

Sl. 50. Zgrada s jezgrom upetom u podrmsku kutiju. *a* mehanička shema jezgre pri opterećenju vjetro, *b* štapni model stropova, *c* štapni modeli gornjeg diska i *d* donjeg diska podrmske kutije

Dvopoljni jednoliko opterećeni zidni nosač (sl. 48a) ima glavnu poljnu armaturu uz donji rub, a ležajnu na višoj koti (sl. 48b).

Zidni nosač s otvorom s koncentriranim opterećenjem (sl. 49a) simulira se jednostavnim (sl. 49b) ili složenijim štapnim modelom (sl. 49c).

U zgradi s jezgrom upetom u podrmsku kutiju (sl. 50a) pri bočnom opterećenju vjetro jezgra djeluje kao vertikalna greda s malim poljem i dugim prepustom. U stropnim se diskovima pomoću štapnog modela (sl. 50b) utvrđuje mjesto, smjer i presjek armature te tlačna naprezanja. Gornji disk (sl. 50c) i donji disk podrmske kutije (sl. 50d) djeluju kao razupore. Armiraju se uzduž cijelog oboda, jer vjetar može djelovati u svim smjerovima.

LIT.: D. Schodek, Structures. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1980. – P. Lin, S. Stotesbury, Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers. J. Wiley & Sons, New York 1981. – R. Rosman, Erdbebenwiderstandsfähiges Bauen. W. Ernst & Sohn, Berlin 1983.

R. Rosman

PROJEKTIRANJE ZGRADA U POTRESNIM PODRUČJIMA, projektiranje zgrada što bez većih oštećenja mogu izdržati potres one intenzivnosti koja se može očekivati na području gdje će biti izgrađene.

Zgrade otporne na potres moraju, osim zahtjeva koji vrijede za sve zgrade, zadovoljiti i dodatne zahtjeve. Da bi se formulirali dodatni zahtjevi, uvode se pojmovi koji nisu

potrebni kad se projektiraju konstrukcije izvan potresnih područja, a to su: duktilnost materijala i konstrukcija, prigušivanje vibracija te apsorpcija i disipacija energije.

Duktilnost materijala i konstrukcija. Duktilnost je materijala njegova sposobnost da se pri praktički konstantnom naprezanju relativno jako deformira. Element je štapa duktilan ako se uz konstantan moment savijanja znatno poveća njegova zakrivljenost, pa se govori o duktilnosti zakrivljenosti. U nosivim se konstrukcijama duktilnost materijala manifestira formiranjem plastičnih zglobova (v. *Ploče, građevinske*, TE 10, str. 405) u njezinim najviše napregnutim područjima, najčešće na krajevima greda i ploča. Duktilnost se konstrukcije definira kao omjer horizontalnog progiba njezina vrha kad ona prelazi u lomni mehanizam i horizontalnog progiba njezina vrha u trenutku formiranja prvoga plastičnog zgloba. Duktilnost se konstrukcije postiže kutnim pomacima u plastičnim zglobovima, a utvrđuje se na osnovi mjerodavnog lomnog mehanizma, tj. figure tečenja.

Čelik je vrlo pogodan materijal što se tiče duktilnosti. Armirani je beton moguće prikladnim oblikovanjem učiniti duktilnim. Zide može prikladnim armiranjem postići neznatnu duktilnost. Želi li se iskoristiti povoljna duktilnost konstrukcije, mora se osigurati da konstrukcija zbog instabilnosti ravnoteže, posmičnog loma nekog stupa, loma usidrenja građe u nekom čvoru ili sličnog uzroka ne postane neupotrebna prije prijelaza u lomni mehanizam.

Prigušivanje vibracija. Pod prigušivanjem vibracija razumijeva se postupno smanjivanje njihovih amplituda sve do stanja mirovanja kad se radi o slobodnim vibracijama, odnosno sprečavanje rezonancije kad se radi o prinudnim vibracijama. Vibracije se prigušuju zbog trenja među česticama materijala, odnosno zbog nepovratnog pretvaranja u toplinu dijela energije što ga podrhtavanje tla za vrijeme potresa unosi u konstrukciju. Prigušivanju vibracija pridonosi viskozno prigušivanje, koje ovisi o frekvenciji vibracije, i histerežno prigušivanje, koje ne ovisi o toj frekvenciji.

Prigušivanje koje periodične vibracije čini aperiodičnim naziva se kritičnim. Prigušivanje u uobičajenih zgrada iznosi $2 \cdot 10^{-2}$ od kritičnoga, pa se amplituda vibracija nakon prestanka potresa postupno smanjuje sve do stanja mirovanja.

Dok je disipacija energije u inženjerskim konstrukcijama obično nepoželjna, npr. u strojevima jer uzrokuje gubitke, ona je povoljna i poželjna u građevinama za vrijeme potresa.

Bilanca energije. Tokom potresa vibracije tla u stopi temelja stalno dovode energiju u konstrukciju. Ona tu energiju najprije akumulira u obliku kinetičke i potencijalne energije, a manji dio stalno rasipa viskoznim prigušivanjem. Kad je potres vrlo jak, nakon nekoliko sekunda vibracije postaju tako intenzivne da se, ako je konstrukcija duktilna, pojavljuju plastične deformacije i stvaraju se plastični zglobovi. Od tog trenutka mnogo se energije rasipa histereznim prigušivanjem, a nešto i viskoznim prigušivanjem, pa se mehanička energija konstrukcije naglo smanjuje. Kad podrhtavanje tla prestane, ostatak mehaničke energije postupno se rasipa viskoznim prigušivanjem dok se konstrukcija ne povrti u stanje mirovanja. Opisana bilanca energije pokazuje da se duktilne građevine mnogo povoljnije ponašaju za vrijeme potresa nego neduktilne.

Propisi za antiseizmičke građevine predviđaju relativno manja seizmička opterećenja za duktilne nego za neduktilne konstrukcije. Želi li se iskoristiti ta bonifikacija, histerežno prigušivanje mora biti stabilno. Ako taj uvjet nije ispunjen, ciklično opterećenje dovodi do postupnog smanjenja čvrstoće i znatnih oštećenja, pa i rušenja konstrukcije. Manja oštećenja koja bi mogla nastati zbog histereznog prigušenja mogu se nakon potresa lako popraviti, pa se toleriraju radi ekonomičnosti gradnja.

CILJ ANTISEIZMIČKOG PROJEKTIRANJA

Cilj je antiseizmičkog projektiranja da građevina povoljnom kombinacijom čvrstoće, krutosti, duktilnosti i sposobnosti preuzimanja energije podnese češće slabije potrese bez

većih oštećenja te da može izdržati i najjači potres bez velikih oštećenja, ne ugrožavajući, prije svega, ljude. To se postiže dovoljnom sigurnosti konstrukcije protiv loma i ograničenjem relativnih bočnih pomaka susjednih stropova. Osim toga, treba se držati principa antiseizmičkog projektiranja.

Sigurnost od loma konstrukcije postiže se čvrstoćom ili, što je najčešće ekonomičnije, čvrstoćom i duktilnošću. Kad se postiže čvrstoćom i duktilnošću, horizontalni se pomaci povećavaju nakon što se formira prvi plastični zglobov, ali se seizmičko opterećenje više ne povećava. Konstrukcija se može slomiti ako nije adekvatno konstruirana, pogotovo ako nije dovoljno duktilna.

Povećana se otpornost na potres postiže primjenom dualnih nosivih konstrukcija. To su konstrukcije koje na najjači potres koji se može pojaviti reagiraju najprije jednim, a zatim drugim obrambenim mehanizmom. Tipičan je primjer konstrukcija od armiranobetonskih zidova i duktilnih okvira. U prvoj fazi zidovi, jer su mnogo krući od okvira, preuzimaju skoro čitavo opterećenje. Ako opterećenje toliko poraste da iscrpi nosivost zidova, veći se dio energije rasipa histereznim prigušivanjem u plastičnim zglobovima na donjim krajevima zidova. Preostali, manji dio energije rasipaju, u drugoj fazi, okviri svojim velikim deformacijama u području plastičnih zglobova.

Bočni pomaci susjednih stropova ne smiju biti preveliki jer bi mogli ugroziti stabilnost ravnoteže i tako uzrokovati prekomjeran efekt drugog reda, a time i oštećenje nenosivih pregradnih i vanjskih zidova, te instalacija, sudar susjednih dijelova zgrade u seizmičkim razdjelnicama i nelagodnost ili paniku ljudi u zgradi i neposredno pored nje.

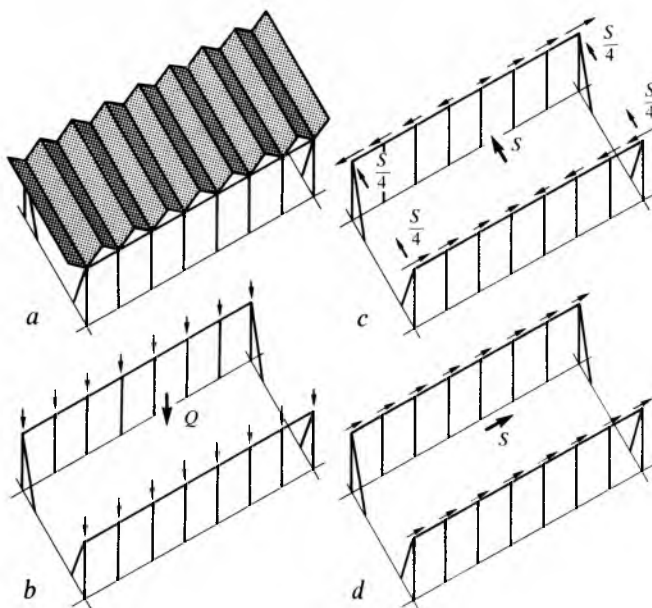
Jačina potresa najčešće se opisuje njegovim intenzitetom. Intenzitet potresa je mjera njegovih makroseizmičkih utjecaja (utjecaja koji se utvrđuju bez posebnih instrumenata) na ljude, zgrade i prirodu. U Evropi je 1964. usvojena Medvedev-Sponheuer-Karnikova skala, skraćeno MSK-skala, koja potrese prema njihovoj intenzitetu klasificira u 12 stupnjeva (tabl. 1). Veće štete na građevinama nastaju tek pri potresima sedmog i viših stupnjeva. U kartama seizmičkog intenziteta, koje su sastavni dio propisa o građenju u potresnim područjima, za potresno ugrožene krajeve navedeni su vjerojatni

maksimalni intenziteti. Te su vrijednosti utvrđene iskustvom i potresno-tektonskim analizama. Mana primjene skale intenziteta je u tome što su ocjene karakteristika potresa subjektivne.

PRINCIPI ANTISEIZMIČKOG PROJEKTIRANJA

Konfiguracija zgrade. Ponašanje zgrade za vrijeme potresa ovisi o njezinoj konfiguraciji. Pod konfiguracijom se podrazumijeva: a) veličina i oblik zgrade, b) veličina, vrsta i smještaj nosive konstrukcije te c) veličina, vrsta i smještaj važnijih nenosivih elemenata. Pri projektiranju zgrada otpornih prema potresu treba podlogu temelja, temelj, nosivu konstrukciju i nenosive elemente promatrati kao cjelinu te uzeti u obzir njihovu interakciju.

