

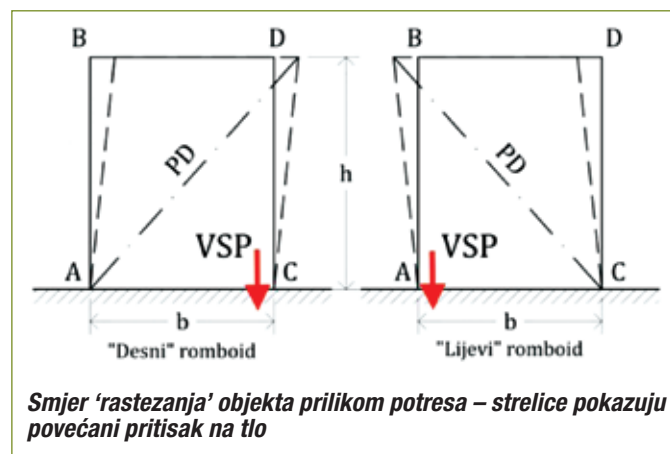
Poboljšanjem temeljnog tla do smanjenja posljedica od potresa

Prije sanacije konstrukcije potrebno je provjeriti stanje tla i temelja te poduzeti zahvate u tlu koji će spriječiti daljnje slijeganje i pojavu novih oštećenja ukoliko je to potrebno

Tijekom potresa dolazi do povećanja sila na temelje što u slučaju lošeg temeljnog tla može dovesti do intenziviranja oštećenja na konstrukciji. Kako je tlo ispod objekata u gradu Zagrebu često degradirano lošim sustavima odvodnje, to je važnost razmatranja veze tlo-konstrukcija od iznimne važnosti.

VEZA TLO-KONSTRUKCIJA

Naime, u normalnim okolnostima cjelovita konstrukcija trpi određena opterećenja i naprezanja. Potresom se ta naprezanja povećavaju, te se na objektu javljaju pojedine pukotine ili čak i složeni pukotinski sustavi. Ukoliko tlo nije dovoljno čvrsto, nastat će određeni pomak temelja pa čak i zakretanje temeljnih vertikalna. Pukotine će se zbog toga intenzivirati, vrlo često i u donjim etažama objekta što može biti pokazatelj problema s tlom, kao što je slučaj i s povećanom akustičnošću (osjetljivošću) objekata na vibracije s prometnica, ali i od naknadnih, manjih, potresa.



Loša temeljna tla i lokalna likvefakcija najčešće su pojavnost uzrokovana lošim i zastarjelim infrastrukturnim instalacijama vodovoda i odvodnje. Ogromni gubici vode u vodovodnoj mreži, loše odvodnje oborinskih voda i zastarjeli sustavi odvodnje sanitarnih voda uz vibracije izazvane prometom i potresom ogroman su 'krivac' lošeg tla, koje tada u potresnom stanju ne može izdržati dinamička opterećenja. Ovaj pro-

blem posebno je izražen u Zagrebu, o čemu stručnjaci već duže vrijeme upozoravaju gradske vlasti i javnost. Tlo ispod velikog broja objekata u centru grada je nakvašeno i degradirano, te je izgubilo svoju nosivost uslijed čestih problema s puknućem kanalizacije i vodovodnih cijevi. Opasnost je tim veća jer se prilikom razmatranja metoda obnove, ali i buduće protupotresne otpornosti, ne uzima u obzir i trenutno stanje tla i njegova nosivost.

ISKUSTVA NAKON POTRESA U TURSKOJ 1999. GODINE

Tijekom 17. kolovoza 1999. uslijed potresa magnitude 7,4 u Turskoj stotine tro- do šestorokatnih armirano-betonskih zgrada doživjele su pomake temelja različitih intenziteta što je potaklo stručnjake na razmatranje uzroka koji su pogodovali potresu. Naknadna terenska ispitivanja pokazala su da je do slijeganja temelja došlo u velikoj većini objekata čija temeljna tla nisu bila podložna likvefakciji već su okarakterizirana kao 'slaba' tla. (Bakir i sur., 2002; Yilmaz i sur., 2004; Bakir i sur., 2005; Bakir i sur., 2006 – a; Trifunac i Todorovska, 2006; Bakir i sur., 2006. – b).



