



Sveučilište u Zagrebu
**RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET**

G

F

Sveučilište
u Rijeci
**Građevinski
fakultet**

Potres u Petrinji M6,2 od 29.12.2020: izvješće o inženjerskogeološkoj i geotehničkoj prospekciiji

Snježana Mihalić Arbanas, Željko Arbanas, Martin Krkač, Sanja Bernat Gazibara, Vedran Damjanović, Marko Sinčić, Petra Jagodnik, Vedran Jagodnik

Sažetak

U ovom izvješću prikazani su rezultati inženjerskogeološke i geotehničke prospekcije koju su proveli inženjerski geolozi i geotehničari s RGN fakulteta i Građevinskog fakulteta u Rijeci neposredno nakon razornog potresa u Petrinji M6,2 od 29.12.2020. Svrha prospekcije provedene od 3. do 7. siječnja 2021. bila je utvrđivanje seizmički induciranih efekata na području veličine 1250 km² oko glavnog rasjeda. Prospekcijom je utvrđeno pojavljivanje tri tipa klizišta (mehanizmima klizanja, bočno razmicanja i odronjavanja), vrtače usijedanja i likvefakcija. Svi podaci prikupljeni prospekcijom su sustavno evidentirani u GIS bazi podataka. Sustavna evidencija svih induciranih efekata naposljedno nakon potresa na području na koje je potres utjecao, važna je da se mogu definirati mjere zaštite ljudi, a također i mogućnosti za kasnije mjere oporavka i sanacije. Ovo su dugoročno vrijedni ulazni podaci za izradu tematskih podloga za prostorno planiranje i definiranje uvjeta gradnje u seizmičkim područjima.

Ključne riječi

lokalni uvjeti tla, inducirani efekti, klizanje, bočno razmicanje, odronjavanje, likvefakcija, vrtače

Uvod

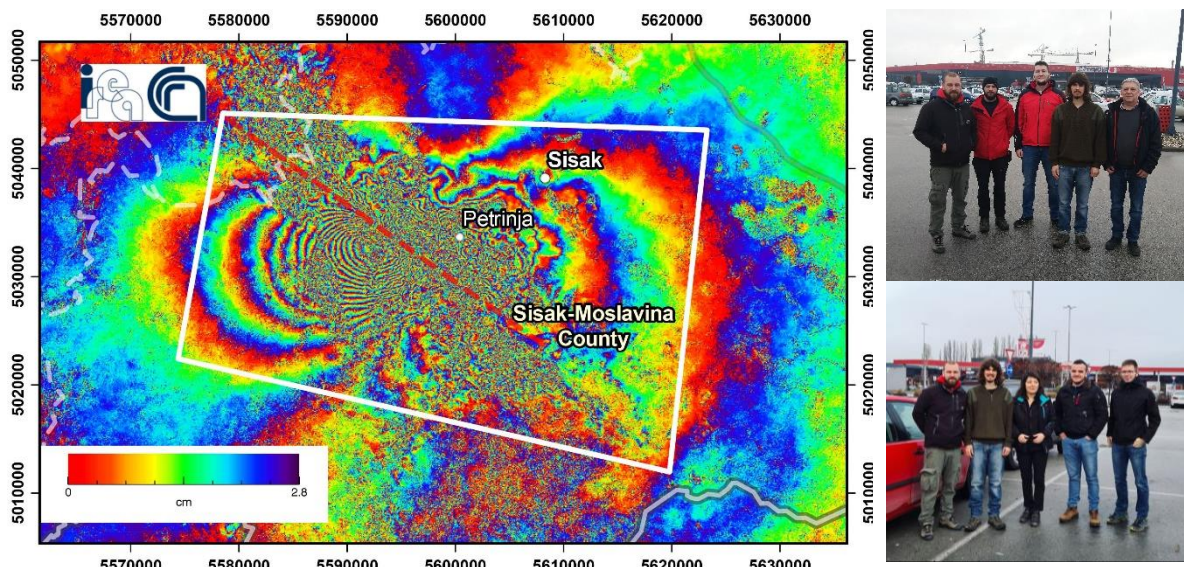
Tijekom mnogih potresa zapaženo je da na visinu i rasprostranjenost šteta značajno utječu **lokalni uvjeti tla**. U lokalne uvjete tla ubraja se nekoliko vrsta učinaka, a to su **efekti tla**, **topografski efekti** i **inducirani efekti** (eng. induced effects) potresa koji proizlaze iz lokalnog sastava tla, reljefa, kao i pokrenutih opasnih (hazardnih) procesa (Mihalić i dr. 2009). U slučaju jakih potresa, magnitude $M > 6$, pod određenim okolnostima kod valova velikih amplituda nastaju hazardni procesi koji se u stručnoj literaturi nazivaju inducirani efekti, a to su **klizišta** i **likvefakcija**. Zadatak inženjerskih geologa i građevinara-geotehničara je evidentirati te procese neposredno nakon potresa, kako bi se mogla procijeniti šteta koju su prouzročili. Također je važno znati da određeno vrijeme nakon potresa ovi procesi mogu i dalje nastajati i pokretati druge štetne procese, te na taj način dodatno ugrožavati ljude i materijalna dobra na zahvaćenom području. Ove procese nužno je sustavno evidentirati nakon potresa na području na koje je potres utjecao, kako bi se mogle definirati mjere zaštite ljudi, a također i mogućnosti za kasnije mjere oporavka i sanacije.

