

A 2020. december 29-én bekövetkezett petrinjai földrengés hatásai

GYÓRI ERZSÉBET

A 2020. december 29-én délben egy erős, 6,2-es magnitúdójú földrengés keletkezett a horvátországi Petrinja környezetében. A következőkben a rengés epicentrumának környezetében tapasztalt károkat és a rengés során és azt követően tapasztalt különös földtani jelenségeket foglaljuk össze. A főrengést nem csak Horvátországban, hanem a környező országokban, így Magyarország nagy részén is érezték, a délnyugati országrészben károkat is okozott. Az obszervatóriumba beküldött lakossági kérdőívek elemzésével képet kaphattunk az országban tapasztalt intenzitásokról, vagyis hogy hol és mennyire volt érezhető a földrengés.

Bevezetés

A 2020-as év emlékezetes marad Horvátország lakosságának. Ennek az okai nem csak a COVID-19 világjárvány, hanem az először márciusban, majd az év végén bekövetkezett, súlyos károkat okozó földrengések voltak. Ebben az összeállításban a karácsony és újév között, december 29-én délben, a Zágrábtól kb. 45 km-re délre elhelyezkedő Petrinjában kipattant, 6,2-es magnitúdójú földrengés hatásait foglaljuk össze. Petrinja térsége Horvátország kevésbé sűrűn lakott, és az egyik legkevésbé fejlett területe, ahol a lakosság főként a mezőgazdaságból él. Az épületek nagy része régebben, nem földrengésbiztonsági szabványok szerint épült. Ráadásul a régiót az 1990-es évek elején súlyosan érintette a délszláv háború, és azóta sem gazdaságilag, sem infrastrukturálisan nem tudott teljesen talpra állni. A 29-i főrengést egy nappal korábban megelőzte két nagyobb előrengés, amelyek néhány régi

épületben már okoztak károkat, ezért a szakemberek elkezdték azok átvizsgálását. A másnap bekövetkezett főrengés miatt néhányan közülük meg is sérültek. Szerencsére a szerkezetükben meggyengült házak ekkorra már többnyire elhagyatottak voltak, így a 29-én bekövetkezett főrengés összesen hét ember halálát okozta, és 26-an sérültek meg, akik közül hatnak a sérülése volt súlyos.

Épületkárok

A földrengés súlyos károkat okozott Horvátországban. A legnagyobb károk Petrinja városában keletkeztek, ahol a későbbi felmérések szerint az épületek közelítőleg 15%-a omlott össze, vagy szenvedett nagyon súlyos károkat (1. ábra). Az épületek 20%-ánál keletkeztek súlyos, míg 65%-nál kisebb-közepes károk. A különleges vagy a kiemelkedő történelmi, kulturális örökség részét képező épületek többnyire összedőltek vagy használhatatlanná váltak.



1. ábra. Súlyosan károsodott épület Petrinjában (forrás:<https://www.dw.com/en/a-dw-reporter-experiences-croatia-earthquakes-firsthand/a-56104971> (2022.04.12))

Jelentős károk keletkeztek a szomszédos Sisak városában is, ahol a kórház vált használhatatlanná, és emiatt onnan a betegeket evakuálni kellett. A károk egészen Horvátország legészakibb részéig terjedtek, ahonnan kémény ledőléseket, falrepedéseket jelentettek. A Petrinjától mintegy 40 km-re északra fekvő Zágrábban áramkimaradások voltak, a kormányzati épületekben keletkezett károkon kívül egy gyermekkórházat is evakuálni kellett, és az ugyanezen év márciusában kipattant földrengés után evakuált szülészeti klinika is további károkat szenvedett. A szomszédos Szlovéniában található Krško atomerőműben károk ugyan nem keletkeztek, de az biztonsági okokból ideiglenesen leállította működését.

Petrinjában az épületkárok alapján a rengés intenzitását az Európai Makroszeizmikus Skálán (EMS) VIII-IX-re becsülték.

