



HRVATSKO GEOTEHNIČKO DRUŠTVO
5. SAVJETOVANJE
IZVORI RIZIKA U GEOTEHNIČKIM ZAHVATIMA
Osijek, 20-21.05.2009.

Procjena lokalnih uvjeta tla i mikrozoniranje

Assessment of local site conditions and microzonation

Snježana Mihalić, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, smihalic@rgn.hr,

Ivan Salković, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, isalko@rgn.hr,

Predrag Kvasnička, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, pkvasnic@rgn.hr,

Maja Oštrić, Hrvatske vode, Rijeka, maja.ostric@voda.hr

Martin Krkač, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, mkrkac@rgn.hr

Sažetak

Procjena lokalnih uvjeta tla važna je da bi se odredile karakteristike gibanja tla uslijed potresa na površini zemlje, pa je stoga neizostavan dio seizmičkog mikrozoniranja, postupka za određivanje ukupnog seizmičkog hazarda uslijed gibanja tla i s tim povezanim pojavama. U postupku mikrozoniranja razmatrana regija se dijeli na zone, odnosno područja koja imaju jednak hazard s obzirom na učinke potresa: gibanje tla, likvefakciju i klizanje. Rezultati mikrozoniranja koriste se u sustavu prostornog uređenja i gradnje za ublažavanje posljedica klizanja, pri čemu je, osim hazarda, nužno procijeniti druge dvije komponente: rizik i ranjivost. U radu se prikazuju neki od rezultata istraživanja međunarodnog znanstvenog projekta MEETING - Mitigation of the earthquake effects in towns and industrial regional districts. Uz pregled osnovnih pojmova sažeto su prikazani: sadržaj karata mikrozoniranja, principi kartiranja i strategija smanjenja gubitaka uslijed potresa. Radom se želi ukazati na složenost provedbe mikrozoniranja i međunarodno prihvaćenu praksu izrade smjernica za mikrozoniranje gradova kojima se definiraju: podaci, metode, rezultati (produkti), sudionici i načini korištenja rezultata. Koordinacija svih navedenih elemenata važna je za racionalno provođenje mikrozoniranja, postizanje praktične uporabne vrijednosti karata mikrozoniranja i samu održivost cijelog sustava.

Ključne riječi: Lokalni uvjeti tla, mikrozoniranje, smjernice, Eurokod 8

Abstract

Assessment of local ground condition is important for determining characteristics of earthquake induced ground movement, and is therefore unavoidable part of seismic microzoning, the procedure for estimating the total seismic hazard from ground shaking and related phenomena by taking into account the effects of local site conditions. Seismic microzonation map can be used: for city and landuse planning and for the mitigation of consequences of landslide movements, where the most important, except hazard, is the assessment of the two other components: risk and structural vulnerability. In the paper, presented are some results of the international scientific project: MEETING - Mitigation of the earthquake effects in towns and industrial regional districts. Besides the review of basic terms, presented are the principles of microzonation mapping and strategy of mitigation of earthquake effects. An effort is made to present the complexity for carrying out microzonation. Internationally accepted practice for city microzonation by which are defined: data, methods, results, participants and means of processing the results of research are presented in the paper. Good coordination of all stated issues is extremely important for proper implementation of microzonation, appropriate use of microzonation maps and, finally for sustainability of the whole system.

Keywords: Local site condition, microzonation, guidelines, Eurocode 8r

1. Uvod

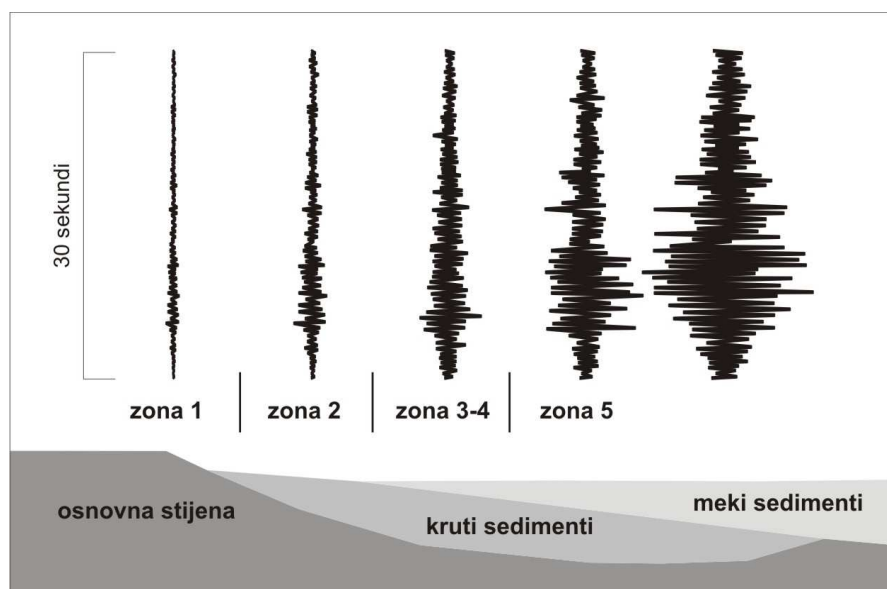
Najučinkovitiji način ublažavanja seizmičkog rizika provodi se izgradnjom protupotresnih građevina i odgovarajućim prostornim planiranjem. U oba slučaja, za najveći broj zemalja propisi (bilo za građenje bilo za urbanističko planiranje) definiraju minimalne zahtjeve za "dobro ponašanje" određenog tipa konstrukcije pri potresnim djelovanjima koja se mogu pojaviti za vijeka njezine upotrebe. Suvremene karte kojima se definiraju seizmička djelovanja koja će se koristiti za projektiranje inženjerskih građevina nastaju na temelju istraživanja hazarda promatranog područja. Detaljna analiza hazarda također je osnova za određivanje gibanja tla za značajne građevine. U mnogim europskim zemljama propisi su obvezujući (Španjolska, Francuska, Italija itd.). Standardni oblik europskog seizmičkog propisa eurokod 8 (EC8) mora imati i tzv. nacionalni dodatak (NDA), dokument u kojem svaka pojedina država definira svoj hazard prema određenim kriterijima.

