

Želimir Veinović, Predrag Kvasnička Vladimir Jurak

GEOHAZARDNO OBILJEŽJE PRISAVSKE RAVNICE NA PODRUČJU ZAGREBA

GEOHAZARD CHARACTERISTICS OF THE SAVA RIVER PLAIN NEAR ZAGREB

Ključne riječi: *likvefakcija, prisavska ravnica, potres, zoniranje, karta*

Keywords: *liquefaction, Sava River Plain, earthquake, zonation, map*

SAŽETAK

Godine 1880. Zagreb je pogodio potres procijenjene magnitude 6,3 uz koji se veže nekoliko pojava likvefakcije. U radu je predstavljen prvi pristup određivanju potencijala likvefakcije za prisavsku ravnicu na području Zagreba, prema „Eurokodu 8“, „Priručniku za zoniranje prema seizmičkim geotehničkim hazardima“ (1999) te svjetskim iskustvima i dostignućima vezanim uz likvefakciju. Određena je apsolutna starost uzoraka fosilnog drveta s pet lokacija, metodom 14C, što predstavlja jedina ispitivanja ove vrste provedena na području Zagreba u svrhu određivanja apsolutne starosti savskih taložina radi procjene njihove likvefabilnosti. Rezultat istraživanja je preliminarna kvalitativna prognostička karta potencijala likvefakcije za područje Zagreba.

SUMMARY

During the 1880 Zagreb earthquake, with magnitude 6.3, liquefaction occurred at several locations. In the paper the first approach of evaluation for liquefaction susceptibility of Sava sediments in vicinity of Zagreb is presented. Evaluation has been performed according to “Eurocode 8”, “Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards” (1999) and state-of-the-art reports on liquefaction. Absolute dating (14C) of fossilized trees samples collected at five locations has been performed, which represents the only experiments of this kind performed for River Sava deposits at Zagreb area related to evaluation for liquefaction susceptibility. Result of the evaluation for liquefaction susceptibility is preliminary qualitative prognostic map of liquefaction potential for Zagreb area.

1 UVOD

Teško je predvidjeti položaj epicentra i trenutak pojave potresa, ali ponašanje tla i štete na površini mogu se predvidjeti ako su poznati podaci o geološkim i geotehničkim značajkama tla, te seizmičnost područja. Prenošenjem tih podataka na kartu dobije se karta seizmičkog zoniranja, odnosno karta seizmičkog hazarda, koja se može koristiti kao podloga za projektiranje i izgradnju, te za izradu planova postupanja u slučaju opasnosti. Moguća primjena tih karata je raznolika i uključuje:

1. prepoznavanje prema geološkom kriteriju "ranjivih" područja s važnim objektima;
2. odabir lokacija za nove objekte;
3. poboljšanje gradnje prema kriteriju seizmičnosti;
4. prepoznavanje područja visokog rizika koja zahtijevaju posebna ispitivanja ili ograničenu gradnju/razvoj;
5. procjenu visine iznosa za osiguranje imovine;
6. procjenu rizika;
7. ustanovljavanje strožih zahtjeva za gradnju gdje je to potrebno.

Jedno od geohazardnih obilježja za koja se izrađuju zonacijske karte svakako je i karta hazarda od likvefakcije.

Zagreb je grad s dugom poviješću seizmičke aktivnosti koja se ne smije zanemariti. Godine 1880. Zagreb je pogodio potres uz koji se veže nekoliko dobro dokumentiranih pojava likvefakcije [1] – geohazardnog događaja koji za posljedicu može imati rušenje, tonjenje ili naginjanje objekata, aktiviranje klizišta ili iznošenje ukopanih objekata na površinu. Cilj rada je prikaz procijenjenog potencijala likvefakcije za prisavsku ravnicu na području Zagreba u svrhu sigurnijeg projektiranja i gradnje. Obzirom da do sada nije provedeno sustavno ispitivanje mogućnosti pojave likvefakcije u nizinskom području Zagreba, osim ispitivanja provedenih za potrebe pojedinih važnijih objekata [2], u radu je predstavljen prvi pristup procjene mogućnosti pojave likvefakcije na području Zagreba. Osnova za zoniranje postavljena je prema Eurokodu 8, Priručniku za zoniranje prema seizmičkim geotehničkim hazardima te posljednjim svjetskim iskustvima i dostignućima vezanim uz likvefakciju, s lokalnim značajkama materijala tla uzetim u obzir. Kriteriji za procjenu potencijala bili su geološki, geomorfološki, stratigrafski, hidrogeološki, seizmološki i, općenito, inženjerskogeološki.

