

PLATFORMA ZA PROTUPOTRESNA ISPTIVANJA

Po mogućnostima među prvih pet u Europi

PRIPREMIO:
Prof. dr. sc. Jure Radnić

Platforma u Žrnovnici pokraj Splita nastala je iz uvjerenja da se sofisticirana oprema u nedostatku financijskih sredstava može izraditi vlastitim snagama i znanjem

Općenito o potresima

Potresi pripadaju najsilnijim i najrazornijim prirodnim pojavama i mogu prouzročiti katastrofalne posljedice, poput mnogobrojnih ljudskih žrtava i razaranja te nastanak požara i zaraznih bolesti i sl. Prevladavajući je uzrok brojnih pomicanje tektonskih ploča, a posljedica je podrhtavanje Zemljine kore (potres) zbog oslobođene velike količine energije (slika 1.). Potresi se na Zemlji javljaju svakih 11 sekundi u prosjeku, odnosno približno 3.000.000 potresa na godinu, a najviše ih je u Čileu, Japanu i Indoneziji. Najizrazitija je seizmička zona u tzv. pacifičkome vatrenom krugu (53 % svih potresa) te u mediteransko-alpsko-himalajskom području (41 % svih potresa). Na karti su prikazani epicentri jakih potresa od 1963. do 1998. (slika 2.). Područje RH kao i područje okolnih država (Italije, Albanije, Grčke, Turske...) karakterizira izražena seizmička aktivnost. Najjači su potresi novijeg doba u Hrvatskoj prikazani u tablici 1., a prikazano je i gotovo 30.000 epicentara potresa na posebnoj karti seizmičnosti Hrvatske i okolnih područja u razdoblju od prije Krista do 2008., na slici 3. Na tom se području svake godine u prosjeku dogodi po jedan potres s magnitudom većom od 6 prema Richteru, a osjeti se oko 65 potresa na godinu. Inače se učinak potresa obično iskazuje s pomoću Mercalli-Cancani-Sieberg ljestvice (s 12 stupnjeva koji su zasnovani na razornosti i posljedicama) i s pomoću Richterove ljestvice (s 9 stupnjeva prema oslobođenoj energiji pri potresu).

Tablica 1. Najjači potresi u Hrvatskoj

Godina	Lokacija	Stupnjevi po MCS ljestvici
1667.	Dubrovnik	10
1909.	Pokuplje	8,5
1942.	Imotski	9
1962.	Makarska	9
1996.	Ston	8

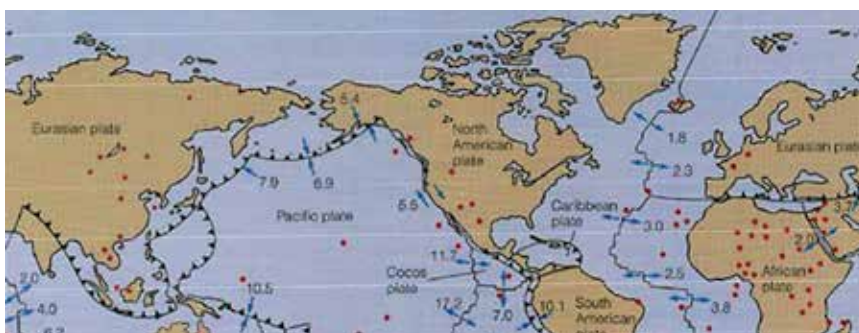
Istraživanjima potresa bavi se seizmologija kao posebna znanstvena disciplina. Ipak unatoč znatnom napretku nije nažalost još uvijek moguće točno

predvidjeti pojavu potresa i njegove posljedice. Utjecajem se potresa na građevine bavi potresno inženjerstvo kao znanstvena disciplina, a jedna mu je od osnovnih zadaća iznalaženje rješenja za gradnju potresno otpornih građevina i protupotresno ojačanje postojećih.

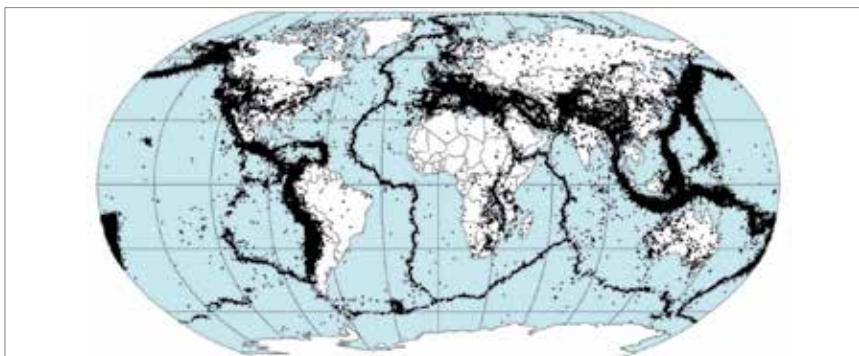
Na hrvatskom području ima ukupno ima više od 65 potresa na godinu, a u prosjeku je jedan potres s magnitudom većom od 6 prema Richteru

