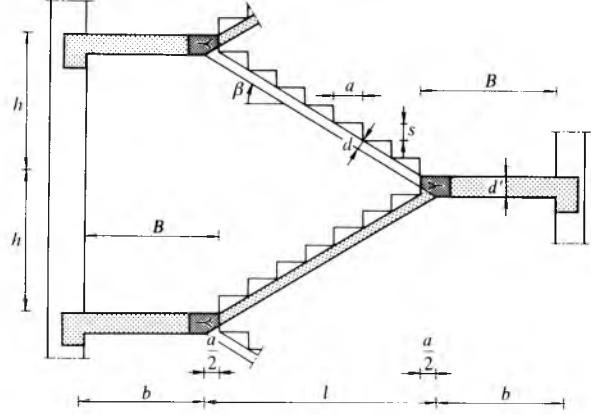
Dvokrako protusmjerno stubište može se osloniti uzduž prijeloma umjesto uzduž njegovih poprečnih krajeva. Kako je nepoželjno da se grede vide, one se sakriju u podestu (sl. 59); to je moguće, međutim, samo kad su stubišta umjerene

širine, a opterećenja nisu osobito velika. I s estetskog i s konstrukcijskog gledišta povoljno je da se debljina podesta prema slobodnom kraju smanjuje. Debljinu podesta d' na prijelomu a time i visinu skrivenih podestnih greda, određuju debljina kraka d i kut njegova nagiba β te visina stuba s :

$$d' = \frac{d}{\cos \beta} + \frac{s}{2}. \quad (37)$$

U statičkom pogledu to se stubište može shvatiti kao par pravocrtnih jednokrakih dvopodestnih stubišta koja se oslanjaju uzduž prijeloma i smještena su jedno do drugoga. Raspon krakova l jednak je njihovoj horizontalnoj duljini L . Sirina podesta B toga stubišta je konstantna, a statička je duljina podesta $b = B - a/2$.

Vrlo duga dvokrako protusmjerna stubišta imaju ležaje uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma.



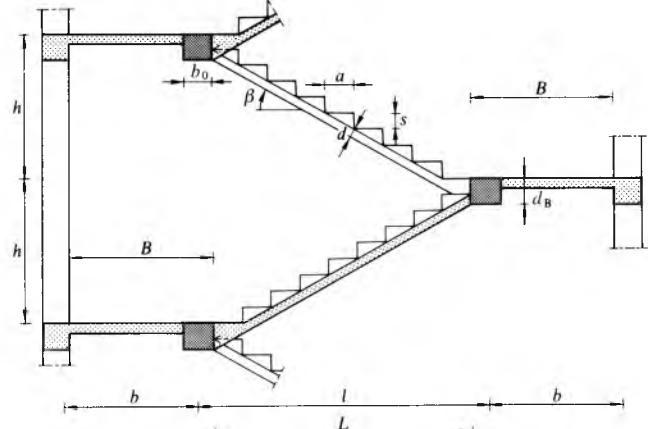
Sl. 60. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva i na skrivenе gredе uzduž prijeloma

Izvedba sa skrivenim podestnim gredama (sl. 60) dolazi u obzir za relativno uska stubišta; u širokim stubištima grede bi bile neekonomične i preflexibilne, a ploče podesta prilično deblje nego što je statički potrebno. Debljine podesta i kraka povezane su izrazom (37). Izvedba s poluskrivenim podestnim gredama (sl. 61) konstruktivno je mnogo povoljnija, jer je visina podestnih greda,

$$d_B = \frac{d}{\cos \beta} + s, \quad (38)$$

veća, a ploče podesta su tanje i zato ekonomičnije. Takva se izvedba, dakle, preporučuje za široka stubišta i stubišta s velikim pokretnim opterećenjem.

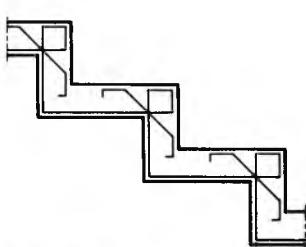
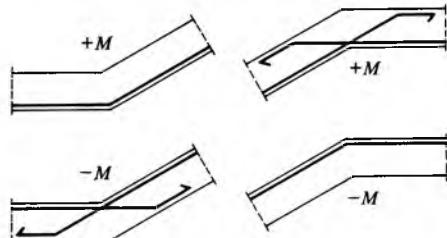
U statičkom pogledu to je stubište par jednokrakih dvopodestnih stubišta koja se oslanjaju uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma, a smještena su jedno do drugoga. Stubišta sa skrivenim podestnim gredama (sl. 60) imaju $l = L$ i $b = 1,025(B - a/2)$, a stubišta s poluskrivenim podestnim gredama (sl. 61) $l = L + b_0$ i $b = 1,025(B - b_0/2)$.



Sl. 61. Dvokrako protusmjerno stubište oslonjeno uzduž poprečnih krajeva i na poluskrivenе gredе uzduž prijeloma

Armatura stubišta. Prelomljene ploče sastavljene od krakova i podesta armiraju se kao jednosmjerne ploče, glavnom i razdjelnom armaturom. Pri pronaalaenju unutrašnjih sila pretpostavlja se da su krajnji ležaji ploča zglobovi, slično kao u stropnih ploča. Zapravo se na krajevima pojavljuju, već prema konstrukciji, veći ili manji momenti ukliještenja. Oni se uzimaju u obzir tako da se blizu krajeva dio glavne armature polja savije uz gornju plohu. U potresnim se područjima, ali i inače, takvo savijanje armature pokazalo nepovoljnijim, pa se uz gornju plohu stavlja posebna armatura.

Uz konveksne se uglove ploče zategnuta armatura savija (sl. 62), a uz konkavne se nastavlja u pritisnuto područje i tamo sidri; u suprotnom slučaju šipke bi izbacile zaštitni, pokrovni sloj betona i iskočile.



U naboranim se pločama zategnute šipke uz konkavne uglove saviju u petlje i dodaju posebne šipke (sl. 63). To se odnosi na dio ploče u području pozitivnih momenata savijanja, dakle na područje gdje su vlačna naprezanja uz donju plohu ploče.

Pločasta stubišta s membranskim djelovanjem

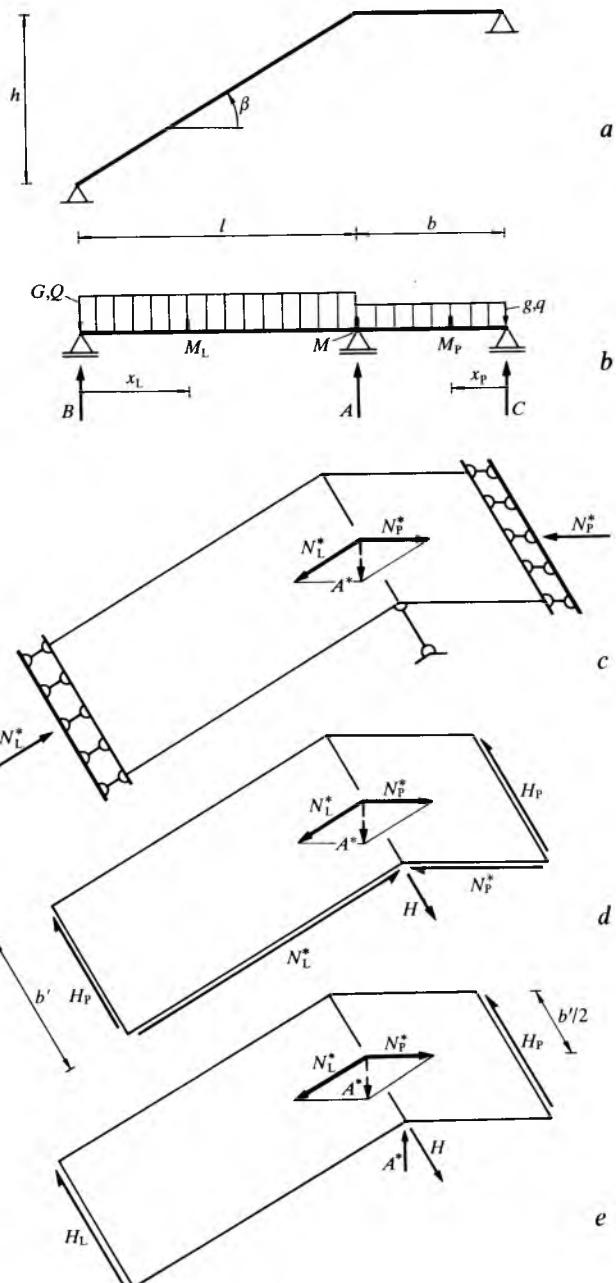
Dok se u stubištima bez membranskog djelovanja opterećenje prenosi samo jednosmjernim savijanjem u uzdužnom smjeru stubišta, u stubištima s membranskim djelovanjem nastaju i uzdužne sile, tako da su krakovi i podesti napregnuti i aksijalno te eventualno na savijanje u svojoj ravnini.

