

A ROBBANTÁSOK ÉS FÖLDRENGÉSEK ELKÜLÖNÍTÉSE KÜLÖNBÖZŐ PARAMÉTEREKRE SZÁMOLT MAHALANOBIS TÁVOLSÁGOK SEGÍTSÉGÉVEL

Kiszely Márta, Győri Erzsébet**



***Discrimination of earthquakes and quarry blasts using Mahalanobis distances calculated from different parameters** – This article presents a statistical method to discriminate explosions and earthquakes. Our aim was to determine the typical parameters of blasts originated from eight different quarries and of earthquakes occurred in Northern Hungary and south part of Slovakia between the years 2010 and 2013. The selection of the most appropriate parameters was based on computations of Mahalanobis distances.*

Keywords: earthquake, blast, Mahalanobis distance, spectrum

Jelen cikk a robbantások és földrengések elkülönítésének egy statisztikai módszerét mutatja be. Célunk Észak-magyarország és Szlovákia déli részén 2010 és 2013 között keletkezett földrengések és nyolc különböző bányából származó robbantások elkülönítését lehetővé tevő paraméterek meghatározása volt. A legalkalmasabb paraméterek kiválasztását a Mahalanobis távolságok meghatározása alapján végeztük el.

Kulcsszavak: földrengés, robbantás, Mahalanobis távolság, spektrum

1 Bevezetés

2010 és 2013 között 143 olyan szeizmikus esemény került be Magyarországi Földrengések Évkönyveibe és a Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletinokba, ami Észak-Magyarország és Szlovákia területén (47°-49°E; 19°-21°K) keletkezett (Gráczér és szerzőtársai 2012, 2013, Tóth és szerzőtársai 2011-2014/). Az eseményeknek azonban kb. harmada robbantás volt. Mivel egy terület tektonikai elemzésekor hamis következtetésre juthatunk, ha a természetes eredetű földrengések közé tévesen mesterséges események is bekerülnek, ezért fontos, hogy a rengéseket széjjelválasszuk a robbantásoktól.

Vizsgálataink során a Mátra második legmagasabb csúcsán levő pizskéztetői (PSZ) állomás szeizmogramjait használtuk fel a terület földrengéseinek és a környéken működő 8 bánya robbantásainak az elkülönítésére.

Az elkülönítésre leginkább használható paramétereket a Mahalanobis távolságok (MD) számítása alapján választottuk ki. A Mahalanobis távolság meghatározásával egy kvantitatív mértéket kaphatunk arra, hogy különböző paraméterek alapján mennyire különül el egymástól két populáció, esetünkben a földrengések és a robbantások. Használatának előnye, hogy egyszerre több paramétert is figyelembe vehetünk. Vizsgálatunkban a szeizmikus események P, S és R_g fázisainak amplitúdóiból számított paramétereket, valamint különböző spektrum jegyeket használtunk fel.

A következő kérdésekre kerestük a választ:

1. Milyen fázisok amplitúdó adatai alapján különülnek el a legjobban a vizsgált területen a földrengések és robbantások?
2. Milyen spektrum adatok használhatók leginkább az elkülönítésre?
3. Az amplitúdó és spektrum adatok együttes felhasználása milyen eredménnyel jár?

*MTA CSFK GGI Kövesligethy Radó Szeizmológiai Observatórium, 1112 Budapest, Meredek u. 18.

E-mail: marta@seismology.hu;

gyori@seismology.hu

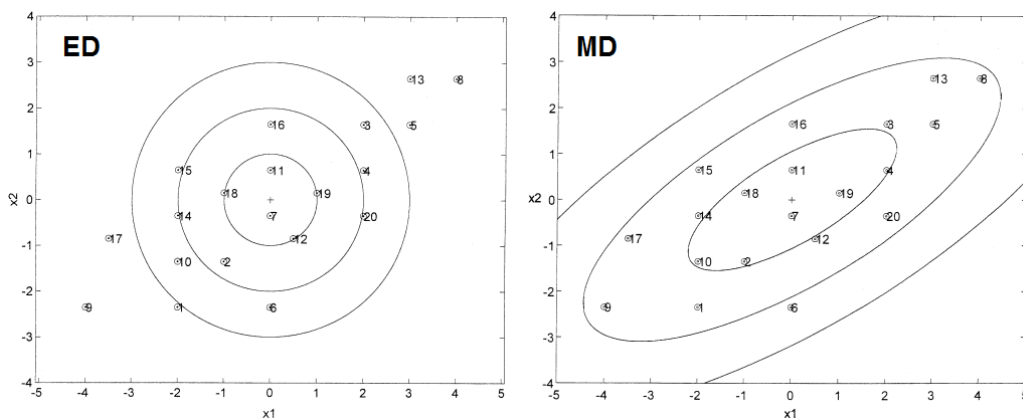
2 A Mahalanobis távolság

A Mahalanobis távolság egy dimenzió nélküli szám, amit Prasanta Chandra Mahalanobis (1893-1972) indiai matematikus fejlesztett ki indiai kasztok többváltozós távolságának meghatározására. Azt kutatta, hogy milyen tényezők befolyásolják a kasztok jegyeit az európai és az indiai vegyes házasságok révén (Mahalanobis 1936). A Mahalanobis távolságot (MD) azóta is széleskörűen alkalmazzák többváltozós populációk statisztikai elemzéseire.