A rengés során keletkezett súlyos épületkárok egyik meghatározó okának az tudható be, hogy az egykori Jugoszláviában 1964 előtt egyáltalán nem volt földrengésbiztonsági szabvány, ezért a legtöbb súlyos kár az 1964 előtt épült 2-3 szintes, nem merevített falazatú, fafödémés épüle-

teknél következett be. Az első szabványt az 1963-as, 6,9-es magnitúdójú szkopjei földrengés után léptették életbe, majd azt az 1979-es montenegrói $M = 7,1$ -es rengés után szigorították. Ezek a skálák még intenzitás alapúak voltak, előírásaik szerint ezen a területen az épületeknek az MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) skálán a VII, majd a VIII fokozatú rengést kellett kibírniuk. Azonban a későbbi, vasbeton koszorúval is ellátott házak közül is sok szenvedett súlyos károkat, aminek oka a gyenge kivitelezés volt (Markušić et al., 2021). A megerősített, zárt falazott épületek csak kisebb károkat szenvedtek.

A jelenlegi Eurocode 8 szabvány 2013-tól van érvényben Horvátországban. A szabvány szerint számított földrengésveszélyeztetettségi térkép szerint Petrinja környezetében 50 év alatt a maximális vízszintes talajgyorsulás a felszínen (PGA, peak ground acceleration) 10% valószínűséggel haladja meg a $0,16 \text{ g-t}$ (475 éves visszatérési idő). A gyorsulásokat gyakran a gravitációs gyorsulás tört részeként adják meg, ahol $1g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

A földrengés kipattanásának idején az epicentrum közelében nem volt szeizmológiai állomás, a legközelebbinek a tá-

volsága a kipattanás helyétől közelítőleg 70 km volt. Viszont a Petrinjától kb. 45 km-re elhelyezkedő Zágrábban a földrengés idején 6 gyorsulásmérő működött. Ezek közül a négy, üledéken elhelyezkedő állomás hasonló maximális talajgyorsulásokat mért, a maximális vízszintes gyorsulás (PGA, Peak Ground Acceleration) átlagosan a 4 állomáson 0,1 g, a függőleges 0,05 g volt. A Medvednica-hegység lábánál található QKAS jelű állomáson 0,25 g vízszintes, és 0,12 g vertikális gyorsulást mértek, míg a hatodik, kőzetkibúváson elhelyezkedő műszer mindössze 0,04 g vízszintes, és 0,02 g vertikális gyorsulást mért. A jelentős különbségek oka a helyi talajviszonyoknak és a topográfiának volt köszönhető (Perić and Herak, 2021).

Az epicentrális területen fellépő talajgyorsulások mértékére csak becslések tehetők. Az USGS Shakemap modellezés eredményei, a megfigyelések és a Horvátországban alkalmazott gyorsulás gyengülési összefüggések alapján kemény kőzeten a PGA 0,3 g lehetett, üledékes területeken pedig – az üledék nagyító hatása miatt – meg is haladhatta ezt az értéket.

Környezeti hatások

Az epicentrális területen kiterjedt talajkárosodási jelenségeket is megfigyeltek, mint például talajfolyósodást, látható felszíni talajrepedéseket, földcsuszamlásokat, valamint karsztos víznyelők keletkezését (Polak et al., 2021).

Talajfolyósodás, földcsuszamlások

A december 29-i földrengés a Petrinja, Sisak és Glina környéki tágabb epicentrális területen okozott talajfolyósodást. A jelenség oka, hogy erős rázkódás hatására a vízzel telített homokos üledékek elveszítik a szilárdságukat és úgy viselkednek, mint egy viszkózus folyadék. A talajfolyósodás a felszínen rendszerint úgy nyilvánul meg, hogy a talajon repedések keletkeznek, amelyekből homokos víz lökődik ki a felszínre. Az így keletkezett, ún. iszapvulkánokat közel 100 helyszínen, a Kupa és a Száva folyót és mellékfolyóit körülvevő, túlnyomórészt lapos völgyekben, mezőgazdasági területeken figyelték meg (2. ábra).