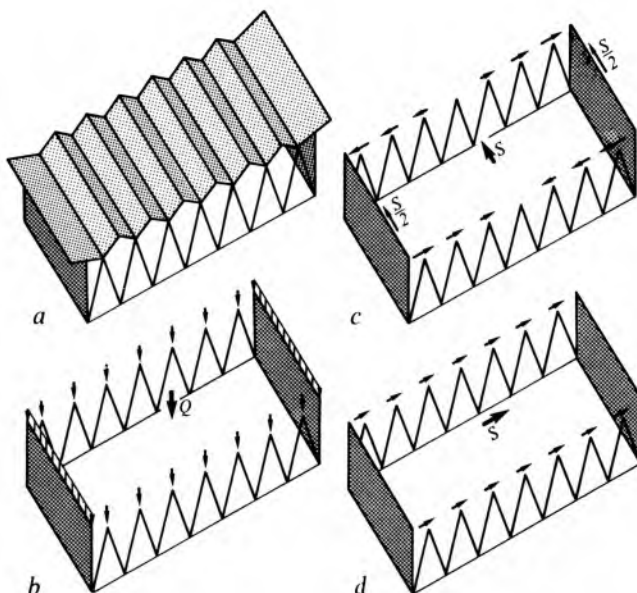
Loše koncipirana zgrada ne može povoljno reagirati na potres usprkos kompliciranim i skupim statičkim ili dinamič-



Sl. 1. Hala od cik-cak nabora i uzdužnih okvira. a pogled, b opterećenje vertikalne konstrukcije težinom krova, c seizmičke sile u poprečnom smjeru, d seizmičke sile u uzdužnom smjeru hale; Q težina krova, S ukupna seizmička sila

Tablica 1
MSK-SKALA MAKROSEIZMIČKE INTENZIVNOSTI

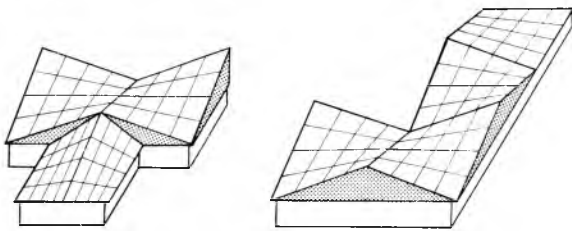
Stupanj	Karakteristike
1.	Neprimjetan potres; registriraju ga samo seizmografi
2.	Jedva primjetan potres; osjete ga samo pojedini ljudi u stanju mirovanja
3.	Slab potres; osjete ga samo pojedini ljudi
4.	Umjereno jak potres; osjeti ga većina ljudi u kućama, a izvan kuća samo pojedinci; trepere prozori i posude
5.	Dosta jak potres; ljudi se bude, obješeni se predmeti nižu, slike se na zidovima pomiču
6.	Jak potres; mnogi bježe iz kuća, oštećenja žbuke
7.	Vrlo jak potres; manja oštećenja na manje solidno izgrađenim zgradama, klizanje tla na strmim terenima
8.	Razoran potres; oštećenja na mnogim starijim zgradama, lomovi cjevovoda, klizanje tla
9.	Pustošeci potres; panika, velika oštećenja nesolidno, a manja oštećenja solidno izgrađenih zgrada, lomovi podzemnih cjevovoda, prodor podzemne vode na površinu
10.	Uništavajući potres; opća panika, rušenje zgrada od opeke, teška oštećenja na branama i nasipima, pukotine u tlu široke do 1 m
11.	Katastrofalan potres; teška razaranja i vrlo solidnih zgrada, mostova, željezničkih pruga i cesta, široke pukotine u tlu
12.	Promjena reljefa, pukotine u tlu s velikim vertikalnim i horizontalnim pomacima, potpuno uništenje zgrada na tlu i ispod površine terena



Sl. 2. Hala od cik-cak nabora i viljuškastih stupova. a pogled, b opterećenje vertikalne konstrukcije težinom krova, c seizmičke sile u poprečnom smjeru, d seizmičke sile u uzdužnom smjeru hale; Q težina krova, S ukupna seizmička sila

kim proračunima i adekvatnom detaljiranju nosive konstrukcije.

Težina zgrade. Zgrada neka bude što laganija. Što je zgrada teža i masivnija, to će potres na nju djelovati većim masenim silama. Lake krovne konstrukcije, npr. nabori (sl. 1 i 2) i hiperbolno-paraboloidne ljske (sl. 3), vrlo su pogodne za potresna područja.

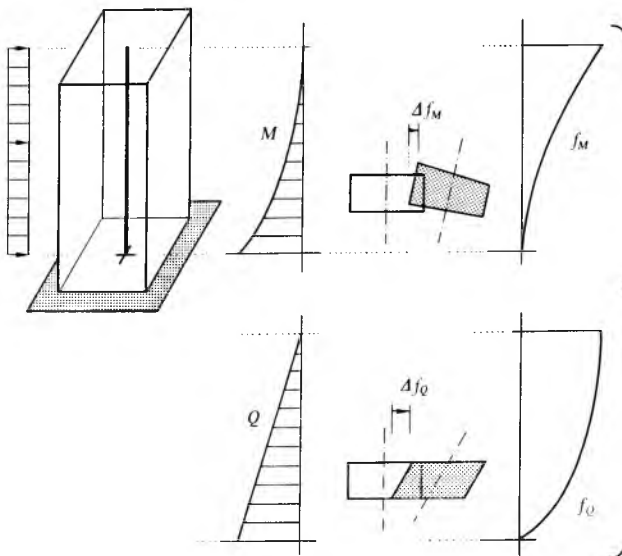


Sl. 3. Primjeri hiperbolno-paraboloidnih krovova

Jednostavnost nosive konstrukcije. Nosiva konstrukcija neka je što jednostavnija. Jednostavne je konstrukcije lako proračunati uzimajući u obzir sve važne utjecaje, lako ih je detaljirati i izvesti, pa i popraviti ako to bude potrebno.

Aksijalni sustav. Treba nastojati upotrijebiti aksijalan sustav, to znači zgradu koja ima vertikalnu os krutosti i vertikalnu os mase. Aksijalni se sustavi pri bočnom opterećenju ponašaju kao konzole koje rade na biplanarno savijanje i torziju. Neaksijalni sustavi obično su neekonomični i nepovoljno reagiraju na potres.

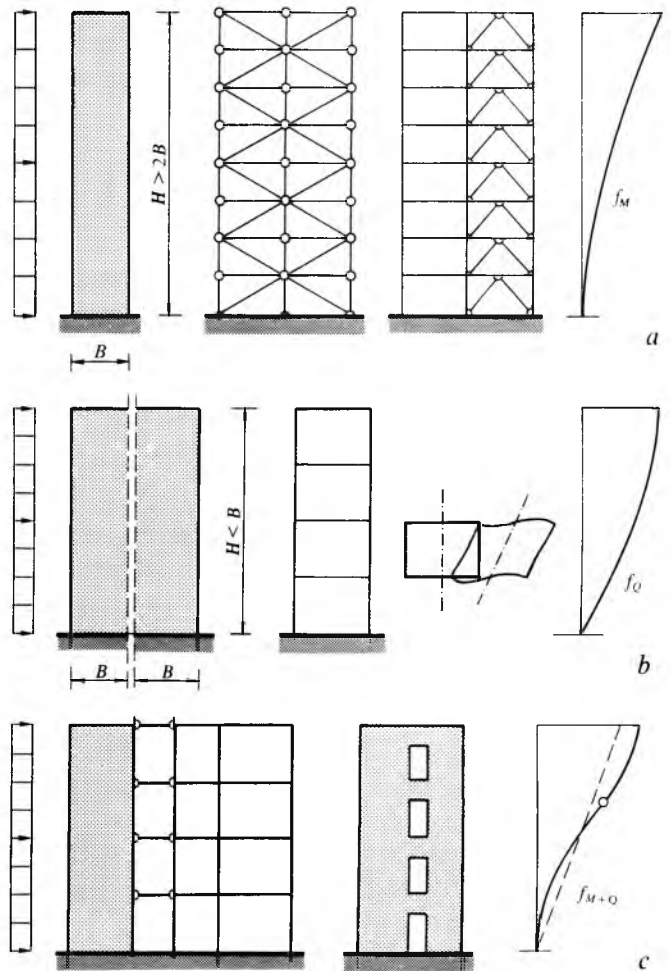
Koaksijalni sustav. Treba nastojati da se os krutosti i os mase poklope, dakle primijeniti koaksijalan sustav. Takav se sustav (sl. 4) pri bočnom opterećenju u jednoj od glavnih ravnina ponaša kao konzola. Progibi se zbog savijanja (f_M) i progibi zbog smicanja (f_Q) superponiraju.



Sl. 4. Mehanička shema koaksijalne zgrade s bočnim opterećenjem, s dijagramom konzolnog momenta savijanja M , pripadnom deformacijom isječka i progibnom linijom f_M , te s dijagramom poprečne sile Q , pripadnom deformacijom isječka i progibnom linijom f_Q

Prema bočnoj deformabilnosti koaksijalne zgrade mogu biti a) fleksijske (sl. 5a), b) posmične (sl. 5b) i c) fleksijsko-posmične (sl. 5c). Fleksijski su sustavi vrlo čvrsti, posmični vrlo deformabilni, a fleksijsko-posmični obično su povoljna kombinacija čvrstoće i deformabilnosti. Osnovne bočne vibracije su ravninske vibracije u jednoj od glavnih ravnina zgrade. Seizmička opterećenja djeluju u glavnim ravninama.

Statičko je, a pogotovo dinamičko, ponašanje koaksijalnog sustava za vrijeme potresa povoljnije nego nekoaksijalnoga. Koaksijalni sustavi nisu primarno izloženi torziji, pa se mora računati samo s neznom sekundarnom torzijom koja nastaje zbog nejednolikosti gibanja tla u stopi temelja i zbog



Sl. 5. Sustavi za bočno ukrućenje zgrade i progibne linije. a) fleksijski, b) posmični, c) fleksijsko-posmični sustav

nepreciznosti izvedbe zgrade. U sustavima koji su torzijski vrlo kruti ta se torzija može zanemariti.

Nekoaksijalni sustav. Ako nije moguće aksijalni sustav projektirati kao koaksijalni, mora se nastojati da udaljenost između osi krutosti i osi mase bude što manja. Tako se najviše što je moguće smanjuje utjecaj torzije.

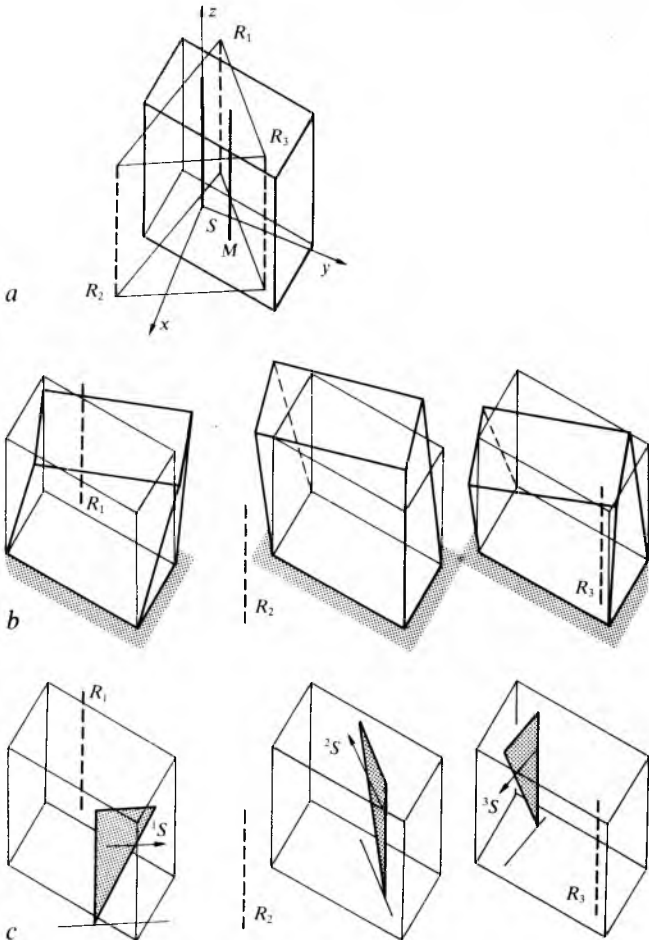
Sve su tri osnovne vibracije nekoaksijalnih sustava spregnute ravninsko-torzijske vibracije, koje se mogu shvatiti kao čisto torzijske vibracije oko triju vertikalnih osi R_1 , R_2 i R_3 (sl. 6). Ravnine triju seizmičkih opterećenja, 1S , 2S i 3S , određene su parovima tih triju osi. Nekoaksijalni sustavi mogu biti fleksijskog ili posmičnog tipa, pa bočne deformabilnosti svih vertikalnih elemenata nosive konstrukcije moraju biti slične.

