

UTJECAJ POTRESA NA TLO BANOVINE
IMPACT OF EARTHQUAKE ON BANOVINA SOIL

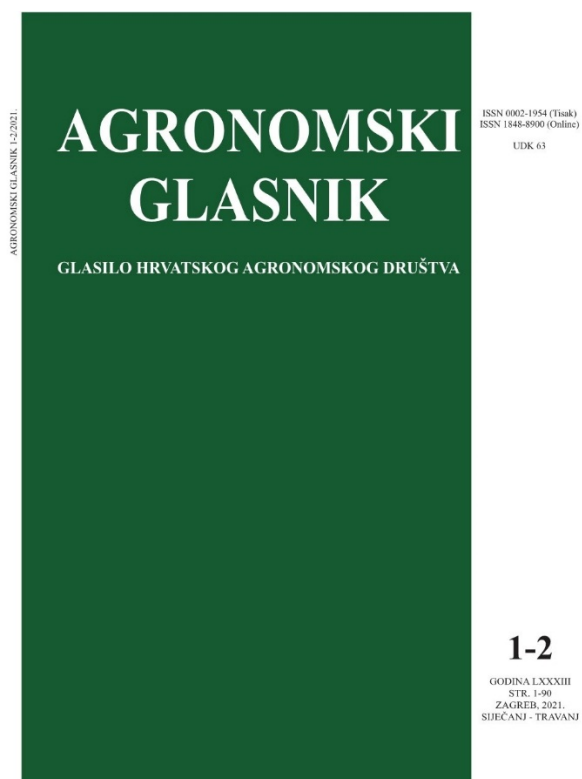
A. Šimunić, Ž. Vidaček, B. Svoboda

Agronomski glasnik

ISSN 0002-1954 (Tisak)

ISSN 1848-8900 (Online)

<https://doi.org/10.33128/ag.83.1-2.1>



UTJECAJ POTRESA NA TLO BANOVINI

IMPACT OF EARTHQUAKE ON BANOVINI SOIL

A. Šimunić, Ž. Vidaček, B. Svoboda

SAŽETAK

Na temelju terenskih istraživanja i podataka iz dostupne literature smatramo da su urušene jame na području Borojevića i Mečenčana nastale na dva načina. Najviše ih je nastalo uslijed likvefakcije tla koju su izazvali potresi, a manji dio je nastao djelovanjem sufozije koja je uslijedila nakon izgradnje velikog vodocrpilišta „Pašino vrelo“. Na kraju je dan prijedlog kako se može spriječiti postanak novih jama. Slijedom aktualnih događanja i mogućih posljedica, analizirane su pedološke značajke i oštećenja poljoprivrednog zemljišta na području urušenih jama. Na kraju, preporučamo agromelioracijske mjere za formiranje i racionalno korištenje novog produktivnog površinskog sloja tla okućnica, obradivih tala i travnjaka.

Ključne riječi: Banovina, Hrvatska, Borojevići, Mečenčani, Pašino vrelo, potresi, tektonski pokreti, likvefakcija, sufozija, urušene jame, tlo, zemljište, poljoprivreda.

ABSTRACT

Based on field research and data from the available literature, we believe that the collapsed holes in the area of Borojević and Mečenčani were formed in two ways. Most of them were caused by the liquefaction of the soil caused by earthquakes, and a smaller part was caused by the action of suffusion that followed the construction of a large water pumping station at Pašino vrelo. Finally, a suggestion was made on how to prevent the formation of new collapsed holes. Following current events and possible consequences, we analyze the pedological characteristics and damage of agricultural land in the area of collapsed holes. Finally, we recommend agro-ameliorative measures for the formation and rational use of a new productive soil surface layer of garden, arable land and grassland.

Key words: Banovina, Croatia, Borojevići, Mečenčani, Pašino vrelo, earthquakes, tectonic movements, liquefaction, suffusion, collapsed holes, soil, land, agriculture.

UVOD

Teritorij Republike Hrvatske se nalazi na trusnom području na kojem se često događaju potresi. Najvećim dijelom su to slabi potresi koje mogu osjetiti samo najprecizniji seizmografi. Prema izvješću geofizičara slabih potresa tijekom jedne godine ima oko 10 000. Jači potresi 4. - 5. stupanja Richter-ove ljestvice se pojavljuju 1-2 put tijekom 100 god. To pokazuje da je područje Hrvatske pod stalnim stresom koji djeluje na stijene u vršnom dijelu litosfere.

Krajem 19. i početkom 20. stoljeća su se uz rubne rasjede skoro svih gora u Hrvatskoj događali brojni potresi. Najpoznatiji i najjači potres je 1880. god. razorio središnji dio grada Zagreba. Pretpostavljalo se da je njegov epicentar bio u Kašini, ali koordinate koje su naveli E. Prelogović i D. Cvijanović 1981. godine dokazuju, da je on bio u izvorišnom dijelu potoka Nespeš. U tom se području i 1888. god. dogodio još jedan jači potres, ali nema podataka o njegovoj snazi. Stanovnici iz okolnih naselja napominju da se to područje često trese, ali da potresi nisu jaki. Početkom 20. stoljeća jači potresi su se osjetili kod Ivanca 1902. godine i kod Gornjeg Jesenja 1904. godine. Posljednji jači potres iz tog ciklusa se dogodio 1909. godine na području grada Gline. 1916. god. bio je dosta jaki potres u Vinodolu. Pedesetak godina kasnije je došlo do još nekoliko jakih potresa: Skoplju, Crnogorskom primorju, Banjaluci, Kninu i drugdje. To znači da nije prestala ugroženost od novih potresa, pa su seizmolozi upozoravali da bi zagrebačko područje moglo biti zahvaćano potresom jačine do 7 stupnjeva Richter-ove ljestvice.

1. Pregled dosadašnjih istraživanja

M. Kišpatić je prvi u Hrvatskoj, od 1884. do 1907. god. sustavno prikupljao podatke o potresima te u „Radu JAZU“ objavio 24 „Potresna izvješća“. Osim toga je o potresima objavio i nekoliko knjiga. Tada nije bilo mjernih instrumenata, pa su prikupljeni samo osnovni podatci o jačini, mjestu i vremenu potresa. M. Kišpatića je naslijedio A. Mohorovičić, te 1906. god. osnovao „Meteorološki opservatorij“ na Griču. On je nabavio prvi seizmograf kojim je mogao „pratiti“ potresne valove. Proučavajući širenje potresnih valova tijekom potresa u Glinskom Pokuplju, A. Mohorovičić (1909.) je ustanovio, da se na dubini oko 55 km nalazi gušći sloj stijena koje su po njemu prozване „Moho sloj“. Osim toga on je od 1906. do 1909. god. objavio još tri „Potresna izvješća“. Kasnije u geološkim publikacijama nije bilo članaka o potresima, osim članka E. Prelogović i D. Cvijanović (1981.) u kojem je obnovljena uspomena na potres koji je razorio Zagreb 1880. godine. Nekoliko god. kasnije

je B. Aljinović (1986.) izradio „Kartu dubina Mohorovičićeva diskontinuiteta na području Jugoslavije“ iz koje se vidi da se MOHO sloj na području SZ. Hrvatske nalazi na dubini oko 40 km.

2. Uzroci potresa u Banovini

Ako se želi raspravljati o recentnim potresima na području Banovine, valja se osvrnuti na tektonske pokrete koji ih uzrokuju i na litološki sastav stijena u koje su njima zahvaćene. Tektonski pokreti nastaju uslijed endogenih i egzogenih sila koje pokreću plutanje površinskih dijelova litosfere po astenosferi. Postoje razne teorije, ali se taj globalni fenomen najjednostavnije može objasniti opće prihvaćenom teorijom o „tektonici ploča“. Brzina širenje potresnih valova ovisi o gustoći stijena, a s time i učinci njihovog razornog djelovanja. Kada su stijene zasićene vodom, kao što je to slučaj u Banovini, njihova gustoća je povećana, pa se povećava brzina i snaga potresnih valova.

