

# GLOBALIS SZEIZMOLÓGIAI MEGFIGYELÉSEK

Tóth László

Phd, tudományos munkatárs  
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet  
laszlo@seismology.hu

Az elmúlt évszázadban több mint négymillió ember veszítette életét a Földön természetes katasztrófák során, közülük valamivel több, mint a fele földrengések következtében halt meg (1. ábra). Történt mindez abban a XX. században, mely arról híresedett el, hogy az ember legyőzte a természetet. Vagy mégsem egészen?

A XXI. század kezdetén folytatódni látszik ez a folyamat. 2004. december 26-án háromszázezer áldozatot, sok-sok sebesültet követelt, és az egész térséget megrázó gazdasági veszteséget okozott az Észak-Szumátra partjai közelében kipattant nagy erejű földrengés és az utána kialakult cunami. Az egész világot megmozgató szolidaritási és jótékony-sági hullámmal párhuzamosan a szakemberek és döntéshozók körében megindult a katasztrófa okainak feltárása és annak vizsgálata, hogy hogyan és milyen mértékben lehetne a jövőben az ilyen katasztrófákat csökkenteni vagy elkerülni. Globális katasztrófajelző rendszer tervei körvonalazódnak.

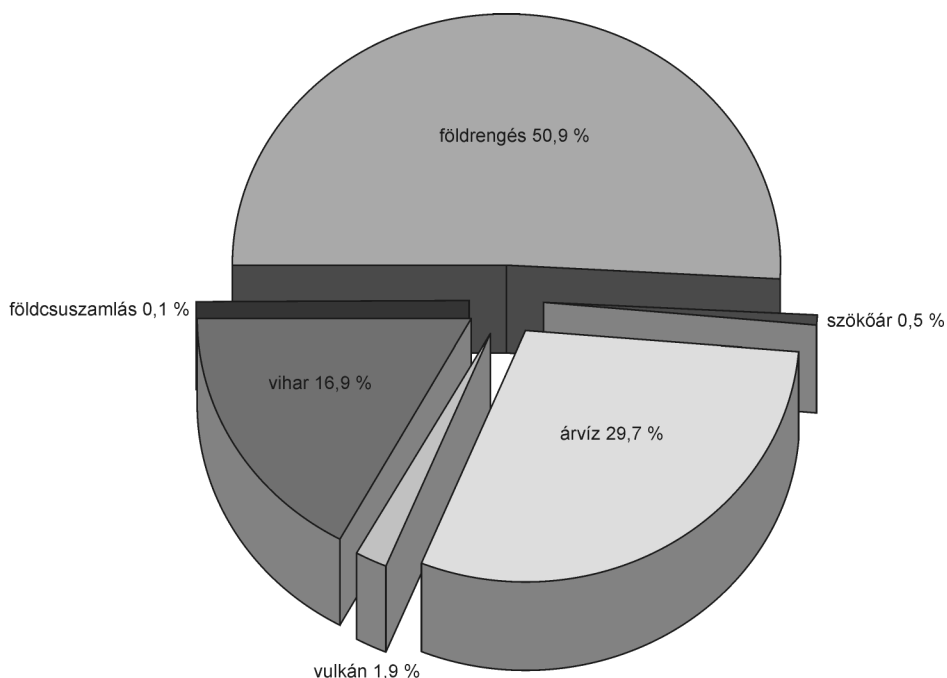
## *A földrengések megfigyelése és mérése*

A földrengések megfigyelése valószínűleg az emberiséggel egyidős. A II. században készítették az első ismert földrengésjelző berendezést Kínában, mely a leírások szerint már a

távolabbi földrengések irányát is képes volt jelezni. A technika általános fejlődésével párhuzamosan természetesen a földrengések jelzésére szolgáló berendezések is folyamatosan fejlődtek, és egyre érzékenyebbé is váltak. A XIX. század végén, a XX. század elején megjelentek az első elektrodinamikus szeizmográfok, melyek jeleit eleinte analóg galvanométerekkel fotópapíron, később tintaíró és hő-érzékeny papíros regisztrálókkal rögzítették. Később az analóg regisztrálást felváltotta a digitális jelrögzítés, lehetővé téve rafinált szűrési és feldolgozási technikák alkalmazását. A szeizmográf szó a hétköznapi életben is az érzékenységek szinonimájaként terjedt el.