Prijenos opterećenja koji odgovara savijanju ploče u uzdužnom smjeru stubišta naziva se momentnim djelovanjem stubišta, a pripadne unutrašnje sile momentnim unutrašnjim silama. Prijenos opterećenja koji odgovara uzdužnim silama naziva se membranskim djelovanjem stubišta, a pripadne unutrašnje sile membranskim unutrašnjim silama.

Zbog membranskog efekta prijelomi su ploča nepomični i ne mogu se, dakle, progibati. Koljenaste ploče krakova i podesta zbog toga djeluju kao kontinuirane ploče. Momenti savijanja mnogo su manji nego u istovrsnim stubištima bez membranskog djelovanja.

U stubištima s membranskim djelovanjem ploče krakova i podesta mogu biti prilično tanje nego u stubištima bez membranskog djelovanja.

Pravocrtna jednokraka jednopodestna stubišta. Za određivanje *fleksijskog djelovanja* u jednokrakim jednopodestnim stubištima statička je shema za pronaalaenje momentnih unutrašnjih sila prelomljena kontinuirana dvopoljna ploča (sl. 64a i 65a). Analiziraju se, kao i jednokraka jednopodestna stubišta bez membranskog djelovanja, na osnovi tlocrte projekcije ploče i opterećenja definiranih s obzirom na tlocrt (sl. 64b i 65b).



Unutrašnji ležajni momenti, i to posebno za opterećenja na kraku i na podestu, iznose:

$$\begin{aligned} M_G &= -Gl^2/16, & M_g &= -gb^2/16, \\ M_Q &= -Ql^2/16, & M_q &= -qb^2/16, \end{aligned} \quad (39)$$

gdje se indeksi G , g , Q i q odnose na opterećenja kraka odnosno podesta, u skladu s jednadžbama (5) i (6).

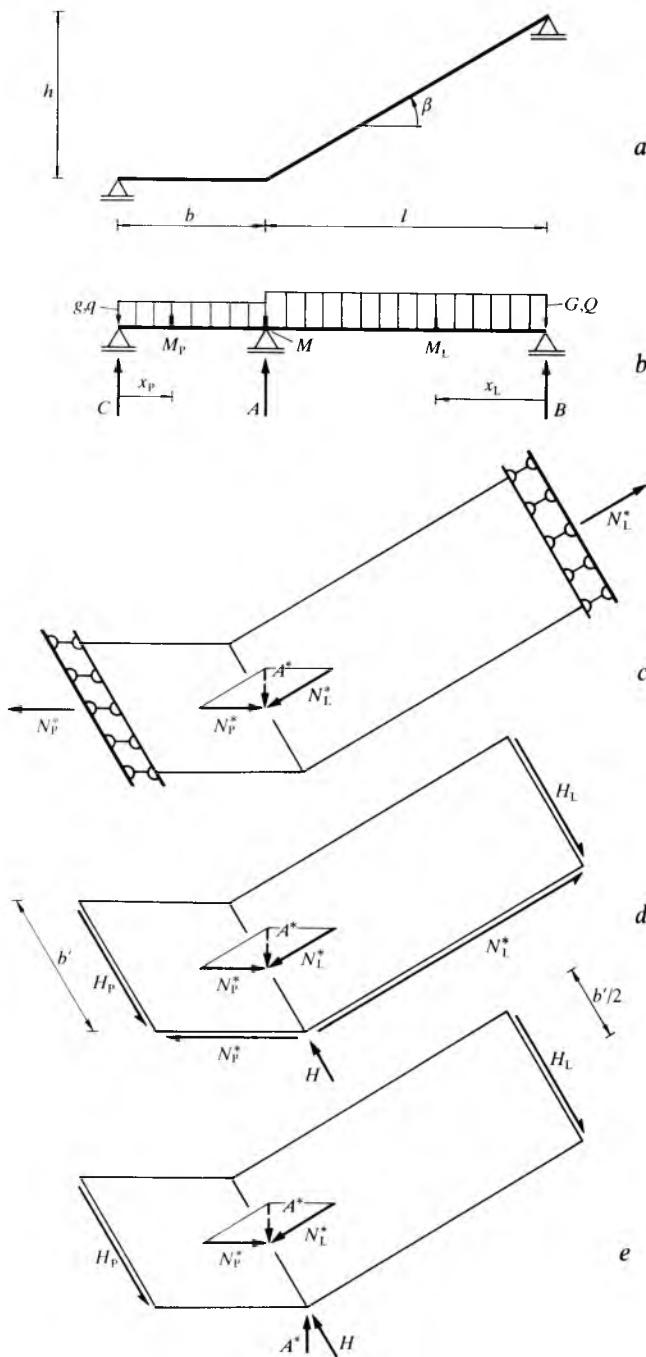
Unutrašnji ležajni moment i unutrašnja reakcija poprimaju svoje ekstremne vrijednosti pri ukupnom opterećenju i kraka i podesta, pa iznose:

$$\begin{aligned} M &= M_{Qq} = M_Q + M_q, \\ A &= A_{Qq} = (Ql + qb)/2 - (1/l + 1/b)M. \end{aligned} \quad (40)$$

Za kombinacije stalnog i ukupnog opterećenja unutrašnji ležajni momenti i unutrašnje reakcije iznose:

$$M_{Qg} = M_Q + M_g, \quad M_{Gq} = M_G + M_q,$$

STUBIŠTA



Sl. 65. Pravocrtno jednokrako stubište s podestom na donjem kraju. a statička shema, b statička shema u tlocrtu i opterećenje, c, d i e membranske unutrašnje sile i pripadne reakcije za tri načina oslanjanja stubišta

$$A_{Qg} = (Ql + qb)/2 - (1/l + 1/b)M_{Qg}, \quad (41)$$

$$A_{Gq} = (Gl + qb)/2 - (1/l + 1/b)M_{Gq}, \quad (41)$$

$$B = B_{Qg} = (Ql + qb)/2 + M_{Qg}/l,$$

$$C = C_{Gq} = (Gl + qb)/2 + M_{Gq}/l.$$

Najveći poljni momenti kraka i podesta djeluju u udaljenostima od vanjskih ležaja (sl. 64b i 65b)

$$x_L = B/Q, \quad x_P = C/q \quad (42)$$

i iznose:

$$M_L = B^2/(2Q), \quad M_P = C^2/(2q). \quad (43)$$

Membransko djelovanje stubišta pojavljuje se zbog toga što se unutrašnja akcija A od momentnog djelovanja stubišta rastavlja u silu N_L koja djeluje na krak i silu N_P koja djeluje

na podest:

$$N_L = A/\sin \beta, \quad N_P = A/\tan \beta. \quad (44)$$

Akcija A i njene komponente N_L i N_P odnose se, prema definiciji, na računsku traku stubišta širine 1 m. Vrijednosti sile A , N_L i N_P pomnožene sa širinom b' kraka i podesta odnose se na čitavu širinu stubišta i označene su zvjezdicama.

U stubištu s gornjim podestom membranska sila N_L^* tlači krak, a membranska sila N_P^* tlači podest (sl. 64c). U stubištu s donjim podestom krak i podest napregnuti su vlačno (sl. 65c).

Već prema tome kako su stubišta oslonjena, komponente N_L^* i N_P^* akcija A^* prenose se na ležaje na jedan od ova tri načina:

1) Ako su ležaji poprečnih krajeva stubišta u uzdužnom smjeru stubišta nepomični (sl. 64c i 65c), sile se N_L^* i N_P^* prenose u te ležaje. To se u praksi pojavljuje kad je zgrada krutim zidovima ili jezgrom bočno dobro ukrućena, pa nisu mogući horizontalni pomaci stropnih ploča.

2) Ako su krak i podest uzduž jednog od uzdužnih krajeva stubišta ugrađeni u nosivi zid (sl. 64d i 65d), sile N_L^* i N_P^* prenose se na taj zid. Kako akcije i pripadne reakcije nisu kolinearne, u ravnicama kraka i podesta nastaju prijenosni momenti. Pripadne su reakcije uzduž poprečnih krajeva stubišta, odnosno uzduž prijeloma stubišta:

$$H_L = \frac{b'^2}{2l\tan\beta}A, \quad H_P = \frac{l}{b}H_L, \quad (45)$$

$$H = H_L + H_P.$$

U stubištima s gornjim podestom sila H je vlačna, a u stubištima s donjim podestom ona je tlačna.

Akcije su stubišta H_L , H_P i H na ležajne konstrukcije kolinearne i suprotno orijentirane od reakcija prikazanih na crtežima. One se na poprečnim krajevima stubišta prenose u zidove, uzdužne zidove, grede i usidrenja.