2 POJAVA LIKVEFAKCIJE

Pri odgovarajućim uvjetima, stabilna nekoherentna tla i krupnozrnati prahovi s većom posmičnom čvrstoćom mogu izgubiti čvrstoću i pretvoriti se u viskoznu tekuću masu, što se naziva likvefakcijom tla [3].

Saturirani mladi pijesci i prahovi tijekom potresa često likvefiraju s iznenađujućim posljedicama – na površini terena pojavljuju se gejziri vode s kupama pijeska i praha u obliku vulkana (engl. – sand boils; kasnije u tekstu: muljni vulkani), materijal se silom "injektira" u pukotine, zgrade i drugi objekti na površini se naginju, prevrću ili tonu u likvefirani materijal, a ukopani objekti male gustoće uslijed uzgona izlaze na površinu. U nekim slučajevima nekoherentni materijali unutar podzemskih kosina također likvefiraju pod utjecajem potresa premda se ovaj proces ponekad pojavljuje i spontano. Tečenje vode (pornog fluida) prema gore do površine terena manifestira se površinskim pokazateljima likvefakcije kao što su muljni vulkani (slika 1). Takve manifestacije, koje se redovito pojavljuju u slučajevima potresima izazvane likvefakcije tla, predstavljaju zabilježeni dokaz pojave likvefakcije tijekom zagrebačkog potresa iz 1880. godine [1].



Slika 1. Muljni vulkan u El Centru u Kaliforniji, SAD; potres iz 1979., $M=6,9$ [4]

Pod pretpostavkom da se stup vodom saturiranog nekoherentnog tla iznad elementa tla na dubini h ispod površine terena ponaša kao kruto tijelo, su proračunato je [5] da se maksimalno posmično naprezanje koje djeluje na element tla tijekom potresa može izraziti kao:

$$(T_{xz})_{\max} = (\gamma h) a_{\max} \quad (1)$$

gdje su:

- γ – jedinična težina tla (uključujući pornu vodu);
- a_{\max} – maksimalna površinska akceleracija.

Podložnost likvefakciji se ne smanjuje s ponavljanjem potresa koji ju izazivaju, premda se manja učestalost ponavljanja tog procesa pokazuju učinkovitima u smislu povećanja gustoće slaganja [6]. U radu [7] izvještava se o nekim uzorcima koji mogu ponovno likvefirati (relikvefakcija) i o uzorcima koji mogu likvefirati lakše nego ranije iako su prošli jaka ciklička naprezanja pa im je i slaganje čestica gušće.

3 ZONIRANJE PO POTENCIJALU LIKVEFAKCIJE

Jedan od razloga za seizmičko zoniranje Hrvatske svakako je integracija u Europsku uniju koja, u okviru normizacije prema Eurokodu, između ostalog predviđa i traži od svake članice zoniranje prema geohazardima i izradu pripadajućih karata zonacije. Između ostalog, predviđeno je i zoniranje prema hazardu od likvefakcije. Eurokodom 8 [8] propisuje se da nadležne državne institucije provedu seizmičko zoniranje svojih teritorija prema lokalnom hazardu (!).

Zoniranje prema seizmičkim geotehničkim hazardima može predstaviti kroz dva aspekta. **Prvi** se odnosi na problem sigurnosti konstrukcija protiv potencijalno razorne dinamičke sile (u većini zemalja – upute za projektiranje primjenom karata zoniranja temeljenim na geološkim procjenama seizmičkog hazarda, kao sastavnim dijelom građevinskih uputa i pravila). **Drugi aspekt** se odnosi na sigurnost lokacije s obzirom na uvjete za njeno korištenje. U okviru tog aspekta, ispituje se sigurnost lokacije u odnosu na geotehničke pojave kao što su amplifikacija seizmičke pobude, pojava klizišta i likvefakcija.

Cilj i svrha izrade karata geotehničkih hazarda je prikaz različitih razina ugroženosti naselja i objekata preko odgovarajućih zona štetnih pojava izdvojenih na kartama. Nakon izrade ovih karata moguće je pristupiti određivanju namjene određenih područja, odnosno planiranju korištenja pojedinih lokacija za izgradnju. Kombinacijom karata zoniranja, na kojima su detaljno prikazani geotehnički hazardi, s prihvatljivim stupnjem za neki tip izgradnje, kao rezultat dobiju se podloge na temelju kojih se mogu dati preporuke za gradnju na tom području: mjere ograničenja korištenja terena, odnosno posebnog načina gradnje i zaštite objekata [9].

