

VARGA PÉTER

Indukált földrengések

A földtani szerkezeteket elválasztó törésvonalak menti relatív elmozdulások során rugalmas energia halmozódik fel. A földrengés – egyszerűsítve a lejátszódó bonyolult folyamatokat – akkor következik be, amikor ez az energia eléri egy kritikus értéket és meghaladja a neki ellenálló súrlódási energiát. Ekkor a felhalmozódott energia egy része rugalmas hullámok energiájaként kisugárzódik, egy másik része hőenergiává alakul, illetve egy harmadik része mechanikus energiává lesz, létrehozva a kőzetblokkok hirtelen végbemenő relatív elmozdulását. A Föld belsejében egy adott helyen az energia-felhalmozódás folyamata ki van téve a forráshoz viszonyítva külső indukáló hatásoknak is. Ezek a földrengés méretét és kipattanási idejét befolyásoló indukáló hatások növelhetik, vagy éppen csökkenthetik a kőzetblokk-határon felhalmozódó, általában tektonikus mozgások következményeként felhalmozódó feszültséget és ezzel befolyásolják a terület szeizmicitását: növelhetik vagy csökkenthetik a földrengések magnitúdóját, megváltoztatják azok kipattanásának időpontját.

A földrengések időbeli eloszlása jelenlegi tudásunk szerint sporadikus, nem szabályos. Éppen ezért a várható földrengés méret (magnitúdó), melyre készülnünk kell egy adott helyen, rendkívül nehezen becsülhető. A közelmúlt eseményei, mint például a Tohoku földrengés (2011. március 11., $M=9,0$) vagy a 2015. április 25-i nepáli ($M=7,8$) azt mutatják, hogy a múltbeli földrengések alapján végzett földrengésveszély-becslések túlságosan optimisták voltak, a valóságos veszélyt alulértékelték. Ahhoz, hogy ez a helyzet kedvezően változzon, szükséges a múltbeli, tektonikai alapú földrengés-tevékenység adatbázisának minél pontosabb és teljesebb megismerése. Így szükség van arra is, hogy ezt az adatbázist megtisztítsuk azoktól a szeizmológiai viszonyokat befolyásoló, nem tektonikai eredetű, külső forrás által befolyásolt vagy keltett, triggerelt, indukált szeizmikus eseményektől, melyek a természetes földrengés-tevékenység jellegét változtatják, torzítják. Ez utóbbiak lehetnek természetes folyamatok következményei vagy az emberi tevékenység által keltettek. Ráadásul a mesterséges eredetű rengések esetenként komoly károkat is okozhatnak olyan területeken is, melyek korábban szeizmológiai szempontból egy-



1. ábra. Az Észak-anatóliai-törésvonal 1939 és 1999 között keletkezett legnagyobb földrengéseit keltő törésvonal-szakaszok ($M_{6,9-7,9}$) nyugati irányú migrációja. A szeizmikus veszélyeztetettség mértékének növekedését a sötétebb színárnyalatok jelzik

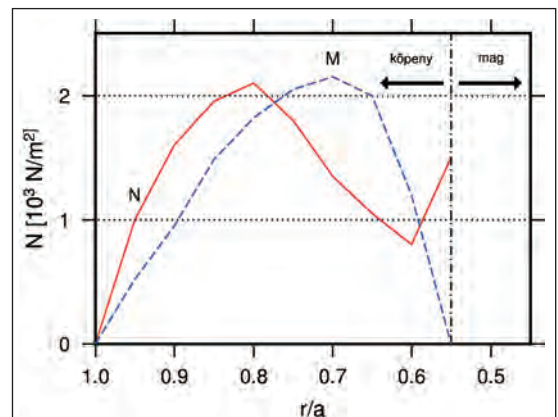
általán nem számítottak aktívoknak. Az indukált, keltett vagy triggerelt földrengések tehát jelentős összetevői lehetnek egy terület földrengés-veszélyeztetettségének és így fontosak a társadalom számára.

Természeti jelenségek földrengést indukáló hatása

A földrengést indukáló természeti folyamatok rendkívül változatosak. Egy szeizmikus eseményt kelthetnek, vagy a felhalmozódásban lévő feszültségek rengés formájában történő kiszabadulását kiválthatják például a vulkáni tevékenységet megelőző folyamatok a magmakamrában, a hó- és jégtakaró növekedése, vagy olvadása, föld alatti üregek beomlása. Vannak olyan – nem mindig igazolódott – híradások, hogy egyes szeizmikus események a légnyomás értékeknek, vagy a talajvíz szintjének változásaival hozhatók kapcsolatba.