Os krutosti i os mase često su dosta međusobno udaljene u zgradama pravokutnog tlocrta koje su na jednoj pobočki ili na dvjema susjednim pobočkama ili na trima pobočkama zatvorene ukрутnim zidovima. Sustav s ukрутnim zidom u jednoj pobočki pojavljuje se npr. u dugačkim industrijskim halama s dilatacijskom fugom ako su poprečne fasade zidovi, a u uzdužnim fasadama nema bočnih ukrućenja (sl. 7a). Sustav s ukрутnim zidovima u dvije susjedne pobočke pojavljuje se u zgradama koje su tim pobočkama okrenute k susjednim zgradama, dakle u uglovcama. Zgrada je tada zatvorena ukрутnim zidovima, a u uličnim fasadama i u unutrašnjosti zgrade iz arhitektonskih razloga nema jačih ukрутnih elemenata, pa je glavna nosiva konstrukcija prostoran okvir (sl. 7b). Osi se krutosti i rotacije zgrade pri vlastitim vibracijama poklapaju s presječnicom obaju ukрутnih zidova. Sustav s ukрутnim zidovima u tri pobočke pojavljuje se kada se te tri pobočke nalaze uz već izgrađene zgrade (sl. 7c), a

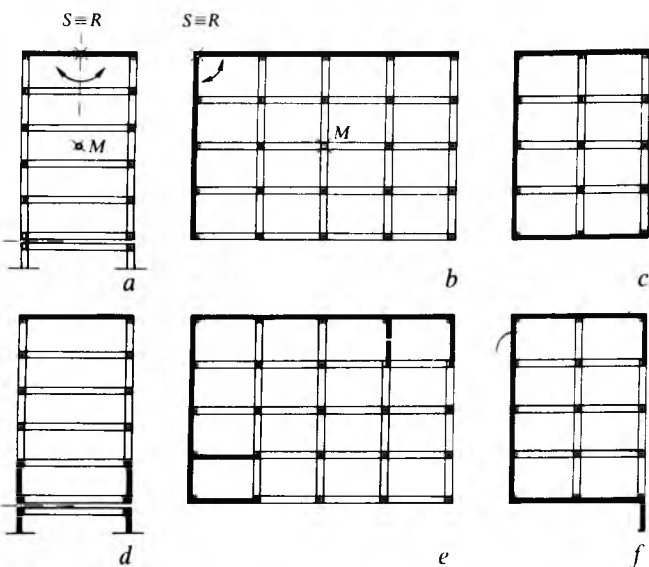
četvrta je otvorena za rasvjetu i za prolaz vozila (npr. vatrogasne stanice, servisne radionice).

Kad postoje jedna ili dvije pobočke s ukrutnim zidovima, okviri su pri torziji nepovoljnije napregnuti nego kad ukrutni zidovi ne bi postojali. Nepovoljni se utjecaj torzije može

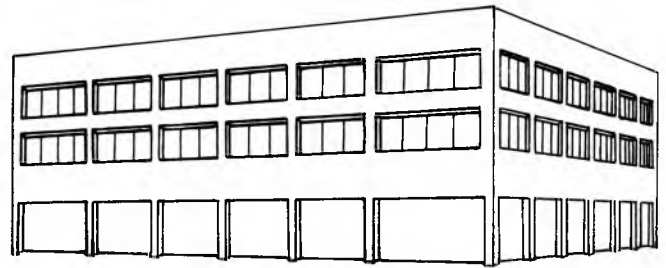
eliminirati ili smanjiti *a*) odvajanjem ukrutnih zidova fugom od ostale nosive konstrukcije, *b*) primjenom okvira umjesto ukrutnih zidova, s tim da se okviri zatvore ispunama koje se ne suprotstavljaju bočnoj deformaciji okvira, i *c*) dodatnim ukrućenjem nosive konstrukcije ukrutnim zidovima ili jakim okvirima (sl. 7 d, e i f), što povećava torzijsku krutost sustava.



Sl. 6. Nekoaksijalni sustavi. *a* shema nekoaksijalnih sustava, *b* osnovni modalni oblici, *c* ravnine seizmičkih opterećenja; *M* os mase, *S* os krutosti, R_1 , R_2 i R_3 osi torzijskih vibracija, 1S , 2S i 3S modalna seizmička opterećenja



Sl. 7. Zgrade s ukrutnim zidovima. *a* ukrutni zid u jednoj pobočki, *b* ukrutni zidovi u dvjema susjednim pobočkama, *c* ukrutni zidovi u trima pobočkama, *d* dodatni ukrutni zidovi na zgradi pod *a*, *e* dodatni ukrutni zidovi na zgradi pod *b*, *f* dodatni ukrutni zidovi na zgradi pod *c*; *M* os mase, *S* os krutosti, *R* os torzijskih vibracija

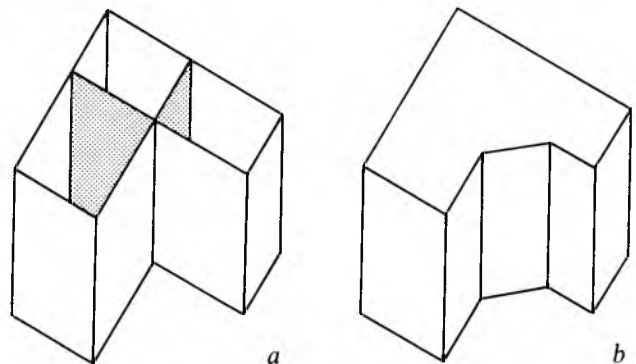


Sl. 8. Robna kuća s dvije vrlo raščlanjene i dvije masivne pobočke

Robna kuća (sl. 8) koja se srušila za vrijeme potresa imala je obje fasade jako oslabljene otvorima, napose u prizemlju, dok su zidovi stražnjih pobočki zgrade bili masivni.

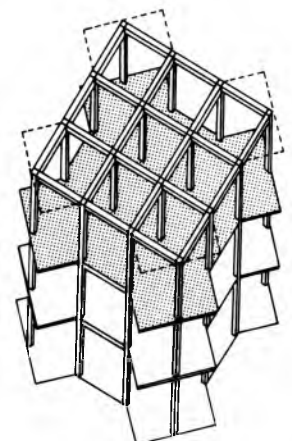
Ako postoji jezgra zgrade, treba je nastojati smjestiti centrično. Kad ima više jezgara, treba ih smjestiti simetrično. Ako je jezgra izvan zgrade, ali je s njom monolitno spojena, dobiva se znatna ekscentričnost masenih sila. Ako je jezgra odvojena razdjelnicom, nastaju teškoće u oblikovanju i premoštenju fuge koja je često široka desetak i više centimetara.

Horizontalni presjek građevine neka bude konveksan, tako da nema introvertiranih vrhova. Konkavni su presjeci, kao što su presjeci u obliku slova L, I, T i U, te križni presjeci, nepovoljni *a*) zbog opasnosti da se zgrada rasklupa, pogotovo ako je jako raščlanjena, *b*) zbog koncentracije naprezanja u introvertiranim vrhovima stropova i uz njih te *c*) zbog nejednolike raspodjele krutosti u tlocrtu. Introvertirani bridovi zgrada često su ishodište oštećenja i razaranja zbog



Sl. 9. Zgrada s presjekom u obliku slova L. *a* sapinjanje krila zgrade, *b* stropovi sa zakošenjem

Sl. 10. Zgrada križnog tlocrta s nosivom konstrukcijom kvadratnog tlocrta



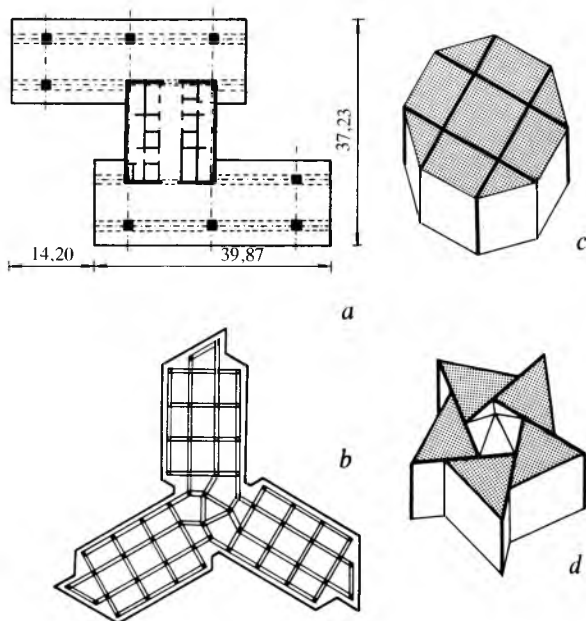
koncentracija naprezanja u stropovima. Nejednolika raspodjela krutosti u tlocrtu najčešće uzrokuje torziju.

Radikalno je rješenje da se zgrada s pomoću jedne ili više seizmičkih razdjelnica podijeli u samostalne blokove pravokutnog horizontalnog presjeka. Žele li se izbjeći razdjelnice, rasklimavanje se zgrade može ublažiti solidnim povezivanjem ili sapinjanjem krila zgrade (sl. 9a), a koncentracija napona zakošenjem stropnih konstrukcija (sl. 9b).

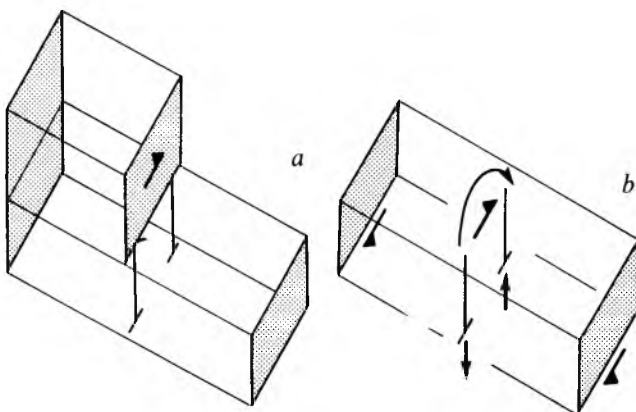
Spretnim projektiranjem ponekad uspijeva u zgradu složenog oblika s introvertiranim bridovima ukomponirati jednostavnu nosivu konstrukciju. Tako se, npr., za zgradu križnog tlocrta može primijeniti okvirna konstrukcija kvadratnog tlocrta s adekvatno oblikovanim prepustima (sl. 10).

Kompaktnost horizontalnog presjeka. Tokom potresa čestice se tla gibaju kaotično. Temelji se ne pomiču samo horizontalno i vertikalno nego se i okreću oko vertikalne osi. Da bi utjecaj torzije bio što manji, horizontalni presjek zgrade mora biti što kompaktniji. Ako je zgrada pravokutnog horizontalnog presjeka vrlo duga, treba je poprečnim seizmičkim razdjelnicama podijeliti u manje blokove.

Simetričnost horizontalnog presjeka. Horizontalni presjeci zgrada trebaju imati što viši stupanj simetrije. Povoljne su ne samo dvostruko planarno-simetrične nego i ciklično-simetrične zgrade (sl. 11). Ciklično-simetrične zgrade uvijek su koaksijalne. Simetrija ne samo da olakšava proračun i izvedbu nego čini povoljnijim i odziv konstrukcije. Monoplanarno-simetrične zgrade, a to su one koje imaju samo jednu ravninu



Sl. 11. Primjeri ciklično-simetričnih sustava. *a* dvostruko, *b* trostruko, *c* četverostruko, *d* peterostruko ciklično-simetričan sustav



Sl. 12. Ukrutni sustav zgrade (*a*) i prijenos na tlo akcija srednjeg zida (*b*)

simetrije, mogu biti vrlo nepovoljno napregnute i deformirane pri ekscitaciji okomito na ravninu simetrije.