3) Nalaze li se uzduž poprečnih krajeva stubišta zidovi ili grede, a na jednom kraju prijeloma ploče stup i neki konstrukcijski element koji može preuzeti horizontalnu silu uzduž prijeloma (sl. 64e i 65e), komponenta N_L^* akcije A^* prenosi se u ravnini kraka, a komponenta N_P^* u ravnini podesta u glavu stupa gdje se opet sastavljaju u akciju A^* ; stup tu akciju tlakom prenosi u temelj. Prijenosni momenti opet se uravnotežuju s reakcijama H_L , H_P i H (45).

Akcije stubišta H_L , H_P i H su na ležajne konstrukcije kolinearne, a suprotno orijentirane od reakcija prikazanih u crtežima. One se na poprečnim krajevima stubišta prenose u zidove, grede ili usidrenja.

Poprečni se presjeci ploče uz prijelom dimenzioniraju prema ležajnom momentu M i uzdužnoj sili N_L odnosno N_P na ekscentrični tlak kad postoji gornji podest, a na ekscentrični tlak kad postoji donji podest.

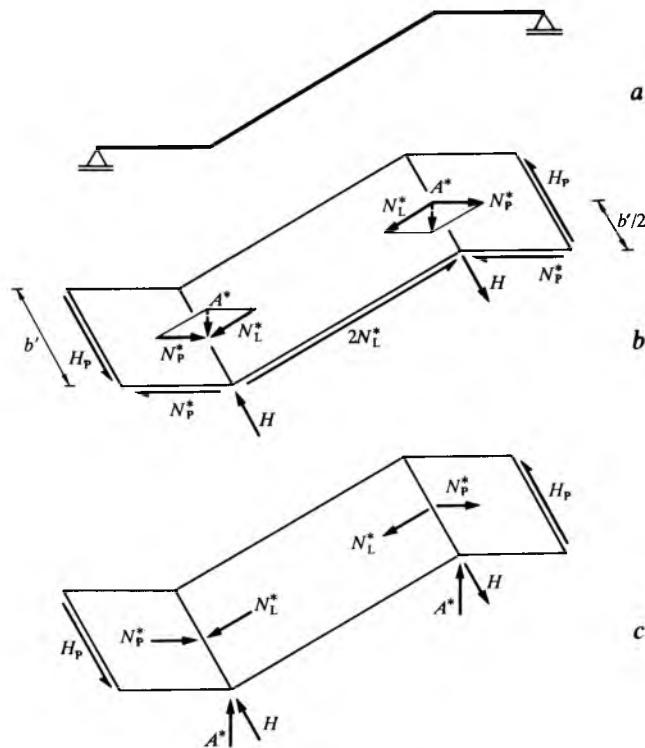
U stubištima oslonjenim prema sl. 64c i 65c poljni se presjeci kraka dimenzioniraju prema momentu savijanja M_L i uzdužnoj sili N_L na ekscentrični tlak kad postoji gornji podest, a na ekscentrični tlak kad postoji donji podest. Analogno se poljni presjeci podesta ispituju na moment savijanja M_P i uzdužnu silu N_P . U stubištima oslonjenim prema sl. 64d, 64e, 65d i 65e utjecaj je uzdužnih sila u poljnim presjecima neznatan, pa se ti presjeci mogu dimenzionirati na savijanje.

Utjecaj savijanja krakova i podesta u njihovim ravninama obično se ne analizira.

Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište. *Fleksijsko djelovanje* pravocrtnoga jednokrakog dvopodestnog stubišta s membranskim djelovanjem (sl. 66a) odgovara fleksijskom djelovanju pravocrtnog jednokrakog dvopodestnog stubišta oslonjena uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma bez membranskog djelovanja. Utjecaj se podestnih greda ostvaruje membranskim djelovanjem.

Da se ne bi morao ispitivati utjecaj nekoliko kombinacija opterećenja, membransko se djelovanje stubišta analizira za ukupno opterećenje na cijelom stubištu.

Membransko djelovanje nastaje zbog djelovanja unutrašnjih akcija A (30), koje se, jer nema vanjskih ležaja, rastavljuju u sile N_L koje djeluju na krak i sile N_P koje djeluju na podesta (44). U gornjem je dijelu kraka uzdužna sila tlačna, u donjem dijelu vlačna, u gornjem podestu tlačna, a u donjem vlačna.



Sl. 66. Pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište. a statička shema, b i c membranske unutrašnje sile i pripadne reakcije za dva načina oslanjanja stubišta

Već prema načinu oslanjanja stubišta, komponente N_L^* i N_P^* akcija A^* prenose se na ležaje na jedan od ova dva načina:

I) Ako su krak i podesti uzduž jednog od uzdužnih krajeva stubišta ugrađeni u nosivi zid (sl. 66b), sile N_L^* i N_P^* prenose se u taj zid. Prijenosni se momenti u ravninama kraka i podesta, koji nastanu zbog nekolinearnosti akcija i pripadnih reakcija, uravnotežuju horizontalnim reakcijama H_P uzduž poprečnih krajeva i H uzduž prijeloma stubišta:

$$H_P = \frac{b'^2}{2b \tan \beta} A, \quad H = \left(1 + \frac{b}{2l}\right) H_P. \quad (46)$$

Pripadne akcije stubišta preuzimaju poprečni zidovi, uzdužni zid, grede ili usidrenja.

2) Ako uzduž uzdužnog kraja stubišta ne postoji nosivi zid ili je stubište radi jednostavnije izvedbe odvojeno fugom od toga zida, komponente N_L^* akcija A^* prenose se u ravnini kraka, a komponente N_P^* u ravninama podesta u glave stupova na krajevima prijeloma gdje se opet sastavljaju u akcije A^* . One se u obliku centričnih sila tlaka prenose uzduž stupova u temelje. Horizontalne reakcije H_P i H , a s tim i akcije stubišta na ležajnu konstrukciju, određuju se jednadžbama (46).

Poprečni presjeci ploče uz gornji prijelom dimenzioniraju se prema ležajnom momentu M (22) i uzdužnim silama N_L odnosno N_P (44) na ekscentrični tlak. Poprečni presjeci uz donji prijelom dimenzioniraju se prema istim unutrašnjim silama na ekscentrični vlast. Poljni presjek kraka dimenzionira se prema momentu M_L (24), a poljni presjek podesta prema momentu M_P (27) na savijanje.

Uglovno stubište. U prelomljenom pravocrtnom jednokrakom jednopodestnom stubištu (sl. 67a) ili, kraće, uglovnom stubištu javlja se membransko djelovanje ako se stropne konstrukcije mogu smatrati horizontalno nepomičnim u smjeru kraka.

Kad se promatra *fleksijsko djelovanje* u uzdužnom smjeru, može se smatrati da je stubište poduprto uzduž prijeloma (sl. 67b).

Krk i pripadni dio širine podesta b' predstavljaju prelomljenu prostu ploču s jednim prepustom; uzima se da je prepust opterećen polovicom opterećenja podesta, tj. sa $g/2$, odnosno $q/2$. Ležajni moment tada iznosi:

$$M = -qb^2/4, \quad (47)$$

a reakcije

$$A = A_{q/2,Q} = (qb + Ql)/2 - M/l, \quad (48)$$

$$B = B_{q/2,Q} = Ql/2 - qb^2/(4l).$$

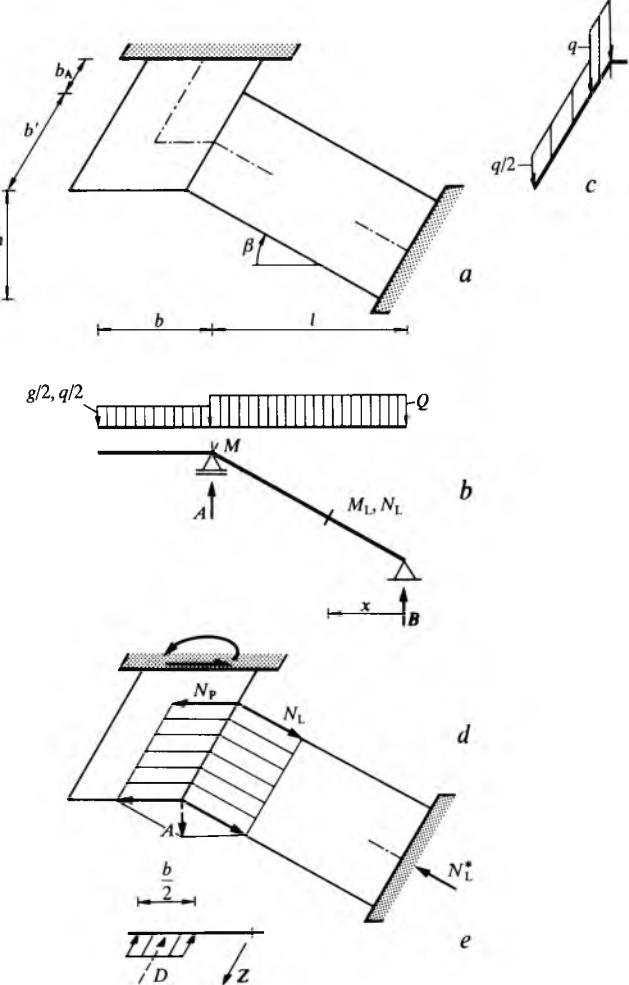
Maksimalni poljni moment savijanja kraka i udaljenost presjeka u kojemu on djeluje od donjeg kraja kraka iznose:

$$M_L = B^2/(2Q), \quad x = B/Q. \quad (49)$$

U smjeru okomitom na vertikalnu ravnicu kroz os kraka podest djeluje kao konzola upeta u stropnu konstrukciju. Opterećena je na vanjskom dijelu polovicom opterećenja, a uz stropnu konstrukciju ukupnim opterećenjem (sl. 67c), pa moment uklještenja po metru širine ploče iznosi

$$M_P = -(b'^2/2 + b'b_A + b_A^2)q/2. \quad (50)$$

Membransko djelovanje stubišta nastaje zbog akcije A na prijelomu ploče uzrokovane momentnim djelovanjem stubišta u smjeru kraka. Kako nema vanjskog ležaja, A se rastavlja u komponentu N_L koja djeluje na krak i u komponentu N_P koja djeluje na podest (sl. 67d).



Sl. 67. Uglovno stubište. a shema, b statička shema za analizu momentnog djelovanja stubišta u smjeru kraka, c statička shema za analizu momentnog djelovanja stubišta u smjeru podesta, d membranske unutrašnje sile i reakcije, e membranske akcije na presjek uklještenja podesta u stropnu konstrukciju

STUBIŠTA

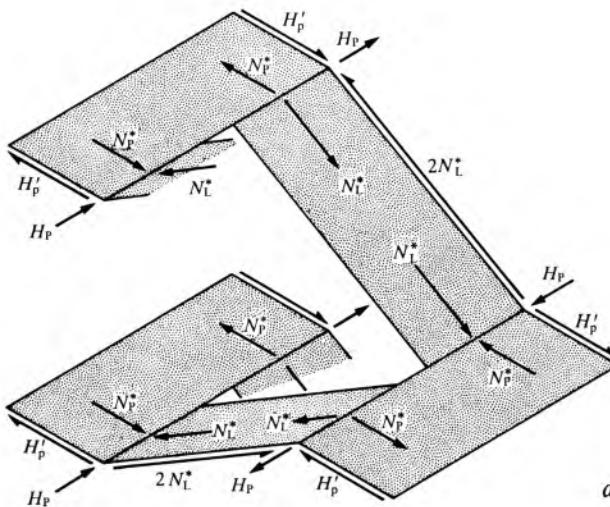
Rezultanta sila $N_L^* = b'N_L$ koje pritišću krak prenosi se aksijalno u donji ležaj kraka. Rezultanta sila $N_P^* = b'N_P$ koje pritišću podest savija podest u njegovoj ravnini. Ekstremna vrijednost momenta savijanja, moment uklještenja podesta u stropnu konstrukciju, jednak je produktu rezultante N_P^* i njene udaljenosti od presjeka uklještenja, a ostvaruje se kao par sila (sl. 67e):

$$Z = D = \frac{2b'l}{3bh} (b' + 2b_A)A. \quad (51)$$

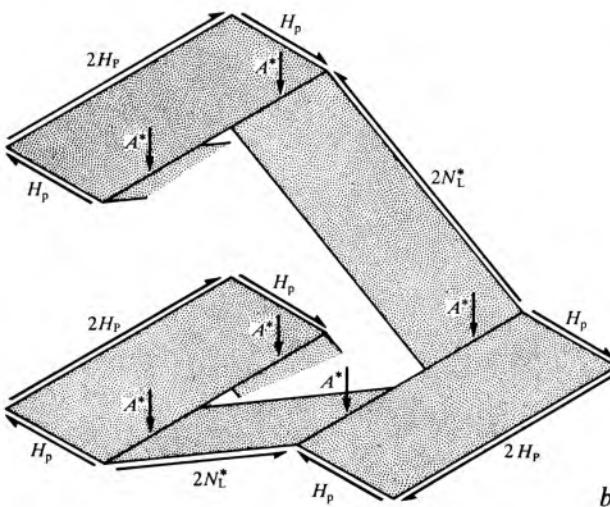
Poprečni presjeci ploče uz prijelom dimenzioniraju se prema momentu savijanja M i uzdužnim silama N_L odnosno N_P (44) na ekscentrični tlak. Poljni presjek kraka dimenzionira se prema momentu savijanja M_L i uzdužnoj sili $B\sin\beta$ na ekscentrični tlak.

Presjek uklještenja podesta u stropnu konstrukciju dimenzionira se prema momentu M_P na savijanje. Membransku silu Z preuzima armatura koja mora biti usidrena u stropnu konstrukciju. Membranska sila D proizvodi tlak u vanjskoj polovici presjeka, ali su naprezanja malena. Želi li se računati točnije, vanjska se polovica presjeka dimenzionira prema momentu M_P i uzdužnoj sili D na ekscentrični tlak, unutrašnja prema istim unutrašnjim silama na ekscentrični vlak, a armatura se raspoređuje kontinuirano.

Dvokraka protusmjerna stubišta s membranskim djelovanjem mnogo su ekonomičnija od dvokrakog protusmjernog stubišta oslonjena uzduž svojih poprečnih krajeva bez membranskog djelovanja (sl. 57).



a



b

Sl. 68. Membransko djelovanje dvokrakog protusmjernog stubišta kojemu su krakovi ugrađeni u zidove stubišnog okna. a) uzdužni zidovi mogu preuzeti akcije u svojoj ravnini i akcije uzduž prijeloma ploča, b) uzdužni i poprečni zidovi mogu preuzeti samo akcije u svojoj ravnini

Pri analizi *fleksijskog djelovanja* prijelomi ploča mogu se tretirati kao linijski ležaji. Stubište se shvaća kao par pravocrtnih jednokrakih dvopodestnih stubišta koja se oslanjaju uzduž poprečnih krajeva i uzduž prijeloma (sl. 54), a smještena su jedno do drugoga. Ako su krakovi u poprečnom smjeru stubišta razmaznuti, opterećenja se podesta na području tog razmaka dijele na oba pravocrtna stubišta (36), kao u dvokrakom protusmjernom stubištu bez membranskog djelovanja.

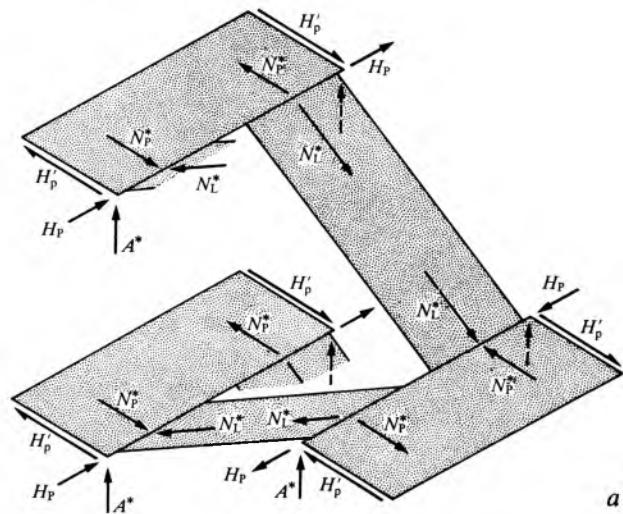
Membransko djelovanje ovisi o načinu oslanjanja stubišta:

1) **Stubište je uzduž čitava oboda ugrađeno u zidove stubišnog okna.** Ako su ti zidovi od armiranog betona, opeke ili bloketa, koji mogu preuzeti sile u svojoj ravnini, ali ne mogu preuzeti sile okomite na njihovu ravninu, membransko je djelovanje stubišta sljedeće:

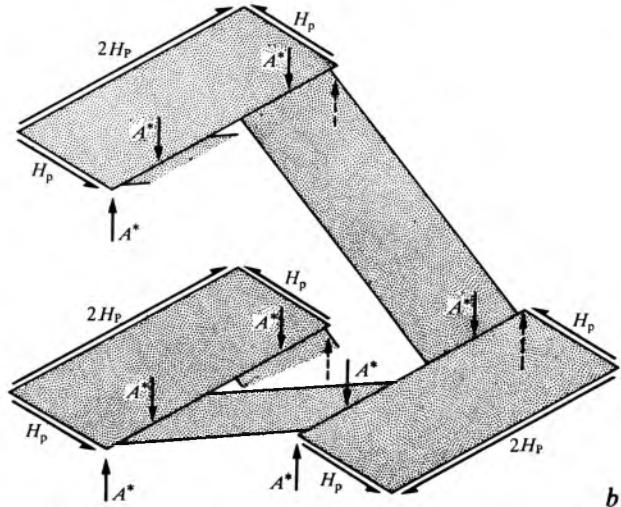
Akcije $A^* = b'A$ (sl. 54e) na prijelomima, koje rezultiraju iz momentnog djelovanja stubišta, rastavljaju se u silu N_L^* koja djeluje na krak i u silu N_P^* koja djeluje na podest (sl. 68a). Sile N_L^* i N_P^* tlačne su uz sljemene prijelome, a vlačne uz uvalne prijelome. Podesti su u svojoj ravnini izloženi momentu $(b' + b_A)N_P^*$; pripadne reakcije djeluju po uzdužnim rubovima stubišta i iznose

$$H_p' = \frac{1 + \lambda}{2 + \lambda} \cdot \frac{l}{h} b' A. \quad (52)$$

Na krakove djeluju po dvije sile N_L^* ; pripadna je reakcija uzdužnog zida



a



b

Sl. 69. Membransko djelovanje dvokrakog protusmjernog stubišta kojemu su krakovi fugom odvojeni od zidova stubišnog okna. a) uzdužni zidovi mogu preuzeti akcije u svojoj ravnini i akcije uzduž prijeloma ploča, b) uzdužni i poprečni zidovi mogu preuzeti samo akcije u svojoj ravnini

$$2N_L^* = \frac{2b'}{\sin \beta} A. \quad (53)$$

Prijenosni moment $b'N_L^*$ uravnovežuje se s reakcijama uzduž prijeloma ploča:

$$H_p = \frac{b'^2}{h} A. \quad (54)$$

Prema pretpostavci, uzdužni zidovi ne mogu primiti akcije H_p . Zbog toga akcije H_p , po jednu od svakog kraka, prima podest i prenosi ih u zid na poprečnom kraju stubišta (sl. 68b). Prijenosni moment $2bH_p$, koji pritom nastaje, uravnovežuje se s parom reakcija uzduž uzdužnih krajeva stubišta; te reakcije i reakcije H'_p superponiraju se, pa je ukupna reakcija:

$$H_p = \frac{(1+\lambda)l - 2b}{(2+\lambda)h} b' A. \quad (55)$$

Vidi se, dakle, da uzduž oboda stubišta djeluju samo reakcije orijentirane uzduž rubova ploča (sl. 68b). Može se pokazati da one uravnovežuju opterećenje stubišta $4A^*$ koje nastaje zbog njegova momentnog djelovanja.

Zidovi stubišnog prostora odnosno okna opterećeni su akcijama stubišta, dakle silama prema sl. 68b, ali suprotna smjera.

2) *Krakovi su stubišta odvojeni fugom od zidova stubišnog okna.* Ako su zidovi okna od opeke ili blokova, krakovi se često od zida odvajaju fugom radi jednostavnije izvedbe. Podesti su, međutim, ugrađeni uzduž svih triju strana. Na mjestima prijeloma ploča nalaze se u uzdužnim zidovima armiranobetonski stupovi ili je zid pojačan stupcem. Membransko djelovanje stubišta tada je sljedeće:

Akcije A^* na prijelomima rastavljaju se na silu N_L^* koja djeluje na krak i silu N_P^* koja djeluje na podest (sl. 69a). Uz sljemene prijelome te su sile tlačne, a uz uvalne vlačne. Podesti su u svojoj ravnini opterećeni momentom $(b' + b_A)N_P^*$, koji se uravnovežuje s parom reakcija (52) uzduž uzdužnih rubova podesta. Krakovi svoje opterećenje, dakle sile $2N_L^*$, prenose u stupove, odnosno stupce. Tamo se pripadne reakcije rastavljaju u horizontalnu komponentu N_P^* i vertikalnu komponentu A^* . Horizontalna komponenta i reakcija po uzdužnom rubu podesta superponiraju se, pa se dobiva:

$$H'_p = \frac{l}{2+\lambda} \cdot \frac{b'}{h} A, \quad (56)$$

dok se vertikalna akcija A^* prenosi kao tlačna sila u temelj.

Prijenosni momenti u ravninama krakova, koji nastaju prijenosom opterećenja krakova $2N_L^*$ iz osi kraka u stup, uravnovežuju se s reakcijama H_p u (54) uzduž prijeloma ploča. Kako uzdužni zidovi stubišnog okna, prema pretpostavci, ne mogu preuzeti akcije koje odgovaraju reakcijama H_p , te akcije preuzimaju podesti i prenose ih u poprečne zidove (sl. 69b). Prijenosni momenti $2bH_p$ u ravninama podesta uravnovežuju se s parom reakcija po uzdužnim rubovima stubišta; te se reakcije i već utvrđene vrijednosti superponiraju, pa se dobiva rezultanta:

$$H_p = \frac{2b+l}{2+\lambda} \cdot \frac{b'}{h} A. \quad (57)$$

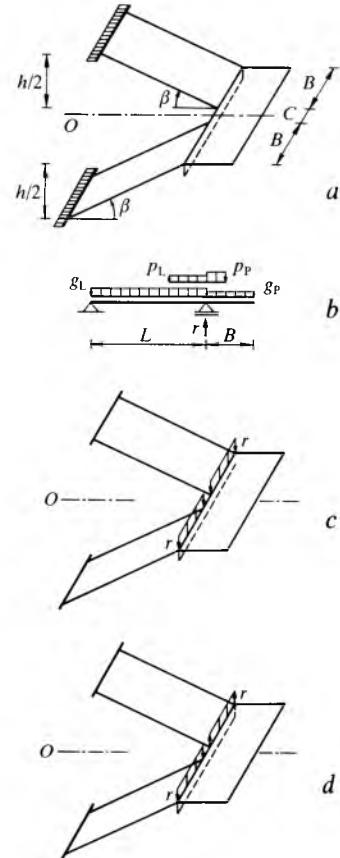
Pokazalo se, dakle, da opterećenje stubišta $4A^*$ koje nastaje zbog njegova momentnog djelovanja preuzimaju četiri reakcije A^* stupova, odnosno stupaca, i horizontalne reakcije uzduž rubova podesta (sl. 69b). Horizontalne reakcije čine uravnovežen sustav sila.

Stubišni zidovi i stupovi, odnosno stupci, opterećeni su akcijama stubišta i imaju suprotan smjer od reakcija prikazanih na sl. 69b.

Poprečni presjeci ploča dimenzioniraju se kao za pravocrtno jednokrako dvopodestno stubište. Naprezanja zbog momenata savijanja u ravninama kraka, odnosno podesta, obično su malena, pa se mogu zanemariti.

Slobodno podestno stubište

Slobodno podestno stubište je atraktivno, lijepo, konstrukcijski povoljno i ekonomično. Primjenjuje se u reprezentativnim građevinama. Statički predstavlja prostorni sustav od dviju ploča krakova, podestne ploče i horizontalne grede skrivene u podestnoj ploči uz pregib krakova i podesta oslonjen na gornju i donju stropnu konstrukciju (sl. 70a). S aspekta nosive konstrukcije širina razmaka između stubišnih krakova treba biti što manja, najbolje da takva razmaka nema.



Sl. 70. Slobodno podestno stubište. a) aksonometrijski prikaz, b) shema za analizu fleksijskog djelovanja, c) shema za analizu membranskog djelovanja koje nastaje zbog antimetričnog opterećenja, d) shema za analizu membranskog djelovanja koje nastaje zbog simetričnog opterećenja

Vodoravna os O jest os simetrije konstrukcije. Budući da se rotacijom slike konstrukcije oko te osi za 180° dobiva identična slika, os O je os dvostrukе cikličke simetrije konstrukcije.

Zbog promjenljivosti položaja korisnog opterećenja ukupno opterećenje nije uvek antimetrično s obzirom na os simetrije konstrukcije; ono se tada, radi jednostavnije analize, rastavlja u antimetričnu i simetričnu komponentu s obzirom na os O .

Stanje unutrašnjih sila konstrukcije može se utvrditi na većim računalima primjenom elastostatike, npr. metodom konačnih elemenata. Međutim, budući da su dimenzije stubišta male, a i opterećenje je relativno maleno, u praksi se tako skup proračun ne bi isplatio. Osim toga, armaturu je teško detaljirati u skladu s dobivenim rezultatima, koji su, uostalom, egzaktni samo u smislu prihvaćenih pretpostavki.