Razorni potres M 6.2 zatekao nas je 29.12.2020. u 12:19 sati na aktivnom klizištu u Prnjavoru Čuntićkom, samo

10 km zračne linije udaljenom od epicentra potresa. U tom trenutku, za to selo i mještane, najveća opasnost od potresa bilo je aktiviranje klizišta zbog potresanja, jer postoji opasnost da se oko 300.000 m³ klizne mase pokrene i da zatrpa 10-ak kuća koje se nalaze u podnožju klizišta. Na temelju vlastitog iskustva na klizištu u vrijeme potresa, očekivali smo aktiviranje i drugih klizišta na širem području oko epicentra, što je kasnije i potvrđeno. Međutim, na povratku iz Petrinje, uočili smo i pojave likvefakcije kod sela Brest Pokupski. Znajući koliko je to štetan proces i da zahvaća vrlo velika područja, detaljno smo pregledali teren oko ulice Desni odvojak, a kolega Vedran Damjanović je dronom snimio cijelo zahvaćeno područje. Snimak možete pogledati na YouTube kanalu RGN fakulteta¹. Na osnovi ovog snimka odmah smo utvrdili da je samo ova zona likvefakcije veličine oko 15 hektara te da je nužno koristiti i dron u terenskim izvidima zona likvefakcije.

Tim sastavljen od 15 znanstvenika, nastavnika i studenata s dva fakulteta, RGN fakultet u Zagrebu i Građevinskog fakulteta u Rijeci, obavio je terenske izvide neposredno nakon potresa od 3. do 7. siječnja 2021. na području približne veličine oko 1.250 km² oko glavnog rasjeda (slika 1) na kojemu je bio hipocentar potresa, a kako bi evidentirali seizmički inducirane efekte potresa.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=5SmBIhfsVjY>



Slika 1 Obuhvat područja inženjerskogeološke i geotehničke prospekcije (bijela linija) oko glavnog rasjeda prikazan je na Sentinel-1 interferogramu (za razdoblje 18.12.2020–30.12.2020) dobivenom od kolege R. Lanari-ja iz CNR IREA (CNR Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment in Naples). Neki od timova za terenske obilaske sastavljeni od znanstvenika, nastavnika i studenata s dva fakulteta, RGN fakultet u Zagrebu i Građevinskog fakulteta u Rijeci.

Inženjerski geolozi i geotehničari bilježili su lokacije opasnih pojava, štete i rizike, kako bi na temelju tih podataka mogli upozoriti nadležne institucije civilne zaštite (Ravnateljstvo civilne zaštite) i Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine.

