Nedavni veliki potresi i njihovo značenje

Sigmund, Vladimir; Zlatović, Sonja

Source / Izvornik: **Građevinar, 2000, 52, 695 - 703**

Journal article, Published version
Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:870434

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

UDK 624.131.55.001.3 *Primljeno 26. 9. 2000.*

Nedavni veliki potresi i njihovo značenje

Vladimir Sigmund, Sonja Zlatović

Ključne riječi

potres,
Turska,
Grčka,
istraživanja,
suvremeni propisi,
obrazovanje inženjera

V. Sigmund, S. Zlatović *Stručni rad*

Nedavni veliki potresi i njihovo značenje

Od niza velikih potresa u 1999. godini, prikazana su dva, koja su se dogodila u Turskoj i Grčkoj, a najzanimljiviji su za hrvatsko građevinarstvo. Posljedice ovih potresa potvrđuju ispravnost dosadašnjih spoznaja i ukazuju na nova područja istraživanja. Pokazalo se da su mnogi ljudi stradali i mnoge štete nastale zato što suvremeni propisi nisu primjenjivani. Istaknuto je da stečena iskustva treba primijeniti pri obrazovanju inženjera, a također i u pripremi za moguće potrese.

Key words

earthquake,
Turkey,
Greece,
research,
modern regulations,
education of engineers

V. Sigmund, S. Zlatović *Professional paper*

Recent major earthquakes and their significance

Out of a number of big earthquakes registered in 1999, the authors have focused their attention on two earthquakes, the big ones in Turkey and Greece, because of their significance for Croatian construction industry. The effects of these earthquakes confirm the current knowledge and point to new areas of research. It has been demonstrated that high loss of life and significnant damage to property is principally due to the fact that modern regulations have not been applied. It is emphasized that the experience gained so far should be used to educate engineers, but also to make proper preparations for future earthquakes.

Mots clés

séisme,
Turquie,
Grèce,
recherches,
réglementation actuelle,
formation des ingénieurs

V. Sigmund, S. Zlatović *Ouvrage professionel*

Grands séismes récents et leur importance

Dans la série des grands séismes de 1999, l'article présente deux séismes survenus en Turquie et en Grèce, ces derniers présentant le plus grand intérêt pour le génie civil en Croatie. Les conséquences de ces séismes confirment la justesse des connaissances antérieures et indiquent de nouveaux domaines de recherches. Il s'est avéré qu'un grand nombre de victimes et de dégâts étaient dus à la non application de la réglementation actuelle. On souligne que les expériences acquises doivent être mises en oeuvre dans la formation des ingénieurs, y compris les préparatifs pour les séismes potentiels.

Schlüsselworte:

Erdbeben,
Türkei,
Grichenland,
Forschungen,
zeitgemässe Vorschriften,
Ingenieurausbildung

V. Sigmund, S. Zlatović *Fachbericht*

Die jüngsten grossen Erdbeben und deren Kennzeichen

Aus der Reihe der grossen Erdbeben im Jahr 1999. sind zwei dargestellt die sich in der Türkei und in Grichenland ereignet hatten und am interessantesten für das kroatische Bauwesen sind. Die Folgen dieser Erdbeben bestätigen die Richtigkeit der bisherigen Erkenntnisse und weisen auf neue Forschungsgebiete hin. Es zeigte sich dass viele Menschen verunglückten und viele Schäden entstanden weil zeitgemässe Vorschriften nicht angewendet waren. Es wird hervorgehoben dass die angesammelten Erfahrungen in der Ingenieurausbildung angewendet, sowie auch Vorbereitungen für mögliche Erdbeben getroffen werden sollen.

Autori: Prof. dr. sc. **Vladimir Sigmund**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera, Osijek; dr. sc. **Sonja Zlatović**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1 Važnost velikih potresa iz 1999. godine za stručnu javnost

U 1999. godini dogodio se niz velikih potresa – u Turskoj, Grčkoj, Meksiku, Kaliforniji, na Tajvanu – a jaki se potresi nastavljaju i u ovoj godini. Pažnju medija privukli su golemi broj žrtava i goleme štete, a otvorena su i pitanja o umješnosti građevinske struke da se nosi s takvim izuzetnim situacijama. Mnogi su ljudi, naime, poginuli u svojim domovima, u sredini u kojoj svi očekujemo zaštićenost i sigurnost.