2. ábra. Homokkúpok Brest Pokupski közelében. A lyukak azokat a helyeket jelölik, ahol a repedés mentén a homok kilökődik. (forrás: <https://www.novilist.hr>)



3. ábra. Talajfolyósodás miatt bekövetkező talajszétcsúszás a Száva folyó töltésén (Tomac et al. 2021)

Beépített területeken a talajfolyósodás a felszín süllyedése és az altalaj oldalirányú szétcsúszása miatt az utakban és épületekben okozott károkat (Stipčević et al., 2021). A Száva és a Kupa folyók töltésén és azok környezetében oldalirányú szétcsúszás következtében több méter mélységű, közel vertikális repedések keletkeztek (3. ábra).

A talajfolyósodás mellett számos új és újraaktiválódott földcsuszamlást is feljegyeztek, amelyek számos utat károsítottak a tágabb epicentrális területen. Már-gás, agyagos talaj csuszamlása következett be például Prnjavor Čuntički faluban (Arbanas et al., 2021), körülbelül 10 km-re délre Petrinjától, aminek a következtében szükségessé vált a lakók evakuálása a földcsuszamláson és annak közelében található otthonaikból. Közvetlenül a főrengést követően, a földcsuszamlásokon kívül meredek lejtőkről vagy szikla bevágásokból származó kisebb kőomlásokat is regisztráltak.

Víznyelők

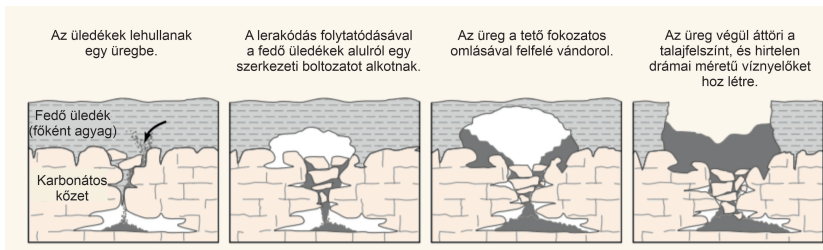
Még belegondolni is ijesztő abba, hogy egyszer csak hirtelen beomlik a föld a lá-

bunk vagy a házunk alatt, és egy víznyelő, egy nagy lyuk tátong alattunk. A jelenség a lakosságot, de a mérnököket is váratlanul érte annak ellenére, hogy Mečenčani és Borojevići falvak környezetében korábban is keletkeztek víznyelők, de nem ilyen mennyiségben és sűrűségben, mint most a földrengés hatására. A két településen ezek a víznyelők jelentették a legnagyobb veszélyt, amelyek több nappal a főrengés után, valamint az erősebb utórengéseket követően is sorozatosan nyíltak meg (Arbanas et al. 2021). A főrengés utáni 3 hónapon belül összesen 91, ún. beomlásos víznyelő keletkezett, a legnagyobb közülük 26 m átmérőjű és 12 m mély volt (4. ábra). A víznyelők egy korlátozott, kb. 10 km²-es területen fordultak elő, ahol a karsztosodott karbonátos kőzetekre a Sunja folyó rakta rá agyagos hordalékát 5–15 m vastagságban (Tomac et al. 2021). Legtöbbjük kinn a mezőn, de néhány közülük épületek közelében keletkezett.

A víznyelőknek többféle típusa van, de közülük az itt tömegesen előforduló beomlásos típusú a legveszélyesebb, mivel nagyon hirtelen omlanak be, és létrejöttüket nem előzi meg semmilyen felszíni deformáció.