4 POJAVA LIKVEFAKCIJE NA PODRUČJU ZAGREBA

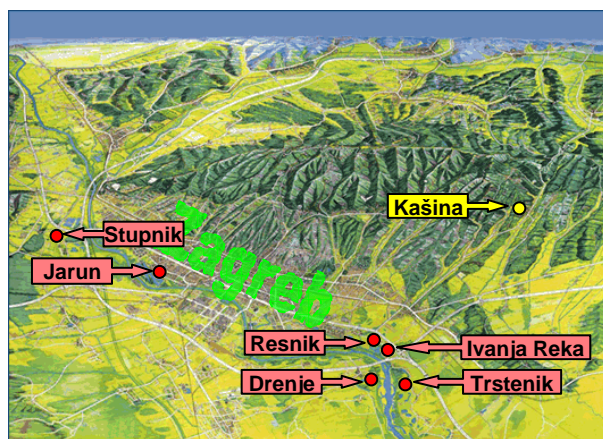
9. studenog 1880. godine Zagreb je pogodio najjači potres u povijesti grada (slika 2). Samo je dvoje ljudi poginulo (jedan u Zagrebu i jedan u selu Granešina), ali šteta je bila znatna – oštećeno je svih 3830 stambenih i gospodarskih zgrada u gradu.



Slika 2. Jezuitski trg nakon potresa 1880. ($M \approx 6.3$) [10]

Potres je izazvan Zagrebačkim rasjedom, seizmički najaktivnijim rasjedom u ovom dijelu Hrvatske. Epicentar potresa iz 1880. lociran je u Kašini pokraj Zagreba. Jakost je procijenjena na IX° MCS, a kasnijim analizama pretpostavljena je i magnituda $M=6.3$.

Najznačajnija za ovaj rad je činjenica o postojanju indikacija o pojavi likvefakcije. U svojoj knjizi "Izvješće o Zagrebačkom potresu" Torbar [1] ističe pet lokacija (slika 3) gdje su nastale pukotine u tlu iz kojih je izvirao pijesak i voda uslijed čega su nastajale kupe pijeska (muljni vulkani, sand boils).



Slika 3. Lokacije s dokumentiranom pojavom pokazatelja likvefakcije tijekom zagrebačkog potresa iz 1880. (Trstenik, Resnik, Drenje, Jarun i Stupnik); lokacija epicentra potresa (Kašina) (prema [1])

5 LOKACIJE S MOGUĆNOŠĆU POJAVE LIKVEFAKCIJE U BUDUĆNOSTI

Na području Zagreba istražene su četiri lokacije za koje je pretpostavljena mogućnost pojave likvefakcije po

kriteriju pojavljivanja materijala odgovarajućeg granulometrijskog sastava i zbijenosti.

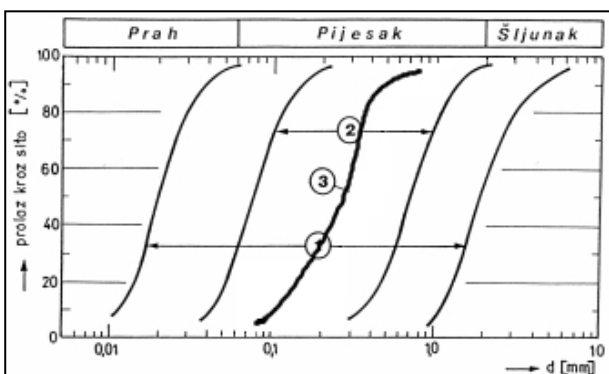
5.1 Nova loza

Lokacija **Nova loza** nalazi se u jugozapadnom dijelu Zagreba, na sjevernoj obali Save (slika 4). Radi se o površinskom kopu na kojem se eksploatacija šljunka obavlja manje-više stihijski.