Pritom, slično Hrvatskoj, zemlje u kojima su se dogodili ovi potresi, dugih su seizmičkih povijesti u kojima su na snazi suvremeni građevinski propisi. Ipak, građevinari su bili iznenađeni intenzitetom ovih potresa, a građanstvo katastrofalnim posljedicama. Pokazalo se da su mnogi ljudi stradali i mnoge štete nastale zato što se suvremeni propisi nisu uvijek primjenjivali, te da treba mnogo više pažnje posvetiti nadzoru i kontroli gradnje - posebno stambene gradnje, kojoj se često prilazi bez dovoljno ozbiljnosti. Zato su veliki potresi iz 1999. godine značajni za Hrvatsku prije svega zbog sličnosti između prilika u sredinama u kojima su se potresi dogodili s onima u Hrvatskoj, te sličnosti u mogućim posljedicama.

Kao i za Hrvatsku, za područja pogođena ovim potresima smatralo se da su umjerene seizmičnosti, iako Turska i Grčka - kao i Hrvatska - pripadaju Alpskom seizmičkom pojasu te imaju bar dva tisućljeća dugu povijest dokumentiranja potresa. Na snazi su suvremeni građevinski propisi, ali broj žrtava i štete iznenadili su sve.

Pokazuje se da umjerena seizmičnost u nekom razdoblju nije jamstvo trajnoga seizmičkog mira, a mir je posljednjih desetljeća učinio da javnost potpuno zaboravi na moguću opasnost. Postaje također jasno da se unutar struke treba više brinuti o pouzdanosti podataka o seizmičnosti nekog područja, uključujući svakako trajanje vođenja zapisa, te seizmičkim događanjima svojstvenu periodičnost.

Druga posebnost potresa iz 1999. godine u Turskoj i Grčkoj jest što su se dogodili u gusto naseljenim područjima pokrivenim mrežom seizmoloških stanica. Tako je dobiven veliki broj dragocjenih zapisa potresa. Do 1999. godine bilo je svega 8 zapisa potresa magnitude veće od 7 i udaljenosti manje od 20 km od rasjeda. Potres u Turskoj donio je dodatnih 5 zapisa, a potres u Tajvanu čak 65 zapisa.

Golem je broj građevina koje su bile izložene jakom potresnom djelovanju. Veliki broj prikupljenih podataka i opažanja daju vrijedna eksperimentalna iskustva koja se odnose na ponašanje stambenih i industrijskih građevina u blizini rasjeda, posebne pojave tlu, te interakciju tla i građevine koja se pokazuje sve važnijom. Pritom je značajno da su magnitude potresa u Turskoj i Tajvanu bile 7.2-7.6, a magnituda 7.5 je uobičajena projektna veličina.

Drugi veliki turski potres, zvan Düzce, koji se s magnitudom 7,2 dogodio 12. studenog – na istom rasjedu kao i medijski najviše pokriven potres 17. kolovoza s magnitudom 7,4 – naročito je značajan za razumijevanje ponašanja prethodno oštećenih konstrukcija. U potresu 17. kolovoza u gradu Düzce bilo je svega oko 15% oštećenih objekata, ali ih je zato više od 50% oštećeno u potresu 12. studenog.

Odmah poslije potresa više stručnih ekipa izašlo je na teren da bi se pomoglo u ocjeni opasnosti za daljnju uporabu oštećenih građevina, te prikupilo podatke o posljedicama potresa, radi učenja na tuđim iskustvima i izbjegavanja ponavljanja istih grešaka. Zato, unatoč nenadoknadivim posljedicama, zbog goleme količine podataka ovi potresi daju mogućnosti za bitno unapređivanje struke, mogućnosti koje neizostavno treba iskoristiti. Posljedice ovih potresa potvrđuju važnost niza još nedovoljno istraženih problema potresnog inženjerstva, kao što su interakcija temeljnog tla i građevine, amplifikacija djelovanja potresa koju unose meki sedimenti, utjecaji promjene debljine mekog sedimenta (efekt bazena), utjecaji oblika rasjeda.

U prikazu potresa korišteni su podaci prikupljeni na licu mjesta u Turskoj nakon potresa, te publicirani podaci mnogih ekipa koje su analizirale efekte ovih potresa.

Tragično veliki broj poginulih i ozlijeđenih, te događaji koji su uslijedili, podižu mnoga dodatna pitanja o organizaciji aktivnosti društva trenutno nakon potresa, kao i o ekonomskim, socijalnim i fizičkim aspektima oporavka.