Posljedice potresa u Turskoj 1999. godine

Bez obzira na to da li su izazvana likvefakcijom ili ne, opsežna popuštanja temelja koja su se dogodila u Adapazariju tijekom zemljotresa 17. kolovoza privukli su svjetski interes istraživača i još jednom potvrdili potrebu posebnog razmatranja seizmičkih karakteristika temelja smještenih na slabim ili tečnim (podložnim likvefakciji) tlima u potresu sklonim područjima. Svijest o ovom posebnom načinu oštećenja povezanih s potresom u Turskoj kao i potreba za procjenu seizmičkih slabosti temelja je povećala provedbu sanacijskih mjera za postojeće građevine kao i one koje će se graditi.

U trenutku potresa do popuštanja temelja može doći zbog dva različita mehanizma: jedan, iako trenutani, nastaje uslijed povećanja sila i

momenata koji se prenose na temelj pri čemu sile drastično premašuju sile u statičkom stanju; drugo, opetovano opterećenje može dovesti do gubitka čvrstoće tla kao u slučaju tla podložnih likvefakciji.

Kako bi se problem s temeljnim tlom riješio, pored obnove podzemnih instalacija potrebno je pristupiti i poboljšanju tla. Većinu klasičnih metoda poboljšanja tla u gradskim sredinama je teško ili nemoguće izvesti zbog nemogućnosti pristupa opreme, ali i buke, te vibracija koje ove metode iziskuju. S druge strane, injektiranje poliuretanskih ekspandirajućih smola nosi sa sobom brojne prednosti te pruža relativno visok stupanj učinkovitosti u odnosu na klasične metode.

U dva primijenjena slučaja seizmičkog poboljšanja nosivosti temelja na postojećim objektima u gradskom okruženju u Turskoj, ubrizgavanje polimera (URETEK®) koristilo se za poboljšanje temeljnih tla koja su u jednom slučaju podložna likvefakciji, a u drugom koja nisu već su prilično slaba tla. Podložnost likvefakciji procjenjuje se konvencionalnim pristupom korištenjem faktora sigurnosti izraženih kao odnos otpornosti na likvefakciju tla u slučaju potresa, oba izražena na osnovi cikličkog naprezanja. Nasuprot tome, u slučaju slabog temeljnog tla, nosivost je procijenjena prema seizmičkom opterećenju prije i nakon injektiranja te su izračunati odgovarajući sigurnosni faktori u odnosu na nosivost temelja. U oba slučaja, poboljšanje tla protumačeno je korelacijama in-situ penetracijskih ispitivanja provedenih prije i nakon injektiranja.

