

RIKO ROSMAN*

POJMOVI, CILJEVI I PRINCIPI DIZAJNA, IZVEDBE I ODRŽAVANJA ARHITEKTONSKIH KONSTRUKCIJA OTPORNIH NA POTRES

UVOD

Već odavno je poznato da potresi otkrivaju greške učinjene pri arhitektonskom i konstruktivnom projektiranju te izvedbe kao i eventualnim naknadnim zahtevima na gotovoj građevini i izmjenama. »Achillova peta« građevina je pri potresima često ishodište šteta i razaranja.

Pri projektiranju građevina otpornih na potres treba podlogu temelja, temelj, nosivu konstrukciju i nenosive elemente sagledavati kao cjelinu i uzeti u obzir njihovu interakciju. One moraju osim općih zahtjeva koji vrijede za sve građevine zadovoljiti još i neke dodatne zahtjeve. Pri formuliranju dodatnih kriterija upotrebljava se neke pojmove koji se ne pojavljuju pri statičkom tretiranju, a to su duktilnost materijala i konstrukcija, prigušivanje vibracija te absorpcija i disipacija energije. Layout građevina otpornih na potres utvrđuje se u uskoj suradnji arhitekta i građevinarara. Samo skupim »točnim« dinamičkim proračunom ne može se postići, da nestručno oblikovana građevina dobro reagira na utjecaje potresa.

Opća rješenja za raznorazne zadaće aseizmičkog građenja dakako nije moguće dati. Formulirat će se međutim principe koji olakšavaju arhitektonski i građevinski dizajn. Pri rješavanju konkretnih zadaća dakako da u pravilu nije moguće uvijek zadovo-

* Dr. Riko Rosman, dipl. ing. građ., red. profesor, Arhitektonski fakultet, Zagreb.

ljiti sve principe; arhitektu i građevinaru mora biti jasno, da će konstrukcija onda imati i neka nepovoljna svojstva.

Pri izboru jednog od više varijantnih rješenja upoređuje se suma početnih troškova, dakle troškova gradnje objekta, troškova održavanja i troškova popravka oštećenja izazvanih potresom.

POJMOVI

Pod *duktilnošću materijala* podrazumijeva se njegova sposobnost da se pri praktički konstantnom naprezanju relativno jako deformira. Element nekog štapa je duktilan, ako pri konstantnom momentu savijanja dođe do relativno velikog povećanja njegove zakrivljenosti; govori se o duktilnosti zakrivljenosti. U inženjerskih konstrukcija duktilnost materijala se manifestira formiranjem plastičnih zglobova u njenim najnapregnutijim područjima, u pravilu na krajevima greda i prečki. *Duktilnost konstrukcije* definira se kao kvocijent horizontalnog progiba njenog vrha u času kada ona prelazi u mehanizam i horizontalnog progiba njenog vrha u času formiranja prvog plastičnog zgloba. Duktilnost konstrukcije se realizira kutnim pomacima plastičnih zglobova, a utvrđuje se na osnovi mjerodavnog mehanizma, tj. figure tečenja.

Naročito povoljan građevni materijal u pogledu duktilnosti je čelik. Armirani beton moguće je prikladnim oblikovanjem i detaljiranjem učiniti duktilnim. U žida se prikladnim armiranjem može postići neznatnu duktilnost. Želi li se koristiti povoljna svojstva duktilnosti konstrukcije, mora se obezbijediti da ona usljed instabilnosti ravnoteže, posmičnog loma nekog stupa, loma usidrenja armature neke grede u nekom čvoru ili slično ne postane neupotrebljivom prije prelaza u mehanizam.

Prigušivanje vibracija naziva se i materijalnim ili internim prigušivanjem. Pod prigušivanjem podrazumijeva se u slobodnih vibracija monotono smanjivanje amplitude sve do stanja mirovanja, a u prinudnih vibracija otpor rezonanciji, dakle povećavanju amplitude. Prigušivanje nastaje usljed trenja na površini čestica materijala ili, drugim riječima, usljed toga što se dio energije koju eksitacija tla uvodi u konstrukciju pretvara u druge nepovratne oblike energije, napose toplinu. Prigušivanje se sastoji iz dvaju doprinosa, doprinosa viskoznog prigušivanja, koji ovisi o frekvenciji vibracija i doprinosa histeretičnog prigušivanja koji ne ovisi o frekvenciji vibracija.