Terenska i kabinetska istraživanja proveli su profesori, znanstvenici i studenti s RGN fakulteta u Zagrebu: prof. dr. sc. **Snježana Mihalić Arbanas**, doc. dr. sc. **Martin Krkač**, dr. sc. **Sanja Bernat Gazibara**, asistent **Vedran Damjanović**, mag. ing. geol., asistent **Marko Sinčić**, mag. ing. geol., studentica **Marta Caren**, bacc. uni. ing. geol., studentica **Josipa Maslač**, bacc. uni. ing. geol., studentica **Katarina Mišić**, bacc. uni. ing. geol. i student **Marko Kapelj**, bacc. uni. ing. geol.

S Građevinskog fakulteta u Rijeci u istraživanjima su sudjelovali sljedeći profesori, znanstvenici i studenti: prof. dr. sc. **Željko Arbanas**, doc. dr. sc. **Vedran Jagodnik**, dr. sc. **Petra Jagodnik**, dr. sc. **Josip Peranić**, student **Nikola Trbović**, bacc. uni. ing. aedif. i studentica **Magdalena Špoljarić**, bacc. uni. ing. aedif.

Sustavni izvidi šireg područja oko glavnog rasjeda pokazali su da su se na području veličine 1.250 km² pojavile sljedeće vrste seizmički induciranih efekata potresa M 6,2 od 29.12.2020: likvefakcija, tri tipa klizišta (klizanje, bočno razmicanje i odronjavanje) i vrtače usijedanja. Svi podaci prikupljeni prospekcijom su uneseni u GIS bazu podataka kako bi se mogle pratiti pravilnosti pojavljivanja određenih vrsta procesa ovisno o geološkoj građi i geomorfološkim uvjetima, što je osobito važno zbog heterogene geološke građi.

Klizišta

Klizanje

Najveći broj identificiranih klizišta nastao mehanizmom klizanja registriran je u nasipima cesta, manji dio u prirodnom tlu, a uglavnom se radi o plitkim klizištima. Njihova sanacija moguća je standardnim inženjerskim metodama, a neposredno nakon nastanka nužna je signalizacija na prometnicama na mjestima oštećenja kolnika.



Slika 2 Plitko klizište na cesti kod naselja Donji Hruševac registrirano 4.1.2021.

Izrazito je opasno veliko, srednje duboko klizište u naselju Prnjavor Čuntićki zbog toga što je potres izazvao povećane pomake klizišta prema obiteljskim kućama koje su dobile zelenu markicu. Iako je proces vrlo spor, neizvjesno je kada će se klizište ubrzati toliko da klizna masa ošteti ili sruši kuće. Ova izrazito rizična situacija iziskuje rano upozoravanje, odnosno alarmiranje u svrhu evakuacije stanovnika.

Bočno razmicanje

Registiran je veći broj pojava klizišta mehanizmom bočnog razmicanja. Ova vrsta klizišta do sada u Republici Hrvatskoj nije evidentirana, a sada su nastala isključivo zbog pomaka tla na slojevima pijeska na većim dubinama, povezano s pojavom likvefakcije. Posljedično, pojave bočnog razmicanja su dubine nekoliko metara, moguće do 15 m. Bočno razmicanje se na površini odražava otvaranjem subvertikalnih pukotina što je dovelo do oštećenja nasipa, prometnica i okućnica (slika 3) zbog bočnog razmicanja koje je također i prijetnja za obiteljske kuće.



Slika 3 Pukotina nastala bočnim razmicanjem u naselju Bok Palanjački; registrirano 3.1.2021.

Odronjavanje

Odronjavanje također predstavlja vrstu klizišta, a kao posljedica razornog potresa nastao je vrlo mali broj odrona. Jedan odron je registriran na prometnici (slika 4), a drugi je veći odron visoko u šumi iznad naselja, koji zbog svoje udaljene lokacije ne predstavlja prijetnju za ljude ili građevine.



Slika. 4 Odron na cesti prema mjestu Pecki nastao 29.12.2020.; registrirano 3.1.2021.