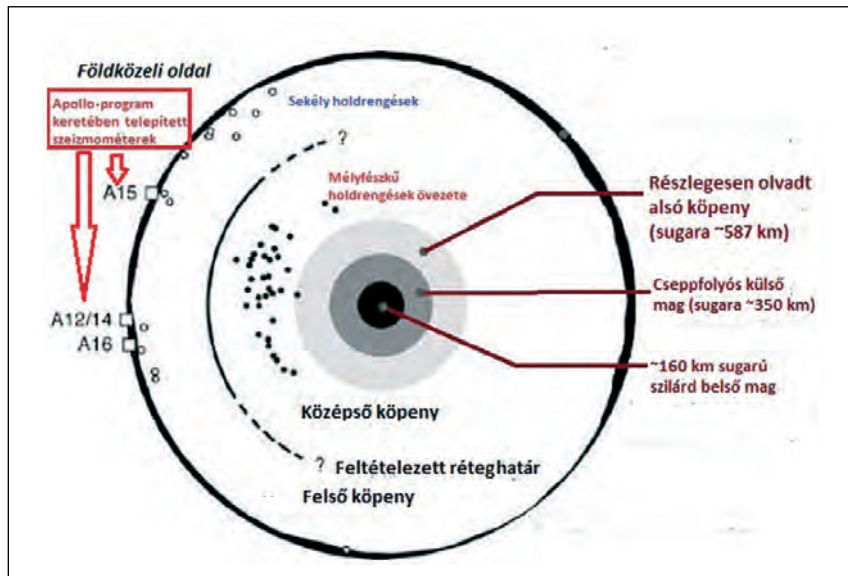
Már korábban felfigyeltek arra, hogy a földrengések hatása érvényesül térben és időben nem egyenletes lefolyásában, például hogy a rengéseket gyakran követik olyan földrengések, melyek, úgy tűnik, oksági kapcsolatban vannak az előbbitel, bár attól térben és időben bizonyos eltéréssel figyelhetők meg. Az energiaátadás módja egy másik, későbbi földrengés fészkebe nem tisztázott, de a kérdéssel foglalkozó szeizmológusok közül sokaknak az a véleménye, hogy a „távhatás” hatékonyságát növeli, ha a hatás hosszabb ideig tartó

és több magas frekvenciájú összetevőkben gazdag. A szeizmikus indukáló hatás mértéke egyforma közeli (néhány száz kilométer távolságban lévő) kisebb és távoli 2–3 magnitúdó értékkel nagyobb földrengés esetében. Mint említettem, a tektonikai eredetű törésvonal mentén történő hirtelen elmozdulás kelti a földrengéseket. De a relatív mozgás lehet lassú is. Esetleg olyan lassú, hogy külső hatás nélkül egyes feszültség-felhal-



2. ábra. Normális (N) és a vízszintes (M) árapályfeszültségek a földköpenyben

mozódások külső hatás hiányában következmények nélkül relaxálódhatnak is. Az említett lassú elmozdulásokkal kapcsolatos „csúszásos események” („creep events”), gyenge rezgések (talajremegések, angolul: tremors) keletkezhetnek. Ezek műszeres megfigyelésére és lokalizálására csak az utóbbi években, a földrengésjelző állomáshálózatok sűrűbbé válása és a szeizmométerek érzékenységének növekedése révén nyílt lehetőség. A rezgésrajok elhelyezkedését és időpontját vizsgálva



3. ábra. Holdi szeizmikus jelenségek fészkei

amerikai geofizikusok arra a következtetésre jutottak, hogy ezeket gyakran távoli szeizmikus események generálják egy adott törésvonalon. Létrejöttük után ezek, eltérő sebességekkel, vándorolnak a törésvonal mentén, és olyan helyre érve, ahol már a kritikus értékhez közeli feszültség halmozódott fel, földrengést indukálhatnak. Ez a mechanizmus lehet a magyarázata a keltő és a kiváltott szeizmikus esemény időpontjai között tapasztalt eltéréseknek.