Az alap probléma annak a valószínűségnek a becslése, hogy egy tesztpont az N dimenziós euklideszi térben hozzátartozik-e egy adott populációhoz. Megbizonyosodva arról, hogy a populáció csak hozzátartozó mintákból áll, első lépésként meghatározzuk az elemeinek a középpontját. Minél közelebb esik a tesztpont ehhez a középponthoz, annál valószínűbb, hogy az a populációhoz tartozik. Minél távolabb esik, annál valószínűbb, hogy nem minősül a populáció tagjának. Az MD segítségével a megfigyelések (minták) egy populáció középpontjától vett távolságát mérjük. A mintapontok szórását is figyelembe veszi a módszer. Ha a távolság a tesztpont és a populáció középpontja között kevesebb, mint az adatok szórása, akkor nagyon valószínű, hogy a vizsgált pont e csoport tagja. Az MD a diszkriminációs problémának egy többváltozós megközelítése, mivel súlyozva van a csoporttagok változóinak egymás közötti eltéréseivel. Magasabb rendű, mint az Euklideszi távolság (ED), mert figyelembe veszi a csoportok elemeinek eloszlását. Az 1. ábra szemlélteti az ED és MD különbségét. Látható, hogy a csoport közepétől azonos 'távolságú' ívek az MD esetében jobban illeszkednek a változók elhelyezkedéséhez, mint az ED esetében.

Megemlítendő még, hogy az MD skála-független. A sztenderd ED minden paramétert egyforma mértékkel vesz figyelembe, függetlenül azok skálatartományától. Emiatt nagyobb súllyal kerülnek latba a nagyobb számértékű paraméterek. Az MD ezt a többdimenziós problémát is kezelni tudja.

A változókról feltételezzük, hogy normális eloszlásúak. A cél azoknak a paramétereknek a megtalálása, amelyekkel növelhető a csoportok közötti távolság. Három változó esetén térbeli ellipszoidok keletkeznének, ami pedig még grafikusán megjeleníthető forgatással, vagy több szögből készített felvétellel. E módszer előnye azonban az, hogy háromnál több változó felhasználásával is elemezhetjük két csoport elkülöníthetőségét, amit pl. grafikusán már nem tudunk megjeleníteni.



1. ábra. Az ED és MD távolság szemléltetése x_1 és x_2 változók esetén. Az MD figyelembe veszi a paraméterek közötti kapcsolatot. Az ED alapján több mintát is a populációtól különállónak kellene tekinteni, ami az MD alapján a populáció tagjának bizonyul (Maesschalck et al. (2000) cikkéből)

Az MD meghatározása a C_x kovariancia mátrix meghatározásával indul:

$$C_x = \frac{1}{(n-1)} (\mathbf{X}_c)^T (\mathbf{X}_c) \quad (1)$$

A képletben \mathbf{X} az adatmátrix, amiben n a megfigyelések (sorok) száma, amiket a p változókra kapunk. száma, \mathbf{X}_c az oszlop átlaghoz centrált mátrix ($\mathbf{X}-\mathbf{X}_{\text{átlag}}$). Két változó esetén a \mathbf{C}_x kovariancia mátrix képlete a következő lesz:

$$\mathbf{C}_x = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 \\ \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ahol a változók varianciája, más néven szórásnégyzete σ_1^2 és σ_2^2 , a két változó kovarianciája pedig $\rho_{12}\sigma_1\sigma_2$. Az MD képlete a következő (Maesschalck és szerzőtársai 2000):

$$MD_i = \sqrt{(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})\mathbf{C}_x^{-1}(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})^T} \quad (3)$$

$$\mathbf{C}_x^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_2^2 / \det(\mathbf{C}_x) & -\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 / \det(\mathbf{C}_x) \\ -\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 / \det(\mathbf{C}_x) & \sigma_1^2 / \det(\mathbf{C}_x) \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol $\det(\mathbf{C}_x) = \sigma_1^2\sigma_2^2(1-\rho_{12}^2)$ a (2) variancia-kovariancia mátrixnak a determinánsa. Részletesen kiírva két változó esetére a képletet, a következőt kapjuk:

$$MD_i = \sqrt{\left(\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left[\left(\frac{x_{i2} - \bar{x}_2}{\sigma_2} - \rho_{12}\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\sigma_1}\right)\frac{1}{\sqrt{1-\rho_{12}^2}}\right]^2} \quad (5)$$