Vrtače usijedanja

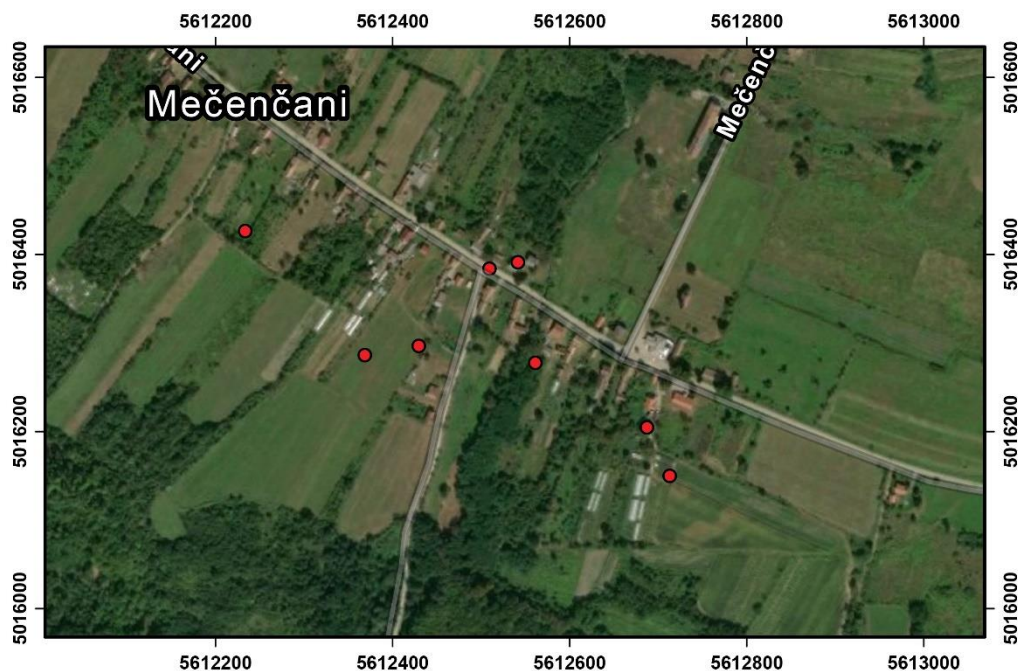
Jedna od najopasnijih pojava nastala kao posljedica ovog potresa su i vrtače usijedanja koje se manifestiraju stvaranjem rupa okruglog ili elipsastog oblika na površini (slika 5, 6). Istraživači s RGNF-a i Građevinskog fakulteta u Rijeci ukupno su zabilježili 8 vrtača koje su nastale uslijed prirodnih uzroka i dvije vrtače koje su nastale kao posljedica ispiranja materijala u blizini komunalne infrastrukture. Promjeri 7 vrtača nastalih u selu Mečenčani (Općina Donji Kukuruzari) neposredno nakon glavnog potresa do 5. siječnja 2021. godine su 1,5 do 10-ak metara. Najveća vrtača promjera oko 15-20 m nastala je 6. siječnja 2021. godine od 12 do 14 sati, na temelju čega se zaključuje da postoji velika vjerojatnost nastanka novih pojava na tom području. S obzirom da je pojava vrtača vezana za područje specifične geološke



Slika 5 Vrtača nastala u naselju Mečenčani usijedanjem aluvijalnih naslaga zbog propadanja u kaverne u okršenoj stijeni podloge; registrirano 3.1.2021.



Slika 6 Vrtača nastala u naselju Mečenčani usijedanjem aluvijalnih naslaga zbog propadanja u kaverne u okršenoj stijeni podloge; registrirano 2.1.2021. Jedan dan kasnije vidljivo je proširenje vrtače urušavanjem strmih stijenki.



Slika 7 Osm vrtača usijedanja nastalih u naselju Mečenčani usijedanjem aluvijalnih naslaga zbog propadanja u kaverne u okršenoj stijeni podloge; registrirano 2.-3.1.2021.

građe materijala na površini i plitko ispod površine, ova opasnost je prisutna samo na određenim područjima. Iz rasporeda 8 registriranih vrtača (slika 7), vidljivo je da su sve nastale na području ukupne veličine oko 1 km², što ukazuje na veliku potencijalnu opasnost od nastanka novih vrtača u tom dijelu naselja.