Na području Grada Zagreba nije provedeno seizmičko mikrozoniranje koje bi zadovoljilo načela suvremenog mikrozoniranja kakva zahtijevaju propisi razvijenih zemalja, kao što su: SAD, Japan i EU (eurokod 8). U Zagrebu je u tom smislu pokrenut projekt u okviru kojega je do danas završena izrada detaljne inženjerskogeološke karte Podsljemenske urbanizirane zone M=1:5000 (DIGK – faza 1), a planira se provođenje mjerenja mikroseizmičkog nemira na području Grada Zagreba (Jurak i dr., 2008). Ove aktivnosti predstavljaju samo vrlo mali dio od ukupnih aktivnosti koje trebaju biti obuhvaćene projektom seizmičko-geotehničkog zoniranja na području Grada Zagreba. Osim toga, u Hrvatskoj ne postoji jedinstveni pristup procjeni i ublažavanju seizmičkog hazarda kojim bi se na nacionalnoj razini definirao okvir za: izradu odgovarajućih karata seizmičko-geotehničkog zoniranja, načine korištenja tih karata kao i mjere koje su u funkciji ublažavanja posljedica.

Tijekom 2007. pokrenut je jednogodišnji INTERREG/CARDS-PHARE projekt *MEETING - Mitigation of the earthquake effects in towns and industrial regional districts* između Sveučilišta u Zagrebu i talijanskih sveučilišta u Molizeu i Lecceu. U sklopu aktivnosti MEETING projekta bilo je predviđeno napraviti analizu postojećeg stanja u svijetu i u Hrvatskoj u odnosu na procjenu i zoniranje seizmičko-geotehničkog hazarda. U ovom radu se prikazuju neki od rezultata istraživanja koji se odnose na pregled definicija osnovnih pojmova, sadržaj karata mikrozoniranja, principe kartiranja i strategiju smanjenja gubitaka uslijed potresa. Svrha ovog rada je ukazati na pristup procjeni seizmičko-geotehničkog hazarda koji se koristi u međunarodnoj praksi, a koji uključuje koordiniran rad stručnjaka (seizmologa, seizmotektoničara, inženjerskih geologa, geotehničara itd.) i predstavnika lokalnih samouprava i nacionalnih uprava na uspostavljanju i provedbi cijelog sustava procjene hazarda i ublažavanja rizika.

2. Općenito o lokalnim uvjetima tla

Gibanje tla uslijed seizmičkih valova na površini Zemlje izravno ovisi o značajkama geoloških naslaga kroz koje ti valovi prolaze. Općenito se može reći da će deblji slojevi mekih, nekonsolidiranih naslaga amplificirati (ovisno o frekvencijama seizmičkih valova) seizmičku pobudu (slika 2-1) od osnovne stijene do površine tla. Ovu pojavu nazivamo efekt tla (eng. *soil effect*). Osim toga, lokalna topografija također će modificirati značajke valova, čime nastaju tzv. topografski efekti (eng. *topographic effects*). Lokalni efekti tla je zajednički naziv za efekte tla i topografske efekte. Osim ovih efekata, a pod određenim okolnostima kod valova velikih amplituda, također mogu nastati i inducirani efekti (eng. *induced effects*) kao što su klizišta i likvefakcija. Tijekom mnogih potresa zapaženo je da lokalni uvjeti tla (efekti tla i topografski efekti, kao i inducirani efekti) imaju velik utjecaj na distribuciju šteta. Predviđanje lokalnih uvjeta tla stoga je jako važno prilikom procjene seizmičkog hazarda, kako u regionalnom, tako i u lokalnom mjerilu.



Slika 2.1. Amplitude i frekvencije gibanja tla za različite lokalne efekte tla (Seville & Metcalfe, 2005).

Lokalni uvjeti tla mogu se značajno razlikovati zbog: geološke građe (što podrazumijeva debljinu površinskih naslaga i dubinu do osnovne stijene), svojstava tla i stijena, razine podzemne vode, reljefa na površini i paleoreljefa u podzemlju. Ove različitosti imaju će značajan učinak na karakteristike gibanja tla uslijed potresa na površini zemlje. Jedan od faktora koji utječu na oštećenja zgrada, a koji nije povezan s lokalnim uvjetima tla, je i površinska manifestacija kretanja po rasjedu uslijed koje za vrijeme potresa dolazi do pomaka tla unutar rasjednih zona. Ovaj utjecaj ovdje se neće detaljnije razmatrati. Utjecaj lokalnih uvjeta tla za vrijeme potresa procjenjuje se na temelju nastale štete i karakteristika gibanja tla.

2.1 Seizmičko mikrozoniranje

Seizmičko je mikrozoniranje postupak za određivanje ukupnog seizmičkog hazarda uslijed gibanja tla i s tim povezanim pojavama, kad se u obzir uzmu efekti djelovanja lokalnog tla. U postupku mikrozoniranja razmatrana regija se dijeli na zone, odnosno područja koja imaju jednak hazard s obzirom na učinke potresa. Svakoj se zoni pridružuju odgovarajući dinamički parametri s definiranom vjerojatnošću premašenja. Pri mikrozoniranju se identificiraju i klasificiraju zone koje imaju jednako ponašanje u odnosu na seizmička djelovanja, što podrazumijeva: procjenu lokalnog odziva tla (eng. *local ground response*), stabilnost kosina i likvefakciju.