Slika 4. Lokacija površinskog kopa Nova loza (konture označene crvenim)

Na dubini od oko šest metara pojavila se podzemna voda i izdanak pješanog sloja, nepoznate dubine i prostiranja. Terenskim identifikacijskim geotehničkim postupcima stanje zbijenosti pijeska ocijenjeno je kao rahlo. Granulometrijskom analizom pijeska dobiveni su rezultati uneseni na sliku 5 u dijagram granulometrijskog raspona materijala u kojem je moguća pojava likvefakcije. Iz dijagrama je vidljivo da taj pijesak prema granulometrijskom kriteriju spada u kategoriju najlikvefabilnijih materijala.



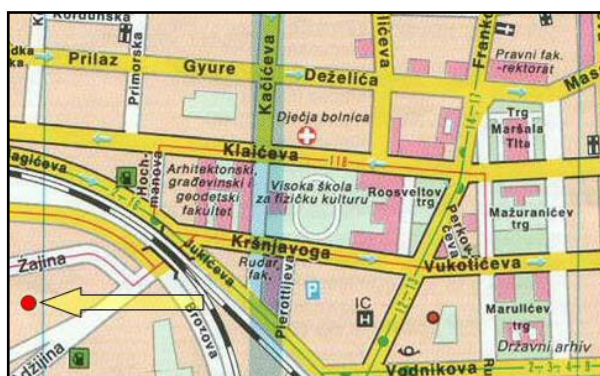
Slika 5. Granulometrijski raspon materijala tla nužan za pojavu livefakcije: (1) granulometrijsko područje potencijalno likvefabilnih sredina, (2) najlikvefabilnijih sredina, (3) uzorak pijeska s Nove loze (prema [11])

Na temelju navedenih značajki materijala moguće je zaključiti da postoji mogućnost pojave likvefakcije na opisanoj lokaciji tijekom potresa. Uz to, lokacija se nalazi na prvoj savskoj terasi, neposredno uz recentni aluvij, na granici meandra nekadašnjeg rukavca Save. Za područje na kojem se lokacija nalazi, postoji mogućnost pojave potresa magnitude do 6,5, a zabilježen je i slučaj pojave likvefakcije u prošlosti na lokacijama nedaleko od ove (Jarun, Stupnik).

Treba primijetiti da se u neposrednoj blizini ove lokacije nalazi više trgovačkih centara koji bi mogli pretrpjeti štete pri eventualnoj pojavi likvefakcije.

5.2 Žajina ulica

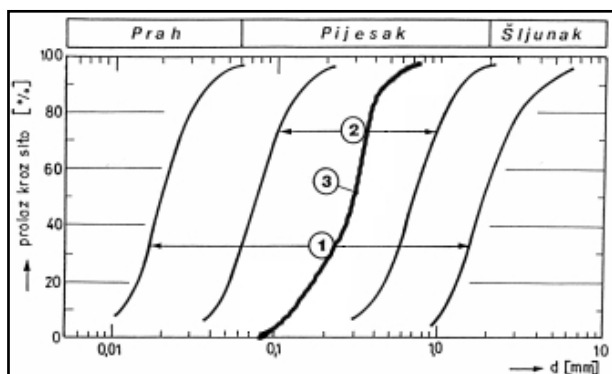
Za potrebe temeljenja i izgradnje stambeno-poslovnog objekta "Moj dvor" (slika 6), izvedena je građevna jama s dubinom ukopa u odnosu na postojeću kotu terena ≈ 11 m. Na dubini od 3,8 m ustanovljen je sloj pijeska debljine 2 m u kojem je identificirano vodno lice podzemne vode te još jedan sloj rahlog pijeska s primjesama praha na dubini od oko 5 m.



Slika 6. Lokacija stambeno-poslovnog objekta "Moj dvor" (označena crvenom točkom)

U svrhu određivanja mogućnosti pojave likvefakcije obavljen je niz priručnih terenskih ispitivanja u cilju određivanja stupnja zbijenosti materijala i to: džepnim penetrometrom – Soiltest CL-700 pocket penetrometer, penetrometrom s prstenom – Soiltest CN-970 proving ring penetrometer i krilnom sondom Soiltest. Prema rezultatima ispitivanja na lokaciji izgradnje stambeno-poslovnog objekta "Moj dvor" potencijalno likvefabilni materijal (pijesak) spada u srednje rahle materijale.