Pojave vrtača prijavljivali su stanovnici na broj 112. O opasnim pojavama vrtača i viskom riziku kojemu su izloženi ljudi na tom prostoru, obaviješten je Stožer civilne zaštite, odnosno Ravnateljstvo civilne zaštite.

Likvefakcija

Pojava likvefakcije

Kao jedna od posljedica potresa u Petrinji (M=6.2 29.12.2020. u 12.19 sati) registrirana je i pojava likvefakcije slojeva pijesaka u podlozi površinskih naslaga na području gradova Petrinje, Siska i Gline i njihove okolice. Likvefakcija je nagli gubitak čvrstoće rahlih slojeva pijeska zasićenih vodom uslijed djelovanja seizmičkih valova izazvanih potresom (Szavits-Nossan 1986). Javlja se kod potresa magnitude M=6.0 i više. Posljedice

likvefakcije očituju se u tonjenju i nagnjanu građevina na likvefiranom zemljištu, pojavi pukotina na površini tla, bočnom razmicanju tla, pojavi klizišta, izbacivanju vode i pijeska i formiranju stožaca pijeska na površini terena (slika 8), izbacivanju ukopanih instalacija i rezervoara iz tla (slika 9), rušenju obalnih konstrukcija i drugim pojavama. Pojednostavljeno opisano, sloj pijeska ispod površine tla i ispod razine podzemne vode se uslijed potresanja tijekom potresa pretvara u tekućinu, a gornji slojevi tla izazivaju pritisak u tom trenutno tekućem sloju. Tekućina pod pritiskom izbija na površinu povlačeći za sobom pijesak i to traje sve dok se ne uspostavi ravnoteža pritiska u vremenskom razdoblju od oko jedan sat nakon nastanka potresa. Površinski čvršći slojevi tla praktično „zaplivaju“ na tekućem sloju i nastupa njihovo pomicanje (bočno širenje) uslijed potresanja. Likvefakcija je dobro poznata pojava u svijetu, a najpoznatije pojave su bile u Niigati (Japan, 1964), Anchorage (Alaska, 1964) i Christchurchu (Novi Zeland, 2011). Prema povijesnim zapisima, kod nas se likvefakcija dogodila nakon Zagrebačkog potresa 1880. godine i nikad kasnije. Važno je napomenuti da slabiji potresi koji slijede glavni potres ne mogu izazvati novu pojavu likvefakcije.



Slika 8 Stošci pijeska kraj Bresta Pokupskog. Rupe ukazuju na mjesta izbacivanja pijeska u liniji koja predstavlja pukotinu razmicanja. Pijesak sada više ne predstavlja nikakvu opasnost.

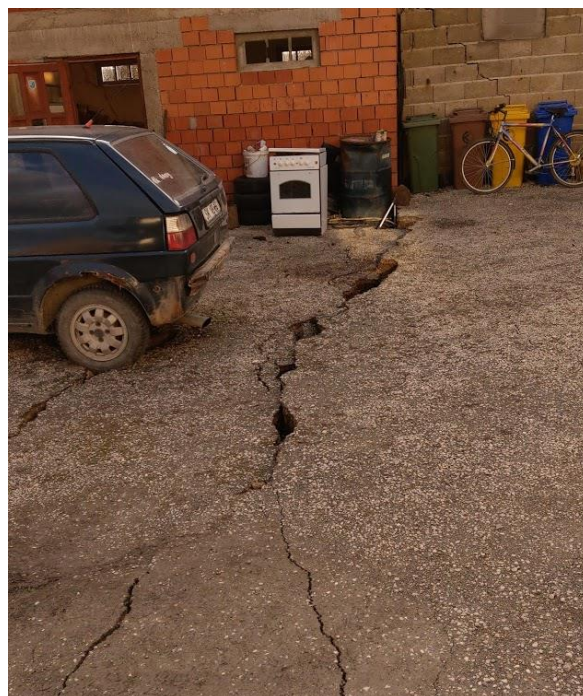
Zone likvefakcije

Tlo ispod površinskog sloja debljine oko 6 m na području gradova Petrinje, Siska i Gline izgrađuju naslage pijeska nastale poplavlivanjem Kupe, Save i Gline, a zbog visoke razine podzemne vode te naslage pijeska su zasićene vodom. Potres u Petrinji imao je dovoljno veliku magnitudu da pokrene takav proces i prema našim istraživanjima ustanovljene su (za sada) ukupno 32 zone