Mikrozoniranje se stoga koristi za potrebe racionalnog ublažavanja rizika potresa. Od međunarodnih, nacionalnih i regionalnih uprava, kao i lokalnih samouprava zahtijeva se izrada karata mikrozoniranja urbanih područja koje će se koristiti za: potrebe urbanističkog planiranja, projektiranje u skladu sa seizmičkim kodovima i potrebe civilne zaštite.

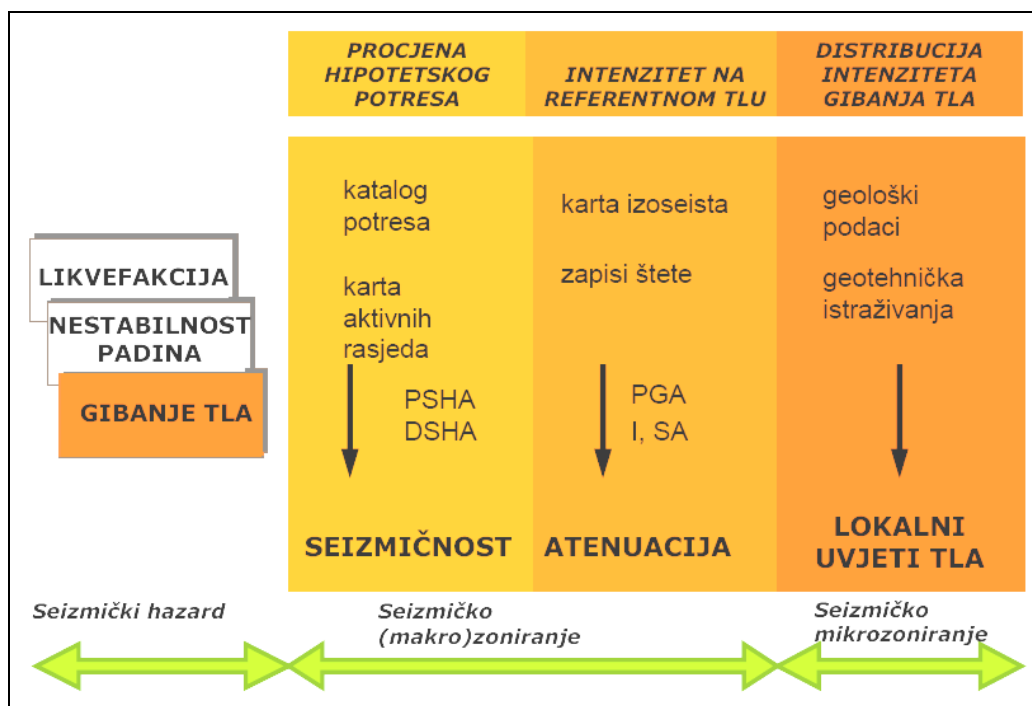
Za provedbu mikrozoniranja koriste se različiti pristupi i metode, a u mnogim zemljama izrađene su smjernice i preporuke za seizmičko mikrozoniranje. Svjetski institut za upravljanje rizicima katastrofa (*World Institute for Disaster Risk Management* - DRM) izradio je priručnik za uspostavljanje koda za mikrozoniranje gradova u Turskoj (DRM, 2004) sa sveobuhvatnim pregledom: ciljeva, terminologije, koncepata i metoda mikrozoniranja.

Roca et al. (2008) ističu da je korištenje rezultata mikrozoniranja također predviđeno i u suvremenim konstrukcijskim kodovima za potrese. Osim toga oni u obzir uzimaju i lokalne uvjete tla. Neki od kodova su: NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program; 2003) i IBC (International Building Code; 2006), te eurokodovi. Konstrukcijski eurokodovi obuhvaćaju skupinu normi za konstruktorsko i geotehničko projektiranje građevina koje trebaju poslužiti da se dokaže kako građevine udovoljavaju osnovnim zahtjevima.

Parametri na kojima se zasniva mikrozoniranje su fizičke varijable koje definiraju značajke potresanja tla, kao što su: makroseizmički intenzitet, najveća horizontalna akceleracija, brzina i pomak (eng. *peak ground acceleration* - PGA; eng. *peak ground velocity* - PGV; eng. *peak ground displacement* - PGD), amplituda spektra odziva (eng. *spectral acceleration* - SA), trajanje i sl. Ovi parametri mogu se procjenjivati s različitom preciznošću i u različitim mjerilima: u nacionalnom, regionalnom i u lokalnom mjerilu.

Za razliku od seizmičkog mikrozoniranja, karte seizmičkog makrozoniranja u nacionalnom mjerilu obično se izrađuju u sitnom mjerilu (kao što je to prikazano na slici 2-2), zbog čega je preciznost nacionalnih karata seizmičkog makrozoniranja

suviše mala za mikrozoniranje. U svrhu mikrozoniranja potrebno je provesti detaljniju analizu seizmičkog hazarda na temelju većeg broja podataka dobivenih detaljnijim regionalnim geološkim i seizmološkim istraživanjima.



Slika 2.2. Shematski prikaz seizmičkog zoniranja za gibanje tla (Oštrić et al., u pripremi).