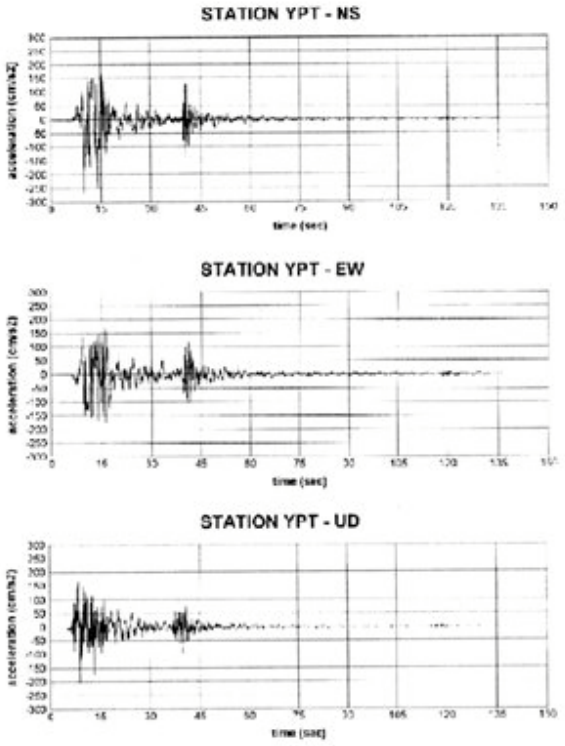
2 Potresi 17. kolovoza i 12. studenog 1999. u Turskoj

2.1 Opći podaci

Iako je Turska zemlja u kojoj su potresi česti, jaki i očekivani, 17. kolovoza 1999. dogodio se potres magnitude 7.4 koji je iznenadio i građanstvo i građevinare, i u Turskoj i u cijelome svijetu. Život je izgubilo sedamnaest tisuća ljudi, ozlijeđeno je pedeset tisuća, uništeno je mnogo objekata, srušeno je više od 60 000 stambenih zgrada i gotovo toliko oštećeno, a vrijednost materijalnih gubitaka i posljedica za život i rad u cijeloj je regiji golema. Na istom je području zabilježeno oko tisuću naknadnih potresa magnitude iznad 2.5, te potom Düzce potres 12. studenog magnitude čak 7.2.

Kod mjesta Gölçük, u neposrednoj blizini grada Kocaeli, što je 11 km jugozapadno od Anadolijske luke İzmit ili 80-ak km jugoistočno od Istanbula, dogodio se 17. kolovoza 1999. godine potres magnitude 7,4. Dubina hipocentra bila je 15 km.

Najveća zabilježena vrijednost maksimalne akceleracije je 0,4 g kraj grada Adapazari (Sakarya) - što odgovara turskim propisima za pogođeno područje. Međutim, trajanje potresa je bilo posebno dugo kako pokazuje zapis akceleracije u blizini rasjeda (stanica Yarimca) na slici 1. Zapisi sugeriraju da se radi o dva uzastopna potresa: jednom trajanja oko 35 sekunda, i drugom 25, postižući sličnu veličinu maksimalne akceleracije.

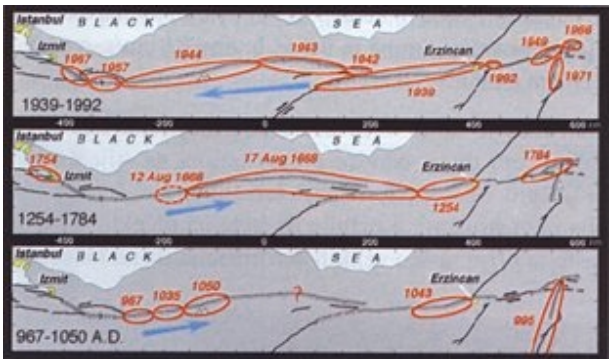


Slika 1. Akcelerogrami u gradu Yarimca
http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/s1.jpg

Pri potresu se na površini otvorio vidljiv desni rasjed duljine više od 100 km od mjesta Gölçük do mjesta Düzce, s pomacima do 4,5 m uzduž rasjeda, te do 0,3 m vertikalno. Rasjed pripada sjevernoanadolijskoj rasjednoj zoni nastavljajući se na oko 1000 km rasjeda aktivnog već više od tisuću godina, ali s razdobljima mira dugim više stotina godina. Na slici 2. prikazan je kronološki razvoj toga rasjeda.

U području Düzce-Bolu u Turskoj, 12. studenog 1999. dogodio se novi potres magnitude 7.2 po Richteru. Epicentar potresa je bio blizu mjesta Düzce, 70 km istočno od mjesta Adapazari i 170 km sjeverozapadno od Ankare, na istočnom kraju istog rasjeda. Poginulo je 755 ljudi a 4948 je povrijeđeno. Srušeno je 1300 objekata, a 7000 je teško oštećeno.

Otvaranje rasjeda na površini uzrokovalo je prekid željezničkih pruga (slika 3.), cesta, a također i vodovodnih i drugih instalacija u tlu.



Slika 2. Razvoj sjevernoanadolijskog rasjeda
http://quake.wr.usgs.gov/study/turkey/images/historic.jpeg



Slika 3. Željeznička pruga prekinuta rasjedom otvorenim u potresu Kocaeli

http://www.itu.edu.tr/deprem/rapor/deprem.html

Mostovi i prometnice u području potresa građeni su prema američkim AASHTO propisima i imali su dobru kontrolu pri projektiranju i izvedbi. Srušila su se samo dva mosta u neposrednoj blizini rasjeda.