Pomaci tektonskih ploča su spori i teško ih se može primijetiti, ali kad „ploča“ zastane na nekoj prepreci, pritisak i dalje raste pa u trenutku kada ona „svladava“ prepreku, dolazi do potresa. To je hipocentar iz kojeg se oslobađa energija koja se širi u obliku potresnih valova. Ipak, seizmolozi navode da se hipocentri potresa na području Banovine i u Medvednici nalaze na dubinama 1-3 km. To znači da nije u pokretu bila zemljina kora, debljine 40-55 km, nego puno tanja tektonska ljuska. Teško je ustanoviti koji je „paket“ stijena uključen u tu ljusku, ali se to može pretpostaviti prema geološkom stupu za List Bosanski Novi (Šikić, 2014.). U slučaju da je ljuska debele 2-3 km, onda su u nju uključene mezozojske i kenozojske naslage, koje klize po donjotrijaskim klastitima. Isto tako ako je u pokretu ljuska, debljine 1-2 km, onda su u nju uključene miocenske i pliocenske naslage, koje klize po sarmatskim laporima. Stijene koje se nalaze u kliznoj plohi su zbog klizanja tektonske ljuske jako izborne, a mogu biti i slabo metamorfozirane.

3. Geološka građa i tektonski sklop područja Banovine

Površinski dio zemljine kore na području Banovine je izgrađen iz paleozojskih, mezozojskih i kenozojskih stijena. Ipak, iz Osnovnih geoloških karata: Slunj (Korolija, i dr., 1979.), Sisak (Pikija, 1987.), Bosanski Novi (Šikić, 2014.), i Karlovac (Benček i dr., 2014.) se može vidjeti da su u Banovini najrasprostranjenije kenozojske naslage. Kenozoik se prema stratigrafskoj podjeli dijeli u tri manja razdoblja: miocen, pliocen i kvartar.

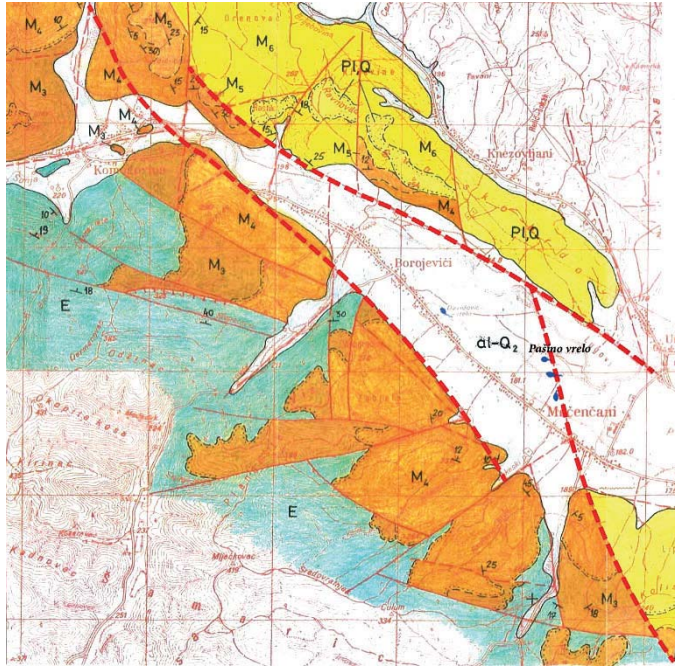
Tijekom miocena (između 17,2 i 5,3 milijuna god.) područje SZ dijela Hrvatske je prvo bilo u sastavu Parathetisa, a zatim u sastavu Panonskog bazena. To je bilo plitko i toplo more iz kojeg su „virili“ paleozojski i mezozojski dijelovi banijskih gora. Njihovom je erozijom nastajao materijal koji je bio osnova ta postanak mlađih stijena. Tijekom karpata su odlagani lapori, gline i pijesci (na geol. karti označeni kao M₃). U badenu je taložen krupnoklastični materijal iz kojeg su nastale breče, konglomerati, litavac i litotamnijski vapnenci (označeni kao M₄). U sarmatu i panonu je nastavljena kontinuirana sedimentacija lapora i pločastih vapnenaca (označeni kao M₅, i M₆). Početkom pontata su taloženi glinoviti lapori, a zatim pijesci i gline s proslojcima ugljena (označeni kao M₇). Prema podacima iz naftnih bušotina ukupna debljina srednje i gornjomiocenskih naslaga iznosi 1000-1500 m (Pikija, 1987.).

U pliocenu (između 5.3-2,58 mil. god.) je došlo do neotektonskih pokreta, tijekom kojih je Hrvatsko zagorje izdizano, a područje Banovine je spuštano (Šimunić, An. i Šimunić, Al. 1987.). Zbog toga se iz Hrvatskog zagorja povlačila zaostala voda iz Panonskog bazena, a u Banovini su nastale velike močvare. U tim močvarama su taložene Paludinske naslage, čija debljina varira od 200 do 600 m (Pikija, 1987.).

Početkom pleistocena (prije 2,58 mil. god.) počelo je izdizanje čitavog područja sjeverne Hrvatske i isušivanje velikih močvara u Banovini i zapadnoj Slavoniji. To je bio početak stvaranja prve hidrografske mreže. Kod toga su rijeke i potoci često koristili zdrobljene zone mnogobrojnih rasjeda.

Sredinom pleistocena je zbog prekida dotoka vode iz dunavskog slijeva u Crno more, poplavljen veliki dio nekadašnjeg Panonskog bazena. Iz tog prostranog jezera su po drugi put virile sve gore u sjevernom dijelu Hrvatske. Zbog obilnih kiša došlo je do jake erozije, a erodirani materijal su bujice i potoci unosili u jezero. Nakon proboja Dunava kroz Đerdapsku klisuru, jezerska voda se povukla, a iza nje je ostala jezersko-riječna terasa, debljine 30-50 m, (označena kao P1,Q). Zato su rijeke i potoci morali produbljivati staru, ili stvarati novu hidrografsku mrežu.

Tijekom holocena (prije 12 000 god.) izdizani su pojedini dijelovi Banovine, pa su sedimenti iz starije jezersko-riječna terase, djelomice pretaloženi u riječne nanose današnjih rijeka. To je vidljivo na „Geološkoj karti bliže okolice Pašinog vrela“ gdje su erozijski ostaci stare terase 50-tak m više od novih nanosa rijeke Sunje (Šimunić i Hećimović, 1998.). (Sl. 1.)



Slika 1. Geološka karta bliže okolice Pašino vrelo M 1:25 000, (Šimunić i Hečimović, 1998.)

Picture 1 Geological map of the vicinity of Pašino vrelo M 1:25 000

Legenda: E – eocen = izmjena pješčenjaka i lapora; M₃ – otnag = lapori i gline;
M₄ – g. baden = u bazi šljunci, pijesci i litavac, zatim litotamnijski vapnenci i lapori;
M₅ – sarmat = lapori; M₆ – panon = vapnenci i lapori; PI, Q₁ – pleistocen = šljunci i pijesci;
al-Q₂ holocen = u bazi šljunci i pijesci, u krovini žutosmeda ilovača.

Na toj karti se također vidi kako se je dolina rijeke Sunje, kod Komogovine naglo proširila. Izlaskom iz kanjona Sunja je gubila brzinu te je počela odlagati krupnozrnati materijal (označen kao al-Q₂). Prvo su u bazi taloženi krupni šljunci, koji ponekad sadrže nezaobljeno kršje različitih stijena. Za vrijeme sušnijih perioda taloženi su sitniji šljunci koji se izmjenjuju sa slojevima pijeska. U njima se ponekad vidi kosa slojevitost koja pokazuje da su nastali u sustavu isprepletene rijeke, čije se korito često premještalo. Debljina tog nanosa raste u smjeru toka rijeke od 6 do 15 m, ali mu se granulacija smanjuje. Dio riječnog nanosa nanijeli su i potoci koji se ulijevaju u Sunju.

Sredinom holocena postupno se smanjivala količina vode, pa je Sunja u svoj nanos usjekla dvije terase i tzv. poplavno područje. Ukupna visina ta tri terasna odsjeka pokazuje da je u tom razdoblju područja Banovine izdignuto za 3-3,5 metra.