Na kartama mikrozoniranja seizmičkog hazarda u Turskoj, definirane su najveće horizontalne akceleracije (PGA) ili amplitude spektra odziva (SA) za reprezentativne uvjete lokalnog tla (obično na razini osnovne stijene) u mjerilu 1:25.000 (DRM, 2004). Razlikuju se dva pristupa procjeni regionalnog hazarda za potrebe mikrozoniranja: probabilistički (eng. *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* - PSHA) i deterministički (eng. *Deterministic Seismic Hazard Analysis* - DSHA). Rezultati analize seizmičkog hazarda mogu biti i sintetički akcelerogrami koje treba koristiti za analize utjecaja lokalnog tla. Regionalna i lokalna seizmičnost istražuju se na temelju seizmičkih i geoloških podataka (npr. katalozi potresa i karte aktivnih rasjeda). Na osnovi seizmološkog modeliranja razdiobe dosadašnjih potresa te analize atenuacije gibanja tla, PSHA omogućuje procjenu razine trešnje tla koja će, uz zadanu vjerojatnost, biti premašena tijekom određenog vremenskog razdoblja.

Određivanje lokalnih uvjeta tla smatra se najvažnijim faktorom u zoniranju gibanja tla u sklopu seizmičkog mikrozoniranja. U okviru studija mikrozoniranja istražuju se amplifikacije prouzročene utjecajem tla i reljefa, a s karata mikrozoniranja je moguće dobiti specifične parametre ili funkcije kao što su (Roca et al., 2008):

- ΔI , inkrement makroseizmičkog intenziteta, I , u odnosu na vrijednost I koja odgovara procjeni seizmičkog hazarda u nacionalnom ili regionalnom mjerilu. Pri tome je važno znati jesu li intenziteti prikazani na karti hazarda određeni za osnovnu stijenu ili za pokrivač koji predstavlja inženjersko tlo.
- Δ_{PGA} , inkrement najviše horizontalne akceleracije na određenoj lokaciji u odnosu na vrijednosti PGA određene na osnovnoj stijeni. Sličan prikaz moguće je napraviti i za Δ_{PGV} i Δ_{PGD} .

- T_p , dominantni period, definiran kao period u kojemu će se dogoditi maksimalna amplifikacija tla;
- prijelazne funkcije, koje predstavljaju odnos između spektralne amplitude na razini površine i na razini osnovne stijene, daju najpotpuniji prikaz lokalnih efekata;
- spektar odziva lokalnog tla je korisna funkcija za karakterizaciju ponašanja tla za inženjerske namjene.

2.2 Geološki, geofizički i geotehnički podaci

Da se odredi utjecaj lokalnog tla, potrebno je ustanoviti karakteristike slojeva tla na lokaciji. Osim poznavanja geološke građe, potrebno je definirati geotehničke jedinice i to s obzirom na njihovu debljinu i fizičko-mehanička svojstva. Ovi podaci se dobivaju geotehničkim bušenjem, *in situ* ispitivanjima i geofizičkim mjerenjima. Pitalakis & Anastasiads (1998) daju sažeti prikaz navedenih metoda, njihovu učinkovitost, stupanj nepouzdanosti kod određivanja svojstva i cijenu izvedbe. U tablici 2-1 prikazani su osnovni ulazni podaci i preporučene metode dobivanja podataka iz priručnika DRM -a (2004).

Tablica 2.1. Vrste osnovnih geotehničkih i geofizičkih podataka neophodnih za mikrozoniranje s preporučenim metodama prikupljanja podataka (DRM, 2004).

Osnovni ulazni podaci	Preporučene metode
topografija	– digitalni topografski podaci dobiveni s topografskih karata u mjerilu 1:5.000 ili karata krupnijeg mjerila
razina podzemne vode	– bušotine i/ili geoelektrično sondiranje, CPTU
geotehničke jedinice	– detaljna karta površinskih naslaga; – geološki/geotehnički <i>in situ</i> podaci (bušenja, SPP, CPT, CPTU); – geofizičke metode (SASW, <i>cross hole</i> , <i>in hole</i> mjerenja brzina posmičnih valova, mjerenja mikronemira, seizmički CPT uređaj, itd.)
osnovna stijena ili kompetentna podloga ($v_s > 700$ m/s)	– bušenja i geofizičke metode
geološka građa bazena	– duboka seizmička istraživanja i mjerenja mikronemira
osnovna geotehnička i geofizička svojstva geotehničkih jedinica: – parametri čvrstoće – brzine posmičnih valova	– laboratorijska ispitivanja; – korelacija s SPP ili CPT/CPTU ispitivanjima; – geofizičke metode (SASW, <i>cross hole</i> , <i>in hole</i> , mjerenja mikronemira, seizmički CPT uređaj, itd.)

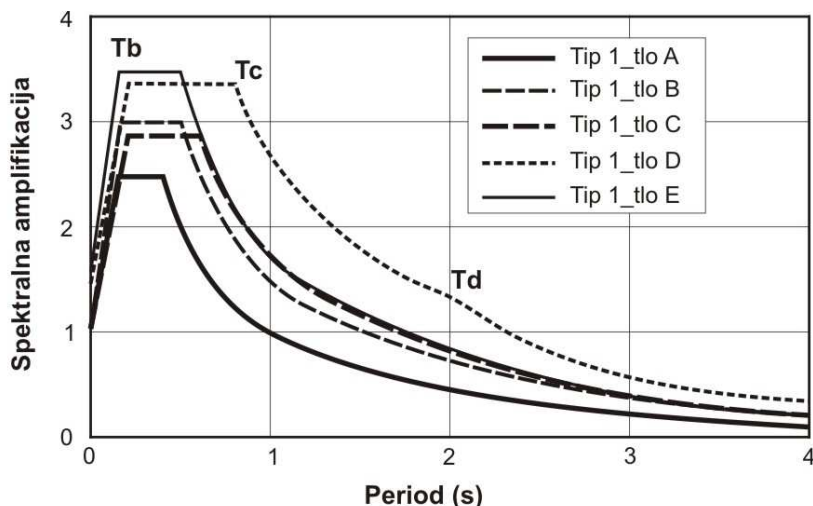
Osnovni podaci za provedbu mikrozoniranja su geološki podaci o vrstama stijena/tala i geološkim strukturama, koje je najčešće moguće dobiti iz postojećih geoloških karata (ukoliko postoje geološke karte krupnijeg mjerila). Detaljnije podatke o geološkoj građi daje bušenje, a svrha mu je utvrđivanje karakterističnog profila tla. Geotehnički *in situ* istraživački radovi uključuju SPP, CPT (*Cone Penetration Testing*) i/ili CPTU (CPT s mogućnošću mjerenja pornog tlaka). SPP je preporučena metoda prema DRM-u (2004). CPT daje manje precizne podatke i može se upotrebljavati samo u mekim tlima. CPTU ispitivanja su preporučena za dobivanje podataka o vrstama materijala tla s mogućnošću dodatnog mjerenja pornih tlakova kako bi se