Gradnja potresno otpornih građevina treba:

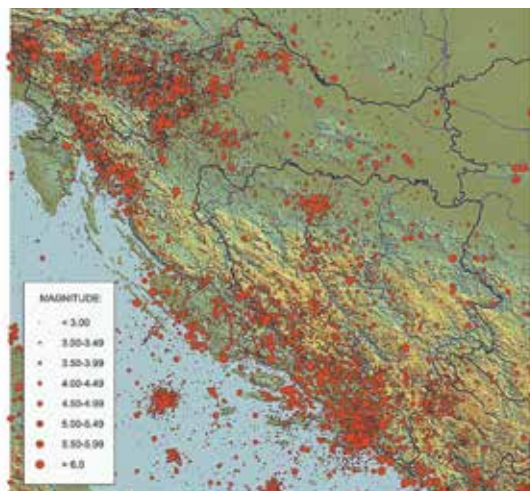
- sprječiti oštećenja nekonstrukcijskih elemenata za sve učestale slabe potrese



Slika 1. Globalni pomaci tektonskih ploča



Slika 2. Karta s epicentrima potresa od 1963. do 1998.



Slika 3. Seizmičnost Hrvatske i okolnih područja

- b) spriječiti oštećenja konstrukcijskih elemenata i smanjiti oštećenja nekonstrukcijskih elemenata za povremene umjerene potrese
- c) izbjegnuti slom ili jaka oštećenja za rijetke jake potrese.

Nažalost, suvremeni pristup projektiranju građevina u seizmičkim područjima često ne zadovoljava prethodne uvjete, a primjena je posebno problematična u kvantificiranju različitih tipova oštećenja (konstrukcijskih i nekonstrukcijskih elemenata) i u određivanju učestalih slabih, povremeno umjerenih i rijetkih jakih potresa.

Potrebna su ispitivanja stvarnih građevina jer služe za istraživanje učinaka potresa i za provjeru nelinearnih numeričkih modela za dinamičku analizu konstrukcija

Jedna od najučinkovitijih i najpouzdanijih tehnika eksperimentalnog istraživanja utjecaja potresa na građevine jesu potresne (dinamičke) platforme (eng. *shaking table*). To je vrlo složena i skupa oprema s kojom se može najtočnije ustanoviti stvarno ponašanje i sigurnost građevine pri potresu, a ujedno omogućuje primjenu proizvoljnih pomaka (ubrzanja) na realnu

(prototip) ili umanjenu građevinu (model), a time i prikazivanje stvarnih potresa. Dinamičke su platforme u tlocrtu najčešće kvadratne ili pravokutne, s osloncima koji mogu imati do 6 stupnjeva slobode (3 pomaka u smjeru osi x, y, z i 3 rotacije oko tih osi), ali su i ukopane u tlo. Platforme za ispitivanje građevina najčešće imaju do 3 slobodna pomaka (dva za horizontalna i jedan vertikalna), a brojne platforme imaju samo jedan pomak (u horizontalnoj ravni). U Japanu i SAD-u se danas grade velike potresne platforme s nosivošću većom od 10.000 kN na kojima se mogu ispitivati stvarne zgrade veće od deset etaža. U svakom je slučaju potrebno poticati dinamička ispitivanja stvarnih građevina

(prema veličini te svojstvima gradiva i načina gradnje). Modelska dinamička ispitivanja mogu poslužiti pri istraživanjima relativnih učinaka potresa na građevine i za provjeru suvremenih nelinearnih numeričkih modela za dinamičku analizu konstrukcija. U tekstu što slijedi ukratko je opisana nedavno izgrađena i ispitana platforma za potresna ispitivanja Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodetike Sveučilišta u Splitu smještena u laboratoriju u Žrnovnici pokraj Splita (slika 4.). Posljedica je uvjerenja i ustrajnosti da se ta vrlo sofisticirana oprema u nedostatku golemih financijskih sredstava može izraditi vlastitim snagama i znanjem. Veće potresne platforme u Europi ima samo deset država, a ta platforma prema tehničkim karakteristikama i mogućnostima može se svrstati među prvih pet. Dimenzije su joj 4 x 4 m i nosivost 200 kN, a ima mogućnost proizvoljnog



Slika 4. Laboratorij za potresna ispitivanja u Žrnovnici



Slika 5. Potresna platforma u NEES-u na Kalifornijskom sveučilištu u San Diego u SAD-u (lijevo) i u NIED-u, u prefekturi Hygo u Japanu (desno)



Slika 6. Vanjski izgled platforme (lijevo) te ukopani dijelovi platforme (desno)

ubrzanja (pomaka) u horizontalnom smjeru. Očekuje se da će platforma znatno pridonijeti izobrazbi studenata iz područja potresnog inženjerstva, spoznajama stvarnog ponašanja građevina u potresnim uvjetima, provjeri suvremenih numeričkih modela za dinamičku analizu svih tipova građevina (konstrukcija) te potaknuti znanstveno-istraživački rad i praktičnu primjenu rezultata istraživanja.

