NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
GEO-KÖRNYEZETTUDOMÁNYI PROGRAM

TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES SZEIZMIKUS ESEMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ANALÍZISE

Doktori (Ph.D.) értekezés

Készítette
Marótiné Kiszely Márta

Témavezetők
Dr Győri Erzsébet
Dr. Veress Márton

2014. április 15.

TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES SZEIZMIKUS ESEMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÓ ANALÍZISE

Értekezés doktori (Ph.D) fokozat elnyerése érdekében,
A Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolája,
Geo-környezettudományi programjához tartozóan

Készítette
Marótiné Kiszely Márta

Témavezetők
Dr Győri Erzsébet
Dr. Veress Márton

Elfogadásra javaslom (igen/nem) .....
aláírás

A jelölt a doktori szigorlaton ....%-ot ért el

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr .....) .....
aláírás

Második bíráló (Dr .....) .....
aláírás

Esetleg harmadik bíráló (Dr .....) .....
aláírás

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján ....%-ot ért el

Sopron, ...
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése ....
az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék **2**

Bevezető **5**

1. A robbantások és a földrengések elkülönítési módszerei **7**

1.1. A robbantások és földrengések főbb jellemzői 9

1.1.1. A források kiterjedése és időtartama 10

1.1.2. A spektrumok jellemzői 11

1.1.3. A késleltetett robbantási technika spektrumot módosító hatása . . . 12

1.2. A robbantások és földrengések elkülönítésének módszerei 14

1.2.1. Elkülönítés a fészekmélység, az epicentrum és időpont alapján 14

1.2.2. Elkülönítés a P hullámok beérkezési iránya alapján 16

1.2.3. A regisztrált fázisok amplitúdó arányai 16

1.2.4. Az m_b:M_s módszer 19

1.2.5. A hullámformák hasonlóságán alapuló módszer 20

1.2.6. Spektrális elméletek 21

1.2.7. A késleltetett robbantási technika spektrumot módosító hatásának kimutatása 22

1.2.8. A komplexitás és a spektrum arány 24

1.3. A Mahalanobis távolság (MD) definíciója 24

1.4. A különböző területeken felhasznált módszerek és eredmények vázlatos összesítése 26

2. A kiválasztott szeizmikus események adatbázisa és az alkalmazott módszerek **29**

2.1. Az adatbázis és a vizsgált paraméterek ismertetése 29

2.2. A dolgozatban használt módszerek ismertetése 31

3. Az Északi-középhegység és Szlovákia déli területén kipattant földrengések és robbantások összehasonlító elemzése **34**

3.1. Geológiai felépítés és szeizmicitás 34

3.2. Az Északi-középhegység területén vizsgált földrengések és bányarobbantások paraméterei 37

3.3. Elkülönítés a fészekparaméterek alapján 40

3.3.1. A hipocentrum koordinátái (mélység és epicentrum) 40
3.3.2. Az események időbeli eloszlása 40
3.4. A hullámformák vizsgálata 41
3.4.1. A P hullám beérkezési iránya 41
3.4.2. Különböző fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata 43
3.4.3. Hullámformák hasonlósága 48
3.5. A spektrumokból kapott adatok 56
3.5.1. A robbantások spektrumának csipkézettsége (scalloping) 58
3.5.2. A bináris spektrogramok elemzése 62
3.5.3. A spektrumokból kapott paraméterek elemzése a Mahalanobis távolság segítségével 63
3.6. Az észak-magyarországi szeizmikus események további elemzése az egyes bányák jellemzőire lebontva 66

4. Az elkülönítési módszerek alkalmazása a Vértes hegység robbantásaira és földrengéseire 74
4.1. A vizsgált terület jellemzése 74
4.1.1. Geológiai felépítés és szeizmicitás 74
4.1.2. A gánti bánya és az analízisben felhasznált szeizmológiai mérőállomások adatai 76
4.2. A vizsgálatban felhasznált földrengések és robbantások paraméterei 78
4.3. Az események elkülönítése a fészekparaméterek alapján 80
4.3.1. Az események földrajzi koordináták alapján történő elkülönítése . . . 83
4.4. Elkülönítés a hullámformák vizsgálata alapján 85
4.4.1. A P hullám beérkezési iránya 85
4.4.2. Különböző fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata 86
4.4.3. A hullámformák hasonlósága 90
4.5. A spektrumok elemzése 103
4.5.1. A spektrum csipkézettsége (scalloping) 104
4.5.2. A bináris spektrumok elemzése 106
4.5.3. A spektrum adatok további elemzése 107
4.5.4. A robbantások és rengések fázis és spektrum adatainak együttes kvantitatív elemzése 116

5. Összefoglalás 121
5.1. Az észak-magyarországi szeizmikus események elemzésének eredményei . . . 122
5.2. A Vértes környéki szeizmikus események elemzésének eredményei 123
5.3. Eredmények 126

6. Köszönetnyivánítás 130

Függelék 132
F.1. A dolgozatban használt rövidítések 132

F.2. A vizsgálatban felhasznált kőbányák fényképei 132
F.3. Az Északi-középhegység területén regisztrált földrengések és robbantások paraméterei 136
F.4. A Vértes területén a vizsgálatban felhasznált földrengések és robbantások paraméterei 140

Ábrák jegyzéke **150**

Táblázatok jegyzéke **155**

Irodalomjegyzék **157**

Bevezető

Történelmileg a földrengések és robbantások elkülönítésének igénye a nukleáris atomrobbantások megjelenésével kezdődött el. Az atomrobbantások földrengésektől és egyéb kémiai robbantásoktól való elkülönítését a különböző atomcsend egyezmények betartásának ellenőrzése tette szükségessé. Ehhez kapcsolódik az 1960-as években a Nemzetközi Mérőállomás Hálózat (*Worldwide Standardized Seismograph Network* (WWSSN)) kiépülése, és a többféle elkülönítési módszer kidolgozása. Az atomrobbantás kivitelezési technikájának finomodása miatt már egyre kisebb méretű szeizmikus eseményeket kellett elemezni, ami a mérőállomások számának növekedését és azok érzékenységének javítását eredményezte. Az egyre több szeizmikus esemény elemzése során kiderült, hogy az egyes régiókból származó robbantások és földrengések jellegzetességei eltérhetnek, érdemes minden területet külön vizsgálni. A nemzeti hálózatok kiépülésével pedig már a kisebb ipari és bányarobbantások kiszűrése is szükségessé vált.

Napjainkban a jó minőségű digitális adatokat szolgáltató, gyarapodó számú szeizmológiai állomásoknak köszönhetően sok régióban annyira lecsökkent a detektálási küszöb, hogy rendszeressé vált a kisebb energiájú bányarobbantások érzékelése. A természetes és mesterséges eredetű szeizmikus jelek elkülönítése és a katalógusok megtisztítása ez utóbbiaktól a szeizmológiában mindennapos feladat lett. A tévesen földrengések közé sorolt robbantások ugyanis módosítják a szeizmicitás területi és időbeli eloszlásáról alkotott képünket, és eltorzítják a szeizmotektonikai értelmezéseket, valamint a földrengésveszélyeztetettség paramétereit.

Magyarország területén is egyre több állomás működik, így a detektált események mennyisége is gyarapodott. Egyre több kisebb méretű esemény került katalógusba, amelyeknek egy része robbantás volt. Felmerült az igény a robbantások és a mikrorengések jellemzőinek vizsgálatára, és a magyarországi mesterséges szeizmikus események megbízható besorolására. E dolgozatban két területet választottam ki a robbantások és földrengések összehasonlító elemzésére: a Mátra-hegység tágabb környezetét és a Vértes területét.

A Mátra-hegység második legmagasabb csúcsán, Piszkéstetőn (PSZ) működő, a potsdami központú GEOFON és az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet által közösen fenntartott szeizmológiai állomás rendszeresen detektálja a környező kőbányák robbantásait. Emellett a terület állandó szeizmikus aktivitást is mutat, 2013 során több M_L>4,0 földrengés és számos utórengés pattant ki Heves község és a Nógrád megyei Érsekvadkert térségében.

A Vértes és környezete szeizmikus eseményeinek (havi 4-5) rendszeres detektálása 2009-

ben kezdődött el, amikor a Paksi Atomerőmű biztonságát felügyelő mikroszeizmikus monitoring hálózat két állomása, a gánti (PKSG) és tési (PKST) mellé a Vértes délnyugati oldalára, Csókakőre (CSKK) az MTA Szeizmológiai Obszervatóriuma gondozásában egy harmadik mérőállomás került. A Vértes középső részén, Oroszlány mellett pedig, 2011. január 29-én az utóbbi 25 év egyik legnagyobb, M_L=4,5 magnitúdójú földrengése keletkezett, és a területen 2011 és 2012 során több mint 400 földrengés pattant ki. A Vértes közepén, Gánton működő Dolomit Kőbányászati Kft. robbantásai e terület földrengéseivel együtt kerültek meghatározásra. A dolgozatban e bánya robbantásait és a terület mikrorengéseit a CSKK és PKSG állomások adatai segítségével elemeztem.

Kutatásaim során a következő kérdésekre kerestem a választ:

- Milyen paraméterekkel jellemezhetők az Észak-Magyarország és Szlovákia déli területén kipattant földrengések és robbantások?
- Milyen paraméterekkel jellemezhetők a Vértes és környezetében regisztrált földrengések és robbantások?
- Melyek a legmegfelelőbb módszerek a robbantások és földrengések elkülönítésére?

A dolgozat első fejezetében a szakirodalom áttekintése alapján az atom- és kémiai robbantások és a földrengések elkülönítési módszereit ismertettem. A második részben az dolgozat során alkalmazott módszereket foglaltam össze. A harmadik részben az Észak-Magyarország és Szlovákia déli részén működő bányák robbantásainak és a terület földrengéseinek a tulajdonságait elemeztem a piszkéstetői (PSZ) szeizmológiai állomás adatainak a felhasználásával. A negyedik fejezetben a Vértes hegység környezetéhez tartozó szeizmikus eseményeket vizsgáltam két állomás, a csókakői (CSKK) és gánti (PKSG) adatai alapján. Az ötödik részben összefoglaltam a legfontosabb eredményeket. A Függelékben találhatók a dolgozatban felhasznált rövidítések magyarázata, a földrengések és robbantások adatainak listája, valamint az állomások műszerparaméterei.

1. fejezet

A robbantások és a földrengések elkülönítési módszerei

A robbantások és földrengések elkülönítési módszereinek kifejlesztését a nukleáris robbantások gyakorivá válása miatt politikai szempontok igényelték. Szükségessé vált a különböző atomcsend egyezmények betartásának ellenőrzése. Az atomrobbantások során keletkező szeizmikus hullámok amplitúdója ugyanis elérheti egy közepes magnitúdójú földrengés során tapasztalható mértéket, így a szeizmológiai állomások regisztrátumainak felhasználásával, különböző szeizmológiai módszerekkel ellenőrizhető az atomrobbantások végrehajtása. A következő egyezmények fémjelzik az atomrobbantások számának korlátozási szándékát:

1963: *Limited Nuclear Test Ban Treaty* (LTBT) – megtiltja az atomrobbantásokat a légkörben, víz alatt és a nyílt földfelszínen.

1974: *Threshold Test Ban Treaty* (TTBT) – megállapodás a 150 kt (kilotonna) feletti robbantások betiltásáról.

1976: *Peaceful Nuclear Explosions Treaty* (PNET) – Atomcsend-szerződés megállapodás a 150 kt alatti robbantások mellőzéséről.

1996: *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty* (CTBT) – Átfogó Atomcsend szerződés.

Az egyezmények betartásának ellenőrzésére különböző észlelő hálózatokat hoztak létre. Az 1960-as években telepítették a *Worldwide Standardized Seismograph Network* (WWSSN) elnevezésű az Egyesült Államok által fenntartott analóg észlelő hálózatot.

További jelentősebb hálózatok: *Norwegian (Regional) Seismic Array* (NORSAR, majd NORESS) Norvégia, *Regional Seismic Test Network* (RSTN) USA, *Atomic Energy Detection System* (AEDS) USA, *China Digital Seismic Network* (CDSN) Kína hálózata.

A CTBT ellenőrző szervezete a *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization* CTBTO, aminek adatközpontja *International Data Centre* (IDC) székhelye Bécs, innen működtetik az 1996-ban létrehozott *International Monitoring System*-et (IMS) összesen 170 szeizmológiai állomással. Ennek működése révén a detektálási küszöb M=3 és M=3,5 körüli értékre csökkent (0,5-2,7 kt TNT energiájú nukleáris robbantás).

Azonban nemcsak detektálni kell ezeket a nukleáris robbantásokat, hanem megkülönböztetni a földrengésektől és az ipari robbantásoktól.

Egy 10 kt fölötti atomrobbantás nagy biztonsággal ellenőrizhető, akár a robbantástól távoli állomások alapján is. Az 1-10 kt közötti robbantások esetében azonban már sikeresen alkalmazzák a robbantás során gerjesztett szeizmikus jeleket csillapító módszereket, ezért ezek ellenőrzése nehéz.

Annak érdekében, hogy az atomrobbantások minél kisebb amplitúdójú szeizmikus hullámokat keltsenek – vagyis elrejtsék őket – különböző technikai fogásokat alkalmaztak. A cél a keletkező szeizmikus hullámok energiájának a detektálási küszöb alá szorítása volt, illetve, hogy a földrengésekkel összetéveszthető jelek keletkezzenek. A „decoupling" módszer alkalmazásakor például nagy barlangban, vagy üledékben robbantanak. Így akár 10-szer kisebb jelek keletkezhetnek, mint kemény kőzetben történt robbantáskor.

Alkalmazzák még a többszörös robbantás módszerét, amikor az egyes robbantások elhelyezése és időpontja miatt a keletkező jelek hasonlíthatnak a földrengésekéhez. A törekvés a térhullámok energiájának csökkentése (m_b magnitúdó), és a felületi hullámok energiájának (M_S magnitúdó) növelése volt. Említésre méltó még a nukleáris robbantások földrengések mögé rejtése is. Ekkor úgy időzítik a robbantás pillanatát, hogy a szeizmikus hullámok egy nagy rengés felületi hullámával együtt jelenjenek meg az ellenőrző állomásokon.

Az Amerikai Egyesül Államok kongresszusának kiadványa szerint (Congress U.S. Office of Technology Assessment, 1988) az 1-2 kt közötti atomrobbantások azonosítása a legnehezebb, mert ezek akár kémiai robbantások is lehetnek, illetve a Gutenberg-Richter gyakorisági egyenletnek megfelelően (Gutenberg & Richter, 1944) egyre több kisebb magnitúdójú természetes földrengés pattan ki. Az M=3 és M=4 közötti erősségű földrengések éves száma ∼49 000 (*National Earthquake Information Centre*, NEIC alapján).

A kisebb amplitúdójú jelek minősége, így elemezhetősége is romlik. Ezért a monitor hálózatnak egyre érzékenyebbnek kellett lennie, és a detektált szeizmikus jelek tulajdonságait így egyre több, addig nem észlelt tényező módosította. Jelenleg olyan érzékenyek a műszerek, hogy detektálási hatékonyságukat már a háttérzaj módosítja: pl. a szél által keltett talajmozgás, a tenger hullámzása és az ipari tevékenység és városi közlekedés zaja.

A legtöbb atomkísérlet az Amerikai Egyesült Államok, a volt Szovjetunió és Franciaország kormányához kötődött. A robbantások nagy része az 1960-as években történt, számuk az 1990-es években évi 4-5-re csökkent. Az utóbbi évtizedben már csak Észak-Korea kormánya hajt végre kísérleti atomrobbantásokat, a legutóbbit 2013 februárjában tette.

A kémiai robbantásokat a bányászatban, katonai műveleteknél, esetleg a nukleáris teszt területeken alkalmazzák. A felhasznált robbanóanyag általában 0,001-0,01 kt között mozog. A nukleáris robbantásokhoz hasonlóan izotróp nyomáshullámokat keltenek, magnitúdójuk általában $m_b < 4,0$, de ritkán elérhetik az $m_b = 4,5$ értéket is. Ehhez azonban már 0,5 kt robbanóanyag szükséges. A 0,1 kt körüli robbantások esetében általában a késleltetett robbantási (ripple-firing) módszert alkalmazzák, amikor egymástól néhány m-re, négyzetrácsos szerkezetben, néhány milliszekundumos időkülönbséggel (delay) egymás után robbantják fel a felszíntől néhány méteres mélységben elhelyezett tölteteket.

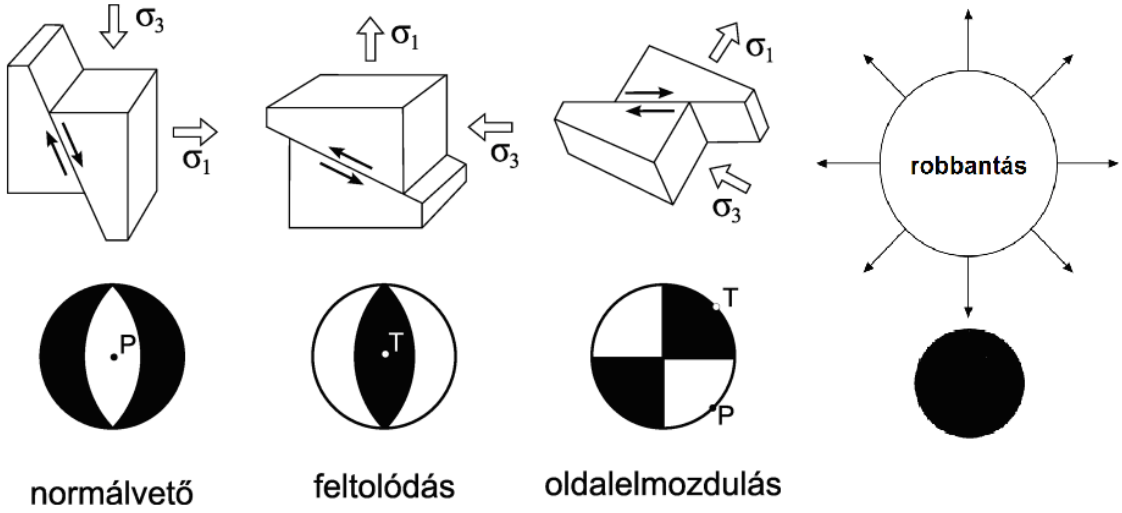
A bányarobbantások és földrengések szétválasztása az utóbbi évtizedekben lett időszerű, a korszerű digitális nemzeti állomáshálózatok kiépülésével. A tévesen földrengések közé sorolt robbantások ugyanis módosítják a szeizmicitás területi és időbeli eloszlásáról alkotott képünket, és módosíthatják a szeizmotektonikai értelmezéseket, valamint a földrengésveszélyeztetettség paramétereit.

A különböző típusú robbantások elkülönítésére többféle elkülönítési eljárást dolgoztak ki. Ezek között vannak olyanok, amelyek a nukleáris és bányarobbantásokra egyaránt, míg mások csak a robbantások egyes fajtáira alkalmazhatók. Az alábbiakban először a robbantások jellemzőit, majd elkülönítésük módjait ismertetem.

1.1. A robbantások és földrengések főbb jellemzői

Fészekmechanizmusok

A robbantások is szeizmikus forrásnak tekinthetők, azonban a fészekmechanizmusuk alapjaiban különbözik a földrengésekétől. Míg a földrengések két kőzetblokk egymás mentén történő gyors elmozdulása során keletkeznek, addig a robbantások – így a bányarobbantások egy része is –izotróp hullámforrásoknak tekinthetők (1.1. ábra).

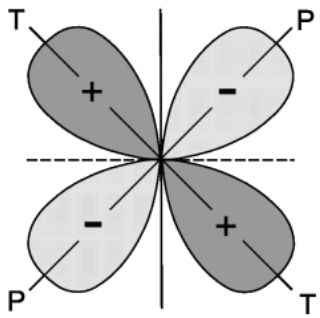


1.1. ábra. *A földrengés két kőzetblokk vetősík mentén történő gyors elmozdulása során jön létre, míg a robbantás egy minden irányban kompressziós jellegű, izotróp forrás. A maximális tenziós és kompressziós főfeszültségek iránya: σ_1 és σ_3*

A robbantás technikája miatt ugyanis a néhány mikroszekundum ideig tartó robbantás által létrehozott üreg minden oldalát egyforma nyomás éri. Ekkor minden irányban szinte azonos erősségű kompressziós, azaz nyomáshullámok indulnak el, gyakorlatilag egy pontból. A keletkező S hullámok aránya kisebb, ezért a kialakuló SH- és Love-hullámok energiája is csekély. Az 1960-as években azonban közöltek olyan megfigyeléseket is, hogy egyes nukleáris robbantások esetén az elméletileg várttól eltérően viszonylag erős SH és Love-hullámokat detektáltak (Congress U.S. Office of Technology Assessment, 1988).

Földrengések esetében – amelyek legtöbbje tektonikus eredetű – a nyírási deformációt

továbbító S hullámok energiája a nagyobb. Elméletileg ekkor a P hullámok amplitúdója kb. ötöde az S hullámokénak, ezen kívül a földrengések során keletkező szeizmikus hullámok nem minden irányban azonos erősségűek. Amplitúdójuk függ a törési sík és az azon történő elmozdulás irányától, amit a forrás sugárzási terének nevezünk (radiation pattern). A vetősík, valamint az arra és az elcsúszás irányára merőleges segédsík négy részre osztja a teret a fészek körül. Ezek közül két térnegyedben kompressziós, azaz a forrástól távolodó, míg kettőben dilatációs, azaz a forrás felé mutat a részecskemozgás iránya a mérőállomásokhoz elsőként beérkező P hullámoknál (1.2. ábra). Így két térnegyedben felfelé, míg kettőben lefelé mutat az első beérkezés iránya a vertikális komponensen. A dilatációs negyed közepén elhelyezkedő P-tengely a maximális nyomás, a kompressziós negyedben található T-tengely a maximális tenziós feszültség iránya (Ben-Menahem & Sarva Jit Singh, 1981; Bormann et al., 2008).



1.2. ábra. *Vetőelmozdulás által okozott P hullám sugárzási kép, azaz a forrásból kiinduló hullámok amplitúdójának és polaritásának irányfüggése (+ kompresszió; - dilatáció); A P nyomástengely a dilatációs, a T tenzió tengely a kompressziós térnegyed közepén található.*

A földrengésekkel ellentétben a robbantásoknál a longitudinális hullámok a teljes térben kompressziósak, ezért a detektált P hullámok első elmozdulása minden állomáson felfelé mutat.

1.1.1. A források kiterjedése és időtartama

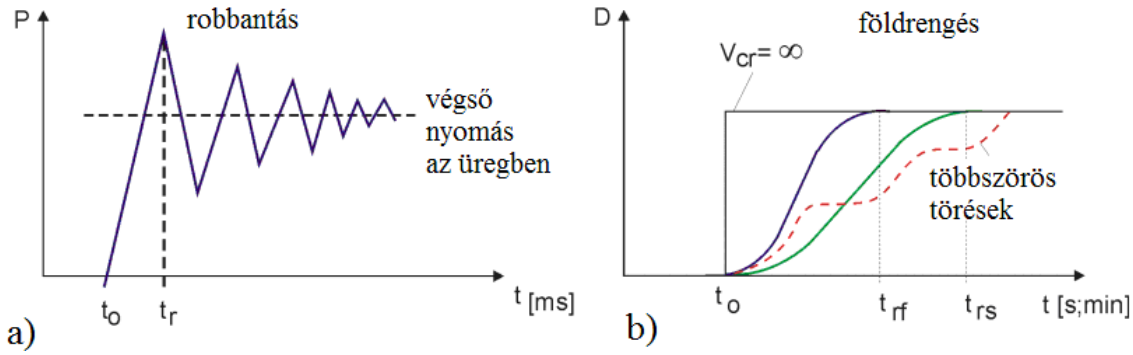
A robbantások kisebb forrás-dimenzióval rendelkeznek, mint a földrengések, ezt fejezi ki az (1.1) összefüggés (Congress U.S. Office of Technology Assessment, 1988)

$$\log R = \frac{1}{3} \log E - k \tag{1.1}$$

Ahol R a fészek átmérője km-ben, $k = 2$, az E energia pedig kt TNT egyenértékben adott mennyiség. Egy 8-as magnitúdójú földrengés fészek mérete 100 km körüli, míg az (1.1) képlet szerint az ezzel ekvivalens 10 Mt töltetű atomrobbantás forrásmérete 1 km alatt lenne. (A legnagyobb atomrobbantás 57 Mt volt, amit a Novaja Zemlja atomkísérleti területen 1961-ben hajtottak végre. Ez egy M=8,35 földrengésnek felelt meg és „Cár bomba” néven hivatkoznak rá.) Kisebb energiájú eseményeknél azonban ez a különbség már eltűnik,

nem használható elkülönítő paraméterként. Az (1.1) képletben $k = 2$ egy becslés, amit a geológiai adottságok módosíthatnak.