razlučili nedrenirani slojevi (gline, prahovi) od uglavnom dreniranih slojeva (pijesaka, šljunka). Osim poznavanja geoloških/geotehničkih svojstava tla, potrebni su i podaci o nekim fizikalnim karakteristikama, od kojih je za utjecaj lokalnog tla potrebno poznavati brzine posmičnih valova, V_s , s obzirom da je brzina posmičnih valova bitan parametar pri procjeni dinamičkog ponašanja tla. Iako je procjenu brzina posmičnih valova moguće napraviti i iz podataka geotehničkih *in situ* ispitivanja kao što su SPP i CPT, geofizičke metode daju najbolje rezultate. Vrijednosti V_s određuju se iz mjerenja na površini i/ili u bušotinama. Najčešće primjenjivane metode su *in hole* metode: *cross hole*, *down hole* i *up hole*. Od površinskih metoda treba istaknuti SASW metodu, kao preporučenu metodu u priručniku DRM-a (2004).

Prema eurokodu 8 (EC8: *Projektiranje konstrukcija otpornih na potres*) uvjeti lokalnog tla mogu se prema navedenim svojstvima podijeliti u različite kategorije koje se nazivaju tipovima tla (eng. *ground types*). U konačnoj verziji eurokoda 8 postoji pet tipova tala (A, B, C, D, E) i dva posebna tipa tla (S_1 i S_2). U tablici 2-2 navedeni su tipovi tala, predviđeni nedavno prihvaćenim eurokodom 8, klasificirani s obzirom na glavne mehaničke značajke površinskih naslaga. Na slici 2-3 prikazan je spektar elastičnog odziva za navedenih pet različitih tipova tala, koje predlaže eurokod 8 za magnitudu potresa jednaku ili veću od 5.5, za tip 1.

Tablica 2.2. *Klasifikacija tipova tala prema glavnim mehaničkim karakteristikama površinskih naslaga prema eurokodu 8.*

Tip tla	Opis stratigrafskog profila	Parametri		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (br. ud. /30 cm)	c_u (kPa)
A	Stijena ili slične geološke formacije s najviše 5 m slabog materijala na površini.	> 800	-	-
B	Naslage vrlo zbijenih pijesaka, šljunaka ili vrlo krute gline debljine nekoliko 10-aka m, sa svojstvom postupnog poboljšanja mehaničkih svojstava s dubinom	360 - 800	> 50	> 250
C	Naslage zbijenih ili srednje zbijenih pijesaka, šljunaka ili krutih gline debljine od nekoliko desetka do nekoliko stotina metara	180 - 360	15 – 50	70 - 250
D	Naslage rahlih do srednje zbijenih nekoherentnih tala (sa ili bez slojeva mekog koherentnog tla) ili prevladavajuće meka do čvrsta koherentna tla	< 180	< 15	< 70
E	Profil tla izgrađen od površinskih naslaga aluvija s vrijednostima V_s za tipove tla C ili D, debljine 5-20 m, ispod kojih se nalazi krući materijal s vrijednostima $V_s > 800$ m/s.			
S_1	Naslage koje su u potpunosti izgrađene ili sadrže sloj meke gline/praha s visokim indeksom plastičnosti ($PI > 40$) i visokom vlažnosti, a čija debljina je 10 m ili više	< 100	-	10 - 20
S_2	Naslage tala podložnih likvefakciji, osjetljive gline ili bilo drugi profil tla koji nije naveden u tipovima od A do S_1			



EC8-00 TIP 1	S	T _b	T _c	T _d
tlo A $V_s > 800$ m/s	1,00	0,15	0,4	2,0
tlo B $360 < V_s < 800$ m/s	1,10	0,15	0,5	2,0
tlo C $180 < V_s < 360$ m/s	1,35	0,20	0,6	2,0
tlo D $V_s < 180$ m/s	1,35	0,20	0,8	2,0
tlo E ($h < 20$ m)	1,40	0,15	0,4	2,0

S : spektralna vrijednost za period 0

T_B, T_C : granice perioda (s) za interval spektra odziva s konstantnom akceleracijom

T_D : vrijednost perioda koja definira početak intervala konstantnog pomaka u spektru odziva

Slika 2.3. Eurokod 8: Tip 1, spektar elastičnog odziva za 5 tipova tala pri magnitudi ≥ 5.5 (Roca et al. 2008).