Radi analize zamjenjuje se slobodno podestno stubište rešetkom, štapnim okvirom ili prostornim sustavom međusobno zglobovno povezanih štapova.

Jedan od jednostavnih postupaka polazi od spoznaje da je prijenos opterećenja u takvu stubištu, kao uvek u naboranim konstrukcijama, dvojak: njegovu ravninsku elementi, dakle krakovi i podest, djeluju istodobno i kao ploče i kao diskovi. Djelujući kao ploče (fleksijsko djelovanje), napregnuti su na savijanje okomito na svoju ravninu, a djelujući kao diskovi (membransko djelovanje), napregnuti su aksijalno i na savijanje u svojoj ravnini. Postupak daje jasan uvid u tok unutrašnjih sila i u konstrukcijsko ponašanje stubišta, te omogućuje njegovu konstrukcijsku obradbu.

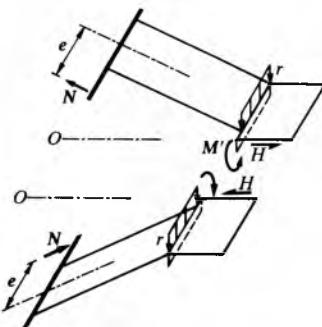
Utjecaj antimetričnog opterećenja. Svaki od obaju krakova s priključenim dijelom podesta djeluje, u okviru *fleksijskog djelovanja*, kao ploča s prepustom koja se oslanja na pripadni strop i na podestnu gredu skrivenu u podestu uz pregib krakova i podesta (sl. 70b). Pritom je B širina kraka i podesta, C širina zrcala, $h/2$ visina kraka, dakle polovica visine kata, β kut nagiba kraka, L horizontalna projekcija kraka, g_L vlastito i p_L korisno opterećenje kraka, g_P vlastito i p_P korisno opterećenje podesta; u g_P i p_P uključeno je i opterećenje koje otpada na površinu podesta $C \cdot B$ u području stubišnog razmaka. Težina ograda obično je neznatna, pa se zanemaruje.

Sustav je statički određen. Ekstremna vrijednost negativnog momenta savijanja nad unutrašnjim ležajem pojavljuje se pri punom opterećenju na podestu, a najveći pozitivni poljni moment krakova kad su krakovi potpuno opterećeni, a podest opterećen samo vlastitom težinom. Mjerodavni se presjeci ploče dimenzioniraju na savijanje. Djelomično uklještenje krakova u stropne konstrukcije uzima se u obzir tako da se predviđa gornja konstrukcijska armatura.

Reakcija r po jedinici duljine pregibne linije krakova i podesta određuje se za puno opterećenje na kraku i podestu, kako se ne bi morali analizirati utjecaji više kombinacija opterećenja.

Budući da uzduž pregibne linije krakova i podesta nema vanjskih ležaja, opterećenje akcijom r po jedinici duljine te linije koje nastaje zbog fleksijskog djelovanja konstrukcije mora preuzeti sama konstrukcija (sl. 70c). To je opterećenje antimetrično s obzirom na os simetrije konstrukcije, a konstrukcija ga preuzima membranskim djelovanjem.

Da bi se utvrdile unutrašnje sile, sustav se presječe uzduž osi simetrije i označe se reakcije i rezne sile (sl. 71). Budući da je konstrukcija simetrična, a opterećenje antimetrično, sustav reaktivnih i reznih sila mora biti antimetričan. Zbog toga od reakcija ostaje samo uzdužna sila N krakova u udaljenosti e od osi kraka, a od reznih sila samo poprečna sila H podesta i moment savijanja M' podestne grede. Treba, dakle, odrediti četiri nepoznanice N , e , H i M' .



Sl. 71. Presječeni sustav s antimetričnim opterećenjem i pripadnim reaktivnim i reznim silama

Za pronaalaženje četiriju nepoznanica na raspolažanju su četiri od ukupno šest uvjeta ravnoteže gornje ili donje polovice sustava. Analizirat će se ravnoteža gornje polovice sustava.

Uvjet da suma momenata svih sila s obzirom na gornju ležajnu liniju kraka mora biti jednaka nuli neposredno daje poprečnu silu podesta:

$$H = \frac{rB}{\tan \beta}. \quad (58)$$

Uvjet da suma projekcija svih sila na os simetrije O mora biti jednaka nuli daje, uvezši u obzir (58), uzdužnu silu krakova:

$$N = \frac{rB}{\sin \beta}. \quad (59)$$

Iz uvjeta da suma momenata svih sila s obzirom na vertikalnu os kroz središte podestne grede mora biti jednaka nuli slijedi ekscentričnost uzdužne sile krakova

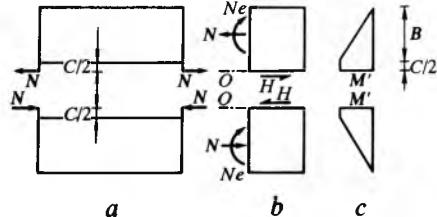
$$e = \frac{B + C}{2}. \quad (60)$$

Uzdužne sile krakova djeluju, jer je $B + C$ osni razmak krakova u tlocrtu, u vertikalnoj ravnini kroz os simetrije O . Konačno se iz uvjeta da suma momenata svih sila s obzirom na os O mora biti jednaka nuli određuje moment savijanja podestne grede u polovištu njena raspona:

$$M' = \frac{B + C}{2} r B. \quad (61)$$

Peti uvjet ravnoteže, da suma vertikalnih projekcija svih sila mora biti jednaka nuli, potvrđuje ispravnost izraza (59), a šesti uvjet ravnoteže, da suma projekcija svih sila na os podestne grede mora biti jednaka nuli, zadovoljen je jer su sve sile okomite na tu os.

Analiza je, dakle, pokazala da je gornji krak napregnut na ekscentrični vlak, a donji na ekscentrični tlak (sl. 72a). Podest je u svojoj ravnini napregnut na savijanje (sl. 72b); naprezanja su, međutim, malena, tako da uglavnom zadovoljava razdjelna armatura koja odgovara fleksijskom djelovanju podesta.

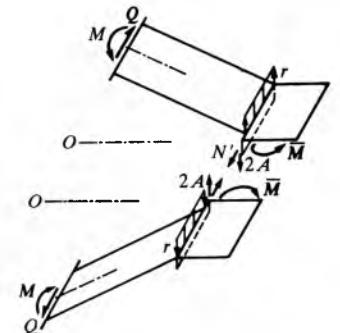


Sl. 72. Membranske unutrašnje sile koje nastaju zbog antimetričnog opterećenja. a) akcije na krakove, b) akcije na obje polovice podesta, c) momentni dijagram podestne grede

Podestna se greda savija u vertikalnoj ravnini. Vlačna je zona na gornjoj strani. Momenti se smanjuju od maksimalne vrijednosti u polovištu raspona do nule na krajevima grede (sl. 72c). Armatura utvrđena dimenzioniranjem središnjeg presjeka grede može se prema krajevima grede smanjiti.

Utjecaj simetričnog opterećenja. Što se tiče *fleksijskog djelovanja* stubišta, vrijedi već prije spomenuto. Momenti su savijanja tada manji, pa nisu ni mjerodavni.

Budući da uzduž pregibne linije krakova i podesta nema vanjskih ležaja, opterećenje akcijom r po jedinici duljine te linije koje nastaje zbog fleksijskog djelovanja stubišta mora preuzeti samo stubište (sl. 70d). To je opterećenje simetrično s obzirom na os simetrije konstrukcije, a konstrukcija ga preuzima *membranskim djelovanjem*.



Sl. 73. Presječeni sustav sa simetričnim opterećenjem i pripadnim reaktivnim i reznim silama

Da bi se utvrdile unutrašnje sile, sustav se presječe uzduž osi simetrije i označe se reakcije i rezne sile (sl. 73). Budući da su konstrukcija i opterećenje simetrični, i sustav reaktivnih i reznih sila mora biti simetričan. Zbog toga od reakcija preostaju poprečna sila Q i moment savijanja M krakova, a od reznih sila moment savijanja \bar{M} podesta u njegovoj ravnini, uzdužna sila N' i poprečna sila $2A$ podestne grede. Treba dakle odrediti pet nepoznanica Q , M , M , N' i $2A$.

Za pronaalaženje pet nepoznanica na raspolažanju je pet od ukupno šest uvjeta ravnoteže gornje ili donje polovice sustava.