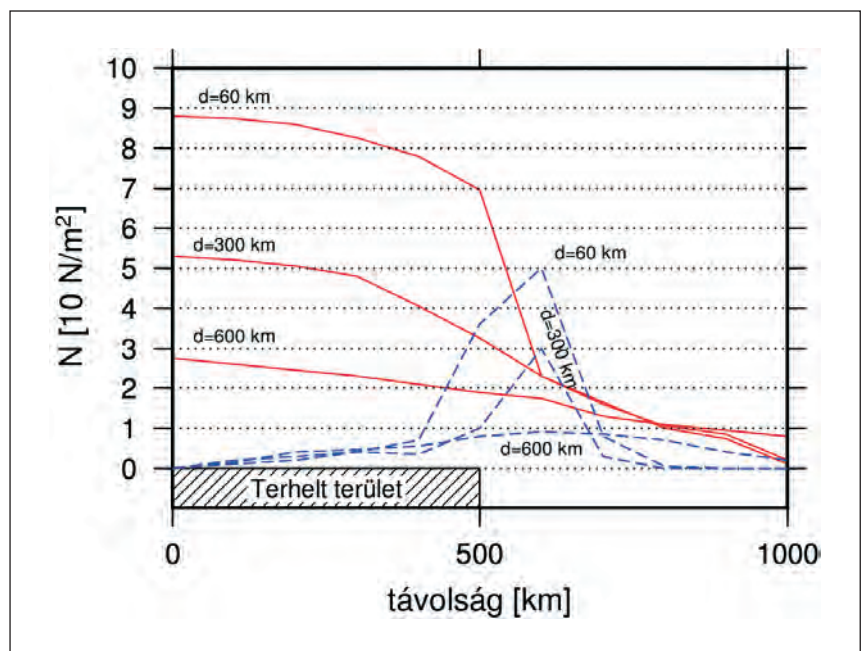
A távoli földrengés mikro-földrengéseket generáló hatásának példája volt a 2010. évi Maule (Chile) földrengés (M8,4) hatására az Antarktisz jégtakarójában keletkezett mikro-földrengés-raj. Ez jól megfigyelhető volt a helyi állomásokon, annak ellenére, hogy a hatodik kontinens szeizmológiai hálózata a földrész méreteihez képest nagyon ritka. Valószínű, hogy a krioszféra különösen kedvező feltételeket kínál a mikrorengések detektálásához.

A földrengésfészkek migrációja egy adott törésvonal mentén szintén a földrengés indukáláshoz köthető. A migráció talán legismertebb esete az Eurázsiai- és az Anatóliai-lemezeket elválasztó Észak-anatóliai-törésvonal. Ennek mentén a 33 ezer áldozatot követelő erzincani földrengés (1939, M7,9) óta hét $M \geq 7$ földrengés pattant ki, melyek epicentrumai fokozatosan nyugatra tolódtak. Az egyik esemény hatása indukálta az utána következőt. A legutóbbi két esemény a düzzei (1999, M7,2) és a Márvány-tenger partján lévő Izmitet sújtó (1999, M7,6, 17 500 áldozat) már veszedelmesen megközelítette Törökország legnagyobb városát, Isztambul (1. ábra).

Az árapályjelenség lehetséges hatása a földrengésekre már a XIX. század vége óta foglalkoztatja a szakembereket. Az 1930-as években többen kimutatták a Föld rugalmas

deformációit kiváltó árapály időbeli változásának korrelációs kapcsolatát a földrengések kipattanási idejével. Természetesen azt sen-

a földrengések keletkezési időpontját. Annak bemutatására, hogy az árapály triggerelő hatása – a szorosnak látszó statisztikai kapcsolat ellenére – nem egyszerűen kapcsolódik a földrengés-aktivitás időbeli eloszlásához, modellszámításokat végeztem a szeizmológiában jelenleg leginkább elfogadott STW 105 (más néven REF) modell sebesség- és sűrűségadatainak felhasználásával a normális N és a vízszintes M árapály keltette feszültség értékek meghatározására. A számításokat egy gravitációs hatású, rotációmentes Föld esetére végeztem a rugalmasság és a gravitációs potenciál időbeli változását leíró inhomogén hatod rendű differenciál egyenletrendszer felhasználásával a földköpenyben tíz egyenlő távolságban lévő szinten. A számítások eredménye azt mutatja (2. ábra), hogy a Föld felszínén és az ahhoz közeli mélységekben N és M értékei rendkívül kicsik, pedig a földrengés-aktivitás döntő része (90%) a felszíntől számított 50 km vastagságú réteghez kötődik. A számított görbék maximumai 1300 km (N esetében) és 1900 km (M esetében) mélységek körül találhatóak, ahol már nincs semmi-féle földrengés-tevékenység. (Az ismert legmélyebb földrengés a Fidzsi-szigetektől délre



4. ábra. Normális (piros folytonos vonal) és vízszintes (kék szaggatott vonal) felszíni terhelésből számított feszültségek a Föld belsejében különböző mélységekben (d). Terhelt terület: 106 km²

ki sem feltételezte, hogy a luniszoláris hatás képes önmagában kiváltani a földrengéseket, hiszen az általa keltett feszültség három nagyságrenddel kisebb a rengéseket létrehozó tektonikainál. A jelenlegi helyzet az, hogy a tudományos közlemények szerzőinek jelentős része, mondhatni többsége a két jelenség között talált korreláció alapján úgy véli, hogy az árapály okozta deformáció képes befolyásolni

684±10 km mélységben történt.) A 670 km mélységtől kezdődő alsó köpeny anyagának magas hőmérséklete már nem teszi lehetővé a földrengéseket kiváltó rugalmas feszültség felhalmozódását. Hasonló a helyzet a földrengéseket elsősorban kiváltó nyírási feszültségek esetében is, hiszen ezek a normális és a vízszintes feszültségek különbségeként határozhatóak meg.

