

# POSLEDICE POTRESA V TURČIJI NA GRADBENIH OBJEKTIH

## The Effects of the Turkey Earthquake on Civil Engineering Structures

Matej Fischinger\* UDK 699.841:550.34(560)

### Povzetek

*V okolici Izmeta v Turčiji, ki ga je 17. 8. 1999 prizadel potres, so močni potresi pogosti in pričakovani, zato je veliko žrtev in ogromna škoda v deželi z razvitim potresnim inženirstvom razočaranje. Vendar je imela ponekod zakonodaja kaj malo vpliva na gradbeno prakso. Tako smo lahko ugotovili mnoge znane vzroke porušitev, kot so mehka etaža, neduktilni detajli, šibka stremena, slabo sidranje in utekočinjenje tal. Na novo smo se največ naučili iz porušitev številnih neduktilnih armiranobetonskih okvirov, zapolnjenih z opečnimi votlaki.*

### Abstract

*Strong earthquakes are frequent and expected in the vicinity of Izmet, which was struck by a devastating earthquake on 17 August 1999. The numerous victims and extensive damage came as a surprise in a country with developed earthquake engineering. However, the codification of earthquake-resistant design apparently had little influence on construction practices. The well known causes of structure failure, such as soft stories, non-ductile details, weak stirrups, insufficient anchorage and liquefaction, were identified. New knowledge has been obtained from the analysis of numerous collapses of non-ductile reinforced concrete frames with hollow clay tile infills.*

## Uvod

Izkušnje z obnašanjem konstrukcij med močnimi potresi so pomemben vir znanja v potresnem inženirstvu. Po pogostih takšnih izkušnjah v zadnjih letih pa se nam je začelo dozdevati, da smo že vse videli in da nam je vse jasno. Površen opazovalec bi po nedavnem potresu 17. avgusta 1999 v okolici Izmita v zahodni Turčiji morda res hitro in enostavno ugotovil, da nas ni naučil nič posebno novega. Zlo mehkih etaž, utekočinjenja tal, kratkih stebrov, prešibkih stremen in neduktilnih detajlov nasploh je že dalj časa znano in večkrat videno. Če k temu dodamo še očitno nespoštovanje predpisov, se res zdi, da je vse »jasno«. Takšna površna ocena nosi tudi nevaren podton, da takih problemov pri nas v glavnem ni.

Pa ni tako. Eden najmočnejših potresov, ki so kdajkoli prizadeli močno urbanizirana in industrializirana območja, je prinesel nekaj pomembnih spoznanj, ki, če že niso povsem nova, vsekakor še nikdar niso bila izražena v tako velikem obsegu. Žal lahko ugotovimo tudi, da Turčija le ni tako daleč, da bi lahko bila ta sporočila za nas nepomembna. Zato bomo najpomembnejšim v nadaljevanju posvetili nekaj več pozornosti. Nekatere dodatne podrobnosti so zapisane v članku Fischingerja in sodelavcev (1999).

## Potres in prizadeto območje

Podrobnemu geološkemu in seizmološkemu opisu potresa je posvečen poseben članek v tej številki Ujme. Tu se zato omejimo le na nekaj značilnosti, ki so neposredno pomembne za obnašanje gradbenih objektov.

Potres je prizadel gosto naseljeno in razmeroma razvito območje zahodne Turčije. Nastal je vzdolž znane severne anatolske prelomnice (EERI, 1999), ki na veliki dolžini 1300 km povzroča številne močne potrese. Na območju s tako veliko verjetnostjo nastanka močnega potresa preseneča pasivnost ljudi, brezvestnost graditeljev in neodgovoren odnos oblasti do potresne nevarnosti. Še nikjer doslej nismo opazili tako očitne razlike med razvitostjo potresnega inženirstva in katastrofo na terenu (slika 1). To je ponoven in nedvoumen dokaz sicer očitnega, vendar pogosto nera-

zumljenega dejstva, da predpis sam po sebi ne zadošča, če ga ne spremlja ustrezno izobraževanje praktikov in predvsem učinkovit nadzor. Objektivno gledano, se zdi ta naloga še težja v slovenskem prostoru, kjer so potresi šibkejši in zlasti bolj redki.