## *A földrengéshullám fizikai tulajdonságai*

Spektrumát tekintve 0,001–100 Hz szélességű jelről van szó, melyben a közeli kis rengések jelentik a magasabb frekvenciákat, a távoli nagy földrengések felületi hullámjai pedig a hosszabb periódusú rezgéseket (2. ábra). A mai mérés technikában ez nem különösebben nagy sáv szélesség. A dinamikáját, a legkisebb és legnagyobb jel közötti arányt tekintve a helyzet már érdekesebb, hiszen az atomi méretek tartományában lévő  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  cm amplitúdójú talajrezgést okozó közeli mikrorengések és a nagy földrengések által előidézett,



1. ábra • Természetes katasztrófák áldozatai a XX. században (összesen kb. 4 millió)

esetenként többméteres amplitúdójú felületi hullámok között az arány  $10^{10}$ , azaz tízmilliárd-szoros. A 200 dB-t meghaladó dinamikájú jel érzékelése és regisztrálása komoly kihívás a legkorszerűbb mérés technikában is.

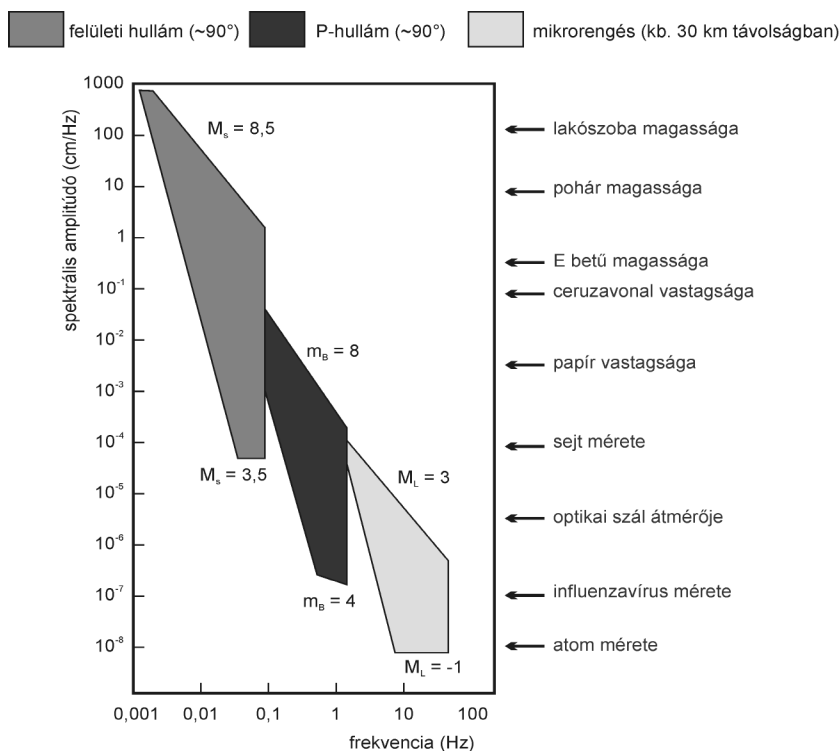
#### *A földrengés-érzékelők sáv szélessége és dinamikája*

A másik oldalról közelítve: az érzékelők sáv szélességét és dinamikáját nézve (3. ábra) látható, hogy a széles sávú szeizmográfok megjelenése előtt több (rövid és hosszú periódusú) szeizmográfra volt szükség a közeli és a távolabbi földrengések érzékelésére. A szeizmográf érzékenységét a megfigyelni kívánt jel nagyságához beállítva lehetett kiválasztani a kívánt mérési tartományt. A mai széles sávú érzékelők már szinte a teljes mérési tartományt lefedik mind frekvenciában, mind a jel dinamikáját illetően. A digitális

jelrögzítésre való áttérés pedig megoldotta a regisztrálás korai, elsősorban a dinamikatarományt illető problémáit. Egyetlen szeizmográfal mérhető ma már a közeli kis földrengés néhány 10 Hz-es rezgése és a több órás periódusidejű árapályhullám.