Dogodio se niz klizišta u plitkim površinskim naslagama uzduž rijeke Sakarya, duž obale jezera Sapanca, te kod grada Değirmedere kraj Jalove, u kojima je posebnu pažnju izazvao peterokatni hotel koji je skliznuo u more. Poplavu kraj grada Gölçük uzrokovalo je pomicanje terena i spuštanje površine terena do 2 m – vjerojatno izazvano likvefakcijom.

2.2 Temeljno tlo

Najveće su se štete dogodile na područjima s najmlađim, holocenskim, sedimentima. Stotine zgrada utonulo je (i do 1,5 m), prevrnulo se ili doživjelo drugačije štete, najviše u gradu Adapazari (Sakarya) te u gradovima Gölçük i Sapanca.

Grad Adapazari (Sakarya), još je pred 150 godina bio na riječnom otoku (*ada*) smješten trgovački grad (*pazar*), a pred 50-ak godina bio je okružen močvarom u području koje sada čine meki sedimenti. Razina podzemne vode

je na samo 1 do 2 m dubine. Najveća zabilježena akceleracija na površini terena je 0,4 g, brzina 81 cm/s, a pomak 220 cm (stanica Sakarya).

Utvrđena je bitno veća oštećenost objekata temeljenih na mekom tlu, u odnosu prema onima na stijeni. Štete uključuju velike deformacije temeljnog tla, štete na nosivoj konstrukciji, a ozbiljnost šteta na objektu općenito raste sa prisutnošću velikih deformacija tla na lokaciji.



Slika 4. Utonuće zgrade zbog gubitka nosivosti tla

Uzdizanje pločnika ili površine terena oko mnogih temelja (slika 4.) može se objasniti gubitkom nosivosti tla, tj. slomom tla pod temeljem. Mnogi slučajevi tonjenja, naginjanja i pomicanja zgrada (slika 5.) povezani su s *ključanjem* tla (*sand boiling*) – to je istjecanje omekšanog tla i vode na površinu terena, translacijom tla (*lateral spreading*), te su očito posljedica likvefakcije temeljnog tla. Likvefirano je tlo uglavnom prašinasti pijesak sa 5 do 40 % sitnih čestica. Ove su zgrade uglavnom temeljene plitko – dubine oko 1 m. Neke od ovih pojava upozoravaju na važnost promjena svojstava tla tijekom potresa, posebno pod utjecajem opterećenja od objekata. Na mnogim građevinama bez vidljivih promjena u temeljnom tlu ustanovljeno je da su konstrukcijska oštećenja posljedica amplifikacije djelovanja potresa kroz meko temeljno tlo koja nije bila uzeta u obzir.



Slika 5. Naginjanje zgrade zbog likvefakcije tla pod temeljnom pločom

2.3 Oštećenja zgrada

Većina oštećenja dogodila se na objektima sa 4 do 8 katova (prema turskim propisima na ovim područjima dozvoljeno je maksimalno 4 kata), dok su zidane i drvene kuće s jednim do dva kata, te niže armiranobetonske zgrade, uglavnom prošle bez oštećenja.

Armiranobetonske zgrade se u Turskoj uglavnom grade kao armiranobetonski okviri s nearmiranom ispunom od opeke, iako se u novijim objektima susreću i mješoviti sustavi (okvir + zid). Tipične su zgrade simetričnoga, regularnog tlocrta sa stupovima i gredama, s vanjskim i nutarnjim pregradnim zidovima izvedenim od šuplje cigle. Pregradni zidovi značajno pridonose horizontalnoj krutosti zgrada tijekom potresa. Oni zadržavaju odgovor na seizmičko opterećenje u elastičnom području – u slučaju niskih zgrada, starijih zgrada kod kojih je udio tlocrtne površine zida velik, te zgrada na krutoj podlozi. Kada popusti pregradni zid, do izražaja dolaze mogućnosti okvira, tj. armirano-betonskih stupova, greda i čvorova da preuzmu potresno opterećenje.

Najveći dio nastalih oštećenja pripisuje se lošem ponašanju armiranobetonskih okvira, a najčešća oštećenja bila su u obliku "katnog" mehanizma (meki katovi) i mehanizma s mekim stupovima i jakim gredama.

Niti jedna zgrada izvedena kao kanatna konstrukcija od drvenih okvira s ispunom od cigle, unatoč velikoj starosti, nije stradala čak i ako se nalazila u neposrednoj blizini rasjeda.

Zgrade zidane šupljom ciglom doživjele su mnoga oštećenja, a one od pune cigle, niže od 4 kata, ponašale su se vrlo dobro, čak i u likvefakcijom pogođenim područjima.