Látszik, hogy az (5) kifejezésben a ρ_{12} szorzóval szereplő tag - az adatok közötti korrelációval - módosítja az MD értéket. Ha ezt a tagot nem vesszük figyelembe ($\rho_{12}=0$) megkapjuk az Euklideszi távolság formuláját:

$$ED_i = \sqrt{(x_{i1} - \bar{x}_1)^2 + (x_{i2} - \bar{x}_2)^2} \quad (6)$$

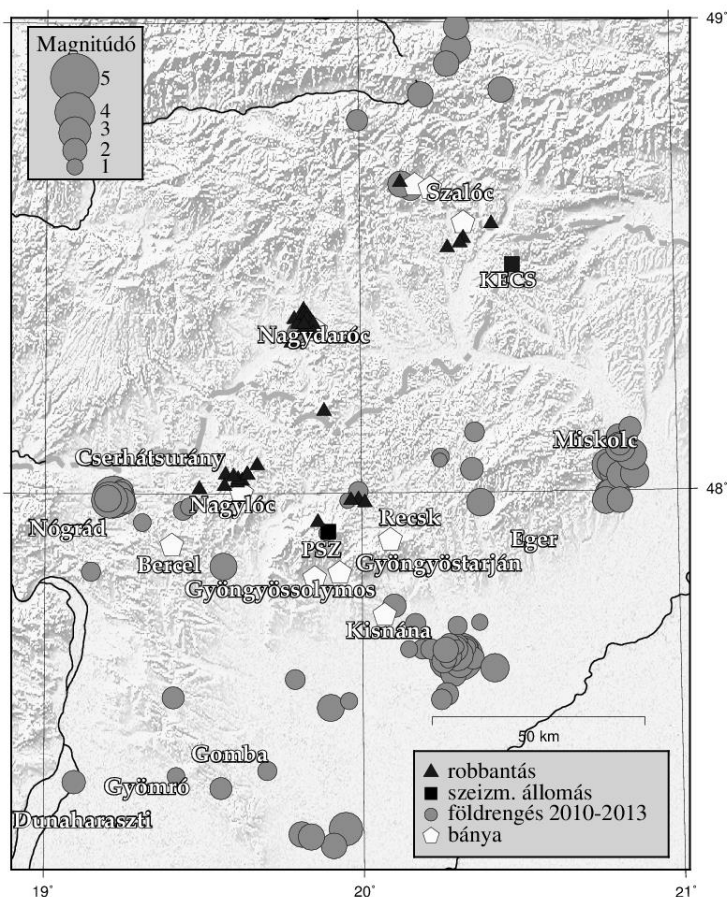
A szeizmológiában is egyre többször alkalmazzák ezt a statisztikai módszert. Például Koch és Fáh (2002) a németországi Vogthland területén 1991 és 1993 között keletkezett, kisméretű események különböző spektrális és amplitúdó paraméterei közül keresték az elkülönítésre legalkalmasabb kombinációt az MD értékek segítségével. Kutatásaik szerint, ha $MD > 4$, akkor a két csoport a vizsgált paraméterek alapján statisztikailag különbözőnek tekinthető. Fáh és Koch (2002) másik munkájukban az Alpok és Svájc területén kipattant $1.3 \leq M_L \leq 3.8$ méretű események elkülönítési lehetőségét elemezték, amiben az éjszaka történt eseményeket tekintették földrengésnek. Arrowsmith és munkatársai (2006) pedig az Egyesült Államokban, Wyoming környéki eseményekre vonatkozóan 7 paraméter közül választották ki a legmegfelelőbbet e módszerrel.

Cikkünkben az MD segítségével azt elemeztük, hogy mely kvantitatív változók alapján lehet a robbantásokat és a földrengéseket jobban elkülöníteni. A MD távolság meghatározására a MATLAB programsomag beépített függvényét használtuk. A mátrix formában megadott adatok minden sora 1-1 szeizmikus esemény, minden oszlopa pedig az esemény 1-1 paramétere volt. Számításaink során minden egyes robbantás „távolságát” meghatároztuk a földrengések teljes csoportjának és a saját (robbantások) csoportjának centrumától. Minden földrengés esetén is meghatároztuk a saját (földrengések) és a robbantások csoportjától vett statisztikai távolságokat. Minden eseményhez így két értéket kaptunk. Koch és Fáh (2002) szerint akkor mondhatjuk, hogy a két csoport statisztikailag elkülönül egymástól, ha a kettő közötti különbség abszolút értékben 4-nél nagyobb. Az elemzést Koch és Fáh (2002) munkáját mintának tekintve végeztük el.