Slika 1. Katastrofalna porušitev stavbe (foto: M. Fischinger)  
Figure 1. Catastrophic collapse of a building (photo: M. Fischinger)

Pomemben problem, ki do sedaj še nikdar ni bil tako očiten, je urbanizacija območja v bližini velikega aktivnega preloma. Čeprav so nekatere stavbe obstale tik nad prelomom, se jih je mnogo katastrofalno porušilo.

Ponovno se je pokazalo, da maksimalni pospešek tal ni najboljši kazalec moči potresa. Glede na veliko magnitudo so bili namreč registrirani pospeški (do 0,4 g) majhni in pretežno pod projektnimi vrednostmi iz predpisov. Očitno je trajanje potresa z veliko energijo in velikimi hitrostmi temeljnih tal odločilno vplivalo na obseg poškodb. Spektri potresa kažejo, da so bile zlasti prizadete stavbe z nihajno dobo okoli 1 sekunde. V to območje so po začetnih poškodbah (zlasti polnili) prešli značilni 4- do 6- etažni armiranobetonski okviri (slika 2) s temelji v slabih tleh. Potres je bil nato dovolj dolg, da jih je v resonančnem območju dokončno porušil. Podobno, s frekvenčnim sestavom in razmeroma majhnim pospeškom potresa, lahko razložimo dejstvo, da so bile preproste zidane stavbe razmeroma malo poškodovane.



Slika 2. Značilni 6-etažni (2 spodnji etaži sta porušeni) armiranobetonski okvir s polnili (foto: M. Fisching)  
Figure 2. Typical 6-storey (note that the 2 lower stories have collapsed), reinforced concrete frame with infills (photo: M. Fisching)

## Geomehanski problemi

Stavbe na vzpetinah so bile občutno manj poškodovane kot tiste na aluvialnih ravninah in na obalah zaliva in jezera. Očitno je bila silovitost gibanja tal na čvrstih tleh bistveno manjša, svoje pa je gotovo prispevala tudi drugačna nihajna doba starejših stavb na gričih.

Zlasti nepredvidni so bili v Turčiji pri pozidavi na očitno dinamično nestabilnih tleh. Obseg rušenj zaradi utekočinjenja tal v Adipazaru (slika 3) in zdrsa poseljene obale v Degimenderu je skoraj brez primere v zgodovini potresnega inženirstva.



Slika 3. Porušitev zaradi utekočinjenja tal (foto: P. Fajfar)  
Figure 3. Collapse due to liquefaction (photo: P. Fajfar)

## Mehka etaža

Tudi v Turčiji, podobno kot povsod drugod po svetu, je bila mehka etaža vzrok najhujših porušitev (slika 4). Mehkejša etaža sama po sebi ni nujno katastrofalna, gotovo pa je v kombinaciji z neduktilnim okvirom. Zdi se, da so bili glavni problemi z okviri v Turčiji predvsem štirje:

- podolgovata oblika prečnega prereza stebrov zaradi prilagoditve funkcionalnim (izložbe trgovin) in arhitekturnim zahtevam, kar je pogosto povzročilo porušitve v šibki smeri;
- šibka in slabo sidrana stremena v stebrih;
- slabo izvedena sidranja in preklopi gladke armature in, kar je bilo še zlasti očitno,
- slaba izvedba vozlišč.



Slika 4. Mehko pritličje s šibkimi stebri v prečni smeri (foto: M. Fisching)  
Figure 4. Soft first story with weak columns in the transverse direction (photo: M. Fisching)

## Vpliv potresa na armiranobetonske okvire s polnili

Prevladujoč konstrukcijski tip v Turčiji je okvir s polnili. Polnila, ki so jih imele porušene in poškodovane zgradbe, so bila največkrat precej šibka in sezidana iz opečnih votlakov, položenih tako, da so odprtine potekale vodoravno (glej izpadlo polnilo na sliki 5). Način življenja (trgovine v pritličjih) pogosto zahteva, da so polnila v pritličju v glavnem izpuščena. Arhitektura zahteva tudi, da so stebri okvira vkomponirani v stene, zato so izrazito podolgovatega prereza (najpogosteje 25/60 cm). Pri hišah v vrstah so fasadni stebri vedno postavljeni z ozko stranico proti ulici. Rušitev številnih zgradb tega tipa je zahtevala večino žrtev potresa. Vzroki rušenj so razčlenjeni v nadaljevanju.