Uvjet da suma momenata svih sila s obzirom na vertikalnu os kroz središte podestne grede bude jednaka nuli glasi:

$$M \cos \beta + \bar{M} - QL = 0. \quad (62)$$

Uvjet da suma momenata svih sila s obzirom na os simetrije bude jednaka nuli glasi:

$$M \sin \beta - Q h/2 + \frac{B+C}{2} r B = 0. \quad (63)$$

Iz uvjeta da suma sila koje djeluju u smjeru podestne grede mora biti jednaka nuli slijedi:

$$N' = Q. \quad (64)$$

Uvjet da se vertikalne sile moraju međusobno uravnovežiti daje neposredno poprečnu silu podestne grede:

$$2A = rB. \quad (65)$$

Krakovi djeluju u svojoj ravnini kao jednopoljne grede koje su na lijevom kraju upete u konstrukciju stropa, a na desnom kraju bočno pridržane u smjeru prijelomne linije krakova i podesta; bočna nepomičnost nužno proizlazi iz uvjeta simetrije deformacije. Budući da su krajevi krakova bočno pridržani, moment na desnom kraju mora biti jednak dvostrukoj vrijednosti momenta M na lijevom kraju, ali sa suprotnim predznakom. Na osnovi ravnoteže poprečna sila krakova odredena je kvocijentom sume rubnih momenata $3M$ i duljine krakova L :

$$Q = 3 \frac{\cos \beta}{L} M. \quad (66)$$

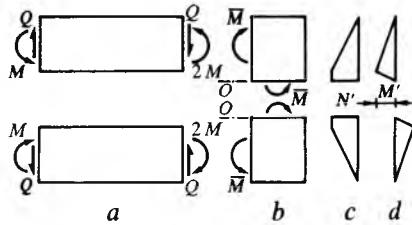
Rješenjem sustava jednadžbi (62) do (66) dobiva se

$$\begin{aligned} Q &= N' = \frac{3}{4} \frac{B+C}{L \tan \beta} r B, & 2A &= rB, \\ M &= \frac{B+C}{4 \sin \beta} r B, & \bar{M} &= \frac{B+C}{2 \tan \beta} r B. \end{aligned} \quad (67)$$

Iz provedene analize slijedi da su krakovi u svojoj ravnini napregnuti na savijanje (sl. 74a). I podest je napregnut na savijanje u svojoj ravnini (sl. 74b). Podestna je greda napregnuta na ekscentrični vlak; dijagram uzdužne sile prikazan je na sl. 74c, a dijagram momenta savijanja na sl. 74d. Očigledno je

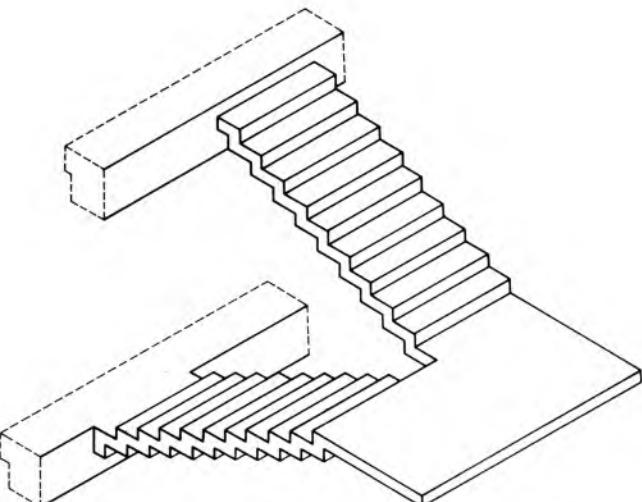
$$M' = \frac{C}{2} r B. \quad (68)$$

Ispitivanja su pokazala da je za praksu obično dovoljno ispitati samo utjecaj antimetričnoga, tj. stalnog i pokretnog, opterećenja na objema polovicama stubišta.

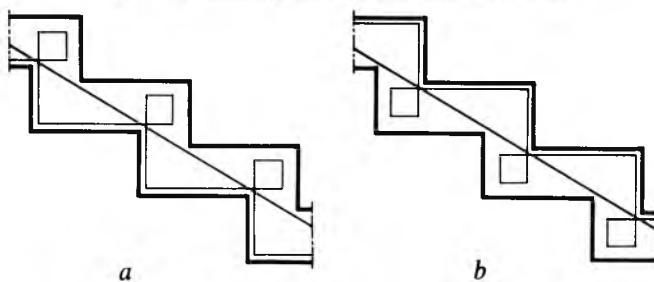


Sl. 74. Membranske unutrašnje sile koje nastaju zbog simetričnog opterećenja. a akcije na krakove, b akcije na obje polovice podesta, c dijagram uzdužne sile, d dijagram momenta savijanja podestne grede

Stubište od naborane ploče. Umjesto da se krakovi izrađuju od ravnih ploča i nenosivih nabetoniranih ili prefabrikiranih stuba, oni se mogu formirati od naboranih ili nazubljenih ploča koje ujedno nose i oblikuju hodne površine (sl. 75). Ploča tada mora biti nešto deblja, a izvedba je, dakako, teža. U prilog su takvoj varijanti, eventualno, oblikovnoestetski aspekti, dok je s ekonomskog gledišta varijanta s ravnim pločama povoljnija. Na sl. 76a vidi se isječak gornjeg kraka s glavnom armaturom u području pozitivnih momenata savijanja, a na sl. 76b isječak gornjeg



Sl. 75. Aksonometrija stubišta s naboranim krakovima

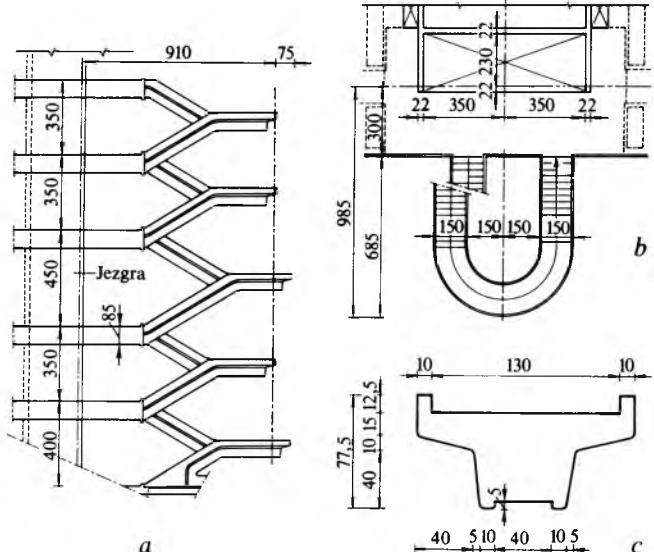


Sl. 76. Isječci naboranih krakova s glavnom armaturom u području pozitivnih (a) i negativnih (b) momenata savijanja

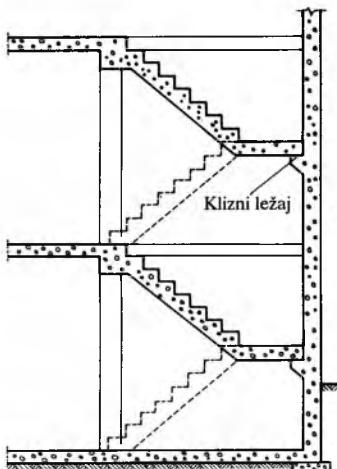
kraka s glavnom armaturom u području negativnih momenata savijanja.

Drugi primjeri stubišta

Reprezentativno peterokatno slobodno podestno stubište (sl. 77) u atriju jedne sveučilišne knjižnice razlikuje se od uobičajenih rješenja poluprstenastim tlocrtom podesta i kompaktnim T-presjekom krakova i podesta. U dva viša kata stubište je u tlocrtu veće nego u ostalima. Stropovi su konzolno istureni iz jezgre 3 m, a stubišta su viših katova konzolno isturena od kraja stropa 6,85 m. Velik presjek krakova i podesta posljedica je potreba fleksijske, posmične, torzijske i aksijalne čvrstoće.



Sl. 77. Peterokatno slobodno podestno stubište. a nacrt, b tlocrt, c preprečni presjek krakova i podesta



Sl. 78. Stubište s bočno pomicno oslonjenjem međupodestima

Zgrade s vertikalnom ukrutnom konstrukcijom fleksijskog tipa, npr. zgrade sa sustavom zidova ili s jezgrom, imaju relativne bočne pomake susjednih stropova zbog bočnog opterećenja, napose potresa, malene, pa stubištu ne prijeti oštećenje. Zgrade s vertikalnom ukrutnom konstrukcijom posmičnog tipa, npr. s okvirom, mogu imati znatne relativne bočne pomake susjednih stropova, pa stubišta pri potresu mogu biti oštećena. Da se to sprijeći, treba u analizi stubišta uzeti u obzir sile koje odgovaraju nametnutim bočnim pomacima ili, što je jednostavnije, međupodeste bočno pomicno osloniti na ležaje i time spriječiti uvođenje bočnih sila u stubište (sl. 78).