#### *A globális szeizmológiai megfigyelések kezdete*

1889. április 7-én Potsdamban *Ernst von Reber-Paschwitz* árapály-megfigyelésre épített horizontális ingája egy távoli (Japán) földrengést regisztrált. Ezzel bebizonyosodott, amit egy ideje már többen sejtettek, hogy a földrengéshullámok a forrástól messze, a Föld távoli pontjaira is eljutnak. Az 1906-os nagy San Franciscó-i földrengést már több távolabbi szeizmológiai állomás regisztrálta. 1911-ben pedig – a kecskeméti földrengés idején – már Magyarországon is több szeizmográfállomás működött.



2. ábra • A földrengéshullám sávzélessége és dinamikája

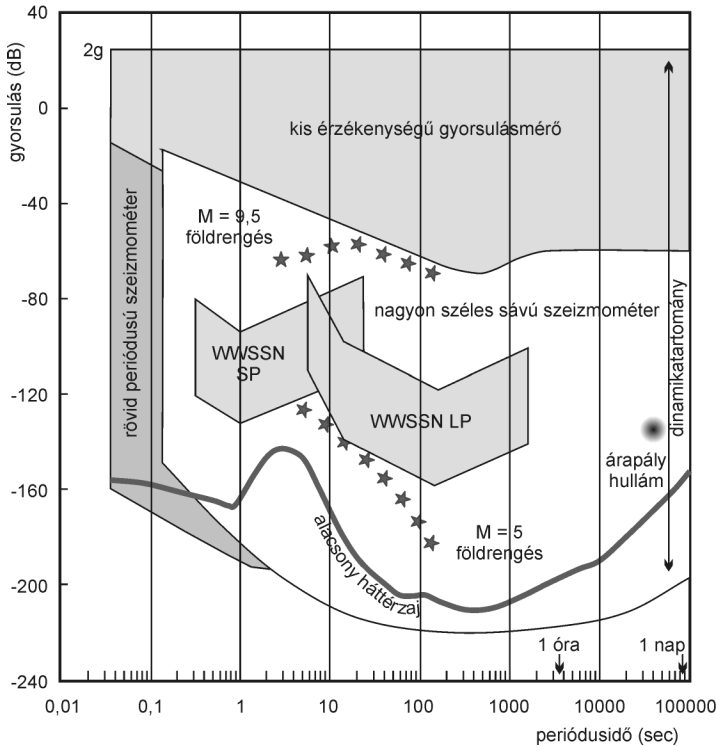
### Atomrobbantások szeizmológiai megfigyelése

Amikor 1945. július 16-án az első amerikai kísérleti atomrobbantást (Trinity, 20-22 kt) Los Alamos közelében a legnagyobb titoktartás közepette végrehajtották, a robbantás időpontját nem tudták a helyszínen rögzíteni, mert elromlott az erre szolgáló berendezés. Később kiderült, hogy a titkos kísérletet a környező szeizmológiai állomások nemhogy észlelték, hanem pontosabban tudták a robbantás időpontját, mint azok, akik a kísérletet végezték.

A föld alatti robbantások során a robbantás energiájának is jelentős része alakul rugalmas hullámmá. A forrás azonban lényegesen egyszerűbb a földrengésénél, mind időben,

mind térben nagyságrenddel kisebb kiterjedésű. Gömbszimmetriája miatt az első elmozdulás mindig kompressziós, a forrástól az észlelő felé mutat. Nagyobb, elsősorban nukleáris robbantások során már olyan mértékű a rugalmas hullám kibocsátása, hogy a földrengésekhez hasonlóan a Földön bárhol mérhető. Természetesen ez nagymértékben függ a robbantási közegtől is.