zahvaćene likvefakcijom i to unutar urbanih dijelova gradova (slika 9) Petrinje (2 zone), Siska (3 zone) i Gline (3 zone) kao i u njihovim okolnim naseljima (Brest Pokupski, Žažina, Letovanić, Palanjak, Hrastelnica, Erdedska Tišina, Dvorišće i druga). Najvećaoštećenja likvefakcija je izazvala u naseljima Brest Pokupski (slika 10) i Bok Palanjački (slika 11). U Naselju Brest Pokupski



Slika 9 Oštećenje kolničke konstrukcije u Ul. Nikole Šipuća u Sisku. Uslijed likvefakcije izbačen je dio instalacija prema površini. Ovakvi primjeri brojni su u Sisku, Petrinji i Glini i okolici.



Slika 10 Pukotine uslijed razmicanja tla u naselju Brest Pokupski zbog likvefakcije registrirane 29.12.2020. Pukotina se pruža oko 400 m kroz naselje Brest Pokupski i prolazi ispod 5 građevina.



Slika 11 Pukotina na cesti u Boku Palanjačkom. Pukotina ulazi u naselje, a dio naselja pomaknuo se prema Savi (desno) za procijenjeno 30 cm.

likvefakcija je zahvatila područje u duljini od oko 700 m i širini od oko 120 m. Uslijed potresanja dio naselja se pomaknuo po pukotini dugačkoj oko 400 m kroz cijelo naselje, a pukotina je u dijelu prošla kroz građevine i izazivala odvajanje dijelova građevina. Dio građevina unutar likvefiranog područja je „potonuo“ u tlo. U naselju Bok Palanjački dio naselja je pomaknut prema Savi za približno 30 cm, što je procijenjeno na osnovi vidljivih pukotina, a točnije vrijednosti znat ćemo nakon analize satelitskih snimaka koje provode naše kolege iz Italije. Područje naselja Palanjak je u cijelosti zahvaćeno likvefakcijom na području od približno 800 m duljine i širine oko 600 m i cijelo naselje je pomaknuto prema



Slika 12 Pukotina na nasipu uz Savu u Galdovu, Sisak snimljena 3.1.2021. Pukotine su posljedica razmicanja tla. Lijevi dio na slici pomaknuo se prema Savi i nastale su vertikalne duboke pukotine.

Savi za oko 20 cm. Velika šteta nastupila je i na nasipima uz Savu (slika 11) i Kupu. Bočno razmicanje na nasipima izazvalo je duboke pukotine koje značajno umanjuju funkcije zaštite nasipa, pa su nužno poduzeti radovi za njihovo pojačanje koje provode Hrvatske vode. Most Brest preko Kupe također je oštećen zbog likvefakcije ispod nasipa pristupnih cesta prema upornjacima mosta. Štete uslijed likvefakcije uglavnom su nastupile za vrijeme i neposredno nakon potresa, ali se mogu očekivati i dugotrajna slijeganja građevina i tla kroz slijedeća dva mjeseca koja mogu izazvati i dodatne manje štete na građevinama.



Slika 12 Zona likvefakcije u naselju Palanjak snimljena dronom V. Damjanovića 5.1.2021. godine.



Slika 14 Izbacivanje pijeska kroz bunar u Letovaniću. Likvefirani sloj pijeska izlazi na površinu pa su brojni bunari ispunjeni pijeskom.