Slika 5. Izpad polnil iz okvira (foto: M. Fisching)  
Figure 5. Infills have fallen out of the frame (photo: M. Fisching)



Najprej moramo vedeti, da okvir s polnili ni zidana stavba z vezmi! Pri slednji so vezi, ki imajo samo povezovalno funkcijo, vgrajene v že postavljeno nosilno zidovje. Pri okvirih s polnili pa je polnilo postavljeno v že izdelan samonosilni okvir. Med delovanjem potresa se polnilo aktivira kot razpora med stebri okvira. Pri tem pride do medsebojnega vpliva (interakcije) dveh različnih konstrukcijskih elementov - armiranobetonskega okvira in polnila. Pri dovolj močnih vodoravnih obtežbah odpove šibkejši element.

V Turčiji smo zelo redko videli, da bi bilo polnilo vzrok porušitve elementov okvira. Zdi se, da so večinoma šibka polnila izpadla ali se zdrobila takoj na začetku potresa. Okviri so polnila najpogosteje izgubljali v prvih dveh etažah (slika 5). Tako so se tudi stavbe, ki so imele v začetku po višini dokaj regularno zasnovano, nepričakovano začele obnašati kot konstrukcije z mehkejšim pritličjem. Po zgodnjem izpadu polnil neduktilni okviri s šibkimi stremeni niso zdržali dolgotrajne obtežbe.

## Neustrezni preklopi in sidranja armature

V turških okvirih je praviloma uporabljena gladka armatura, kar že samo po sebi oteži izvedbo sidranj in preklapov. Preklopi vzdolžne armature stebrov so izvedeni tik nad etažno ploščo, torej na mestu največjih obremenitev. Armatura spodnje etaže se konča ravno, zgornja armatura pa se nadaljuje s šibko kljuko. Preklop praktično ni objet s stremeni. Vse te napake so še zlasti značilne za izvedbo vozlišč (slika 6). Predvsem je bilo očitno, da praktično nobeno vozlišče ni bilo zavarovano s stremeni. Sidranja armature gred so bila izvedena zunaj jedra stebra. Glede na uporabo gladke armature so bila sidra prekratka, še posebej pri sidranju v šibki smeri stebrov.



Slika 6. Neustrezna armatura vogalnega vozlišča (foto: M. Fischinger)

Figure 6. Inappropriate reinforcement of a corner joint (photo: M. Fischinger)

## Industrijske hale

Drugi konstrukcijski sistemi so v tem prostoru redkeje uporabljani, tako da je posploševanje ugotovitev težko. Nedvomno pa smo videli kar nekaj porušenih industrijskih hal s sumljivimi detajli (slika 7).



Slika 7. Stiki strešnih nosilcev in stebrov montažne hale na robu porušitve (foto: M. Fischinger)

Figure 7. Roof girder and column joints in a prefabricated industrial building are close to collapse (photo: M. Fischinger)

## Sklepne misli

V sklepu še enkrat poudarimo, da mnogi »turški« problemi, kot so na primer dinamična nestabilnost tal, neduktilni detajli, neupoštevanje interakcije okvira in polnila pri projektiranju, sumljiva montažna gradnja ter zlasti nepopoln nadzor, niso tuji tudi v našem prostoru.

## Literatura

1. EERI, 1999. Special Earthquake Report -The Izmit (Kocaeli), Turkey earthquake of August 17, 1999, <http://www.eeri.org/Reconn/Turkey0899/>.
2. Fischinger, M., Fajfar, P., Žarnič R. 1999. Posledice potresa 17. 8. 1999 v Turčiji, Gradbeni vestnik, letnik 48, št. 11-12, str. 254-265.