2.4 Nepravilni nosivi sustav

Posljednji su potresi u Turskoj iznova potvrdili da konstrukcije u seizmičkim područjima trebaju biti pravilnoga nosivog sustava i u tlocrtu i po visini objekta. Obilazak područja pogođenih potresom i analiza uzroka oštećenja pokazali su da se nepravilni nosivi sustav ispravno projektiran za potresna djelovanja pri potresu ne ponaša bolje od pravilne konstrukcije grubo projektirane. Dapače, jednostavnija konstrukcija je sigurnija za djelovanje potresa. Nedostatak simetrije u tlocrtu i po visini, a naročito u sustavu za prijenos opterećenja, općenito se smatra najčešćim razlogom katastrofalnih šteta i gubitaka ljudskih života.

Zgrade s velikim otvorima u tlocrtu loše su podnijele potres zbog nedostatka djelovanja krute dijafragme (ploče).

Kod takvih konstrukcija nekonstruktivni su elementi bili potpuno oštećeni.

Na mnogim objektima susreću se stupovi s konzolama koji nisu povezani gredama u dva okomita smjera. Takvi slučajevi arhitektonskih nepravilnosti najčešće su rezultirali velikim oštećenjima ili rušenjem zbog velikih pomaka i preopterećenih konstruktivnih elemenata.

2.5 Slaba raspodjela nosivosti i loše izvedeni detalji

Većinu okvirnih nosivih sustava čine relativno jake grede i slabi stupovi, tako da do plastificiranja zglobova dolazi u stupovima, pretvarajući nosivi sustav u katni mehanizam i izazivajući rušenje u kojem se stropne konstrukcije slažu jedna na drugu. U takvim slučajevima, stupovi na kutovima objekta su pretrpjeli velika oštećenja. Gornja i donja uzdužna armatura je u području čvorova okvira bila izložena velikim zatežućim silama zbog izmjeničnih potresnih momenata. Nosivost čvorova je poradi nedostatka vilica najčešće bila premalena da preuzme nastale sile te je dolazilo do drobljenja betona, izvijanja i tečenja uzdužne armature. Ostali nepovoljni detalji su: nedovoljna dužina sidrenja armature, nedovoljni preklopi armature, izvedba vilica bez sidrenja slobodnih krajeva, djelomična ispuna okvira te najčešće kombinacija nabrojenih nedostataka. Na slici 6. pokazana su oštećenja jedne loše zamišljene i loše izvedene okvirne konstrukcije.



Slika 6. Oštećenja loše projektirane i loše izvedene okvirne konstrukcije

2.6 Kratki stupovi

Kratki stupovi su u okvirima izloženi velikim poprečnim silama tijekom dinamičke pobude potresa. Postojanje ili formiranje kratkih stupova za potresa (djelovanjem ispune koja nije dovoljno odvojena od stupa), pokazuje se, najčešće rezultira neminovnim posmičnim pukotinama i smanjenjem nosivosti elementa i konstrukcije (slika 7.). Stoga se njihova pojava nastoji izbjeći kod objekata u seizmičkim područjima. Na mnogim oštećenim objektima primijećeno je da su imali kratke stupove iz arhitektonskih razloga.



Slika 7. Oštećenje kratkih stupova
http:www.eeri.org/Reconn/Greece1099/Greece1099-3.html

2.7 Meki katovi i meko prizemlje

U središtu potresom pogođenih gradova, posebno u trgovačkim ulicama, veliki broj zgrada srušio se prema ulici, zbog popuštanja stupova prizemlja s ulične strane. Kao i u mnogim hrvatskim gradovima, ulična strana prizemlja pretvorena je u izlog, dok je s unutarnje strane zgrade, kao i na višim katovima, zadržano teško ziđe. Efekt je najčešće bio pojačan i rasporedom pregradnih zidova u smjeru okomito na ulicu. Time je uvedena nesimetrija u raspodjeli krutosti po tlocrtu i visini objekta. Relativni katni pomaci bili su preveliki (P-Δ efekt) i to je najčešće rezultiralo rušenjem konstrukcije. Pojava mekih katova je bila naročito naglašena kod objekata sa višim prizemljem. Nedostatak armiranobetonskih posmičnih zidova ubrzao je konstruktive i nekonstruktivne štete nastajanjem plastičnih zglobova na krajevima stupova. Primjer rušenja zbog drobljenja mekog prizemlja prikazuje slika 8.