Prigušivanje u kojeg vibracija prestaje biti periodičnom i postaje aperiodičnom naziva se kritičnim. U građevina prigušivanje iznosi obično 2 do 10% kritičnoga, pa se amplituda vibracija nakon prestanka potresa monotono smanjuje sve do stanja mirovanja.

Histeretično prigušivanje mjeri se petljama histereze. Oblik petlji određen je svojstvima materijala, a njihova površina predodređuje disipiranu energiju, tj. energiju pretvorenu u nepovratne oblike. Ako su naponi pri vibriranju u elastičnom području disipacija energije je zanemariva, pri velikim naponima u plastičnom području ona je međutim znatna.

Pri potresu vibriranje tla u stopi temelja permanentno uvodi energiju u konstrukciju. Konstrukcija input energije privremeno absorbira u vidu mehaničke, dakle potencijalne i kinetičke energije, a jedan malen dio permanentno disipira viskoznom prigušivanjem. U slučaju jakog potresa nakon možda nekoliko sekundi vibracije građevine postaju tako jakima, da dođe, ako je ona duktilna, do plastičnih deformacija i formiranja plastičnih zglobova. Od tog časa nadalje se ne samo viskoznom prigušivanjem disipira malen dio, nego se histeretičnim prigušivanjem disipira znatan dio energije, a mehanička energija građevine se time drastično reducira. Kada potres odnosno eksitacije tla prestaju, konstrukcija viskoznom prigušivanjem postepeno disipira još preostalu mehaničku energiju, dok se konačno ne vrati u polazno stanje mirovanja. Prikazana *bilanca inputa energije* pokazuje, da se duktilne građevine pri potresu mnogo povoljnije ponašaju od neduktilnih.

Dok je disipacija energije u inženjerskim konstrukcijama u pravilu nepoželjno svojstvo, na primjer u strojarstvu, jer vodi do gubitaka, pri potresu je ona povoljno i poželjno svojstvo.

Propisi za aseizmičko građenje naše kao i drugih zemalja za duktilne konstrukcije specificiraju manja seizmička opterećenja nego za neduktilne. Želi li se koristiti tu bonifikaciju, mora histeretično prigušivanje biti stabilno; u suprotnom slučaju bi pri cikličkom naprezanju došlo do postupne degradacije čvrstoće i time znatnih šteta ili kolapsa konstrukcije. Manje štete koje eventualno nastaju histeretičkim prigušivanjem može se nakon potresa lako popraviti, pa ih se zbog ekonomije građenja tolerira.

Prigušivanje je glavni izvor disipacije energije građevina. Ponekad postoje još dva vida disipacije energije: 1) feedback dijela energije u tlo i 2) trenje u spojevima elemenata konstrukcije. Feedback dijela energije u tlo, dakle vraćanje dijela energije preko podloge temelja u tlo ostvaruje se interakcijom, dakle uzajamnim utjecanjem građevine i tla.

CILJEVI

Cilj aseizmičkog dizajna je da građevina jednom povoljnom, po mogućnosti optimalnom, kombinacijom čvrstoće, krutosti, duktilnosti i kapaciteta disipiranja energije na češće slabije potrese reagira bez većih šteta, a na najjači potres kojem bi eventualno jednom mogla biti izložena bez velikih šteta, a prije svega

ne ugrožavajući ljude. Preduvjet uspješnog aseizmičkog dizajna su razumijevanje ponašanja konstrukcija pri potresu i ingeniozitet, da se uz arhitektonske, građevinske i ekonomske faktore istovremeno udovolji još i mnogobrojne principe aseizmičkog građenja.

Dizajnom građevine treba prvo obezbijediti dovoljnu sigurnost protiv loma. Postiže ju se čvrstoćom ili, a to je najčešće ekonomičnije, kombinacijom čvrstoće i duktilnosti. U drugonavedenom slučaju horizontalni pomaci nakon što se formira prvi plastični zglob još dalje rastu, seizmičko opterećenje se međutim više ne povećava; do loma može doći ako građevina nije adekvatno konstruirana, naime ako je njena raspoloživa duktilnost manja od potrebne. Drugo, projektiranjem treba obezbijediti da relativni bočni pomaci susjednih stropova nisu preveliki. Preveliki pomaci mogli bi ugroziti stabilnost ravnoteže odnosno izazvati prekomjeran efekt drugog reda, dovesti do šteta na nenosivim pregradnim i vanjskim zidovima i instalacijama, do sudaranja susjednih dijelova objekta u seizmičkim razdjelnicama i proizročiti nelagodnost ili paniku ljudi u građevini i neposredno pored nje.