Osim specifičnog litostratigrafskog profila, osnovno svojstvo na kojemu se temelji podjela geotehničkih jedinica jest srednja brzina posmičnih seizmičkih valova (V_s) za prvih 30 m dubine ($V_{s,30}$). Za slučaj kada podaci o seizmičkim brzinama nisu dostupni, klasifikaciju tala moguće je napraviti i prema vrijednostima nedrenirane čvrstoće (c_u) ili prema prosječnom broju udaraca standardnog penetracijskog pokusa (N_{SPT}).

Osim geološkog, geotehničkog i geofizičkog pristupa karakterizaciji tla, postoje i numeričke metode procjene efekata loknog tla. One neće biti razmatrane u ovome radu, ali bitno je reći da se radi se o linearnim i nelinearnim numeričkim metodama proračuna koje, između ostalog, zahtijevaju i podatke o brzinama posmičnih valova, dobivenim spomenutim geotehničkim i/ili geofizičkim terenskim radovima.

3. Provedba seizmičkog mikrozoniranja

Seizmičko mikrozoniranje postalo je korisno sredstvo za ekonomično ublažavanje seizmičkog rizika putem planiranja namjene zemljišta, koje uzima u obzir hazard. Seizmičko mikrozoniranje ne zamjenjuje postojeće građevinske propise jer se u kartama mikrozoniranja ne mogu naći svi parametri potrebni za aseizmičko projektiranje. Umjesto toga te karte služe kao smjernice za definiranje odgovarajućih detaljnih istraživanja u fazi izrade projekte dokumentacije za određeni objekt. Karte seizmičkih mikrozoniranja mogu se upotrebljavati za prostorno planiranje i urbanističko planiranje, za procjenu ranjivosti konstrukcija i za dobivanje ulaznih

podataka za kodove koji se odnose na aseizmičko projektiranje. Projekti mikrozoniranja trebaju dati regionalnu kartu seizmičkog hazarda u mjerilu 1:25.000, te kartu gibanja tla, kartu osjetljivosti na likvefakciju i kartu osjetljivosti na klizanje u mjerilu 1:5.000.

3.1 Karta vjerojatnosti seizmičkog hazarda

Analiza seizmičkog hazarda glavna je komponenta mikrozoniranja seizmičkog hazarda i seizmičkog rizika. Seizmičkim mikrozoniranjem treba definirati kartu seizmičkog hazarda u odgovarajućem mjerilu, te na temelju toga procijeniti potresom prouzročene sile na površini tla i njihove varijacije u istraživanom području. U tu je svrhu potrebno provesti analizu regionalnog seizmičkog hazarda na temelju detaljnih regionalnih geoloških i seizmoloških istraživanja. Na ovim kartama seizmičkog hazarda treba definirati najveće horizontalne akceleracije (PGA) ili amplitude spektra odziva (SA) za reprezentativne uvjete lokalnog tla (obično na razini osnovne stijene) u mjerilu karte 1:25.000. Procjena regionalnog hazarda za potrebe mikrozoniranja obično se temelji na procjeni vjerojatnosti seizmičkog hazarda (PSHA).

3.2 Karta gibanja tla

Kad su jednom određene značajke potresa, sljedeći je korak određivanje značajki gibanja lokalnog tla na površini terena u istraživanom području, uzimajući u obzir lokalne geološke i geotehničke značajke. Složenost ove analize ovisi o odabranom mjerilu i pretpostavljenoj točnosti dobivenih rezultata. Razina seizmičke analize koja se može obaviti izravno ovisi o kvaliteti dostupnih geoloških i geotehničkih podataka.

Potrebni su sljedeći ulazni podaci: seizmički hazard (nekoliko akcelerograma) za reprezentativna svojstva tla, izračunat za definirani povratni period; geotehnički modeli (brzine posmičnih elastičnih valova, debljine slojeva i njihove gustoće, faktori neelastičnosti); brzine posmičnih elastičnih valova; ponašanje tla (konstitucijski odnosi) pri seizmičkom opterećenju.

Za potrebe seizmičkog mikrozoniranja, uz pretpostavku da je preferirano mjerilo 1:5.000, mogući su sljedeći tipovi proračuna za procjenu gibanja lokalnog tla: (1) empirijske korelacije, temeljene na suvremenim atenuacijskim funkcijama; (2) proračuni prema seizmičkim propisima, koji se temelje na lokalnim parametrima; (3) definiranje geoloških/geotehničkih cjelina na osnovi njihovih svojstava, kao što je primjerice brzina posmičnih elastičnih valova; (4) interpretacija zapisa potresa i mjerenja mikrosezmičkog nemira i sl. (5) analize utjecaja lokalnog tla temeljene na linearnim i nelinearnim 1D ili naprednijim numeričkim metodama. Poznato je nekoliko tehnika proračuna gibanja tla na površini. Za potrebe mikrozoniranja uglavnom je prihvatljiva 1D analiza.

3.3 Zoniranje hazarda likvefakcije

Za procjenu osjetljivosti na likvefakciju potrebno je precizno poznavanje značajki slojeva lokalnog tla i razine podzemne vode, za što su potrebni sljedeći podaci: lokalni hazard na površini terena (podatak iz karte gibanja lokalnog tla); dubina do podzemne vode (iz odgovarajuće karte razina podzemne vode); ciklička čvrstoća i ponašanje tla pri cikličkoj pobudi (iz geotehničkih podataka); uslojenost tla (iz geoloških karata koje prikazuju kvartarne naslage i iz geotehničkih podataka); karte s područjima na kojima je ranije ustanovljena pojava likvefakcije.

Poznato je nekoliko postupaka određivanja osjetljivosti na likvefakciju. Za potrebe mikrozoniranja prihvatljivima se smatraju postupci koji se zasnivaju na korelacijama s

in situ pokusima (SPT i CPT), pri čemu se smatra da korelacije sa SPT-om daju pouzdanije rezultate od korelacija s CPT-om. Za kvantitativnu analizu potencijala likvefakcije koristi se pojednostavljeni postupak Seed-Idriss.