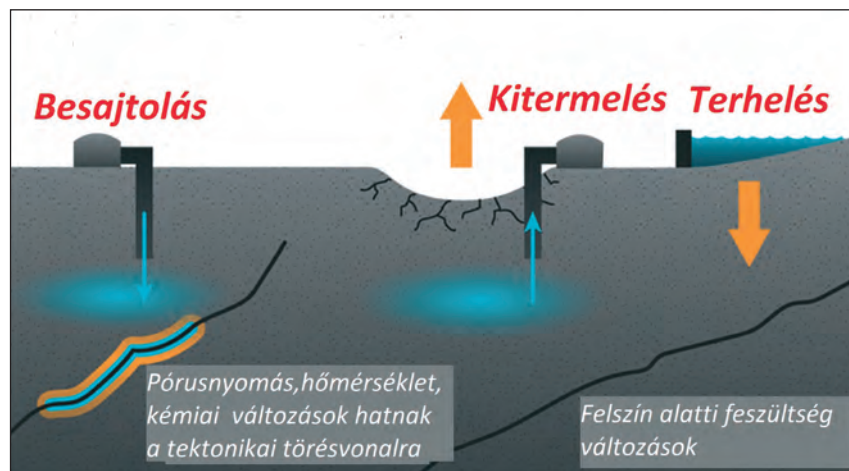
Egy kis kitérőt téve vizsgáljuk meg, mi a helyzet a Hold-szeizmicitás mélység szerinti eloszlása esetében (3. ábra). Az Apollo-program keretében telepített szeizmométerek 1972 és 1977 között összesen 12 000 holdrengést észleltek. A 28 legnagyobb ($M \geq 5$) sekélyfészklü esemény oka még nem tisztázott. Ezen kívül a Hold felszínéhez közeli termikus (a nagy nappali és éjszakai hőmérséklet-különbségek miatt keletkező) és meteorbecsapódások miatti rengések mellett a rengések jelentős részének (mintegy 7 000 esemény) hipocentruma mély, a köpeny középső részéhez köthető kis magnitúdójú ($M \leq 2$), 27 napos periodicitással jellemezhető esemény. Az időbeli változás jellege alapján valószínű: a mély rengéseket a Földnek a Holdnál 130-szor nagyobb árapálykeltő hatása indítja el. A Földdel szemben az alacsonyabb belső hőmérséklet miatt a holdköpeny középső részén jelentkező feszültséganomália létrehozhat rengéseket. A Mars eddig még meg nem ismert szeizmicitásában, nem lévén számottevő holdja, az elmondottak alapján nem várható jelentős szeizmicitás a bolygó köpenyének belsejében. 1976 augusztusától egy három komponenses, alacsony érzékenyséű szeizmométer működött a Marson (M3 rengés detektálására volt képes 200 km távolságról és M6,5 méretűt a bolygó egészéről). A műszer működésének első öt hónapja során egyetlen gyenge M3 Mars-rengést sikerült csak detektálni, ami arra utal, hogy a Mars földrengés-aktivitása lényegesen kisebb a Földénél, de nem sikerült képet kapni ennek területi és mélység szerinti helyzetéről. A tervezett InSight program egyik célja az ottani szeizmicitás megismerése, ami várhatóan segíteni fogja a Hold és a Föld aktivitásának értelmezését is.

De akkor mi lehet az oka annak, hogy a földi szeizmicitás időbeli eloszlása több esetben az árapály időbeli eloszlásával mutat kapcsolatot? A válasz: a tengerek árapályának a Föld felszínét terhelő hatása. Ennek illusztrálására az imént említett számítást ismétlem meg azzal az eltéréssel, hogy míg az előző esetben a Föld felszínén a normális feszültség $N=0$ (a Hold nem érintkezik bolygók felszínével), addig a tengeri árapály által mozgatott víztömeg esetében természetesen $N \neq 0$. A 4. ábrán lévő modell esetében 100 Nm^{-2} (100 Pa) terhelés nehezedik (ami 1 m vízoszlop nyomásának felel meg) egy 10^6 km^2 felületre. A normális N és a vízszintes M feszültségek értékeit különböző mélységek esetére (60 km, 300 km, 600 km) számítottam. Látható, hogy a tipikusnak tekinthető fészkmélység (60 km) esetében a keletkező normális és vízszintes feszültségek értéke 1–10 m amplitúdójú árapály esetében (10^4 – 10^5 Nm^{-2} , ami 10^2 – 10^3 -szorosa a földi árapály által 60 km mélységben keltettnek. Mivel a földrengések fészkeiben MPa (10^6 Nm^{-2}) nagyságrendű feszültségek vannak jelen, megállapíthatjuk, hogy a tengeri ár-

apály okozta terhelés önmagában nem okozhat földrengést, de lehet az „utolsó csepp a pohárban” és így hathat a földrengés kiptatanásának időpontjára. (A légnyomásváltozások generálta feszültségek értéke 10^2 – 10^3 Nm^{-2} .)