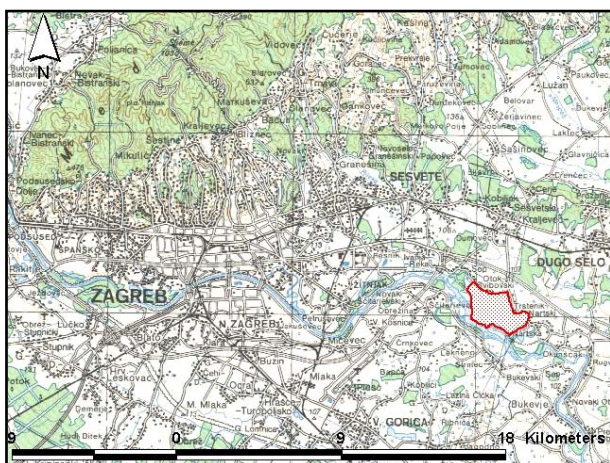
Granulometrijskom analizom uzoraka pijeska s navedene lokacije dobiveni su rezultati uneseni u dijagram granulometrijskog raspona materijala u kojem je moguća pojava likvefakcije (slika 7). Vidljivo je da taj pijesak, prema granulometrijskom kriteriju, spada u kategoriju najlikvefabilnijih materijala.



Slika 7. Granulometrijski raspon materijala tla nužan za pojavu livefakcije: (1) granulometrijsko područje potencijalno likvefabilnih sredina, (2) granulometrijsko područje najlikvefabilnijih sredina, (3) uzorak pijeska s gradilišta stambeno-poslovnog objekta "Moj dvor(prema [11])

5.3 Lokacija "Abesinija"

Šljunčara "Abesinija" smještena je istočno od Zagreba, kod Sesveta, uz samu rijeku Savu (slika 8), a u geološkom smislu, djelomično u recentnom aluviju i djelomično na drugoj savskoj terasi. Na lokaciji je identificiran meandar sekundarnog toka – napušteni rukavac (staro korito) Save. U šljuncima su nađena fosilizirana stabla, a u blizini je zabilježena i pojava likvefakcije u prošlosti (Trstenik). Unutar krupnozrnatih aluvijalnih sedimenata šljunaka i šljunaka s pijeskom, nalaze se leće potencijalno likvefabilnog pijeska te manje-više kontinuiran sloj gline i treseta.



Slika 8. Lokacija šljunčare „Abesinija“ (konture istraživanog područja označene crvenim)

Podaci istraživačkih radova iz elaborata izrađenih za potrebe eksploatacije šljunka na lokaciji „Abesinija“ uneseni su u **geotehničku bazu** podataka prilagođenu

potrebama seizmičkog mikrozoniranja. Podaci iz geotehničke baze uporabljeni su za proračun vjerojatnosti pojave likvefakcije programom PROLIQ2 [12]. Rezultati proračuna ukazuju na relativno nisku vjerojatnost pojave likvefakcije, no ovdje treba u obzir uzeti niz čimbenika. Terenski istraživački radovi nisu rađeni sustavno niti ciljano za potrebe određivanja pojave likvefakcije, Standardni penetracijski pokus je rađen sa šljunkom i u pijescima, vjerojatno u svrhu čuvanja opreme poradi moguće pojave valutica šljunka, a pojava valutica šljunka je mogla dati rezultate s povećanim brojem udaraca od potrebnog za penetraciju. U blizini lokacije na kojoj su ispitivanja provedena zabilježena je pojava likvefakcije tijekom potresa u prošlosti, što znači da je likvefakcija moguća, ali i da je materijal tla vjerojatno zbijeniji nego u prošlosti. Starost tla određena preko apsolutne starosti fosiliziranog drveta u podini likvefabilnog sloja pijeska manja je od 2000 godina, što bi značilo da je materijal u prilično rahlom stanju. Konačno, pojava likvefakcije u slojevima šljunka i šljunka s primjesama pijeska u literaturi još nije dobro definirana, a za ovu lokaciju s postojećim podacima nije ju bilo moguće proračunati.

5.4 Proračun potencijala likvefakcije metodom potencijala likvefakcije programom PROLIQ2, „metodom Youd-a i Idriss-a“

Najnovija varijanta procedure za proračun potencijala likvefakcije objavljena je 2001 godine [13], u kojem je procedura prilagođena za primjenu kriterija zasnovanih na standardnom i statičkom penetracijskom pokusu, kriterija zasnovanih na mjerenju brzine posmičnih valova u tlu te uporabi Beckerovog penetracijskog pokusa za šljunčana tla. U proceduru su uključeni faktori prilagodbe magnitudi potresa, faktori za korekcije prema tlakovima krovinskog tla i kosina te ulazne veličine magnituda potresa i vršnih akceleracija.