R. Rosman

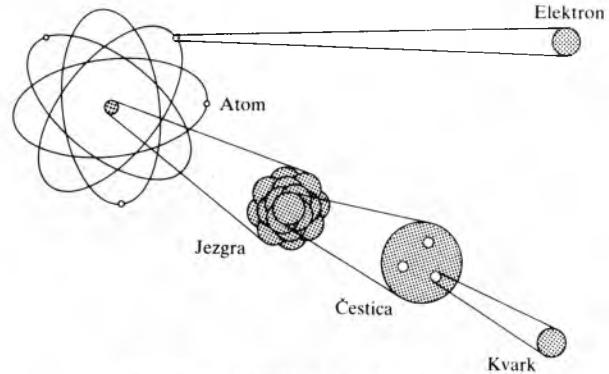
LIT.: F. Zbinden, Der Massiv-Hochbau. Kongress Verlag, Zürich 1947. – E. Neufert, Bau-Entwurfslehre. Ulsteinfachverlag, Berlin 1959. – P. Krstić, Arhitektonskie konstrukcije 2. Naučna knjiga, Beograd 1963. – F. Schuster, Treppen aus Stein, Holz und Eisen. Julius Hoffman Verlag, Stuttgart 1965. – W. Fuchsteiner, Treppen. Beton-Kalender 1965, Teil II. W. Ernst & Sohn, Berlin-München 1965. – D. Smiljanić, Arhitektonskie konstrukcije I. Univerzitet Sarajevo, 1967. – H. Schmidt, Hochbaukonstruktion. Otto Maier Verlag, Ravensburg 1970. – D. Peulić, Konstruktivni elementi zgrada II. Tehnička knjiga, Zagreb 1975. – S. Koseoglu, Treppen. Beton-Kalender 1980, Teil II. W. Ernst und Sohn, Berlin-München 1980.

R. Rosman Z. Vrkljan

SUBATOMNE ČESTICE (češće nazivane *elementarnim česticama*), osnovni djelići tvari što ih istražuje fizika elementarnih čestica. Ta su istraživanja danas među najvažnijim osnovnim znanstvenim usmjerenjima. Još uvijek nije jasno koje su to osnovne elementarne čestice. Očekuje se da će se o tome više doznati kad prorade novi veliki eksperimentalni uređaji.

Još je R. Bošković (1763) zamisljao da su atomi uglavnom prazni i sastavljeni od točkastih čestica među kojima djeluju daljinske sile. Ta je ideja plodno djelovala na engleske atomiste u XIX. st. (M. Faraday, 1846; W. Thomson, poslije lord Kelvin, 1880, 1889, 1905). Prve su eksperimentalne demonstracije o subatomnoj strukturi ostvarene tijekom triju godina u zadnjem desetljeću prošlog stoljeća. To su otkrića rendgenskog zračenja (W. K. Röntgen, 1895), radioaktivnosti (H. Becquerel, 1895) i elektrona (J. J. Thomson, E. Wiechert i W. Kaufmann, 1897). Rendgensko je zračenje roj fotona, čestica elektromagnetskog polja koje se od obične svjetlosti razlikuju samo kraćom valnom duljinom. Elektron je prva elementarna čestica koja je doista eksperimentalno opažena. Ime je već ranije predložio G. J. Stoney (1894), predviđajući da postoje čestice (korpuskule) negativnog elektriciteta. Otkriće radioaktivnosti bila je prva indikacija da u prirodi ima i drugih sile osim dotad poznate gravitacije i elektromagnetskih sile. Postojanje protona još je 1811. predviđao W. Prout. Proton je opažen 1897. (W. Wien) kad je otkriveno da tzv. kanalne zrake u katodnim cijevima sadrže čestice kojima je masa (točnije omjer m/e) mnogo veća od mase elektrona. Neutron je izravno opažen tek 1932. (J. Chadwick). Iste je godine W. Heisenberg proglašio neutrone i protone sastavnim djelićima atomske jezgre. Pretpostavio je da su nuklearne sile simetrične s obzirom na izmjene protona i neutrona i opisao grupu izotopnog spina kao prvu tzv. unutrašnju simetriju otkrivenu u prirodi. I ta je Heisenbergova predodžba tek približna. Promatraju li se, naime, protoni i neutroni pod dovoljnim povećanjem, što znači da se obasipaju česticama,

odnosno zračenjem vrlo kratke valne duljine, otkriva se da i oni imaju neku, grubo rečeno, zrnatu ili korpuskularnu strukturu (sl. 1). Da bi protumačio kako su energija i impuls vrtnje sačuvani pri nuklearnom β -raspadu, W. Pauli je teoretski predviđao (1930) postojanje čestice bez naboja (nazvane neutrino), bez mase i sa spinom 1/2. Neutrino je eksperimentalno opažen tek 1959. (F. Reines i C. L. Cowan). Pretpostavka o neutrinu omogućila je E. Fermiju (1933) da razvije teoriju o slabim uzajamnim djelovanjima, koja je kvalitativno opisivala slabe raspade atomnih jezgara i elementarnih čestica i koja je (C. N. Yang i T. D. Lee, 1956) dobila svoju konačnu približnu formu, tj. da vrijedi pri niskim energijama, odnosno za ne suviše male udaljenosti. Potankim teorijskim i eksperimentalnim proučavanjem tih pojava spoznalo se šezdesetih godina (S. Weinberg, S. Glashow, A. Salam i mnogi drugi) da su slabe i elektromagnetske sile ujedinjene u elektroslabim poljima. To je prvo važno ujedinjenje nakon Maxwellova ujedinjenja elektriciteta i magnetizma (J. C. Maxwell i drugi ~1860) u elektromagnetsku teoriju. Elektroslaba teorija nije još uvijek sasvim dovršena, iako su 1983. otkriveni rođaci fotona vrlo velike mase, oko 80 puta veće od mase protona, tzv. bozoni W i Z.



Sl. 1. Pojednostavljeni prikaz strukture tvari

U razvoju fizike elementarnih čestica važni su bili pokusi s kozmičkim zračenjem. Početno kozmičko zračenje sastoji se uglavnom od visokoenergetskih atomnih jezgara od vodika do urana. Zračenje se na Zemljinoj površini sastoji od čestica koje nastaju pri srazovima atomnih jezgara iz kozmičkog zračenja s atomima u zemaljskoj atmosferi. Proučavanjem svemirskog zračenja otkriven je pozitron, tj. pozitivni elektron (C. D. Anderson, P. M. S. Blackett i G. P. S. Occhialini, 1933). Ta prva eksperimentalno otkrivena antičestica bila je teoretski predviđena još 1928. (P. A. M. Dirac). Nešto poslije (1937) na isti je način otkriven *mion* kojemu je masa 206 puta veća od mase elektrona, dok su mu sva ostala svojstva i uzajamna djelovanja ista. Elektron (e^-) i mion (μ^-) pripadaju dvjema generacijama ili pokoljenjima čestica koje se zovu *leptoni*. Naziv generacija ili pokoljenje uveden je kao pogodna oznaka za sasvim nov pojam, i u fizici se elementarnih čestica rabi u sasvim novom značenju, koje nema veze s izvornim značenjem povezanim s ljudskim pokoljenjima. Postojanje više čestičnih pokoljenja, od kojih su zasad poznata tri, još je neriješena znanstvena zagonetka. Treće je pokoljenje leptona (τ^\pm), mase $m_\tau = 3490 m_e$, gdje je m_e masa elektrona.

Želeći protumačiti jaka uzajamna djelovanja koja vežu nukleone u atomnu jezgru i koja su vrlo kratka dosega ($\sim 10^{-15}$ m), H. Yukawa (1935) postulirao je postojanje masivnog kvanta (tj. elementarne čestice) nuklearne sile. Kvantima s masom m odgovarala bi jednadžba

$$\Delta F - \frac{m^2 c^2}{\hbar^2} F = 0, \quad (1)$$

odakle, za $r > 0$ i $\kappa = mc/\hbar$, slijedi

$$F \approx \frac{\exp(-\kappa r)}{r}, \quad (2)$$

gdje je F sila, c brzina svjetlosti, r udaljenost, a \hbar (čitaj: h precrktano) Planckova konstanta podijeljena sa 2π .

Uvrste li se prirodne konstante, dobivaju se vrijednosti: $m = 197,3 \text{ MeV}/c^2$, $\kappa r = 1$, $r = 10^{-15} \text{ m}$. Često se mase elementarnih čestica iskazuju tako da se druga potencija brzine svjetlosti (c^2) ispušta, pa se navodi *energijski ekvivalent mase neke čestice*. Tako je energijski ekvivalent mase elektrona $m(e) = 0,511 \text{ MeV}$, a miona $m(\mu) = 105,7 \text{ MeV}$.