

Földrengésrajok a Móri-árok területén

KISZELY MÁRTA

Magyarországot kis–közepes szeizmicitás jellemzi. A Balaton északi részétől Komáromig húzódó sáv földrengések szempontjából az egyik legvesélyeztetettebb területe hazánknak, amelybe beletartozik a Móri-árok térsége is. Ehhez a területhez kötődik az 1810-es, 5,4-es magnitúdójú móri földrengés, de aktivitása jelenleg is megfigyelhető. Tanulmányozására 2020 márciusában 3 ideiglenes szeizmológiai állomást telepítettünk, melyek közel 2 évig működtek. Több földrengésrajt is megfigyeltünk, melyek pontos helyszínét korszerű módszerekkel határoztuk meg. A következőkben a vizsgálat eredményeiből adunk ízelítőt.

Bevezetés

Magyarországon évente átlagosan 4-5 érezhető földrengés pattan ki, viszont több 100 kisebb, csak műszerekkel észlelhető rengésről is beszámolunk az évente megjelenő Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinben. A nagyobb érezhető, illetve károkat okozó földrengések mellett nagyon fontos a kisebb, csak műszerekkel regisztrált földrengések megismerése, mivel ezek is jelentősen hozzájárulnak Magyarország szeizmicitásának megismeréséhez. 2021-ben a Bulletin 45,5-49,0°É szélességi és 16,0-23,0°K hosszúsági körök által határolt területén belül 344, Magyarország határain belül 122 földrengést regisztráltunk.

Aktivitásával kiemelkedik az országon belül a Móri-árok térsége. Az egyik legnagyobb magyarországi földrengés, az 1810-es móri (1810.01.14, $M=5,4$) is ehhez a területhez kötődik. Emlékezetes a 2011. január 29-én Mórtól mintegy 10 km-re, Oroszlányban kipattant, jelentősebb károkat okozó 4,5-ös magnitúdójú földrengés, amit még Budapest magasabb panelházaiban is lehetett érezni, és szinte min-

den székesfehérvári lakost megriasztott. A Móri-árok környezete a műszeres megfigyelések kezdete óta folyamatos aktivitást mutat. 1998 óta több mint 1100 mikrorengést rögzítettek a közeli mérőállomások. A terület aktivitásának pontosabb monitorozása céljából 2020 márciusában 3 ideiglenes szeizmológiai állomást telepítettünk a területre, melyek közel 2 évig működtek, és így ezen időszak alatt ez a terület lett hazánk műszerekkel legjobban lefedett területe.

Az alábbiakban a Móri-árok közelítőleg 10 km-es szakaszán ez alatt az időszak alatt megfigyelt földrengésekről számolunk be, melyek igazolják a terület szeizmológiai szempontból különleges és folyamatos aktivitását.

A földrengések fő típusai

Ha kipattan egy erős földrengés, amit főrengésnek nevezünk, akkor azokat általában több száz, sőt több ezer kisebb földrengés követi, amelyeket utórengéseknek nevezünk. Néhány esetben a legnagyobb ere-

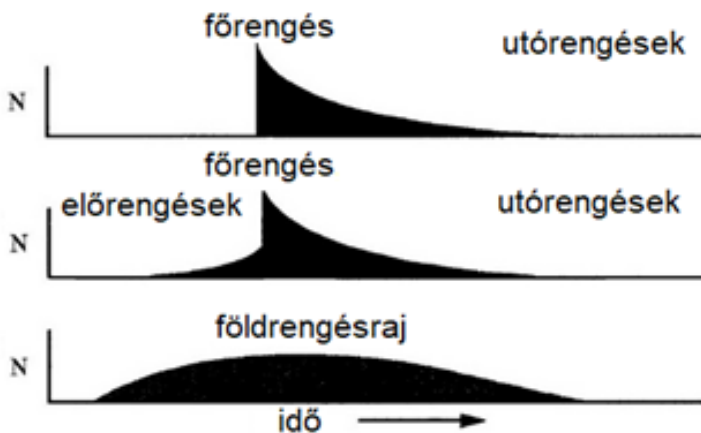
jű főrengéseket kisebb rengések, az úgynevezett „előrengések” előzhetik meg. Ha a főrengésnél erősebb utórengést figyelnek meg, akkor azután azt nevezzük főrengésnek, és a korábbi főrengést pedig előrengéssé minősítjük vissza. Az utórengések előfordulási gyakoriságát a módosított Omori-törvénnyel írhatjuk le (Omori 1894). Eszerint a főrengéseket követő utórengések száma általában gyorsan lecseng, ennek üteme fordítottan arányos a főrengés napjától eltelt idővel. Az Omori-törvény alapján a rengés utáni napon feleannyi utórengés várható, mint a főrengés napján, tíz nap múlva pedig a tizede. Az utórengésekre jellemző, hogy annál nagyobb területet érintenek, minél nagyobb volt a főrengés mérete. A Kárpát-medence földrengéseinek körülbelül 4/5-e nem kapcsolódik egymáshoz elő- fő, és utórengések formájában, hanem „magányos” eseményeknek tekinthetők.