Az emberi tevékenység hatása a földrengés-aktivitásra

Az ipari tevékenység számos formája okozhat földrengéseket (5. ábra):

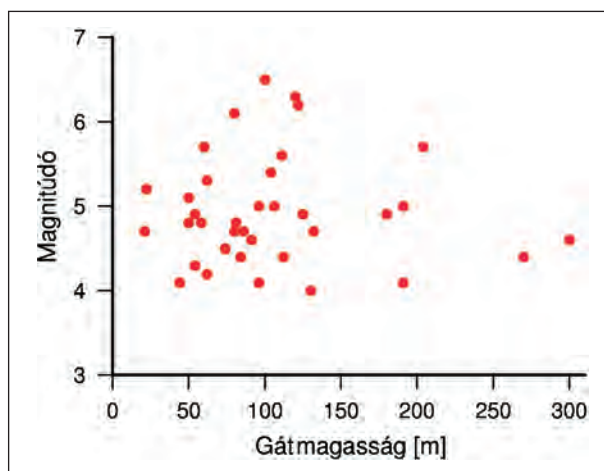


5. ábra. Az ipari tevékenység következtében kialakuló, földrengést keltő feszültségforrások

- terhelések víztározók feltöltése és vízszintjének változtatása miatt
- szilárd és folyadék bányászati tevékenység (kitermelés)

tásai (Hsinfengchiang, Kína M6,1; Kariba, Zimbabwe M=6,2; Kremasta, Görögország M6,3). Guha (2000) szerint 1960–1985 között 37 károkozásra képes, tározókhöz köthető $M \geq 4$ esemény történt világszerte.

A Níluson épült aszszuáni gát mögötti víztározó szintváltozásai több M5 vagy nagyobb földrengést keltettek. A legnagyobb ezek közül az 1981. novemberi volt ($M=5,6$). Figyelemre méltó, hogy az International Seismological Center (ISC) katalógusa 1920-tól a mesterséges tó feltöltéséig nem tartalmazott szeizmikus eseményt Asszuán térségéből. Azóta, a tó mélységének változtatásai következtében, a terület szeizmikusan aktívává vált. A 2008. évi szecsuáni földrengés (M7,9, 80 ezer áldozat) kapcsolata közelben akkor létesülő Zippingu víztározóval jelenleg is szakmai vita tárgya. Az viszont tény, hogy a gát a földrengés következtében megsérült.



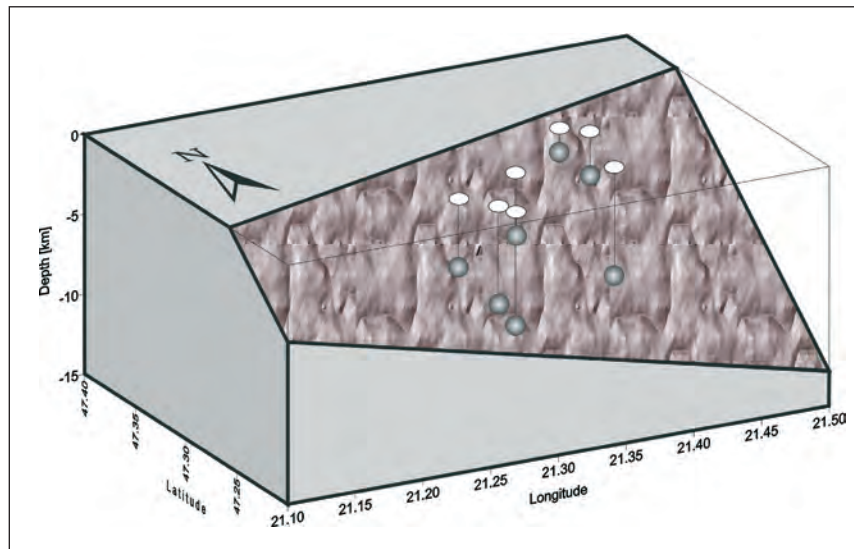
6. ábra. Földrengés magnitúdóértékek a víztározók gátmagasságának függvényében