Óriási lendületet adott a szeizmológia fejlődésének az a felismerés (Genf, 1958), hogy az atomrobbantások ellenőrzésének elsődleges eszköze a szeizmológiai megfigyelés. Az addig elszigetelt, speciális tudomány politikai érdeklődés tárgya lett, jelentős forrásokhoz jutott. 1959-ben Eisenhower elnök közvetlen utasítására elindult a VELA program (Kerr,



3. ábra • A szeizmográfok sáv szélessége és dinamikája

1985) az atomrobbantások szeizmológiai ellenőrzése elméleti alapjainak kidolgozására és gyakorlati megvalósíthatóságának vizsgálatára. Katonai célú szeizmológiai hálózatok épültek addig elképzelhetetlen anyagi ráfordításokkal. 1960-ban az amerikai DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) támogatásával megkezdődött a szeizmológiai világhálózat (WWSSN – World Wide Standard Seismograph Network) kiépítése. A 60-as évek közepére 120 szabványosított, korszerű berendezéssel felszerelt szeizmológiai állomást állítottak üzembe a világ számos országában. Előzetes szakértői egyeztetések után 1976-ban intézményesen létrehozták a Genfi Leszerelési Értekezlet égisze alatt a Szeizmológus Szakértői Csoportot (GSE),

mely az Átfogó Atomcsendegyezmény 1996-os létrejöttéig koordinálta az ez irányú szeizmológiai kutatásokat (Husebye – Mykkeltveit, 1980). Egyes becslések szerint a világon a földrengés-megfigyelésre és -kutatásra fordított összes anyagi források kb. 80 %-a e téma kapcsán került a szeizmológiához.

#### *Nemzetközi szeizmológiai központok*

A szeizmológiai világhálózat kiépítésével párhuzamosan Nemzetközi Szeizmológiai Központot (ISC – International Seismological Centre) hoztak létre, melynek célja a globális földrengés adatok és -információk összegyűjtése, értékelése és publikálása. A földrengések hipocentrumának megbízható meghatározásához ugyanis minél több szeizmoló-

giai állomás beérkezési adataira van szükség, melyek lehetőleg minden irányból körülveszik a rengés helyét. Az 1960–1970-es években nagyon jelentős szerepe volt a nemzetközi adatközpontnak, hiszen az analóg regisztrálás korában az adatsere nem volt egyszerű, ráadásul az adatátviteli hálózatok is gyerekcipőben jártak (például telex). A világ minden tájáról több mint 3000 szeizmológiai állomás küld fázisadatokat a központba, ahol újraszámolják a hipocentrumadatokat, pontosítják a földrengések paramétereit. Mivel a globális hálózat sűrűsége inhomogén, ezért az észlelési küszöb is igen különböző az egyes földrajzi területeken. A sűrű állomáshálózatú Európában kb. 3,5–3,8 a magnitúdóküszöb, a mérőállomásokkal rosszul lefedett óceáni területeken pedig 4,5–5,0 magnitúdó (M) fölött látja a hálózat a földrengéseket. Az ISC bulletinje a 90-es évek végére évente 60–70 ezer földrengés adatait tartalmazta.

Az USA globális súlyának növekedésével az Amerikai Geológiai Szolgálat Földrengési Információs Központja (United States Geological Survey National Earthquake Information Center – USGS-NEIC) fokozatosan nemzetközi adatközponti szerepet kezdett betölteni. A USGS-NEIC földrengéslistája 1945-ben még csak 120 földrengést tartalmazott; 1998-ra ez a szám 22 000-re emelkedett. 2000-ben a NEIC 5408 aktív szeizmológiai állomás koordinátáit tartalmazta. Az észlelési képesség igen változó, jellemzően  $M_{4,3-4,4}$  (de Kaliforniában  $M_{<2,7}$ , a Csendes-óceán DK-i részén  $M_{>5,3}$ ).