Poseban vid postizanja otpornosti na potres je primjena dualnih nosivih konstrukcija, preciznije konstrukcija sa dvostrukim odbranbenim platoonom. To su konstrukcije koje na najjači potres kojem bi mogle biti izložene reagiraju najprije jednim a onda drugim odbranbenim mehanizmom. Tipičan primjer su konstrukcije iz armiranobetonskih zidova i duktilnih okvira. U prvoj fazi odbrane zidovi, jer su neuporedivo krući od okvira, preuzimaju praktički čitavo opterećenje. Ako opterećenje toliko poraste da iscrpi nosivost zidova, veći dio energije je disipiran histeretičkim prigušivanjem u plastičnim zglobovima na donjim krajevima zidova. Preostali manji dio energije onda, u drugoj fazi odbrane, disipiraju okviru svojim velikim deformacijama u području plastičnih naprezanja.

PRINCIPI

1. Građevina neka je što lakša. Što je ona teža, tim većim masnim silama je izložena pri potresu. Masa koje nisu neophodno potrebne trebalo bi se odreći. Tako su na primjer krovni vrtovi na teškom sloju zemlje doveli do velikih razaranja.

2. Građevina neka je što jednostavnija. Obrazloženje tog principa je u tome da se respons jednostavnih građevina na utjecaje potresa može relativno lako utvrditi, da ih je relativno lako proračunati, detaljirati, izvesti i održavati i u slučaju potrebe popraviti. Jednostavne građevine imaju najveću šansu da prežive i jake potrese.

3. Horizontalni presjek građevine i raspoređenost mase u horizontalnom presjeku neka su duž njene visine nepromjenljivi.

Nosiva konstrukcija u tom slučaju ima vertikalnu os krutosti, a građevina vertikalnu os mase. Da bi se utjecaje torzije svelo na najmanju moguću mjeru, ekscentricitet osi mase s obzirom na os krutosti i time međusobna udaljenost obiju osi treba biti što manja. Daleko najpovoljnije u statičkom pogledu, a tek pogotovu u pogledu dinamičkog ponašanja pri potresu, su građevine u kojih se os mase i os krutosti poklapaju. Autor takve građevine naziva koaksialnima. U koaksialnih građevina nema planske torzije, u njih se mora računati samo sa, u pravilu neznatnom, vanplanskom ili slučajnom torzijom, koja rezultira iz nejednolikosti gibanja tla u stopi temelja i nepreciznosti pri izvedbi objekta.

4. Horizontalni presjek građevine neka je konveksan, tako da nema introvertiranih vrhova. U građevina konkavnih, na primjer L—, I—, T—, U— i križnih presjeka, duž introvertiranih bridova nastaju koncentracije naprezanja, koje su često ishodište šteta i razaranja. Jako raščlanjene građevine se pri vibriranju najlakše rasklimaju. Problem se najjednostavnije riješi tako, da se građevinu seizmičkim razdjelnicama podijeli u samostalne odsječke pravokutnog presjeka.

5. Horizontalni presjek građevine neka je što kompaktniji; napose horizontalni presjek pravokutnih građevina neka ne bude suviše izdužen. Inače treba računati sa dosta velikom vanplanskom torzijom. Vrlo izdužene građevine treba dakle poprečnim seizmičkim razdjelnicama podijeliti u kraće samostalne odsječke.

6. Horizontalni presjek građevine neka ima što viši stupaj simetrije. Simetrija ne samo olakšava proračun nego i respons konstrukcije čini povoljnijim. Poseban vid akoaksialnih sistema su sitemi u kojih je bočna krutost u svim smjerovima jednaka; naziva ih se jednakokrutim akoaksialnim sistemima. Građevine koje imaju samo jednu vertikalnu ravninu simetrije u pravilu nisu koaksialne, pa usljed planske torzije mogu biti vrlo nepovoljno napregnute i deformirane. U cikličkosimetričnih te dvo- i višestruko ravninskosimetričnih građevina os mase i os krutosti uvijek koincidiraju.