Az egytöltetű robbantások rövidebb időtartamú események, mint a földrengések: 1 Mt energiájú robbantás 1 s-ig tart, míg egy hasonló méretű földrengés időtartama 30 s a fészek környezetében. Az 1.3. ábra a forrás-függvények eltérését mutatja be (Bormann et al., 2008) alapján. Az ábra az üregbeli nyomás P, illetve földrengések során a vető menti elmozdulás D változását mutatja az idő függvényében. A kipattanási idő t_0, és a robbantásoknál t_r jelzi azt az időt, ami alatt a nyomás eléri a maximális értékét. A földrengéseknél a maximális elmozdulás hosszabb t_{rs} vagy rövidebb t_{rf} idő alatt is végbemehet, esetleg többszörös törés is történhet, mire végbemegy a teljes elmozdulás. Általában elmondható azonban, hogy robbantások esetében a nyomás hamarabb éri el a maximális értéket, mint amennyi idő földrengéseknél a teljes elmozdulás létrejöttéhez szükséges. Robbantások lökéshullám frontja, ami összeroncsolja a kőzeteket, és szeizmikus hullámokat gerjeszt, a P hullám sebességével halad. A vetősík mentén a törésvonal elnyíródása az S hullám sebességének 0,5-0,9 szeresével történik. Ez becslések szerint fele a P hullámok sebességének (Ben-Menahem & Sarva Jit Singh, 1981; Bormann et al., 2008).



1.3. ábra. *(a) robbantások és (b) földrengések tipikus forrásfüggvénye (Bormann et al., 2008) nyomán*

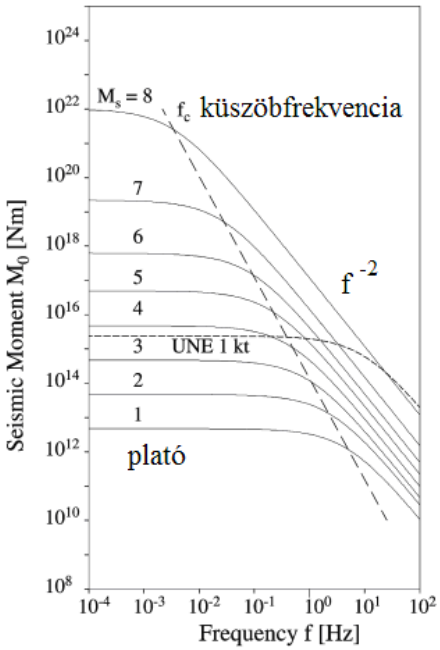
A késleltetett bányarobbantások esetében a robbantási technika miatt a forrás területe – hasonlóan a földrengésekhez – már nem koncentrált kis kiterjedésű és gyors folyamat, ami a nukleáris robbantásokra olyan jellemző volt.

1.1.2. A spektrumok jellemzői

A források méretének eltérő volta miatt a gerjesztett szeizmikus hullámok hullámhosszai is eltérőek lesznek. Minél nagyobb ugyanis a forrás mérete, annál nagyobbak lesznek a keletkezett hullámhosszak. Mivel egy földrengés jóval nagyobb területre terjed ki, mint a vele megegyező energiájú robbantás, a keletkező szeizmikus hullámok spektruma ezt a különbséget mutatni fogja.

A földrengések és nukleáris robbantások forrás spektruma – a talajelmozdulás mértéke a frekvencia függvényében – három paraméterrel jellemezhető (1.4. ábra). Alacsony frekvencián egy frekvencia független „plató” szakasz látható, amit az f_c küszöbfrekvencia elérése után f^{-2}-vel arányosan csökkenő szakasz követ. A plató szakasz annál magasabb, minél

nagyobb az esemény mérete (az M_0 momentum magnitúdót ez alapján határozzák meg), a küszöbfrekvencia értéke pedig M_0^{-3} arányában csökken. A küszöbfrekvencia a forrás (vető) L méretével fordítottan arányos: $f_c \sim 1/L$ (Aki, 1967). Összehasonlítva a rengések spektrumát egy 1 kt kemény kőzetben végrehajtott atomrobbantás (underground nuclear explosion, UNE) spektrumával, azt látjuk, hogy az f_c értéke ~10-szer nagyobb, mint egy hasonló méretű földrengésé, tehát a forrásméret ~10-szer kisebb, és spektruma több magas frekvenciás összetevőt tartalmaz, mint egy hasonló méretű földrengés.



1.4. ábra. *A talajelmozdulás forrás spektruma segítségével meghatározható a szeizmikus momentum M_0 értéke (Bormann et al., 2008)*

Taylor és Denny felhívták a figyelmet a fészek közvetlen közelében található kőzetek tulajdonságainak a spektrumot módosító hatására (Taylor & Denny, 1991). Sekély és nagy porozitású kőzetek esetében a robbantás nagyfrekvenciás spektruma f^{-3}-val csökken. Ezzel szemben a mélyebb és keményebb kőzetben történt robbantás rövidebb t_r idő alatt nagyobb forrásméretű lesz, a spektrum pedig f^{-2}-vel arányosan csökken.

1.1.3. A késleltetett robbantási technika spektrumot módosító hatása

A bányarobbantások elterjett módszere a késleltetett robbantási technika (ripple fired). A legtöbb bányában ilyen technikával robbantanak, ezzel növelni tudják a kőzetek összetörését, fellazítását, és egyben a környezet megrázottsága is csökkenthető. Általában a négyzethálósan elhelyezett robbantótölteteket soronként robbantják el, a sorok egyes töltetei között pedig kb. 25 ms késleltetést alkalmaznak.

A késleltetett robbantási technikájú robbantások forrás-idő függvénye lineáris szuperpozíciója az egyedi robbantásokénak. Ha az egyes robbantások azonos késleltetéssel történtek, akkor konstruktív interferencia alakul ki az egyes robbantások keltette hullámok között,

és a spektrumban bizonyos frekvenciákon megnő az energia. Ezek a frekvenciák egyenlő távolságokra vannak egymástól. A robbantás spektruma „csipkézett” lesz (scalloping). A spektrum moduláció matematikai hátterét Gitterman és Torild Van Eck tanulmánya alapján ismertetem (Gitterman & Torild Van Eck, 1993).

A spektrum szerkezetét három fő paraméter határozza meg: az egy sorban elhelyezett töltetek közötti és a sorok közötti késleltetési idők, valamint az összes töltet felrobbantásának teljes időtartama. Ha $u(t)$ egyetlen robbantás regisztrált jele és N a töltetek száma, akkor a teljes $s(t)$ szeizmogramot a következő (1.5) egyenlet írja le:

$$s(t) = \sum_{k=1}^{N} A_k u(t - t_k + \Theta_k) \tag{1.2}$$

ahol A_k, t_k és Θ_k a k-adik töltetből beérkező jel amplitúdója, beérkezési ideje és fázisa. Tételezzünk fel egy konstans τ késleltetési időt az egyes robbantások között, amelyek l távolságra vannak egymástól. Ekkor a következőket kapjuk:

$$t_k = (k-1)\Delta t \tag{1.3}$$

$$\Delta_t = \tau - lcos(\alpha)/\nu \tag{1.4}$$

Ahol α az azimut a robbantások vonalának iránya és az állomás között, ν a hullám terjedési sebessége, τ az egyes robbantások közötti késleltetés, és l a töltetek közötti távolság. Általában az azimut hatása elhanyagolható, amennyiben Δt beérkezési idő különbség eltérése τ-tól 10%-nál kisebb. Az (1.5) egyenlet Fourier transzformációját képezve (feltéve, hogy $\Theta_k = 0$) azt kapjuk, hogy a teljes szeizmogram $S(f)$ amplitúdó spektruma megegyezik az egyes robbantások $U(f)$ forrásfüggvényeinek és a $H(f)$ függvénynek a szorzatával. $H(f)$ tag képviseli a lineáris rendszer spektrális karakterét.

$$S(f) = U(f)H(f) \tag{1.5}$$

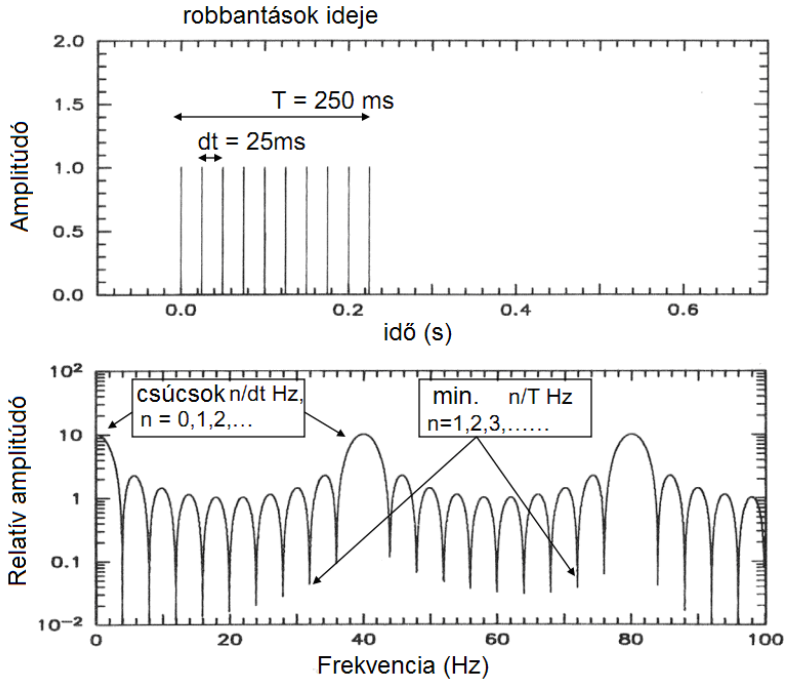
$$H(f) = \sum_{k=1}^{N} A_k e^{-i2\pi f t_k} \tag{1.6}$$

Ha egyformák a töltetek, $A_k = 1$, H(f) pedig jelentősen leegyszerűsödik. Ekkor a (1.6) és (1.9) egyenletek felhasználásával a $H(f)$ amplitúdó spektruma a következőképpen alakul:

$$|H(f)| = |\frac{sin(N\pi f\Delta t)}{sin(\pi f\Delta t)}| \tag{1.7}$$

A (1.10) egyenletből látható, hogy egyes frekvenciákon felerősödik, míg más értékeknél legyengül az amplitúdó. A spektrum abszolút maximuma $f_{max} = k/\Delta t$-nél ($k = 0, 1, 2$) lesz. Másodlagos maximumok $f_{mm} = (2k+1)/(2N\Delta t)$-nél ($k = 1, 2, N-2, N+2$), minimumok $f_{min} = k/(N\Delta t)$-nél ($k = 1, 2, N-1, N+1$) láthatók, ahol N a robbantási sorok száma, amivel arányos az abszolút és másodlagos maximumok csúcsa.

A spektrumból f_{max} alapján meghatározhatjuk Δt-t. Mivel f_{mm} és f_{min} értéke $N\Delta t$-től függ, segítségükkel csak e paraméterek szorzatát lehet meghatározni. Az első f_{mm} és f_{min} hányadosa általában ~1,5. Ezektől az ideálistól kissé eltérő értékeket is kaphatunk a minimumokra és maximumokra. A legtöbb bányában Δt értéke 10 és 70 ms közötti, ritkán elérheti a 100 ms-ot. A nagyobb késleltetési idők már csökkentik a robbantás kőzetaprító képességét. Az 1.5. ábra egy példát mutat Chapman és munkatársai cikke alapján (Chapman et al., 1992) egysoros robbantás esetén kialakuló „csipkézett" spektrumra. A példában 10 egymástól 4 m-re levő lyukat robbantottak $\Delta = 25$ ms késleltetéssel.



1.5. ábra. *A csipkézett spektrum keletkezése késleltetett robbantás esetén a spektrum csúcsok és minimumok (Chapman et al., 1992)*

1.2. A robbantások és földrengések elkülönítésének módszerei

1.2.1. Elkülönítés a fészekmélység, az epicentrum és időpont alapján

Az Amerikai Egyesült Államok kongresszusának hivatalos kiadványa (Congress U.S. Office of Technology Assessment, 1989) szerint a legfontosabb elkülönítési módszer a fészekmélység meghatározása. A kapott mélység alapján eldönthető, hogy a fészekmélység alatta van-e a lehetséges robbantási tartománynak. A robbantásokat ugyanis a felszínhez közel hajtják végre, míg a földrengések legtöbbször néhány km-nél mélyebben pattannak ki. A fészekmélységet azonban nem lehet csak a P hullám beérkezései alapján pontosan meghatározni, mivel a kicsit „mélyebb" és kicsit „később" variációk hasonlóan jól illeszkedő fészek koordinátákat adnak. A pontosabb mélység meghatározásokhoz az első P beérkezéseken túl a felszínen reflektálódott pP és sP mélységi fázisokat is felhasználják (Spence et al., 1989). A hipocentrum koordinátái közül azonban általában a fészekmélység meghatározás hibája

a legnagyobb, ezért nem tekinthető az elkülönítés biztos paraméterének.

Másik fontos elkülönítési paraméter az epicentrum helye.

Gyanúra adhat okot, ha egy adott esemény hipocentruma valamelyik ismert nukleáris robbantási helyszín közelébe esik. Ha ezekről a területekről a monitor rendszer szeizmikus jeleket észlelt, valószínűsíthető volt, hogy egy újabb atomkísérletet hajtottak ott végre.

A kémiai robbantások esetében a bányák helyét és elvileg a robbantások idejét is ismerhetjük, ezért a legegyszerűbb és legnyilvánvalóbb elkülönítési módszernek itt is a fészekparaméterek és időpont alapján történő elkülönítés tűnik. Ha a bánya területe egybeesik földrengések területével, a kisméretű természetes szeizmikus események helymeghatározás pontatlansága és a be nem jelentett robbantási időpontok miatt azonban ez sokszor mégsem egyértelmű.

Wiemer és Baer bemutattak egy egyszerű módszert, amivel a bányabeli tevékenység idejének ismerete alapján kimutatható egy terület katalógusának robbantásokkal való „szennyezettsége" (Wiemer & Baer, 2000). A nappali (a robbantásos órák) és az éjszakai események számának arányát kiszámítva és ábrázolva a térképen, kijelölhetők a gyanús területek. A bányarobbantásokat mindig azonos helyen végzik (epicentrumok a bányák közelébe esnek) a földrengések, pedig különböző forrásokból erednek. Európa területére Gulia (Gulia, 2010) tesztelte e módszerrel a katalógusok időbeli homogenitását. Vizsgálata több, robbantásokkal szennyezett területre hívta fel a figyelmet. Az időpont alapján történő elkülönítés csak másodrendű lehet egyes események elemzése során, – hiszen földrengés bármikor kipattanhat – de hasznos lehet egy-egy régió elemzésekor.

Az Egyesült Államok Geológiai Szolgálata (USGS) egy döntési protokollt állított fel, ami alapján a gyanús eseményeket robbantásnak minősíti. Ez az időpont, a helyszín, a hullámforma adatokon és a lakossági bejelentésen alapul:

- HELYSZÍN: sok esetben köthető egy működő bányához egy ahhoz közel detektált esemény, főleg akkor, ha hasonló méretű események ott rendszeresen előfordultak.
- IDŐPONT: nappali esemény.
- HULLÁMFORMA: az egyazon bányában végzett, egyazon állomáson detektált robbantások hullámformái nagyon hasonlóak. (Nincs S, van Rg-fázis és a spektrumban megjelenik a késleltetett robbantás nyoma.)
- HATÁSA: az eseményt nem jelzik „érezhetőnek" a lakosok. A számított magnitúdó alapján olyan rengés történt, amit a közeli településekben érezhettek volna, és földrengésként jelenthették volna, de nem tették.

Ursino és társai vizsgálatai szerint ezek az irányelvek mikrorengések és kisebb bányarobbantások esetében nem mindig egyértelműek (Ursino et al., 2001):

- A robbantások többségét a bányák nem közlik rendszeresen (pontos időt és méretet sem). Ha 24 órás a bányaművelés, akkor éjszaka, esetleg hétvégén is robbanthatnak.
- A hullámformák karakterisztikája állomásról állomásra jelentősen változhat.

- A mikrorengések raja is egymáshoz hasonló karakterisztikát mutathat.
- A robbantások mérete egyazon bányában is változhat.

Kim és munkatársai megfigyelése alapján a Kaukázus északi területén megfigyelt események 87,5 % délelőtt 10 óra és délután 16 óra között keletkezett (Kim et al., 1997), és ezeket egy kőbánya 10 km sugarú területére lehetett lokalizálni (Tyrnauz bánya). Ursino és társai (Ursino et al., 2001) elemzése szerint az 1994-1998 közötti szicíliai események nappali és éjszakai területi eloszlása eltért egymástól. Éjjel a rengések egyenletesen oszlottak el a területen, míg nappal két területen, két bánya környezetében csoportosultak.

A magyarországi bányákra is igaz, hogy általában nem áll rendelkezésre rendszeres adat a robbantásaik idejéről, sokszor csak a robbantás dátumát közlik. A bányák üzemeltetési szabálya szerint, az átvett robbanóanyagot kötelesek aznap felhasználni, de ennek pontos idejét nem mindig vezetik. Ezért ha egy bánya területén munkaidőben szeizmikus esemény történik, akkor azt első lépésként mesterséges eseménynek tekintjük. A földrengések kipattanási időpontja viszont nem kötődik semmilyen napszakhoz sem, a bányák működési idejében is lehetnek földrengések.

1.2.2. Elkülönítés a P hullámok beérkezési iránya alapján

Az eltérő fészekmechanizmusok miatt az izotróp, kompressziós jellegű robbantások esetén minden állomáson az elsőnek beérkező P hullámok iránya elméletileg kompressziós (+). Földrengések során a kettős erőpár (double couple) modell alapján kompressziós (+) és dilatációs (-) beérkezési irányokat is regisztrálunk a különböző állomásokon.

Az első beérkezések irányát azonban módosíthatja az állomás környezetének geológiai felépítése és a regisztráló műszer jelalakot befolyásoló hatása (Pomeroy et al., 1982). Egyes kémiai robbantások első beérkezése olyan kis amplitúdóval érkezhet az állomásra, hogy a beütés iránya nem állapítható meg egyértelműen, vagy nagyobb zaj esetén az elmélettől ellentétes beérkezés tapasztalható, mert csak a P hullám egy későbbi hullámvonulatát látjuk.

1.2.3. A regisztrált fázisok amplitúdó arányai

A nukleáris és bányarobbantások különböző fázisainak amplitúdó arányait elemző szakirodalom bőséges. Az eredmények azonban területről területre eltérnek, esetleg ellentmondóak.

Az atomrobbantások és földrengések elkülönítésére különböző eljárásokat dolgoztak ki. Például Pomeroy és munkatársai cikkükben (Pomeroy et al., 1982) 15 pontban sorolták fel a 30°-nál (kb. 3300 km) közelebbi regionális nukleáris robbantások elkülönítő módszereit, amik közül 13 a különböző fázisok amplitúdóinak és spektrumaiknak az elemzésére vonatkozott. A módszer azt használja fel, hogy a robbantások és földrengések esetében keletkező különböző térhullámok és felületi hullámok maximális amplitúdói – és ezek arányai – eltérnek. A robbantások forrása gömbszimmetrikusnak tekinthető, ahonnan minden irányban kompressziós nyomáshullám terjed tova, és ezek erőteljes P hullám beérkezéseket okoznak. A tektonikus földrengések rétegek elmozdulására vezethető vissza, amelynek so-

rán nyírási deformációk jönnek létre, és a felszabaduló energia nagyobb része S hullámok formájában terjed tovább. Ez a magyarázata annak, hogy a P/S amplitúdó arány nagyobb lesz robbantások esetén.

Sajátos geológiai körülmények esetén, és nagyobb robbantások esetében előfordulhat, hogy a robbantás is olyan intenzitású nyíró hullámokat gerjeszt, mint a földrengések. A korábban említett késleltetett robbantási technika esetén is jellemző a nyíróhullámok – földrengésekéhez hasonló – nagyobb arányú gerjesztése. A kémiai robbantások jellemzői szinte bányánként eltérnek.

Összességében négyféle módon számítják az amplitúdó arányokat:

- P és S fázisok közvetlenül megmért amplitúdóinak aránya
- Távolság szerint korrigált P és S arány (*distance-corrected phase DCP*), amikor figyelembe veszik az esemény beérkező fázisainak amplitúdó csökkenését, amit a kőzeteken való áthaladás során fellépő energiaveszteség okoz.
- Hálózatra átlagolt arány (*network-averaged phase NAP*). Ennek során több állomás amplitúdó értékeinek átlagát veszik.
- Hálózatra átlagolt, távolság szerint korrigált P és S arány (*network-averaged distance-corrected NADCP*)

Az amplitúdó arányokat néha számítják a nyers regisztrátumokból, de gyakran sávszűrés után kapott különböző frekvencia tartományokban mért amplitúdó arányokat használnak.

Az elkülönítésre használt fázisok attól függnek, hogy milyen távolságban van az esemény az állomástól. Így a P hullám fázisok közül a Pg és Pn, az S fázisok közül az Sg és Sn egyaránt előfordul. A Pg és Sg a direkt, esetenként a felső gránitos kéregben refraktálódott, míg a Pn, Sn a kéreg és a köpeny határán az ún. Mohorovičić diszkontinuitáson (vagy egyszerűsítve: Moho) refraktálódott hullámokat jelöli. A Pn és Sn beérkezések csak az ún. kritikus távolságon túl észlelhetők (70-90 km). Ha a beérkező fázis nem azonosítható egyértelműen, akkor sokszor csak a P és S hullám elnevezést használják.

A térhullámok mellett a különböző felületi hullám típusokat, például az Lg vagy Rg fázisokat is vizsgálják. Lg-vel jelölik azt a jellemzően rövidperiódusú felületi hullámcsomagot, ami a felszín és a Moho (vagy más kéregbeli diszkontinuitás) között többszörösen visszaverődve, interferencia révén jön létre. A 3°-nál nagyobb epicentrum távolság esetén gyakran domináns a horizontális komponensen néhány 1000 km-ig. Az Rg felületi hullám (rövid periódusú Rayleigh-hullámok) kialakulása felszín közeli rengés esetén jellemző. Jelenléte – ill. hiánya – a fészekmélységre ad becslést. Átlagsebessége 3 km/s, gyorsan csillapodik, 100-200 km között domináns fázisa a szeizmogramnak, de 600 km-en túl már nem jelenik meg.

A P/S érték területenként változnak, függ a vizsgált frekvencia sávtól, a felhasznált fázisoktól és a terjedési úttól. Bizonyos körülmények között a P/S amplitúdó arány robbantások esetében kisebb lehet mint földrengéseké. Az arányok számítására az 1980-as években még csak az 1 Hz körüli, szűksávú hullámforma adatokat használták fel. Baumgardt és Young,

valamint Kim és munkatársai nagyobb, 5 Hz-ig terjedő frekvenciákra is kiterjesztették számításaikat (Baumgardt & Young, 1990) (Kim et al., 1997). Tapasztalataik szerint ebben a sávban jobb elkülönülést adtak az amplitúdó arányok, mint alacsonyabb frekvenciáknál.

Murphy és Bennett cikkükben (Murphy & Bennet, 1982) az USA nyugati részén kipattant kisméretű 3,3<m_b<4,8 földrengések és a nevadai teszt területen végzett nukleáris robbantások Pg, Pn és Lg fázisait vizsgálták, az eseményektől kb. 500 km-re levő Tonoto szeizmológiai állomáson. (Az m_b a P hullám első 5 másodpercnyi szakaszán megjelenő maximális amplitúdó alapján meghatározott magnitúdót jelenti). Azt találták, hogy hasonló P hullám amplitúdó mellett a rengéseket általában nagyobb Lg amplitúdó jellemzi, de az Lg/P arány nem adott minden esetben megfelelő elkülönülést.

Későbbi munkájukban (Bennett & Murphy, 1986) kiegészítették a korábbi adataikat újabb, 2,8<mb<5,2 méretű atomrobbantásokkal és az 1966-os Caliente M=6-os nevadai földrengés utórengéseivel, illetve már 3 állomás adatait használták fel. Azt találták, hogy a földrengések esetében a Pg és Lg fázisok amplitúdó aránya széles sávok között mozgott, annak ellenére, hogy ezek az epicentrumok szűk területre estek.

Deneva és munkatársai Bulgária területén, 6-50 km távolságban keletkezett kisméretű események vizsgálata során azt találták a 0,5<m_b<2,3 méretű eseményekre, hogy ha az S/P arány 2,5 fölött van, akkor az nagy valószínűséggel földrengés (Deneva et al., 1989).

Kim és munkatársai szerint az Oroszországbeli Kislovodsk területén az $M_L < 4$ események esetében a robbantásokra a vertikális csatornán mért Pg/Lg arány 5-20 Hz között 3,2 volt, míg rengésekre 1,3 (Kim et al., 1997). Ha a vertikális csatorna helyett az epicentrum irányába elforgatott horizontális komponens adatait használták fel, az arányok még látványosabb eltérést mutattak.

Az USA területén a Pg/Lg arány 5-25 Hz között a bányarobbantásokra 1,25 és földrengésekre 0,5 volt, tehát a robbantásokra itt is nagyobb, de a kislodovski területtől eltérő értéket kaptak (Kim et al., 1997). Később a Koreai félsziget területén késleltetett technikával végrehajtott $m_b < 3$ robbantások Pg/Sg arányait hasonlították össze $m_b < 4$ földrengések adataival (Kim et al., 1998). Különböző frekvencia tartományokat használtak, amelyek közül a 6-8 Hz között mért amplitúdó adatok adták a legjobb elkülönülést. A Pg/Sg arány kritikus értéke 0,32 volt, ami fölött jellemzően robbantások, alatta rengések voltak.