#### *A globális szeizmológiai hálózat (GSN) létrejötte*

Az 1960-as évek elején létrehozott World Wide Standardized Seismographic Network (WWSSN) az 1980-as évekre technikailag

egyre elavultabbá vált. 1985-ben az Amerikai Geológiai Szolgálat és több amerikai egyetem létrehozott egy konzorciumot (IRIS), mely megkezdte egy korszerű, digitális, széles sávú földrengésmérő hálózat kiépítését. A költségeket az amerikai NSF fedezte. 2004-re 136 állomás működött a Déli-sarktól Szibériáig, az Amazonastól a Csendes-óceánig (4. ábra). A mérőállomásokon a pontos időt a GPS rendszer biztosítja, a legtöbb helyszínről telemetrikusan (Inmarsat, Iridium, földi és tenger alatti kábelek stb.) jut az adat a kiértékelő központba. A globális hálózat célja a földrengés-megfigyelés, az atomcsend monitorozása, cunamiriasztás. Az elsősorban tudományos kutatási célú hálózat minden adata korlátlanul, ingyenesen hozzáférhető bárki számára.<sup>1</sup>

A technikai fejlődés következtében az ezredforduló környékére a földrengésmérő berendezések olcsók és robusztusak lettek, a legtöbb mérőállomás automatikusan, távérzékeléssel működik. Lehetővé vált, hogy akár egyetlen ország globális mérőhálózatot létesítsen, melyhez az állomásokat befogadó országok részéről nagyon csekély kooperáció szükséges. Több ilyen projekt típusú globális hálózat létesült, például a francia GEOSCOPE,<sup>2</sup> vagy a német GEOFON<sup>3</sup>. Amerikai példák tucatjait is sorolhatnánk.

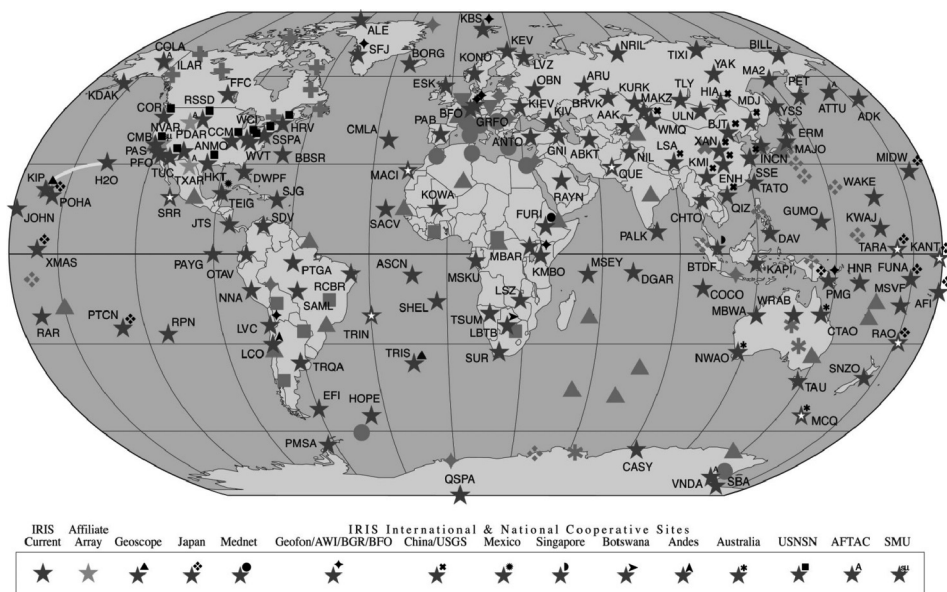
#### *Virtuális szeizmológiai hálózatok*

A kommunikációs lehetőségek fejlődése egyre több nyitott szeizmológiai mérőállomást eredményezett. A korlátlan adathozzáférés mellett a felhasználó számára már nem is igazán fontos, hogy fizikailag ki létesítette, és ki üzemelteti az állomást. Lehetővé vált egy