Az előbbieket mellett van egy másik típusa is a rengéseknek, ezek pedig a földrengésrajok. A főrengést kísérő utórengésekkel ellentétben főrengés nem jellemzi

a földrengésrajokat, és időbeli eloszlásuk sem írható le az Omori-törvényhez hasonló egyszerű törvénnyel (1. ábra). A földrengésrajok gyakoriak vulkanikus területeken, ahol az olvadt anyag behatol a szilárd kéregbe. Gyakran kapcsolódnak geotermikus tevékenységhez is, és sokszor ismétlődnek ugyanazon a helyen. A rajok általában rövid életűek, de napokig, hetekig, sőt néha hónapokig is folytatódhatnak.

Földrengésrajok világszerte, különböző földtani felépítésű területeken előfordulnak, azonban eredetük több esetben még mindig tisztázatlan. Földrengésrajokban a Nyugat-csehországi Vogtland területe az egyik legaktívabb (Špičák et al 1999, Heinicke et al 2009, Bachura et al 2020). Délnyugat-Izlandot is intenzív földrengésrajok jellemzik, ami ott vulkáni tevékenységhez kötődik.

A földrengésrajokban az egyes események fészekmechanizmusai nagyon hasonlóak, vagy csak néhány tipikus csoportra bonthatók, ezért a rengésrajok elemeire a nagyon hasonló hullámforma a jellemző.

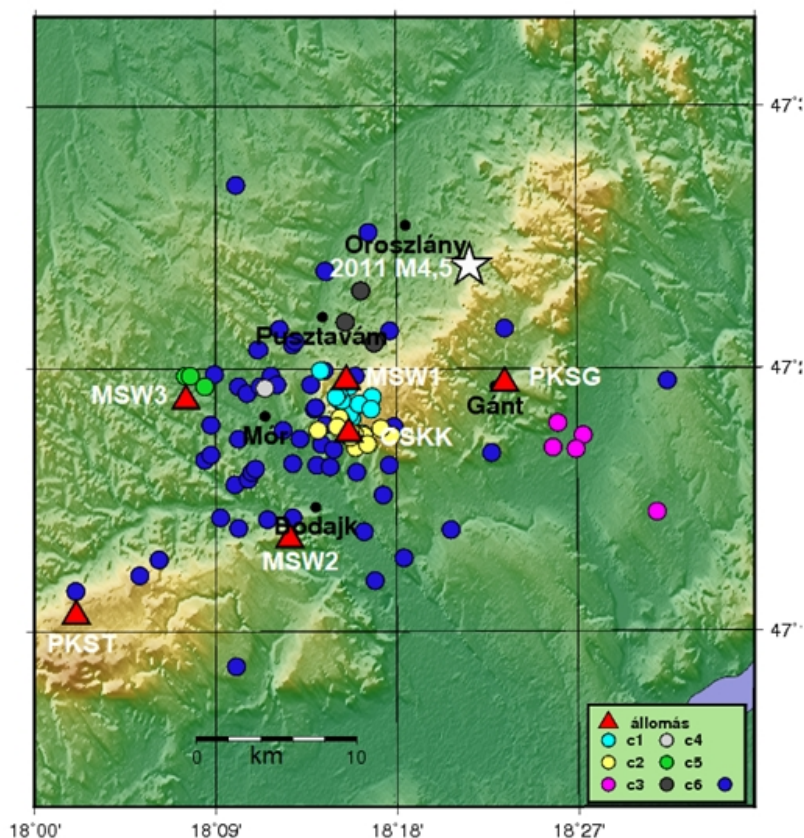


1. ábra. Az időegységenkénti események száma (N) a háromféle földrengéssorozat esetében. A főrengés a felső két esetben a rengések számának hirtelen növekedését okozza. (Forrás: USGS)