- folyadékinjektálás (besajtolás) a felszín alá és repesztéses kitermelési tevékenység
- föld alatti robbantások
- Mesterséges víztározók színtingadozásai

Még nem tisztázott, milyen módon hatnak a tározók vízszintváltoztatásai a szeizmikus aktivitásra. Az előző részben ismertetett modellszámítás eredménye azt mutatja, hogy egy

höz járulnak a mélyművelésű bányászatban a járatokban jelentkező kőzetrepedések művelés alatt lévő, vagy felhagyott bányajáratokban egyaránt, melyek önmagukban képesek

zet préseltek nagy nyomás alatt alacsony permeabilitású kőzetbe. Ez a tevékenység 2006-ban és 2007-ben négy M3 méretű földrengést keltett. Ezek a gyenge földrengések és annak emléke, hogy 1376-ban itt volt Közép-Európa legnagyobb ismert földrengése, jelentős társadalmi ellenálláshoz és az egész energetikai projekt leállításához vezetett. Hollandiában sekély, laza üledékekből történő gázkitermelés 2013-ban Loppersumban jelentős károkat okozó földrengést (M3,4) eredményezett. Az Egyesült Államok középső részén a palagáz-kitermeléssel járó kőzetfeszültség-növekedés megváltoztatta a térség szeizmicitását. Az itteni $M \geq 3$ földrengések évtizedekig stabil éves szám értéke (21 esemény/év) 2001-től növekedni kezdett, és 2011-ben már 188 esemény/év értéket ért el. A növekedés oka emberi tevékenységhez köthető (Ellsworth, Science, 2013) (8. ábra). A számottevő épületkárokkal is járó oklahomai földrengést (2011. november 6., M5,7) valószínűleg föld alatti tározóba injektálás okozta. Az új eljárások jelentős mértékben azok szeizmikus aktivitást növelő hatása miatt az USA-ban intenzív politikai és tudományos vitákhoz vezettek és várható, hogy ilyenekre – az új eljárások terjedésével – más térségekben is hamarosan sor kerül majd.



7. ábra. A füzesgyarmati 1996. szeptember 29–30-i földrengésraj hipo- és epicentrumai

10^6 km² nagyságú terület 10 m magas vízszlappal történő terhelése esetén 10^5 Nm² nagyságrendű feszültség jön létre 60 km mélységben. Ha a terhelte terület két nagyságrenddel tízezer négyzetkilométerre csökken, a keletkező feszültség értéke alig változik. A tározót felduzzasztó gát magassága és ezzel a lehetséges szintingadozások amplitúdója a tározó működötése által keltett földrengések mérete (magnitúdója) nem mutat egyértelmű kapcsolatot (6. ábra). Valószínű, hogy a keltett szeizmicitás mértéke elsősorban a térség földtani, tektonikai viszonyaitól, a vízszintváltoztatások időbeli alakulásának jellegétől függ. Az indukált szeizmicitás két eltérő formáját sikerült megkülönböztetni:

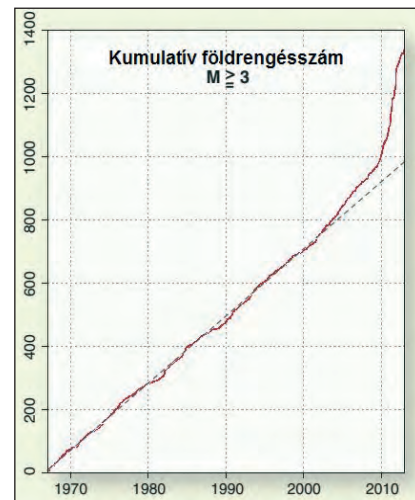
- „gyors szeizmikus reagálás” – a tározó feltöltése vagy leeresztését követő rugalmas feszültségváltozás és a már létező törésvonal mentén végbemenő hirtelen elmozdulás
- „késleltetett szeizmikus reagálás” – a pórusnyomás szétterjedése, mélységi lehatolása, mely törés közeli feszültséget eredményez és tektonikus elmozdulást kelt.