Tijekom gornjeg holocena aluvij Sunje je prekriven sa 4-7 m debelim deluvijalno-proluvajalnim nanosom, koji ima važnu ulogu u poljoprivrednoj proizvodnji.

4. Promjene tla uslijed potresa u Banovini

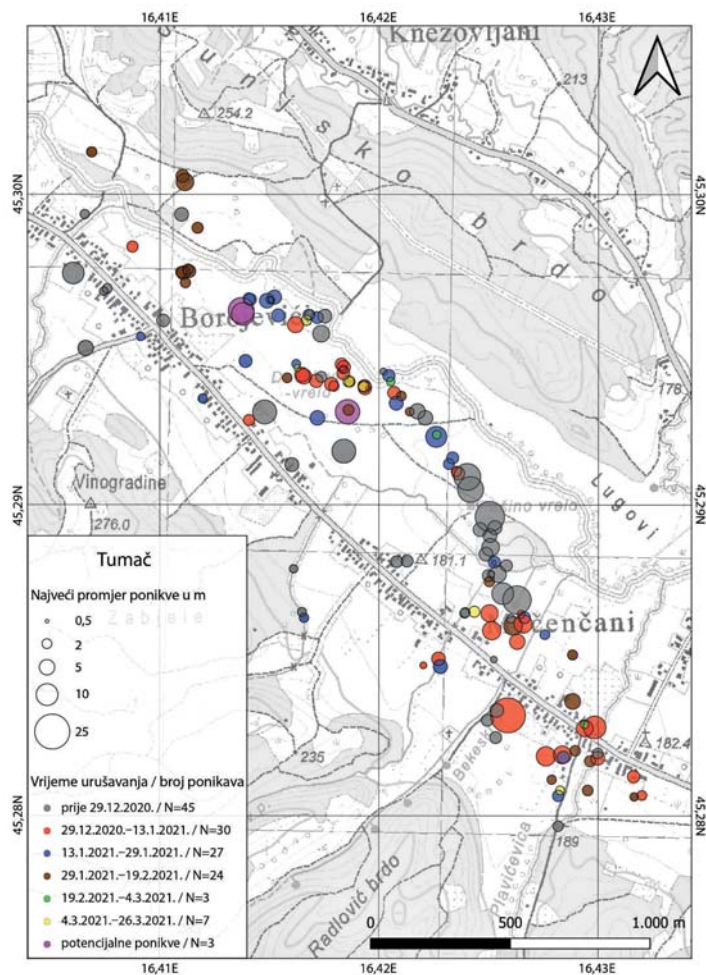
4.1. *Ideje o nastanku urušenih jama kod Borojevića i Mečenčana*

Najjači potres koji se u Banovini dogodio 29. prosinca 2020. godine je bio 6,2 stupnja Richter-ove skale, a nekoliko dana kasnije bio je još jedan potres od 5,0 stupnja. Ovi „srednje jaki“ potresi su zajedničkim djelovanjem porušili dijelove Siska, Petrinje, Gline i dr. naselja, te izazvali brojne deformacije u tlu Banovine. Ipak su najveći interes pobudile urušene jame koje su se nenadano pojavile u aluviju Sunje kod sela Borojevići i Mečenčani. Ubrzo zatim su se na televiziji, u novinama i drugim žurnalima pojavila objašnjenja o njihovom postanku. Neka objašnjenja su realna, ali djelom netočna, dok su druga bombastična, kao primjerice: Naslov „Globus-a“: „Podzemlje guta Banovinu“. Dalje u tekstu se spominje „da ovakvih rupa ima i u drugim dijelovima Hrvatske i da su neke duboke 528 m“. Osim toga ih se uspoređuje s Modrim i Crvenim jezerom kod Imotskog i drugim poznatim vrtačama i ponorima duž Dinarida. Čudno da se nijedan komentator nije sjetio Lukine jame na Velebitu koja je duboka oko 1000 metara.

Novinari (HINA-e) navode da „rupe u zemlji nastaju urušavanjem površine tla u šupljine koje je stvorila voda podzemnim tečenjem. Geolozi(?) objašnjavaju da u tome ključnu ulogu imaju dva procesa. Jedan je okršavanje, u kojem voda otapa čvrste stijene i stvara u njima šupljine, a drugi sufozija ili povećano ispiranje čestica tla oko stijena. U njima se stvaraju podzemni kanali kojima voda i dalje teče. U jednom trenutku šupljine postanu prevelike i tlo se u njih od težine urušava“.

I. Vlahović 2021. godine navodi, da na području sela Borojević i Mečenčani postoje 143 jame koje naziva ponikvama. Njihov raspored i vrijeme postanka je prikazao na OGK, list Bosanski Novi M 1:100000 od K. Šikića (2014.). „Ponikve“ je podijelio po „starosti“ na: fosilne, recentne i buduće. Opisao je njihovu genezu, te smatra da je: „To je posljedica specifične geološke građe neophodne za pojavu tog prirodnog fenomena, jer je samo u tom području vrlo

okršena karbonatna podloga koja predstavlja krški vodonosnik prekriven debelim paketom tla“. Osim toga je na karti M 1:5000, prikazao njihov detaljniji raspored i dimenzije (Sl. 2.). Svaka „kolapsna ponikva“ je označena krugom, promjera proporcionalnog najvećem promjeru, a boja označava vrijeme njenog otvaranja.



Slika 2. Prostorni položaj urušenih jama na području naselja Borojevići i Mečenčani

Foto. I. Vlahović, (2021.)

Picture 2 Spatial position of sinkholes caused by the collapse of the cover in the area of the settlements Borojevići and Mečenčani

Svi geolozi koji su komentirali postanak „kolapsnih ponikva“ ili „vrtača“ nisu uzeli u obzir da one nastaju otapanjem vapnenca koje traje tisućama godina, a ne urušavanjem riječnog nanosa, koji se sastoji iz raznovrsnih valutica i kvarcnog pijeska. Teško je zamisliti da na tako maloj površini na kojoj su se pojavile 143 jame, postoji isto toliko ponora. To bi bio početak stvaranja malog krškog polja.

Istraživanja koja su, u okolici Pašinog vrela proveli A. Magdalenić i dr. (1976.) su pokazala, da ispod riječnog nanosa nema šupljikavog i okršenog vapnenca (litavca), već je prisutan samo litotamnijski vapnenac koji je propustan samo kad je zdrobljen. Te su stijene nastale u isto vrijeme, ali u različitim uvjetima taloženja, pa često dolazi do zabune. Litavac je nastao uz strme obale, gdje su valovi gomilali kršje školjaka i puževa, a ispirali sitni pijesak i čestice gline. Dijagenozom je iz tog materijala nastala čvrsta, lagana i šupljikava vapnenačka stijena koja je pogodna za okršavanje, pa su u njoj mogu nastati vrtače i velike spilje, primjerice spilja Vindija, Veternica i druge. Litotamnijski vapnenac je nastao na morskim livadama, gdje su rasle alge iz rodova Lithothamnium i Lithophylum, pa je zato sitnozrnati i slabo propustan.

V. Mraz (2005.) je prilikom hidrogeoloških radova, za vodoopskrbu Hrvatske Kostajnice, locirao 4 istražne bušotine, duboke 100 m. Sve su one imale približno isti litološki sastav jezgre. Na površini od 0-4 m je bila smeđa ilovača pomiješana s malo šljunka. Od 4-9 m je bio krupni šljunak pomiješan s pijeskom, a od 9-100 m se bušilo kroz litotamnijske vapnence. Vapnenci su od 9 m do 31 m bili smeđe boje i vrlo trošni, a u jednoj bušotini i šupljikavi. U svim istražnim bušotinama su pronađena dva vodonosna horizonta. Prvi, jači se nalazi između 4.-9. metra, a drugi slabiji je između 88.-100. metra. Kemijskim analizama je utvrđeno da iz krupnog šljunka pritječe 60-70 % vode, a iz litotamnijskog vapnenca 30-40 %.