Földrengésrajok a Móri-árok területén

A 2009 óta működő Csókakői (CSKK) állomás felvételein már korábban is megfigyeltük, hogy Móri-árok területén a földrengések rajokban is jelentkeznek. Kipattanási helyük pontosabb meghatározása érdekében a területre 2020 márciusában 3 ideiglenes állomást telepítettünk az alábbi helyekre: Mór-Pusztavám (MSW1), Fehérvárcsurgó (MSW2), Tímárpusztá (MSW3). Az MSW2 állomás a Móri árok nyugati oldalára, a Bakony peremére került. A

2009 óta működő Csókakői (CSKK) állomás és a Paksi Atomerőmű monitorozását szolgáló GeoRisk Kft kezelésében működő gánti (PKSG) és tési (PKST) állomások adatait együtt feldolgozva sikerült a Móri-árok jelenkori földrengés aktivitását bizonyítani (2. ábra). Az ideiglenes állomások 22 hónapig tartó működése során 102 kis földrengés epicentrumát számítottuk ki. Ezek közül 72 földrengés kipattanási helyét sikerült többeseményes algoritmus segítségével nagy pontossággal meghatározni (Waldhauser, 2001). Ezeket jellemezzük az alábbiakban.



2. ábra. A Móri-árok területén megfigyelt földrengésrajok (c1; c2; c3; c4; c5; c6) és a nem rajokban jelentkező „magányos” rengések (sötétkék) epicentrum térképe. Az állomásokat piros háromszögek jelölik. A 2011-es oroszlányi rengés epicentrumát fehér csillag jelöli

Összesen 6 földrengésrajt sikerült elkülöníteni, ami a megfigyelt helyi rengések több mint harmada volt. A földrengésrajok elemei között voltak kicsit eltérő hullámformájúak is, és olyan további kisebb rengések, amelyeknek nem sikerült meghatározni az epicentrumát - mert kevés állomás érzekelte - de hullámromájuk hasonlósága miatt beletartoztak az adott klaszterbe. A földrengésrajok c1, c2... c6 elnevezést kaptak, és elemeiket a 2. ábrán különböző színnel jelöltük. A rengések 40%-a 1 napon belül, gyorsan követte az előzőt.

A földrengésrajok hullámformáinak hasonlósága lehetővé tette, hogy a háttérzajban megbújó, szabad szemmel nem észrevehető kisebb földrengéseket különböző detekciós módszerekkel megtaláljuk. Kiválasztottunk 1-1 „master” eseményt - a földrengésrajokhoz tartozó rengések közül a legjellemzőbbeket -, amelyeket mintának használva, és a teljes időtartam regisztrátumán végigfuttatva, azokhoz hasonló további jeleket kerestünk. Így sikerült a rajok további kisebb energiájú tagjait is megtalálni, amiket szabad szemmel nem vettünk észre.

