

## Tanulmányok

# ÍGY FIGYELJÜK HAZÁNK FÖLDJÉNEK MINDEN REZDÜLÉSÉT A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium fejlődése és küldetése 2013-tól napjainkig

## HOW WE ARE SENSING EVERY LITTLE VIBRATION OF OUR HOMELAND The Development and Mission of the Research Centre for Astronomy and Earth Sciences Geodetic and Geophysical Institute Radó Kövesligethy Seismological Observatory from 2013 to the Present

Süle Bálint<sup>1</sup>, tudományos segédmunkatárs, [sule.balint@csfk.mta.hu](mailto:sule.balint@csfk.mta.hu)

Bondár István<sup>1</sup>, a földtudomány doktora, tudományos tanácsadó

Czanik Csenge<sup>1</sup>, tudományos segédmunkatárs

Gráczer Zoltán<sup>1,2</sup>, PhD, tudományos munkatárs

Győri Erzsébet<sup>1</sup>, PhD, tudományos főmunkatárs

Szanyi Gyöngyvér<sup>1,2</sup>, PhD, tudományos munkatárs

Weber Zoltán<sup>1</sup>, a földtudomány kandidátusa, tudományos főmunkatárs

Kovács István János<sup>1,2</sup>, PhD, tudományos főmunkatárs, igazgató

<sup>1</sup>Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet,

Kövesligethy Radó Szeizmológiai Obszervatórium, Budapest

<sup>2</sup>MTA CSFK Lendület Pannon Lith<sub>2</sub>Oscope Kutatócsoport

### ÖSSZEFOGLALÁS

A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet szeizmológiai obszervatóriuma 2012-ben vette fel Kövesligethy Radó nevét. Az azóta eltelt évek során az általa működtetett hálózat jelentős fejlődésen ment keresztül. 2019-ben az állomások száma negyvenegyre nőtt, az ország egészét tekintve ilyen sűrűségű hálózat még nem fedte hazánkat. A hálózat alapvető célja Magyarország szeizmicitásának monitorozása, valamint a szeizmológiai kutatásokhoz szükséges adatok biztosítása. A térség litoszférájának vizsgálatát célzó szerkezetkutatások több jelentős hazai és nemzetközi pályázat keretében zajlanak. Az obszervatóriumhoz köthető egy hazánkban új, de világviszonylatban is fiatal tudományág, az infrahangkutatás bevezetése is. Jelen cikkben bemutatjuk az obszervatórium fejlődésének legfontosabb lépéseit, valamint a szeizmológiai hálózat jellemzőit és azokon keresztül az obszervatórium tevékenységét, kitérve hazánk szeizmicitásának lemeztektonikai kapcsolataira és a COVID-19 járvány szeizmikus zajra gyakorolt hatására is.

## ABSTRACT

In 2012, the seismological observatory of the CSFK Geodetic and Geophysical Institute adopted the name of Radó Kövesligethy. Since then, its seismological network has undergone significant developments. In 2019, the number of stations increased to 41, and such dense seismological network has not yet covered the area of Hungary. The basic goal of the network is to monitor the seismicity of Hungary and to provide data necessary for seismological and geological research. Structural research aimed at examining the lithosphere of the region is carried out within the framework of several significant domestic and international projects. The introduction of infrasound research, which is a new discipline not only in Hungary but also worldwide, is strongly associated with the seismological research. In this article, we present the most important steps in the very recent development of the observatory, as well as the characteristics of its seismological network and the related activities. This study also includes a plate tectonic outlook on the seismicity of Hungary and the effect of the COVID19 pandemic on seismic noise.

**Kulcsszavak:** szeizmológia, szeizmicitás, tektonika, Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, infrahangkutatás

**Keywords:** seismology, seismicity, tectonics, Kövesligethy Radó Seismological Observatory, infrasound research

## 1. BEVEZETÉS ÉS ÁTTEKINTÉS

A magyarországi földrengéskutatás és a hozzá kapcsolódó szeizmológiai hálózat kezdetektől 2012-ig tartó történetét két tanulmány is bemutatta a *Magyar Tudomány* hasábjain (Mónus–Tóth, 2013; Varga, 2016). Az azóta eltelt évek során a hálózat további jelentős fejlődésen ment keresztül. Ezért időszerű és a közvélemény számára célszerű ezt összefoglalni. Ez a fejlesztési folyamat alapvetően három hullámban valósult meg. Először a Nemzeti Szeizmológiai Hálózat állandó állomásainak bővítése történt meg a Paksi Atomerőmű Zrt. támogatásával 2012 és 2016 között. Majd több jelentős nemzetközi és hazai projekt keretében számos ideiglenes állomást sikerült két különböző időszakban (2015–2016 és 2019) telepíteni. Jelen cikkben bemutatjuk a hálózat fejlődésének folyamatát és azt, hogy a kibővült hálózat hogyan tud hozzájárulni a hazai földrengések érzékeléséhez, és ezen keresztül otthonunk, a Kárpát-Pannon-régió tektonikai folyamatainak pontosításához és földrengés-veszélyeztetettségének alaposabb megismeréséhez.