Slika 8. Oštećenje zgrade zbog mekog prizemlja
http://www.its.caltech.edu/~ayhan/EQ/Golcuk.html



Slika 9. Primjer rušenja kuće s mekim katovima
http://www.its.caltech.edu/~ayhan/EQ/Golcuk.html

Iako se meko prizemlje ponekad izvodilo namjerno, zato da bi se energija unesena potresom potrošila u gibanju objekta, jednom kad je granično opterećenje dosegnuto, dolazi do plastificiranja zglobova u stupovima, nosivi se sustav pretvara u mehanizam i objekt se ruši. Posebno tome pridonose nesimetrije u tlocrtu, tj. udaljenost središta krutosti od središta masa koje pojačavaju torzijsko djelovanje potresnih opterećenja i povećavaju opterećenje na mekše elemente. Pojavu popuštanja vertikalnih elemenata svih katova dobro ilustrira slika 9.

2.8 Sudaranje susjednih građevina

Sudaranje susjednih građevina događa se tijekom potresa ako seizmička razdjelnica nije dovoljno široka ili čak uopće nije izvedena. Nepovoljniji slučaj nastaje kada visine katova susjednih objekata nisu jednake, što rezultira u sudaranju po visini stupa. Iako turski propisi reguliraju širinu razdjelnice na 3-5 cm, u stvarnosti to najčešće nije primijenjeno. Primijećeno je dosta oštećenja uzrokovanih ovim efektom (slika 10.).



Slika 10. Oštećenje zgrade s nedovoljno širokom potresnom razdjelnicom

2.9 Čelične konstrukcije

Čelik se, zbog skupoće, u Turskoj rabi prilično rijetko, uglavnom u industriji. Samo su neke čelične konstrukcije stradale u potresu, najčešće zbog popuštanja pričvršćenja na temelj, prevrtanja, izvijanja ili popuštanja spregova. Čelični tankostijeni rezervoari za naftu – u rafineriji Tüpraş – stradali su u požaru poradi iskrenja izazvanog udaranjem plutajućeg krova rezervoara.

3 Potres 7. rujna 1999. u Grčkoj

3.1 Opći podaci o potresu

Potres magnitude 5.8 po Richteru dogodio se 7. rujna 1999. oko 20 km od samog središta Atene. Dubina epicentra bila je 10 km. Slijedile su stotine sekundarnih potresa magnitude do 4,7.

Magnituda potresa iznenadila je građanstvo unatoč povremenoj seizmičkoj aktivnosti u cijeloj zemlji. Život je izgubilo otprilike 140 ljudi. Spasilačke ekipe izvukle su 85 ljudi iz ruševina. Područje najvećih šteta leži na udaljenosti do 12 km od epicentra. Oko 10% od milijun stanovnika ovog područja ostalo je bez doma.

Zapisi potresa napravljeni su na 14 mjesta s epicentralnim udaljenostima od 10 do 20 km. Najveća horizontalna akceleracija zabilježena je uglavnom između 0,04 i 0,35 g, jedan je zapis 0,53 g – na mjestu vjerojatno složene interakcije tla i susjedne konstrukcije, ali opažanja pojava upućuju da su se na više mjesta mogle ostvariti akceleracije vrijednosti iznad 0,5 g. Novi propisi pridružuju Ateni 0,16 g.

3.2 Utjecaj podloge

Pokazuje se da lokalna topografija i temeljna podloga – na primjer prisutnost umjetnog nasipa, te loše temeljenje ili smještanje teških strojeva na gornje katove, uvelike utječu na ostvarena opterećenja i ponašanje objekata te na štete. Na ovom području, podlogu od vapnenca i dolomita pokrivaju mladi sedimenti koje čine meke gline i zaglinjeni pijesci do debljine rijetko veće od 5 m.

3.3 Armiranobetonske okvirne konstrukcije

Najviše oštećene konstrukcije građene su po starim seizmičkim propisima, koji određuju bitno niža seizmička opterećenja nego su se dogodila tijekom potresa i nego to traže novi propisi, a naročito EC8. Ukupno ponašanje armiranobetonskih konstrukcija bilo je zadovoljavajuće. Većina armiranobetonskih konstrukcija u široj okolici Atene pretrpjela je samo manja oštećenja jer su imale dostatne rezerve nosivosti zbog prisutnosti ispuna, većoj količini ugrađene armature, statičkoj neodređenosti.

Najčešća oštećenja armiranobetonskih konstrukcija mogu se svesti na sljedeće:

- oštećenja spojeva grede i stupa zbog loše kvalitete betona i nedovoljne armature, pogotovo vilica. Vilice su često izostavljane, naročito u siromašnijim područji-

ma gdje su mnoge zgrade građene bez dozvola i najčešće bez statičkog računa.