Koch és Fäch Bohémia, Németország területén $1 < M_L < 2,5$ közötti események Lg (Sg) és Pg fázisait vizsgálta (Koch & Fäh, 2002). Elemzésük szerint a földrengések impulzívabb Lg (Sg) hullámokat okoztak, mint a bányarobbantások. Azt tapasztalták, hogy magasabb 7-9 Hz frekvenciákon a robbantások jobban elváltak a földrengésektől, mint a széles-sávon mért adatok alapján. Az elkülönítés sikere állomásról állomásra változott.

Az amplitúdó arányokon alapuló módszert sikeresen használták még a robbantások és a földrengések elkülönítésére többek között Plafcan és munkatársai marokkói 20 kt robbantásokra (Plafcan et al., 1997), valamint Fäh és Koch Svájc területén történt $1,3 < M_L < 3,8$ szeizmikus eseményekre (Fäh & Koch, 2002).

A legtöbb vizsgálatra jellemző, hogy összetett módszereket alkalmaznak. Ez magában foglalja a különböző maximális beérkezett fázisok amplitúdó arányainak számítását és a különböző frekvencia tartományokban kapott értékeket elemzését.

1.2.4. Az m_b:M_s módszer

Történelmileg az atomrobbantások felismerésére legkorábban kidolgozott, egyik legsikeresebb, egyszerű elkülönítési módszer az, amikor a spektrum alacsony frekvenciás energiáját hasonlítják össze a nagyfrekvenciás energia tartalommal (Dougles et al. 1974; Taylor et al. 1989). Ezzel egyenértékű a felületi hullámok alapján meghatározott M_s és a térhullámok amplitúdójából számított m_b magnitúdó értékek összevetése. Míg az M_s magnitúdót a 0,05 Hz-es (20 s-os) Rayleigh felületi hullámok, addig az m_b magnitúdót az 1 Hz körüli térhullámok (P vagy S) amplitúdója alapján határozzák meg. A felületi hullámok alacsonyabb frekvenciákból tevődnek össze, mint a térhullámok, amplitúdójuk pedig függ a forrás által gerjesztett hullámok frekvenciaspektrumától.

A robbantások erős kompressziós P hullámokat keltenek, és nagyon gyenge S hullámot, ebből következően kisebb lesz a felületi hullámok energiája is. Ezért a robbantásokra számított M_s és m_b magnitúdó értékek eltérnek a hasonló méretű földrengésekre kapott értékektől. Robbantások esetén a magnitúdó és az energia (E) közötti kapcsolatot az (1.2) és (1.3) képlettel adhatjuk meg, ahol m_b a térhullám, és M_s a felületi hullám magnitúdó:

$$m_b = logE + 4,0 \tag{1.8}$$

$$M_S = logE + 2,0 \tag{1.9}$$

Az egyenletekben az E energia kilotonna TNT (Trinitrotoluol) robbanóanyag egyenértékben van megadva. Tehát 1 kt TNT, vagy azzal egyenértékű atomtöltet robbantása megfelel egy $m_b = 4,0$ illetve egy $M_S = 2,0$ földrengésnek. Ezért ha az M_S-t ábrázoljuk az m_b függvényében, a robbantások populációja a rengések alatt helyezkedik el. Selby és munkatársai szerint (Selby et al., 2012) az elkülönítés nem tökéletes. Az $m_b < 4,0$ esetekre a két populáció között kisebb különbség adódik a két magnitúdó érték között, mint az ennél nagyobb méretű eseményeknél. Az m_b:M_s módszer általában az alacsony sebességű területeken működik jól (Jeffry & Day, 2012).

Ennél összetettebb a változó frekvencia-magnitúdó (variable frequency-magnitude, VFM) elmélet. A VFM módszernél a szeizmogram különböző, $f_1 = 0,5$ Hz és $f_2 = 3,0$ Hz frekvenciái körüli kis tartományokban határozzák meg az $m_b(f_1)$ és $m_b(f_2)$ értéket. Robbantások és földrengések esetén ezek eltérnek, több esemény esetén pedig elkülönülő populációt alkotnak az $m_b(f_1)$ vs. $m_b(f_2)$ diagramon. A VFM módszer érzékeny a zajra és a helyi csillapodási értékekre, így a kemény kőzetekben végzett robbantásokra használható jól.

Az m_b:M_s technika nem alkalmazható $m_b < 4$ eseményekre, így a legtöbb kémiai robbantásra sem, mert ezeknél a hosszú periódusú $T = 20$ s felületi hullámok nem figyelhetők meg. E módszer kis eseményekre való módosításának felel meg az Lg/Pg vagy Lg/Rg maximális amplitúdó arányok számítása (Pomeroy et al., 1982).

1.2.5. A hullámformák hasonlóságán alapuló módszer

Egy adott állomáson regisztrált hullám alakja alapvetően a következő három tényezőtől függ:

- A fészek paraméterei (a forrás helye, a felszabaduló energia, a vető geometriája, és a forrást az állomással összekötő egyenes azimutja)
- A sugárút (a rétegek szerkezete, anizotrópikus tulajdonságok)
- A szeizmométer átviteli tulajdonságai

A hullámforma vizsgálata kiterjeszthető a jellemző fázisok beérkezési idejének és azok amplitúdójának meghatározásán túl magának az egész szeizmogramnak az elemzésére is. Az azonos bányából származó robbantások általában nagyon hasonló hullámalakot hoznak létre, már ránézésre is köthetők valamelyik bányához. Általános tapasztalat, hogy utórengések esetében pedig rajok, „klaszterek" jönnek létre, amelyek hullámformája egymáshoz szintén nagyon hasonló (Massa et al., 2006), (Hage & Joswig, 2009).

Szintetikus szeizmogramok elemzésével Baisch és munkatársai bebizonyították, hogy a nagyon hasonló hullámformájú rengések hipocentrumai egymáshoz közel, egymástól gyakorlatilag 100-200 m-re helyezkednek el (Baischet et al., 2002). Ezt a távolságot a szeizmogram jellemző hullámhosszának a negyedére becsülik, ez az ún. $\lambda/4$ kritérium. A hullámforma nagyfokú hasonlóságát egyben a nagyon hasonló fészekmechanizmus is okozza (Deichmann & Garcia-Fernandez, 1996). Ha feltételezzük, hogy a hipocentrum térbeli kiterjedése kicsi, akkor ugyanahhoz a szeizmológiai állomáshoz nagyon hasonló kőzeteken hatolnak át a rengés során keletkezett hullámok, tehát nagyon hasonlónak kell lenniük a regisztrált hullámformáknak.

A hullámformák hasonlóságát vizsgálva Massának munkatársaival együtt sikerült a híd jelenséget megfigyelni, ami az események térbeli elhelyezkedésére utal (Massa et al., 2006). Azaz ha (A, B) esemény párt alkot és (B, C) is, de (A, C) nem éri el a kritikus korrelációs küszöböt, akkor B a híd a térben a két esemény fészke között, vagyis a B az A és a C között helyezkedik el.

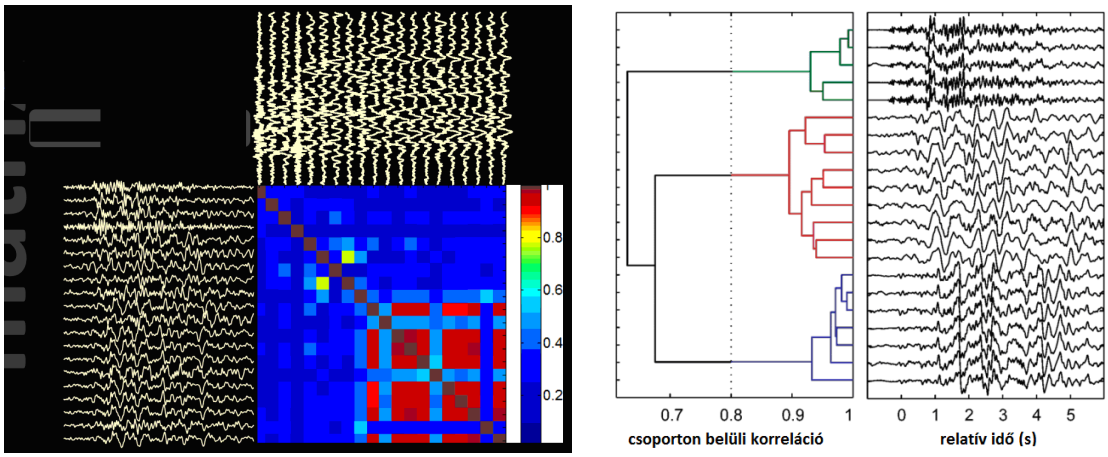
Két hullámforma közötti hasonlóság a c_{xy} keresztkorrelációs együtthatóval jellemezhető (1.4):

$$c_{xy} = \frac{\sum_i^N W_x(t_i) W_y(t_i + \tau_{xy})}{\sqrt{\sum_i^N W_x(t_i)^2} \sqrt{\sum_i^N W_y(t_i + \tau_{xy})^2}} \tag{1.10}$$

Ahol, W_x és W_y a két szeizmogram elemei az idő függvényében, maximum N mintával eltolva, τ_{xy} a maximális c_{xy} értékékhez tartozó eltolási idő. A korrelációs együtthatót bármely csatornára lehet számítani, így a vertikális vagy valamelyik horizontális (K-Ny vagy É-D) csatornára egyaránt. A kritikus korrelációs együttható értékét, ami fölött hasonlónak tekintenek két hullámformát, általában 0,6-0,95 között szokták meghatározni. Közeli kis eseményeknél az N mintaelemek száma a beérkező hullám időtartamának (általában 6-30 sec) és a mintavételi időnek a függvénye.

A hasonló eseményeket csoportokba is rendezhetjük. A csoportokba rendezett események száma és a csoportok összetétele változik a kritikus korrelációs együttható értékének változtatásával. Pechmann és Kanamori kimutatták, hogy vannak „erős párok” amelyeknek a forrásai szinte egybeesnek, és „gyenge párok”, ahol bár a fészekmechanizmus nagyon hasonló, távolabb esnek a fészkek egymástól (Pechmann & Kanamori, 1982). Ekkor a szeizmogramok főleg a nagyfrekvenciás tartományban különböznek. Ha két esemény hullámformája eltér, az nemcsak azzal magyarázható, hogy az epicentrumok távol vannak egymástól, hanem azok eltérő fészekmechanizmusával is.

Ha sok esemény egymáshoz képesti hasonlóságát vizsgáljuk, az eredmény egy keresztkorrelációs mátrix (1.6a.) ábra, ahol a főátlóban azok a keresztkorrelációs együtthatók láthatók, mikor önmagával hasonlítottuk össze az eseményt, így értékük 1. Az események közötti hasonlóság, mint „távolság” alapján az események rokonsági ágakba, csoportokba rendezhetők, amit dendrogramnak nevezünk (1.6b. ábra).



(a) *Kereszt-korrelációs mátrix* **(b)** *dendrogram*

1.6. ábra. *A korrelációs analízis végeredménye*

1.2.6. Spektrális elméletek

A spektrális módszerek közé tartozik egyes fázisok spektrum tartalmának és a magasabb frekvenciák felé való csökkenésének az elemzése. Ez utóbbit számszerűsíti a spektrumra illesztett egyenes meredeksége. A spektrum varianciája pedig ez utóbbi hibája, ami a regressziós egyenes és a spektrum közötti területtel arányos mennyiség.

Taylor és Denny (Taylor & Denny, 1991) a nevadai és a volt Szovjetunió területén (Shagan teszterület) történt atomrobbantások és rengések spektrumát hasonlították össze. A nevadai robbantások nagyobb energiát mutattak az alacsonyabb frekvenciákon, mint a helyi földrengések. Ezzel ellentétes adatokat mutatott a Shagan területén történt robbantások és földrengések spektrumainak összehasonlítása. Ezt több tényező együttes hatásával magyarázták: a szeizmikus hullámokat érintő csillapodási tényező mélységfüggésével, a forráshoz közeli geológiai adottságokkal, és a robbantás nyomás-idő függvényével. A nevadai terület porózus kőzeteiben a kőzetek Q minőségi (vagy jósági) tényezője - ami a szeizmikus hullámok egy periódus alatti relatív energiacsökkenésével kapcsolatos - kisebb volt, mint a közeli

mélyebb fészkű földrengéseknél. A shagani robbantás területe viszont nagy Q értékkel bírt. A robbantások spektrum szerkezetéhez a szerzők szerint (Taylor & Denny, 1991) a fészek körüli kőzeteknek a robbantás lökéshullámára adott eltérő dinamikus válasza is szerepet játszott.

Wüster Németország és Csehország határán (Vogthland) kipattant $1<M_L<3$ mikrorengések és kémiai robbantások elkülönítésére alkalmazta a P és S hullámok spektrumainak az elemzését (Wüster J., 1993). Azt találta, hogy a földrengések esetében az S spektrum maximuma magasabb frekvenciákra terjedt ki, és az 1-10 Hz közötti tartományban a teljesítménye lassabban csökkent, mint a robbantásoké. A földrengések P és S spektrum varianciája is kisebb volt.

Kim és társai kutatása szerint a robbantások domináns frekvenciái magasabbak (10 Hz felettiek), mint a földrengéseké. A P és S hullámok frekvencia tartalmát azonban módosítják a geológiai sajátosságok is, így területenként változhatnak a domináns frekvenciák (Kim et al., 1994). A robbantásokra jellemző, hogy nagyfrekvenciás összetevőik a távolsággal gyorsan elnyelődnek.

Ursino munkatársaival Szicília déli részén 1999. szeptember és 2000. február között történt tektonikus földrengések és robbantások spektrumait elemezték (Ursino et al., 2001). Általános szabályként azt állapították meg, hogy a földrengések sebesség spektruma 20 Hz-ig, míg a késleltetett robbantásoké 3-10 Hz között domináns, tehát a földrengések spektruma magasabb frekvenciákig terjed.

Koch és Fäh Vogthland szeizmikus eseményeit (Koch & Fäh, 2002), Wüster korábbi tanulmánya alapján újraértékelték (Wüster J., 1993). Az S hullám spektrum varianciáját kulcsparaméternek, a P hullámét a második legjobb elkülönítő paraméternek találták. A Wüster által alkalmazott 4 spektrum paraméter alapján tévesen robbantásnak minősített földrengést a spektrumán megjelent modulációkkal magyarázták, amit a terjedési út hatásának és a többi rengéstől eltérő küszöb frekvenciájának tulajdonítottak (1.4.).

Haggag és munkatársai Egyiptom területén az asszuáni gát feltöltése utáni indukált földrengések és kémiai robbantások spektrumát elemezték (Haggag et al., 2008). Tapasztalataik szerint a robbantások spektruma szűk sávra (f<5 Hz) korlátozódott a rengésekhez képest (1<f<12 Hz). Dahy és Hassib (Dahy et al., 2009) Egyiptom déli területén keletkezett $1{,}9<M_L<3{,}7$ magnitúdójú földrengések és robbantások Pn fázisainak spektrumát elemezte. A földrengések esetében a Pn spektruma 8<f<18 Hz a robbantásoknál 3<f<16 Hz közötti sávra terjedt ki és megfigyelhető volt utóbbiakon a késleltetett technikára jellemző csipkézettség.

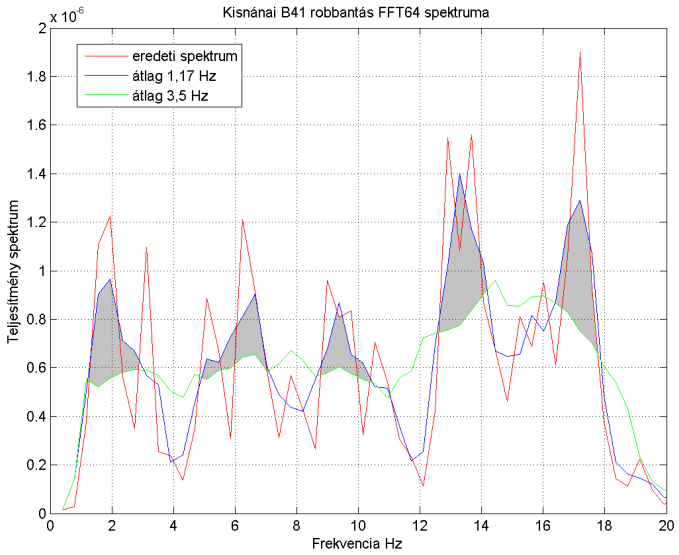
1.2.7. A késleltetett robbantási technika spektrumot módosító hatásának kimutatása

A bányarobbantások nagy részét a késleltetett robbbantási technika alkalmazásával hajtják végre. Ezeknek a robbantásoknak a spektruma azonban a 0-50 Hz közötti frekvencia tartományban sajátos csipkézettséggel rendelkezik, ami lehetőséget ad az elkülönítésükre (Baumgardt & Ziegler, 1988).

A csipkézettség kimutatására két módszert használnak, a kepsztrum analízist és a bináris spektrumok elemzését. A kepsztrumot a hullámforma teljesítmény spektrumából számítják, ami ez utóbbi logaritmusának inverz Fourier transzformáltja. Segítségével a periodikus ingadozások – amit e robbantási technika okoz – kiemelhetők (Arrowsmith et al., 2006).

A bináris spektrum révén a megemelt energiájú sávok időbeli függetlenségét elemezhetjük. A cél az időtől független spektrum modulációk felerősítése és a véletlenszerű összetevők kiejtése. Földrengésekre ez az időtől független moduláció nem jellemző. A spektrumot két különböző hosszúságú időablakban futóátlagot számoló szűrővel alakíthatjuk át binárissá. Ha a rövid átlag értéke nagyobb, mint a hosszabbé, akkor a spektrum értéke 1 és ha kisebb, akkor 0 értéket kap. A módszert szeizmológiai célra Hedlin és munkatársai fejlesztették ki (Hedlin et al., 1989). A bináris spektrum számításával, fekete/fehér színekre kódolva a spektrum csipkézettségének időbeli stabilitása követhető nyomon. Carr és Garbin 1990 és 1992 között az Egyesült Államok Wyoming területén történt földrengések és késleltetett robbantások bináris spektrumát elemezték (Carr & Garbin, 1998). Az állomások mintavételi ideje lehetővé tette (100 Hz), hogy 50 Hz-ig kövessék a spektrumokat. A robbantások 50 százalékában sikerült a spektrumban a sávokat kimutatni, 22-ben kialakultak sávok, de azok nem voltak stabilak, míg a többi esetben nem vezetett sikerre a módszer.

Egy haza bányarobbantás bináris spektrumának előállítására látható példa a 1.7. ábrán. A bináris spektrum 128 pontos FFT alkalmazásával készült. A rövid átlag számítására 1,17 Hz, a nagyobbra pedig 3,5 Hz széles frekvencia ablakot vettem. Ha a rövid átlag értéke nagyobb volt, mint a hosszabbé, akkor a bináris spektrum „1”, ha kisebb, „0” értéket kapott. Az 1.7. ábrán a sötétebb részek kaptak 1-et. Egymás utáni időpontokra kapott bináris spektrumokat egymás mellé téve láthatóvá válnak az időtől független modulációk.



1.7. ábra. *A spektrum binárissá alakításának menete kétféle futóátlag számolásával, a B41 kisnánai robbantás esetében*

Kiemelném még Kim és munkatársai munkáját, amiben összefoglalták azokat a körülményeket, amikor a késleltetett robbantás hatása nem jelenik meg a spektrumban (Kim et al.,

1994). A módszer természetesen az egytöltetű robbantásokra nem működik, ill. ha a késleltetési idő túl rövid a digitalizált hullámforma mintavételi idejéhez képest. A késleltetési időnek legalább 4-szer nagyobbnak kell lenni, mint a digitális mintavételi időnek.

1.2.8. A komplexitás és a spektrum arány

A robbantások által keltett térhullámok általában impulzusszerűek, esetenként csak néhány ciklusból állnak. A földrengések P hulláma ezzel szemben hosszabb idő alatt cseng le, igen komplex hullámvonulatot alkot. A jel komplexitásának meghatározása így újabb elkülönítő paraméter, ami definíció szerint a rövidperiódusú P hullám amplitúdója és az azt követő lecsengő hullámvonulat (coda) időtartamának aránya (Evernden, 1977). Számos esetben és bizonyos állomásokon azonban a beérkező hullámcsomag nem mutatja ezeket a jellegzetességeket. A spektrum arány (SR) és a hullámforma komplexitásának (Cx) számítása egy olyan módszer, ami gyors, egyszerű, és összekapcsolja a spektrum és a hullámforma tulajdonságait. Arai és Yosida (Arai & Yoshida, 2004), valamint Gitterman és Torild Van Eck (Gitterman & Torild Van Eck, 1993) definíciója szerint:

$$Cx = \int_{t_1}^{t_2} a^2(t)dt / \int_{t_0}^{t_1} a^2(t)dt \tag{1.11}$$

$$SR = \int_{f_1}^{f_2} a(\omega)d\omega / \int_{f_0}^{f_1} a(\omega)d\omega \tag{1.12}$$

Az (1.11) egyenlet szerint Cx a szeizmogram két időablakában számított teljesítmény integráljának az aránya, ahol t_0 a P hullám beérkezési ideje, t_1 és t_2 pedig t_0 utáni időpontok. Cx meghatározására általában 1-2 s hosszú ablakokat használnak. Az SR pedig a spektrum két frekvencia sávjában vett teljesítménynek az aránya az (1.12) formula alapján, ahol f_0 és f_1 ill. f_1 és f_2 frekvencia határok. Itt az alacsonyabb és magasabb frekvencia sávban számolt teljesítmények arányát fejezi ki ez a mérőszám. Ha a Cx értékeket az SR függvényében ábrázoljuk, a robbantások és földrengések két elkülönülő csoportot alkotnak (Kekovali et al., 2012).

1.3. A Mahalanobis távolság (MD) definíciója

A Mahalanobis távolság két csoport közötti standard távolság meghatározására szolgál. Használatának előnye, hogy kettőnél több változó felhasználásával is elemezhetjük két csoport elkülöníthetőségét. Az MD segítségével a megfigyeléseknek az osztályok középpontjaitól vett távolságát mérjük. Elemezhetjük vele, hogy mely kvantitatív változók alapján lehet a csoportokat jól elkülöníteni. A változókról feltételezzük, hogy eloszlásuk többdimenziós normális. A cél azoknak a paraméterek megtalálása, amivel növelhető a csoportok közötti távolság.

Az MD meghatározása a $\mathbf{C}_x$ kovariancia mátrix meghatározásával kezdődik (1.13):

$$\mathbf{C_x} = \frac{1}{(n-1)}(\mathbf{X_c})^T(\mathbf{X_c}) \tag{1.13}$$

A kiindulás az $\mathbf{X}$ az adatmátrix, amiben n a megfigyelések (sorok) p a változók (oszlopok) száma, és $\mathbf{X}_c$ az oszlop átlaghoz centrált mátrix (**X-Átlag**). Két változó x_1 és x_2 esetén a $\mathbf{C}_x$ kovariancia mátrix képlete a következő (1.14):

$$\mathbf{C_x} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 \\ \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \tag{1.14}$$

A varianciája, más néven szórásnégyzete a változóknak: σ_1^2 és σ_2^2, és a két változó kovarianciája pedig a $\rho_{12}\sigma_1\sigma_2$. Az MD képlete definíció szerint:

$$MD_i = \sqrt{(\mathbf{x_i} - \overline{\mathbf{x}})\mathbf{C_x^{-1}}(\mathbf{x_i} - \overline{\mathbf{x}})^{\mathbf{T}}} \tag{1.15}$$

$$\mathbf{C_x^{-1}} = \begin{bmatrix} \sigma_2^2/det(\mathbf{C_x}) & -\rho_{12}\sigma_1\sigma_2/det(\mathbf{C_x}) \\ -\rho_{12}\sigma_1\sigma_2/det(\mathbf{C_x}) & \sigma_1^2/det(\mathbf{C_x}) \end{bmatrix} \tag{1.16}$$

Ahol $det(\mathbf{C_x}) = \sigma_1^2\sigma_2^2(1-\rho_{12}^2)$ a determinánsa a (1.14) variancia-kovariancia mátrixnak. Részletesen kiírva két változó esetére a képletet a következőt kapjuk:

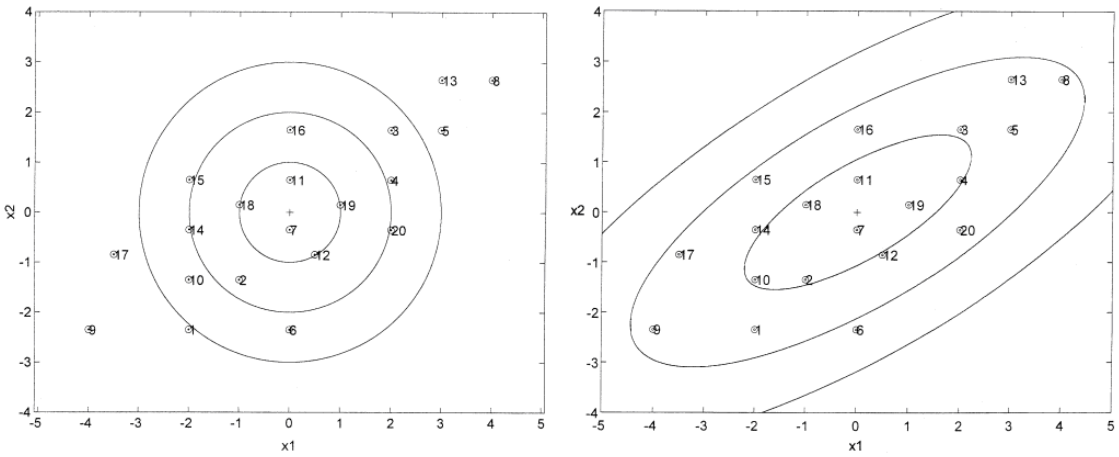
$$MD_i = \sqrt{(\frac{x_{i1} - \overline{x_1}}{\sigma_1})^2 + ((\frac{x_{i2} - \overline{x_2}}{\sigma_2}) - \rho_{12}(\frac{x_{i1} - \overline{x_1}}{\sigma_1}))\frac{1}{\sqrt{1-\rho_{12}^2}}^{\,2}} \tag{1.17}$$

Látszik, hogy az (1.17) 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 (1.18).

$$ED_1 = \sqrt{(x_{i1} - \overline{x_1})^2 + (x_{i2} - \overline{x_2})^2} \tag{1.18}$$

Az MD többváltozós megközelítése a diszkriminációs problémának, mivel súlyozva van a csoporttagok változóinak egymás közötti eltéréseivel. Magasabb rendű, mint az Euklideszi távolság, mert figyelembe veszi a csoportok elemeinek eloszlását. Az 1.8. ábra szemlélteti az Euklideszi és Mahalanobis távolság különbségét. Láthatóan a csoport közepétől azonos távolságú ívek az MD esetében jobban illeszkednek a változók elhelyezkedéséhez. Megemlítendő még, hogy az MD skálafüggetlen. A sztenderd Euklideszi távolság minden paramétert egyforma mértékkel vesz figyelembe függetlenül azok tulajdonságaitól. Emiatt nagyobb súllyal kerülnek latba a nagyobb intarvallumba eső paraméterek. Az MD ezt a problémát is kezelni tudja.