7. Jezgru ili jezgre građevine treba, ukoliko postoje, nastojati disponirati centrično odnosno simetrično. Ako su one izvan građevine a s njom su monolitno spojene, stvara se velik ekscentricitet masnih sila, a ako su razdjelnicom odvojene nastaju problemi pri oblikovanju i premošćivanju razdjelnice, koje su često široke desetak i više centimetara.

8. I vertikalni presjeci građevine neka su konveksni, najbolje pravokutni, a nikako konkavni. Iz sužavanja a napose proširivanja građevine naprama gore rezultiraju opasne koncentracije naprezanja na mjestima diskontinuiteta. Ako se takvo rješenje želi samo zbog image-a građevine, valjalo bi od njega odustati.

9. Građevina neka ne bude previsoka u odnosu na svoje tlo-crtne dimenzije. U vrlo vitkih građevina moment prevrtanja seiz-

mičkog opterećenja jako napreže periferne stupove i zidove, a da bi se pritisak na tlo svelo na dopuštenu vrijednost često su potrebni dugi prepusti temelja. Dowrick preporuča da visina građevine ne bude veća od četverostruke vrijednosti njene manje horizontalne dimenzije.

10. Pri izboru konstruktivne visine stropova, ploča a napose greda, ne treba previše štediti, kako bi amplitude njihovih vertikalnih vibracija ostale u prihvatljivim granicama.

11. U stropovima treba otvore za dizala, stubišta, nadsvjetla i slično disponirati tako da se ne dovede u pitanje njihovo membransko djelovanje, dakle prijenos masnog opterećenja usljed potresa na vertikalne elemente nosive konstrukcije. Nikako otvore ne treba disponirati u blizini introvertiranih vrhova stropova, jer su oni tamo ionako vrlo nepovoljno napregnuti.

12. Ako se zidove koji bočno ukružuju građevinu u prizemlju raščlani, dakle osloni na nekoliko vitkih stupova, pri potresu dođe do nepovoljnog efekta »mekog prizemlja«. Ukoliko želja za slobodnim prizemljem ne rezultira iz funkcionalnih ili drugih važnih razloga, samo za volju image-a »lebdećeg« kubusa ne bi se trebalo odlučiti za takvo rješenje.

13. Krhke građevne materijale i krhke lomove nekrhkih materijala treba izbjegavati.

14. Nosiva konstrukcija neka bude u najvećoj mogućoj mjeri monolitna, a njen stupanj statičke i kinematičke neodređenosti što viši. Što neodređenija je konstrukcija, tim veća je rezervna nosivost data njenom sposobnošću plastičnog deformiranja i redistribucije unutarnjih sila. Ako se nosivost bazira na čvrstoći i duktilnosti, treba konstruirati i detaljirati tako da se u graničnom stanju formira što veći broj plastičnih zglobova te da su oni raspoređeni po cijelom tlocrtu i cijeloj visini građevine. Onda do disipacije inputa energije dođe po njenom cijelom volumenu.

15. U skladu s poznatom uzrečicom da je lanac onoliko čvrst koliko je čvrst njegov najslabiji element, čvrstoće elemenata konstrukcije, njihovih spojeva i temelja neka budu međusobno usklađene.

16. U slučaju potrebe treba horizontalnim i vertikalnim serklažima, veznim štapovima i slično spriječiti, da se građevina pri vibriranju rasklima.

17. Ako su dvije građevine spojene mostovima, mostove treba na građevine osloniti statički određeno, tako da one mogu nesmetano vibrirati jedna neovisno o drugoj, a mostovi nisu prekomjerno napregnuti.

18. Nenosive elemente konstrukcije, napose pregradne i fasadne zidove, treba od nosive konstrukcije odvojiti dovoljno širokim fugama. U suprotnom slučaju oni mogu 1) stvaranjem efekta kratkih stupova i kratkih greda i time opasnosti krhkih lomova, pove-

ćanjem bočne krutosti, time skraćanjem perioda i time povećanjem seizmičkog otporećenja nepovoljno utjecati na respons građevine na potres i 2) pri vibriranju nosive konstrukcije biti oštećeni ili razoreni. U pravilu je međutim ekonomičnije, a i iz drugih razloga poželjno, umjesto nenosivih primijeniti nosive elemente i uintegrirati ih u nosivu konstrukciju.