3.4 Zoniranje hazarda klizanja uzrokovanih potresima

Stabilnost kosina ovisi o geometrijskim karakteristikama (nagibu pokosa i obliku reljefa), o svojstvima tla te o hidrogeološkim uvjetima. Zbog toga je poznavanje ovih karakteristika preduvjet za predviđanje ponašanja kosina pri seizmičkoj pobudi.

Za određivanje hazarda klizanja potrebno je poznavati sljedeće: lokalni hazard na površini tla (podatak iz karte gibanja lokalnog tla); topografske podatke – reljef (iz digitalnog modela reljefa); svojstva čvrstoće materijala tla (iz detaljnih geoloških karata i geotehničkih podataka iz laboratorijskih ispitivanja); postojeća klizišta (iz karata klizišta).

Postoji nekoliko metoda za određivanje zona nestabilnosti kosina uslijed potresa (ISSMGE, 1997). Najviše se koristi Newmarkova metoda.

3.5 Sustav seizmičkog mikrozoniranja

Usprkos postojanju zajedničkih osnovnih principa mikrozoniranja, koncept sustava seizmičkog mikrozoniranja određene zemlje uobičajeno se razvija u okviru zasebnih projekata i objavljuje se u obliku smjernica ili priručnika. Jedan od poznatih svjetskih primjera je priručnik za mikrozoniranje gradova u Turskoj (DRM, 2004) u kojemu su vrlo detaljno obrađene: definicije i opća metodologija (definicije glavnih termina, odnos produkata mikrozoniranja s turskim konstrukcijskim kodom, sadržaj konačne karte mikrozoniranja, principi kartiranja, strategija umanjivanja gubitaka); smjernice i preporuke za izvođače pojedinih radova na mikrozoniranju (npr. zadatak svakog pojedinog izvođača, njihova odgovornost, načini prikupljanja podataka i uspostavljanja baza podataka, procjena kvalitete podataka, izrada karata, preporuke za korištenje karata itd.); i održiva provedba projekata i rezultata mikrozoniranja.

Prema DRM (2004) kao rezultat seizmičkog mikrozoniranja potrebno je proizvesti nekoliko vrsta karata i to:

- kartu tragova rasjeda na površini terena koja treba prikazivati aktivne zone rasjeda;
- kartu trešnje tla sa zonama relativnog intenziteta potresanja tla;
- kartu osjetljivosti na likvefakciju sa zonama relativne osjetljivosti;
- kartu hazarda klizanja sa zonama relativnog hazarda;
- eventualno i karte ostalih vrsta hazarda povezanih s potresima (npr. kartu poplava) sa zonama relativnog hazarda.

Za potrebe mikrozoniranja sve karte potrebno je izraditi u krupnom mjerilu, na topografskim podlogama 1:5.000 ili krupnijem.

Seizmičko mikrozoniranje je složeni proces u koji su uključeni brojni sudionici što uključuje predstavnike lokalne samouprave i izvođače različitih struka. Prema DRM (2004) faze provedbe mikrozoniranja su sljedeće:

- početna faza pokretanja projekta mikrozoniranja pokrenuta od strane lokalne samouprave;
- faza detaljnog planiranja projekta od strane izvođača pojedinih zadataka;
- prikupljanje 'sirovih' podataka i razvoj baza podataka u GIS-u;
- ocjena količine i kvalitete podataka i upotpunjavanje podataka dodatnim istraživanjima, kartografski prikazi ulaznih podataka;
- izrada izvedenih karata i kreiranje karata mikrozoniranja;
- implementacija.

4. Strategija smanjenja gubitaka uslijed potresa

Djelotvorna strategija prevencije mora uključiti tri osnovne pretpostavke:

1. poznavanje seizmičkih pojava i njihovih posljedica u izgrađenom području;
2. procjenu rizika, i to seizmičkog hazarda i ranjivosti svih elemenata izgrađenog područja;
3. svijest o važnosti ovih procjena i primjenu raznih mjera za ublažavanje procijenjenih rizika.

4.1 Procjena ranjivosti

Ranjivost se definira kao razina oštećenja određenog objekta, ili skupa objekata, za zadani rizik, a kao posljedica pojave hazardnog događaja. Funkcije ranjivosti (ili krivulje osjetljivosti) rizičnog objekta pokazuju vjerojatnost kad će njegov odziv na seizmičku pobudu premašiti za taj objekt razna granična stanja, temeljena na socio-ekonomskim razmatranjima. Ranjivosti u odnosu na ljudske žrtve, građevine, sustave i socio-ekonomske efekte glavni su faktori koji određuju seizmički rizik i štete u urbanim područjima. Analiza ranjivosti uključuje rizične elemente (psihičke, socijalne i ekonomske) i tipove pridruženih rizika (kao što su štete na građevinama i sustavima te ljudske žrtve). Procjene ranjivosti obično se temelje na podacima o štetama iz ranijih potresa (opažena ranjivost) i, u manjoj mjeri, na analitičkim istraživanjima (predviđena ranjivost). Primarna fizička ranjivost povezana je s građevinama, infrastrukturom i prometnicama. Te su ranjivosti bitno povezane s lokalnim uvjetima. Štoviše, ovise o projektiranju, građenju i održavanju. Sekundarne fizičke ranjivosti povezane su s posljedicama šteta i gubicima. Socioekonomska ranjivost uključuje i posljedice socijalnih rastrojavanja i trauma te utjecaj na ekonomske aspekte.