4.2. Morfologija urušenih jama

Od volumena i oblika pješčanog tijela koje se nalazi unutar šljunka ovisi promjer i dubina urušene jame. Prema I. Vlahoviću (2021.), najveći broj rupa ima promjer 2-5 m, pa izgleda da su se najčešće urušavali „pješčani stupovi“ ili „dimnjaci“ (Sl. 7. i 8.). Ipak, najveće jame su nastale urušavanjem pješčanih leća koje su bile uložene u šljunak (Sl. 3. i 4.). Najveća jama ima promjera oko 25 m, a duboka je 11,7 metra (Sl. 3.). Smještena je južno od ceste, na 2. terasi rijeke Sunje. Važno je spomenuti, da je ona tijekom zime (15.03.2021.) bila skoro do vrha ispunjena vodom. Ista jama je prikazana na 4. Slici, snimljena 10.9.2021. godine. Razina vode je opala do 7,5 m, pa je na njezinom boku otkriven litološki profil, koji se sastoji od žutosmeđe ilovače koja prema dnu postaje pjeskovita.



Slika 3. Najveća urušena jama u Mečenčanima, snimljena 15.03.2021.

Foto. I. Pavičić, preuzeto od. I. Vlahovića (2021.)

Picture 3 The largest sinkhole created by the collapse of the cover in Mečenčani,

Photo. I. Pavičić, taken from. I. Vlahović (2021.)



Slika 4. Ista urušena jama u Mečenčanima, snimljena 10.9.2021., Foto. Ž. Vidaček.

Picture 4 The same collapse hole in Mečenčani, taken on September 10, 2021.

Druga velika jama u Mečenčanima je nastala urušavanjem pijeska u kojem se nalaze slojevi krupnog šljunka, (Sl. 5.). Na dubini oko 7 metara se nalazilo malo vode. Zanimljivo je da kuća koja se nalazi pokraj nje, nije stradala od potresa.



Slika 5. Druga po veličini urušena jama u Mečenčanima. Foto. T. Krišto
Picture 5 Second collapse hole in Mečenčani

Također je vrlo zanimljiv je postanak jame koja ima izgled dubokog zdenca u kojem je na dnu voda (Sl. 6.). Promjer joj je 1.5 m, duboka je oko 7-8 m, bokovi su joj okomiti i vjerojatno izgrađeni od šljunka i pijeska. Na istoj njivi se nalaze još dvije jame koje su međusobno udaljene oko 50 m. Iako se nalaze na 2. terasi, ni ove jame nemaju u pokrovu žutosmeđu ilovaču. Najveća jama među njima ima promjer oko 5 m, duboka je oko 6 m, a na dnu je bio vlažni pijesak (Sl. 7.). Oko 50 m od druge je treća rupa koja ima promjer oko 3 m, ali je zatrpana.



Slika 6. Okomita urušena jama, promjera oko 1,5 m, na 2. terasi. Foto. Ž. Vidaček
Picture 6 Vertical collapse hole about 1.5 m in diameter, formed on the 2nd terrace

Veliku važnost za rješavanje geneze urušenih jama, ima jama koja se nalazi sjeverno od ceste u Mečenčanima (Sl. 8.). Ona je nastala na 1. terasi, ima promjer oko 7 m, duboka je oko 6,5 m, a na njezinom dnu se 10.9.2021. godine nalazila voda. Bokovi su joj izgrađeni od 3 sloja šljunka i 4 sloja pijeska, a u srednjem sloju šljunka se vidi kosa slojevitost. Na dnu je oko 2 m debeli sloj pijeska, zbog kojeg je najvjerojatnije došlo do urušavanja. Prema izjavi vlasnika njive, tijekom zime je ta jama bila do vrha ispunjena vodom. To se podudara sa oscilacijom razine vode u najvećoj jami koja se nalazi na 2. riječnoj terasi (Sl. 3. i 4.). Zato se može zaključiti da je vodno lice na području Borojevića i Mečenčana povezano i da oscilira u skladu s godišnjim dobima.



Slika 7. Urušena jama u Mečenčanima, nastala J od ceste, na 2. terasi. Foto. A. Šimunić
Picture 7 A Collapse hole in Mečenčani that was formed S of the road, on the 2nd terrace



Slika 8. Urušena jama u Mečenčanima, nastala na 1. terasi, S od ceste. Foto. Ž. Vidaček.
Picture 8 Collapse hole in Mečenčani, formed N from the road, on the 1st terrace

Na 9. slici se vidi pet otvorenih jama koje su raspoređene na dvije njive. Ove jame više liče na plitke ponore nego na duboke vrtače. Njihove dubine ovise o debljini riječnog i deluvijalno-proluvijalnog nanosa. Ako se ova slika promotri malo detaljnije, mogu se na desnoj njivi zapaziti okrugla udubljenja koja možda predstavljaju buduće jame.



Slika 9. Pogled iz zraka na urušene jame u Mečenčanima. Foto. L. Stanzl PIXSELL
Picture 9 Aerial view of sinkholes in Mečenčani

Bez vodiča se teško mogu pronaći i opisati sve jame koje su nastale uslijed potresa. Potresi su počeli krajem 2020. godine, ali još uvijek nisu prestali, pa se svaki čas može pojaviti nova jama. Sve one predstavljaju veliku opasnost za lokalno stanovništvo, kao i za domaće i divlje životinje. Moralo bi ih se zatrpati, ali treba paziti s kakvim će se materijalom to izvoditi jer bi moglo doći do onečišćenja izvora i vodocrpilišta. Za njihovo zatrpavanje bi se morao koristiti šljunak ili tucanik iz kamenoloma koji ne bi mogle otplaviti podzemne vode. Kako bi se ove njive i dalje mogle koristiti, na površinu bi bilo dobro staviti sloj kvalitetne zemlje (tlo).

4.3. Postanak novih urušenih jama

Za postanak urušenih jama koje su nastale tijekom potresa krajem 2020. i početkom 2021. god., veliku važnost su imala tri rasjeda (Sl. 1.). Rasjed koji se

proteže duž desne strane rijeke Sunje je bio vrlo aktivan tijekom potresa. To je dovelo do velikih oštećenje kuća u selima Borojevići i Mečenčani i stvaranja velikog broja jama. Uz rasjed koji se nalazi na lijevoj strani Sunje nisu nastala nikakva oštećenja tla, pa se njegova aktivnost nije mogla ustanoviti.

Vrlo važnu ulogu u nastanku urušenih jama je imao treći, vertikalni rasjed, koji je u pravcu S, SZ-J, JI presjekao dolinu Sunje (Sl. 1.). Na detaljnoj karti I. Vlahovića (2021.) se vidi da je duž njegove trase nastalo najviše „novih“ jama (Sl. 2.). Ipak, aktivnost ovog rasjeda bila je najjača početkom pleistocena. Tada su, zbog spuštanja njegovog istočnog krila, u kontakt dovedene propusne naslage iz baze gornjeg badena, s nepropusnim sarmatskim laporima. Tako je nastala podzemna barijera duž koje su se pojavila tri jaka uzlazna izvora. Najveće je Pašino vrelo koje ima izdašnost 20-32,6 l/s (Sl. 10.). Manje je Bojanića vrelo, koje daje 10-19 l/s, dok Davidovića vrelo nije mjereno (Kasapović i dr., 2006.). Ova vrela su dokaz da na području Borojevića i Mečenčana voda ne potire u duboke jame, već iz dubokih jama izvire.



Slika 10. Pašino vrelo. Foto. S. Kasapović i dr. (2006.)

Picture 10 Pašino vrelo

Autori koji su se bavili problemom urušenih jama naglašavaju da za njihov postanak moraju biti usklađeni određeni uvjeti, ali svatko navodi svoje uvjete. Nakon proučavanja geološke građe šireg područja Borojevići i Mečenčani, geoelektričkog sondiranja i istražnog bušenja, pretpostavljamo da su za nastanak tih jama važni slijedeći uvjeti: 1. specifična geološka građa terena, 2. nepropusna podloga ispod riječnog nanosa Sunje, 3. povezanost vode temeljnice na području Borojevića i Mečenčana i 4. potresi.

Ad 1. U specifičnu građu terena spada riječni nanos Sunje, koji je uklješten između nepropusne smeđe ilovače na površini i nepropusne podloge. Na području Mečenčana i Borojevića se urušavao samo vršni dio riječnog nanosa Sunje koji je nastao u koritu isprepletene rijeke.