A Mahalanobis távolság meghatározásával egy kvantitatív értéket szeretnék kapni arra, hogy különböző paraméterek együttes használatával mennyire különülnek el egymástól a magyarországi földrengések és robbantások. Koch és Fäh 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 (Koch & Fäh, 2002). Arrowsmith és munkatársai pedig az Egyesült Államokban, Wyoming környéki eseményekre vonatkozóan 7 paraméter közül keresték a legmegfelelőbbet e módszerrel (Arrowsmith et al., 2006). Koch és Fäh cikke szerint alkalmazhatjuk a



1.8. ábra. *Euklideszi és MD távolság szemléltetése x_1 és x_2 változók esetén (Maesschalck et al., 2000). A körök az egyforma Euklideszi távolságokat az ellipszisek az azonos MD íveket reprezentálják a csoport középpontjától*

következő szabályt: ha abszolut érték MD>4, akkor a két csoportot a vizsgált paraméterek alapján statisztikailag különbözőnek vehetjük (Koch & Fäh, 2002).

1.4. A különböző területeken felhasznált módszerek és eredmények vázlatos összesítése

Az elkülönítéssel kapcsolatos legtöbb munka a közepes méretű, regionális távolságban detektált atomrobbantások és földrengések elkülönítésével foglalkozott. Az utóbbi években egyre több eredmény született a kisebb bányarobbantások és mikrorengések elkülönítésére is. A távolabbi eseményekre legtöbbször a Pn, Lg fázisokat és az m_b : M_S magnitúdó arányokat használták. Közelebbi események esetében leginkább a Pg, Sg és Rg fázisokat elemezték, legtöbbször csak 'P' és 'S' jelöléssel. A fázisok paramétereit különböző szűk frekvenciasávban, vagy széles sávon állapították meg, és általában az amplitúdó arányokat (illetve azok logaritmusát) számították. Az 1.1. táblázatban foglaltam össze vázlatosan néhány kutatási eredményt.

1.1. táblázat. *A különböző módszerek és eredményeik*

Szerző(k)	módszer	terület	események	eredmény
Kekovali et al. (2012)	S/P amplitúdó arány, Cx, Sr	Törökországi bányavidék	2,3<M_d<3,0 lokális	Robbantás: 0,42<S/P<1,4 Földrengés: 0,92<S/P<5,7
Murphy & Bennett (1982)	Pn, Pg, Lg amplitúdó arány és spektrumok	Nevada atomkísérlet területe	3,7<m_b<4,3 lokális	Rengéseknél az Lg és P spektrumok magasabb frekvenciában gazdagabbak mint a robbantások

Table 1.1 Folytatás az előző oldalról

Szerző(k)	módszer	terület	események	eredmény
Ursino et al. (2001)	Fázis amplitúdók és spektrum analízis	Szicília	M_L<4	Robbantások spektruma 5-10 Hz között volt jelentős, rengéseknél magasabb fr.-ig terjedt
Zeiler & Velasco (2009)	Pg, Sg, Rg amplitúdók	Colorádó 0-200 km nukleáris robb.	3,8<m_b<4,5	Amplitúdó arány vs. magnitúdó
Allman et al. (2008)	Fázis amplitúdók és spektrum analízis	Kalifornia, bányarobbantások	1,5<M_L<2,7	S/P Amplitúdó arány alapján nem különültek el
Musil & Plešinger (1996)	Spektrum és amplitúdó par. Neurális hálózat	Bohémia	0,5<M_L<2,4	Tanuló események felhasználása
Koch (2002)	S hullám spektrum Sg/Lg ampl.	Bohémia	mikrorengések	Robbantások sp. varianciája nagyobb, mint a földrengéseké
Wüster (1993)	Lg/Pg Lg/Rg amplitúdó arányok	Bohémia	mikrorengések	m_b és M_s analízis és Log(S/P) vs. LogS jó eredményt adott
Fäh & Koch (2002)	többváltozós spektrum és elemzés	Svájc	1,3<M_L<3,8	P/S arány 7-10 Hz között nagyobb epicent. táv. esetén adott jó eredményt
Plafcan et al. (1997)	Pg/Sg arány	Marokkó	lokális és regionális kémiai robb,	10-15 Hz között Pg/Sg jó eredményt adott
Carr & Garbin (1998)	Bináris spektrogram	Wyoming (USA)	robbantások	0-16 Hz között jó elkülönülés
Gitterman & Eck (1993)	Spektrumelemzés	Izrael	lokális és regionális késleltetett robbantások	Robbantások spektrum modulációja 2-8 Hz között jelentkezett
Gitterman et al. (1998)	Spektrum arány és spektrum koherencia	Izrael	1,0<M_L<2,8	1-3 Hz/6-8 Hz közötti SR jó elkülönülést adott
Aki & Biswas (1991)	P és S-coda Q értékek és spektrumelemzés	Kalifornia	bányarobb.	Robbantások esetén 1-3 Hz között Q nagyobb, mint rengésekre
Horosan et al. (2009)	fázis amplitúdók és spektrum arány	Törökország	1,8<M_d<3,0 lokális	Log(S/P) vs. logS Két csoportra válnak a robb. és rengések
Kim et al. (1994)	P/S arány Spektrum modulációk	New-York és a szomszédos Államok	Késleltetett robb. regionális táv.	Robbantások erőteljesebb S és Rg hullámok, P/S nagy frekvenciákon jó

Table 1.1 Folytatás az előző oldalról

Szerző(k)	módszer	terület	események	eredmény
Hedlin et al. (1989)	Bináris spektrumok 2D Fourier elemzése	Kazahsztán	Késleltetett robb.	az egytöltetes robbantások események elkülönítése problémás
Hedlin (1998)	Bináris sp. és többváltozós spektrumelemzés, kepsztrum analízis	Ázsia, Európa, Észak-Amerika	Késleltetett robb.	Jó eredmények, de előfordult földrengéseknél is spektrum moduláció
Che Il-Y. et al. (2007)	Amplitúdó arányok különböző frekvenciákon (Pg/Lg)	Észak-Korea	400 km-nél közelebbi események	Pg/Lg arány 9-13 Hz között adta a legjobb elkülönülést
Arrowsmith et al. (2006)	Sp. modulációk, kepsztrum analízis. Mahalanobis táv.	Wyoming (USA)	regionális	A kisméretű események elkülönítése bizonytalan
Dahy et al. (2009)	Amplitúdó arányok	Egyiptom	lokális események $0{,}9<M_d<2{,}8$	m_b és M_s analízis jó eredményt ad
Smith (1989)	Sp. modulációk	Ontario, USA	Regionális, késleltetett robb.	Nagyfrekv. spektrum csúcsok robb. esetében
Kiszely (2000)	Amplitúdó arányok	Vértes, Magyarország	közeli kis események	P/S amplitúdó alapján elkülönültek
Kiszely (2001)	Coda Q	Magyarország	közeli kis események	Robbantás esetében nagyobb Q értékek adódtak
Kiszely (2009)	Időbeli és területi eloszlás	Magyarország	1995-2008 közötti adatok	A katalógus adatok periodicitást mutatnak
Telesca et al. (2011)	Hullámforma fraktál tulajdonságai	Vértes, Magyarország	2010-es adatok	Eltérnek a robbantások és földrengések fraktál tulaj.-i

2. fejezet

A kiválasztott szeizmikus események adatbázisa és az alkalmazott módszerek

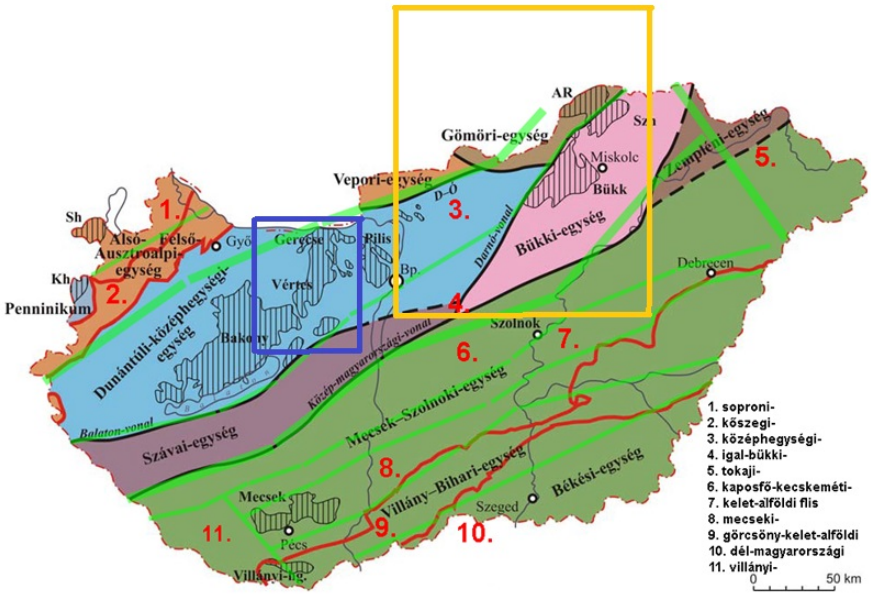
2.1. Az adatbázis és a vizsgált paraméterek ismertetése

Magyarországon két területet választottam ki a robbantások és földrengések tulajdonságainak elemzésére: a Mátrának mintegy 150x170 km-es és a Vértes hegység 76x77 km-es környezetét. A két terület sajátossága, hogy a legtöbb eseményt kevés, csak az epicentrum meghatározásához minimálisan szükséges 3 állomás regisztrálta. Az epicentrumok helyének meghatározási pontossága $\sim 5 - 10$ km körül volt, a mélység meghatározása ennél általában nagyobb hibával terhelt.

Első lépésként az észak-magyarországi terület szeizmikus eseményeit gyűjtöttem össze. A kiválasztott területen 2010 és 2013 júliusa között összesen 104 földrengés történt a 2.1. ábrán sárga téglalappal jelölt területen. Ezeket hasonlítottam össze a terület 8 különböző bányájából származó bányarobbantásokkal. Összesen 100 robbantást elemeztem, amik 2007 és 2013 júliusa között történtek. A szeizmikus események tulajdonságait a PSZ állomáson regisztrált szeizmogramok alapján vizsgáltam.

A Vértes területének adatbázisa a 2011 és 2012 között történt földrengések és a gánti kőbánya robbantásait tartalmazta (kék téglalappal jelölt terület). Összesen 411 földrengés és 115 robbantás került katalógusba ebben az időszakban. Az eseményeket a CSKK és PKSG állomások adatai alapján vizsgáltam.

A vizsgált szeizmikus események epicentrum adatai az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet jogelődje, az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet és a GeoRisk Kft által közösen kiadott 2007 és 2010 közötti évekre vonatkozó bulletinekből, valamint a GeoRisk Kft által 2011-es és 2013-as évkönyvekből származtak. (Tóth et al., 2008-2014; Magyar Nemzeti Szeizmológiai Bulletin, Gráczer et al. 2012-2013). Ezekben a katalógusokban már az események besorolása (földrengés/robbantás) is szerepelt. A besorolás egy része a bányakapitányságok bejelentése alapján, másrészt az USGS által javasolt módon, a fészekparaméterek alapján történt. A munkanapokon és munkaidőben történt, bányákhoz közeli 0



2.1. ábra. *Magyarország nagyszerkezeti egységei a két kiválasztott területtel (Budai & Konrád, 2011)*

km fészekmélységű eseményeket az éves földrengés katalógus szerkesztésekor robbantásnak tekintették a szerkesztők. Sok esetben az esemény szeizmogramjának „robbantásos” jellege miatt történt a besorolás. Azonban a katalógusban lehetnek tévesen földrengésnek vett robbantások, és fordítva. Ennek az előzetes besorolásnak a helyességét szeretném ellenőrizni a robbantások és fölrengések paramétereinek részletes elemzésével.

A robbantások és földrengések epicentrumának meghatározásai legtöbbször a Vértes illetve a Bakony területén működő 6 állomás, illetve az észak-magyarországi események esetében a piszkéstetői és két szlovákiai állomás adatai alapján történtek. A hazai állomások a paramétereit a 2.1., a bányák főbb adatait pedig a 2.2. táblázatokban összegeztem.

2.1. táblázat. *A felhasznált szeizmológiai állomások paraméterei*

Kód	Helység	ϕ	λ	Magasság	Típus	Érzékelő	Üzemeltető
BOKD	Bokod	44,487	18,251	150	3C SP	Mark Products	ELGI
CSKK	Csókakő	47,363	18,260	319	3C SP	Kinemetrics SS-1	GGI
PKSG	Gánt	47,391	18,390	200	3C SP	Lennartz LE-3D	GeoRisk
PKST	Tés	47,259	18,034	473	3C SP	Lennartz LE-3D	GeoRisk
PSZ	Piszkéstető	47,918	19,894	260	3C BB	Steckeisen STS-2	GEOFON/ GGI
SUKH	Sukoró	47,242	18,616	100	3C SP	Kinemetrics SS-1	GGI
VSOM	Vértessomló	47,507	18,375	150	3C SP	Mark Products	ELGI

Jelölések a táblázathoz: 3C - 3 komponenses szeizmométer; SP - rövid periódusú, BB - széles sávú szeizmométer

2.2. táblázat. *A bányák főbb adatai*

A bánya helye	ϕ	λ	Távolság
Bercel, Nórádkövesd andezit bánya	47,893	19,046	PSZ-től 37 km
Gánt, kőbánya	47,893	19,046	CSKK-tól 3,3 km; PKSG-től 10,3 km
Gyöngyössolymos, Cserkő andezti bánya	47,836	19,934	PSZ-től 10 km
Gyöngyöstarján, Füledugó andezti bánya	47,822	9,857	PSZ-től 11 km
Kisnána, andezti bánya	47,741	20,070	PSZ-től 20 km
Nagydaróc, bazalt bánya	48,346	19,858	PSZ-től 48,5 km
Nagylóc, andezti bánya	48,005	19,627	PSZ-től 22 km
Recsk, Csákányhegy andezti bánya	47,900	20,090	PSZ-től 14,5 km
Szalóc, andezti bánya	48,573	20,331	PSZ-től 83 km

2.2. A dolgozatban használt módszerek ismertetése

A robbantások és földrengések jellemzőinek elemzésére a módszerek három csoportját alkalmaztam.

1. Fészekparaméterek elemzése (katalógus adatok alapján)
   (a) az epicentrumok helye
   (b) az epicentrumok mélysége
   (c) események időbeli eloszlása
2. Hullámformák vizsgálata (szeizmogramok alapján)
   (a) P hullám első beérkezésének jellege
   (b) P, S és Rg fázisok amplitúdó és amplitúdó arányainak elemzése (szűrve és szűretlenül)
   (c) A szeizmogramok hullámformáinak korrelációs vizsgálata
3. Különböző spektrális paraméterek elemzése (szeizmogramok alapján)
   (a) a robbantási technika spektrumot módosító hatásának vizsgálata, a spektrum csipkézettségén és a bináris spektrumok elemzésén keresztül
   (b) a spektrum meredekség és az alacsonyabb és magasabb frekvencia tartományokhoz tartozó spektrum arány, valamint a spektrum átlagos teljesítményének és a maximális értékének vizsgálata

A 2(b) pontvan a P és S megjelölés a Pg és Sg vagy a Pn, Sn fázisokat egyaránt jelentheti. A Pn és Sn beérkezések csak az ún. kritikus távolságon túl észlelhetők (70-90 km). A szalóci bányán kívül a többi bánya esetében Pg és Sg fázisokkal volt dolgom. Az Rg felületi hullám (rövid periódusú Rayleigh-hullámok) kialakulása felszínközeli rengés esetén jellemző. Jelenléte – ill. hiánya – a fészekmélységre ad becslést. Átlagsebessége 3 km/s, gyorsan csillapodik, 100-200 km között domináns fázisa a szeizmogramnak, de 600 km-en túl már nem jelenik meg.

Az S hullám maximális amplitúdóját a horizontális csatorna rengés/robbantás epicentrumának irányába elforgatott radiális SHR és arra merőleges SHT komponensén is megmértem. A szakirodalom szerint a fázisok maximális amplitúdóit érdemes különböző frekvencia határok között elemezni. Ezért a ezeket én is különböző frekvencia sávban végzett szűrések után határoztam meg. A szűretlen adatokon kívül az 1-4 Hz 4-7 Hz és 7-10 Hz közötti sávban történő Butterworth sávszűrés után kapott amplitúdókat is kiolvastam.

Az Rg felületi hullám esetében a 0,5-1,5 Hz és 0,66-2 Hz közötti sávszűrés után a szeizmogramon leolvasható legnagyobb amplitúdó értéket tekintettem Rg adatnak, annak ellenére, hogy nem mindig alakult ki ez a felületi hullám. A szűretlen fázis maximális amplitúdójának az 50 Hz mintavételi időnek megfelelő 0-25 Hz közötti sávszélességen mért maximális érték felelt meg. A mért amplitúdó értékek „counts”-ban értendők (1 count = 1,7 nm/s).

Robbantásoknál az elsőként beérkező P hullám irányát minden állomáson kompressziós jellegűnek vártam. Sajnos csak korlátozott számú állomás szeizmogramja állt rendelkezésre, a robbantások esetében sokszor csak a PSZ állomásé. Földrengéseknél kompressziós és dilatációs beérkezések is lehetnek. Ezért ez a módszer csak másodlagos lehet az elkülönítésben.

A hullámformák hasonlóságának vizsgálatára a két terület eseményeire eltérő időtartamú hullámformákat használtam fel, ahol a választott időablak az S coda – azaz az S hullám lecsengő vonulatát – és az Rg hullámcsomagot is tartalmazta már. A PSZ szeizmogramjai esetében 25 a CSKK és PKSG esetében 8 másodperc idejű hullámformával dolgoztam. A vertikális és horizontális csatornákat is elemeztem. A PSZ és PKSG esetében a két horizontális csatorna közül az É-D-i komponenst választottam, mert ezen a később beérkező S hullámok nagyobb amplitúdóval jelentkeztek, ezért jobban használhatók a hullámforma elemzésre. A CSKK állomás esetében a vertikális csatorna adataira kaptam több hasonló eseményt.

A szakirodalom szerint a spektrumok vizsgálata nagyon sokféleképp történhet. Elemezhetjük csak a P vagy S hullámcsomagot rövidebb időtartományt vizsgálva, vagy hosszabb időablakot véve a teljes hullámvonulatot. Vizsgálhatjuk a vertikális, vagy a horizontális csatornák, esetleg a két utóbbi elforgatott adatait. E dolgozatban a spektrum jellemzőket a P hullám beérkezésétől számítottam a vertikális csatornán. Az 1024 pontos FFT a CSKK állomás esetében 20,48 s időtartamú, míg a PKSG és PSZ esetében 16,4 s hosszú szeizmogramot érintett. A késleltetett robbantási technika spektrum módosító hatását, a csipkézettséget, az 1024 pontos FFT-vel számított spektrumon vizsgáltam.

A bináris spektrogram elemzésével a spektrum jellegzetes moduláltságának időbeli függetlenségét elemezhetjük. A spektrum meredekséget a teljesítmény spektrum különböző frekvencia tartományain határoztam meg.

A szakirodalomban különböző frekvencia sávokban vett spektrum teljesítmények arányát használják diszkriminációs paraméterként, spektrum arány (SR) néven. Én is több különböző frekvenciatartomány teljesítményét elemeztem: 1-10 Hz, 5-10 Hz, 5-15 Hz és 10-20 Hz között. A spektrum arányt pedig az (1.12) egyenlet alapján számítottam ki. A szeimogram komplexitása (Cx) a spektrum arány függvényében a szakirodalom szerint jó

elkülönítő paraméter. A komplexitás meghatározása a (1.11) képlet szerint történt a P hullám beérkezésétől mért 0-2 s és 4-6 s közötti időablakra számítva.

Már rendelkeztem a szeizmikus események robbantás/földrengés besorolásával a bulletinek alapján. Ez leginkább az USGS által javasolt protokoll szerint történt. A legalkalmasabb paramétereket kerestem e két csoport elválasztására. Azt reméltem hogy e paraméterek alapján a téves osztályzású események a Mahalanobis távolság alapján kiszűrhetők lesznek. Többféle paramétert ill. paraméter kombinációt felhasználva minden egyes robbantás „távolságát" meghatároztam a földrengések teljes csoportjának és a saját (robbantások) csoportjának centrumától. Azt vártam, hogy az egyes robbantások kisebb távolságra lesznek a saját csoportjuktól, mint a földrengések centrumától. Minden földrengés esetén is meghatároztam a saját (földrengések) és a robbantások csoportjának centrumától vett statisztikai távolságokat. Minden eseményhez így két értéket kaptam, a kettő közötti különbségnek abszolút értékben 4-nél nagyobbnak kell lenni, hogy statisztikailag elkülönüljön a két csoport. Az elemzést Koch & Fäh munkáját mintának tekintve végeztem el (Koch & Fäh, 2002).

A Vértes területén keletkezett földrengéseket és a gánti kőbánya robbantásait két állomás által detektált szeizmogramok alapján elemeztem (CSKK és PKSG). A paraméterek stabilitásának ellenőrzése céljából nemcsak a földrengések, hanem a robbantások adatait is két részre tudtam bontani. A Vértes szeizmikus eseményei esetében a első adatrész alapján kapott paramétereket összevetettem a második rész adataival, hogy a levont következtetések megbízhatóságát ellenőrizzem. Mindkét területen 1-1 kérdéses vagy érdekes eseményt kiemelten is elemeztem.

A felhasznált matematikai módszerként – ami két csoport statisztikai diszkriminációját méri – a Mahalanobis távolságot (MD) használtam fel. Ez lehetővé tette annak eldöntését, mely – egy vagy több – paraméter esetében válik szét jobban a földrengések és a robbantások csoportja.

Az eredmények összesítésére és grafikonos ábrázolására a MATLAB programcsomagot használtam fel. Az epicentrum térképeket GMT (Generic Mapping Tools (Wessel & Smith, 1995) alkalmazásával készítettem. A szeizmikus hullámok fázisainak amplitúdóit és az epicentrumok meghatározási hibáját a SEISAN (Havskov & Ottemoller, 1999) földrengés feldolgozó szoftver segítségével határoztam meg. A hullámforma korreláció vizsgálatokat MATLAB környezetben használt programcsomag segítségével végeztem el (Reyes & West, 2011). A statisztikai elemzéseket a robbantások és földrengések csoportjával kapcsolatban különböző paraméterkombinációk esetében szintén MATLAB program segítségével számítottam ki.

3. fejezet

Az Északi-középhegység és Szlovákia déli területén kipattant földrengések és robbantások összehasonlító elemzése

3.1. Geológiai felépítés és szeizmicitás

A vizsgált terület a ϕ=47,2°–49° szélességi, és a λ=19°–21° hosszúsági fokokon belül a Börzsöny keleti részére, a Cserhát, Mátra, Bükk valamint az Aggteleki-karszt vonulatára terjedt ki. Dél felől a Gödöllői-dombság és a Mátraalja határolta. Észak felől Szlovákia területén a Szlovák-érchegység és a Jávoros hegyvonulat egy része is beleesett a vizsgált területbe. A terület földtanáról a Magyar Tudománytár 1. kötetében (Mészáros & Schweitzer, 2002), valamint Budai és Konrád (Budai & Konrád, 2011), és Less (Less, 2007) egyetemi jegyzeteiben található részletes összefoglaló. Az alábbi leírás e fenti három forrás alapján készült.