Vertikalni ukrutni elementi treba da budu smješteni što bliže obodu zgrade, kako bi se postigla što veća torzijska krutost. Oni treba da budu tlocrtno tako smješteni da preuzimaju i što veće vertikalno opterećenje, jer se ono svojim stabilizirajućim djelovanjem suprotstavlja utjecaju momenta prevrtanja seizmičkog opterećenja. Uzdužna sila, međutim, ne smije biti tolika da bi se kao granično stanje elementa pojavio krhak lom.

U ukrutnom sustavu zgrade na slici 12 srednji zid stoji na dva vitka stupa. Poprečna sila od seizmičkog opterećenja koje otpada na taj zid prenosi se stropnim diskom na bočne zidove i zatim uzduž tih zidova u njihove temelje, a moment se uklještenja zida rastavlja na par sila koje se preko stupova prenose na njihove temelje.

Konveksnost vertikalnog presjeka. Vertikalni presjek zgrade treba da bude konveksan, najbolje pravokutan, a ne konkavan. Kad je građevina prema gore sužena, a pogotovo kad je proširena, na mjestima diskontinuiteta nastaju opasne koncentracije naprezanja. Izgled ne bi trebao biti dovoljan razlog za primjenu takvog oblika.

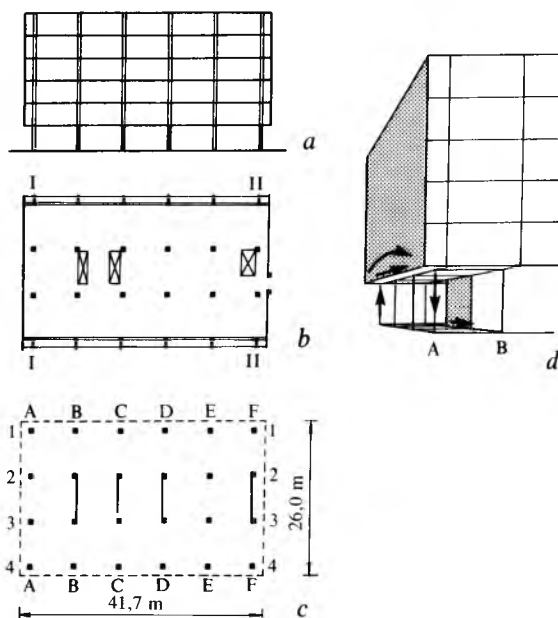
Visina zgrade. Preporučuje se da visina zgrade ne bude veća od četverostruke njene manje tlocrtno dimenzije. Kad je zgrada vrlo visoka, moment prevrtanja seizmičkog opterećenja jako napreže vertikalne periferne nosive elemente, a njihovi temelji često moraju imati duge prepuste da bi se tlak na tlo sveo na dopuštenu granicu.

Konstruktivna visina stropova. Visina greda i debljina ploča ne smiju biti premale, kako bi amplitude vertikalnih vibracija ostale u prihvatljivim granicama i kako ne bi bili ugroženi razdjelni zidovi i drugi nenosivi elementi.

Širina greda ne treba da bude mnogo veća od širine stupova na koje nalježu, kako bi se izbjegle nepovoljne koncentracije naprezanja u ležajnim područjima.

Otvori u stropovima. Otvore za dizala, stubišta, nadsvjetla i slično treba tako smjestiti da ne sprečavaju membransko djelovanje stropova, tj. da ne sprečavaju prijenos masenog opterećenja za vrijeme potresa na vertikalne elemente ukrutnog sustava. Pogotovo je nepovoljno oslabljenje stropova u blizini introvertiranih vrhova.

Diskontinuiteti vertikalnih ukrutnih elemenata vrlo su nepovoljni. Šesterokatna moderna armiranobetonska zgrada (sl. 13), solidno detaljirana i izvedena, teško je oštećena za vrijeme slabog potresa, pa je morala biti srušena. Stropne



Sl. 13. Šesterokatna armiranobetonska zgrada koju je srušio potres zbog loše konstrukcije. *a* vertikalni uzdužni presjek, *b* horizontalni presjek gornjih katova, *c* horizontalni presjek prizemlja, *d* perspektiva boka zgrade s prijenosom seizmičkog opterećenja

konstrukcije bile su joj jednosmjerne rebraste ploče koje su se oslanjale na četiri uzdužna okvira (1-1, 2-2, 3-3 i 4-4 na sl. 13c). Ti su okviri ujedno i ukrućivali zgradu u uzdužnom smjeru. U poprečnom smjeru zgrada je bila ukrućena zidovima; u katovima su oni bili na bokovima zgrade (sl. 13b), a u prizemlju u osima B-B, C-C, D-D i F-F (sl. 13c). Prva je osnovna vibracija sustava bočna vibracija u uzdužnom smjeru, a druga i treća su fleksijsko-torzijske vibracije oko vertikalnih osi u ravnini simetrije. Prijenos seizmičkog opterećenja u poprečnom smjeru zgrade preko bočnog zida u osi I-I u gornjim katovima (sl. 13b), stropa prizemlja, stupova bočnog zida u osi I-I i zida B u prizemlju (sl. 13d) vrlo je nepovoljan. Moment uklještenja zida u osi I-I na koti stropa prizemlja rastavlja se u par sila i tako se prenosi preko greda okvira na stupove u osi A-A, a njegova poprečna sila preko stropne ploče prizemlja na zid prizemlja u osi B-B.

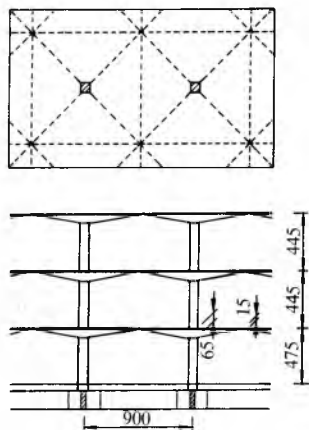
Potres je smrvio beton stupova u osi A-A neposredno iznad temelja, spone su se otvorile i vertikalne šipke iskočile. Stupovi su zbog toga postali kraći za 23 cm nakon glavnog udara i još za 8 cm nakon najjačeg naknadnog udara. Stupovi su oštećeni zbog preopterećenja koje je nastalo zbog velikih uzdužnih sila od momenta uklještenja bočnog zida u osi I-I i zbog biplanarnog savijanja od superpozicije triju modalnih opterećenja. Da je bočni zid u osi I-I bio produljen u svojoj ravnini kroz prizemlje i adekvatno temeljen, vjerojatno potres ne bi oštetio zgradu.

Čvrstoća i umjerena bočna deformabilnost građevina.

»Zgrade treba da budu čvrste i umjereno bočno deformabilne«, maksima je građenja u potresnim područjima poznata još iz davnih vremena. Zgrada s viljuškastim stupovima u prizemlju (sl. 14) bočno je dosta kruta, a budući da je čvrsta, može lako preuzeti velike seizmičke sile.



Sl. 14. Zgrada s viljuškastim stupovima

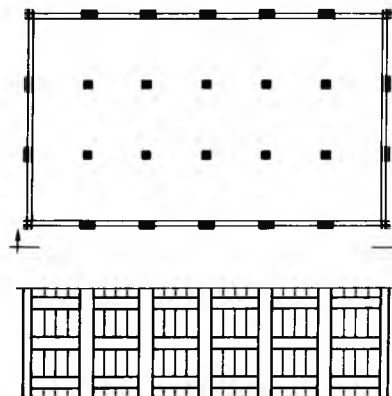


Sl. 15. Isječak bezgrednog okvira s pločama promjenljiva presjeka

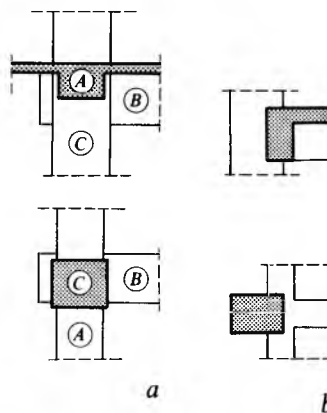
Okviri, a posebno bezgredni okviri nisu pogodni za stambene, hotelske, poslovne i slične zgrade zbog svoje velike bočne deformabilnosti, ali su pogodni za garaže, skladišta, robne kuće i slično s malo nenosivih zidova. Bezgredni su okviri s pločama promjenljive debljine (sl. 15) krući, jer se čvrstoća ploča mijenja uzduž raspona kao moment savijanja zbog bočnog opterećenja, pa su zbog toga i povoljniji.

Nosive konstrukcije od bezgrednih okvira mogu se bočno ukrotiti jakim fasadnim okvirima eventualno ugrađivanjem parapeta (sl. 16).

Oblikovanjem čvorova okvira treba omogućiti što jednostavniji smještaj armature. Ako je armatura jaka i gusta, malim se ekscentricitetima (sl. 17a) znatno pojednostavnjuje



Sl. 16. Isječak zgrade od plosnatih stropova, unutrašnjih stupova i fasadnih okvira



Sl. 17. Primjeri pogodnog (a) i nepogodnog (b) oblikovanja čvora okvira

detaljanje. Veći ekscentriciteti (sl. 17b), međutim, nisu prihvatljivi.

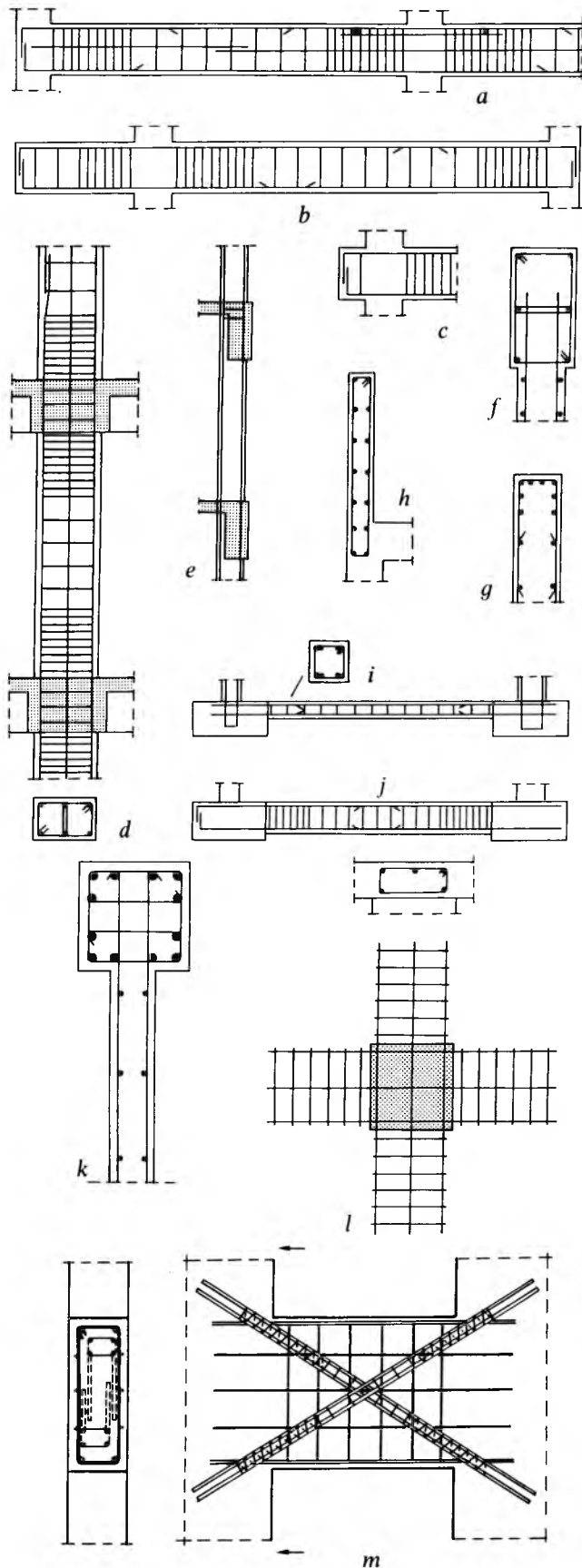
Armiranje. Pogodnim koeficijentom armature i adekvatnim detaljiranjem armature (sl.18) treba osigurati duktilno ponašanje greda, ploča, stupova i zidova, te spriječiti da spomenuti elementi prije prijelaza u lomni mehanizam stradaju zbog posmičnog loma. Koeficijent zategnute armature greda i ploča u ležajnim područjima ne smije biti veći od polovice izbalansiranog koeficijenta armature, a koeficijent pritisnute armature treba da iznosi bar 50% od koeficijenta zategnute armature.