<sup>1</sup> lásd: <http://www.iris.edu>

<sup>2</sup> lásd: <http://geosp6.ipgp.jussieu.fr>

<sup>3</sup> lásd: <http://www.gfz-potsdam.de/geofon>



4. ábra • A globális szeizmológiai hálózat (GSN – Global Seismographic Network) 136 állomása (2004) a Déli-sarktól Szibériáig, az Amazonastól a Csendes-óceánig

egészen új megközelítés, az ún. virtuális szeizmológiai hálózat létrehozása. Ez tulajdonképpen egy olyan adatközpont, mely az interneten elérhető nyilvános mérési adatokat összegyűjti, és gyors eseményslistát készít. Jó példája ennek a svájci RedPuma.<sup>4</sup>

*Átfogó Atomcsendegyezmény (CTBT) ellenőrző rendszer*

Miután 1996-ban aláírták az Átfogó Atomcsendegyezményt – bár az még a mai napig sem lépett életbe –, létrehozták az egyezmény ellenőrzését végző nemzetközi szervezetet (CTBTO) is, és megkezdődött egy új globális ellenőrző rendszer kiépítése. Az elsődleges megfigyelési módszer természetesen a szeizmológiai monitorozás, melyet 170 jól megtervezett szeizmológiai mérőállomás biztosít. 50 *on-line* állomás alapján az adat-

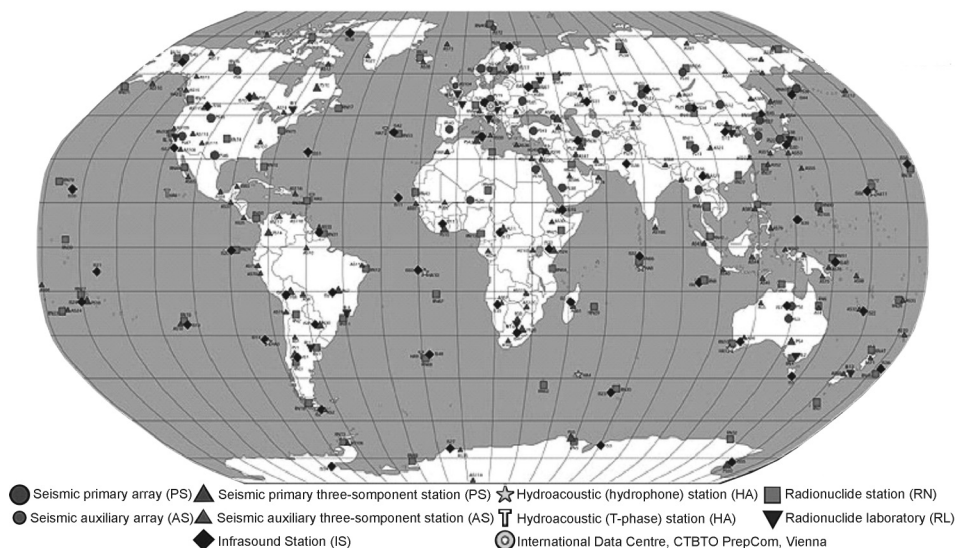
központ jelzi a szeizmikus eseményeket, legyenek azok természetes földrendegések vagy mesterséges robbantások, majd további 120 mérőállomás adatai biztosítják a hipocentrum pontos meghatározását.<sup>5</sup> További mérőrendszerek (hidroakusztikai állomások, infrahang mérőállomások és légköri radioaktív részecskéket elemző laboratóriumok) globális hálózata segít az atomcsend ellenőrzésében óceánokban és a légkörben (5. ábra). Jelenleg ez a hálózat nem nyilvános, csak az arra feljogosított nemzeti hatóságok férhetnek hozzá, és használhatják az adatait.