4. ábra. Nagy, 26 m átmérőjű, 12 m mély víznyelő Mečenčani településen (Tomac et al. 2021)



5. ábra. A beomlásos víznyelők keletkezési mechanizmusa (forrás: USGS)

Keletkezésük mechanizmusát az 5. ábra mutatja be. Kialakulásuk valójában egy hosszadalmas folyamat, amelynek során a felső rétegben lévő finomszemcsés talajt és üledékeket a talajvíz a karsztban kialakult hasadékokba és földalatti üregekbe mossa, ami végül a fedőrétegek hirtelen összeomlásához vezet. Ezt a folyamatot jelentősen felgyorsította a petrinjai földrengéssorozat, amelynek következtében a beomló víznyelők több lakóépületet is megromogáltak.

Hazai megfigyelések

Az epicentrum Magyarország határától közelítőleg 100 km távolságban volt, ennek

ellenére a földrengés hazánkban is nagy ijedséget okozott.

A Magyar Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állomásai észlelték a beérkező, szokatlanul nagy amplitúdójú szeizmikus hullámokat, és az automatikus helymeghatározó rendszer két percen belül elküldte e-mailben az értesítést a rengés paramétereiről az Obszervatórium munkatársainak és a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság Központi Főügyeletének.

Az ország délnyugati részén már a december 28-i két előrengést is többen érezték, de ijedséget ezek még nem okoztak. A lakosság enyhe rázkódásról, felfüggesztett tárgyak enyhe lengéséről számolt be.

A december 29-én bekövetkezett földrengés azonban sokkal nagyobb ijedséget okozott. A közösségi médiát ellepték a személyes beszámolók, a Szeizmológiai Observatórium honlapja a túlterheltség miatt nagyon nehezen volt elérhető. Az első információkat a közösségi oldalakon tudtuk szolgáltatni, ahol kértük a lakosságot a földrengési kérdőívek kitöltésére. Ilyen módon az ország 638 településéről, több mint 3000 kérdőív érkezett az Observatóriumba, amelyek közül 828-at a fővárosban töltöttek ki.

A kérdőívben és a Facebookon sokan a személyes élményeiket is leírták, ezekből idézünk néhányat:

„Elég ijesztő volt, féltem, hogy leomlik a ház. Úgy mozgott, mintha lágy anyagból lenne és hullámozna.” (egy kaposvári lakos)

„Először azt hittem csak szédülök, fáradt vagyok. Aztán láttam, hogy mozog minden. Azonnal beálltam az ajtószárfa alá, de miután láttam, hogy nem hagy alább a rengés, hanem erősödik, azonnal futottam ki az épületből. Addigra már sokan mások is futottak ki.” (egy kaposvári lakos)

„Félelmetes volt. Mintha az egész házat rángatnák. Mozogtak a falak, az ágy.” (egy kaposvári lakos)

„Legijesztőbb a mély, néhány másodpercig tartó morgás volt!” (egy kaposvári lakos)

„A 8. emeleten voltam és a 10. emelet panelház kb. 10 cm-t imbolygott ideoda 20-30 másodpercig. Először azt hittem, csak szédülést érzek, aztán felálltam és éreztem, hogy mozog alattam a padló. Ez volt a legerősebb földrengés, amit valaha éreztem.” (egy kaposvári lakos)

„Olyan érzés volt mikor a Balatonon csónakban ringatózom, kilengett az épület, félelmetes volt, és az volt a legfélelmetesebb, hogy nem lehetett tudni meddig tart.” (egy kaposvári lakos)

„A barcsi határátkelőhelyen voltam, amikor a rengés volt és látszott, hogy jönnek ki az emberek. Repedés keletkezett az épület

falán.” (egy barcsi lakos)

„Nagyon ijesztően belengett a téglalapítású családi ház. Olyan érzés volt mintha ringana vagy hintázna az egész épület” (egy barcsi lakos)