Ad 2. Ranije se pretpostavljalo da ispod riječnog nanosa postoji okršena vapnenačka podloga u koju se skladišti urušeni materijal, a da voda i dalje ponire. Bušenjima je dokazano da se ispod riječnog nanosa nalazi litotamnijski vapnenac u kojem nisu nastale velike kaverne ni ponori (Magdalenić, 1976. ; Mraz, 2006.). Zato se postavlja pitanje kuda je nestao urušeni materijal, ako nije uskladišten u nekoj spilji ili dubokoj vrtači, a nije ni izbačen na površinu terena? Ulogu okršene vapnenačke podloge je preuzeo sloj krupnog šljunka u kojem postoji dovoljno jaki vodeni tok koji prenosi i separira urušeni materijal, te ga skladišti u plitkom podzemlju ili ga nizvodno izbacuje na površinu. Sigurno su se tijekom jakih potresa i nastanka najvećeg broja urušenih jama zamutili svi izvori i voda u vodocrpilištu „Pašino vrelo“.

Ad 3. Zbog istovremenih oscilacija razine vode u urušenim jamama i u lokalnim zdencima se može zaključiti da su krupni šljunci u rasprostranjeni po čitavom području Borojevića i Mečenčana. U njima je voda temeljnica, čija razina oscilira u skladu s godišnjim dobima. Najviše jama je nastalo tijekom zime 2021. godine, kada je razina vode bila najviša. Voda je popunila šupljine u rastresitom materijalu i tako mu povećala gustoću, a time i omogućila pojačano djelovanje potresnih valova.

Ad 4. Završni čin u nastanku urušenih jama je likvefakcija tla koju su prouzročili potresni valovi. Za vrijeme potresa pješćana tijela, unutar šljunka su postala tekuća pa su potonula, a zatim su se urušili sitniji šljunci i krovina. Sreća je da se tijekom zime nisu dogodili još jači potresi jer bi likvefakcija zahvatila i krupnije šljunke pa bi i zgrade počele tonuti. Nešto slično se dogodilo u Crnogorskom primorju gdje su, tijekom potresa hoteli tonuli, a na površinu je izbacivan pijesak pomiješan s vodom.

4.4. Postanak starih urušenih jama

Zanimljiv je podatak, da su svi navedeni uvjeti za postanak urušenih jama postojali i puno ranije, ali one ipak nisu nastajale. Rijeka Sunja svoj nanos taloži već 12000 god., a kroz to razdoblje je sigurno bilo jakih potresa. Jedan jaki potres je prije 2000 godina je razorio rimske utvrde u Sisku, a sigurno su stradala i manja naselja na području Banovine. U srednjem vijeku su od potresa stradali mnogi stari gradovi i utvrde, ali povjesničari ne spominju nikakve jame.

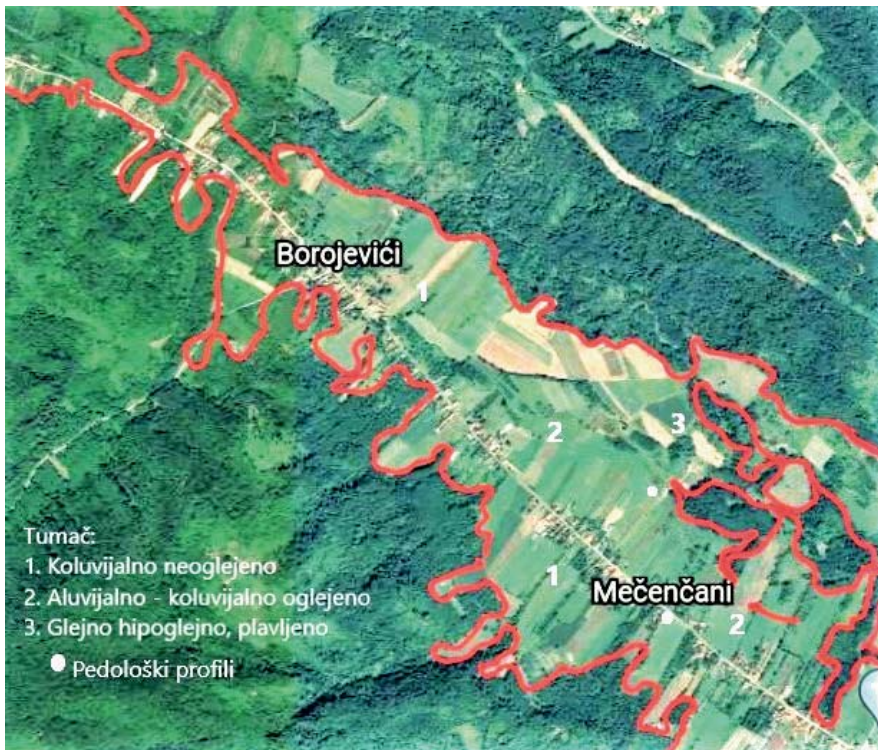
Urušene jame nisu postojale ni prije 24 god., kada je snimana „Geološka karta bliže okolice Pašinog vrela“ (Šimunić i Hećimović, 1998.). Geofizičari koji su tijekom 2005. i 2006. god., na području Mečenčana i Borojevića snimali detaljne geoelektrične profile, nisu naišli ni na jednu jamu (Kasapović i dr., 2006.).

Zato se postavlja pitanje kako je nastalo četrdesetak jama koje je I. Vlahović (2021.) nazvao „fosilnim ponikvama? One su se pojavile prije potresa, ali tek nakon što su pušteni u rad novi duboki bunari iz kojih se crpu velike količine vode. Kada se rezervoari popune ili se potrošnja vode smanji, crpljenje se prekida. Zbog pritoka nove vode razina podzemne vode se naglo diže, a kad se crpke ponovno uključe ona naglo pada. To izaziva povećano ispiranje pijeska (sufoziju), te dolazi do stvaranja urušenih jama.

Nešto slično se događa na obalama rijeka na kojima su izgrađene hidroelektrane, primjerice na rijeci Dravi. Zbog brojnih oscilacija razine, voda ispire pijesak iz šljunka, pa se obala urušava u rijeku. To se sprečava tako da se obala oblaže krupnim kamenim blokovima. U Mečenčanma se urušene jame mogu zatrpavati krupnim šljunkom ili tucanikom, ali to ne bi spriječilo nastanak novih jama. Stari duboki bunari su 30-tak god. crpili vodu iz dva vodonosna horizonta i nisu izazvali nastanak ni jedne jame. Novi bunaru su nakon nekoliko godina rada počeli stvarati jame i do 2021. godine je nastalo oko 40 jama. Potresi su samo ubrzali njihov nastanak, pa bi se moglo pretpostaviti da se jame više neće pojavljivati. Ipak, ako se nastavi intenzivno crpljenje vode iz prvog vodonosnika, jame će se nakon nekog vremena ponovno pojavljivati. To bi se moglo spriječiti tako da se smanji ili prestane crpljenje vode iz prvog vodonosnika, a poveća korištenje vode iz drugog. Najjednostavnije bi bilo da se bunari prodube do baze g. badenskih naslaga koja se nalazi na dubini oko 200 m (Kasapović i dr., 2006.). To je drugi vodonosni horizont koji se sastoji od vapnenačkih breča, koglomerata i litavca, te može biti vrlo izdašan. Iz njega se i do sada crpilo 30-40 % vode, ali se izdašnost Pašinog vrela i drugih izvora nije smanjila. Kao primjer velike izdašnosti ovih naslaga se može spomenuti duboki bunar u Vratnu, koji u sličnim lito-stratigrafskim uvjetima, već dugi niz godina sa 60-90 l/s opskrbljuje grad Križevce i okolna sela (Šimunić, 2008.).