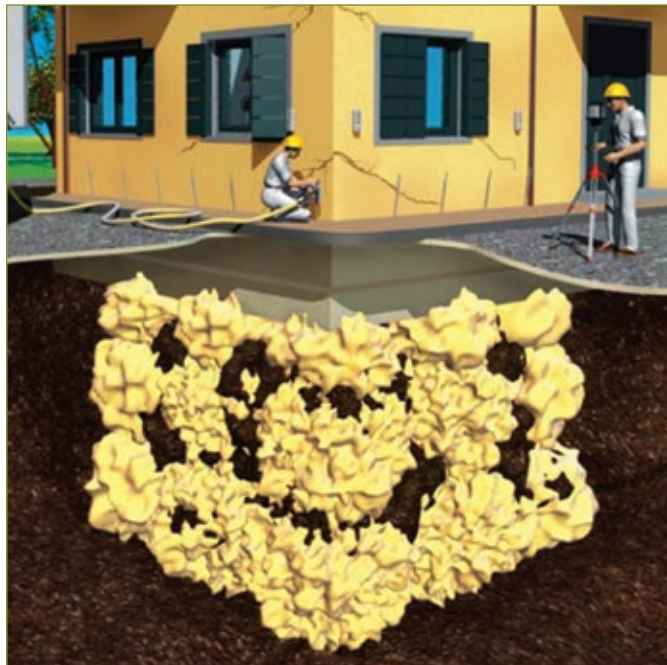
MJERE ZA POBOLJŠAVANJE NOSIVOSTI

Sanacijske mjere za poboljšanje nosivosti temelja mogu se razvrstati u dvije glavne kategorije: jedna je sanacija temeljnih tla, a druga je sanacija temelja. Trošak, izvedba, svojstva tla, utjecaji na okoliš, vrsta temelja i strukturne značajke su razmjerno važni aspekti koje treba uzeti u obzir pri odabiru odgovarajuće metode. Metode sanacije tla u stvari uvelike poboljšavaju čvrstoću tla i otpornost na likvefakciju istovremeno. Konstrukcijske protumjere u osnovi sastoje se od nanošenja stupova ili armirano-betonskih elemenata u temelje. Naravno, planiranja i primjena sanacijskih mjera daleko je jednostavnija i jeftinija nego izgradnja novih građevina. S obzirom na slučaj postojećih građevina, posebno u gradskom okruženju, velika većina raspoloživih metoda u ove dvije široke kategorije nije primjenjiva ili je ozbiljno ograničena zbog pretjerane buke ili vibracija nastalih tijekom izvedbe, veličine potrebne opreme ili zbog ograničene uporabljivosti objekta tijekom izvođenja radova. S druge strane, ojačavanje temeljnih tla metodom injektiranja ekspandirajućih smola ima izuzetne prednosti u pogledu takvih problema u gradskom okruženju i pruža relativno visoku razinu učinkovitosti u usporedbi s mogućim alternativama, posebno za postojeće građevine. Primjena metode sastoji se od ubrizgavanja specifičnih materijala (jaka ekspanzivna smola u slučaju ovdje prikazanih aplikacija) pod kontroliranim pritiscima, dok se strukturalni odziv kontinuirano prati.

POBOLJŠANJE TLA POLIURETANSKIM SMOLAMA

Dubinsko injektiranje ekspandirajućih smola je inovativan način za rješavanje problema slijeganja temelja. Izvorna zamisao dolazi iz Skandinavije, gdje su prvi pokusi izvedeni još 1975. godine. Metoda se zasniva na principu da se ispod temelja injektira posebna dvokomponentna ekspandirajuća smola koja kemijskom reakcijom u tlu ostvaruje tlak do 10000 kPa pri čemu se tlo zbija i ojačava te mu se na taj način trajno povećava nosivost (i do 5 puta). Princip je primjenjiv za rastresita i vezana tla te sve tipove temeljnih konstrukcija, neovisno o vrsti građevinskog materijala.