4.2 Procjena rizika

Rizik se definira kao potencijalna ekonomska, socijalna i okolišna posljedica hazardnog događaja u određenom području i u određenom vremenskom razdoblju. Za procjenu rizika potreban je multidisciplinarni pristup kojim se u obzir treba uzeti ne samo očekivana fizička šteta, tj. šteta na građevinama, količina i vrsta ekonomskih gubitaka, već i socijalni, organizacijski i institucionalni čimbenici. Unatoč tomu, holistički pristup procjeni rizika, s namjerom da određuje donošenje odluka na razini grada, treba započeti s procjenom scenarija fizičkog oštećenja kao glavnim polazištem, jer su ta fizička oštećenja rezultat uzajamnog djelovanja između hazarda i fizičke ranjivosti za građevine i infrastrukturu. Cilj je studija rizika predviđanje očekivanih oštećenja na građevinama kao posljedice djelovanja potresa. Procjena seizmičkog rizika za potrebe upravljanja hitnim intervencijama i vođenje strategije zaštite treba biti načinjeno u određenom mjerilu za promatrano područje. Na temelju procjene očekivane štete moguće je naći rješenja za njezino umanjeње, što ima utjecaj na cijenu konstrukcija. Ovu cijenu treba usporediti s očekivanim gubicima kako bi se moglo odlučiti o tome je li ojačavanje postojećih građevina isplativo.

5. Zaključak

Osnovni koraci u ublažavanju rizika su: 1. identifikacija hazarda; 2. analiza ranjivosti; 3. definiranje strategije ublažavanja rizika; 4. provedba aktivnosti i projekata ublažavanja rizika. Mikrozoniranje je samo jedan od postupaka u nizu aktivnosti ublažavanja seizmičkog rizika, koji spada u domenu identifikacije hazarda na lokalnoj razini kao što su gradska područja. Sustav mikrozoniranja je složen zbog

toga što uključuje cijeli niz sudionika i što njime nastaje niz različitih produkata koji moraju zadovoljavati točno određene kriterije da bi se mogli koristiti u prostornom uređenju i gradnji, kao i u daljnjim analizama rizika i ranjivosti. Bitan dio tog sustava je i niz međusobno povezanih procesa, od prikupljanja podataka, arhiviranja podataka, preko specifičnih analiza podataka, izrade karata (kartografije) i definiranja primjene. Osim svega, postupke mikrozoniranja treba kontinuirano unaprijediti u skladu s razvojem tehnologije, što znači da taj sustav mora biti održiv.

Da bi Grad Zagreb proveo seizmičko mikrozoniranje koje bi zadovoljilo načela suvremenog mikrozoniranja nužno je, prije svih ostalih aktivnosti, izraditi priručnik za mikrozoniranje (tj. smjernice) u kojemu će biti jasno razrađena: terminologija koja se odnosi na procjenu i ublažavanje seizmičko-geotehničkog hazarda; kartografski i ostali produkti koji trebaju nastati kao rezultat projekta mikrozoniranja; metodologije izrade svakog pojedinog produkta na osnovi raspoloživih podataka; sudionici mikrozoniranja i njihove obaveze; faze projekta; i upute za korištenje rezultata mikrozoniranja. Ove smjernice trebale bi biti jedinstvene na razini Republike Hrvatske, što znači da bi njihova izrada pripadala u domenu odgovarajućeg ministarstva.

Potreba izrade priručnika za mikrozoniranje gradova u Hrvatskoj ima dvojako značenje. Prvo je znanstvene i tehničke prirode, jer bi se time osigurala kvaliteta mikrozoniranja u smislu primjene odgovarajuće metodologije i u smislu provedbe racionalnog i učinkovitog mikrozoniranja. Drugo značenje izrade priručnika se odnosi na vrlo važnu političku komponentu. Priručnik bi bio jedan od načina da se stvori javno mnijenje koje će potaknuti, ali i obavezati one koji donose odluke (političare) da pokrenu niz aktivnosti za ublažavanje rizika, kako na nacionalnoj tako i na lokalnoj razini.

Literatura

- DRM, 2004. Seismic Microzonation for Municipalities. Manual., DRM Disaster Risk Management Switzerland SA, SUPSI Trevano, 6952 Conobbio-Lugano, Switzerland.
- IBC, 2006. IBC - International Building Code. International Code Council, 500 New Jersey Avenue, N.W., Washington, D.C.
- Jurak, V., Ortolan, Ž., Ivšić, T., Herak, M., Šumanovac, F., Vukelić, I., Jukić, M. & Šurina, Z. (2008): Geotehničko i seizmičko zoniranje Grada Zagreba – pokušaji i ostvarenje. Zbornik Konferencije Razvitak Zagreba, 1-2. veljače 2008, 99-108, Zagreb.
- NEHRP, 2003. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures. National Institute of Building Sciences / Building Seismic Safety Council, Washington, D.C. 2005.
- Oštrić, M., Mihalić, S., Ivandić, K., u pripremi. Seismic Microzonation: a review of principles and practice. Proc. INTERREG/CARDS-PHARE MEETING Project.
- Pitilakis, K. D., Anastasiadis, A., 1998. Soil and Site Characterization for Seismic Response Analysis. Invited Lecture. Proc. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France.
- Roca, A., Oliveira, C.S., Ansal, A., Figueras, S., 2008. Local Site Effects And Microzonation in Assessing and Managing Earthquake Risk. In Oliveira, C.S., Roca, A., Goula, X. (Ed.), 67-89 p, Springer, 2008.
- Seville, E., Metcalfe, J., 2005. Developing a Hazard Risk Assessment Framework for the New Zealand State Highway Network. Land Transport New Zealand Research Report 276, 80 pp.