Az Északi-középhegység a földtörténet ó- és középkorában képződött üledékes és gyengén átalakult kőzetekből áll, amelyeket nem, vagy csak kis mértékben fednek újkori üledékes kőzetek (Bükk, Aggteleki-hegység). A nagy területet borító, vastag mészkő takarón kiterjedt karsztos felszínek jöttek létre. A területen jelentős vulkáni tevékenység is zajlott. Az andezit vulkánok lávafolyással kísért törmelékszórása a területen eltérő időkhöz kötődött. A Börzsönyben, Cserhátban és a Mátra nyugati területén 19-18 millió éve kezdődött, majd 16-14 millió éve volt a legintenzívebb, északkeleten pedig 14-12 millió évvel ezelőtt volt jelentős. Az Északi-középhegység andezit vulkánjai eltérő karakterűek. Míg a Börzsöny középső része egy hatalmas ősvulkán, a Cserhátban a láva nem érte el a felszínt, megrekedt az üledékek hasadékaiban, és csak a sok évmilliós lepusztulás után került a felszínre. A miocén végén az andezit vulkánosságot riolittufa szórás váltotta fel.

A Börzsöny aljzatát északon kristályos kőzetek és gránit, délen triász mészkő és dolomit alkotja. Ezekre több rétegben harmadidőszaki üledékes kőzetek rakódtak, majd a vulkanikus tevékenység révén nagyrészt vulkáni kőzetek (andezit, dácit) alkotják. A Mátra formáit

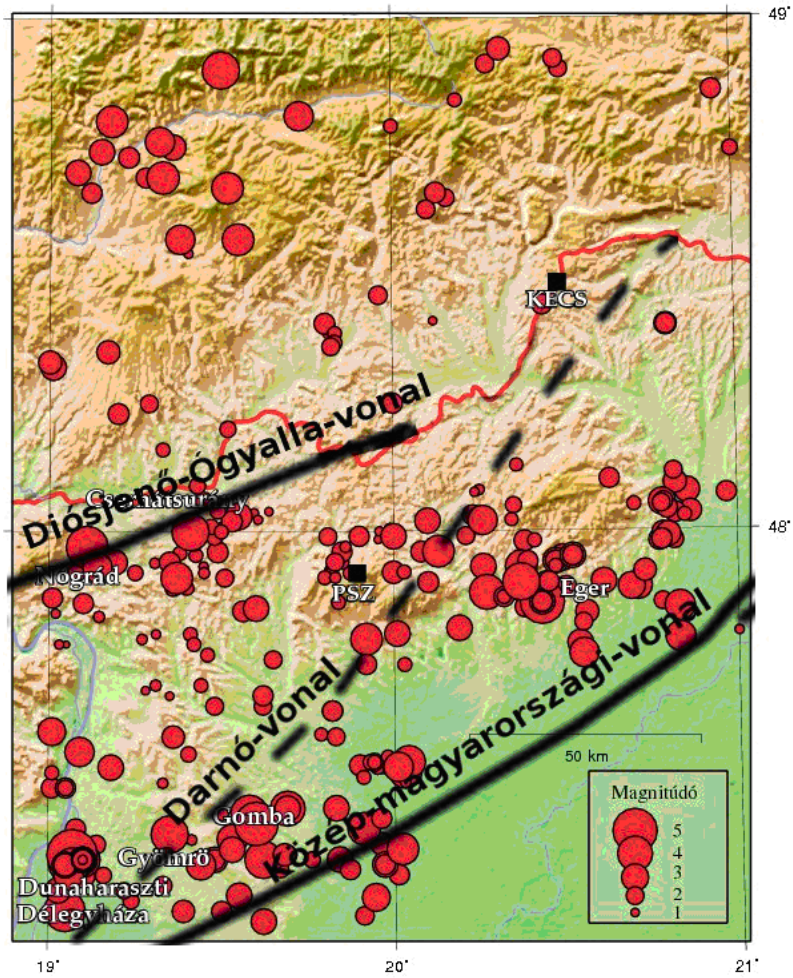
a miocén vulkánosság óta már jelentősen átalakították az utólagos szerkezeti mozgások és az erózió. Általában több 100 méter vastag kőzetanyag pusztult le a vulkáni hegyekről.

A Mátra délkeleti részén húzódik a Darnó-vonalnak nevezett, a Keleti-Mátrán északkelet-délnyugat irányban áthaladó törésrendszer. A vető névadója a Recsk és Sirok között emelkedő Darnó-hegy. A Bükk, az Upponyi és Szendrői-hegység szerkezetileg a Bükki szerkezeti egységhez tartozik, amelyet ez a nagy jelentőségű Darnó vonal határol a Dunántúli-középhegységi-egységtől. A Bükk hegység a Darnó-vonal menti ÉK-i irányú eltolódással a miocén kezdetén került az Aggteleki-hegység szomszédságába. A Bükk szerkezetét triász karbonátok, valamint a triász közepén és a felső-jura korban keletkezett magmatitok alkotják. A miocén végére a Bükk 300-400 métert emelkedett, így nagy magasságú, mélyülő völgyekkel tagolt hegységgé alakult, és elkezdődött a máig tartó karsztosodás és a vízhálózat kialakulása. Az Aggteleki-hegység szintén karsztosodó karbonátos kőzetanyaga főként a triász időszakban a Tethys-óceánban ülepedett le.

A Kárpát-medence litoszféra aljzata nem egységes, az északi és déli része jelentős tektonikai mozgások során kerültek egymás mellé. A Kárpát-medence aljzatának ÉNy-i része az Afrikai, DK-i területe az Eurázsiai lemezhez tartozott (Mészáros & Schweitzer, 2002). A két területet a Közép-magyarországi-főegység választja el, ami több 10 km széles és több 100 km hosszú nyírási zóna, amit északról a Dny-ÉK-i csapású Balaton-vonal határol, amely a Zagyva-ároktól ÉK-re a Darnó-vonalban folytatódik, délről pedig a Közép-magyarországi-vonal határolja. A Darnó-vonal még a miocén elején is aktív volt. Az ALCAPA-hoz tartozó Vepori- és Gömöri-egységet az Ausztroalpi-takarórendszertől (aminek a Soproni-hegység, a Kisalföld aljzata és a Dunántúli-középhegy a tagja) a Diósjenő-Ógyalla szerkezeti vonal határolja le (3.1. ábra). Az ALCAPA név a blokk alkotóinak (Alpok – Kárpátok (északi része) – Pannónia) kezdőbetűiből jött létre.

A vizsgált területen 1900-2012.06 között regisztrált földrengések epicentrumai a 3.1. ábrán láthatók. Kiemelhető az Eger környezetében kipattant 1925-ös M_L5,0 rengést, aminek a fészekmélységét Kövesligethy módszerével makroszkópikus adatok alapján 5,3 km-nek határozták meg. Kilényi és Sefara szerint (Kilényi & Sefara, 1989) a neogén medencealjzat Ostorosnál 2 km mélyen van, és Eger felé emelkedik, ahol 0,5 km mélységben található. A területen a geomorfológiai kutatások jelenkori mozgásokat állapítottak meg. A 3.1. ábra alapján a Bükk déli oldalán Eger és Miskolc térsége az egyik legaktívabb terület. A rengések az emelkedő Bükk hegység és a D-i peremén süllyedő árok találkozásánál keletkeztek (Schweitzer, 1993). 2010-ben is hat érezhető rengés történt Miskolc Bükkaranyos térségében, amik közül a legnagyobb M_L=3,0 volt. A terület szeizmikus aktivitása pedig a 2013. év elején jelentősen megemelkedett az M_L=4,8 hevesi és az M_L=4,2 érsekvadkerti rengések, és az azokat követő számos utórengés miatt.

Gomba területén is több jelentős földrengés pattant ki a múlt században: 1908-ban egy MSK=6-os intenzitású, 8 km fészekmélységű, 1914-ben egy hasonló méretű rengés, amit több utórengés követett. E rengések a Bugyi-magasrög északi pereméhez kapcsolhatók, az alsónémedi-süllyedék szélén keletkeztek. Itt a neogén medencealjzat 2 km mélységben van (Kilényi & Sefara, 1989). A Bugyi-magasrög déli részén Pilis község környezetében is történtek kisebb földrengések. Ezeknek a rengéseknek a fészekmélységét adatok hiányában



3.1. ábra. *Az Északi-középhegység területének szeizmicitása (1900-2012.06) és a területen áthaladó nagyszerkezeti tektonikus vonalak*

nem sikerült meghatározni. Itt a neogén medencealjzat 5 km-es távolságon 4 km-t mélyül. E terület aktivitása 1942-ben megélénkült, és a rengések területi eloszlására jellemző, hogy a Bugyi-magasrögök déli, majd északi részén keletkeztek a rengések. Majd ismét az északi részen, Tápiósüly-Szecső környezetében tapasztalták a nagyobb MSK6-os rengést (Szeidovitz & Tóth, 2000).

Az 1956. évi dunaharaszti M_L=5,6 főrengést több előrengés előzte meg, amelyeket elsősorban Budán és Monor-Gomba környezetében észleltek. A főrengés súlyos épületkárokat okozott, és egy haláleset valamint sebesülések is történtek. Csomor és Kiss (1962) 8°-os epicentrális intenzitást állapítottak meg. Szeidovitz makroszeizmikus adatok újrafeldolgozása során, Kövesligethy módszerrel 4 km-es fészekmélységet állapított meg (Szeidovitz, 1986). A terület a korábbi évszázadokban is aktív volt, Schweitzer geológiai elemzése szerint Dunaharaszti és Taksony között DK-nek induló lapos mélyedés az utolsó interglaciális Würm alatt megsüllyedt, amely mozgás a pleisztocén-holocén határán (10000 éve) ismét megújult, és az óholocén Duna egyik mellékágát DK felé, Sári-Alsódabas felé irányította, ahonnan a Kalocsai-süllyedék hatására Dél felé vette útját (Schweitzer, 1993). A dunaha-

raszti rengések keletkezésének kiváltó oka a Némedi-süllyedék mozgása lehetett.

A területen az utóbbi évek egyik legnagyobb M_L=4,1 rengése Gyömrő területén történt 2006 szilveszterén, amit 1500-2000 km^2 területen éreztek, és az esemény szinte pont a Darnó vonal mentén történt. 2013. február 16-án Heves község közelében M_L=3,5 EMS 5-6 (Európai Makroszeizmikus Skála) előrengés pattant ki, amit 2013. április 22-án M_L=4,8 EMS=6 főrengés követett. Ezután számtalan kisebb utórengést regisztrált a község területén elhelyezett ideiglenes állomás. A legnagyobbak 2013. május 18-án M_L=2,9 EMS=5 és május 24-én M_L=2,0 EMS=4 és június 3-án M_L=2,4 EMS=5 voltak. 2013. június 5-én Érsekvadkert közelében M_L=4,2 EMS=5-6 földrengés pattant ki, aminek legnagyobb utórengése június 11-én M_L=2,5 EMS=4-5 történt ugyanitt, majd július 2-án Szátok térségében M_L=3,5 EMS=5 pattant ki.

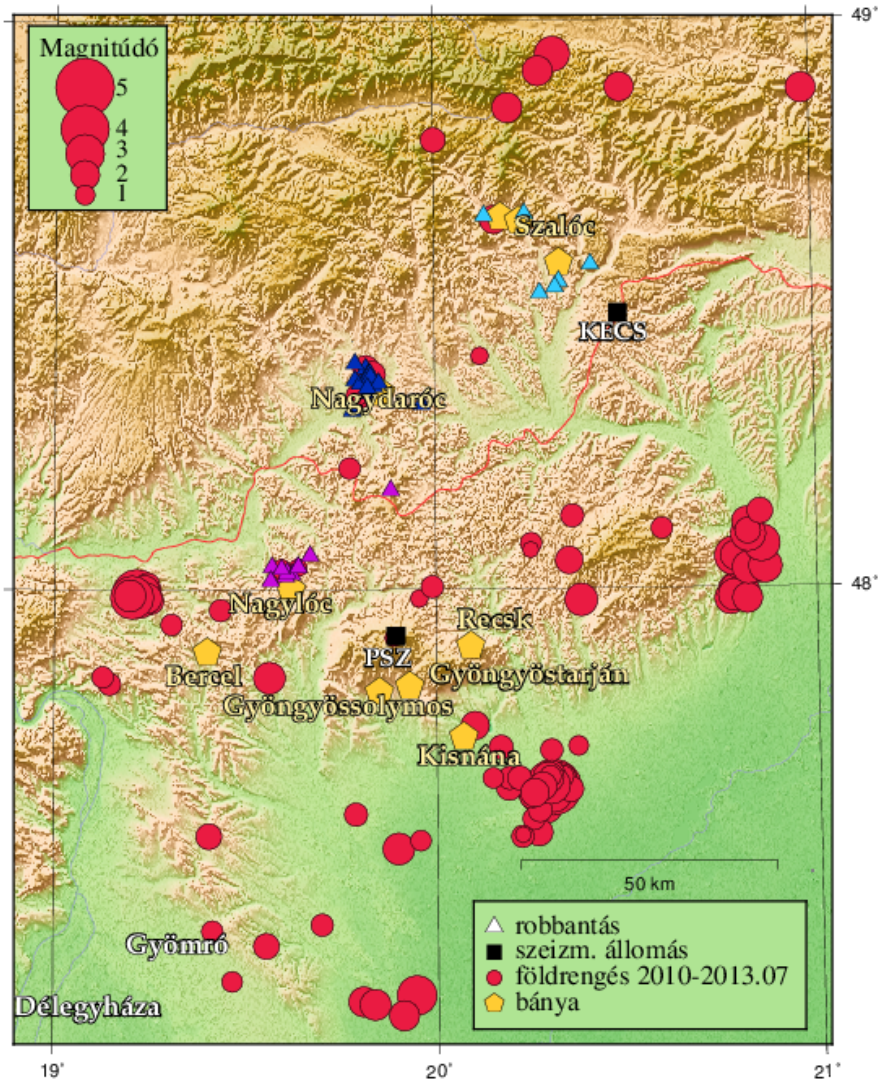
3.2. Az Északi-középhegység területén vizsgált földrengések és bányarobbantások paraméterei

Összesen 204 szeizmikus eseményt elemeztem, és az előzetes ismeretek alapján ezek közül 104-et tekintettem földrengésnek és 100-at robbantásnak. Az elemzésben szereplő földrengések a vizsgált területen 2010.01 és 2013.07 között az összes meghatározott eseményt tartalmazták. Ezek közül 17 rengés érezhető is volt, a legnagyobb elérte az EMS=5 fokot. A legkisebb rengés M_L=0,8 volt. Magyarország e területén a szeizmológiai állomások száma alapján a határmagnitúdó M_L=1,0 körül van (Tóth et al. 2005). A bányák, a szeizmológiai állomások elhelyezkedése, valamint a földrengések és robbantások számított epicentrumai a 3.2. ábrán láthatók.

A vizsgált területen nyolc bánya robbantásait regisztrálta rendszeresen a PSZ szeizmológiai állomás. Ezek a berceli, gyöngyössolymosi, gyöngyöstarjáni, kisnánai, nagylóci és recski, valamint Szlovákia területén a nagydaróci és a szalóci bányák voltak. A legközelebbi bánya 10 km-re, a legtávolabbi 83 km-re volt az állomástól. A robbantások paramétereit az F.1. táblázat, és a földrengésekét a F.2. táblázat tartalmazza.

Három bánya robbantásait több állomás is detektálta, ezek epicentrumának kiszámítása a földrengésekével megegyező módon történt. Ezek a nagylóci, és a Szlovákiában található nagydaróci és szalóci bányák robbantásai. A 3.2. ábrán ezeket a robbantásokat különböző színű háromszögekkel jelöltem (a számított epicentrumok helyén), amik nem esnek pontosan a bánya helyére. A szlovákiai Szalóc térségében még 2 másik bánya is működik Lubeny és Jalsva községeknél. A „szalócinak” vett események pontos forrása akár a szomszédos 2 bánya is lehetett, ezt a bányák jelentésének hiányában nem lehetett eldönteni.

A hazai robbantások többségének időpontját a budapesti és miskolci bányakapitányság segítsége révén sikerült megtudnom, ezek a berceli, gyöngyössolymosi, gyöngyöstarjáni valamint a kisnánai bányához tartozó robbantások. Ezeket a szeizmikus eseményeket csak a PSZ állomás detektálta, így nem történt hipocentrumszámítás, de eredetüket tisztázva, jellemzőiket felhasználtam az analízisben. A szlovákiai bányák környezetéből származó események egy részét a szlovákiai részről kapott havi jelentésekben robbantásnak jelölték (Mónus Péter tájékoztatása alapján), ezeket én is robbantásként kezeltem.



3.2. ábra. *A bányák elhelyezkedése és a földrengések epicentrum térképe a PSZ és a KECS szlovákiai állomásokkal. A robbantások számított helyét a különböző bányák esetében eltérő színű háromszögek jelzik.*

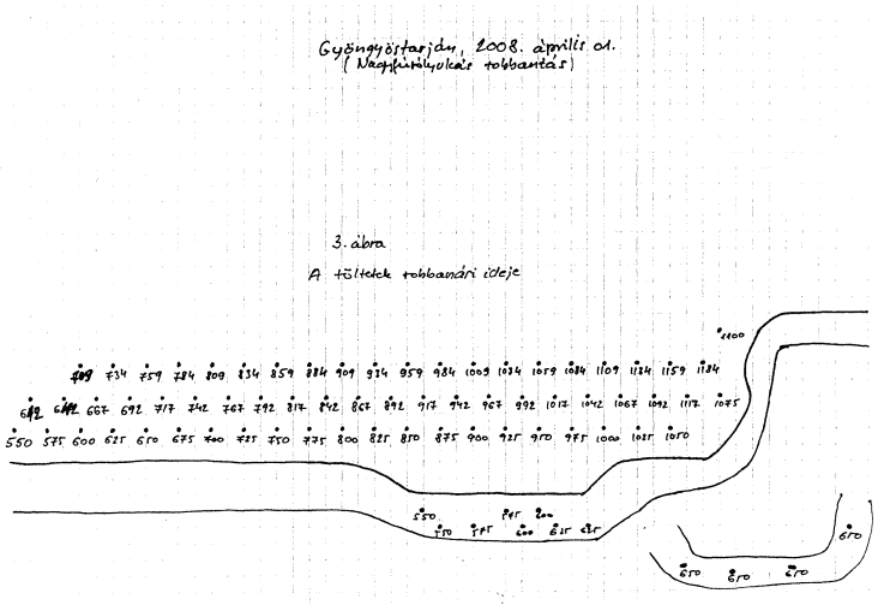
A gyöngyöstarjáni B17-es sorszámú robbantás (F.1. táblázat) számolt epicentruma nem esett a bánya területére, sőt ezt földrengésnek tekintettük korábban (Mátraverebély). Szeretném az analízis végén eldönteni, hogy tényleg robbantás volt-e. Ennek az eseménynek az epicentrum adatait a F.1. táblázatban félkövér betűkkel kiemelten jelöltem.

A nagylóci bányát 2011 végén bezárták, jelenleg peres ügyek folynak a bánya működtetése körüli adatok meghamisítása miatt. A 2011-es évből 4 robbantását sikerült a bányakapitány közlése alapján azonosítani, ezek az B87, B92, B93 és B94 események voltak. Közülük egynek (B93-Salgóbánya) a számolt epicentruma elég távol került a bányától. Még 5 további robbantásnak nem igazolt esemény epicentruma esett nagyon közel ehhez a bányához, ezeket is robbantásnak tekintettem az analízis során, és visszatérek még a dolgozat végén az osztályzásuk felülvizsgálatára. Ezeket a nem igazolt robbantásokat kiemelve listáztam

a F.1. táblázatban.

Az B96-os eseményt (2011.11.25 12:18) a 2011-es Magyarországi Földrengések Évkönyve robbantásnak jelölte (Szuha epicentrummal) az elsődlegesen kapott jellemzői alapján (Tóth et al., 2012). Mivel erre az időpontra sem a kisnánai, sem a gyöngyössolymosi és gyöngyöstarjáni bánya sem igazolt vissza robbantást, megjelenése viszont „robbantásos" volt, bizonytalan voltam a minősítésében. 2013-év során azonban több ehhez hasonló, – és viszonylag nagy – szeizmikus eseményt is regisztráltunk, végül sikerült ez újabbakról kideríteni, hogy a recski bánya robbantásai voltak. Ezután már a bányakapitány visszaigazolta a 2011-es B96-os eseményről, hogy azt is ők robbantották. Elképzelhető, hogy még vannak olyan bányák a Mátrában vagy a Börzsönyben, ahol esetenként nagyobbat robbantanak, amik regisztrálása alapján sikerül beazanosítani a bányákat, és a további kérdéses eseményeket is elkülöníteni a földrengések közül. Munkám során 8 bányát sikerült feltérképezni, amik robbantásai „szennyezhetik" a magyarországi földrengés katalógust.

Az Északi-középhegység területének bányáiban a korábban ismertetett késeltetett robbantási technikával dolgoznak. Általában 12-30 ms-os késleltetéssel robbantják a több sorban elhelyezett tölteteket. Ezek elhelyezésére mutat példát a 3.3. ábra, ami a gyöngyöstarjáni andezit bánya 2008. április 1-i robbantási sémája. Itt a jegyzőkönyv szerint 25 ms-os késleltetéssel 60 db és 67 ms-os késleltetéssel 43 db robbantás történt. A B98-as eseményt kiemelve jelöltem a F.1. táblázatban, mert földrengésként szerepelt a havi jelentésben, de az összehasonlító analízis alapján sikerült igazolni, hogy robbantás volt.



3.3. ábra. *A gyöngyöstarjáni bánya robbantási sémája és a töltetek robbantási ideje*

A kisnánai andezit bányában 3-4 sort robbantottak alkalmanként változó lyukszámmal a „megfogható" területek eltérő volta miatt. A teljes lyukszám átlagosan 50 db volt, és a késleltetési időket a robbantólyukak között 25 ms-ra időzítették, ami általában nem változott. A késleltetés a sorok között eltérhetett egymástól (75-100 ms). Egy robbantás során összesen átlagosan 4000-6000 kg robbanóanyagot használtak fel. (Tóth Péter kisnánai

bányakapitány szóbeli közlése alapján).

3.3. Elkülönítés a fészekparaméterek alapján

3.3.1. A hipocentrum koordinátái (mélység és epicentrum)

A fészekmélység természetesen földrengés esetén is lehet felszínközeli, de bányarobbantás esetében mindig 0 km-t várunk. A 100 elemzett robbantás közül 37-nek és 101 földrengésnek az hipocentrum meghatározása több állomásra beérkezett fázisadatok alapján, a HYPO71PC program segítségével történt (Lee & Lahr, 1975). A fészekmélységek eloszlását a 3.1. táblázatban összesítettem. A fészekmélység eloszlást csak azokon a robbantásokon tudtam elemezni, amikre történt epicentrum számítás. Földrengés esetben csak 5 volt felszínközeli, a többség 1-10 km közé esett. A robbantások 16%-a esetében a számított fészekmélység 1 km, vagy annál mélyebb volt.

3.1. táblázat. *A fészekmélységek eloszlása*

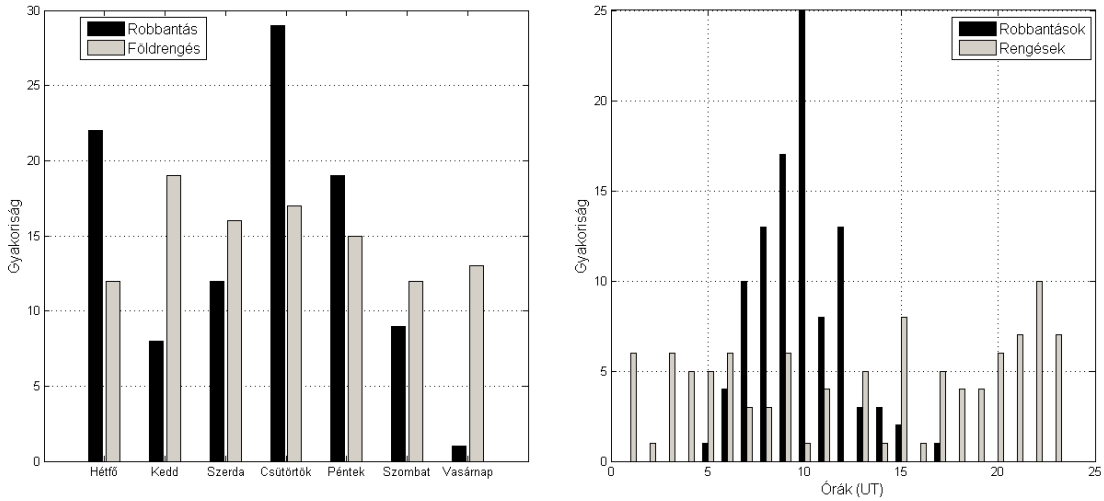
besorolás	0 km	1-10 km	11-20 km
robbantás	31	6	0
földrengés	5	89	7

A következő megfigyelések vonhatók le az események epicentrum adataiból:

- *A bányák 10 km-es környezetében robbantásnak nem visszaigazolt mikrorengések is előfordultak.*
- *A robbantások számolt epicentrumai a bányák körül 5-10 km körüli hibával terheltek, egy esetben kb. 30 km-es hiba adódott (B93-Salgóbánya)*
- *A földrengések 95%-ának számolt epicentruma 1 km-nél mélyebben volt, a robbantások 84%-ának fészekmélysége egyezett az elvárt 0 km-rel.*

3.3.2. Az események időbeli eloszlása

A 3.4a.-3.4b. ábrák az események heti- és napi eloszlását mutatják. A robbantások nagyrészt munkanapra estek, de 10, a robbantások közé sorolt esemény szombatra vagy vasárnapra esett. Érdekes még a hétfői és csütörtöki csúcs, ami talán a bányaművelés ritmusából adódik. A legtöbb bánya óra pontossággal tudta megadni a robbantásaik időpontját. A nappali órákban leginkább 6 h és 15 h között történtek a robbantások. A földrengések eloszlása sokkal egyenletesebb, nincs kiemelkedő nap vagy napszak.