U prijelomnoj metodi dimenzioniranja armiranobetonskih presjeka kao *izbalansirani koeficijent* (postotak) zategnute armature savijanog presjeka smatra se onaj koeficijent kojim se postiže da produljenje armature i produljenje betona na pritisnutom rubu presjeka istodobno dostižu svoje granične vrijednosti.

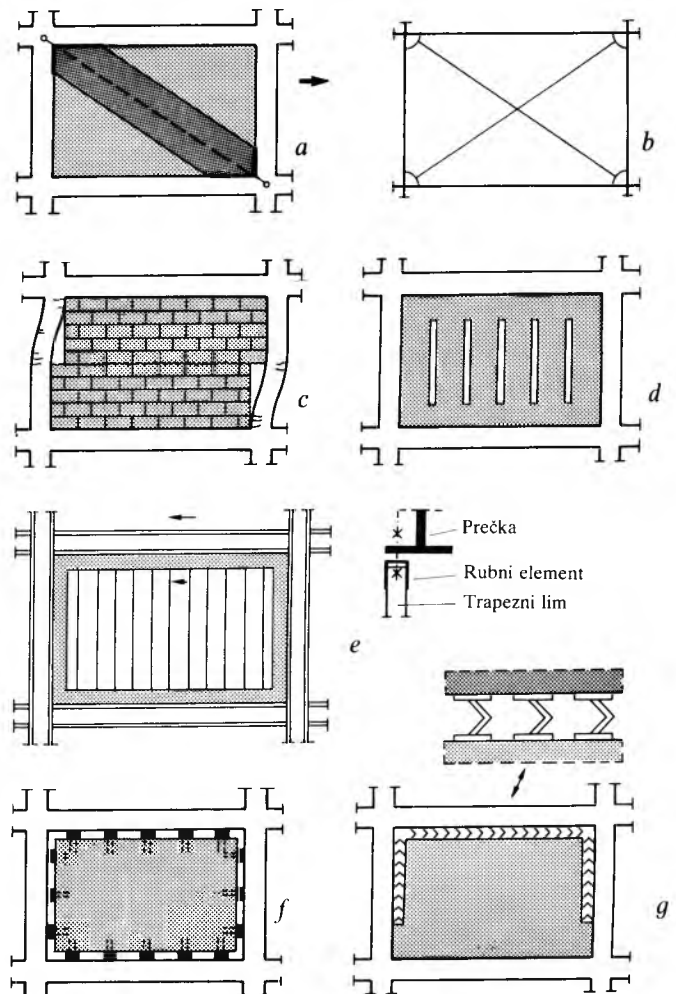
U metodi radnih naprezanja dimenzioniranja armiranobetonskih presjeka kao *izbalansirani koeficijent* zategnute armature smatra se onaj kojim se postiže da naprezanje armature i naprezanje betona na pritisnutom rubu presjeka istodobno dostižu dopuštene vrijednosti.

Izbalansirani koeficijenti armature prema dvije spomenute metode dakako nisu međusobno jednaki. Pri projektiranju zgrada otpornih na potres preporučuje se primjena prijelomne metode.

Ne preporučuje se povijanje armature, tj. prevodenje šipki iz donjeg u gornje područje zbog koncentracija naprezanja na pregibima. Poprečna armatura greda izvodi se od jakih zatvorenih spona na malom međusobnom razmaku; ona, osim za preuzimanje naprezanja od poprečnih sila u oba smjera, služi za sapinjanje betona i ima sličan efekt kao spirala u ovijenim stupovima. Spone u ležajnom području ploča bezgrednih okvira jako povećavaju posmičnu čvrstoću presjeka i pridonose duktilnosti.



Sl. 18. Tipična armiranja betonskih konstrukcija otpornih prema potresu. *a* prečka okvira, *b* prečka okvira s prepustom, *c* prečka okvira s kratkim prepustom za lakše usidrenje gornje armature prečke, *d* unutrašnji stup, *e* vanjski stup okvira, *f* ojačanje zida stupcem, *g* vertikalni rub zida bez stupca, *h* parapet, *i* step za povezivanje temelja, *j* greda za povezivanje temelja, *k* stup okvira s ukrutnim zidom, *l* posmična armatura plosnatog stropa, *m* prečka perforiranog zida



Sl. 19. Ukrutne ispune okvira. *a* način djelovanja, *b* mehanička shema, *c* lom zida, *d* ploča (pano) s prorezima, *e* trapezni lim i detalj priključka na štapove, *f* ploča pričvršćena deformabilnim moždanicima, *g* ploča pričvršćena metalnim perima i detalj pričvršćenja

Uzdružne šipke stupova nastavljaju se tamo gdje je naprezanje najmanje, dakle približno na polovici visine kata, a nikako uz čvorove. Poprečna armatura stupova (zatvorene spone) pridonose sapinjanju betona, posmičnoj čvrstoći i duktilnosti stupova, a smještaju se i u čvorovima. Preporučuje se upotreba profiliranih šipki zbog boljeg prijanjanja u betonu.

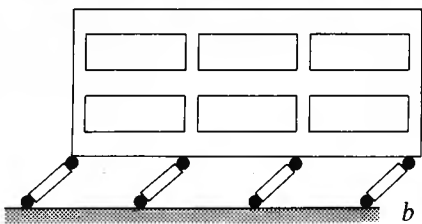
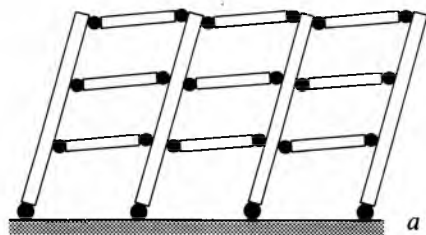
Pri analizi okvira s ukrutnim ispunama (sl. 19) one se zamjenjuju dvjema dijagonalama i pritom se pretpostavlja da ukupnu poprečnu silu preuzima pritisnuta dijagonala.

Monolitnost konstrukcije. Nosiva konstrukcija neka bude što je moguće više monolitna, a njen stupanj statičke i kinematičke neodređenosti što viši. Što konstrukcija ima viši stupanj neodređenosti, to je veća njena dodatna nosivost zbog njezine sposobnosti za plastičnu deformaciju i za redistribuciju unutrašnjih sila. Ako se otpornost zgrade osniva ne samo na čvrstoći nego na čvrstoći i duktilnosti, treba je tako konstruirati i detaljirati da se u graničnom stanju formira što više plastičnih zglobova i da oni budu što jednoličnije raspoređeni po cijeloj građevini. Tada se energija koju potres uvodi u konstrukciju rasipa više-manje po njezinu cijelom volumenu.

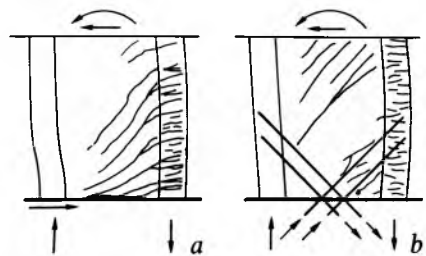
Figura tečenja. Pri utvrđivanju figure tečenja nosive konstrukcije treba uzeti u obzir da su stupovi i zidovi primarni elementi nosive konstrukcije. Potrebno je osigurati da se plastični zglobovi najprije formiraju u horizontalnim, a tek onda u vertikalnim elementima nosive konstrukcije. Prema tome, vertikalni elementi moraju biti jači od horizontalnih. Dobrim oblikovanjem okvira dobiva se figura tečenja prema slici 20a, a neadekvatnim prema slici 20b. U okviru sa slabim stupovima i relativno jakim prečkama ne može se u graničnom stanju loma iskoristiti čvrstoća i sposobnost stropova za

preuzimanje energije. Zbog toga se ponekad djelovanjem potresa stropovi više-manje neoštećeni slažu jedan na drugi, a između njih su smrvljeni stupovi.

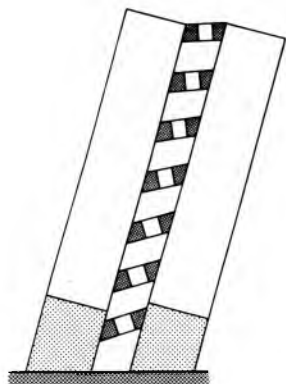
Granično stanje ukrutnih zidova omeđenih stupcima nastaje zbog plastifikacije i zatim mrvljenja betona u donjem dijelu (sl. 21a). Kosim šipkama može se povećati posmična čvrstoća sustava (sl. 21b).



Sl. 20. Figure tečenja okvira. *a* okvir s jakim stupovima i slabim prečkama, *b* okvir sa slabim stupovima i jakim prečkama



Sl. 21. Granično stanje zida ojačanog stupcima: *a* bez kose armature, *b* s kosom armaturom

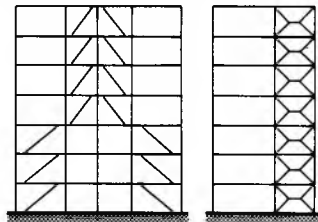


Sl. 22. Povoljna figura tečenja zida s nizom otvora

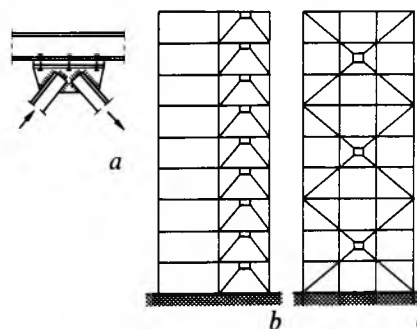
Da bi se u zidovima s nizom ili nizovima otvora (sl. 22) dobila povoljna figura tečenja, prečke moraju biti dovoljno visoke, a povoljno ih je armirati dijagonalno. Tada je zid s otvorima i sa stanovišta otpornosti prema potresu vrlo povoljan element vertikalne nosive konstrukcije. Smatra se da je to optimalno rješenje za stambene, hotelske, uredske i srodne zgrade. Ako su, međutim, prečke previsoke, može se zid srušiti zbog plastifikacije donjeg dijela stupaca uz neoštećene prečke, dakle kao i zid bez otvora. Ako su stupci povezani samo stropnim pločama (plosnati stropovi), snažno cikličko opterećenje može jako degradirati posmičnu čvrstoću stropova, pa se preporučuje u analizi sustava zanemariti rasteretni utjecaj stropova.

Okvirne konstrukcije sa zidnim prečkama mnogo su povoljnije ako su zidne prečke susjednih okvira u naizmjeničnim katovima nego ako su zidne prečke svih okvira u istim katovima, i to u svakom drugom katu.

U čeličnim se konstrukcijama rasipanje seizmičke energije postiže: *a*) plastificiranjem kratkih odsječaka prečaka u rešetkastim okvirima s ekscentrično priključenim štapovima ispune (sl. 23) i *b*) trenjem u posebnim čvornim pločama u rešetkastim okvirima s frikcijskim čvorovima (sl. 24).



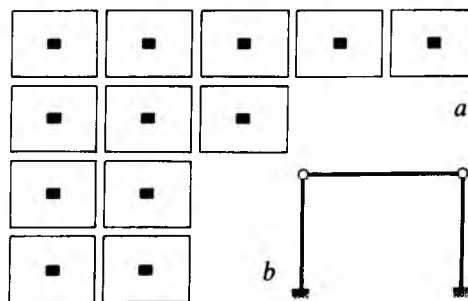
Sl. 23. Rešetkasti okviri s ekscentrično priključenim štapovima ispune



Sl. 24. Frikcijski čvor (*a*) i rešetkasti okviri s frikcijskim čvorovima (*b* i *c*)

Izostatički sustavi. Nepovoljno je svojstvo izostatičkih sustava da stvaranjem jednog jedinog plastičnog zgloba postaju labilni. Zbog toga se moraju ispitati na relativno velike seizmičke sile, već prema koeficijentu duktilnosti i prigušenja.