„A macskák felriadtak, recsegett az ablak, mozgott a csillár, a karácsonyfa, érezhetően mozgott az egész épület. Szüleim Harkányban is érezték, ott a nagyobb bútorok is mozogtak.” (egy pécsi lakos)

„Nagyon erős volt a rengés érzete, viszonylag sokáig tartott. Az épület rázkódott, recsegett, nyikorgott, a felső szekrény ajtajai kinyíltak.” (egy pécsi lakos)

„Állattartó vagyok. Kimentem itatni. A nyulak az ól alá tapadtak. Teljesen ledermedt, merev állapotba. El se tudtam képzelni mi a bajuk. Zeusz kutyánk mereven az eget kémlelte. Beérve a lakásba 12:18 körül. Morajlást hallottunk és elindult a föld alattunk. A cicánk fejvesztve menekült. A rengés kb. 20-25 mp-ig tartott. A csillárok kilengtek, a hatalmas nagy bútorok úgy mozogtak, mint valami játékszer.” (egy pécsi lakos)

„Felébredtem arra, hogy az egész ágy ugrál és mozognak a szekrényajtók. Kinéztem az ablakon és a fák, a többi épület is imbolygott, kimenekültem az épületből, annyira recsegett-morajlott minden.” (egy pécsi lakos)

„Nagyon rossz érzés volt. Ültem és hirtelen nagyon remegni kezdett minden. Azt hittem, itt a vég, annyira szédültem, vagy legalábbis úgy gondoltam, hogy szédülök. Ennyire rosszul még sosem éreztem magam. Aztán megláttam, hogy a nyitott ajtó erőteljesen mozog. Akkor gondoltam földrengésre. Felálltam és nagyon erőteljes remegést éreztem a 4. emeleten. A réműlethez képest sokáig tartott, kb. 1-1,5 percig.” (egy budapesti lakos)

„10. emeleti panel, szélső lépcsőház. A legjobb szó a "lengés" az érzésre. Hasonlót éreztem (kisebb frekvenciával) felhőkarcolóban, nagy szélben. A nyitott ajtók mozogtak, a felakasztott ruhák a szekrényben mozogtak. Valószínűleg az ablakok mentén és fal

illesztéseknél a festés és vakolat megrepedt.” (egy budapesti lakos)

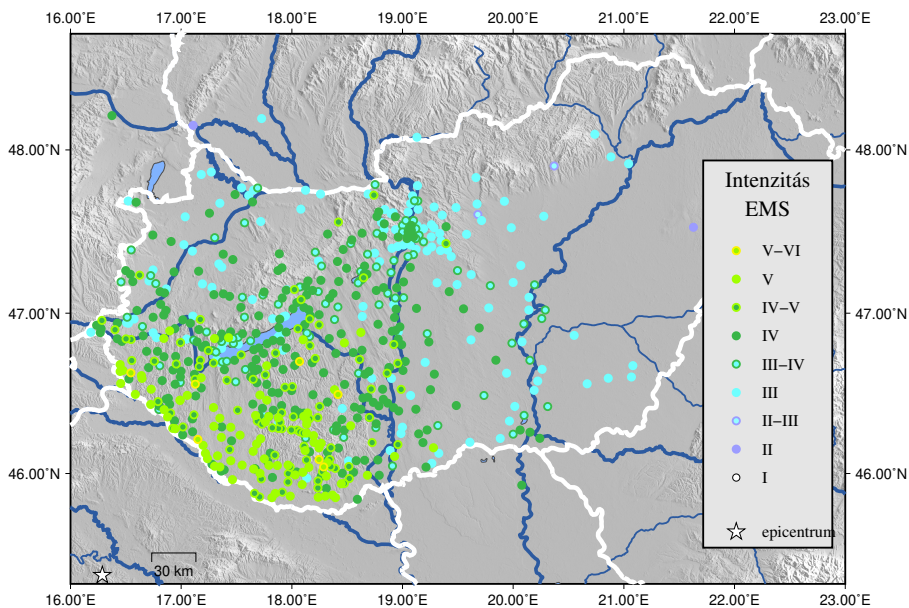
„Olyan volt állni, mint csónakban az enyhén hullámzó vízen, ezt a hullámzást látni is lehetett a padlón. Épp ekkor álltam fel (előtte a padlón ülve dolgoztam), így kifejezetten nehéz volt állva maradni. Leginkább a növényeken és a függönyökön látszott a mozgás, közel fél percig jelentősen kilengve mozogtak. Kicsit olyan érzésem volt, mint ha két hullámzás lett volna. Az egyik ajtó fél perc után is nyikorogva lengett.” (egy budapesti lakos)