A szilárd, folyékony és légnemű nyersanyagok bányászata és a bányászati tevékenység után felhagyott területeken egyaránt létrejöhetnek az indukált szeizmicitás feltételei. A bányászathoz köthető szeizmikus aktivitás növekedés mértéke egyaránt függ a tevékenység mélységétől és geometriájától, a kitermelés intenzitásától, a tektonikai eredetű törések elhelyezkedésétől és természetesen a környezet már meglévő természetes szeizmicitásának szintjétől és jellegétől. Ezek

$M \geq 4$ méretű szeizmikus eseményeket kiváltani. Csehország Németországgal határos területén, illetve a sziléziai részen, a lengyel határ környezetében vagy Lengyelország délnyugati szegletében rendszeresek az indukált M3–M4 magnitúdójú földrengések, de előfordulnak ennél nagyobb károkat is okozó M5 körüli események is. Fontos megjegyezni, hogy az említett területeken a természetes, tektonikai eredetű szeizmicitás szintje rendkívül alacsony. Hasonló a helyzet a Fehéroroszország középső és déli részein lévő mélyművelésű káliumbányák esetében is, ahol gyakoriak az M4 körüli károkat okozó rengések. A kanadai Saskatchewan tartománybeli kálisbányászat következtében 1976 és 1985 között 22 földrengés következett be ($2,3 \leq ML \leq 4,5$), olyan területen, ahol a bányászkozást megelőző időből gyakorlatilag nem volt földrengés.

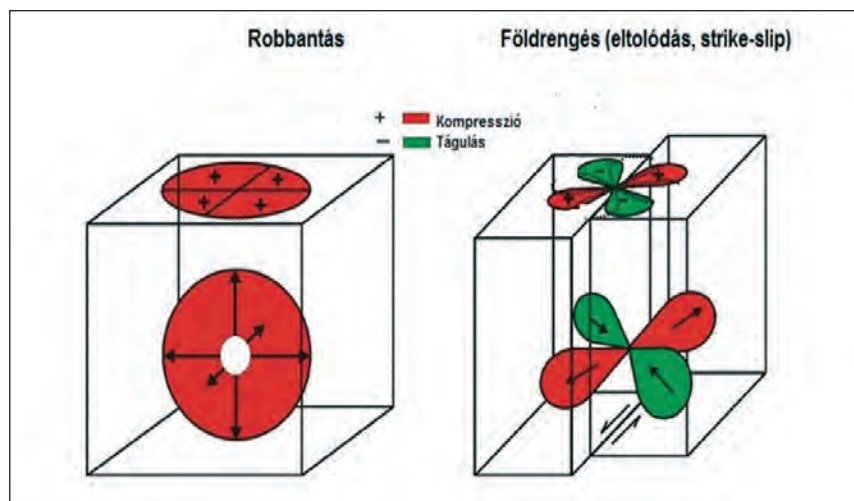
Valószínűleg kőolajkitermelés keltette azt a 7 eseményből álló, M3 körüli méretű eseményekből álló földrengés rajt, mely Füzesgyarmaton pattant ki (1996. szeptember 29–30.). A rengések mélysége 2 km és 12 km között volt és a fészkek egy 71° csapásirányú és 42° dőlési síkon helyezkedtek el (7. ábra).

A folyadék- (esetenként gáz-) injektálás a felszín alá különböző célokkal történhet: a palás szerkezetekből történő olajkitermelés produktivitásának növelése, geotermikus energia felhasználása, szennyvíz (vagy szén-dioxid) föld alatti tárolása. Ezek az új technológiák jelentős, természetes szeizmicitást megváltoztató feszültséget hoznak létre. A Bázélbe tervezett fokozott hatékonyságú geotermikus energiatermelési rendszer megvalósítása érdekében vi-



8. ábra. Az Egyesült Államok középső részén kipattant $M \geq 3$ földrengések 1967 és 2012 között (folytonos vonal) a kumulatív földrengésszámok 1970 és 2013 között, szaggatott vonal a földrengésszám-összegek trendje a 2002. előtti adatok alapján)

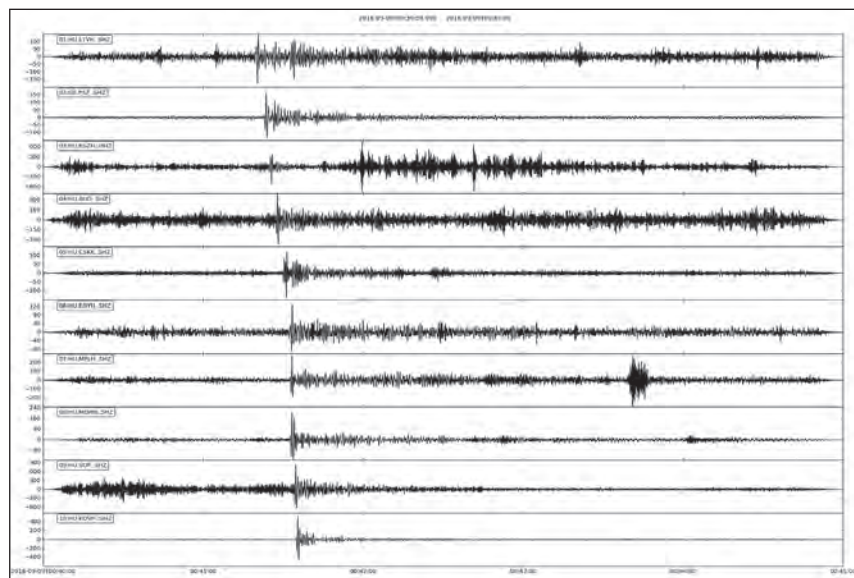
Szigorúan véve a föld alatti robbantások és ezen belül az atomrobbantások következtében felszabaduló rugalmas energia hatása nem tekinthető indukált földrengésnek. A robbantások által keltett rugalmas hullámok energiája azonban olyan jelentős, hogy azok a robbantás helyétől sok ezer kilométerre is megfigyelhetők szeizmológiai