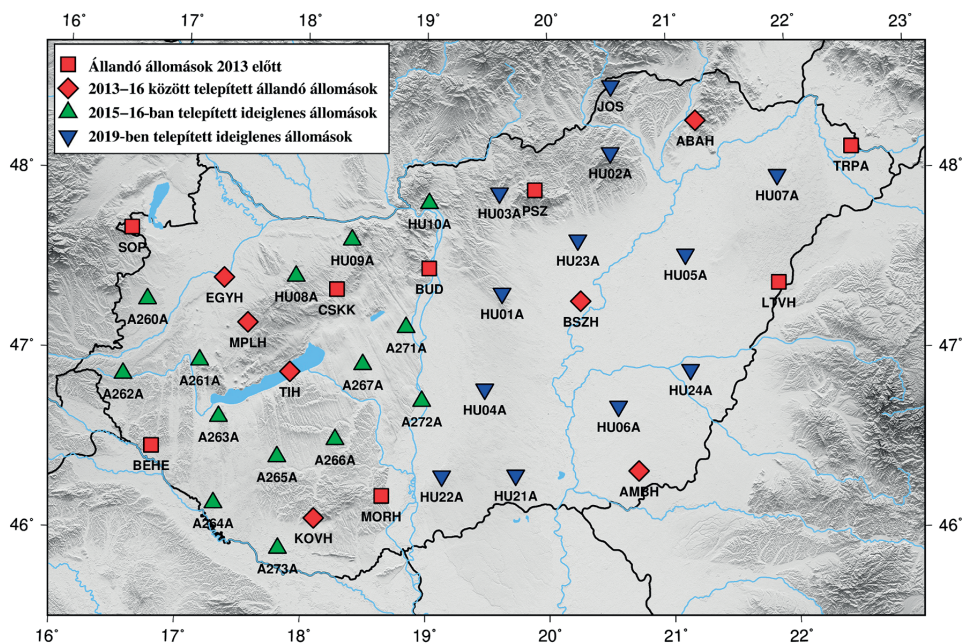
2012-ben a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet (CSFK GGI) Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriuma (KRSZO) nyolc állomást üzemeltetett. A következő évek során hat helyszínen települt új állomás (*1. ábra*), valamint a hálózat része lett az akkori Magyar Földtani és Geofizikai Intézettel (most a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat része) közösen működtetett tihanyi állomás is. Így az állandó állomások száma tizenötöre nőtt.

Elhelyezésük geometriája egyrészt tükrözi a célt, hogy az ország egész területét lefedjék, másrészt megjelenik a földtani adottságok figyelembevétele is. A Magyarország nagy részére jellemző felszíni, vastag üledékes réteg ugyanis nem kedvez a jó zajviszonyú szeizmológiai állomások telepítésének, ezért a műszerek elhelyezése során az obszervatórium munkatársai igyekeznek kőzetkibúvást találni (amennyiben egyáltalán lehetséges). Az alföldi üledékes területen mélyen a földfelszín alatt, fúrólukban elhelyezett szeizmométer használatával lehet kevésbé zajos adatokhoz jutni. Szintén fontos fejlesztés volt a hálózat történetében, hogy ilyen fúróluk-szeizmométer váltotta fel a felszíni műszert 2018-ban a dél-alföldi Ambrózfalván.

További jelentős fejlődés köthető az AlpArray nemzetközi projekthez (URL1), melyhez 2015-ben csatlakozott a GGI. Az AlpArray európai kezdeményezés célja, hogy az Alpokban és környezetében átfogóan tanulmányozza a litoszféra szerkezetét és a geodinamikai folyamatokat, valamint részletesen feltérképezze a terület szeizmicitását. A legfontosabb tudományos kérdéseket egy nagy sűrűségű szeizmológiai állomáshálózat által regisztrált adatok segítségével kívánja megválaszolni. A projektben tizenhét ország ötvenöt intézete vesz részt (Hetényi et al., 2018). Magyarország nyugati felén tizennégy helyszínen telepített az obszervatórium új állomást, melyek közül három esetében az ETH Zürich biztosította a szükséges műszereket (Gráczer et al., 2018). Ezzel az állomások száma huszonkilencre emelkedett (*1. ábra*). Az AlpArray hálózat hivatalosan 2016. január 1-én kezdte meg működését és 2019. március 31-én zárta a mérési ciklust. Az adatokat jelenleg csak a projekt tagjai érhetik el, és használhatják fel kutatási célokra, nyilvánosan 2023-tól lesznek elérhetők.

2017-ben az MTA INFRA 2016 2. kategóriájú „Infrahangállomás létrehozása a pizskés-tetői obszervatóriumban” pályázatának támogatásával megkezdte működését az első magyar infrahangállomás Pizskés-tetőn, ahol egy szeizmométer is működik. A szeizmikus és infrahang-regisztrátumok együttes feldolgozása jelentősen hozzájárul a földrengések és bányarobbantások elkülönítéséhez, melyet egy 2019-ben elnyert, Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) által támogatott kutatási projekt keretében végzünk.

2018-ban és 2019-ben a GGI két jelentős pályázata nyert támogatást. Az egyik a 2018-ban indult MTA CSFK Pannon LitH<sub>2</sub>Oscope Lendület projekt, a másik a Nemzeti Kiválósági Program (NKP) keretében támogatott „Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettség térképének megalkotása és elemzése” című projekt. Mindkettő céljainak megvalósításához fontos lépés volt a megfelelően sűrű szeizmológiai hálózat kiterjesztése Magyarország keleti felére. 2019-ben a GGI megállapodást kötött a németországi DSEBRA (Deutsche Seismologisches Breitband Array) konzorciummal, melynek keretében a német partner tizenöt állomást működtet hazánkban. Ebből tizenegy a dunántúli AlpArray-állomások helyére került, négy pedig az Alföldre.



1. ábra. A KRSZO szeizmológiai állomásai és telepítésük időszaka

2019-ben összesen tizenkét új helyszínen létesült állomás, így jelenleg negyvenegy szeizmológiai állomást üzemeltet az obszervatórium (1. ábra). Magyarországot és a Pannon-medencét még soha nem fedte le ilyen sűrűségű szeizmikus hálózat.