5. Poljoprivredno zemljište i tla na području urušenih jama

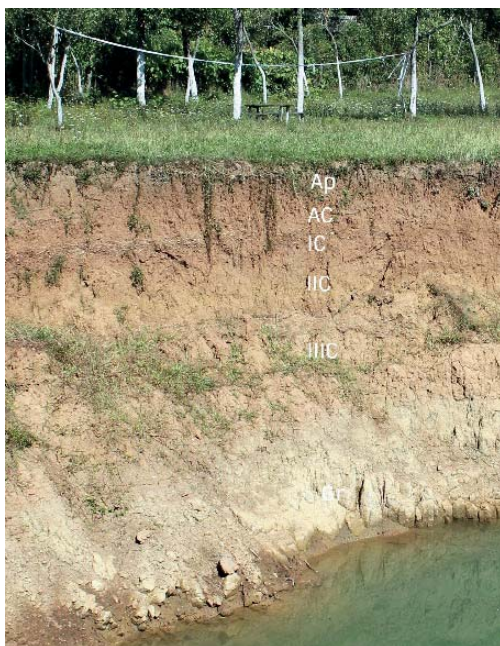
Na području Mečenčana i Borojevića najviše urušenih jama ima na oranicama i travnjacima. Manji broj jama se nalazi u povrtnjacima i voćnjacima okućnica. Na JZ od asfaltne ceste i u okućnicama su umjereno vlažna vrtna tla, oranica i travnjaka. Na JI do rijeke Sunje su površine vlažnih i mokrih oranica i travnjaka. Što se tiče korištenja poljoprivrednog zemljišta ono je mjestimično neobrađivano i zakorovljeno (Sl. 11.).



Slika 11. Poljoprivredno zemljište i zastupljenost tala. Foto Ž. Vidaček
Picture 11 Agricultural land and soil representation

Na predmetnom području nalazimo tri tipa tala: Koluvijalno neoglejeno, ilovasto, slabo skeletno tlo na pijesku i šljunku, Aluvijalno-koluvijalno, oglejeno, ilovasto, slabo skeletno tlo na pijesku i šljunku, povremeno plavljeno i Močvarno glejno hipoglejno tlo, plavljeno duže vrijeme tlo. Slijedi opis pedoloških značajki tala.

a. Koluvijalno neoglejeno tlo na pijesku i u manjoj mjeri na šljunku, najviše nalazimo u okolici asfaltirane ceste Mečenčani-Borojevići, gdje su oranice, travnjaci, povrtnjaci i voćnjaci u okućnicama. Niže opisani pedološko-litološki profil tla je u naselju Mečenčani u voćnjaku i povrtnjaku obitelji Borojevića (Sl. 12.).



Slika 12. Koluvijalno neoglejeno tlo. Foto Ž. Vidaček
Picture 12 Colluvial nongleyic soil

Ap površinski horizont 0-25 cm ima praškasto ilovastu teksturu¹ sadrži 20 % pijeska, 62 % praha i 18 % gline. Ima dosta humusa 3,62 %, te kiselu reakciju u H₂O pH 6,3 i u KCl pH 5,4. Sa 45,2 mg/100 g tla fiziološki aktivnog fosfora (P₂O₅) je primjer vrlo bogate opskrbljenosti vrtnog tla. Opskrbljenost fiziološki aktivnim kalijem (K₂O) je dobra 24,0 mg/100 tla².

¹ Za mehanički sastav tla je korištena modificirana metoda HRN ISO 11277:2011., s frakcijama pijesak 2-0,063 mm, prah 0,063-0,002 mm i glina <0,002 mm promjera; Određivanje količine humusa-metoda po Tjurinu JDPZ, 1966; Određivanje pH vrijednosti-HRN ISO 10390:2005; Određivanje P₂O₅-Al metoda JDPZ 1966; Laboratoriji Zavoda za pedologiju i Zavoda za ishranu bilja, Agronomskog fakulteta Zagreb

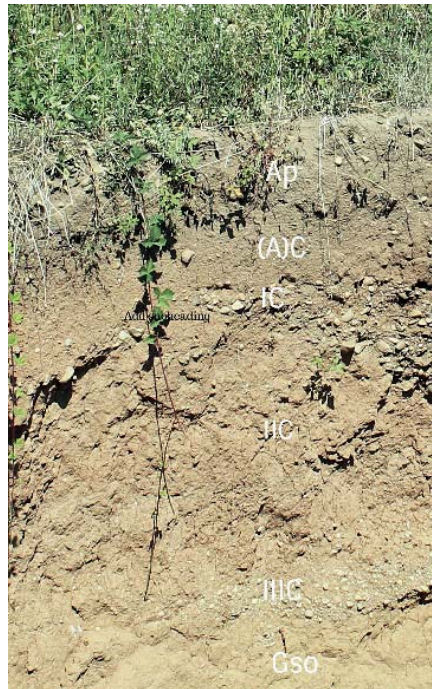
² U pedologiji pojam ilovasti ili ilovača, odnosi se na relativne omjere veličina pijesaka, praha i gline u masi tla.

AC horizont 25-60 cm je praškasto ilovaste teksture, ima 21 % pijeska, 61 % praha i 18 % gline. Reakcija tla je kisela pH u vodi 6,5 i u kalijevom kloridu pH je 5,4.

U matičnoj podlozi od IC do IIIC i Gr glejnom redukcijском sloju se izmjenjuju pijesak i u manjoj mjeri šljunak. Početkom rujna 2021.godine podzemna voda u najvećoj jami je bila oko 7 m, a u okolnim kopanim zdencima okućnica oko 7-8 m dubine.

b. Aluvijalno-koluvijalno, oglejeno tlo, povremeno plavljeno je na prvoj riječnoj terasi-aluvija rijeke Sunje. Aluvij izgrađuju šljunci, pijesci, gline i zaglinjeni šljunci s kršjem i valuticama starijih stijena. U podlozi je uglavnom krupniji proluvijalni nanos, na kojem je kasnije taložen riječni nanos. U donjem dijelu Polja, Izvala i Vrela, te sjevero-zapadno od Mečenčana je podzemna voda na 176-183 m.n.m ili na dubini oko 0,5-2,0 metra (Mraz, V. 2006.).

Opis pedološkog profila i matične ili litološke podloge je na lokaciji južno od izvorišta „Pašino vrelo“ (Sl. 13.).



Slika 13. Aluvijalno-koluvijalno oglejeno tlo. Foto Ž. Vidaček

Picture 13 Alluvial-colluvial gleyic

Ap površinski obradivi horizont 0-25 cm ima praškasto ilovastu teksturu, sadrži 9 % pijeska, 72 % praha i 18 % gline. Ima dosta humusa 3,72 %, te kiselu reakciju u H₂O pH 6,3 i u KCl pH 4,8. Sa 3,6 mg/100 g tla fiziološki aktivnog fosfora (P₂O₅) je primjer vrlo slabe opskrbljenosti oraničnog tla. Opskrbljenost fiziološki aktivnim kalijem (K₂O) je dobra 18,4 mg/100 tla.

AC prelazni podhorizont horizont 25-50 cm je praškasto ilovaste teksture, ima 10 % pijeska, 72 % praha i 18 % gline. Reakcija tla je kisela pH u vodi 6,2 i u kalijevom kloridu pH je 4,9.

U matičnoj podlozi od **IC do IIIC i Gr glejnom redukcijском sloju** se izmjenjuju pijesak ili/i šljunak. U opisu „Geološko-tehničkog profila P-1“, studije „Pašino vrelo“, vidi se da je od 9-31 m litotamnijiški vapnenac, smeđe, oker boje, vrlo trošan s pojavom manjih šupljina i kaverni, (Mraz, 2006.).

c. Močvarno glejno hipoglejno tlo mezodepresija prve riječne terase, češće je plavljeno i korišteno za travnjake. Opis pedološkog profila:

Aa površinski hidromorfni horizont 0-12 cm dubine, ima praškasto ilovastu teksturu, sadrži 22 % pijeska, 50 % praha i 18 % gline. Ima dosta humusa 3,63 %, te kiselu reakciju u H₂O pH 5,7 i u KCl pH 4,8. Sa 1,3 mg/100 g tla fiziološki aktivnog fosfora (P₂O₅) je primjer vrlo slabe opskrbljenosti oraničnog tla. Opskrbljenost fiziološki aktivnim kalijem (K₂O) je osrednja 9,4 mg/100 tla.