Za procjenu otpora tla pojavi likvefakcije potrebno je procijeniti dvije varijable: **seizmičko djelovanje na sloj tla** izraženo koeficijentom cikličkog naprezanja (eng. Cyclic Stress Ratio – CSR) i **kapacitet otpora tla likvefakciji** izražen koeficijentom cikličkog otpora (eng. Cyclic Resistance Ratio – CRR). Za procjenu CSR-a Seed i Idriss [5] razvili su izraz:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_{v0}'} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \quad (2)$$

gdje su :

- τ_{av} – prosječno cikličko posmično naprezanje tijekom određenog vremenskog intervala;
- σ_{v0}' – efektivno vertikalno naprezanje na ispitivanoj dubini;

- σ_{v0} – ukupno vertikalno naprezanje na ispitivanoj dubini;
- a_{max} – vršna horizontalna akceleracija generirana potresom na površini tla;
- g – ubrzanje sile teže;
- r_d – koeficijent smanjenja naprezanja.

U svrhu procjene koeficijenta cikličkog otpora (CRR) potrebno je obaviti laboratorijska ili in situ ispitivanja. Laboratorijska ispitivanja se uglavnom izbjegavaju, jer se u laboratoriju teško simuliraju statička i seizmička naprezanja kojima je element tla podvrgnut u nekoj točki, a neporemećeni uzorak se iz tla može dobiti samo složenim i skupim metodama, npr. smrzavanjem.

Program PROLIQ2 izrađen je upravo za primjenu tih procedura, a kao rezultat daje veličinu pod nazivom "vjerojatnost jakosti likvefakcije" (eng. probability of liquefaction severity – PLS), uvedenom od strane Klohn-Crippen konzultanata. Radi se o primjeni funkcije težinskog faktora na sloj preko vjerojatnosti pojave likvefakcije proračunate PROLIQ2-om [14]. PLS se računa izrazom:

$$PLS = \frac{\sum(W_i H_i PL_i)}{\sum(W_i H_i)} \quad (3)$$

gdje su:

- PL_i – vjerojatnost pojave likvefakcije na dubini i (računate od 0 do 20 m);
- H_i – debljina sloja;
- W_i – funkcija težinskog faktora, koja linearno opada s dubinom, a iznosi 0,1 na površini terena i 0 na dubini od 20 m.

Kako bi se za sve ovdje navedene lokacije donio pravovaljan zaključak o mogućnosti pojave likvefakcije prilikom jačeg potresa, nužno je provesti opsežna terenska ispitivanja u svrhu točnog određivanja dimenzija slojeva likvefabilnih materijala, kao i obaviti penetracijske pokuse ili mjerenja brzina posmičnih elastičnih valova za proračun potencijala likvefakcije odgovarajućim numeričkim procedurama.

6 ODREĐIVANJE APSOLUTNE STAROSTI SEDIMENATA

Na području Zagreba pronađena su brojna fosilizirana stabla, većinom prilikom iskopa građevnih jama ili

šljunčara. Koliko je autorima poznato, do sada je, u svrhu određivanja starosti savskih taložina na području Zagreba, istraživanje apsolutne starosti fosiliziranih stabala metodom 14C sustavno provedeno samo u jednom slučaju [2].