„Észlelés helye: Budapest XIII. kerület, 15 emeletes íveg irodaház 13. emelete. A földrengés észlelése szédüléshez hasonló érzéssel indult, fülszengéssel, majd nyomással a nyaktájékon és a fejben. Ezt követte néhány perc múlva a vízszintes irányú imbolygó mozgás, amelyet a széken ülve is lehetett érezni. Az imbolygás néhány másodpercig tartott, majd pár másodperces szünet után periodikusan ismétlődött, körülbelül 4-5 alkalommal. A függönyök és egyes, falon

függő tárgyak mozogtak, a nyitott ajtók bezáródtak.” (egy budapesti lakos)

Az ijedtségen kívül a délnyugati megyékben károk is keletkeztek. A lakosság jellemzően arról számolt be, hogy levált a vakolat, repedések keletkeztek a fő- és melléképületek falain, a földemen, az ablaküveg megrepedt vagy betört, súlyosabb esetekben megdőlt a kémény vagy éppen burkolatok repedtek meg. Károk keletkeztek például a pécsi Lyceum templomban is, amit a rengés után a statikai vizsgálatok lezártáig be is kellett zárni.

A beérkezett kérdőívek alapján 90 településen érte el a rengés intenzitása az V-ös fokozatot az EMS skálán (Grünthal, 1998), amitől kezdve károk bekövetkezésére lehet számítani. A beérkezett kérdőívek alapján meghatározott intenzitások eloszlását a 6. ábra térképe mutatja, a konkrét intenzitásértékek a Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2020-as kötetében (Süle et al., 2021) találhatóak.



6. ábra. Az intenzitások eloszlása az ország területén

Mérnöki tervezés szempontjából nem az intenzitások, hanem a fellépő talajgyorsulások ismerete a fontosabb. Magyarország szeizmikus veszélyeztetettségi térképe alapján, az ország területén az 50 év alatt, 10%-os meghaladási valószínűséggel várható maximális vízszintes talajgyorsulások (PGA) értékei 0,07 g és 0,15 g között vannak (Tóth et al., 2006). Az Eurocode 8 földrengés-biztonsági szabvány magyarországi életbelépése óta ilyen gyorsulások elviselésére kell a hazai civil épületeket tervezni.