Gso podhorizont je sekundarno oksidirani G horizont, 12-70 cm dubine i praškasto glinasto ilovaste teksture sa 14 % pijeska, 50 % praha i 31 % gline. Ima kiselu reakciju pH 5,2 u vodi i 4,8 u kalijevom kloridu

Gr podhorizont 70-150 cm dubine je praškasto ilovaste teksture sa 14 % pijeska, 65 % praha i 21 % gline. Ima kiselu reakciju pH 5,8 u vodi i 4,7 u kalijevom kloridu. U njemu podzemna voda dugotrajno stagnira.

Prema stupnju pogodnosti korištenja, Kolutivijalno neoglejeno, ilovasto tlo je pogodno za obradu, Aluvijalno-kolutivijalno oglejeno ilovasto tlo je umjereno pogodno za obradu zbog povremenih poplava i Močvarno glejno hipoglejno tlo je ograničeno pogodno za obradu zbog plitke podzemne vode i poplava dužeg trajanja.

6. Oštećenja na poljoprivrednom zemljištu zbog urušavanja tla

Urušavanje tla najčešće u obliku okruglih ili ovalnih urušenih jama, jedinstven je proces za područje naselja Mečenčana i Borojevića, odnosno jednog manjeg dijela Banovine.

Prije petrinjskog potresa 29.12.2020. god. je bilo 45 jama, a do 07. 10. 2021. god. ih je nastalo još 98, pa sada ukupno postoje 143 jame. Sve one su nastale na obradivom zemljištu, travnjacima i u okućnicama. Promjer im je vrlo različiti, od oko 2 metra do oko 25 metara, a površina otvora varira od oko 3 m² do oko 491 m².

Oštećenja poljoprivrednog zemljišta zbog pojave urušenih jama su gubitak aktualnog usjeva, trajni gubitak plodnog tla u dimenzijama otvora urušene jame i privremeni prekid slobodnog kretanja ljudi i korištenja poljoprivredne mehanizacije

7. Sanacija urušenih jama na poljoprivrednom zemljištu

U vrijeme pisanja o utjecaju potresa na tlo u Banovini, doznajemo da sanacija počinje u listopadu 2021. godine za sedam (7) od ukupno 143 urušenih jama. Dogovoreno je da zbog sigurnosti, prioritet imaju jame uz obiteljske kuće. Građevinski fakultet je izradio projekte za sanaciju tih jama. Izvođač zahtjevnih radova je Vodoprivreda iz Siska, a nositelj radova su Hrvatske vode. Predviđeno je da se najprije „vrtača“ sasvim otvori, tako da se pronađe njezin kontakt s temeljnom stijenom i otkrije njezino grlo, a tek tada slijede radovi postupnog zatrpavanja uz primjenu tehničkih rješenja sa specifičnim materijalima po zonama. Sanirat će se postavljanjem geomreže na dno, polaganjem najprije krupnijih, a potom sve sitnijih frakcija kamena i potom prekrivanjem sa zemljom, (Arbutina, P. 2021.). (Napomena: S obzirom da ispod dna „vrtače“ nema okršene podloge „grlo urušene vrtače“ se neće moći otkriti).

Prekrivanje jama sa zemljom je u agropedološkom i biljno proizvodnom smislu, postupak stvaranja površinskog sloja tla oštećene oranice, travnjaka ili povrtnjaka. Konkretno to znači, da taj novo nasipani površinski sloj tla mora osigurati optimalni rast i razvoj uzgajanih poljoprivrednih kultura, odnosno biti efektivno plodan s dovoljno zraka, vode, makro i mikro hranjiva. Uvažavajući navedeno, za uspješnu sanaciju urušenih rupa na poljoprivrednom zemljištu preporučamo:

- Za novi površinski sloj tla (Ap), valjalo bi koristi ilovaste sedimente bez onečišćenja. Na primjer: plodno ilovasto tlo, prapor ili les, ilovaču.
- Debljina novo stvorenog površinskog sloja tla za travnjake, mora biti najmanje 20 cm, za oranične kulture najmanje 30 cm, a za drvenaste kulture najmanje 60 centimetara.

- Umjereno produktivno tlo mora biti: ilovaste teksture ili mehaičkog sastava, neutralne reakcije (pH 7 u MKCl-u), opskrbljeno fiziološko aktivnim fosforom (P_2O_5) i kalijem (K_2O) 15-20 mg/100 g tla, sadržaja humusa 3-5%, propusnosti za vodu 1,4-3,0 m/dan i volumne gustoća 1,4-1,5 g/cm³.
- Tijekom nasipavanja novog površinskog sloja tla, potrebna je kontinuirana kontrola zbijanja. Na primjer (CCC) uređajem, koji se nalazi na valjku, Brandl H., 2002. godine.
- Važno! Odabrani ilovasti sediment, treba nasipavati samo u vlažnom stanju. U tijeku nasipavanja površinskog sloja, može se obaviti i melioracijska gnojidba organskim i mineralnim gnojivima.

ZAKLJUČAK

Najjači potres koji se dogodio 29. prosinca 2020. godine je bio 6,2 stupnja po Richteru, a nekoliko dana kasnije bio je još jedan potres od 5,0 stupnja. Oni su jako oštetili gradove i sela, te izazvali brojne deformacije na tlu Banovine. Ipak, najveći su interes pobudile urušene jame koje su se u velikom broju pojavile kod sela Borojevići i Mečenčani.

Iz priloženih fotografija se vidi da se urušavao samo vršni dio taloga, koji je nastao u koritu isprepletene rijeke Sunje. To su uglavnom leće pijeska koje su uložene u šljunak, zadebljani slojevi pijeska ili pješčani stupovi unutar šljunka. Promjer i dubina urušene jame ovisi od veličine pješčanog tijela koje se nalazi unutar šljunka. Najviše jama ima promjer 2-5 m, pa izgleda da su se najčešće urušavali „pješčani stupovi ili dimnjaci“. Dvije najveće jame su nastale zbog urušavanja pješčanih leća koje su bile uložene u šljunak. Zbog specifičnih geoloških uvjeta dubina ni jedne jame nije veća od debljine aluvija rijeke Sunje.

Najveći broj jama se pojavio uz trasu vertikalnog rasjeda koji je poprijeko presjekao dolinu Sunje, (Sl. 1.). Zanimljivo je, da se nizvodno od tog rasjeda nisu pojavile nikakve jame. Osim toga su uz trasu rasjeda koji se proteže duž ceste Komogovina – Mečenčani za vrijeme potresa jako oštećene kuće, a nastao je veliki broj urušenih jama (Sl. 2.).

Svi autori koji se bave problemom urušenih jama naglašavaju da za njihov postanak moraju biti usklađeni određeni uvjeti, ali svatko navodi svoje uvjete. Naši uvjeti su: 1. specifična geološka građa terena, 2. nepropusne ili slabo propusne stijene u podlozi riječnog nanosa Sunje, 3. međusobna veza podzemnih voda i 4. potresi.

Ad.1. U specifičnu građu terena spada riječni nanos Sunje, koji je ukliješten između smeđe ilovače na površini i nepropusne podloge. Podzemna voda koja se u njemu nalazila je povećala gustoću stijena, a time se pojačalo i djelovanje potresnih valova.

Ad 2. Umjesto duboko okršene vapnenačke podloge, u bazi riječnog nanosa Sunje je nepropustan litotamnijski vapnenac koji usmjerava podzemnu vodu prema izvorima.

Ad 3. Istovremene oscilacije vodnog lica tijekom godišnjih doba u urušenim jamama i seoskim zdencima, ukazuju da na području Borojevića i Mečenčana postoji jedinstveni vodonosni horizont. U njemu postoji dovoljno jak vodeni tok koji nakon potresa prenosi i separira urušeni materijal, te ga skladišti u plitkom podzemlju ili ga nizvodno izbacuje na površinu. Sigurno je da su se na području Borojevića i Mečenčana tijekom jačih potresa zamutili svi izvori.

Ad 4. Uslijed djelovanja potresnih valova je došlo do likvefakcije tla, pa su pješčana tijela postala tekuća te su potonula u sloj šljunka, a zatim se urušila i krovina.