3 A felhasznált események

A 2. ábrán feltüntettük a vizsgált területen keletkezett földrengéseket (körök). A robbantások esetében, csak azokat jeleztük (háromszögek) amelyekről elegendő számú beérkezési idő adat állt rendelkezésre, és így történt epicentrum meghatározás. A robbantások többségét (és sok kisebb földrengést is) azonban csak a PSZ állomás regisztrálta, így nem lehetett az epicentrumaikat meghatározni. Azokat az eseményeket azonban, amiket a Bányakapitányságok jelentése alapján sikerült a megfelelő bányához kapcsolni, felhasználtuk az elemzésünkben.

A PSZ állomás 8 bánya robbantásait regisztrálja rendszeresen, ezek helyét és a felhasznált események számát az 1. táblázatban foglaltuk össze. A legközelebbi bánya 10 km-re (gyöngyössolymosi), a legtávolabbi 83 km-re (szalóci) fekszik PSZ-től. A listában összesen 104 földrengés szerepel, amik közül a legtávolabbi az állomástól 118 km-re volt. A földrengések mérete $0.7 \leq M_L \leq 4.8$ a robbantásoké $0.5 \leq M_L \leq 4.8$ között változott. A feladat olyan jellemző paraméterek keresése, amik az állomástól eltérő távolságban (és irányokban) végrehajtott robbantások és kipattant földrengések esetén is megfelelő eredményt adnak. Összesen 215 eseményt vizsgáltunk, amiből 104-et tekintettünk földrengésnek, de ezek között lehet néhány tévesen idesorolt robbantás is.



2. ábra. A földrengések és robbantások számított epicentrumainak térképe. A térképen feltüntettük azt a 8 bányát, aminek robbantásait rendszeresen regisztrálta PSZ állomás. A robbantások számolt epicentrumát háromszögek jelölik. A legtöbb esetben azonban csak a bányakapitányság bejelentése alapján tudtuk azonosítani őket

1. táblázat. A bányák elhelyezkedése és a kutatás során vizsgált robbantások/földrengések száma

Bánya/Rengés	Földrajzi koordináta: φ, λ	Események száma
Bercel	47.893°, 19.406°	8
Gyöngyössolyos	47.836°, 19.934°	18
Gyöngyöstarján	47.822°, 19.857°	4
Kisnána	47.741°, 20.070°	32
Nagydaróc (Szlovákia)	48.346°, 19.858°	21
Nagylóc	48.005°, 19.627°	10
Szalóc (Szlovákia)	48.573°, 20.331°	7
Recsk	47.900°, 20.09°	11
földrengések	PSZ-től 0.6-118 km	104

2 A robbantások és földrengések jellemzői

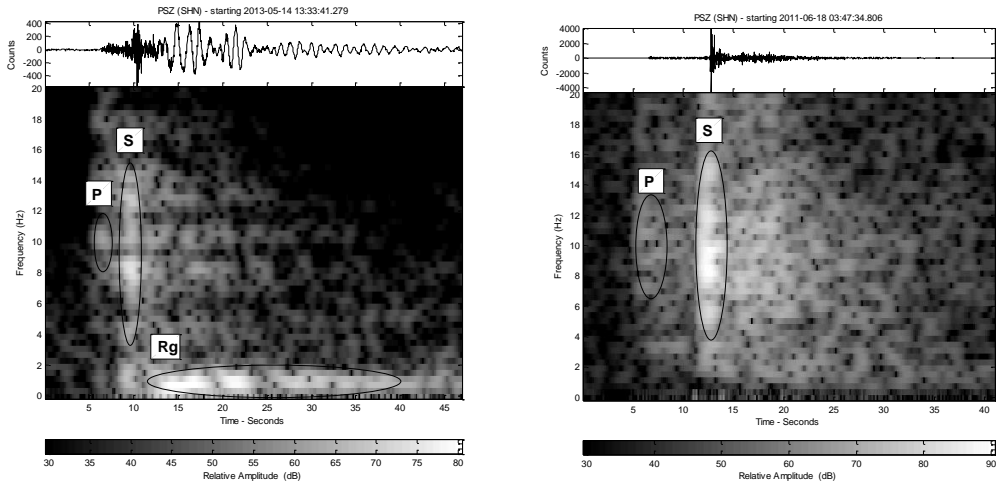
A robbantások is szeizmikus forrásnak tekinthetők, azonban a fészekmechanizmusuk jellege alapján különbözik a földrengésektől. Egyrészt a földrengések legtöbbször két kőzetblokk egymás mentén történő gyors elmozdulása során keletkeznek, ezért a keletkező szeizmikus hullámok nem minden irányban azonos erősségűek. A robbantások viszont — így a bányarobbantások egy része is — izotrop hullámforrásoknak tekinthetők. Másrészt földrengések esetében — amelyek legtöbbje tektonikus eredetű — a nyírási deformációt továbbító S hullámok energiája a nagyobb. Elméletileg a P hullámok amplitúdója kb. ötöde az S hullámokénak (Bormann 2012). (Az állomásokon regisztrált amplitúdók nagysága azonban függ a törési sík és az azon történő elmozdulás irányától, amit a forrás sugárzási terének nevezünk.)