Az újonnan létrejött kelet-magyarországi állomáshálózattal a GGI fontos partnerintézményként részt vesz a 2019-ben elindult PACASE (Pannonian-Carpathian-Alpine Seismic Experiment) nemzetközi kutatási projektben, mely tulajdonképpen az AlpArray egyik kiegészítő alprojektje. A nemzetközi együttműködés további partnerei Ausztriában, Szlovákiában, Lengyelországban, Németországban és Csehországban működő intézetek. A projekt célja a Pannon-medence és környéke szerkezeti és geodinamikai modelljének pontosítása.

Hazánkban az AlpArray hálózat adataira támaszkodó kutatásokat egy, az NKFIH által támogatott kutatási projekt keretein belül végzik az obszervatórium munkatársai, elsősorban a Pannon-medence vizsgálatára koncentrálnak.

Többféle módszert alkalmazva meghatározzuk a földkéregre, a litoszférára és a felső köpenyre jellemző 3D P- és S-hullám sebességeloszlást, valamint feltérképezzük a Conrad-, a Moho- és a litoszféra-asztenoszféra határterületek mélységét.

Vizsgáljuk a lokális és regionális földrengések forrásparamétereit is (fészekmechanizmus, momentum tenzor, szeizmikus momentum stb.). A recens feszültségter meghatározásához elengedhetetlen, hogy a lehető legtöbb rengés fészek-

mechanizmusát megismerjük. A fészekmechanizmusok meghatározásához a modern hullámforma inverziós módszert alkalmazzuk.

A megbízható szerkezetkutatás és földrengés-veszélyeztettség becslések előfeltétele a földrengések helyének pontos ismerete. Az Alpok régiójában észlelt rengések, rengéssorozatok akár abszolút, akár relatív relokalizációjához többeseményes algoritmusokat alkalmazunk.

A 2019-ben indult NKP-projekt célja hazánk szeizmotektonikai veszélyeztettségének meghatározása, a neotektonikus vetőzónákhoz kapcsolt szeizmogén szerkezetek feltérképezése, a földkéregben uralkodó lokális feszültségtér megismerése, valamint pontosabb földrengés-epicentrumok meghatározása, ürgeodéziai felszín deformációk és a helyi geológiai hatások együttes elemzésével és értelmezésével. A kutatásokat a GEOMEGA Földtani és Környezetvédelmi Kutató-Szolgáltató Kft.-vel mint konzorciumi taggal karöltve végezzük.

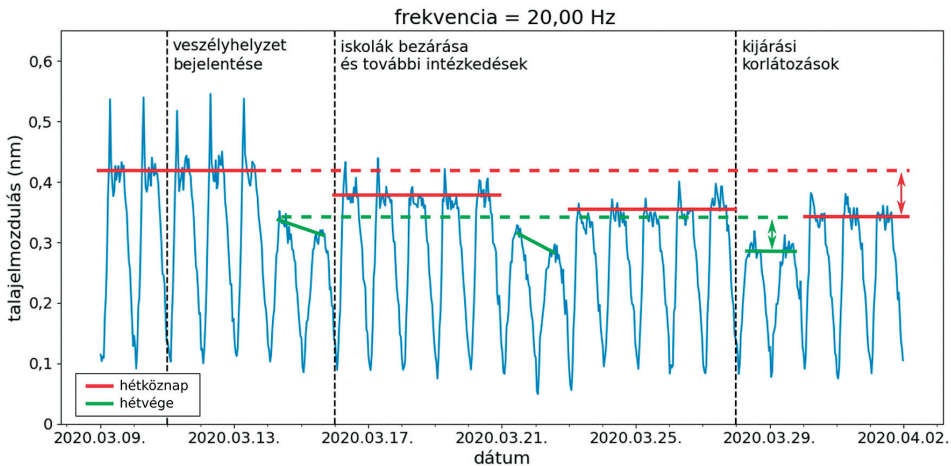
## 2. A JELENLEGI HÁLÓZAT

A hálózat alapvető célja Magyarország szeizmitásának monitorozása, valamint a szeizmológiai kutatásokhoz szükséges adatok biztosítása. A közeli földrengéseket alapvetően magasabb, a távoli (akár más kontinenseken kipattant nagyobb) eseményeket alacsonyabb frekvenciájú jelek jellemzik. Érdemes tehát az állomások zajviszonyait széles frekvenciatartományon megvizsgálni.

### 2.1. Zajviszonyok

Számos természeti jelenség (szél és más légköri folyamatok, óceánok hullámverése) és emberi tevékenység (közlekedés, gyárak, gépek) következtében keletkeznek rugalmas hullámok, melyek a szeizmológiai adatokban zajként jelennek meg. Magasabb frekvenciákon a zajszintet jelentősen befolyásolja a felszínközeli rétegek anyaga. Állomásaink zajviszonyait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a lazább üledéken (például az Alföldön) telepített állomások esetén jóval nagyobb a magas frekvenciás zajszint, mint a középhegységi területeken levő állomásokon. Másrészt a felszíni rétegekre kevésbé érzékeny alacsony frekvenciás jelek esetén nem lehet egyértelmű korrelációt megállapítani a zajszint és a talajtípus között, ezen a tartományon belül megfelelő jel-zaj arány jellemezheti az üledékes területeket is. A fent említett hazai és nemzetközi projektek keretében megvalósuló szeizmológiai szerkezetkutatás éppen az alacsony frekvenciás (hosszú periódusú) jeleket használja elsősorban, így a számos, üledékes környezetben telepített állomás ellenére is a hálózat be tudja tölteni szerepét.