(a) *Heti eloszlás* **(b)** *Napi eloszlás*

3.4. ábra. *Az események időbeli eloszlása: (a) heti, és (b) napi eloszlás*

A következő megfigyelések vonhatók le az események időbeli eloszlásából:

- *Az Észak-Magyarország és Szlovákia déli részén működő 8 bánya robbantásai esetében kijelölhető volt egy hétköznap 6h és 15h (UT) közé eső időablak, amikor a robbantások 88%-a történt. Ebben az időszakban történt a földrengések 36%-a. Az esemény időpontja nem ad elegendő információt a robbantások kiszűrésére.*
- *A nagylóci bányához közeli B88 esemény, – aminek eredete kérdéses – szombatra, a B93 Salgóbánya robbantás – aminek epicentruma messze esett a bányától – vasárnapra esett.*

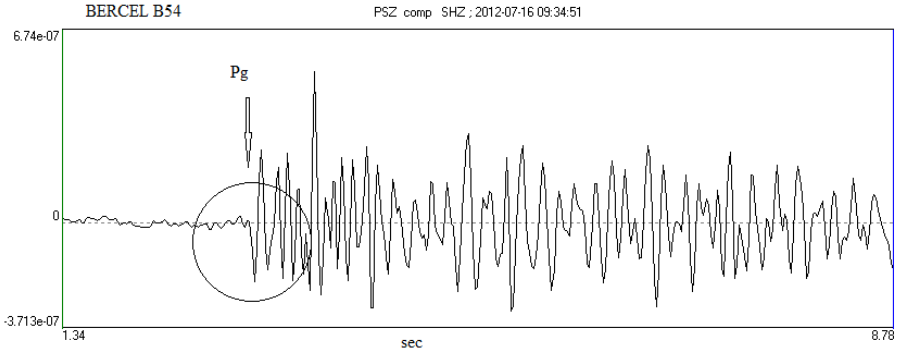
3.4. A hullámformák vizsgálata

A hullámformák már „ránézésre” sok információt szolgáltatnak. Ez a P hullám kompressziós vagy dilatációs jellege, a P és S hullámok beérkezési időkülönbsége és amplitúdóik aránya, a felületi hullámok jelenléte vagy hiánya, ill. a szeizmogram nagy hasonlósága egy korábban már látott robbantáshoz vagy földrengéshez. Ezeket a jellegzetességeket szerettem volna kvantitatív értékekben kifejezni a terület szeizmikus eseményei alapján.

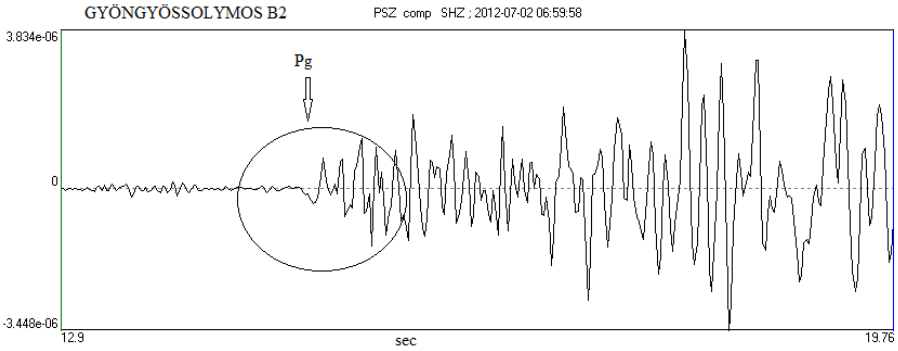
3.4.1. A P hullám beérkezési iránya

Robbantásoknál az elsőként beérkező P hullám irányát minden állomáson kompressziós jellegűnek várjuk. Elemzésem során csak a PSZ állomáson kapott beérkezéseket elemeztem. A vizsgált robbantások közül 29-nek nem volt a „beütés” iránya egyértelműen meghatározható és 39 esetben dilatációs (-) ill. 32 esetben kompressziós (+) jelleget mutatott. A 3.5. és 3.6. ábrán látható két robbantás elsőként beérkező Pg hulláma, ami az elmélettől

eltérően dilatációsnak mutatkozott. Az esetek több, mint harmada mutatott „-” beérkezést. Már kitértem ennek lehetséges okaira, miszerint elképzelhető, hogy a P hullámcsomag később beérkező dilatációs hullámvonulatát látjuk első beérkezésként, illetve a késleltetett robbantási technika okozhat az elmélettől eltérő beérkezést. A földrengések felénél a beérkezés iránya bizonytalan volt, 27 volt dilatációs és 25 kompressziós, tehát csak kicsivel volt gyakoribb a dilatációs beérkezés (3.2. táblázat).



3.5. ábra. *Berceli robbantás dilatációs Pg beérkezése*



3.6. ábra. *Gyöngyössolymosi robbantás dilatációs Pg beérkezése*

3.2. táblázat. *A P hullám beérkezési iránya*

besorolás	dilatációs (-)	bizonytalan	kompressziós (+)
robbantás	39	29	32
földrengés	27	52	25

A következő megfigyelések vonhatók le a P hullám beérkezési irányából:

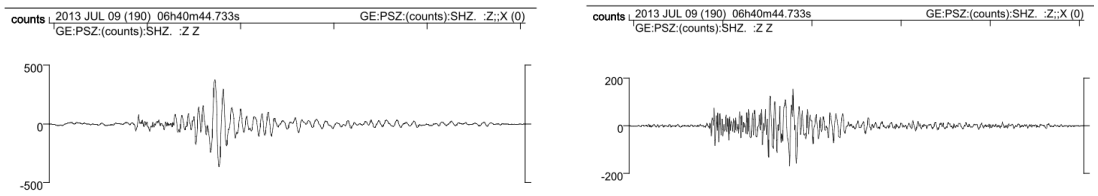
- *Nincs lényeges eltérés a két osztály esetében a P irányának eloszlása között, kb. ugyanannyi arányban mutatott „+” mint „-” irányt. A bizonytalan beérkezések aránya nagy: a robbantások harmadánál, a földrengések közel felénél nem határozható meg egyértelműen.*

- *A robbantásoknál megfigyelt sok dilatációs és a bizonytalan beérkezési irány miatt ez nem tekinthető az elkülönítés biztos paraméterének.*

3.4.2. Különböző fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata

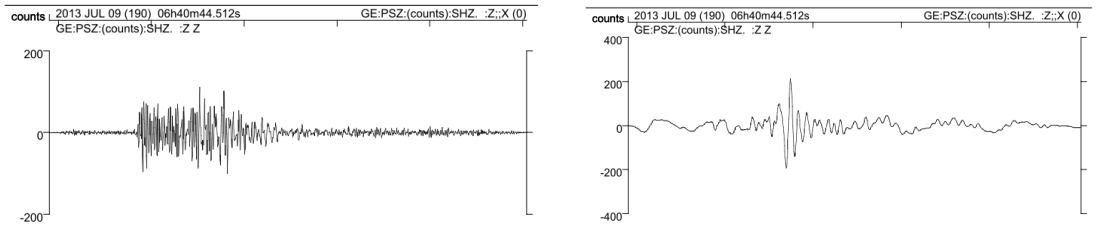
A szeizmikus események szeizmogramjain a P és S hullámok, illetve a sekély fészekmélységű eseményekre jellemző Rg hullám amplitúdóit határoztam meg. Ez utóbbi hullám a felszínközeli eseményekre jellemző. Az Rg egy felületi hullám típus, és a térhullámokkal ellentétben éles beérkezés nélküli, hosszan kiterjedő hullámvonulatot alkot. Mivel a robbantások 0 km fészekmélysége kedvez az Rg hullámok kialakulásának, azt vártam, hogy ez a paraméter segít az elkülönítésben, ezért a legtöbb amplitúdó arány meghatározásnál az egyik tag ennek a hullámnak a szűrés után kapott amplitúdó értéke volt.

A szakirodalom szerint a fázisok maximális amplitúdóit érdemes különböző frekvencia határok között elemezni. Ezért a maximális amplitúdót én különböző frekvencia sávban végzett szűrés után határoztam meg. A B12-as sorszámú gyöngyössolymosi robbantás PSZ állomáson regisztrált vertikális csatornája látható a 3.7a. ábrán az 1-4 Hz; a 3.7b. ábrán 4-7 Hz; a 3.8a. ábrán 7-10 Hz és a 3.8b. ábrán a 0,5-1,5 Hz közötti sávban történő Butterworth sávszűrés után. Ez utóbbi esetében az egész szeizmogramon leolvasható legnagyobb amplitúdó értéket vonatkoztattam Rg adatnak, annak ellenére, hogy nem mindig alakult ki ez a felületi hullám.



(a) *1-4 Hz* **(b)** *4-7 Hz*

3.7. ábra. *A B12 robbantás szeizmogramja (a) 1-4 Hz és (b) 4-7 Hz közötti sávszűrések után*



(a) *7-10 Hz* **(b)** *0,5-1,5 Hz*

3.8. ábra. *A B12 robbantás szeizmogramja (a) 7-10 Hz és (b) 0,5-1,5 Hz közötti sávszűrések után*

A szűretlen fázis maximális amplitúdójának az 50 Hz mintavételi időnek megfelelő 0-25 Hz közötti sávszélességen mért maximális érték felelt meg. A mért amplitúdó értékek „counts”-ban értendők (1 count = 1,7 nm/s). Magasabb frekvenciákon szűrve már eltűnt, vagy nehezen lett kiolvasható fázisok amplitúdó értéke, a szeizmogram elvesztette fő jellegzetességeit, a P hullám beleolvadt a zajszintbe. Mivel a különböző események mért amplitúdó értékei között több nagyságrend különbség is volt, ezért az amplitúdó értékek logaritmusát számítottam.

Az 1-4 Hz, 4-7 Hz és 7-10 Hz frekvenciák közötti szűrés után a következő P és S amplitúdó értékeket olvastam ki a hullámformákból:

1. A P hullám amplitúdója (4 adat: szűretlen és a 3 féle sávszűrés után).
2. Az S hullám maximális amplitúdója a horizontális csatorna rengés/robbantás epicentrumának irányába elforgatott radiális SHR és arra merőleges SHT komponensén (8 adat)
3. Mivel az Rg hullámban az alacsonyabb frekvenciájú összetevők dominálnak, ezért amplitúdóikat alacsonyabb frekvenciájú sávszűrés után célszerű meghatározni. Vizsgálataim során a 0,5-1,5 Hz (Zeiler & Velasco, 2009) és 0,66-2 Hz közötti (Kafka, 1990) sávszűrő alkalmazása után olvastam ki a maximális horizontális amplitúdókat (2 adat).

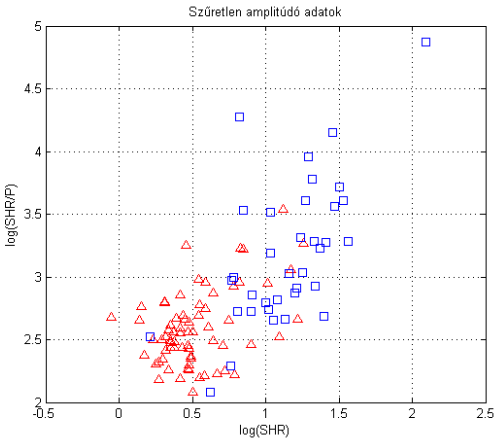
Első feladat annak eldöntése volt, hogy a különböző amplitúdó értékek közül melyek használata ad statisztikailag jobb szétválást:

1. Mely sávhatárok közötti szűrés után kapott értékek esetén?
2. Az epicentrum irányába elforgatott SHR vagy az arra merőleges SHT horizontális komponensen kapot S hullám amplitúdó esetén?
3. Az Rg fázisra a 0,5-1,5 Hz vagy 0,66-2,0 Hz közötti sávszűrés után kapott amplitúdó értékek esetén?

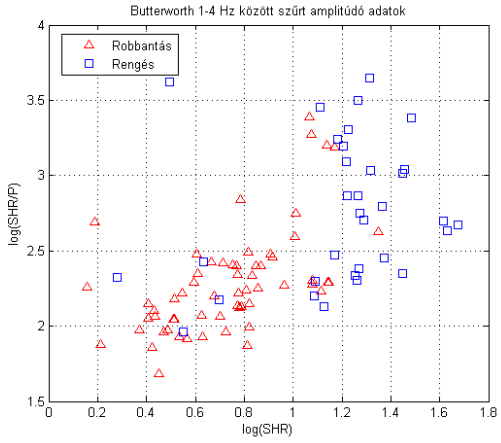
A különböző sávhatárokon szűrt és a szűretlen szeizmogramokról 5 különböző paramétert határoztam meg: $log(Rg/P)$, $log(Rg/SHR)$, $log(Rg/SHT)$, $log(SHR/P)$, $log(SHT/P)$. A szakirodalom szerint a legjobb szétválást akkor kapjuk, ha az S és P hullámok amplitúdó arányát ábrázoljuk az S logaritmusa függvényében. A legmegfelelőbb paraméterkombináció kiválasztásához a 2010 és 2012.07 közötti eseményeket, 60 robbantás és 35 földrengés adatait használtam fel. A 3.9a., 3.9b., 3.10a. és 3.10b. grafikonokon a $log(SHR)$ függvényében $log(SHR/P)$ értékeket ábrázoltam szűretlen és 3 különböző sávban szűrt regisztrátumokból kiolvasott amplitúdó értékek esetén.

A grafikonokon jól látszik a paraméterek eltolódása a különböző sávhatárokhoz tartozó adatok esetében. Mind a 4 grafikonon a két csoport között átfedés mutatkozott, és az sem egyértelmű, hogy melyiken vált szét jobban a földrengések és a robbantások osztálya. Mivel nem lehet egyszerre minden meghatározott paramétert grafikusan megjeleníteni, az MD távolság számítása segítségével kerestem meg a legjobb paraméter kombinációt. Választani kellett a különböző szűrt tartományok, az Rg szűrési tartománya és az SHR ill. SHT fázisok között.

A szűretlen és 3 eltérő sávon szűrt hullámforma adatokból kapott $log(SHR/P)$ és $log(SHR)$ értékekre az MD távolságokat a 3.11. ábrán közöltem. Szaggatott vonallal jelöltem a -4 és +4 határokat és az abszcisszán a robbantások és földrengésesek határát. A szűretlen szeizmogram adatok 55; az 1-4 Hz között szűrtek 26; a 4-7 Hz közöttiek 49, míg

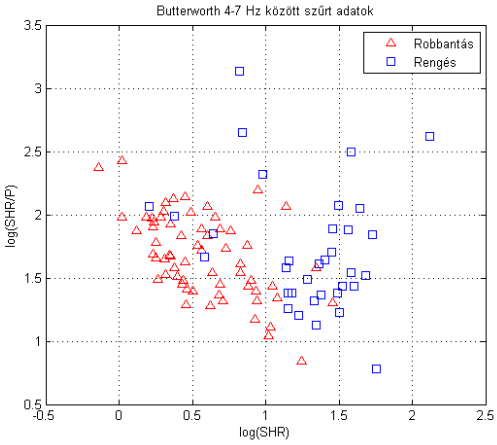


(a) *A szűretlen amplitúdó arányok*

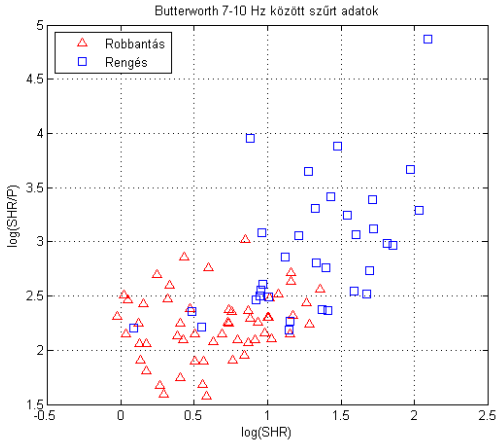


(b) *1-4 Hz között szűrt arányok.*

3.9. ábra. *Az (a) szűretlen és (b) 1-4 Hz közötti sávszűrések után kapott amplitúdó arányok*



(a) *4-7 Hz között szűrt arányok.*

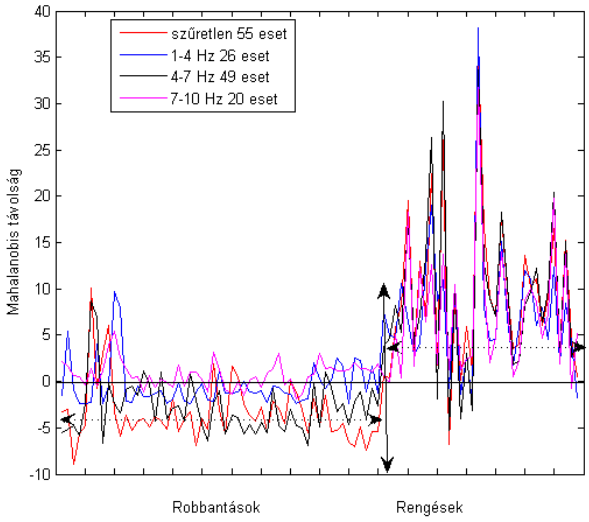


(b) *7-10 Hz között szűrt arányok.*

3.10. ábra. *Az (a) 4-7 Hz és (b) 7-10 Hz közötti sávszűrések után kapott amplitúdó arányok*

a 7-10 Hz közöttiek 20 esetben adtak megfelelő |MD|>4 elkülönülést. A szűretlen hullámformákból kiolvasott adatokat használtam fel további elemzésre, mert ezek adták a legjobb eredményeket, és tartalmazták a legtöbb adatot. Magasabb frekvenciákon szűrve ugyanis sok esetben a P hullám már beleolvadt a zajszintbe, így sok esemény kiesett az analízisből a meghatározhatatlan amplitúdó adatok miatt.

A $log(Rg/SHR)$ értékek számításnál az Rg fázis amplitúdóját két különböző sávszűrő alkalmazása után mértem ki. Az SHR amplitúdó értékek a szűretlen adatok voltak. A 0,5-1,5 Hz és 0,66-2 Hz között kiolvasott Rg értékek közül szintén a Mahalanobis távolságok meghatározásával döntöttem el a jobb elkülönülést adó értékeket. Robbantások esetében -7,4 ill. -5,9; földrengések esetében pedig 8,6 ill. 5,7 átlagos Mahalanobis távolságokat kaptam az Rg 0,5-1,5 Hz és 0,66-2,0 Hz közötti szűrt értékek esetében. A jobb elkülönülés a 0,5-1,5 Hz között kiolvasott Rg amplitúdók esetében mutatkozott.



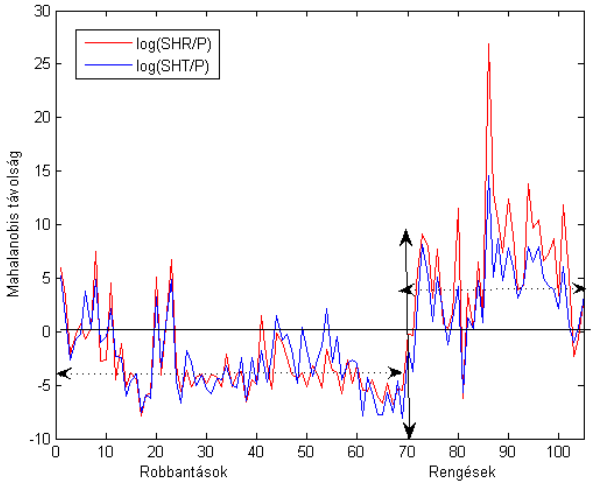
3.11. ábra. *A szűretlen és szűrt log(SHR/P) és log(SHR) adatokból kapott MD távolságok. A jelkulcsban jelöltem, hogy hány esetben kaptam |MD|>4 értéket*

Az SHR és SHT adatok elemzésével azt akartam eldönteni, hogy melyik paraméter esetén jobb az elkülönülés. A $log(SHR/P)$ és $log(SHT/P)$ adatokra számított MD távolságok a 3.12. ábrán láthatók. Szaggatott vonallal jelöltem itt is a -4 és 4 értékeket, a vízszintes skálán pedig a robbantások és földrengések adatainak a határát. A $log(Rg/SHR)$ esetében kaptam jobb statisztikai szétválást, bár nem volt nagy az eltérés. Nagyobb különbség a földrengések esetében volt az SHR és SHT adatokból származó MD értékek között, a radiális komponens javára. A további elemzések során a két horizontális csatorna közül az SHR adatokat használtam fel, mert a robbantások és a földrengések esetében is jobb statisztikai elkülönülést lehetett elérni velük.

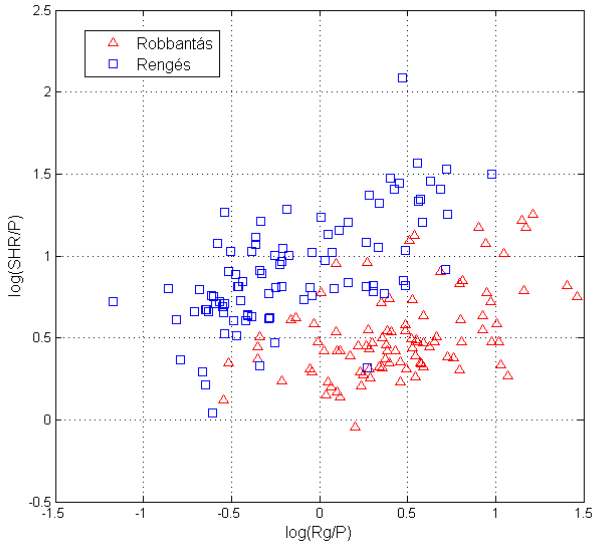
A további elemzés során már a teljes adatrendszer minden eseményét felhasználtam, ezek között 97 robbantás és 91 földrengés volt. A kiolvasott amplitúdó adatokból először külön-külön a $log(Rg)$, $log(Rg/P)$, $log(Rg/SHR)$, $log(SHR)$ és $log(SHR/P)$ értékek felhasználásával, majd ezeket a paramétereket együtt véve is meghatároztam az MD távolságokat. Az egyik részeredmény a $log(SHR/P)$ vs. $log(Rg/P)$ függvényében a 3.13. ábrán látható. Az MD távolságok értékét a különböző paraméterkombinációk esetében a 3.14. ábra mutatja.

A $log(Rg)$, $log(Rg/P)$, $log(SHR/P)$ nem adott szignifikáns statisztikai elkülönülést, 0 érték körül mozogtak az adatok. A $log(Rg/SHR)$ esetében már jobban elvált egymástól a két populáció. A paramétereket együtt véve a rengésekre számított statisztikai távolságok megnőttek, míg a robbantások esetében már csak kicsit változtak. A „nem elkülönülő” sávban maradt (-4 és 4 között) 10 rengés és 29 robbantás. A legtöbb esetben a berceli, gyöngyössolymosi és recski robbantások között voltak e bizonytalan esetek.