- oštećenja stupova zbog efekta kratkog stupa (slika 7.), u mnogim industrijskim objektima gdje su zidovi podignuti između vanjskih stupova, došlo je do ukrućenja vanjskih stupova, smanjenja njihove efektivne dužine i u konačnici do loma uslijed smičućih sila na koje nisu bili dimenzionirani. Takovi stupovi nisu više mogli nositi vertikalno opterećenje i dolazilo je do slijeganja viših katova.
- oštećenja zgrada s mekim prizemljem koje su veoma česte u Grčkoj.

3.4 Zidane zgrade

Stradale su mnoge zidane zgrade građene u prvoj polovini stoljeća, i to zgrade od nabijene zemlje i zgrade zidane neobrađenim kamenom. Česta su rušenja vanjskih zidova, uglova zgrada (slika 11.), odvajanja zidova na uglovima zgrada te otvaranje pukotina u zidovima. Zidane zgrade od cigle sa serklažima i betonskim krovnim pločama, sagrađene u novije vrijeme, ponašale su se dobro. Izuzetak čine zidane zgrade kojima su nadograđeni jedan ili dva kata na neovisnom armiranobetonskim okviru. Iako je armiranobetonska konstrukcija statički neovisna od zidane konstrukcije, ploča iznad kata je obično bila oslonjena na zidove zidane zgrade. Oštećenja su se dogodila na zidanoj konstrukciji dok je armiranobetonska konstrukcija bila neoštećena.



Slika 11. Rušenje kuta zidane zgrade bez horizontalnih ukruta
http://www.eeri.org/Reconn/Greece1099/Greece1099-3.html

3.5 Povijesne građevine

Povijesne građevine u Ateni najčešće su građene od obrađenih mramornih blokova bez uporabe morta. Tijekom potresa oni se mogu sklizati ili zakretati, što je često popraćeno pomacima na vrhu objekta. Njihovo ponašanje je bilo izuzetno dobro i svi su povijesni spomenici prošli potres s malim ili nikakvim oštećenjima. Stariji spomenici, čije je stanje bilo loše i prije potresa, doživjeli su velika oštećenja uz otvaranje velikih pukotina u ziđu i kolaps nekih konstruktivnih elemenata.

3.6 Mostovi i prometnice

Oštećenja na mostovima bila su koncentrirana na mjestima spoja nosive konstrukcije i upornjaka zbog velikih pomaka konstrukcije. Oštećenja na prometnicama bila su koncentrirana na onima u blizini epicentra i najčešće su se manifestirala kao slijeganje nasipa ili odroni.

4 Zaključak

Potresi iz 1999. godine pokazali su da je potresno inženjerstvo na dobrom putu. Mnoga znanja stečena posljednjih godina, prenesena u pravilnike i sugestije, osiguravaju dobro ponašanje građevinskog objekta u potresu ako se dobro sprovode i pravilno primjenjuju.

U potresu su se dobro ponašale građevine jednostavnih i čistih nosivih sustava, uravnotežene raspodjele krutosti i masa, dovoljno jakih stupova, pažljivo izvedenih detalja armiranja s dovoljno poprečne armature, ograničenog sudjelovanja nekonstruktivnih elemenata u prijenosu opterećenja, na dobrom temeljnom tlu.

U ovim potresima prikupljene informacije i stečena iskustva dovest će do daljeg poboljšanja inženjerskih kriterija te sigurnije i ekonomičnije gradnje. Posebno je uočena potreba rada na sljedećim područjima:

- razvoj jednostavnih konstruktivnih pravila koja bi trebala osigurati izdržljivost sustava, regularnost gradnje i važnost detalja
- razumijevanje ponašanja okvira s ispunom, naročito efekata krutosti, vršne nosivosti, degradacije nosivosti i efektivnog prigušenja
- razumijevanje kompleksnih pitanja interakcije tla i konstrukcije - slijeganje i naginjanje objekata zbog likvefakcije i gubitka nosivosti tla, odgovor širokih

aluvijalnih udolina (efekt bazena) i lokalni odgovor mekog tla, ponašanje tla pri dužem unošenju poremećaja - kakva su rezultirala u oštećenjima i rušenjima konstrukcija, i pokazuje se, moraju se bolje istražiti.

Iznenađenje koje su izazvali ovi potresi upozorava da nikad nije dovoljno isticanja opasnosti od zanemarivanja potresnih djelovanja. Također, serija jakih potresa u prošloj i ovoj godini pokazuje da relativni seizmički mir u nekom području ne pruža jamstvo da se veći potres neće dogoditi. Današnje razumijevanje mehanizma događanja potresa implicira periodično podizanje seizmičke aktivnosti nekog područja, a treba dodati i mogućnost nepravilnosti toliko koliko su nepravilni geološki uvjeti u okolini. Seizmičnost pripisana nekom području, kao i nekom rasjedu, statistički je podatak koji odgovara vremenskom intervalu u kojem postoje pouzdani podaci o događenim potresima. Pouzdanost procjena pada sa skraćivanjem intervala bilježenja zbog periodičnosti pojava potresa.