Érdekes, hogy a szeizmikus zaj is nagyon hasznos információval szolgálhat, és fontos lehet egyrészt a geofizikai módszerek bemeneti adataként, másrészt az antropogén tevékenység monitorozása szempontjából is.

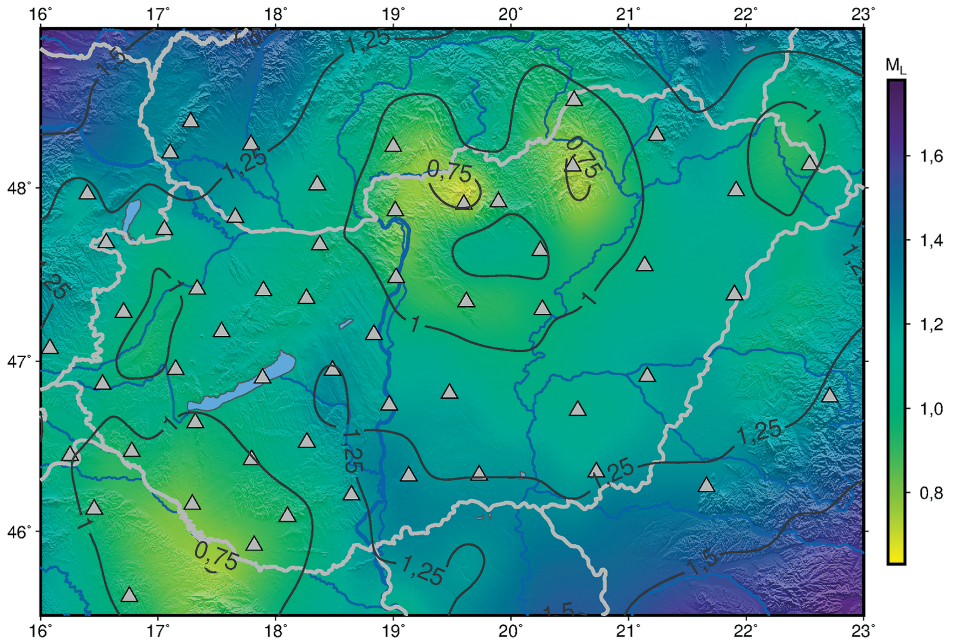


**2. ábra.** A vertikális talajmozgás 20 Hz frekvenciájú összetevőjének amplitúdója az idő függvényében

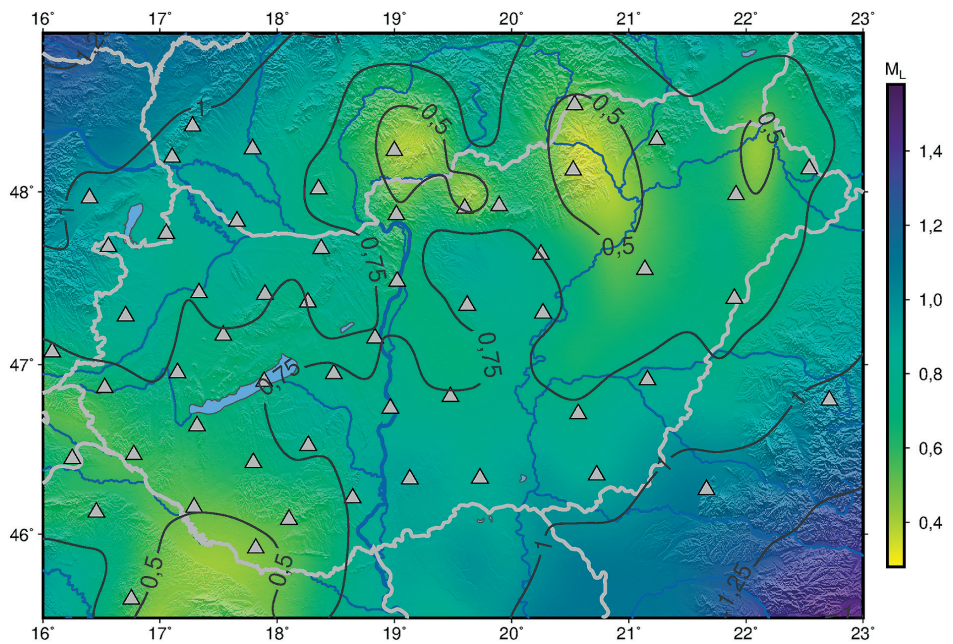
A Budapesten működő szeizmológiai állomáson is természetesen megjelenik a nagyváros szeizmikus hatása. Az elmúlt időszakban a koronavírus-járvány miatt bevezetett korlátozó intézkedések nagymértékben befolyásolták a város életét és ezzel együtt a zajforrások intenzitását is. A 2. ábrán a viszonylag magas, 20 Hz frekvenciájú hullámok amplitúdóját ábrázoltuk az idő függvényében. A március 11. előtti napokhoz tartozó görbén jól látszik, hogy munkanapokon a reggeli csúcsforgalom következtében milyen határozott „tüskék” alakulnak ki. Ezek nagysága március 16-tól, az iskolabezárások időpontjától kezdve jelentősen csökken, illetve számos esetben a tüskék teljesen el is tűnnek. A délutáni csúcs nem produkál ilyen határozott jelalakot, ami arra utal, hogy az ehhez tartozó időszak sokkal jobban széthúzódik, mint a reggeli munkakezdéshez köthető csúcs. Az idő múlásával a napközbeni zajszint hétről hétre egyre alacsonyabb lesz, összhangban az egyre csökkenő emberi tevékenységgel. A hétvégi napok esetében a jelszint napközben is sokkal alacsonyabb, mint munkanapokon, és március végére a hétvégék és munkanapok zajszintje sokkal kevésbé különbözik egymástól, mint a korábbi időszakban. Március elején a szombati napokon a vasárnapinál magasabb aktivitás figyelhető meg, később viszont ez kiegyenlítődik, a szombati zaj a vasárnap szintre csökken.