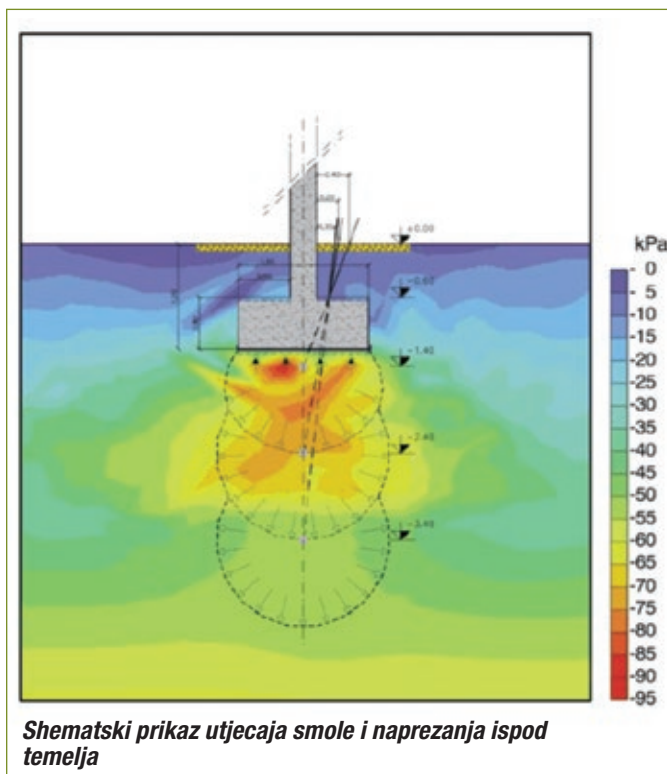
Uobičajeni postupak injektiranja provodi se u tri razine – od najviše, neposredno ispod temelja, pa sve do dubine od oko tri metra ispod temelja (manje ako se naiđe na tvrdi podlogu). Po potrebi može se izvesti i na više razina u većim dubinama (do 15 metara). Postupak je brz, jednostavan i prilično efikasan u usporedbi s drugim metodama sanacije. Prilikom izvedbe nije potrebno kopanje jer se smjesa u tlo injektira kroz prethodno izbušene rupe, odnosno cijevi. Promjer cijevi varira između 6



Ilustrativni prikaz djelovanja smole ispod temelja

i 26 milimetara, dok njihova duljina može biti od nekoliko centimetara pri stabilizaciji podova i pločnika do nekoliko metara za zahvate na većim dubinama ispod temelja zgrada i drugih većih objekata. Bušenje se provodi kroz samu temeljnu konstrukciju ili pored nje pritom obuhvaćajući područje tla predviđeno za potrebe ojačanja. Razmak između rupa prilagođava se vrsti temeljnog tla.

Injektiranje započinje dok je smola još u tekućem stanju nakon čega u nekoliko minuta ista stvrdnjava te povećava svoj volumen i do 15 puta. Smjesa je lagana i u tlu ne stvara dodatna opterećenja, a njena



Shematski prikaz utjecaja smole i napreznja ispod temelja

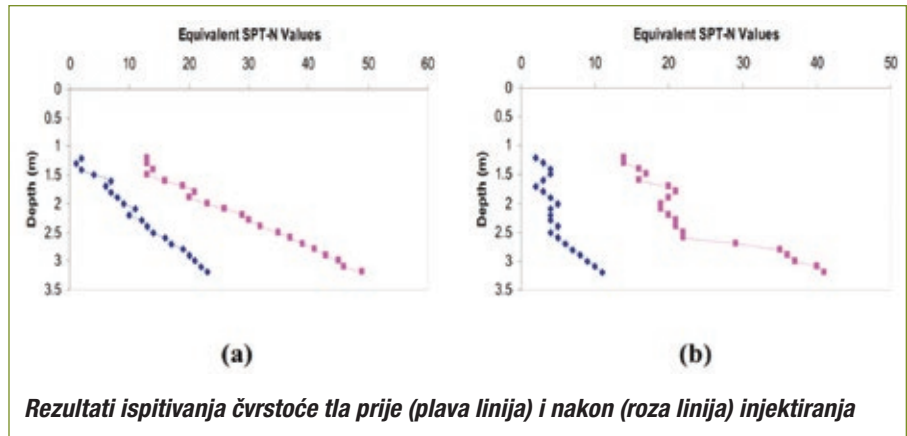
ekspanzija je rezultat vrlo stabilne kemijske reakcije koju je moguće točno kontrolirati. Zbog navedenih prednosti, ekipa stručnjaka pomoću nje dnevno može sanirati 10 – 12 metara dužnih temelja. Krajnji rezultat primjene ove metode sanacije je stabilizirano i trajno konsolidirano temeljno tlo.