A rengések közül az EQ25 és EQ42 események mutattak nem „földrengés” jelleget. Ezeknek az eseményeknek az eredetére a következő fejezetben leírt hullámforma keresztkorreláció elemzés adott eredményt, mivel szeizmogramajaik a gyöngyössolymosi robbantásokéhoz



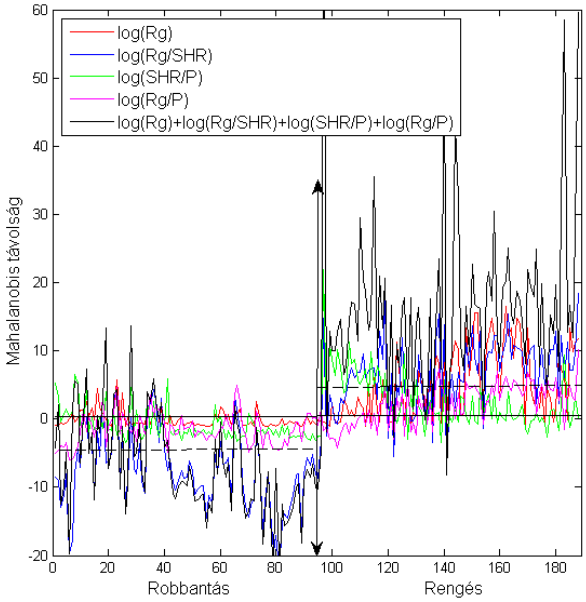
3.12. ábra. *A log(SHR/P) és log(SHT/P) adatok felhasználásával kapott Mahalanobis távolságok*



3.13. ábra. *A log(SHR/P) vs. log(Rg/P) függvényében*

voltak hasonlóak. A másik nem „földrengés" jellegű esemény az EQ48 sorszámú földrengés volt MD=-8,2 értékkel. Az epicentruma nagyon közel esett a nagydaróci bányához, robbantás lehetett ez is. A másik kérdéses földrengés az EQ50, aminek epicentruma szintén e bányához volt közel, de MD=9,3, tehát földrengésenk tekinthető. A Szalóci bánya területére került EQ32 esemény besorolása az MD értékek alapján MD=3,36 bizonytalannak tekintendő. A 10 „nem elkülönülő" sávban maradt földrengés közül 4 esetében indokolt azokat robbantásnak tekinteni.

Észrevehető, hogy a különböző paraméterekből számolt MD értékek sokszor egymással szinkronban változtak. Ez annak köszönhető, hogy a különböző paraméter kombinációk esetében is (részben) ugyanannak a fázisnak az amplitúdó adatai szerepeltek.



3.14. ábra. *Az MD távolságok különböző amplitúdó adatok alapján külön-külön és együtt*

A $log(Rg)$, $log(Rg/P)$, $log(Rg/SHR)$, $log(SHR)$ és $log(SHR/P)$ értékek alkalmas voltát a robbantások és földrengések elkülönítésére úgy verifikáltam, hogy véletlenszerűen kihagytam 4-4 eseményt mindkét csoportból. Ezen „ismeretlen" besorolású események MD értékei a megmaradt 2 csoporttól helyes besorolást adtak.

Viszgálataim alapján a következő megfigyelések vonhatók le a PSZ állomáson regisztrált események amplitúdó adataiból:

- *A szűretlen (0-25 Hz közötti) amplitúdó adatok adták a legjobb elkülönülést.*
- *A radiális irányba elforgatott SHR amplitúdó adatokkal lehetett elérni nagyobb MD távolságokat.*
- *Az Rg amplitúdó adatok a 0,5-1,5 Hz között szűrt adataival lehetett elérni nagyobb MD távolságokat.*
- *A $log(Rg/P) + log(SHR)$ amplitúdó arányok nem adtak elegendő statisztikai elkülönülést.*
- *A $log(Rg/P) + log(SHR/P) + log(Rg/SHR) + log(Rg)$ amplitúdó arányok együtt, a robbantások 70%-ában és a földrengések 90%-ában adtak elegendő statisztikai elkülönülést.*

3.4.3. Hullámformák hasonlósága

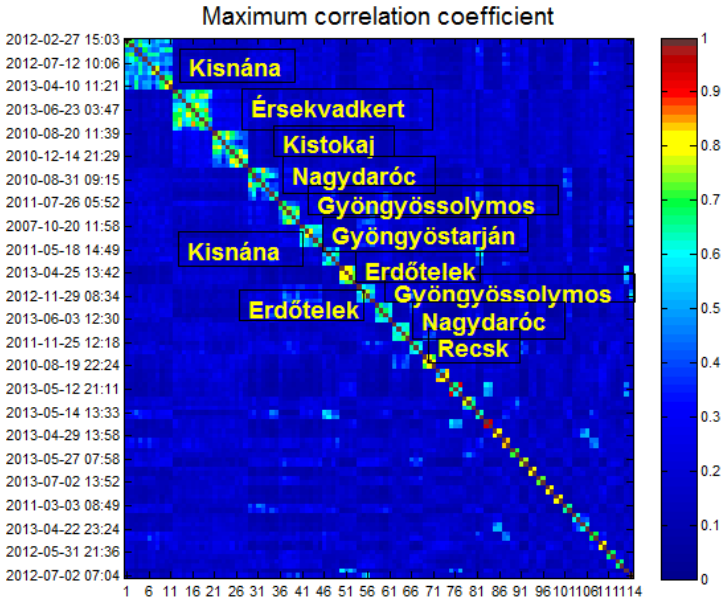
Vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy az azonos bányákban végzett robbantások szeizmogramjai nagyon hasonlítottak egymásra. Ezért ha egy bizonytalan eredetű esemény ha-

sonlított valamely ismert bánya korábbi robbantásihoz, akkor ez segített annak besorolásában. A hullámformák hasonlóságának vizsgálatára 201 esemény É-D csatornájának 25 másodperces hullámformáját használtam fel. Azért a horizontális csatornát választottam, mert ezeken a később beérkező S hullámok nagyobb amplitúdóval jelentkeztek, ezért jobban használhatók a hullámforma elemzésre. A választott időablak az S coda – azaz az S hullám amplitúdóban lecsengő vonulatát – és az Rg hullámcsomagot is tartalmazta már.

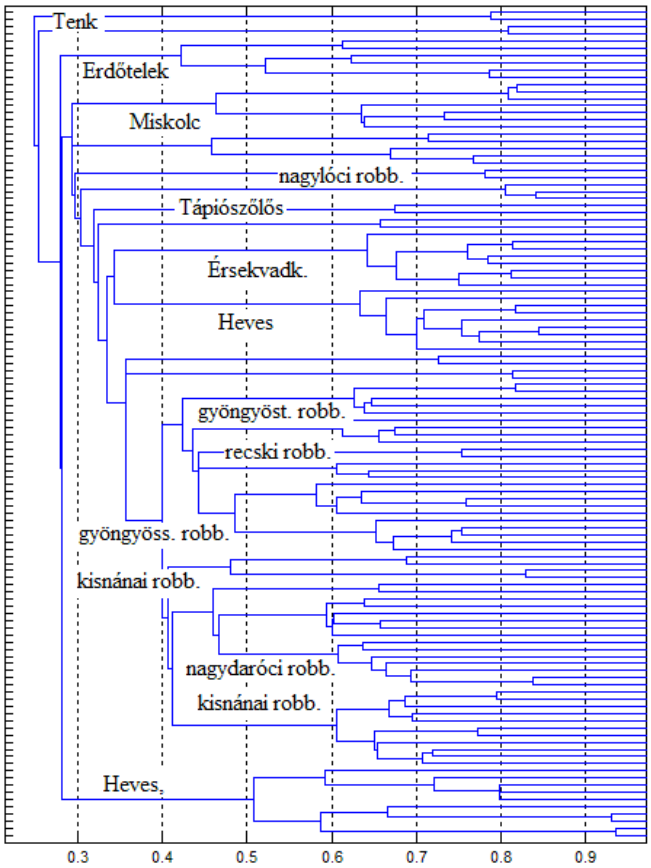
A kritikus korrelációs együttható értéket, ami fölött hasonlónak tekintettem két eseményt $c_{xy} = 0,6$-nak választottam, ami nem túl szigorú feltétel. A szeizmogramokat 0,5-20 Hz között Butterworth sávszűrővel megszűrtem, hogy a nagyperiódusú zavaró jeleket eltávolítsam. Az elemzés során a szeizmogram párokat egymáshoz képest eltolva, megkerestem a maximálisan kapható korrelációs együttható értékét, és ezeket használtam fel az eredmény vizualizációjára. A korrelációs mátrix a 3.15. ábrán, a hasonló események dendrogramja a 3.16. ábrán látható.

Összesen 116 esemény mutatott (204 közül) valamely másik eseménnyel a kritikus értéknél (c_{xy}=0,6) nagyobb hasonlóságot. Ezek közül az 5 legnagyobb klaszter a 3.17.-3.20. ábrákon látható. A 3.21. ábra a gyöngyössolymosi robbantások legnagyobb, 5 elemű klaszterét mutatja, ami azért jelentős, mert egy korábban földrengésnek tekintett esemény (EQ25: 2011.07.26, Mátraszentimre), több 2013-as igazolt robbantásokhoz hasonlít a kritikus érték felett. Egy másik földrengés (EQ42: 2012.10.29, Detk) is közös klaszterbe került további gyöngyössolymosi robbantásokkal. Ezek az események tévesen kerültek korábban a földrengések közé. A 3.22. ábra a recski bánya robbantásainak egy 3 elemű klaszterét mutatja, ami azért tanulságos, mert a B96 sorszámú 2011.11.25-én végrehajtott korábban egyik bányához sem köthető robbantás itt két, 2013-as igazolt bányarobbantással került egy csoportba, eredetét sikerüt e bányához kötni.

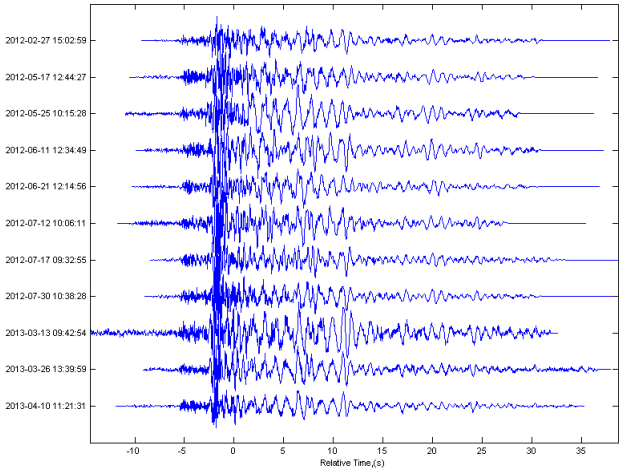
A hullámformák hasonlósága szerint egy-egy 11, 9, 8, 7 ill. két 5 elemű, valamint hat 4 elemű klaszter adódott. Öt 3 elemű és további tizenhat 2 elemű csoport alakult még ki. A kisnánai robbantások a legnagyobb, c1 klasztere mellett 4 további kisebb csoportot alkottak. A nagydaróci bánya robbantásai 3, a gyöngyössolymosi, berceli, gyöngyöstarjáni és recski robbantások 1-1 klasztert hoztak létre. A nagylóci bánya robbantásai közül egy 3 és egy 2 elemű csoport jött létre. Az előbbi azért fontos, mert 2 kérdéses eredetű esemény (B89; B90) egy igazolt robbantással (B87) mutatott nagy hasonlóságot. Valószínű tehát, hogy mindkét esemény robbantás volt. A szalóci bányavidék robbantásai nem alkottak egy klasztert sem. A földrengések összesen 17 hasonlósági csoportba rendeződtek.



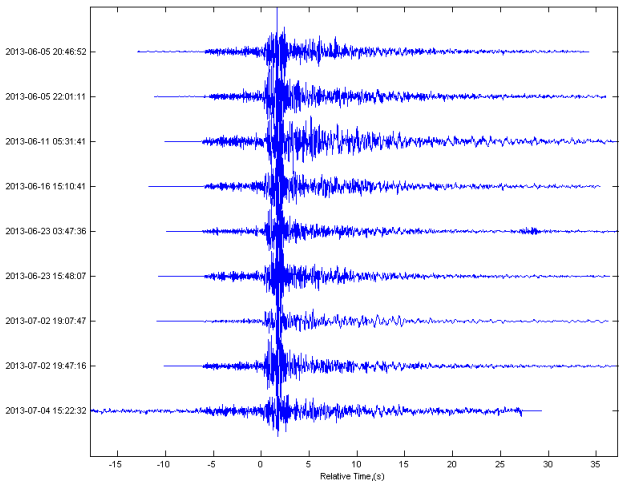
3.15. ábra. *Rendezett korrelációs mátrix, a hasonló események eredetének feltüntetésével*



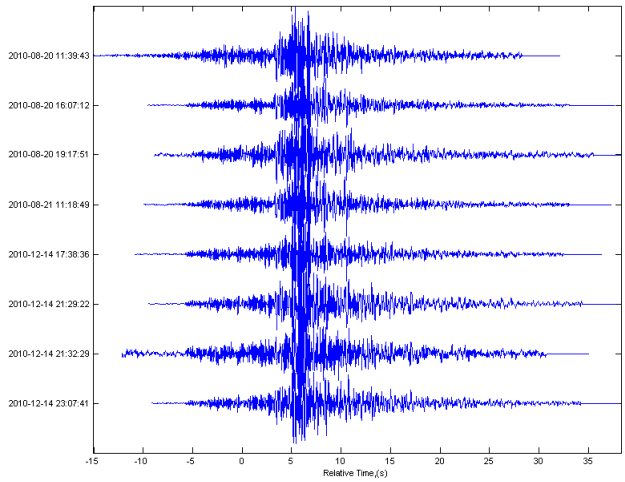
3.16. ábra. *A $c_{xy} > 0,6$ események dendrogramja, a jelentősebb klaszterek feliratozásával*



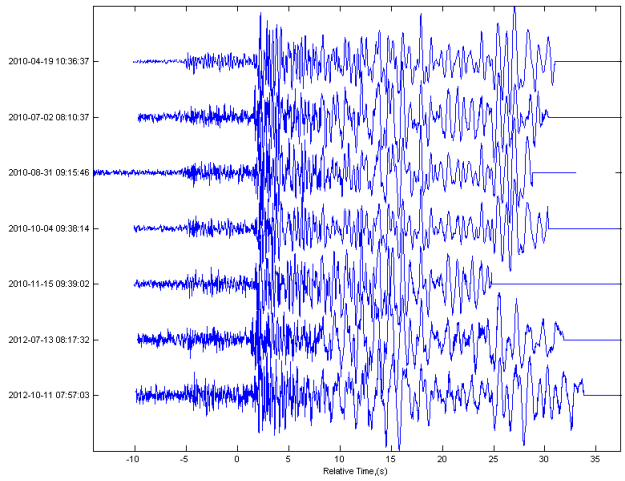
3.17. ábra. *A c1 klaszter: 11 hasonló kisnánai robbantás szeizmogramja*



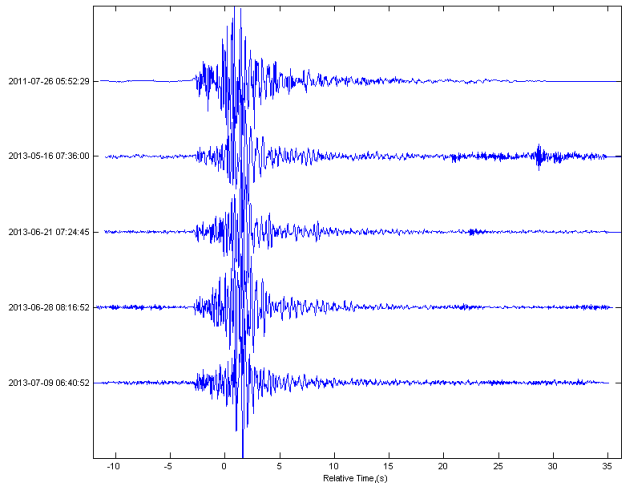
3.18. ábra. *A c2 klaszter: Érsekvadkert térségének 9 hasonló földrengése*



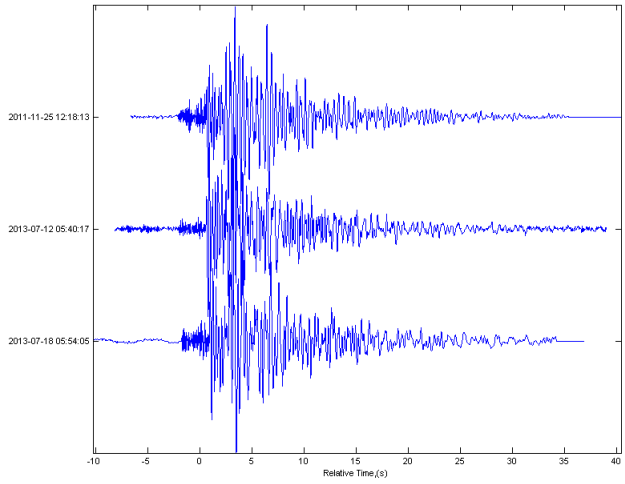
3.19. ábra. *A c3 klaszter: A Felsőzsolca Bükkaranyos térségének 8 hasonló földrengése*



3.20. ábra. *A c4 klaszter: 7 nagydaróci hasonló robbantás hullámformája*



3.21. ábra. *A c5 klaszter: 5 gyöngyössolymosi hasonló bányarobbantás szeizmogramja*



3.22. ábra. *A c13 klaszter: 3 recski hasonló bányarobbantás hullámformája*

A következő események alkottak c_{xy}>0,6 együttható feltétellel klasztereket:

- *Kisnána robb. I*: B33, B35, B36, B37, B38, B39, B40, B41, B43, B44, B45;
- *Kisnána robb. II*: B23, B25, B26;
- *Kisnána robb. III*: B46, B50;
- *Kisnána robb. IV*: B48, B49
- *Gyöngyössolymos robb. I*: QE25, B7, B9, B10, B12;
- *Gyöngyössolymos robb. II*: QE42, B4, B5, B6
- *Gyöngyöstarján robb. I*: B16, B20, B15, B18, B19
- *Recsk robb. I* B96, B99, B100;
- *Recsk robb. II* B97, B98
- *Nagydaróc robb. I*: B59, B61, B62, B63, B64, B76, B77;
- *Nagydaróc robb. II*: B68, B70, B78;
- *Nagydaróc robb. II*: B65, B69
- *Bercel robb.* B55, B57;
- *Nagylóc robb. I*: B87, B89, B90;
- *Nagylóc robb. II*: B93, B94
- *Erdőtelek I*: EQ58, EQ67, EQ82, EQ104;
- *Erdőtelek II*: EQ81, EQ98;
- *Erdőtelek III*: EQ65, EQ72;
- *Erdőtelek IV*: EQ73, EQ84;
- *Erdőtelek V*: EQ54, EQ55
- *Miskolc*: EQ3, EQ4, EQ5, EQ6;
- *Miskolc-Kistokaj*: EQ7, EQ8, EQ9
- *Érsekvadkert*: EQ87, EQ88, EQ89, EQ91, EQ94, EQ95, EQ99, EQ100, EQ102
- *Bükkaranyos*: EQ10, EQ11, EQ12, EQ13, EQ16, EQ17, EQ18, EQ19
- *Tápiószőlős*: EQ30, EQ43, EQ45
- *Tenk I*: EQ59, EQ60, EQ61;
- *Tenk II*: EQ75, EQ80, EQ96;

- *Tenk III*: EQ101, EQ103
- *Boconád*: EQ76, EQ85
- *Jászdózsa*: EQ22, EQ24
- *Szlovákia I*: EQ50 EQ97;
- *Szlovákia II*: EQ33 EQ34

Összesen 104 földrengés és 100 robbantás szeizmogramját elemeztem, ebből 58 földrengés és 56 robbantás volt hasonló valamely másik eseményhez, ami a rengések és a robbantások 56-56%-a. Részletesebben megnézve 28 kisnánai robbantás szeizmogramja közül 18 került bele 4 különböző klaszterbe.

A kritikus korrelációs együttható értékét c_{xy}=0,5-re csökkentve még mindig nem keveredtek a robbantások közé földrengések. Ekkor a robbantások 84%-a és rengések 60%-a került bele különböző csoportokba. A c_{xy}=0,6 esetén kialakult klaszterek részben bővültek, illetve összeolvadtak. A kisnánai 28 robbantás 4 csoportjába most 24 esemény került. A földrengések esetében érdekes, hogy ugyanarról a szűk területről származó események több klaszter is alkottak.

Kiemelném még, hogy a földrengések adatai között (F.2. táblázat) három földrengés hipocentrum paramétere hiányzott. Ezeknek nem sikerült meghatározni a fészkét, de hullámformái használhatók voltak a korrelációs számításra. Mindhárom rengés – EQ97, EQ101, EQ102 – tagja lett 1-1 földrengéses klaszternek. Az ismert hipocentrummal rendelkező párhoz közel lehetett ezeknek az eseményeknek a forrása.

Az itt leírt korrelációs elemzés a Magyar Geofizika folyóiratban is megjelent (Kiszely & Győri, 2013).

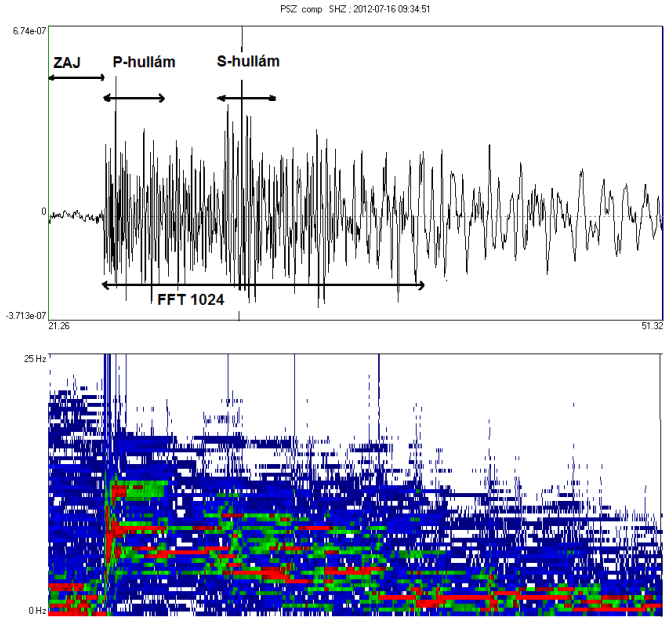
A következő megfigyelések/következtetések vonhatók le a hullámformák hasonlóságának elemzéséből:

- *A különböző bányák robbantásai klaszter(eke)t alkottak.*
- *A földrengések is több klaszterbe rendeződtek, de az egy klaszteren belüli események epicentrumai közel estek egymáshoz. A miskolci, hevesi és érsekvadkerti utórengések is hasonlósági csoportokba rendeződtek. Ezeknek a rengések epicentrumai nagyon közel estek egymáshoz, időben pedig maximum néhány hónap különbséggel pattantak ki.*
- *A csoportok elemei eltérő magnitúdójú eseményeket tartalmaztak.*
- *A robbantások nem keveredtek össze a földrengésekkel c_{xy}=0,5 esetén sem.*
- *A recski, nagylóci és gyöngyössolymosi klaszterek esetében korábban földrengésnek tekintett, vagy ismeretlen eredetű robbantást sikerült azonosítani.*
- *Létrehozva az egyes bányákhoz tartozó hullámforma adatbázist, és azt az újabb eseményekkel bővítve lehetővé válik a robbantások hatékony kiszűrése (kiegészítve a bányakapitányságoktól kapott információkkal).*

- *Annak ellenére, hogy egy adott bánya esetében a robbantás szeizmikus hullámai mindig hasonló kőzetrétegeken hatoltak át, nem minden azonos bányából származó robbantás volt egymáshoz hasonló a kritikus érték felett. A robbantások végrehajtása során használt eltérő mennyiségű robbanóanyag és töltet elrendezés egyedi hullámformákat hozott létre.*

3.5. A spektrumokból kapott adatok

A szakirodalom szerint a spektrumok vizsgálata nagyon sokféleképp történhet. Elemezhetjük csak a P vagy S hullámcsomagot rövidebb időtartományt vizsgálva, vagy hosszabb időablakot véve a teljes hullámvonulatot. Vizsgálhatjuk a vertikális, vagy a horizontális csatornák, esetleg a két utóbbi elforgatott adatait. A szakirodalomban különböző frekvencia sávokban vett spektrum teljesítményeket használnak diszkriminációs paraméterként. A dolgozatban ezért én is több különböző frekvenciatartományt elemeztem. A spektrumokat a P hullám beérkezésétől számítottam. Egy P és S hullámot is tartalmazó időablakot a 3.23. ábra mutatja. Az 1024 pontos FFT 20,48 s időtartamú szeizmogramot érint; a PSZ állomás rövidkomponensű csatorjának 50 Hz-es mintavételi frekvenciájából adódóan a spektrum felső határa 25 Hz. Az ábrán a szeizmogram spektrogramja is látható, amin a spektrum időbeli változása nyomon követhető. A teljesítmény értékeket kék-zöld-piros színek mutatják (a piros szín a nagyobb értékeket jelzi).



3.23. ábra. *Az EQ38 földrengés szeizmo- és spektrogramja*

A spektrumokból a következő paramétereket/jellemzőket határoztam meg:

1. A spektrum csipkézettsége (1024 pontos simított FFT; vertikális csatorna)
2. Bináris spektrum (128 pontos FFT; vertikális csatorna)
3. Az 1024 pontos simított spektrum meredeksége 1-4 Hz közötti tartományban

4. A spektrum 1-10 Hz közötti tartományában a spektrum átlagának és maximális értékének az aránya (átlag/maximum jelöléssel később).