## 2.2. Érzékenység

Felmerülhet a kérdés, mekkora a legkisebb földrengés, amelyet még érzékelnek állomásaink a kibővült hálózatban? Martin Möllhoff és munkatársai (2019) módszerét használva meghatároztuk a hálózat detekciós képességét. Mivel külföldi



a)



b)

3. ábra. A hálózat detekciós képessége nappal a) és éjszaka b)

állomások adatait is gyűjtjük és használjuk az obszervatóriumban, ezeket is figyelembe vettük a számítás során. Ahhoz, hogy elfogadható pontossággal határozzuk meg egy rengés helyét és magnitúdóját, több állomásnak kell regisztrálni azt megfelelő jel-zaj aránnyal. Tehát a detektálható alsó magnitúdóküszöb függ az állomások térbeli elhelyezkedésétől és azok zajviszonyaitól. Az emberi tevékenység által keltett szeizmikus zaj általában a nappali órákban nagyobb, így eltérés van az éjszakai és a nappali detekciós képesség között is. Napszaktól függetlenül el lehet mondani, hogy egy 5 km mélyen keletkezett 1,5 magnitúdójú földrengés bárhol az országban érzékel a hálózat (3/a ábra). Az Északi-középhegység területén, ahol több, szilárd kőzetre települt állomás található, az éjjeli órákban akár 0,5 magnitúdójú rengést is detektálhatunk (3/b ábra).

### 2.3. Hazai földrengések feldolgozásának protokollja

Az állomások által gyűjtött adatok valós időben érkeznek a budapesti adatközpontba, ahol azokat a SeisComp3 szoftvercsomag (URL2) segítségével dolgozzuk fel és archiváljuk. A SeisComp3 automatikus földrengés-helymeghatározást is végez, melyek eredményét e-mailben továbbítja az obszervatórium munkatársainak. A feldolgozás következő lépéseként az obszervatórium szeizmológusai manuálisan ellenőrzik az automatikus rendszer által meghatározott paramétereiket, valamint az automata által meg nem talált szeizmikus eseményeket is azonosítják. Utolsó lépésként a SeisComp3 adatbázisában található összes szeizmikus esemény hipocentrumát pontosítjuk az iLoc helymeghatározó algoritmussal (Bondár–Storchak, 2011). A detektált szeizmikus eseményeket minden évben a *Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin*ben publikáljuk, ami elérhető az obszervatórium weboldaláról is (URL3).

Napi 24 órás készenléti szolgálati rendszert tartunk fenn, melynek legfontosabb feladata az illetékes állami szervek, kiemelten az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, az MTI, a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, a média és a lakosság szakmailag megalapozott tájékoztatása Magyarországon érezhető földrengések esetén. Az obszervatórium honlapján (URL3), Facebook- (URL4) és Twitter-oldalán (URL5) friss információkat találhatnak az érdeklődők.

Az egyre nagyobb számú állomás és egyre pontosabb eredményeket szolgáltató adatfeldolgozás mellett továbbra is fontos a földrengések emberekre és környezetre gyakorolt hatásának tanulmányozása. Ez hazánkban is, a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően, a lakosság által kitöltött földrengési kérdőívek feldolgozásán alapul. Annak érdekében, hogy a lehető legtöbb adatot gyűjtsük össze, igénybe vesszük a közösségi média által nyújtott lehetőségeket is, hiszen minél több embert érünk el, annál több kérdőívre, ezáltal annál több megfigyelési adatra támaszkodhatunk az adatok kiértékelése során. Az országhatár közelében kipattant földrengések esetén



adatcserét végzünk az érintett országok szeizmológiai szervezeteivel. A beérkező megfigyeléseket az Európai Makroszeizmikus Skála alapján osztályozzuk, meghatározva az egyes településekre vonatkozó intenzitásértékeket, amelyeket a *Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin*ben teszünk közzé.

### 3. INFRAHANGKUTATÁS

A hálózat által észlelt szeizmikus események egy része antropogén eredetű (például bányarobbantások). Ezek elkülönítése a földrengésektől elkerülhetetlen a természetes szeizmicitás és földrengés-veszélyeztetettség vizsgálatához. A pusztán szeizmikus adatok alapján történő diszkriminációhoz hatékony kiegészítést jelent a Magyarországon 2017-ben meghonosított új technológia, a légköri infrahanghullámok megfigyelése.

Hazánk első infrahangállomása 2017. május 25-én indult el a Mátrában, Piszkés-tetőn, a GGI üzemeltetésében. A légköri infrahang mérése Magyarországon egészen új, de világviszonylatban is fiatalnak tekinthető tudományág. Komolyabb jelentőséget az 1990-es években kapott, amikor az Átfogó Atomcsendszerződés ellenőrzésére szolgáló globális hálózatba egyéb technológiák mellett infrahangállomások is kerültek.