Daljnja istraživanja likvefakcije

Kako je već rečeno, pojava likvefakcije pojavila se nakon 140 godina u Hrvatskoj, i osim znanstvenih istraživanja i poznavanja iskustva u svijetu, ova pojava nije razmatrana u inženjerskoj praksi u Hrvatskoj. S obzirom na iskustva u svijetu odlučili smo provesti detaljnu evidenciju svih nastalih pojava likvefakcije evidentiranih na području zahvaćenom potresom, kako bi se na temelju prikupljenih podataka mogla izraditi odgovarajuća baza podataka. Ovi podaci, prikupljeni u skladu s iskustvima zemalja s bogatim iskustvom u tom području (Japan, Novi Zeland, Italija, USA), kao i poznati podaci iz provedenih istražnih radova na istom području, omogućit će provođenje detaljnih analiza nastalih pojava i posljedica likvefakcije.

Također će se provesti i detaljna laboratorijska istraživanja ovih materijala. Pijesci uzeti na lokacijama likvefakcije već su djelomično ispitani u Geotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta u Rijeci, koji je u potpunosti opremljen za ispitivanje dinamičkog ponašanja tla. To bi trebala biti osnova za izradu seizmičkog i geotehničkog mikrozoniranja na području ovog dijela Sisačko-moslavačke županije, podloge koja trebaju poslužiti za definiranje uvjeta gradnje na ovom prostoru uvažavajući uvjete mogućnosti pojave ovakve nepovoljne pojave kao seizmički induciranog efekta, odnosno posljedice jakih potresa. Ta saznanja svakako treba primijeniti i prilikom odabira mjera sanacije potresom oštećenih građevina i odabira novih lokacija za gradnju.

Pojava likvefakcije kao posljedica Petrinjskog potresa svakako bi trebala imati utjecaj i na **Procjenu rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku**. U Procjeni iz 2019. godine potres je usvojen kao jedna od katastrofa, ali likvefakcija nije razmatrana kao posljedica potresa. S obzirom da u Republici Hrvatskoj postoje i

druga područja koja mogu doživjeti potres iste ili slične magnitude i intenziteta, a izgrađena su od naslaga koje posjeduju značajke da u istima može nastupiti likvefakcija, bilo bi nužno provesti **zoniranje opasnosti na likvefakciju** u tim područjima. Takva zoniranja i uputstva za gradnju u takvim područjima, a kao bi se izbjegle buduće negativne posljedice i ljudske žrtve budućih jakih potresa u Hrvatskoj, bila bi možda i jedini pozitivan doprinos Petrinjskog potresa. Ova iskustva ne smiju biti zanemarena i moraju biti iskorištena u cilju veće **sigurnosti buduće gradnje u seizmičkim područjima** u Republici Hrvatskoj.

Zahvala

Zahvaljujemo studentima RGN fakulteta i Građevinskog fakulteta u Rijeci koji su volonterski sudjelovali u terenskom istraživanju i kartiranju seizmički induciranih efekata neposredno nakon potresa 3.7.1.2021. Hvala studenticama Marti Caren, bacc. uni. ing. geol., Josipi Maslač, bacc. uni. ing. geol., Katarini Mišić, bacc. uni. ing. geol. i Magdaleni Špoljarić, bacc. uni. ing. aedif., kao i studentima Marku Kapelju, bacc. uni. ing. geol. i Nikoli Trboviću, bacc. uni. ing. aedif.

Literatura

- Mihalić S, Salković I, Kvasnička P, Oštrić M, Krkač M (2009) **Procjena lokalnih uvjeta tla i mikrozoniranje**. Zbornik 5. savjetovanja Hrvatskog geotehničkog društva „Izvori rizika u geotehničkim zahvatima“, Osijek, 1-12.
- Szavits-Nossan A (1986), **Kontroverze oko likvefakcije**. Zbornik IV kongresa Saveza društava za seizmičko građevinarstvo Jugoslavije, Cavtat, 117-124.

Poveznice

- https://www.novilist.hr/novosti/hrvatska/likvefakcija-u-hrvatskoj-nije-videna-punih-140-godina-zasto-se-otvorilo-tlo-na-baniji-i-sto-nas-sada-ceka/?meta_refresh=true
- <https://web.facebook.com/istrazivackiprojektprimier>
- https://www.instagram.com/pri_mjer/

prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas (✉)

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
e-mail: smihalic@rgn.hr

prof. dr. sc. Željko Arbanas (✉)

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
e-mail: zeljko.arbanas@gradri.uniri.hr