A Föld jelentős részét óceán borítja, ahol nem is olyan egyszerű a szeizmológiai mérőállomások kialakítása és a mérési adatokhoz való hozzáférés biztosítása. Adatátviteli kábelek létesítése még a partközeli sekélyebb részeken is óriási beruházási költségeket je-

<sup>4</sup> lásd: <http://www.seismo.ethz.ch/redpuma>

<sup>5</sup> lásd: <http://www.ctbto.org>

Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBTO)  
Facilities of the CTBT International Monitoring System



5. ábra • Az Átfogó Atomcsendegyezményt ellenőrző hálózat (IMS)

lent. Egyre gyakrabban fordul elő, hogy telefontársaságok már nem használt tenger alatti kábeleket tudományos célú mérések céljára ajánlanak fel.

A rezgésérzékelés – a földrengések megfigyelése mellett – régóta ismert módszere a katonai, hírszerzési formáknak is. Gondoljunk csak Gárdonyi Géza ismert regényére, ahol a várbeliek dobra helyezett borsószemekkel figyelték az ellenség alagútászási tevékenységét. Börtönök környezetében manapság is lépésérzékelő geofonok segítenek a szökevények behatárolásában. A hidegháború évtizedeiben a szemben álló felek óriási rezgésérzékelő rendszereket építettek a másik fél területén folyó tevékenység monitorozására. Az 1970-es években az amerikai AFTAC (Air Force Technical Applications Center) szeizmológiai hálózata valószínűleg kiterjedtebb volt, mint a WWSSN globális szeizmológiai megfigyelőhálózat. A katonai szeizmológiai háló-

zatokról azonban elsősorban azt tudjuk, hogy régóta léteznek, de adataik ritkán kerülnek ki a civil, tudományos felhasználási körbe.

### Összefoglalás

Röviden összefoglalva az eddigieket, megállapíthatjuk, hogy a földrengések megfigyelése nagyon régi, a globális szeizmológiai megfigyelés pedig viszonylag új területe a természeti jelenségek megismerésének. A mérés technika, a távérzékelés és a számítástechnika legújabb eredményeit alkalmazva mára alig van a Földnek olyan zuga, ahol 3-3,5 magnitúdójú szeizmikus esemény – legyen az természetes földrengés vagy robbantás – a globális szeizmológiai megfigyelések számára észrevétlen marad. Ilyen méretű esemény átlagosan naponta több száz fordul elő.

A kommunikáció és a számítástechnika dinamikus fejlődése eredményeként napjainkban kb. félezer közel valós időben elérhe-

tő nyilvános szeizmológiai állomás van világszerte. A nyilvános mérőállomások összes száma pedig meghaladja a hétezeret, bár ezek eloszlása korántsem egyenletes és nem is optimális.