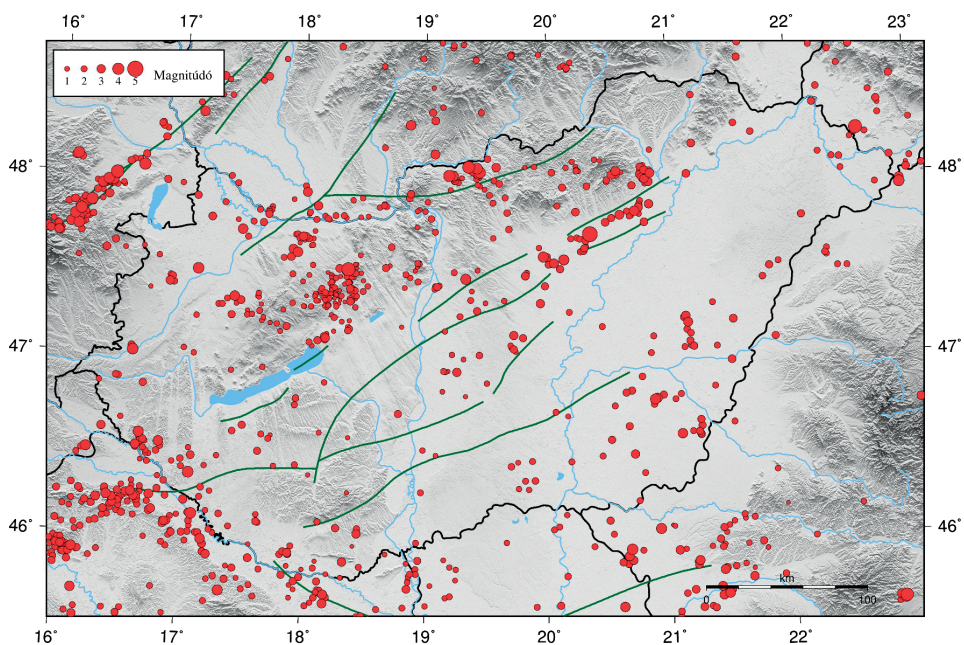
Infrahangnak az emberi fül érzékelési tartományánál, kb. 20 Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú akusztikus hullámokat nevezünk. Számos természetes és mesterséges forrása lehet, például vulkánkitörések, meteorok, zivatartevékenység, lavinák vagy az óceán hullámozása, illetve robbantások, rakétakilövések, repülőgépek stb.

A keletkező infrahangjelek a légkörben nagy távolságokat tesznek meg jelentősebb csillapodás nélkül, így erősebb jelek akár a forrástól több ezer kilométerre is mérhetőek.

A KRSZO infrahanggal kapcsolatos kutatásának középpontjában a bányarobbantások állnak, amelyeket a Nemzeti Szeizmológiai Hálózat nagy számban detektál. Az infrahangadatok elemzése hatékony módszer a kisebb földrengések és bányarobbantások elkülönítésére, mivel míg a felszíni robbantások könnyen azonosítható infrahangjelet keltenek, a hasonló méretű földrengések jellemzően nem. A módszer hatékonyságát jól mutatja, hogy a KRSZO által azonosított robbantások száma az infrahangállomás elindítása (2017) óta jelentősen megnőtt. Az új technológia a forrásbánya azonosításában is fontos szerepet játszik. A szeizmikus adatok alapján történő helymeghatározás több kilométeres hibával terhelt, ami egymáshoz közel lévő bányák esetén a forrás helytelen azonosításához vezethet. Az infrahangállomás adatai alapján a jel forrásának iránya nagy pontossággal megállapítható, ami a szeizmikus adatokkal kombinálva nagy pontosságú helymeghatározást tesz lehetővé, különösen az állomás közelében található bányák esetében.

## 4. MAGYARORSZÁG SZEIZMICITÁSA ÉS LEMEZTEKTONIKAI KAPCSOLATAI

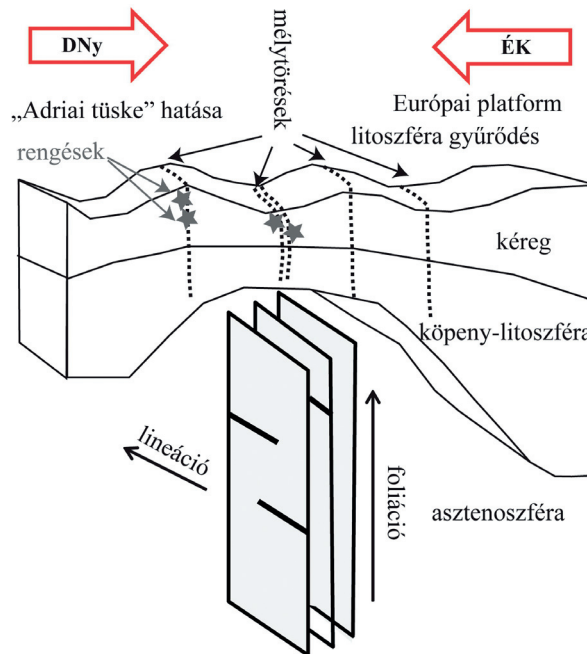
A jelenleg széles körben elterjedt nézet szerint a rengések alapvetően nagyobb szerkezeti zónákhoz vagy törésvonalakhoz köthetőek, amelyek legtöbbször tektonikai egységeket (kontinenseket, mikrokontinenseket) választanak el egymástól, vagy esetleg azokon belül jelennek meg. Amennyiben a rengések iLoc-módszerrel meghatározott epicentrumait (Bondár et al., 2018) ábrázoljuk Magyarországnak térképén a jelentősebb, jellemzően Ny-DNy–K-ÉK irányú szerkezeti vonalakkal együtt (4. ábra), akkor azt látjuk, hogy a rengéseknek a nagyobb része helyezkedik el a nagyobb szerkezeti vonalaktól távol, és csak egy kisebb részük koncentrálódik a hazánkat átszelő nagyszerkezeti vonalak környezetében. Ilyen a szlovák–magyar határhoz közel eső Diósjenő-vonal, és a közép-magyarországi zónának a Bükk és a Mátra déli előterébe eső része. Ezek alapján feltételezhető, hogy a földrengések jelentősebb részének magyarázata nem az ezen zónák menti feszültség felhalmozódásához és elmozdulásához köthető.