Tipičan su primjer izostatičkih sustava konstrukcije tipa *obrnuto njihalo*, npr. elementi koji se sastoje od jednog stupa upetog u temelj i krova od ravne ploče ili hiperbolno-paraboloideg lijevka, te hale od lakih elemenata nanizanih u jednom ili oba smjera (sl. 25a). Također su osjetljive na potres hale s poprečnim okvirima od stupova i prečaka koje su zglobno priključene na stupove (sl. 25b) ako krovna ploča ne može seizmičke sile u poprečnom smjeru prenijeti na bočne zidove.



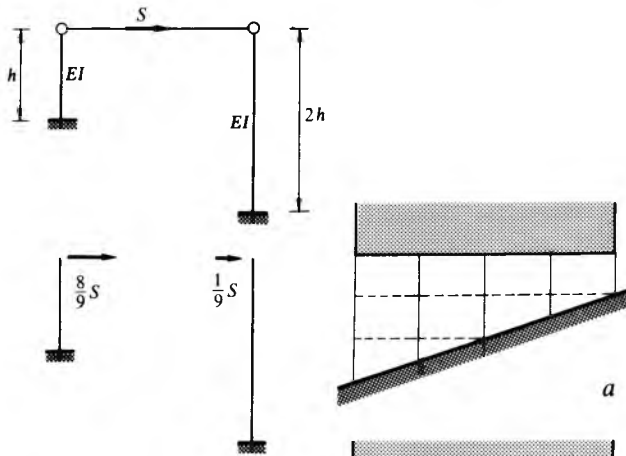
Sl. 25. Zgrade od elemenata u obliku obrnutog njihala. *a* tlocrt, *b* poprečni okvir zgrade od upetih stupova i zglobno priključene prečke

U izostatičkim sustavima od poluokvira koji drže jedan drugi (sl. 11c i d) rušenje jednog od poluokvira inicira lančano rušenje cijele konstrukcije.

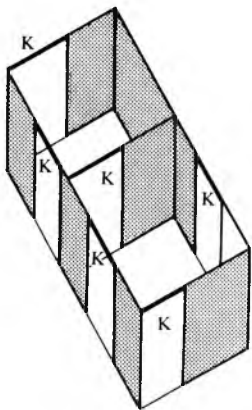
Slobodna podestna stubišta. Slobodna podestna stubišta vrlo su kruta i prema horizontalnim i prema vertikalnim

ekscitacijama, pa se mogu bez opasnosti primjenjivati u potresnim područjima.

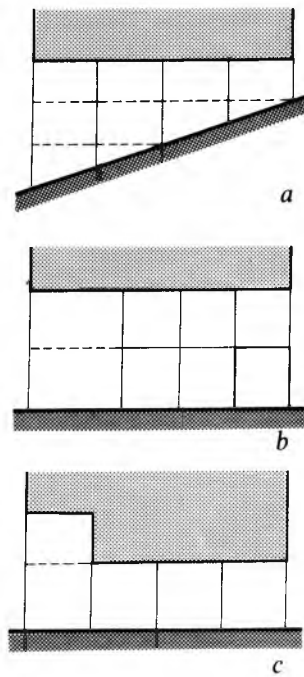
Efekt kratkih stupova. Sustave od stupova različite krutosti treba izbjegavati. To su, npr., sustavi od stupova različitih duljina i jednakih presjeka. Za vrijeme potresa posmično se lome krući stupovi; ta se pojava naziva *efektom kratkih stupova*. Elementarna analiza jednostavnog primjera (sl. 26), naime, pokazuje da su kraći stupovi krući i da preuzimaju veći dio ukupnog opterećenja od duljih stupova.



Sl. 26. Raspodjela seizmičke sile S na dva stupa različite duljine



Sl. 28. Kolektori (K) u manjoj zgradi (krovnna konstrukcija nije prikazana)



Sl. 27. Zgrade na stupovima različite duljine. *a* zgrada na nagutom terenu, *b* zgrada sa stupom nepridržanim kroz dva kata i stupovima pridržanim sekundarnim stropom, *c* dio zgrade na dugim i kratkim stupovima (crtkano povezivanje stupova različite duljine)

Nizovi stupova različite krutosti primjenjuju se *a*) kad je teren nagnut (sl. 27a), *b*) u zgradi s mezaninom kad se neki nepridržani stupovi protežu kroz dva kata, a drugi su pridržani sekundarnim stropom (sl. 27b) i *c*) kad dio zgrade stoji na dugim, a dio na kratkim stupovima (sl. 27c). Ako se inzistira na takvim izvedbama, poželjno je stupove različitih duljina povezati (crtkano na sl. 27), da bi se njihove krutosti bar približno izjednačile.

Sličan se efekt pojavljuje u zgradama s uzdužnim okvirima i ispunama različitih visina. Iako nije predviđeno da ispune ukrućuju, one ipak za vrijeme potresa pridržavaju stupove, pa su slobodne duljine stupova različite. Stupovi okvira s višom ispunom često su bili oštećeni zbog posmičnog loma.

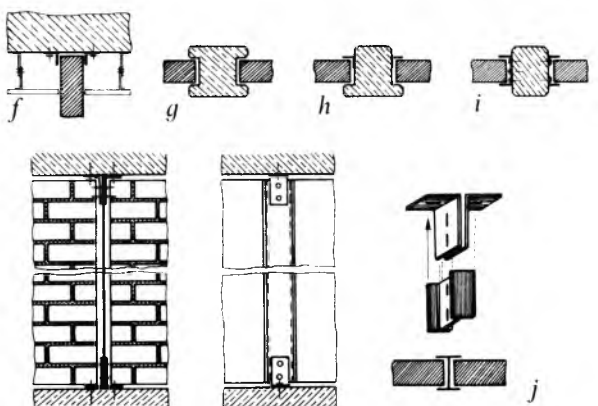
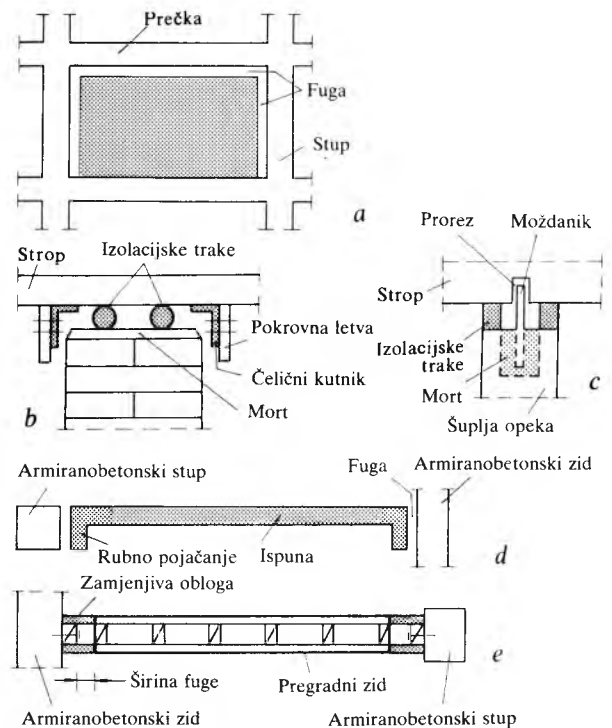
Sprečavanje rasklimavanja. Ako je potrebno, treba horizontalnim i vertikalnim serklažama, veznim štapovima ili slično spriječiti da se zgrada za vrijeme potresa rasklima.

Ako stropne ploče nisu monolitne, već su sastavljene od drvenih ili armiranobetonskih pretfabriciranih elemenata, treba za prijenos njihovih horizontalnih sila u vertikalne ukrutne elemente predvidjeti kolektore. Kolektori su štapovi koji sakupljaju masene sile od stropnih elemenata. Oni su vlačno ili tlačno napregnuti, a ponekad preuzimaju i dio

vertikalnog opterećenja pa djeluju kao grede. Često su i sastavnim dijelovima horizontalnih serklaža (sl. 28).

Fuge. Neukrutne elemente konstrukcije, pogotovo pregradne i fasadne ploče (panoe) treba odvojiti od nosive konstrukcije dovoljno širokim fugama (sl. 29). Ako je potrebno ispuniti fugu, treba upotrijebiti vrlo deformabilan materijal. Ako taj materijal nije dovoljno deformabilan, neukrutni elementi mogu povećati bočnu krutost građevine, povećati seizmičko opterećenje, pogoršati odziv i pojavom efekta kratkih stupova ili kratkih greda prouzrokovati krhak lom. To se događa kad su neukrutni elementi čvrsti. Ako su neukrutni elementi slabi, a materijal fuga nije dovoljno deformabilan, oni mogu biti oštećeni ili razoreni zbog vibracija nosive konstrukcije. Obično je ekonomičnije umjesto neukrutnih ispuna primijeniti ukrutne ispune i integrirati ih u nosivu konstrukciju.

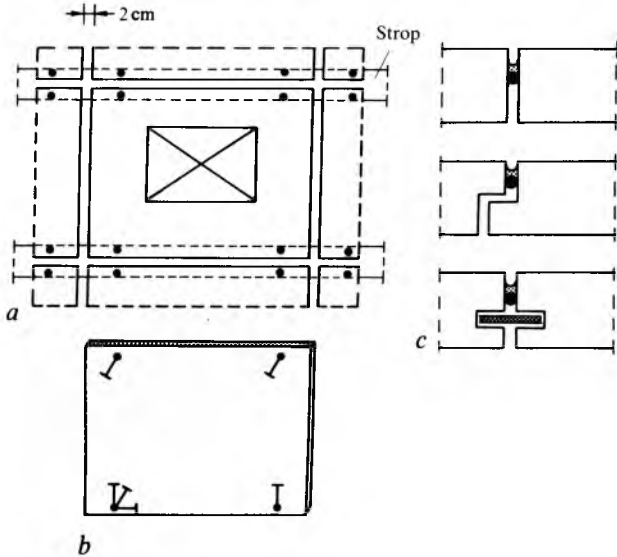
Kad su ispune odvojene fugama (*lebdeće ispune*), potrebna širina fuga određena je deformacijom okvira, tj. relativnim horizontalnim pomakom susjednih prečaka, što znači da ovisi o jačini očekivanog potresa. Za jake potrese potrebna širina fuga iznosi 2...4 cm.



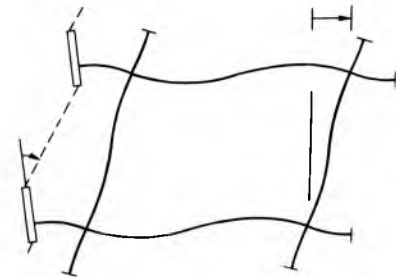
Sl. 29. Izoliranje neukrutnih ispuna u okvirima. *a* dispozicija fuga, *b* fuga s čeličnim kutnicima, pokrovnim letvama i izolacijskim trakama, *c* fuga s moždanicima i izolacijskim trakama, *d* fuge između ispune ojačane stupcima te između armiranobetonskog zida i stupa, *e* fuga između lake drvene pregrade te armiranog zida i stupa, *f* fuga i obješeni strop, *g*, *h*, *i* fuge uz stupove, *j* dodatno pridržanje nenosive ispune

Za vrijeme potresa može na ispune djelovati maseno opterećenje okomito na njihovu ravninu. Da bi se tada ponašale kao dvosmjerne ploče, moraju biti oslonjene u horizontalnom smjeru uzduž cijelog oboda. To se postiže pomoću kutnika ili moždanika. Prikazana rješenja na slici 29 nepovoljna su s gledišta toplinske i zvučne izolacije. Upotrebom izolacijskih traka ne može se izolacija bitno popraviti.