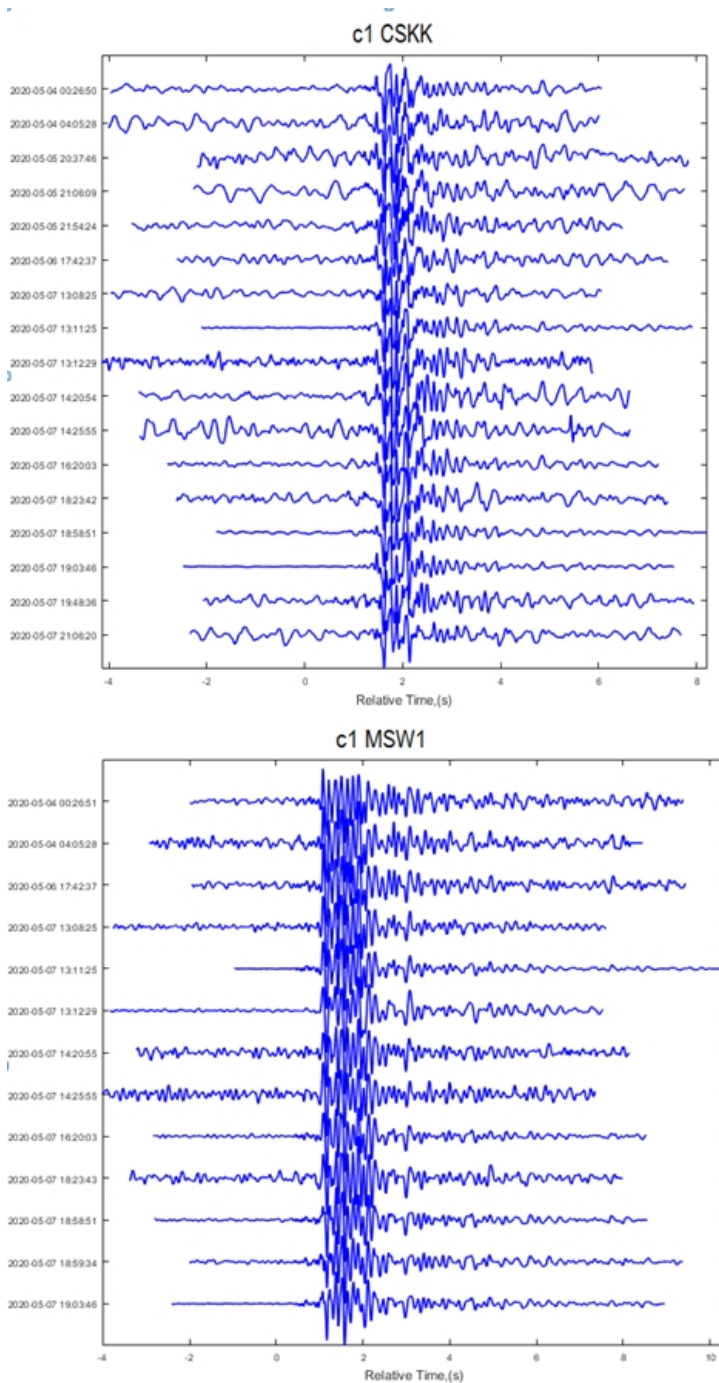
A 3. ábra az egyik legnagyobb a c1-es földrengésraj hullámformáit mutatja a CSKK és MSW1 állomásokon. Egymáshoz nagyon hasonlóak a hullámformák, de a két állomás szeizmogramjai nagyon eltérnek egymástól. Ennek oka, hogy a c1-es klaszter epicentrumai az MSW1 és CSKK állomások közé estek, ezért eltérő irányból és kőzeteken át érkeztek be a rengéshullámok a két állomásra.

A 4. ábra. bal felső sarkában az MSW1 állomás 5 másodperc hosszú „master” hullámformája látható kék színnel a c1

klaszter esetében. A sablon az S hullámot tartalmazta a K-Ny-i horizontális csatorna esetében. Az 4. ábra jobb oldalán a „master” szeizmogramnak az 1 nap hosszúságú időszak 5 másodpercekkel eltolt szakaszaira kapott korrelációs együtthatók értékét ábrázoltuk. Ha a korrelációs együttható értéke 1, akkor gyakorlatilag ugyanolyan szeizmogram szakaszt találtunk. Minél kisebb az érték, annál kisebb a hasonlóság. Látható, hogy a legtöbb esetben 0,4 alatt volt az eredmény, ezek biztos nem tartoztak ac1-gyel jelölt rajhoz. A kritikus korrelációs együttható értékét 0,7-nek vettük, ami elég nagy hasonlóságot jelent. A 0,7 feletti eseményeket tekintettük a rajhoz tartozó rengésnek. Ezekkel kiegészítve soroltuk fel a c1-c6 rengésrajok legfőbb jellemzőit a 1. táblázatban.

Fontos megállapítás, hogy az ideiglenes állomások nélkül a terület földrengéseinek a 82%-a kimaradt volna a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinból. Ezeket ugyanis csak 1-2 állandó állomás érzekelte, így nem lehetett volna az epicentrumukat meghatározni.