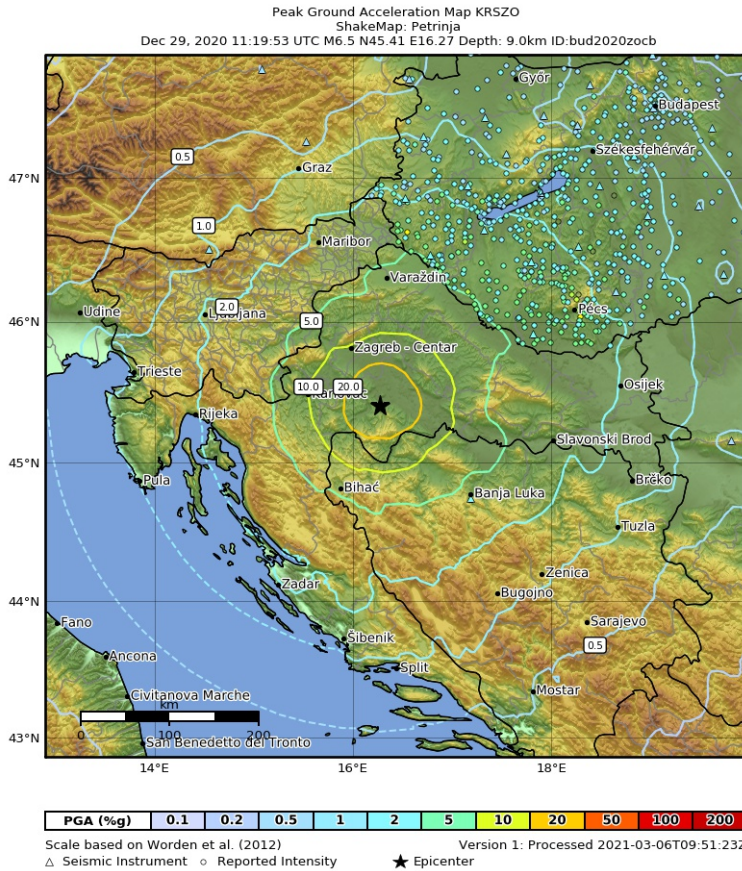
Egy földrengés által okozott talajgyorsulások térbeli eloszlását a gyorsulásgyengülési összefüggések felhasználásával – a szeizmológiai állomások méréseivel, valamint a meghatározott intenzitásokkal kalibrálva – a ShakeMap modellező programmal (Worden and Wald, 2016) tudjuk becsülni. A petrinjai földrengés esetén a maximális vízszintes gyorsulások ilyen módon számított eloszlását a 7. ábra mutatja. Előállításához a magyarországi állandó és ideiglenes állomások adatait, a meghatározott intenzitásokat, és mindössze néhány határon kívüli állandó szeizmológiai állomás adatát tudtuk felhasználni. Ezért a megbízhatósága is Magyarország területén belül a legnagyobb, de a szintvonalak összhangban vannak a Zágrábban mért átlagos 0,1 g értékkel is. Magyarországon a legnagyobb gyorsulások a délnyugati megyékben voltak megfigyelhetők, a 0,05 g gyorsulást jelölő izovonal a horvát-magyar határ mentén húzódik. A becsült PGA értékek ezek alapján mindenhol a veszélyeztetettségi térkép gyorsulás-értékei alatt voltak. Fontos azonban megjegyezni, hogy a

7. ábra ShakeMap térképe egy simított eloszlást mutat be, a helyi talajviszonyok miatt lehetnek helyenként a térképen láthatónál nagyobb, és annál kisebb PGA értékek is.

Konklúzió

A becslések alapján Horvátországban a földrengéssorozat során keletkezett károk értéke 5–5,5 milliárd euróra tehető (forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Petrinja_earthquake). A megfigyelt súlyos épületkárok, a földrengés következtében a környezetben keletkezett károk, és a rengés során a szabványban szereplő értékeket meghaladó gyorsulások szükségessé teszik, hogy a szakemberek a jövőben újraértékeljék a terület szeizmikus veszélyeztetettségét és felülvizsgálják a meglévő földrengés-biztonsági szabványokat.

Ugyanakkor nagyon fontos azt is megjegyezni, hogy ilyen, súlyos károkat okozó földrengések Magyarország határaihoz közelebb is előfordulhatnak. Hasonló erősségűek voltak például az 1763-as komáromi, és az 1834-es érmelléki földrengések, amelyek az epicentrumhoz közeli területeken a petrinjaihoz hasonló gyorsulásokat okozhattak. Az ilyen erős földrengések ritkán fordulnak elő, ezért hajlamosak vagyunk elfeledkezni róluk. Ennek ellenére felkészültnek kell lennünk, hogy egy esetlegesen kipattanó földrengés ne veszélyeztessen emberéleteket, és az épületekben, infrastruktúrában keletkezett kár is a lehető legkisebb legyen.