Iskustva stečena u potresima iz 1999. godine značajna su za potresno inženjerstvo i za konstrukcije i uvjete u Hrvatskoj, gdje su potresi dovoljno rijetki da se na njih često zaboravlja, a dovoljno jaki da primjena spoznaja potresnog inženjerstva bude značajna – to se odnosi i na projektiranje i na kontrolu materijala i izvedbe.

Na slici 12. prikazane su dramatične posljedice lošega građenja zgrade koja se nalazi neposredno uz objekte koji su u potresu ostali gotovo neoštećeni.

Također valja istaknuti da je unatoč pažnji koju danas dajemo projektiranju, kontroli materijala i izvedbe, velik dio objekata, naročito u većim gradovima, izgrađen ili je pregrađivan prije nego što su usvojena današnja saznanja potresnog inženjerstva, pa bi se i u našoj zemlji mogle očekivati posljedice potresa slične onima 1999 u Turskoj.

Da bismo učili na tuđim pogreškama i izbjegli neugodna iskustva kao što su ova iz potresa 1999. godine, nužno bi bilo prije potresa detektirati i zatim pojačati potencijalno opasne objekte. Zato bi trebalo napraviti pregled



Slika 12. Oštećenja loše izvedene zgrade u bloku sa dobro izvedenim zgradama

objekata u seizmičkim područjima i identificirati opasne, a naročito one u kojima živi ili boravi puno ljudi. Objekti se mogu obraditi nekim od postupaka razvijenih za brzu procjenu stanja konstrukcija, a zatim – oni najugroženiji – nekim preciznijim postupkom za procjenu očekivanog ponašanja u slučaju potresa, uz uvažavanje svojstava lokalnog tla i seizmičnosti lokacije. Time bismo dobili pregled objekata koje bi trebalo pojačati da bi se podigla njihova stabilnost pri djelovanju potresa, čime bi društvo moglo izbjeći znatni gubitak ljudi i materijalnih sredstava.

Zahvala

Prof. dr. sc. V. Sigmund zahvaljuje se na potpori Ministarstva znanosti i tehnologije da u okviru projekta 149160 te JICA (Japan International Cooperation Agency) posjeti predjele pogođene potresom u Turskoj i sudjelovanju na III. *Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering* u Istanbulu u veljači 2000., koji je imao specijalnu tematsku sjednicu posvećenu iskustvima i spoznajama o potresu 1999. godine u Turskoj.

IZVORI

[1] Earthquake Engineering Research Institute for the National Science Foundation: *Research needs emerging from recent earthquakes,* Proc. of the meeting organized by the EERI for the NSSF held at the San Francisco Sheraton Gateway October 25 and 26, 1999.

[2] Aydan, Ö.; Ulusay, R; Hasgür, Z.; Taskin, B.: *A site investigation of Kocaeli earthquake of August 17, 1999.*, Turkish Earthquake Foundation, 2000.

[3] Earthquake Engineering Committee, Japan Society of Civil Engineers: *The 1999 Kocaeli earthquake, Turkey – Investigation into Damage to Civil Engineering Structures*, Earthquake Engineering Investigation Series 5, Dec. 1999.

[4] Earthquake Engineering Research Institute for the National Science Foundation, 1999., http://www.eeri.org/Reconn/Greece1099/Greece1099.html

[5] EERI, *The Izmit (Kocaeli), Turkey Earthquake of August 17, 1999.,* http://www.eeri.org/Reconn/Turkey0899/Turkey0899.html

[6] Fischinger, M.; Fajfar, P.; Žarnic, R.: *Posledice potresa 17.8.1999. v Turčiji,* Gradbeni vestnik, 49, 11-12, 1999., 254.-265.

[7] *Izvještaj o Kocaeli potresu 17.08.1999.* Istanbulsko tehničko sveučilište, http://www.itu.edu.tr/deprem/rapor/deprem.html

[8] Japan-Turkey Workshop, 21.-25. February 2000., Istanbul

[9] Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, The Marmara, Turkey Earthquake of August 17, 1999.: Reconnaissance Report, Scawthorn,C. Ed., Technical Report MCEER-00-0001

[10] National Earthquake Information Center, 1999., http://neic.usgs.gov/neis/bulletin/99_EVENTS/990817000138/T990817000138.html

[11] National Earthquake Information Center, 1999., http://neic.usgs.gov/neis/bulletin/99_EVENTS/991112165720/991112165720.HTML

[12] National Earthquake Information Center, 1999., http://quake.wr.usgs.gov/study/turkey/images/historic.jpeg

[13] National Earthquake Information Center, 1999, http://neic.usgs.gov/neis/bulletin/99_EVENTS/990907115650/990907115650.HTML