A robbantásokra és a sekély fészekmélységű földrengésekre jellemző az R_g hullám kialakulása. Ez egy felületi hullámtípus, ami a térhullámokkal ellentétben éles beérkezés nélküli, hosszan kiterjedő hullámvonalat alkot. Az R_g rövidperiódusú Rayleigh-hullámokból áll, spektruma általában 0.5–1.5 Hz között maximális. Jelölésében a „g” a kéreg gránitos részére utal, ahol a terjedése történik. Átlagsebessége kb. 3 km/s, és a 100-200 km-nél közelebbi szeizmogramok domináns fázisa lehet. Mivel a robbantások 0 km fészekmélysége kedvez az R_g hullámok kialakulásának, ennek a fázisnak a jelenléte segíti azok elkülönítését. A földrengések fészekmélysége hazánkban leggyakrabban 10 km körüli, esetükben nem alakul ki R_g felületi hullám.

A különböző fázisok amplitúdójának arányai területenként változhatnak, függenek a vizsgált frekvencia sávától, a felhasznált fázisoktól és a terjedési úttól. Általában igaz, hogy a P/S amplitúdó arány robbantások esetében nagyobb, mint a földrengéseknél, de bizonyos körülmények között kisebb is lehet a földrengésekre kapottaknál. Az arányok kiszámítására az 1980-as években még csak az 1 Hz körüli szűksávú hullámforma adatokat használták fel. Baumgardt és Young (1990), valamint Kim és munkatársai (1997) a vizsgálatokat magasabb, 5 Hz-ig terjedő frekvenciákra is kiterjesztették. Tapasztalataik szerint ebben a sávban jobb elkülönülést adtak az amplitúdó arányok, mint az alacsonyabb frekvenciáknál.

Az amplitúdó arányok mellett gyakran használják elkülönítésre a földrengések és a robbantások során keletkezett hullámok spektrumában mutatkozó eltéréseket is. A spektrális módszerek közé tartozik a történelmileg legkorábban kidolgozott, egyszerű elkülönítési módszer, amikor a spektrum alacsony frekvenciás energiáját hasonlítják össze a magas frekvenciás energia tartalommal, amit *spektrum aránynak* (SR) neveznek. Robbantások esetében a magasabb frekvencia tartományokra gyors teljesítmény csökkenés jellemző. A spektrumokkal kapcsolatos másik módszer az egyes fázisok spektrum tartalmának és azoknak a magasabb frekvenciák felé való csökkenési ütemének az elemzése. Ez utóbbit számszerűsíti a logaritmikusan ábrázolt teljesítményspektrumra illesztett egyenes *meredeksége*. A hazai bányarobbantásokat késleltetett robbantási technika segítségével kivitelezik, ami a spektrum csipkészettségét okozza. Ezt egy adott spektrum tartományban meghatározható *spektrum átlag* és *maximum* hányadosával próbáltuk kifejezni. A 3. ábra egy kishánai robbantás és egy Jászágó közelében kipattant 10 km mély földrengés szeizmo- és spektrogramjait mu-

tatja. Jól látható az Rg hullámfázis jelenléte (és jellemző frekvencia tartománya) robbantásnál, és hiánya a földrengés esetében.

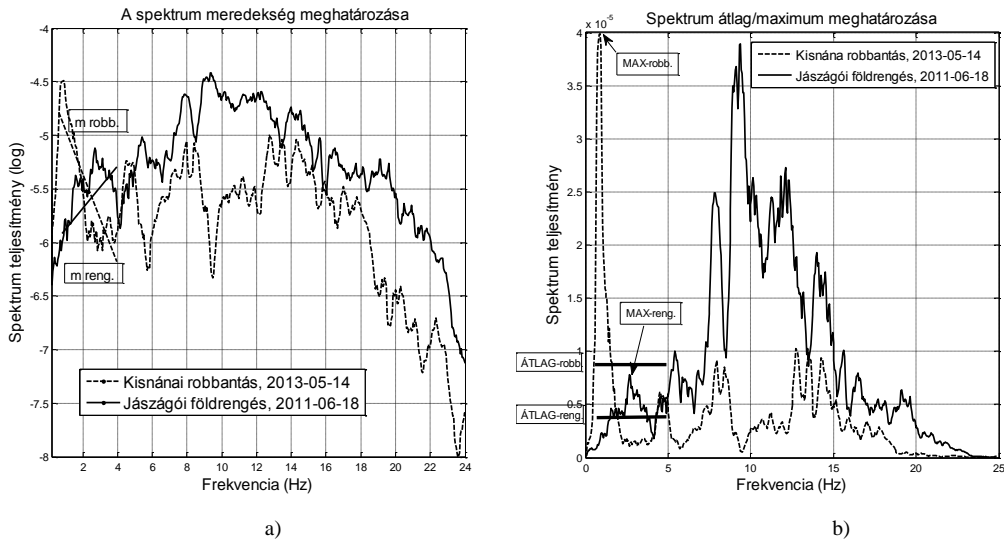


3. ábra. Egy (a) kiséi bányarobbanás és egy (b) Jászágó területén kipattant $M_L=1.4$ rengés szeizmo- és spektrogramja.