9. ábra. Feszültségek föld alatti törésvonal mentén történő elmozdulások és föld alatti robbantások esetében

műszerekkel. A nukleáris fegyverekkel végzett kísérleti robbantásokra eleinte a felszín felett került sor. 1953–1958 között 231 légköri atomrobbantást hajtott végre az USA, a Szovjetunió és az Egyesült Királyság. Az ezek korlátozását eredményező részleges atomcsend-egyezmény (1963) megtiltotta a légköri kísérleteket, de a föld alattiakat nem. A teljes atomcsend-egyezményt 33 évi tárgyalást követően 1996-ban írták

A föld alatti robbantások megkülönböztetése nem mindig egyszerű feladat. Szempont lehet, hogy a robbantások fészkében végbemenő folyamat elsősorban térfogatnövekedéssel jár, míg a földrengések során a kőzetblokkok törésvonal mentén történő mozgás során tágulás és összenyomódás egyaránt előfordul (9. ábra). A föld alatti atomrobbantások által indukált földrengéseket a robbantás helyétől több ezer kilométerre lévő állomá-



10. ábra. A 2016. január 6-án végrehajtott észak-koreai nukleáris robbantás magyar állomásokon regisztrált szeizmogramjai

alá. A megállapodás megtartásának ellenőrzésére hozták létre 1997-ben az Átfogó Nukleáris Kísérleteket Tiltó Megállapodást (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, CTBTO). A bécsi székhelyű szervezet több mint 330 megfigyelőhelyen végez szeizmológiai, hidroakusztikus, infrahang, radioaktív izotóp monitoringot.

sok is regisztrálják. Így az Észak-Korea által 2009. május 25-én (M4,7) és 2016. január 6-án (M4,9) végrehajtott robbantások keltette szeizmikus hullámokat a magyar állomások is regisztrálták (10. ábra).

Ezt a munkát az OTKA K 105399 projekt támogatta.

E számunk szerzői

BARANYI TÜNDE tudományos főmunkatárs, Napfizikai Observatórium, Debrecen; DR. BENCZE GYULA, a fizikai tudomány doktora, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Részecske- és Magfizikai Intézet, Budapest; DR. BOTH ELŐD csillagász, Budapest; DR. HARANGI SZABOLCS tszv. egyetemi tanár, ELTE Közvetlen-Geokémiai Tanszék, Vulkanológiai Csoport, Budapest; DR. HOLLÓSY FERENC biológus, klinikai kutatási munkatárs, KCR, Budapest; DR. KALOTÁS ZSOLT természetvédelmi tanácsadó, Tolna; DR. MATOS LAJOS szívgyógyász, Szent János Kórház, Budapest; DR. PATKÓS ANDRÁS fizikus, akadémikus, ELTE, Atomfizikai Tanszék, Budapest; PÁTKAI ZSOLT meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest; SZANYI SZABOLCS PhD, Debreceni Egyetem, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék, Debrecen; TURCSÁNYI-NÉ DR. SILLER IRÉN, mikológus, a SZIE Állatorvos-tudományi Karának docense, a Magyar Mikológiai Társaság titkára, Budapest; DR. TURCSÁNYI GÁBOR Pro Natura díjas botanikus, növényökológus, a Szent István Egyetem természetvédelmi alapszakának ny. vezetője, Budapest; DR. VARGA PÉTER, a földtudományok doktora, MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, Budapest; DR. VENETIANER PÁL akadémikus, MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpont, Biokémiai Intézet, Szeged.

Áprilisi számunkból

Lovas Rezső: A mindentudók árulása.

Apokrif adalékok az atombomba történetéhez

Csaba György: Vitaminok vagy hormonok?

Ujfaludi László: Űrművészet.

Fantáziaképek az Univerzumról

Szili István: Hóvirág, vadalma és más történetek

Trájer Attila: Az ázsiai tigrisszunnyog

Papp Henriett: Különcök a baktériumok között

Kubassek János: A földrajzprofesszor, akit mindenki szeretett: Tulogdi János

Kereszty Zsolt: Szuperrobbanás

Szibéria felett