Točan je broj dosad izgrađenih potresnih platformi u svijetu nepoznat, a posebno su nepoznate i nepouzdana njihove tehničke karakteristike i stvarne mogućnosti. Veće platforme se smatraju one koje imaju tlocrtnu izmjere barem 2 x 2 m i nosivosti od 40 kN, a u svijetu ih je izgrađeno približno 115, od čega najviše u Japanu (27) i SAD-u (16). U Europi ih ima ukupno 20 (pet u Italiji, tri u Turskoj i Francuskoj, dvije u Makedoniji i Grčkoj te po jedna u Njemačkoj, Nizozemskoj, Rusiji, Portugalu i Španjolskoj). Pritom je tek sedam platforma onih koje su veće od 4 x 4 m i nosivosti od 200 kN. Mnoge platforme u svijetu nisu u funkciji ili su im deklarirane mogućnosti znatno smanjene. Neke od velikih potresnih platformi prikazane su na slici 5.

Opis potresne platforme u Splitu

Osnovna rješenja i dijelovi

Konstrukciju gornje plohe platforme, ležajeve odnosno njihala (koeficijent trenja $\leq 0,02$), vodilice te pogonski cilindar ($\Delta = \pm 200$ mm) izradio je *Adria Winch* d.o.o. iz Splita, temeljnu betonsku školjku *AGZ* d.o.o. iz Omiša, servo je razvodnik (D 684) dobavljen od tvrtke *Moog* GmbH iz Njemačke, a pumpni agregat sa zupčastom pumpom ($Q = 350$ l/min, $p = 140$ bara), spremnici za ulje (300 l + 200 l), nepovratni ventil i ostale komponente, davači ubrzanja i hoda, energetske ormar, upravljački pult, prijenosno računalo, kontrolor na bazi PC-a te sustav za akviziciju podataka sa 16 kanala, dobavljeni su od tvrtki iz Srbije, Njemačke i Hrvatske.

Gornja je "ploča" platforme zavarena sandučasta čelična ljuska s potrebnim ukrućenjima tankih limova. Nastojalo se sa što manjom masom platforme postignuti što veću krutost i otpornost, a osobito poželjno ponašanje pri dinamičkom osciliranju. Ukupna je masa platforme približno 4 tone.

Platforma je oslonjena na posebno konstruirane mehaničke ležajeve - njihala, koji omogućuju horizontalne po-

make s vrlo niskim koeficijentom trenja na ležajevima (oko 0,02). Bočni su horizontalni pomaci platforme spriječeni uzdužnim "vodilicama".

Horizontalna se sila s pogonskog cilindra prenosi na platformu u njezinom težištu. Platforma je smještena u masivnoj krutoj armiranobetonskoj školjci koja prenosi dinamičke oscilacije (sile) platforme na okolno tlo. Vanjski izgled platforme te pogled na njene ukopane dijelove prikazan je na slici 6. Elektrohidraulički sustav, upravljački servo-razvodnik i upravljački pult prikazani su na slici 7.

Tehnički podaci

Platforma omogućuje ispitivanja stvarnih građevina i njihovih modela tlocrtnih izmjera do 4 x 4 m, mase do 20 tona i visine do 9 m. Smjer je gibanja horizontalan, najveća je nosivost (kao što je rečeno) 200 kN, najveći su pomaci ± 200 mm, najveće ubrzanje 5 g i najveća frekvencija 30 Hz. Upravlja se preko ubrzanja, a funkcija je ubrzanja proizvoljna. Međusobno su ovisni težina ispitnih uzoraka, pomaci (ubrzanja) i frekvencije oscilacija platforme. Moguće je dodavati proizvoljni oblik ubrzanja platforme (harmonijsko, "trokutasto", "pravokutno" i stvarni potres). Pridodana i ostvarena ubrzanja platforme imaju visoku razinu podudarnosti.

Mogućnosti primjene

Platforma omogućuje široku primjenu u području potresnog inženjerstva poput, primjerice, već spomenute izobrazbe studenata preddiplomskih, diplomskih i doktorskih studija u području građevinarstva i arhitekture i razvoj znanstve-



Slika 7. Elektrohidraulički sustav (lijevo), upravljački servo razvodnik (sredina) i upravljački pult (desno)

noistraživačkog rada. Također pridonosi boljem poznavanju ponašanja realnih konstrukcija (zgrada, mostova, javnih građevina, tornjeva, silosa, tunela i sl.) pri djelovanju potresa, odnosno racionalnije i pouzdanije građenje u seizmičkim područjima.