19. I temeljenje građevine neka je što jednostavnije, a treba obezbjediti da se građevina pri vibriranju pomiče kao cjelina, kako se ne bi rasklimala. Najpovoljnije je građevinu postaviti na jedinstven krut temelj, na primjer roštilj podrumskih zidova ili debelu temeljnu ploču. Ako to iz ekonomskih razloga nije moguće, na primjer u manjih građevina, treba spriječiti da pojedini temelji pri vibriranju povećaju ili smanje svoju međusobnu udaljenost. U slučaju plitkog temeljenja to se postiže veznim štapovima ili pločama, koji međusobno povezuju temelje ili stupove odnosno zidove neposredno iznad temelja. Podrumske podne ploče, ukoliko postoje, mogu ujedno preuzeti još i funkciju veznih ploča.

20. Respons zgrade na potres ovisi o tome kako je bila sagrađena a ne o tome kako je bila planirana. Nadzor izvedbe je u seizmičkim područjima još važniji nego u neseizmičkima. Tako je na primjer na jednoj zgradi nastala velika šteta jer je spirala jednog ovijenog stupa završila nešto ispod donje plohe stropne grede dotičnog kata. Respons zgrade ovisi i o tome u kakvom stanju ju potres zateče. Stoga održavanjem i eventualno potrebnim popravcima treba obezbjediti da zgrada permanentno bude u stanju predviđenim projektom.

21. Naknadne zahvate ili izmjene na postojećim građevinama, koji bi mogli utjecati na njihovo ponašanje pri potresu, smije se provesti samo uz predhodnu konzultaciju projektanta ili drugog stručnjaka. Uklanjanje pregradnih zidova, bušenje greda za instalacijske cijevi, ispunjavanje okvira planski nenosivim panoima i slično je bezbroj puta prouzrokovalo štete pri potresima.

PROCJENA OTPORNOSTI NA POTRES POSTOJEĆIH GRAĐEVINA

Respons na potres bočno dosta krutih građevina može se vrlo pojednostavljeno interpretirati kako slijedi. Dominantne su horizontalne komponente gibanja čestica tla u stopi temelja; po površini stope one su konstantne. Građevina kao nedeformabilan blok slijedi gibanje tla, tj. vibrira identično vibriranju tla. Na osnovi svojstva inertnosti njene mase, tj. njenog nastojanja da ne mijenja svoje kinematičko stanje, ona je izložena horizontalnim masnim silama. Veličina masnih sila jednaka je, po drugom Newtonovom zakonu, produktu mase i ubrzanja, a njihov smjer je u svakom času suprotan smjeru ubrzanja gibanja tla. Maksimalna vrijednost masnih sila jednaka je produktu mase i maksimalne vrijednosti ubrzanja. Rezultanta maksimalnih masnih sila, koju se često naziva

i seizmičkim opterećenjem, data je produktom težine zgrade i kvocijenta maksimalne vrijednosti ubrzanja gibanja tla i ubrzanja sile zemljine teže, a djeluje u težištu zgrade u smjeru suprotnom ubrzanju tla.

Konstrukcija je obično najnepovoljnije napregnuta na svojem donjem kraju, u presjeku u kojem je vertikalna nosiva konstrukcija upeta u temelj. Dominantno naprezanje u mjerodavnom presjeku najčešće je savijanje. Uz oznake G za težinu zgrade, g za ubrzanje sile zemljine teže, a za maksimalnu vrijednost ubrzanja gibanja tla i z' za kotu težišta zgrade s obzirom na površinu temelja, moment savijanja u tom presjeku iznosi $G(a/g)z'$. Označi li se granični, ili prelomni moment presjeka sa M_u , za maksimalno ubrzanje gibanja tla koje građevina može podnijeti dobije se obrazac

$$a = \frac{g M_u}{G z'} \quad (1)$$

Sličan obrazac može se izvesti i za slučaj kada je smicanje dominantno naprezanje u mjerodavnom presjeku.