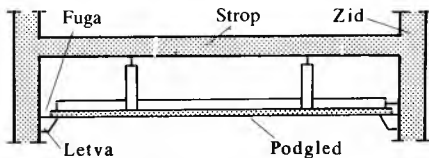
Pretfabricirane fasadne ploče najčešće se pričvršćuju u četiri točke (sl. 30); da se ne bi suprotstavljale deformaciji nosive konstrukcije, oslanjanje mora biti izostatičko. Širina je fuga između ploča određena deformabilnošću okvira i obično iznosi ~2 cm.



Sl. 30. Pretfabricirane fasadne ploče. a smještaj, b pričvršćenje na stropove, c detalj fuga



Sl. 31. Zakretanje prozora s obzirom na parapete

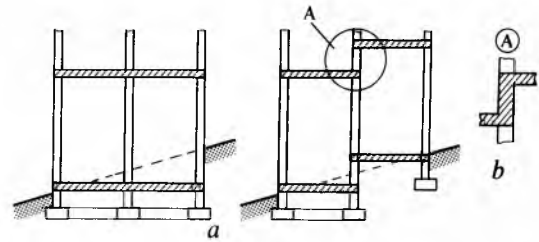


Sl. 32. Lagana podgledna konstrukcija

Zbog deformacije okvira prozori se zakreću s obzirom na parapete (sl. 31). Spojevi se ne smiju suprotstavljati tom zakretanju i ne smiju biti krhki.

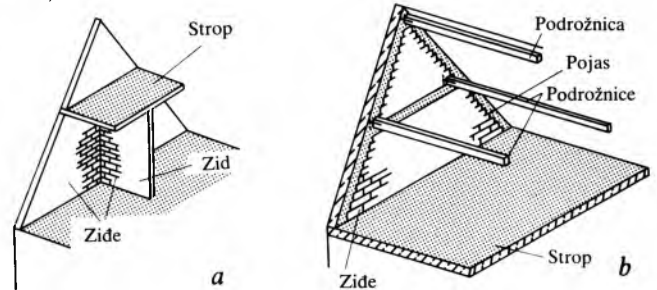
Podgledne konstrukcije (sl. 32) mogu za potresa postati opasne. One moraju biti fiksno pridržane uzduž dvaju susjednih rubova, dok im se uzduž ostalih dvaju rubova mora omogućiti horizontalno pomicanje s obzirom na nosivu konstrukciju.

Stropne konstrukcije. Kako stropne konstrukcije pri horizontalnom opterećenju djeluju kao disk, poželjno je da po cijelom tlocrtu budu na istoj koti (sl. 33a). Ako se kota mijenja, treba dijelove stropa na različitim kotama povezati vertikalnim diskom (sl. 33b).



Sl. 33. Stropne konstrukcije: a po cijelom tlocrtu na istoj koti, b s visinskim skokom

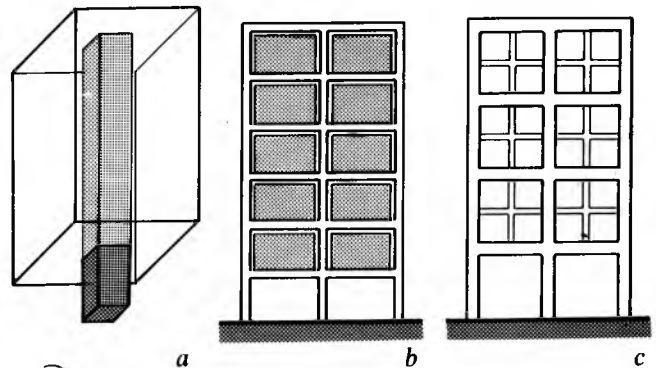
Zabati pri ekscitaciji okomitoj na njihovu ravninu djeluju kao ploče bočno oslonjene uzduž oboda. Ako su veliki, treba ih još i dodatno bočno pridržati, npr. poprečnim zidom i stropom (sl. 34a) ili ih obrubiti armiranobetonskim pojasima i osloniti na bočno ukrućenu drvenu krovnu konstrukciju (sl. 34b).



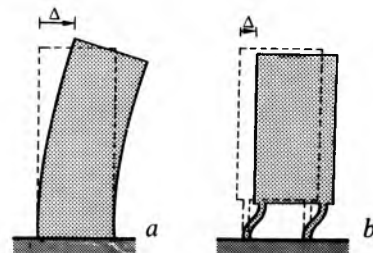
Sl. 34. Ukrućenja zabata: a zidom i stropom, b obrubljenjem pojasima i oslanjanjem na drvenu krovnu konstrukciju

Slobodno i meko prizemlje. U suvremenom se zgradarstvu iz programskih i estetskih razloga često primjenjuje slobodno prizemlje. Poslovne zgrade s ukrutnom jezgrom (sl. 35a), zgrade s okvirima koji u etažama iznad prizemlja imaju neukrutne ispune (sl. 35b) i zgrade s okvirima koji imaju glavne prečke samo u svakoj drugoj etaži (sl. 35c) nemaju meko prizemlje, pa se u potresnim područjima mogu bez daljnjega primjenjivati.

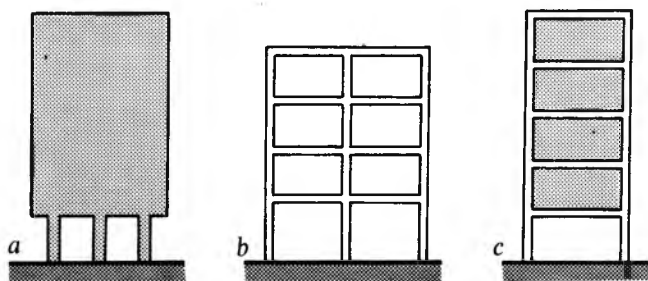
Zgrade s bočno mekom etažom, najčešće prizemljem, često su se pri potresu srušile ili pretrpjele velike štete. Karakteristika je zgrada s mekom etažom da je njihova bočna



Sl. 35. Primjeri konstrukcija sa slobodnim prizemljem koje nije meko



Sl. 36. Deformacije tradicionalne zgrade (a) i zgrade s mekim prizemljem (b) pri bočnom opterećenju



Sl. 37. Primjeri konstrukcija s mekim prizemljem

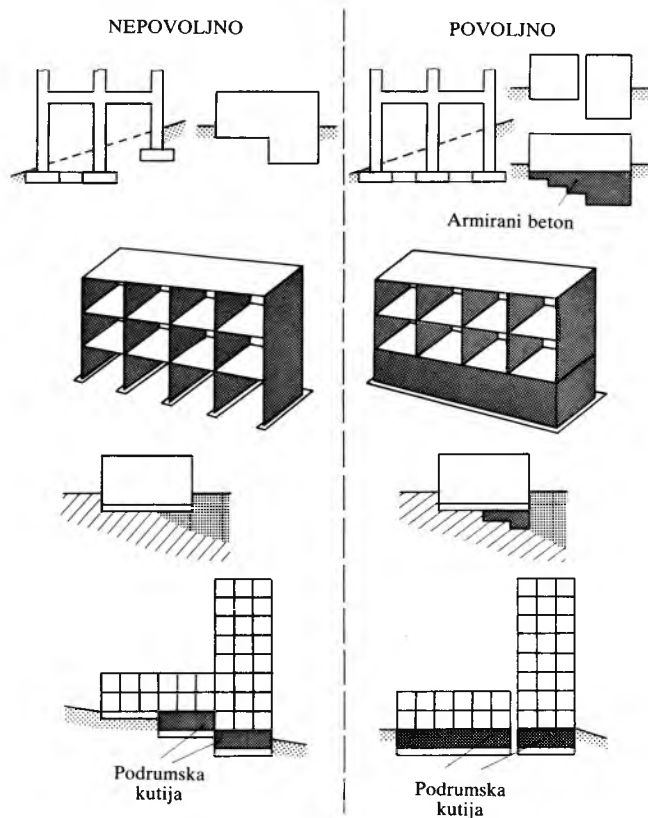
čvrstoća i bočna krutost u mekoj etaži mnogo manja nego u ostalim etažama. Dok je linija horizontalnih progiba tradicionalnih zgrada monotono zakrivljena (sl. 36a), zgrade se s mekom etažom deformiraju uglavnom u mekoj etaži, a ostale se etaže uglavnom samo bočno pomiču (sl. 36b). Meka se etaža dobiva npr. postavljanjem ukrutnog zida na stupove (sl. 37a), primjenom okvira u zgradi u kojih je prizemlje znatno više od gornjih etaža (sl. 37b) i primjenom okvira koji su u gornjim etažama ispunjeni ukrutnim panoima (sl. 37c).

Slobodno prizemlje i meko prizemlje dva su bitno različita pojma.

Temeljenje mora biti što jednostavnije. Pritom treba osigurati da se zgrada za vrijeme vibracija pomiče kao cjelina, kako se ne bi rasklimala. Najpovoljnije je zgradu postaviti na jedinstven krut temelj, npr. na roštilj podrumskih zidova ili na debelu temeljnu ploču. Ako to nije moguće iz ekonomskih razloga, npr. za manje zgrade, treba spriječiti da za vrijeme vibracija pojedini temelji mijenjaju međusobne udaljenosti. To se postiže, kad su temelji plitki, štapovima ili pločama koje povezuju temelje ili stupove sa zidovima neposredno iznad temelja. Ako postoje podrumске podne ploče, one mogu preuzeti funkciju veznih ploča.

Na slici 38 vidi se usporedba nekoliko nepovoljnih (lijevo) i povoljnih (desno) rješenja podrumskog kata i temeljenja.

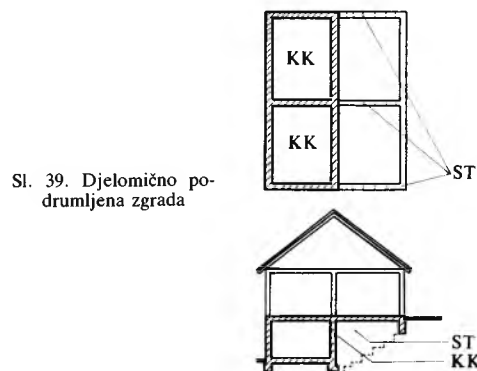
Nepovoljno je izgraditi podrum samo ispod dijela zgrade. Ako se to ne može izbjeći, treba ili podrumljeni i nepodrumljeni dio zgrade odvojiti razdjelnicom ili podrum izgraditi kao



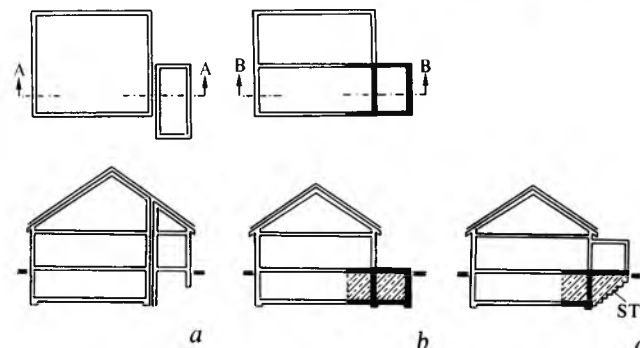
Sl. 38. Nepovoljno i povoljno temeljenje

krutu armiranobetonsku kutiju (KK), a nepodrumljeni dio zgrade temeljiti na krutim stepenastim temeljima (ST) monolitno povezanim s podrumskom kutijom (sl. 39).

Prigradnju za garažu treba razdjelnicom odvojiti od glavnog dijela zgrade (sl. 40a) ili s njim čvrsto povezati. Ako je garaža istaknuta iz podrumskog dijela zgrade, treba zidove, podrumsku i stropnu ploču obaju dijelova zgrade izvesti monolitno i kontinuirano (sl. 40b). Ako je garaža istaknuta iz prizemnog dijela zgrade, zidovi zgrade prelaze u stepenaste temelje garaže, a strop podruma u podnu ploču garaže (sl. 40c).