4. ábra. 1996 és 2018 között kipattant földrengések. A rendelkezésre álló adatok közül kiszűrtük azokat, melyek potenciális antropogén eredetűek lehetnek

A földrengés fészekmechanizmusa megmutatja, hogy a rengéskor a hipocentrumban milyen folyamatok zajlottak le, hogyan helyezkedik el a törési sík (vetősík), milyen irányú volt az elmozdulás, illetve a rengéshez vezető feszültségtér

főbb jellemzőire is következtetni lehet. A Magyarországon kipattant földrengések túlnyomó része oldalelmozdulásos jellegű, és valószínűleg egy közel É–D, vagy egy erre merőleges K–Ny irányú, közel függőleges törési sík mentén történhetett. A fő összenyomódás iránya pedig ÉK–DNy volt (Wéber, 2016). Ezen információk jól összhangban vannak azzal a nagytektonikai képpel, hogy a hazánk alatti kőzetlemez jelenleg ÉK–DNy irányú kompresszió alatt van. Ez az „Adriai-tüske” óramutatóval ellentétes irányú forgása következtében jön létre, amelynek során a Pannon-medence alatti kőzetlemezek az Adriai-tüske és az igen vastag Európai platform közötti „harapófogóba” kerülnek, és bennük folyamatosan feszültség halmozódik fel, ami alkalmanként földrengések formájában szabadul fel. Egy legújabb nagytektonikai elképzelés szerint a földköpeny képlékeny része (asztenoszféra) is az ÉK–DNy-i összenyomódás irányára merőleges szövetet vesz fel (5. ábra) (Kovács et al., 2020). A sekélyebb litoszférában is ezzel párhuzamos deformációs zónák és törések jönnek létre. Törések jellemzően a kéreg felső részét jellemzik, míg képlékeny deformációs zónák a kéreg mélyebb részét és a felső köpenyt. Értelemszerűen rengések csak töréses deformáció esetén jöhetnek létre. Ez összhangban van azzal, hogy földrengések hazánk területén túlnyomórészt a legfelső 15 km-ben keletkeznek. Így nem véletlen, hogy a többek között a Badacsony is felépítő fiatal alkáli-bazaltok is valószínűleg ezen zónák mentén



5. ábra. Tektonikai modell a Kárpát-medencére Kovács et al. (2020) alapján módosítva

préelődhetnek a felszínre. A hazai rengések egy részét magyarázhatja, hogy az „Adriai-tüske” és az Európai platform közötti összenyomódás a kőzetlemezekben nem homogén módon történik, hanem az É-ÉNy–D-DK-i Komárom–Dunaújváros-vonal néhány 10 km-es körzetében összpontosulnak. Fészekmechanizmusok alapján pedig egy közel vertikális, közelítőleg É(ÉNy)–D(DK) irányú oldalelmozdulásos zónában jönnek létre, amely mentén a kőzetlemezek egymásnak préelődnek. Azaz elképzelhető, hogy a jelenleg tapasztalható hazai földrengések okait nem a lényegesen idősebb K-ÉK–Ny-DNy irányú nagyszerkezeti vonalak, hanem azokra majdnem merőleges irányú és vélelmezhetően fiatalabb szerkezeti pászták mentén kell keresni. Az utóbbi években jelentős fejlesztéssel keresztül ment Nemzeti Szeizmológiai Hálózat, a rengések kipattanásának lokalizációját nagy pontossággal meghatározni képes módszereink (Bondár et al., 2018), és a fészekmechanizmusokat kisebb rengések esetében is meghatározni képes eljárásaink (Wéber, 2016) lehetőséget teremtenek a hazánk alatt keletkező rengések tektonikai okainak minél részletesebb megértéséhez és a földrengés-veszélyeztetettség nagyobb pontosságú meghatározásához, ezzel szolgálva nagyon fontos társadalmi és alapkutatói célokat.

## 5. FÖLDRENGÉS-VESZÉLYEZTETETTSÉG

Egy adott hely veszélyeztetettségét a területen előforduló földrengések nagysága, gyakorisága, területi eloszlása, a rengések okozta földrengéshullámok távolsággal történő csillapodása, és a vizsgált hely földtani felépítése határozza meg.

Magyarországon a veszélyeztetettség meghatározása valószínűségi módszerrel történik, ami a szeizmicitás és a szeizmotektonikai ismeretek alapján azonosítható forrásterületek kijelölésével kezdődik. A földrengések statisztikai tulajdonságainak meghatározását a mesterséges forrásoktól megtisztított földrengés-katalógus alapján végezzük. A jelenkori szeizmicitás megismeréséhez az egyre bővülő állomáshálózat járul hozzá, de nagyon fontos a történelmi múltban a Kárpát-medencében keletkezett rengések megismerése, ezért nagy figyelmet fordítunk azok kutatására is. A korabeli feljegyzések, épületsérülések alapján meghatározott intenzitásértékek területi eloszlásából következtünk az esemény magnitúdójára és a rengésfészek hozzávetőleges mélységére.

A földrengéshullámok erősségének távolsággal történő csökkenését csillapodási egyenletek segítségével vesszük figyelembe, amelyek kiválasztása jelentősen befolyásolja a kapott eredményeket. A Pannon-medencében – a vékonyabb és melegebb kéreg miatt – a szeizmikus hullámok csillapodása különbözik a környező területeken tapasztaltaktól. Ezért szükséges a területre jellemző, specifikus gyengülési összefüggések felállítása mind a makroszeizmikus intenzitásra, mind a mérnöki alkalmazásoknál szükséges műszeres mozgásjellemzőkre.