Na osnovi u novije vrijeme usvojene Medvedev-Sponheuer-Karnik skale, intenzitet najjačeg potresa s kojim se na dotičnoj lokaciji mora računati i maksimalno ubrzanje gibanja tla, izraženo u cm/sec^2 , vezani su empirijskom relacijom

$$I = 1,5 + 3 \log a. \quad (2)$$

Uvrsti li se u jednadžbi 2 za maksimalno ubrzanje gibanja tla, a , vrijednost datu jednadžbom 1, ona daje intenzitet najjačeg potresa kojeg promatrana građevina može podnijeti.

Riko ROSMAN

CONCEPTS, AIMS AND PRINCIPLES OF THE DESIGN,
CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF EARTHQUAKE-
RESISTANT ARCHITECTURAL STRUCTURES

S u m m a r y

After a general introduction an explanation is given of some fundamental concepts of the earthquake-resistant design. The material ductility, the overall or structure ductility, the viscous and hysteretic damping and the energy expenditure are analyzed.

The aim of the earthquake-resistant design is related to both the collapse under the most severe quake the structures could ever be subjected to and to their performance criteria under minor quakes which might be expected several times during their service life.

Then 21 principles are formulated which should be followed in the design, the construction and the maintenance of structures. The first 12 principles deal with the layout of the structures, the following with their mechanical properties, the foundation, the field inspection and possible subsequent alterations.

Finally a simple procedure is developed, which enables to estimate the intensity of the strongest quake the structure might survive.

CONCEPTS, AIMS AND PRINCIPLES OF DESIGN, CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF EARTHQUAKE-RESISTANT ARCHITECTURAL STRUCTURES

dr Riko Rosman, professor of structural engineering,
Faculty of architecture, Zagreb

1. When Stricken by earthquakes, the building subsoil, the foundation, the structure and the nonstructural elements respond as a whole; hence, their interaction must be considered in the design of earthquake-resistant buildings. A complicated and expensive analysis of dynamic loads and adequate detailing do not enable a structural engineer to make the building behave well during earthquakes; hence, the building layout must be determined in a close cooperation between an architect and a structural engineer.

2. The building should be light. The heavier it is, the larger are the inertia forces it is subjected to during earthquakes. Masses which are not really necessary should be renounced.

3. The building should be simple. The response of simple buildings to earthquakes can relatively easily be determined, they can easily be analyzed, built, maintained and repaired.

4. The plan, i.e. the horizontal cross-section of the structure and the distribution of the mass in the plan should not vary up the building height. In this case the building has a vertical stiffness axis and a vertical mass axis. To minimize the unfavorable effects of torsion, the eccentricity of the mass axis with respect to the stiffness axis, the mutual distance of these two axes should be as small as possible. Coaxial buildings, i.e. those whose stiffness and mass axes coincide, respond to both static and dynamic effects in the best way. With coaxial buildings there is no primary, but only an accidental torsion which is due to torsional excitation components in the foundation base and to inaccuracies in the construction process.

5. The building plan should be convex, so that it has no reentrant corners (introverted verices). With concave buildings, buildings with L-, I-, T- or U-shaped plans for example, high stress concentrations occur along the reentrant edges and damage often

originates there. Buildings with filigreed plans are prone to be shattered during earthquakes; hence, they should be divided into independent parts by vertical seismic joints.

6. The building plan should be compact. Rectangular cross-sections for example, should not be too elongated. Otherwise the accidental eccentricities of the seismic loads might be quite large. Very elongated buildings should be divided by seismic joints into two or more shorter parts.

7. The building plan should have a symmetry degree as high as possible. Symmetry not only simplifies the analysis and construction, but also improves its response. Buildings which have a single vertical symmetry plane only may develop very high inertia forces and be strongly stressed and deformed during earthquakes.

8. Gravity loads counteract the overturning effect of the seismic loads. Thus, those elements of the vertical structure which take on a large part of the horizontal load should be so located in the plan that they simultaneously take on a large part of the gravity load; however, their axial force should not be so large as to lead to a brittle failure. Moreover, those vertical elements which are part of the lateral-load resistant structure should be located close to the building boundary to obtain an adequate torsional stiffness.

9. The building core should be located centrally. If there are two or more cores, they should be arranged symmetrically. If the core is outside the building block and it is monolithically joined with it, there is a large eccentricity of the inertia load; if it is, to the contrary, separated from it by a seismic joint, problems may arise in the design and the joint, bridging-over which might be 10 cm wide or even wider.