4 Mahalanobis távolságok a különböző fázisok amplitúdó- és spektradatai alapján

Első lépésként a PSZ állomáson regisztrált események P, S és Rg fázisainak amplitúdóit határoztuk meg. A mért amplitúdók „counts”-ban értendők (1 count = 1.7 nm/s). A P fázis esetében a vertikális (Z) csatornán mérhető legnagyobb, az S fázis esetében a radiális, vagyis az esemény epicentruma irányába elforgatott SHR komponensen mért legnagyobb amplitúdó értékeket olvastuk ki. Az Rg esetében a 0.66–2 Hz között szűrt szeizmogram legnagyobb amplitúdóját vettük alapul (a vertikális csatornán), annak ellenére, hogy sokszor nem volt egyértelmű e felületi hullám jelenléte. Mivel a különböző események mért amplitúdó értékei között több nagyságrendnyi különbség is lehetett, ezért az amplitúdó értékek illetve arányok logaritmusát vettük. Az első feladat annak az eldöntése volt, hogy a különböző amplitúdó értékek közül melyeknek a felhasználása ad statisztikailag jobb szétválasztást a robbantások és a földrengések között.

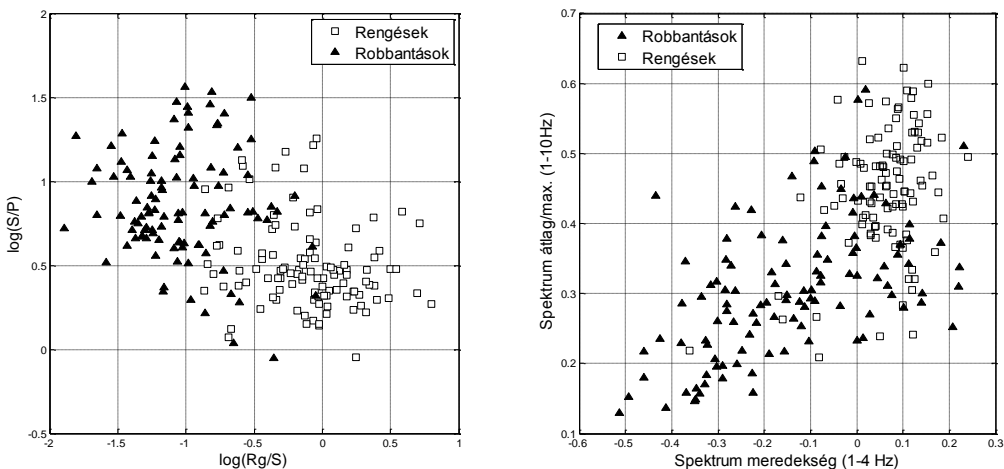
A spektrum-merekséget több frekvencia tartományban is meghatároztuk, a legalkalmasabbat az MD kiszámításával választottuk ki. Az 1-4 Hz, az 1-8 Hz és az 1-12 Hz közötti tartományok közül a legelső mutatkozott a legmegfelelőbbnek. Ennek oka valószínűleg az lehetett, hogy a késleltetett robbantási technika miatt módosult spektrum első „csipkéje” e tartományra esett, ami ’-’ merekséget okozott (4a. ábra). Az elkülönítésre legalkalmasabb spektrum átlag/maximum értékeket szintén a különböző frekvencia tartományokban kerestük. Az 1-5 Hz, az 1-10 Hz, az 1-15 Hz és az 1-20 Hz közül az 1-5 Hz között kapott értékek adták a legjobb elkülönülést (4b ábra).



4. ábra. (a) Spektrum meredekség (1-4 Hz között) és (b) spektrum átlag/maximum (1-5 Hz között) meghatározása

Az 5. ábra a $\log(S/P)$ adatokat mutatja a $\log(Rg/S)$ függvényében, illetve az 1-10 Hz közötti *spektrum átlag/maximum* értékeket az 1-4 Hz közötti *spektrum meredekség* függvényében. Az ábrákon elég jól elkülönül egymástól a két populáció, de részben keverednek is egymással, és nem egyértelmű melyik paraméter ad jobb lehetőséget a szétválasztásra. Az *MD* meghatározásával választottuk ki most is a legmegfelelőbbeket.