7. ábra. A petrinjai főrengés által okozott maximális vízszintes talajgyorsulások eloszlása. A színtvonalakon látható értékek a g gravitációs gyorsulás ($9,81 \text{ m/s}^2$) százalékában vannak megadva.

Hivatkozások

- Bačić, M., Kovačević, M. S., Librić, L., & Žužul, P. (2021). Sinkholes induced by the Petrinja M6.2 earthquake and guidelines for their remediation. 1st Croatian Conference on Earthquake Engineering, 1CroCEE 22-24 March 2021 Zagreb, Croatia
- Grünthal, G. (1998). European macroseismic scale 1998. European Seismological Commission (ESC).
- Markušić, S., Stanko, D., Penava, D., Ivančić, L., Bjelotomić Oršulić, O., Korbar, T., & Sarhosis, V. (2021). Destructive M6.2 petrinja earthquake (Croatia) in 2020—Preliminary multidisciplinary research. *Remote Sensing*, 13(6), 1095.
- Perić, D., Herak, M. (2021). 4. Recorded Ground Motions (Tomac, I., Zlatović S. Geotechnical Reconnaissance and Engineering Effects of the December 29, 2020, M6.4 Petrinja, Croatia Earthquake, and Associated Seismic Sequence, A report to the NSF-Sponsored Geotechnical Extreme Event Reconnaissance (GEER) Association, p. 196.
- Pollak, D., Gulam, V., Novosel, T., Avanić, R., Tomljenović, B., Hećej, N., ... & Librić, L. (2021). The preliminary inventory of coseismic ground failures related to December 2020–January 2021 Petrin-

- ja earthquake series. *Geologia Croatica*, 74(2), 189-208.
- Arbanas S.M., Arbanas Ž., Krkač M., Gazibara S.B., Damjanović V., Sinčić M., Jagodnik P., Jagodnik V. (2021) Potres u Petrinji M6,2 od 29.12.2020: izvješće o inženjerskogeološkoj i geotehničkoj prospekciiji. https://www.rgn.unizg.hr/images/izdvojeno/UNIZR-RGNF_UNIRI-GF_potes_Petrinja_M6.2_ig_i_gt_prospekcija.pdf
- Stipčević J, Dasović I, Herak D, Herak M, Latečki H, Sećanj M, Tomljenović B (2021) The great Petrinja earthquake – a year after https://www.chem.pmf.hr/geof/en/popularization_of_geophysics/the_petrinja_2020_mw6.4_earthquake_series
- Süle, B., Bondár, I., Czanik, C., Czece, B., Czifra, T., Fodor, C., ... Wéber, Z. (2021): Hungarian National Seismological Bulletin 2020. (Szerk.: Süle B.). Budapest: ELKH FI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium.
- Tomac, I., Vlahović, I., Parlov, J., Matoš, B., Matešić, D., Kosović, I., Pavičić, I., Frangen, T., Terzić, J., Pavelić, D., Pham, N. (2021). 6. Cover-Collapse Sinkholes (Tomac, I., Zlatović S. Geotechnical Reconnaissance and Engineering Effects of the December 29, 2020, M6. 4 Petrinja, Croatia Earthquake, and Associated Seismic Sequence, A report to the NSF-Sponsored Geotechnical Extreme Event Reconnaissance (GEER) Association), p. 196.
- Tóth, L., Győri, E., Mónus, P., & Zsíros, T. (2006). Seismic hazard in the Pannonian region. In *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards* (pp. 369-384). Springer, Dordrecht.
- Worden, C.B. and D.J. Wald (2016). ShakeMap Manual Online: technical manual, user's guide, and software guide, U. S. Geological Survey. [usgs.github.io/shakemap](https://github.com/usgs/shakemap).