10. The building vertical cross-sections should also be convex, rectangular if possible, and by no means concave. In other words, setbacks and especially reverse setbacks, i.e. enlargements of the plan in the building upper region, should be avoided due to the high stress concentrations which occur at the discontinuities. Hence, image or fashion requirements should not be a sufficient motivation for the choice of such a design.

11. The building should not be too high with respect to its horizontal dimensions. With very slender buildings the peripheral vertical elements are highly stressed by the seismic load's overturning moment; to get acceptable pressures on the subsoil long cantilevered foundations might be necessary. It has been recommended that the building height should not exceed its fourfold shorter horizontal dimension.

12. The structural height of the floors, i.e. of the slabs, ribs, beams and/or girders should not be too small. Otherwise, the

amplitudes of their vertical vibrations might take on unacceptably high values and partitions, infill panels and other nonstructural elements might be damaged.

13. The width of the beams and girders should not be much larger than that of the columns to avoid unnecessary stress concentrations in the support regions.

14. Openings in the floors for elevators, staircases, light wells, skylights and the like should be so located, that they do not seriously degrade the diaphragm capacity of the floors and thus do not jeopardize the transfer of the inertia loads to the lateral-load resistant structure. Especially they must not be located close to the reentrant corners, because the floors are there unfavorably stressed anyway.

15. Lateral-load resistant structural walls with large openings in the ground floor, i.e. walls resting on a few columns, develop the weak floor effect. The deformation of the ground floor, especially the lateral deflection of the upper part of such structures, can be quite large and the columns are prone to a brittle failure due to their large axial forces. An image requirement of the floating cube should not be a sufficient motivation for the choice of such a design.

16. Brittle materials and brittle failure modes of the structure must be avoided.

17. The structure should be as monolithic as possible and its degree of static and/or kinematic redundancy as high as possible. The higher the redundancy, the larger its additional bearing capacity which is due to the capacity of the material and the structure to deform into the plastic range. The ductility of the material and the structure enables a redistribution of the bending moments. The structure should be so designed, that in its ultimate state, right before the collapse, a large number of plastic hinges develops these hinges being more-or-less uniformly distributed over the structure's plan and height; in this case nearly the whole structure dissipates the energy which is introduced into the building by the ground excitation during the earthquake.

18. According to the proverb that »A chain breaks at its weakest link« the strength and the stiffness of the structural members, their connections, the foundation and the subsoil should be balanced.

19. If necessary, vertical and/or horizontal closed tie beams must be provided to prevent the building from shattering during earthquakes.

20. If a bridge joins two buildings, it should be statically determinate, so that it does not prevent the buildings from vi-

brating independently. Moreover, the buildings do not introduce any seismic forces into the bridge in this case.

21. Nonstructural elements, like partitions, parapets and facade panels, must be isolated from the structure by sufficiently wide gaps; if the gaps have to be filled, truly flexible materials must be used. Otherwise, the nonstructural elements can either 1) enlarge the building lateral stiffness, shorten its vibration period, magnify the seismic load, impair its response and generate the short-column or short-girder effect and thus lead to brittle failure modes, or 2) be damaged by the structure vibrations. The first situation arises if the nonstructural elements are relatively strong, the second one if they are relatively weak. — Usually better and more economical solutions are obtained by applying structural instead of nonstructural elements; they must be properly incorporated into the structure.

22. The foundation, too, should be simple; it must ensure that the building moves as a whole, so that it is not shattered by the ground excitation. A common rigid foundation under the whole building, a thick mat or a grid of basement walls for example, is the best solution. If this is not possible due to economical or other reasons, as with shallow foundations of smaller buildings, the individual footings must be joined by compression/tension ties which prevent differential horizontal movements of the individual footings. If ground slabs exist in the basement, they may simultaneously function as ties.

23. The response of a building to earthquakes depends on how it has been built and not on how it was designed. Construction supervision is especially important with earthquake-resistant structures. The response of the building also depends on its state at the time when it is stricken by the quake. Hence it must be properly maintained during its whole service life, so that it is permanently in the designed state.

24. Alterations of the structure and the nonstructural elements which might modify the building response to earthquakes must not be made without first seeking the advice of the designer or another expert. The addition or removal of partitions or infills and openings made in beams for the passage of ducts have often led to damages during earthquakes.