Platforma omogućuje široku primjenu u izobrazbi studenata i znanstvenoistraživačkom radu, ali i racionalnije i pouzdanije građenje u seizmičkim područjima

Platforma ujedno omogućuje provjeru numeričkih modela za dinamičku analizu različitih tipova konstrukcija, novih tehnoloških rješenja za aseizmičko građenje te protupotresno ojačanje i sanaciju potresom oštećenih građevina te unaprjeđivanju regulative iz područja potresnog inženjerstva. Poboljšava poznavanje ponašanja i pronalaženja najučinkovitijih rješenja za moguće ojačanje značajnih povijesnih građevina u potresnim uvjetima, ali i poznavanje ponašanja sustava tlo-konstrukcija i tekućina-tlo-konstrukcija u takvim uvjetima. Pruža i pomoć u izboru najboljih konstrukcijskih rješenja za nove, skupe i složene građevine te razvoju i provjeri novih tehnoloških rješenja montažnih spojeva predgotovljenih konstrukcijskih elemenata, novih tehnoloških rješenja elemenata za zidanje i zidanih građevina. Nije dakako nevažno ni to što unapređuje izobrazbu nastavnoga, istraživačkoga i praktičnog stručnog kadra.

Financijski izvori

Vrijednost je platforme višestruko veća od utrošenoga novčanog iznosa. Naime, veliki je broj radova obavljen besplatno, osobnim angažmanom ili uz pomoć prijatelja, a plaćene su novčane naknade uglavnom bile znatno niže od tržišne vrijednosti.

Od uloženi je novčanih sredstava veliki dio dobiven od Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, kroz financiranje znanstvene opreme u okviru znanstvenog projekta br. 083-0000000-1538 *Ekperimentalna i numerička istraživanja potresne otpornosti građevina* (voditelj projekta prof. dr. sc. Jure Radnić). Približno je polovicu novca pridodano iz različitih stručnih projekata i prihoda iz spomenutoga znanstvenog projekta, a matični je Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije osigurao laboratorijski prostor u Žrnovnici.

Sudionici u realizaciji

U izgradnji je platforme sudjelovao velik broj institucija i pojedinaca pod vodstvom prof. dr. sc. Jure Radnića, autora, glavnog projektanta i koordinatora. Od sudionika s većim doprinosom valja istaknuti Nikolu Grgića, dipl. ing. građ., prof. dr. sc. Domagoja Matešana, Antu Buzova, mag. ing. aedif., Gorana Balovića, dipl. ing. građ. (Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije), AGZ d.o.o. iz Omiša, mr. sc. Milu Peruzovića i dr. sc. Ivu Jerčića (*Adria Winch* d.o.o., Split), Tomislava Zovića, dipl. ing. građ. i Hrvoje Vrcu, dipl. ing. građ. (*Kosjenac* d.o.o., Split), mr. sc. Dragana Nauparca (*AFS-Advanced Fluid Systems* d.o.o. iz Beograda), prof. dr. sc. Zorana Ribara i

doc. dr. sc. Radišu Jovanovića (Mašinski fakultet iz Beograda), prof. dr. Dragana Marinkovića (Njemačka), Antu Čitića, dipl. ing. građ. i Vatroslava Čambersa, dipl. ing. građ. (*Čitić gradnja* d.o.o., Split) te mr. sc. Predraga Đukića (Fakultet elektrotehnike strojarstva i brodogradnje iz Splita).

Zaključna napomena

Upravo završena i ispitana potresna platforma Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu prema svojim tehničkim karakteristikama i mogućnostima pripada među prvih pet u Europi. Takvom se platformom mogu ispitivati realne građevine i njihovi modeli (tlocrtnih dimenzija do 4 x 4 m, mase do 20 t i visine do 9 m) s proizvoljnim horizontalnim ubrzanjima. Očekuje se da će platforma znatno pridonijeti unaprjeđenju nastavnog procesa, zamahu znanstvenoistraživačkog rada te sigurnijoj i pouzdanijoj gradnji građevina.

IZVORI:

Wicander, R., Monroe, J. S.: *Essentials of Geology*, Laboratory Manual in Physical Geology (9th Edition), AGI-American Geological Institute (1999);

<http://hr.wikipedia.org/wiki/Potres>;

<http://www.gfz.hr/seismap.php>;

http://en.wikipedia.org/wiki/Earthquake_shaking_table;

<http://nees.ucsd.edu/facilities/shake-table.shtml>;

<http://www.bosai.go.jp/e/facilities/earthquake.html>