Svi uvjeti koji su potrebni za postanak urušenih jama postojali i mnogo ranije, ali one ipak nisu nastajale. One nisu postojale prije 24 godine, a ni prije 15 godina kada su ekipe geologa i geofizičara istraživale područje Borojevića i Mečenčana. Zato se postavlja pitanje kako je nastalo četrdesetak jama koje je su se pojavile prije potresa ? One su se pojavile tek nakon što su pušteni u rad novi duboki bunari iz kojih se crpe velike količine vode. Kada se rezervoari popune ili se potrošnja vode smanji, crpljenje se prekida. Zbog čestih isključivanja i uključivanja crpki, razina podzemne vode oscilira. To izaziva povećano ispiranje sitnih čestica, te dolazi do urušavanja pijeska i sitnog šljunka.

Na kraju se postavlja pitanje da li bi se 143 jame uopće pojavile da nije proradilo veliko vodocrpilište „Pašino vrelo“? Stari duboki bunari su 30-tak godina crpili vodu iz dva vodonosna horizonta i nisu izazivali nastanak ni jedne jame. Novi bunari su nakon nekoliko godina rada počeli stvarati jame, kojih je do 2021. god. nastalo 45. Potresi su samo ubrzali njihov nastanak, ali nakon nekog vremena jame će se ponovno pojavljivati. To bi se moglo spriječiti tako da se smanji ili potpuno obustavi crpljenje vode iz prvog, a poveća iz drugog vodonosnika. Bunari bi se morali produbiti do 200 m jer se na toj se dubini očekuje baza g. badenskih naslaga. To su breče, konglomerati i litavci, koji bi mogli davati dosta velike količine kvalitetne pitke vode. Naravno, prije tog čina valjalo bi provesti detaljna hidrogeološka istraživanja.

U sklopu brojnih oštećenja i šteta od potresa u Banovini su i urušene jame na poljoprivrednom zemljištu u selima Mečenčani i Borojevići općine Kukuruzari. Poljoprivreda je jedan od glavnih izvora prihoda preostalim stanovnicima ovih sela. Oštećena su Kolvijalno neoglejena, ilovastoa, slabo skeletna tla na pijesku i šljunku, Aluvijalno-kolvijalna, oglejena, ilovasta, slabo skeletna tla na pijesku i šljunku, povremeno plavljena tla okućnica, obradivih tala i travnjaka.

Oštećenja poljoprivrednog zemljišta zbog pojave urušenih jama su: gubitak aktualnog usjeva, trajni gubitak plodnog tla u dimenzijama otvora jame, te privremeni prekid slobodnog korištenja poljoprivredne mehanizacije i kretanja ljudi po parcelama s manjim ili/i većim jamama.

S agropedološkog i biljno proizvodnog aspekta, prilog predmetnoj sanaciji jama je popis aktivnosti za uspješnu sanaciju novo nasipanog površinskog sloja tla.

LITERATURA

1. Aljinović, B. (1986.): Karta dubina Mohorovičićeva diskontinuiteta na području Jugoslavije, Nafta, 37/3, 127-130, Zagreb.
2. Arbutina, P. (2021.): Kreće sanacija vrtača, Portal Novosti, 07.10.2021.
3. Brandl, H. (2002.): Zbijanje tla i drugih zrnatih materijala za građevine, Građevinar 54, UDK 624.131.52.001.3, Zagreb
4. Benček, Đ., Magaš, N., Bukovac, J. i Šimunić, An. (2013): Osnovna geološka karta lista Karlovac, M 1:100 000 i Tumač za list Karlovac. Hrvatski geol. Institut, Zagreb.
5. Benamatić, D. i Pešt, D. (1998.): Izvorište Pašino vrelo. Fond stručnih dokumenata „Hrvatskih voda“, Zagreb.
6. Kalinić, J., Mirjana, N. i Šalinović, I. (1970.): Tla sekcije Kostajnica 1, mjerilo karte 1:50000, Instiut za pedologiju i tehnologiju tla, Zagreb.
7. Kasapović, S., Salković, A. i Prevolnik, R. (2006.): *Geofizička istraživanja na lokaciji „Pašino vrelo“ kod Hrvatske Kostajnice*. Fond stručnih dokumenata „Hrvatskih voda“, Zagreb.
8. Korolija, B., Živaljević, T. i Šimunić, A. (1980.): Osnovna geološka karta lista Slunj, M 1:100 000 i Tumač za list Slunj. Institut za geol. istr., Zagreb i Savezni geološki zavod, Beograd

9. Magdalenić, A., Jurak, V., Kovačević, S. i Capar, A. (1976.): Problemi zahvata podzemne vode u dolini Sunje. Zbornik radova 4. Jugos. Simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji. Skopje.
10. Mraz, V. (2006.), Hidrogeološki radovi na području Vodocrpilišta „Pašino vrelo“, Fond stručnih dokumenata „Hrvatskih voda“, Zagreb.
11. Pikija, M. (1987.): Osnovna geološka karta lista Slunj, M 1:100 000 i Tumač geološke karte. Geološki zavod Zagreb i Savezni geološki zavod, Beograd.
12. Šikić, K. (2014.): Osnovna geološka karta lista Bosanski Novi, M 1:100 000; Tumač lista Bosanski Novi. Hrv. geol. institut, Zagreb.
13. Šimunić, An., (2008.): Topusko i Vratno. U monografiji „Geotermalne i mineralne vode Republike Hrvatske.“, Hrvatski geol. institut, Zagreb.
14. Šimunić, A. i Hećimović, I. (1998.): Geološka i hidrogeološka istraživanja bliže okolice Pašinih vrela (Područje: Mečenčani-Borojevići-Komogovina). Fond stručnih dokumenata „Hrvatskih voda“, Zagreb.
15. Šimunić, An, i Šimunić, Al., (1987.): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize ponskih sedimenata. Rad JAZU, 431, Razr, za prir. znan., 22, Zagreb.
16. Tomac, I., Vlahović, I., Parlov, J., Matoš, B., Matešić, D., Kosović, I., Pavičić, I., Frangen, T., Terzić, J., Pavelić, D. & Pham N. (2021.): Cover-collapse sinkholes.– U: Tomac, I. (ur.): Geotechnical Reconnaissance and Engineering Effects of the December 29, 2020, M6.4 Petrinja, Croatia Earthquake and Associated Seismic Sequence – A report of the NSF-Sponsored Geotechnical Extreme Event Reconnaissance Association.
17. Tomić, F. i Sorić. I. (2021.): Osnova privreda i ruralnog razvoja na potresom pogođenom području Banovine. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb.
18. Vidaček, Ž. (1998.): Gospodarenje melioracijskim sustavima odvodnje i natapanja, sveučilišni udžbenik, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Hrvatsko društvo za odvodnju i natapanje, Zagreb.
19. Vidaček, Ž., Šmanjak, I. (1982.): Tla sekcije Petrinja 2, Tumač i karta mj. 1: 50 000, Projektni savjet za izradu pedološke karte Hrvatske, Zagreb.
20. Vidaček, Ž., Husnjak, S. (2021.): Čimbenici postanka, pedološke značajke, uređenje tala, ratne štete i potresi u petrinjskom i glinskom kraju, u pripremi za tisak, Agronomski glasnik, Zagreb.
21. Vlahović, I. (2021.): Ponikve nastale urušavanjem pokrova na području naselja Mečenčani i Borojevići kao posljedica Petrinjskog potresa ML 6,2, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, razred za prirodne znanosti Zagreb.

Adresa autora-Author's address:

Dr. sc. Antun Šimunić, dipl. ing. geol.,
e-mail: antun.simunic@yahoo.com
znanstveni savjetnik u mirovini,
Kukuljevićeva 33, Zagreb

Primljeno – Received:

15.10.2021.

Prof. dr. sc. Željko Vidaček dipl. ing. agr., pedolog, e-mail:
zvidacek@gmail.com
umirovljeni redoviti profesor u trajnom zvanju,
Zagreb-Marija Bistrica,

Bogdan Svoboda dipl. ing. rudarstva,
Zagreb, Hrvatska