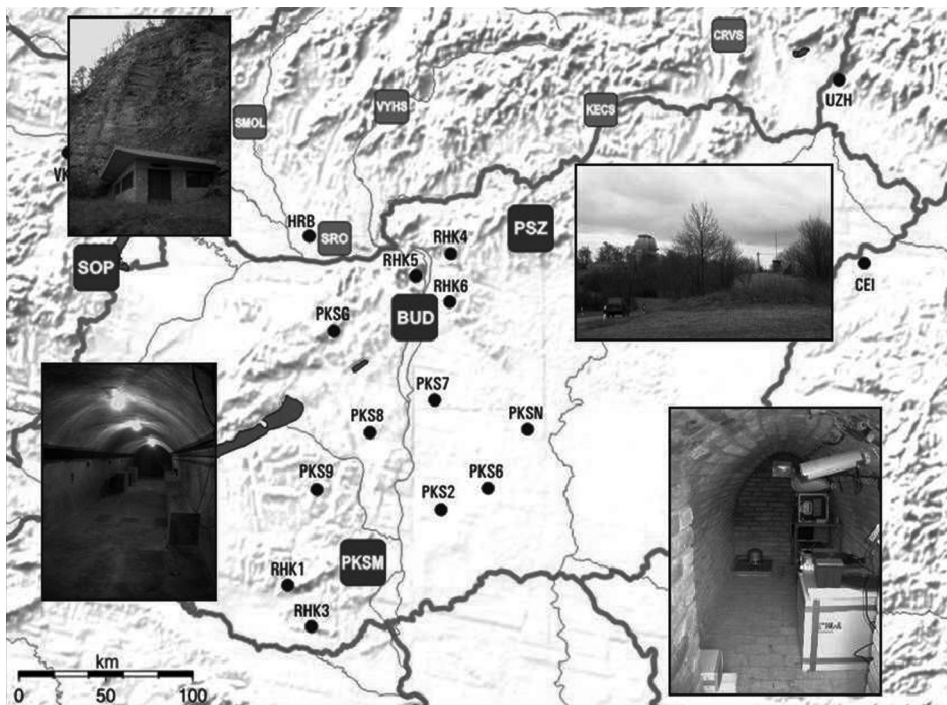
A fizikai vagy akár virtuális hálózatok adatközpontjai a földrengés kipattanását követően néhány perc múlva már előzetes információt adnak a rengés hipocentrumának adatairól. A klasszikus „globális”, „regionális” és „lokális” szemlélet megszünbőben van; mindenki annyi és olyan szeizmológiai adatot gyűjt, dolgoz fel és értelmez, amely és amennyi számára érdekes, és amelyet kapacitása (illetve a projekt költségvetése) lehetővé tesz.

A globális szeizmológiai megfigyelőhálózat a formálódó GEOSS rendszer egyik fon-

tos eleme lesz, hiszen a Föld felszínének legalább 15 %-a földrengések által veszélyeztetett, s e területen a lakosság 40 %-a él.

Magyarország területe mérsékelt földrengésveszélyes, ahol bár katasztrofális méretű ( $M > 7$ ) földrengések nem fordulnak elő, de komolyabb károkat okozó, közepes méretű földrengések ( $M$  5,5-6,5) időről időre kipattannak (Tóth, 2005).

Magyarországon a földrengésmérő állomások száma és minősége 1995-ben érte el azt a szintet, hogy – az ÉK-i területet kivéve – a lakosság által érzékelt valamennyi rengést a hálózat nagy valószínűséggel detektálja (Tóth – Mónus, 1997). Ez nagyrészt annak a szeizmikus megfigyelőhálózatnak köszönhető, melyet a Nemzetközi Atomenergia Ügy-



6. ábra • Földrengésmérő állomások Magyarországon: 2005-ben 16 mérőállomás működött, melyből négy volt nyilvánosan on-line elérhető, a többi vagy helyben regisztrált, vagy az adatközpont telefonon gyűjtötte az adatokat



nökség javaslatára a Paksi Atomerőmű Rt. létesített az atomerőmű telephelyének tágabb környezetében. Jelenleg tizenhat mérőállomás működik, melyből négy nyilvánosan

on-line elérhető, a többi vagy helyben regisztrál, vagy az adatközpont telefonon gyűjti az adatokat<sup>6</sup> (6. ábra).

<sup>6</sup> lásd: <http://www.foldrenges.hu>

---

Kulcsszavak: *atomcsendegyezmény, földrengés, szeizmográf, szeizmológiai hálózat*

---

#### IRODALOM

- Husebye, Eystein. S. – Mykkeltveit, Svein (1980): *Identification of Seismic Sources – Earthquake or Underground Explosion*. Reidel Publishing Co., London
- Kerr, Ann U. (1985): *The VELA Program. A Twenty-Five Year Review of Basic Research*. Defense Advanced Research Projects Agency, USA

- Tóth László – Mónus Péter (1997): A Paksi Atomerőmű mikroszeizmikus megfigyelő hálózata. In: Marosi Sándor – Meskó Attila (szerk.): *A Paksi Atomerőmű földrengésbiztonsága*. Akadémiai, Budapest, 113–122.
- Tóth László (2005): Földrengések Magyarországon. *História*, XXVII, 8, 15–19.