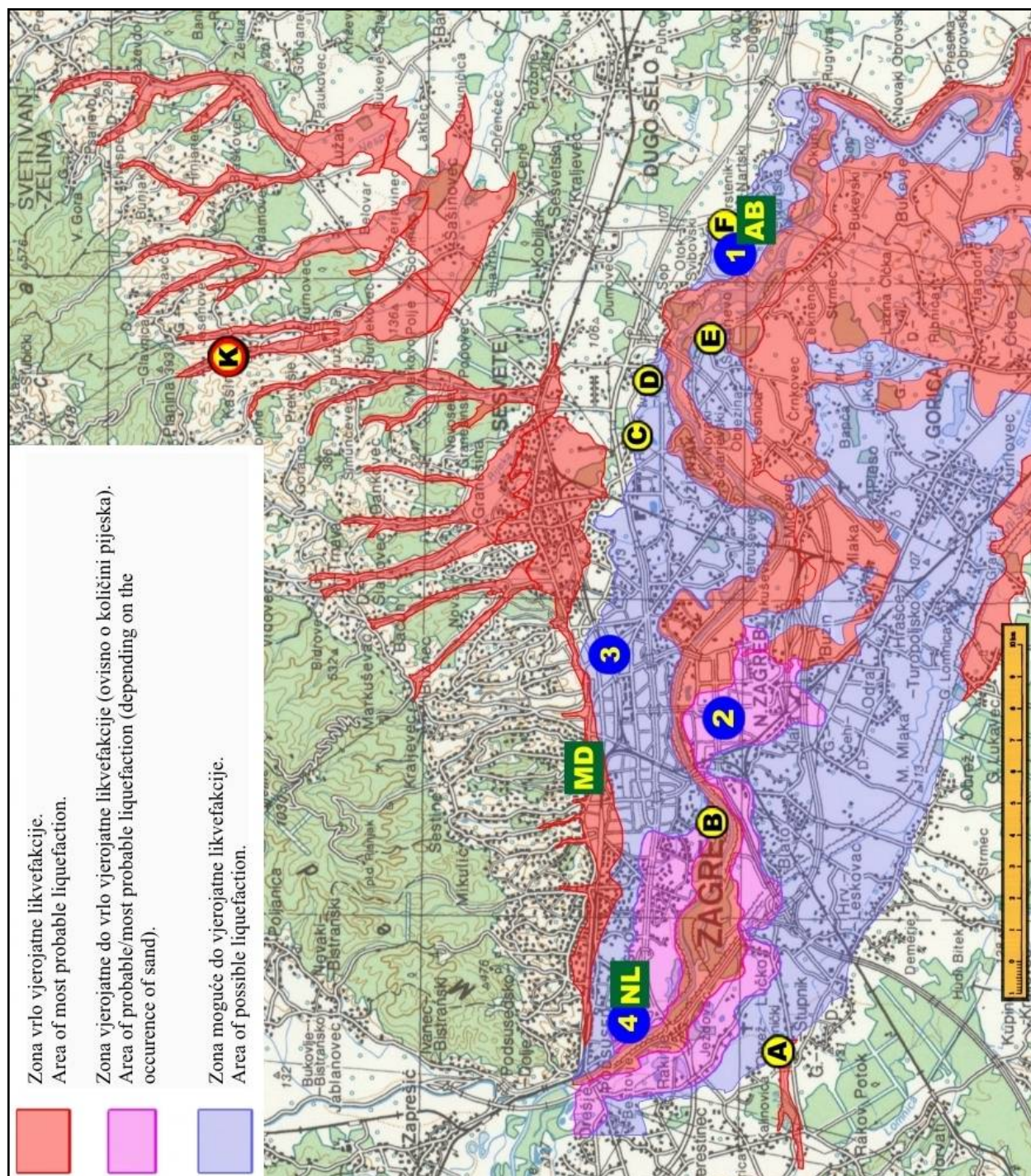
S obzirom da je apsolutna starost sedimenata važna za određivanje mogućnosti pojave likvefakcije, podaci u tablici 1 imaju veliku vrijednost i određeno značenje. Odnos starosti fosiliziranih stabala nađenih na području Zagreba i dubina na kojima su stabla nađena ukazuju na to da je Sava prilično brzo naplavlivala čak i krupnozmatni materijal.

Tablica 1. Starosti i dubine pronalaska fosiliziranih stabala na lokacijama s područja Zagreba.

LOKACIJA	STAROST [god.]	DUBINA [m]	KROVINA/PODINA
šljunčara "Abesinija"	1725 +/- 100	4-10	šljunak/glina
Siget	2105 +/- 115	4-10	šljunak/šljunak
Heinzelova	3405 +/- 120	7,55	šljunak/šljunak
Nova loza	1165 +/- 55	3-6	šljunak/pijesak



Slika 9. Fosilizirana stabla s lokacije Nova loza



Slika 10. Preliminarna kvalitativna karta zoniranja zagrebačkog područja po potencijalu likvefakcije s lokacijama s dokumentiranom pojavom likvefakcije tijekom zagrebačkog potresa iz 1880. (A – Stupnik, B – Jarun, C – Resnik, D – Ivanja Reka, E – Drenje, F – Trstenik); lokacijama pronalaska fosiliziranih stabala (1 – šljunčara "Abesinija", 2 – Siget, 3 – Heinzelova, 4 – Nova loza); istražene lokacije (NL – Nova loza, MD – "Moj dvor", AB – "Abesinija") i epicentrom potresa iz 1880. kod Kašine. (K)