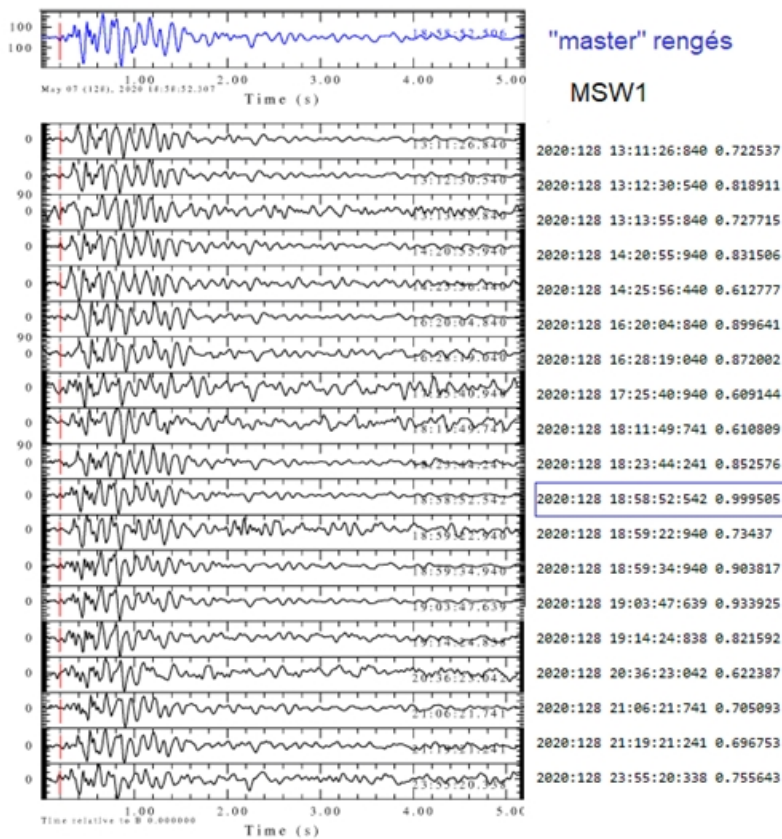
A Móri-árok mikro-rengéseinek helymeghatározási és a rajok kisebb elemeinek megtalálási módszereiről a Magyar Geofizika 2022-es 1. számában olvashatnak részletes tanulmányt. Az alkalmazott többeseményes algoritmussal 102 földrengésből 72 hipocentrumát sikerült nagy pontossággal meghatározni. A földrengések mindegyike sekély volt, a fészekmélységek 3–5 km közé estek. A 2011-es oroslányi földrengés közelítőleg 9 km mélységben pattant ki, és az 1810-es móri földrengés fészekmélysége is nagyobb lehetett.



3. ábra. A c1-es földrengésraj elemeinek hullámformái a CSKK és MSW1 állomásokon. Egymáshoz nagyon hasonlóak a hullámformák, de a két állomásé nagyon eltér egymástól.

Swarm sorszáma	A "master" kipattanási ideje	A meghatározott epicentrumok száma	Összes megtalált elem
c1	2020/04/03 20:29:45	12	27
c2	2020/05/07 18:58:50	15	18
c3	2020/11/10 20:17:55	5	10
c4	2020/05/25 23:59:20	4	3
c5	2020/12/31 02:11:21	3	5
c6	2021/01/30 01:51:50	3	3

1. táblázat. A földrengásrajok tulajdonságai



4. ábra. Felül a c1 sorozat „master” eseménye (késsel) és korrelációs program segítségével megtalált ahhoz hasonló hullámformák láthatók. Az események ideje olvasható a hullámformák mellett. Az alsó ábrán a „master” rengéshez a 86400 sec (1 nap) hosszú szeizmogramon 5 másodperccel eltolt szakaszaira kapott korrelációs együtthatók értékei láthatók. A kék vonal a 0,7 kritikus korrelációs együttható határt jelöli. E fölött eseményeket vettük hasonlóknak a „master” eseményhez

Hivatkozások

- Bachura M, T Fischer, J Doubravová, J Horálek (2020): From earthquake swarm to a main shock–aftershocks: the 2018 activity in West Bohemia/Vogtland Geophysical Journal International, 224,3: pp 1835–1848
- Bondár I, Kalmár D, Czece B, Kiszely M (2022) Földrengések a Móri-árokban, Magyar Geofizika 63. évf. (2022) 1. szám, 13–21.
- Heinicke J, T Fischer, R Gaupp, J Götze, U Koch, H Konietzky, K-P Stanek (2009): Hydrothermal alteration as a trigger mechanism for earthquake swarms: the Vogtland/NW Bohemia region as a case study. Geophysical Journal International, Volume 178,1357, pp 1–13
- Špičák A, J Horálek, A Boušková, Č Tomek, J Vaněk (1999): Magma Intrusions and Earthquake Swarm Occurrence in the Western Part of the Bohemian Massif. *Studia Geophysica et Geodaetica* volume 43, pp: 87–106
- Omori F (1894): "On the aftershocks of earthquakes". *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo* 7: pp 111–200.
- Waldhauser F (2001) hypoDD—A program to compute double-difference hypocenter locations. *US Geol Surv Open File Report*, 01
- Waldhauser F, Ellcorth WL (2000) A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, California. *Bull Seismol Soc Am* 90(6):1353–1368