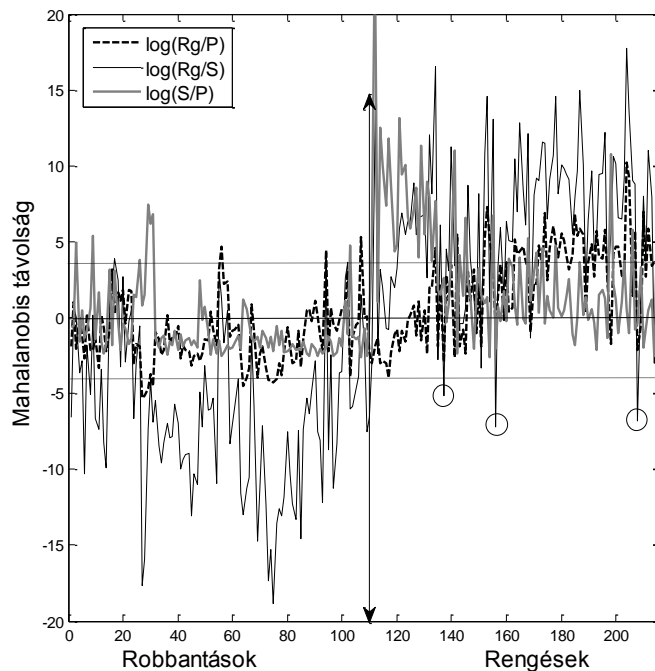
A kapott *MD* értékek a 6-7. ábrákon láthatók. A robbantások és földrengések adatai között a hátrált függőleges nyíllal, a -4 és 4 értékeket – ami a megfelelő statisztikai elkülönülés kritikus határa – szaggatott vonallal jelöltük. A különböző paraméterek esetében más-más *MD* értékeket kaptunk, ezek robbantásokra és földrengésekre kapott átlagát a 2. táblázatban foglaltuk össze. A $\log(Rg/S)$ esetében jobban elkülönült a két populáció, mint a $\log(Rg/P)$ és a $\log(S/P)$ adatoknál, sőt már önmagában erre a paraméterre is statisztikailag megfelelő elkülönülést kaptunk. Mindegyik paramétert együtt figyelembe véve tovább javult a két csoport szétválása. Ekkor a robbantások 60%-a és a földrengések 89%-a különült el statisztikailag megfelelő mértékben.



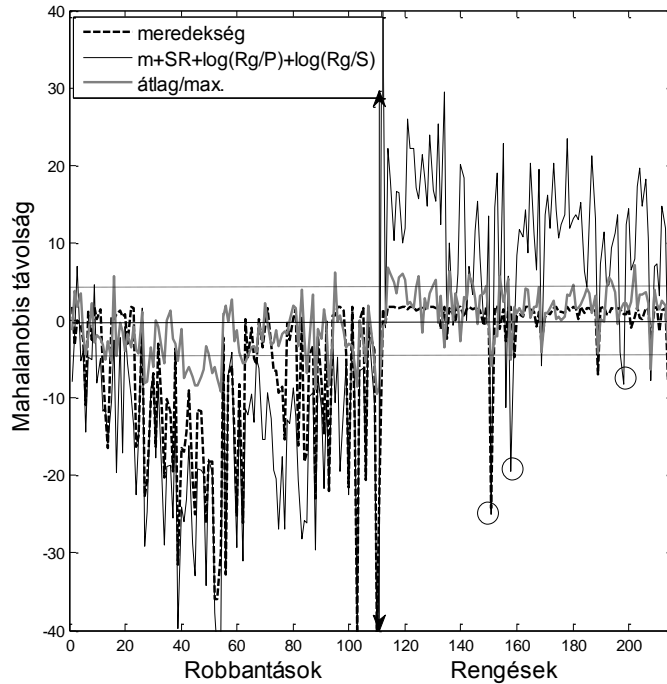
5. ábra. A robbantások és a földrengések pontjai az amplitúdó és spektrum paraméterek diagramján

A spektrumokból származtatott paraméterek közül önállóan egyik sem adott megfelelő elkülönülést. Mindhárom spektrumadatot felhasználva a robbantások 68%-a és a földrengések 19%-a különült el megfelelően. Az események amplitúdó- és spektrumadatait együtt véve figyelembe ez az arány 90% és 95%-ra emelkedett. Érdekes, hogy a fázisadatok esetében a földrengések, a spektrumadatoknál a robbantások mutattak jobban összetartozó csoportot.

Az MD használata további kutatási lehetőséget nyújt. Segítségével újabb paraméterek vonhatók be az elkülönítésbe, esetleg a fázisok amplitúdóit különböző sávszűrők használata után meghatározva kereshetjük az elkülönítésre legmegfelelőbbeket. Egy jól összeállított adatbázis esetén kiszűrhető lesz a téves osztályozású események jelentős része.