Komercijalna smjesa URETEK®, korištena na objektima predstavljenim u ovom tekstu, predstavlja inertni ekspanzivni polimer. Zbog svoje kemijske teksture, lako se može probiti u tla čija je početna propusnost (permeabilnost) čak 10^{-6} m/s. Vrijeme injektiranja URETEK® smole prilično je kratko, gotovo trenutno. Jedan sat je dovoljan da se postigne većina krajnje čvrstoće na pritisak. Ipak, konačna čvrstoća smole postiže se nakon približno postavljenog vremena od 24 sata. Promatranja i laboratorijski testovi pokazuju da nakon što se ubrizgana smola stvrdne ne dolazi do značajne reakcije s okolnim prirodnim materijalima ili materijalima koji se koriste u građevinskoj industriji.

Grafovi prikazuju rezultate ispitivanja otpora tla penetrometrom (SPT) prije i nakon poboljšanja tla ekspandirajućom smolom na dvije različite pozicije (a i b). Za temelje su prije sanacije tla izračunati faktori sigurnosti za statička i seizmička opterećenja oko 2,5 i 1,4. Nakon sanacije tla oni su se povećali na 7, odnosno 4,3.

ZAKLJUČAK

Ekspanzivno ubrizgavanje polimera poboljšava otpornost tla kroz dva različita načina, ovisno o vrsti tla i načinu injektiranja: prvo, u dijelovima tla kroz koje se smola impregnira, prazni prostor u tlu ispunjava ekspanzivna smola i daje se kemijska veza između čvrstih čestica



Rezultati ispitivanja čvrstoće tla prije (plava linija) i nakon (roza linija) injektiranja

koje čine tlo; drugo, zbog ekspanzivnog karaktera smole, ubrizgano tlo se povećava u volumenu, vršeći značajne pritiske na okolinu što rezultira povećanjem efektivnog naprezanja i smanjenjem praznina (sabijanja) u masi tla. Kombinirani učinak omogućuje značajno poboljšanje čvrstoće tla, a samim tim i otpornost na prodiranje DPM, odnosno SPT opreme za ispitivanje.

Iz prikazanih slučajeva primjene pokazano je da se ekspanzivno ubrizgavanje polimera može učinkovito koristiti za jačanje temeljnih tla protiv oštećenja povezanih s potresom. Na temelju rezultata ispitivanja penetracije provedenih za ocjenu kvalitete poboljšanja, metoda je jednako učinkovita kao i korektivna mjera protiv likvefakcije na krupnozrnatim tlima, kao i u jačanju slabih aluvijalnih naslaga. Također, treba napomenuti da je penetracijsko testiranje (DPM, SPT...) održivo i praktično sredstvo za in situ procjenu učinkovitosti primjene.

Ovo dokazuje i primjena ekspandirajućih polimera tipa URETEK u području grada Za-

greba i okolici u svrhu poboljšanja tla prije potresa – na pedesetak objekata (Haulikova, Palmotičeva, Francuske Republike, Žajina, Zagrebačka, Remete, Svetice, Borongaj, Nespeš, Blaguša, Zelina...) pokazala je odlične rezultate s malim ili gotovo nikakvim novim posljedicama na konstrukciju uslijed potresa.

Prilikom analize i ispitivanja temeljnog tla kojeg je tvrtka TAUS izvršila na dvadesetak objekata u Zagrebu nakon potresa, pokazalo se da je tlo na oštećenim objektima u većini slučajeva loše i nestabilno. Čak i da objekt inicijalno nije imao problema s temeljnim tlom, tijekom potresa je moglo doći do lokalnih efekata likvefakcije, a time i do slijeganja tla i pojave novih šupljina ispod temelja. Zbog svega navedenog trebalo bi prije sanacije konstrukcije provjeriti stanje tla i temelja i poduzeti zahvate u tlu koji će spriječiti daljnje slijeganje i pojavu novih oštećenja, ukoliko je to potrebno. Bez toga, niti najskuplja konstruktivna sanacija neće polučiti željeni efekt. **PRO**



Iskop tla nakon injektiranja smolom