A veszélyeztetettségi számítások első lépésben egy keményebb kőzetre történnek, azonban Magyarország területének nagy részét fiatal üledékes képződmények borítják, ami jelentősen módosíthatja a földrengések során keletkezett károkat. Nagyobb történelmi rengéseink során több alkalommal megfigyelték a talajfolyósodás bekövetkezését, ami főként a folyóink mentén elhelyezkedő létesítményeknél lehet veszélyeztető tényező. Kutatásaink során a mikroszeizmikus háttérzaj mérésével vizsgáljuk mind a felszínhez közeli rétegek, mind a Pannon-medence mély üledékes rétegeinek módosító hatását, rezonanciás viselkedését, valamint numerikus modellezéssel becsüljük a helyi geológiai felépítés módosító hatását, a talajfolyósodás esetleges bekövetkezését.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szeizmológiai hálózat fejlesztését és az obszervatóriumban folyó kutatásokat a GGI költségvetésén kívül a következő pályázatok támogatják:

- „Pargazoszféra: avagy a 'víz' új szerepe a litoszféra-asztenoszféra rendszer dinamikájában a Pannon-medence alapján”, Pannon LitH<sub>2</sub>Oscope Lendület (Grant No.LP2018-5/2018).
- „Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi térképének megalkotása és elemzése” – Nemzeti Kiválósági Program (Grant No. NRD1 2018-1.2.1-NKP-2018-00007).
- „A Keleti Alpok–Pannon-medence átmeneti zóna szerkezete és geodinamikája az AlpArray Szeizmológiai Hálózat adatai alapján”, NKFIH, K124241.
- „Természetes és mesterséges eredetű események elkülönítése szeizmikus és infrahang adatok együttes analizisével”, NKFIH, K128152.

Köszönjük Kiss László főigazgató úrnak (CSFK), hogy a főigazgatói keretből hozzájárult szeizmológiai műszerek beszerzéséhez, amelyek hozzájárultak a hálózat bővítéséhez. Köszönet illeti Wetztergom Viktort és Szűcs Esztert, a CSFK GGI korábbi igazgatóját és tudományos titkárát áldozatos munkájukért, mellyel elősegítették az obszervatórium fejlődését.

### IRODALOM

- Bondár I. – Mónus P. – Czanik Cs. et al. (2018): Relocation of Seismicity in the Pannonian Basin Using a Global 3D Velocity Model. *Seismological Research Letters*, 89, 2284–2293. DOI: 10.1785/0220180143, [https://www.researchgate.net/publication/328059943\\_Relocation\\_of\\_Seismicity\\_in\\_the\\_Pannonian\\_Basin\\_Using\\_a\\_Global\\_3D\\_Velocity\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/328059943_Relocation_of_Seismicity_in_the_Pannonian_Basin_Using_a_Global_3D_Velocity_Model)
- Bondár I. – Storchak, D. (2011): Improved Location Procedures at the International Seismological Centre. *Geophysical Journal International*, 186, 1220–1244. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2011.05107.x, <https://academic.oup.com/gji/article/186/3/1220/591815>

- Grácz Z. – Szanyi Gy. – Bondár I. et al. (2018): AlpArray in Hungary: Temporary and Permanent Seismological Networks in the Transition Zone between the Eastern Alps and the Pannonian Basin. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 53, 221–245. DOI: 10.1007/s40328-018-0213-4, <http://real.mtak.hu/86696/>
- Hetényi Gy. – Molinari, I. et al. (2018): The AlpArray Seismic Network: A Large-Scale European Experiment to Image the Alpine Orogen. *Surveys in Geophysics*, 39, 1009–1033. DOI: 10.1007/s10712-018-9472-4, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10712-018-9472-4.pdf>
- Kovács I. – Patkó L. – Liptai N. et al. (2020): The Role of Water and Compression in the Genesis of Alkaline Basalts: Inferences from the Carpathian-Pannonian Region. *Lithos*, 354–355, 105323. DOI: 10.1016/j.lithos.2019.105323, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493719304839>
- Mónus P. – Tóth L. (2013): A magyar szeizmológiai hálózat fejlődése és jelenlegi helyzete. *Magyar Tudomány*, 174, 1, 53–64. <http://www.matud.iif.hu/2013/01/07.htm>
- Möllhoff, M. – Bean, C. J. – Baptie, B. J. (2019): SN-CAST: Seismic Network Capability Assessment Software Tool for Regional Networks-Examples from Ireland. *Journal of Seismology*, 23, 3, 493–504. DOI: 10.1007/s10950-019-09819-0, <https://bit.ly/2BU3C3P>
- Varga P. (2016): A Földrengési Observatóriumtól a Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatóriumig. *Magyar Tudomány*, 170, 10, 1192–1217. <http://www.matud.iif.hu/2016/10/06.htm>
- Wéber Z. (2016): Probabilistic Waveform Inversion for 22 Earthquake Moment Tensors in Hungary: New Constraints on the Tectonic Stress Pattern inside the Pannonian Basin, *Geophysical Journal International*, 204, 236–249. DOI: 10.1093/gji/ggv446, <https://academic.oup.com/gji/article/204/1/236/634209>

URL1: <http://www.alparray.ethz.ch>

URL2: <http://www.seiscomp3.org>

URL3: [www.seismology.hu](http://www.seismology.hu)

URL4: <http://www.facebook.com/krszo>

URL5: <https://twitter.com/szeizmologia>