Sl. 39. Djelomično podrumljena zgrada



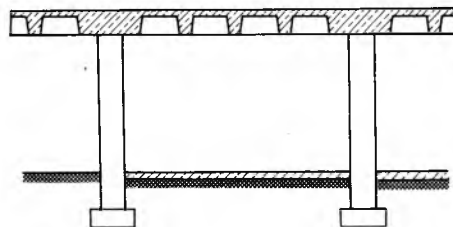
Sl. 40. Manja zgrada i garaža. a zgrada i garaža odvojene razdjelnicom, b garaža istaknuta iz podruma zgrade, c garaža istaknuta iz prizemlja zgrade

Seizmičke razdjelnice protežu se od vrha krova do tla. One moraju biti toliko široke da se susjedni blokovi ne sudare kad vibriraju za vrijeme potresa. Treba osigurati da u fuge ne uđu otpaci, jer će tada postati neefikasne.

Ako su dvije zgrade spojene mostom, on se mora na zgrade oslanjati statički određeno. Tada zgrade mogu vibrirati neovisno jedna o drugoj, a da most ne bude prekomjerno naprnut.

Mehanička shema. Mehanička shema za provjeru projekta konstrukcije mora realistički prikazivati stvarno stanje zgrade.

Koliko je važan izbor adekvatne mehaničke sheme, može se pokazati na jednostavnom primjeru nadstrešnice nekog parkirališta (sl. 41). Provjera je provedena pomoću mehaničke sheme prema kojoj su stupovi poprečnog okvira zglobno oslonjeni na temelje, a armiranobetonska podna ploča koja nije bila odvojena izolacijskom fugom od stupova pritom nije uzeta u obzir. Za vrijeme potresa srušilo se nekoliko stupova zbog posmičnog loma, pa je nadstrešnica morala biti srušena. Naknadna je analiza pomoću adekvatnije mehaničke sheme



Sl. 41. Poprečni presjek nadstrešnice parkirališta

pokazala da su poprečne sile stupova četiri puta veće nego što je pokazala neadekvatna mehanička shema.

Nadzor u toku gradnje i održavanje. Odziv zgrade na potres ovisi i o njezinoj izvedbi, a ne samo o projektu. Nadzor u toku gradnje zbog toga je u potresnim područjima još važniji nego u područjima gdje se potresi ne očekuju.

Odziv zgrade ovisi i o njezinu stanju u trenutku potresa. Zbog toga je potrebno održavanjem i potrebnim popravcima osigurati da zgrada uvijek bude u stanju koje je predviđeno projektom.

Naknadni zahvati i izmjene na gotovim zgradama koji bi mogli utjecati na njihovo ponašanje tokom potresa, smiju se provoditi samo uz prethodnu konzultaciju s projektantom nosive konstrukcije ili drugim stručnjacima. Uklanjanje ili dodavanje pregradnih zidova, bušenje greda za provođenje instalacijskih cijevi i slično često su prouzrokovali oštećenja za vrijeme potresa.

LIT.: R. Rosman, Erdbebenwiderstandsfähiges Bauen. W. Ernst & Sohn, Berlin 1983.

R. Rosman

PROMET, JAVNI GRADSKI, prijevoz ljudi unutar gradskog područja i između prigradskih naselja i grada kojim se mogu služiti svi građani uz utvrđene pristojbe pa nekada i bez naplate.

Najstariji se oblik glavnog gradskog prometa odvijao plovilima za prijelaz rijeka u gradskom području. Zatim su se pojavila nosila koja nose nosači i kočije s konjskom zapregom. Kočije su najprije služile za prijevoz putnika na njihov zahtjev, a kao linijska prometala sa 8 sjedišta prvi put su se pojavile u Parizu 1662. Kočija s većim brojem sjedišta upotrebljavala se u Londonu početkom 1798, a prvi put pod nazivom omnibus 1826. u Nantesu (Francuska).

Prvo vozilo na tračnicama u javnom gradskom prometu bio je konjski tramvaj uveden u New Yorku (1832), zatim u Parizu (1853) i ondašnjem Petrogradu (1863).

U XIX. st. bilo je pokušaja da se konjska vuča zamijeni mehaničkom (para, komprimirani zrak). Prvi tramvaj na vučno uže izgrađen je u San Franciscu (1873) i brzo se drugdje proširio. U Melbourneu (Australija) postojao je 1891. godine takav tramvaj sa 153 km tračnica. Početkom XX. st. većina je takvih tramvajskih sustava prepravljena za rad na električni pogon.

Godine 1881. stavljena je u pogon u Lichterfeldeu kraj Berlina prva linija električnog tramvaja, dok je u SAD prva linija električnog tramvaja stavljena u pogon 1884. u Clevelandu.

Prvi su se autobusi pojavili 1899. u Velikoj Britaniji, a prvi trolejbusi na izložbi u Parizu 1900.

Pedesetih godina XX. st. trolejbus se rijetko upotrebljava, a stagnira i tramvajski promet. U stalnom je usponu, međutim, autobusni promet, koji je ponegdje jedino sredstvo gradskog javnog prometa. U središnjim je dijelovima nekih velikih gradova zbog gustog prometa premješten tramvaj u drugu razinu, što je omogućilo povećanje brzine.

Najveći gradovi traže rješenje u izgradnji gradske i prigradske željeznice. Prva gradska podzemna željeznica, puštena u promet u Londonu (1863), imala je parni pogon. U Budimpešti je podzemna željeznica stavljena u pogon 1896. a pariski je metro otvoren 1900. Prva je izdignuta gradska željeznica izgrađena u New Yorku (1868) s pogonom na vučno uže, a prva gradska podzemna željeznica na gumenim kotačima pojavila se 1956. u Parizu.

Sve je to, uz razvoj regulacije i kontrole, organizacije prometa i naplate vozarine, omogućilo proširenje javnog gradskog i prigradskog prometa.

Javni gradski promet na tlu Jugoslavije. Prvi tramvaj s konjskom vučom uveden je u Osijeku 1884, prvi električni tramvaj u Beogradu 1894, prvi trolejbus na liniji Piran-Portorož-Sv. Lucija 1909, a prvi javni autobusni promet u Osijeku 1913. Zagrebačka uspinjača puštena je u pogon 1890; parna je vuča zamijenjena električnom 1934.

Konjski je omnibus postojao u Zagrebu i Osijeku između 1860. i 1870. U Rijeci je omnibus uveden 1878, a ne zna se kad je ukinut. Konjski je tramvaj bio u upotrebi u Sarajevu između 1885. i 1895, u Zagrebu između 1891. i 1911, u Beogradu između 1892. i 1905, a u Velikoj Gorici između 1911. (?) i 1937.

Električni je tramvaj, kako je spomenuto, uveden u Beogradu 1894, Sarajevu 1895, Zagrebu 1910, te Osijeku 1926, a i danas je u pogonu. U većini je gradova, međutim, bio u upotrebi i više od pedeset godina: Subotica od 1897. do 1974, Rijeka od 1899. do 1952, Ljubljana od 1901. do 1958, Pula 1904. do 1935, Opatija (Matulji-Opatija-Lovran) od 1908. do 1933, Dubrovnik od 1911. do 1970, Novi Sad od 1911. do 1958, Piran (Piran-Portorož-Sv. Lucija) od 1912. do 1953. i Niš od 1930. do 1958.

Trolejbusni promet uveden je u Beogradu 1947. i održao se do danas. U drugim se gradovima održao, međutim, samo nekoliko godina: u Rijeci od 1951. do 1969, u Ljubljani od 1951. do 1971, a u Splitu od 1952. do 1957.

Autobusni javni promet uveden je u Osijeku 1913, Beogradu 1925, Mariboru 1926, Ljubljani 1928, Zagrebu 1930, a u Rijeci i Novom Sadu 1931. Danas gotovo svi naši gradovi i veća općinska središta imaju javni gradski i prigradski autobusni promet.

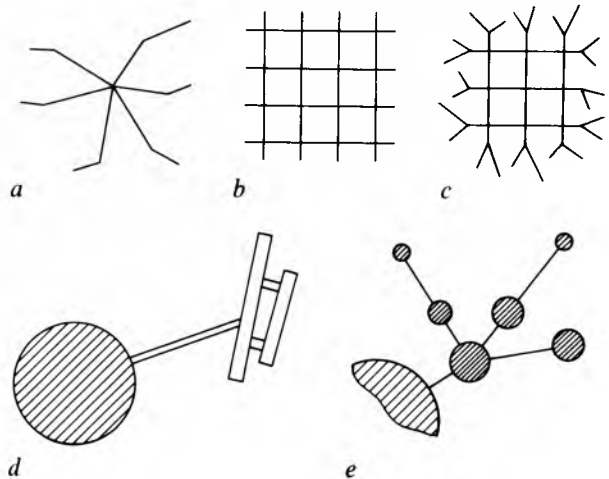
SUSTAVI GRADSKOG JAVNOG PROMETA

Prometni sustav u gradu sastoji se od više podsustava koji moraju biti međusobno koordinirani. Glavinu prometa u gradu čini promet unutar grada (unutargradski promet). To je promet kojem su i ishodišne i odredišne točke unutar gradskog područja. Ostali je promet međumjesni, a razlikuje se prema duljini putovanja. Promet na male udaljenosti naziva se prigradskim prometom. On služi za prijevoz putnika između grada i okolice, najčešće radi odlaska na rad i u školu.

Sustavi javnog gradskog prometa mogu se svrstati u dvije skupine: *cestovni sustavi* i *tračnički sustavi*, a razlikuju se prema vrsti prometnice i prema načinu vođenja i upravljanja vozilom. Cestovne sustave karakterizira slobodno ili relativno slobodno (trolejbus) kretanje vozila cestovnom prometnicom, a tračničke sustave upotreba tračnica koje ne dopuštaju slobodno skretanje vozila (prisilno vođenje).

Sustavi javnog gradskog prometa razlikuju se prema organizacijsko-eksploatacijskim značajkama: linijska ili slobodna eksploatacija, organizacija voznih redova, usluge u toku čitavog dana ili određenog dijela dana, stajanje na svim stajalištima ili samo na određenima, mogućnost vožnje na više linija, tarifni sustav.

Za odvijanje gradskog prometa služe prometne mreže. One unutar grada mogu biti *radijalne* (veze predgrada s gradskim središtem), *ortogonalne* i *kombinirane* (sl. 1), dok izvangradska prometna mreža služi za povezivanje satelitskih naselja s gradom ili kao samostalna linija (npr. veza aerodroma s gradom).



Sl. 1. Vrste prometnih mreža gradskog prometa, a radijalna, b ortogonalna i c kombinirana mreža, d samostalna linija (npr. veza aerodrom-grad), e veze sa satelitskim naseljima

Prometne se mreže sastoje od *prometnica* (ceste, kolosijeci) i *čvorišta* (željeznički i autobusni kolodvori, tramvajski terminali i stajališta). Čvorišta mogu biti prolazna i početno-završna na kojima se regulira i kontrolira odvijanje prometa.

Karakteristika je javnog prometa da se odvija kao linijski promet prema utvrđenom i objavljenom voznom redu i da služi svim građanima koji plate vozarinu prema utvrđenom tarifnom sustavu. Jedino taksi-promet nema utvrđenog voznog reda. Linijski promet podrazumijeva postojanje mreže prometnih linija. Uz javni promet postoji i promet za vlastite potrebe (promet vozila radnih i drugih organizacija), individualni promet (promet automobilima, motociklima i biciklima) i parajavni promet. Parajavni promet ima značajke i javnoga, jer je pristupačan svakom građaninu ili određenoj skupini korisnika, i privatnog prometa, jer se putnici prevoze kao i privatnim automobilima, tj. od vrata do vrata. Taksi-promet i autobusni promet na telefonski poziv, kad je kretanje autobusa prilagođeno potrebama putnika, najčešći su oblici parajavnog prometa. Iznajmljivanje vozila, najčešće bez vozača (rent-a-car) može se smatrati individualnim prometom.