7 ZAKLJUČAK, PRIJEDLOZI I MIŠLJENJA

Rezultat istraživanja je preliminarna kvalitativna prognostička karta potencijala likvefakcije za područje Zagreba, na kojoj se geološke jedinice pojednostavljeno prikazuju izdvojene prema stupnju mogućnosti pojave likvefakcije (slika 10). Karta je izrađena na topografskoj karti u mjerilu 1:50.000 kao podlozi, a kao osnova za zoniranje korišten je Eurokod 8, Priručnik za zoniranje prema seizmičkim geotehničkim hazardima (1999) te moderna svjetska iskustva i dostignuća vezana uz likvefakciju, sa svojstvima lokalnog tla uzetim u obzir. Kriteriji za procjenu potencijala bili su geološki, geomorfološki, stratigrafski, hidrogeološki, seizmološki, geomehanički i, općenito, inženjerskeološki.

Može se zaključiti da je pojava likvefakcije na području Zagreba moguća pri očekivanom potresu magnitude 6,5 iz poznatog hipocentra (epicentar na širem području Kašine). Karta mikrozoniranja po potencijalu likvefakcije svakako bi morala biti podlogom za urbanistička planiranja u prisavskoj ravnici, kao i proširenim dolinama brdskih potoka istočnog dijela prigorja (Medvednice).

8 LITERATURA

- [1] J. Torbar, Izvješće o Zagrebačkom potresu, Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 1882.
- [2] Ž. Veinović, Ocjena mogućnosti pojave likvefakcije i definiranje osnove za likvefakcijsko zoniranje na teritoriju Republike Hrvatske, disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2007.
- [3] J. R. L. Allen, Sedimentary structures, their character and physical basis, Developments in sedimentology 30, Elsevier, Amsterdam, 1984.
- [4] Earthquakes - General Topics, <http://www.smate.wvu.edu/teched/geology/eq-general.html>, (15. 11. 2007.).
- [5] H., B. Seed, I., M. Idriss, Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, Journal of the Soil mechanics & foundation division, ASCE, Vol.97, No.SM9, 1971, 1249-73.
- [6] H., B. Seed, K. Mori, & C. K. Chan, Influence of seismic history on liquefaction of sands, Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 103(GT4), 1977, str. 257-270.
- [7] W. D. L. Finn, J. J. Emery & Y. P. Gupta, A shaking table study of the liquefaction of saturated sands during earthquakes, University of California, Berkley, Department of Civil Engineering, Soil Mechanics Ser., No. 17, Berkley, 1970.
- [8] Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part1: General rules, seismic actions and rules for buildings, DRAFT No 6, CEN, European Committee for Standardization, prEN 1998-1:200X, Draft January 2003, Bruxelles, 2003.
- [9] Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards.- The Japanese Geotechnical Society, ISSMGE – International Society for Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, 1999.
- [10] Službene stranice Državnog arhiva u Zagrebu http://www.daz.hr/flashback_5.htm, (15. 11. 2007).
- [11] T. Tsuchida, Liquefaction of soils during earthquakes, Commission on engineering and technical systems, National research Council, National Academy Press, Washington D.C., 1985.
- [12] G., M. Atkinson, L. Finn, & R. G. Charlwood, PROLIQ2 - A Computer Program for Estimating the Probability of Seismic Liquefaction Including Both Areal & Fault Sources; University of British Columbia, Department of Civil Engineering, 1986.
- [13] T.L. Youd, I.M. Idriss, R.D. Andrus, I. Arango, G. Castro, J.T. Christian, R. Dobry, W.D.L. Finn, L.F. Harder Jr., M.E. Hynes, K. Ishihara, J.P. Koester, S.S.C. Liao, W.F. Marcuson III, G.R. Martin, J.K. Mitchell, Y. Moriwaki, M.S. Power, P.K. Robertson, R.B. Seed, K.H. Stokoe II, Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER & 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, ASCE, Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol. 127, No. 10, 2001, 817-833
- [14] P. A. Monahan, V. M. Levson, P. Henderson & A. Sy, Relative liquefaction and amplification of ground motion hazard maps of Greater Victoria, Report and expanded legend to accompany British Columbia geological survey geoscience map 2000-3, British Columbia, Ministry of Energy & Mines, Energy & Minerals Division, Geological Survey Branch, 2000.