6. ábra. Az MD értékek különböző fázisparaméterek esetében. A földrengések csoportjából robbantásokra jellemző MD értékeket mutató események egy részéről kiderült, hogy robbantások voltak, téves besorolással (karikával jelölve)



7. ábra. Az MD értékek különböző spektrális paraméterek és a spektrális és fázis adatok kombinációk együttes alkalmazása esetében

2. táblázat. A különböző paraméterekre kapott MD átlagok a robbantások és a földrengések csoportja esetében

Paraméter	MD átlag robbantásokra	MD átlag rengésekre
log(Rg)	-0.10	5.23
log(S)	-0.49	2.39
log(Rg/P)	-1.21	2.23
log(Rg/S)	-6.42	6.29
összes amplitúdó adat együtt	-5.15	17.18
spektrum meredekség (m) (1-4 Hz)	-9.64	0.80
spektrum átlag/max. (1-5 Hz)	-4.00	1.15
spektrum arány (SR)	-1.59	0.17
összes spektrum adat	-14.85	1.55
m+átlag/max.+log(Rg/P)+log(Rg/S)	-15.61	7.81

5 Összefoglalás

A magyarországi szeizmológiai állomáshálózat fokozatosan bővülő állomásszámmal működik, emiatt a detektálási küszöb folyamatosan csökken és egyre több kisméretű bányarobbantás kerül regisztrálásra. Ebből következőleg időszerűvé vált a földrengések és robbantások elkülönítésére szolgáló paraméterek elemzése. A robbantások és a földrengések keletkezésének eltérő mechanizmusa rányomja bélyegét a különböző fázisaik amplitúdó és spektrális tulajdonságaira. E cikkben a pizskéztetői (PSZ) szeizmológiai állomáson regisztrált közeli földrengéseket és bányarobbantásokat elemeztük. A *Mahalanobis távolság* segítségével vizsgáltuk a robbantások és földrengések elkülöni-

tésének sikerességét. A fázisok amplitúdó értékeiből származtatott ötféle változót meghatározva a $\log(Rg/S)$ mutatkozott a legalkalmasabb elkülönítő paraméternek. A spektrum adatok közül az 1-4 Hz közötti spektrum meredekség a robbantásokra szignifikánsan negatív, a földrengésekre pozitív értéket adott. A fázisok amplitúdó- és spektrumadatait együtt figyelembe véve a robbantások 90%-a, a földrengések 95%-a mutatott a csoportjára jellemző értékeket.

Köszönetnyilvánítás. A kutatás a K105399 számú OTKA pályázat keretein belül történt.

Hivatkozások

- Arrowsmith S J, Arrowsmith M D, Hedlin M A H, Stump B** (2006): Discrimination of delay-fired mine blasts in Wyoming using an automatic time-fr discriminanat. BSSA 96, 6, 2368-2382.
- Baumgardt D R & Young G B** (1990): Regional seismic waveform discrimination and case-based event identification using regional arrays. BSSA 80, 6, 1874-1892.
- Bormann P (Ed.)** (2012): New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2), IASPEI, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam; <http://nmsop.gfz-potsdam.de> DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2
- Fäh D és Koch K** (2002): Discrimination between earthquakes and chemical explosions by multivariate statistical analysis: a case study for Switzerland. BSSA 92, 5, 1795-1805.
- Gráczer Z, Czifra T, Kiszely M, Mónus P, Zsíros T** (2012): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2011, Budapest: MTA CSFK GGI, 2012. 357.
- Gráczer Z, Czifra T, Gyóri E, Kiszely M, Mónus P, Süle B, Szanyi Gy, Tóth L, Varga P, Wesztergom V, Wéber Z, Zsíros T** (2013): Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin 2012, Budapest: MTA CSFK GGI, 2012. 258.
- Mahalanobis, Prasanta Chandra** (1936): "On the generalised distance in statistics". Proceedings of the National Institute of Sciences of India 2 (1), 49-55.
- Kim W Y, Aharonian V, Lerner-Lam A L & Richards P G** (1997): Discrimination of Earthquakes and Explosions in Southern Russia Using Regional High-Frequency Three-Component Data From the IRIS/JSP Caucasus Network. BSSA 87, 3, 569-588.
- Koch K, és Fäh D** (2002): Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: The Voghtland area revisited. Pure appl. Geophys., 159, 735-757.
- Maesschalck R Jouan-Rimbaud D, Massart D L** (2000): Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. Chemometrics and Intelligent Laboratory System}, 50, 1-18.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M & Czifra T** (2011): Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2010. GeoRisk Kft., Budapest, 140. HU ISSN 1589-8326.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M & Czifra T** (2012): Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2011. GeoRisk Kft., Budapest, 160. HU ISSN 1589-8326.
- Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M & Czifra T** (2013): Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2012. GeoRisk Kft., Budapest, 88. HU ISSN 1589-8326.
- Tóth L, Mónus P, Kiszely M** (2014): Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2013. MTA GGKI és GeoRisk Kft., Budapest, 136. HU ISSN 1589-8326.