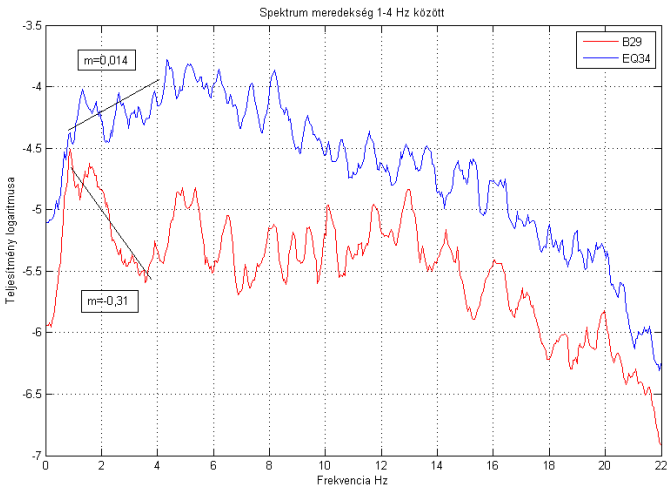
5. Az 1-10 Hz és 10-20 Hz közötti spektrum teljesítmények aránya az (1.12) egyenlet szerint (1024 pontos simított FFT; vertikális csatorna)

6. Az 5-10 Hz és 10-15 Hz közötti spektrum arány meghatározása (128 pontos FFT).

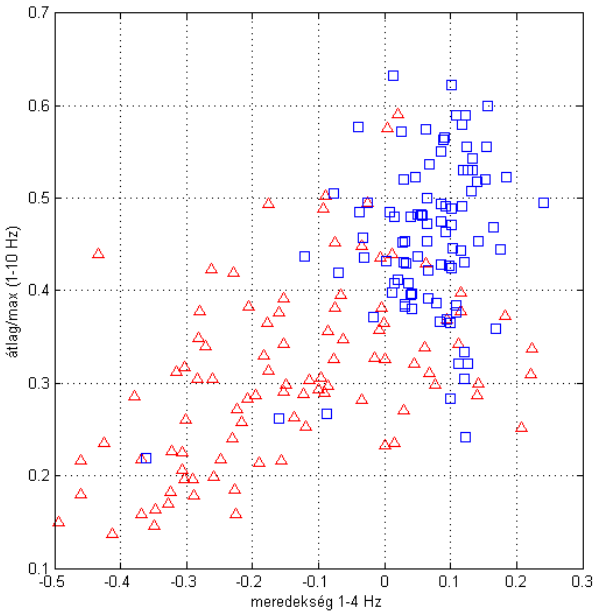
7. Az 1-5 Hz és 5-15 Hz közötti spektrum arány meghatározása (128 pontos FFT).

8. A Cx meghatározása (1.11 képlet alapján), ami szeizmogram két időablakában számított teljesítmény integráljának az aránya. Mindkét időablak 2 s hosszú volt, az első a P hullám beérkezési időpontjában, a másdodik az ez utáni 4. másodpercben kezdődött.

A 3.24. ábrán látható az EQ20 földrengés és a B34 kisnánai robbantás teljesítmény spektruma logaritmikus skálán ábrázolva. A spektrum meredekség meghatározása az 1-4 Hz közötti tartományra illesztett regressziós egyenes alapján történt. A 3.25. ábrán az események spektrumának 1-10 Hz közötti sávban kapott átlag/maximum aránya látható a meredekség függvényében. Több különböző frekvencia tartományra számított meredekség adattal kísérleteztem. Az 1-4 Hz közötti tartományban találtam jó elkülönülést a két csoport adatai között, de átfedés is látható volt. A negatív spektrum meredekség a robbantásokra, míg a pozitív a rengésekre volt jellemző. Az átlag/maximum értékek esetében a 0,4 értéknél kisebbek a robbantások, míg a nagyobbak a rengések esetében volt gyakori. A földrengések és robbantások elkülönítésére legalkalmasabb spektrum paramétereket a beérkezett P és S fázisok amplitúdó adatainál alkalmazott MD távolságok meghatározásával választottam ki. A spektrumokból kapott különböző paraméterek elemzése előtt a spektrumok csipkézettségét és a bináris spektrumokat tanulmányoztam.



3.24. ábra. *A spektrum meredekség meghatározása*

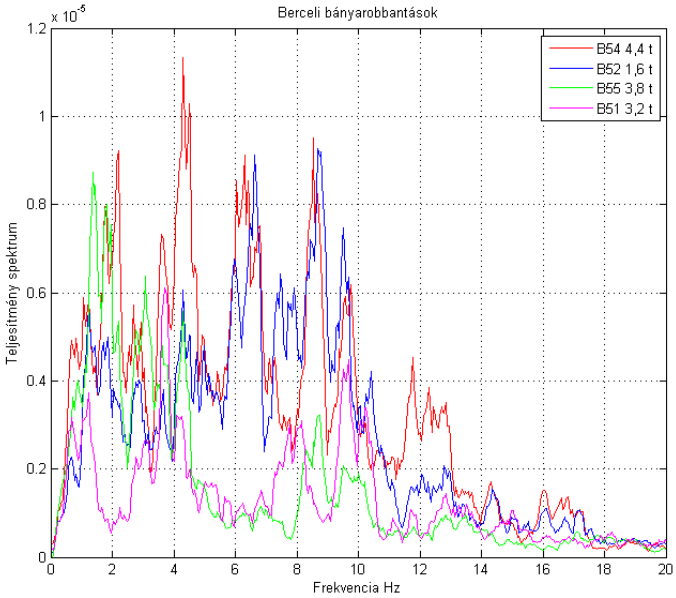


3.25. ábra. *A spektrum átlag/maximum értéke a meredekség függvényében*

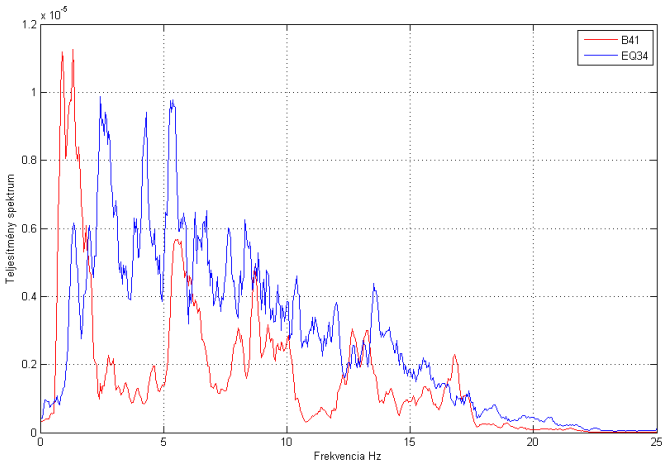
3.5.1. A robbantások spektrumának csipkézettsége (scalloping)

A berceli bányakapitánytól kapott információk alapján elemeztem a különböző tömegű robbanóanyag hatását a spektrumokra (3.26. ábra). A robbantások spektrumai – jellegzetes csipkézettségük ellenére – jelentős eltéréseket mutattak. A legtöbb robbanóanyagot felhasznált esemény spektruma adta a legnagyobb teljesítmény értékeket, és csipkézettsége pedig nagyon hasonlított a legkisebb töltetű robbantáséhoz. A második legnagyobb robbantás csak az alacsony frekvenciákon 4,5 Hz-ig mutatott nagyobb amplitúdókat. Csipkézettsége pedig leginkább a harmadik robbantáséhoz hasonlított. Az eltérések ellenére megfigyelhető, hogy 3-5 Hz és 8-11 Hz között mindegyik teljesítménye megemelkedett. A csipkézettség eltérésének oka a fúrólyukak eltérő száma és elrendezése, valamint a töltet mennyisége volt. A robbantási séma általában többsoros, a késleltetési idők is különbözhettek a sorok között, illetve nem állt minden robbantás esetén rendelkezésünkre minden paraméter.

A 3.27. ábra példa egy tipikus bányarobbantás és földrengés spektruma közötti különbségre. A földrengésekre is jellemző egyes frekvencia sávok dominanciája, és megfigyelhető a spektrum teljesítményének fokozatos csökkenése a maximum elérése után. A spektrum szélesebb tartományra terjedhet ki, és magasabb frekvenciákon lassabban csökken, illetve nagyobb a teljesítménye, mint a robbantások esetében. Robbantásoknál a csipkézettség azt jelenti, hogy nagyobb frekvenciák felé haladva a teljesítmény erőteljes csökkenés után újra megugrik, egymás után esetleg többször is. A földrengések esetében ilyen hullámzást nem tapsztaltam. A spektrumok csipkézettségét egyesével megvizsgáltam és pontoztam. Ha a 3.27. ábrához hasonló csipkézett spektrumot láttam +1, ha nem -1 értéket kapott az esemény, a bizonytalan 0 pontot ért. Ennek összesítése található a 3.3. táblázatban.

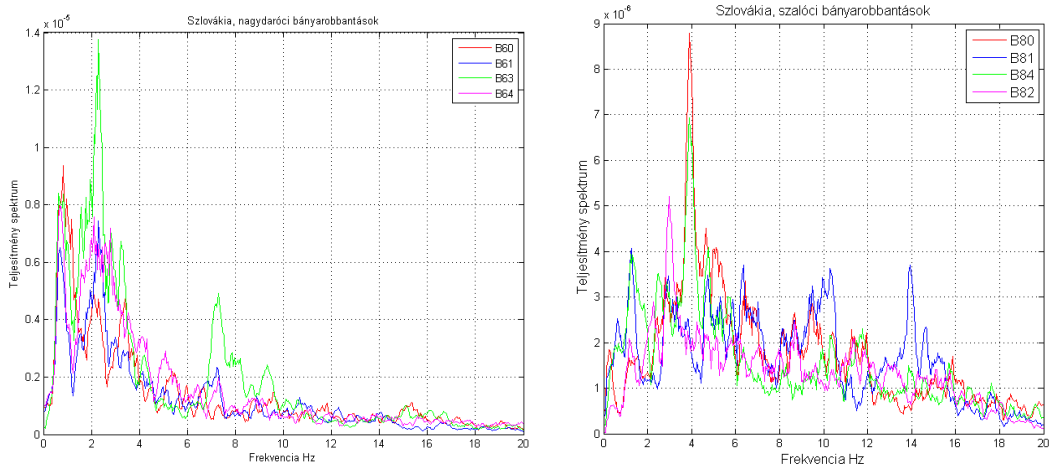


3.26. ábra. *Az eltérő mennyiségű robbanóanyaggal történt berceli robbantások spektrumai*



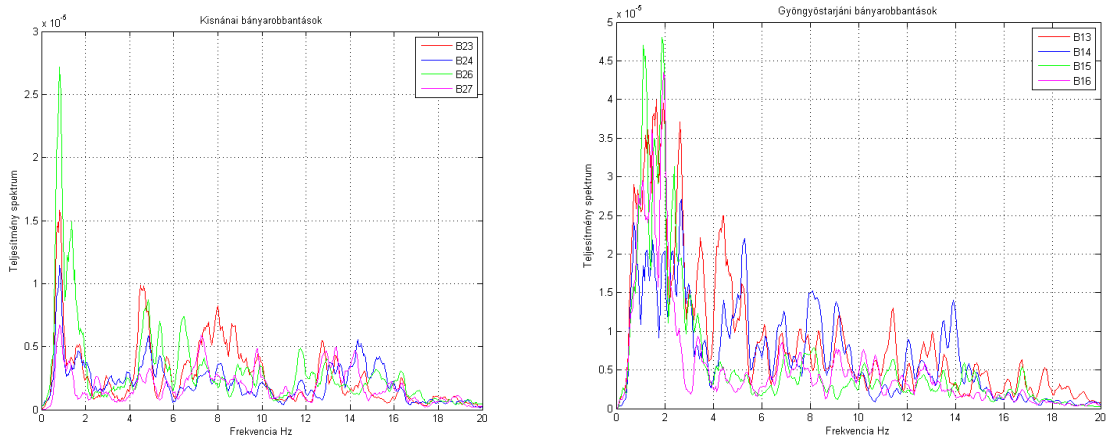
3.27. ábra. *Az EQ34 földrengés és az B41 robbantás jellegzetes „csipkézett” spektruma*

A 3.28a.-3.31a. ábrán a különböző bányák robbantásainak spektrumai láthatók. A 3.31b. ábrán a Kistokaj és Bükkaranyos környéki, 2010. augusztus 19-20 közötti földrengések spektrumait mutatja. Ezekre a 7-9 Hz közötti maximum a jellemző, és megfigyelhető még, hogy a spektrumok nagyon hasonlóak. Az ábrákon látható teljesítményspektrumok az SHZ csatornák adatai alapján, 1024 pontos FFT-vel számított, simított értékek.



(a) **(b)**

3.28. ábra. *Az (a) nagydaróci, és (b) szalóci robbantások spektrumai*

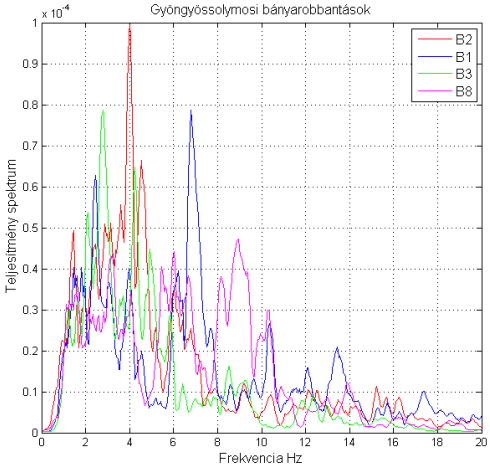


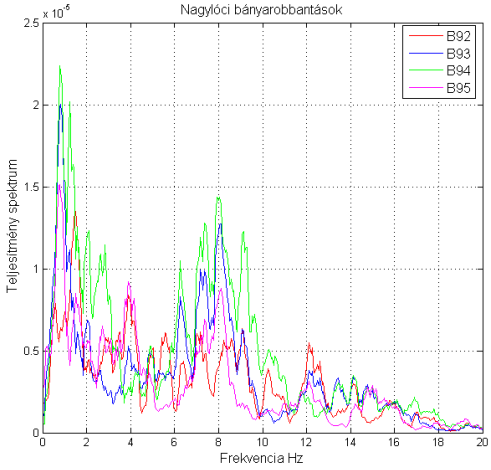
(a) **(b)**

3.29. ábra. *Az (a) kisnánai, és (b) gyöngyöstarjáni robbantások spektrumai*

3.3. táblázat. *A spektrum csipkézettsége*

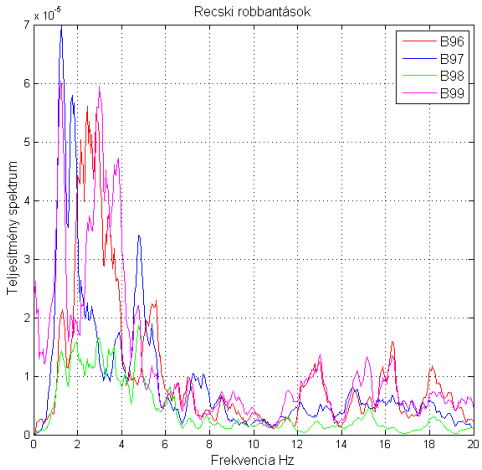
besorolás	csipkézett	bizonytalan	nem csipkézett
robbantás	89	2	9
földrengés	14	51	31

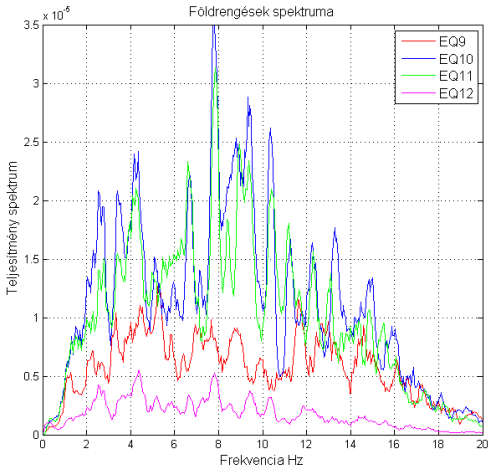




(a) **(b)**

3.30. ábra. *Az (a) gyöngyössolymosi és (b) nagylóci robbantások spektrumai*





(a) **(b)**

3.31. ábra. *Az (a) recski robb.-ok (b) Kistokaj-Bükkaranyos környéki rengések spektrumai*

A következő megállapítások tehetők a PSZ állomáson regisztrált események spektrumairól:

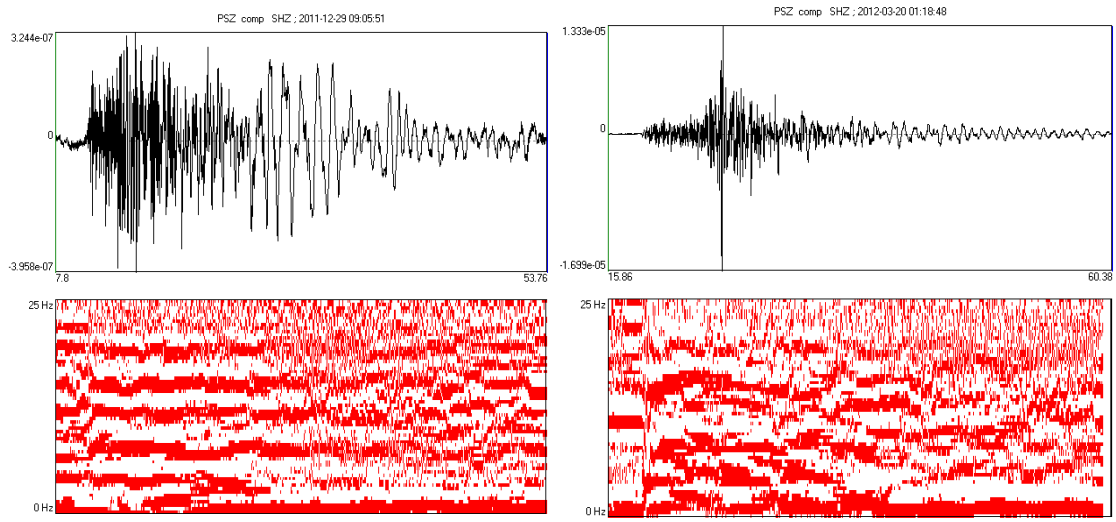
- *A legtöbb robbantás spektrumán megfigyelhető volt a késleltetett robbantási technika miatt fellépő csipkézettség. A spektrumok teljesítménye az 1-4 Hz közötti sávban jelentősen megnőtt. A csipkézettség az 1-10 Hz közötti spektrum tartományra volt leginkább jellemző. Az egyes frekvenciák teljesítményének megemelkedése a nagyobb frekvenciák felé haladva újra jelentkezett, de egyre kisebb amplitúdóval.*

- *Néhány földrengés esetén is megfigyelhető volt egyes frekvenciák megemelkedett teljesítménye, de a spektrum magasabb frekvenciákig terjedt ki, mint a robbantások esetében. A magasabb frekvenciák felé haladva gyorsabban csökken a robbantások teljesítménye, mint a földrengéseké.*

- *Az egymáshoz közeli epicentrumból származó földrengések spektrumaira is jellemző volt a nagyfokú hasonlóság.*

3.5.2. A bináris spektrogramok elemzése

Bináris spektrogram használatával a ripple-fired technika miatt kialakuló megemelt energiájú frekvencia sávokat követhetjük végig az egymás utáni időablakokban számolt spektrumokon. A cél az időfüggetlen spektrum modulációk felerősítése és a többi összetevő gyengítése. Földrengésekre ez a spektrum moduláció nem jellemző. A megerősödött frekvencia sávok általában egyenlő távolságra követték egymást, amiket lecsökkent energiájú értékű részek – minimumok – választottak el. A 3.32a. ábrán a szlovákiai B95 nagydaróci bányarobbantás (Sóshartyán), a 3.32b. ábrán az EQ31 felssőtárkányi földrengés szeizmogramjai és alatta a bináris spektrogramjaik láthatók.



(a) **(b)**

3.32. ábra. *Az (a) B95 nagylóci bányarobbantás, és (b) EQ31 felsőtárkányi földrengés bináris spektrogramjai*

3.4. táblázat. *A bináris spektrum sávossága*

besorolás	időfüggetlen sávok	bizonytalan	nincsenek sávok
robbantás	93	5	2
földrengés	3	58	35

A robbantás esetében a felerősödött energiasávok már a spektrogram elején kialakultak, és a szeizmogram végéig követhetők voltak. A bináris spektrumon időfüggetlen moduláció esetén +1, ha nem -1 értéket kapott az esemény, a bizonytalan 0 pontot ért. Ennek összesítése található a 3.4. táblázatban.

A következő megállapítások tehetők a bináris spektrogramok elemzéséből:

- *A legtöbb bányarobbantás spektrumán megfigyelhető volt a késleltetett robbantási technika miatt fellépő időtől független moduláció, ami jó indikáció az mesterséges eredetre.*
- *A földrengések túlnyomó részében bizonytalan volt a megítélés, mert a spektrogram rövidebb szakaszain megfigyelhetőek voltak a sávok.*
- *A robbantások bináris spektrogramán az idő független moduláció az esemény végéig követhető volt.*

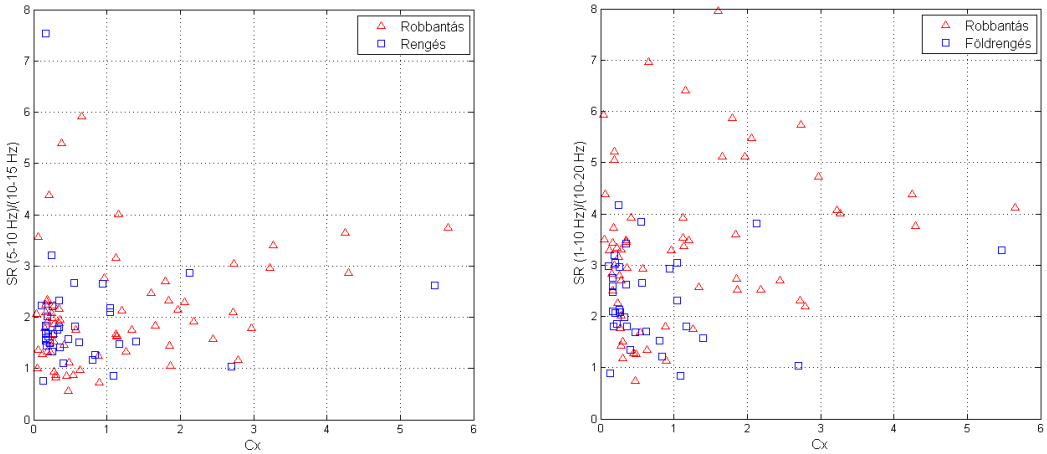
3.5.3. A spektrumokból kapott paraméterek elemzése a Mahalanobis távolság segítségével

A szakirodalomban a Cx komplexitás és az SR spektrum arányokat is ajánlják a robbantások és földrengések elkülönítésére (Kekovali et al., 2012). Korábban leírtam a Cx meghatározásának menetét. A 3.33a.-3.34b. ábrákon két különböző frekvencia sávban meghatározott SR értékek láthatók a Cx komplexitás függvényében. A különböző frekvencia sávokban kapott SR paraméterek közül az MD távolságok meghatározása segítségével választottam ki azt, amelyikkel a jobb diszkrimináció kapható. A statisztikai MD értékeket figyelembe véve az SR (1-10 Hz/10-20 Hz) adta a jobb statisztikai elkülönülést a két csoport között. A 3.34a. ábra a Cx, a 3.34b. ábra a SR értékeket mutatja az 1-4 Hz közötti spektrum tartomány logaritmusa meredekségének függvényében. A meredekség értékek alapján jól szétválik a két csoport, de a Cx és az SR adatok esetében is nagy átfedés látható a két csoport között.

A különböző paraméter kombináció esetén kapott MD távolságokat a 3.35a.-3.35b. ábrákon közöltem. A spektrum meredekség és spektrum átlag/maximum, valamint az SR+Cx paramétereket külön-külön és együtt is elemeztem. A diszkriminációhoz szükséges kritikus statisztikai értéknél általában jóval nagyobbat kaptam, a szaggatott vonal a -4 és 4 MD értékeket jelzik. Az elkülönítés a Cx+SR adatok esetében nem volt kielégítő, míg a meredekség és spektrum átlag/maximum adatokkal együtt használva már valamivel jobb diszkriminációt kaptam. A robbantásoknál az esetek 28%-a, a rengéseknél több, 45% esett kívül a kritikus MD értéken, tehát szignifikánsan ennyi különült el a paraméterek alapján. A rengéseknél látványosan javult a 4 paramétert együtt véve az elkülönülés. A Cx+SR

paraméterek ahol nem adtak szignifikáns diszkriminációt, több esetben a spektrum meredekség és spektrum átlag/maximum paraméterek jó eredményt adtak.

Az EQ25 és EQ42 rengésekek a spektrumokból kapott MD érték alapján – hasonlóan az amplitúdó arányokra kapott MD értékek esetében – a robbantásokhoz közelebb esett mint a földrengésekhez, és a hullámforma korreláció vizsgálat szerint is a gyöngyössolymosi robbantáshoz voltak hasonlóak. Az amplitúdó adatokra kapott MD értékek szerint az EQ48 robbantásos jellegű volt, a spektrum adatok szerint pedig (MD=-2,6) a bizonytalan tartományba esett. A szalóci bánya területére esett EQ32 esetében MD=-20,8 értéket kaptam – az amplitúdó adatok szeint bizonytalan tartományba esett –, most a spektrum adatok alapján robbantásnak vehető. A EQ50 földrengés – ami a nagydarósi bánya területére esett, az MD=-21,4 érték miatt robbantásnak tekinthető.

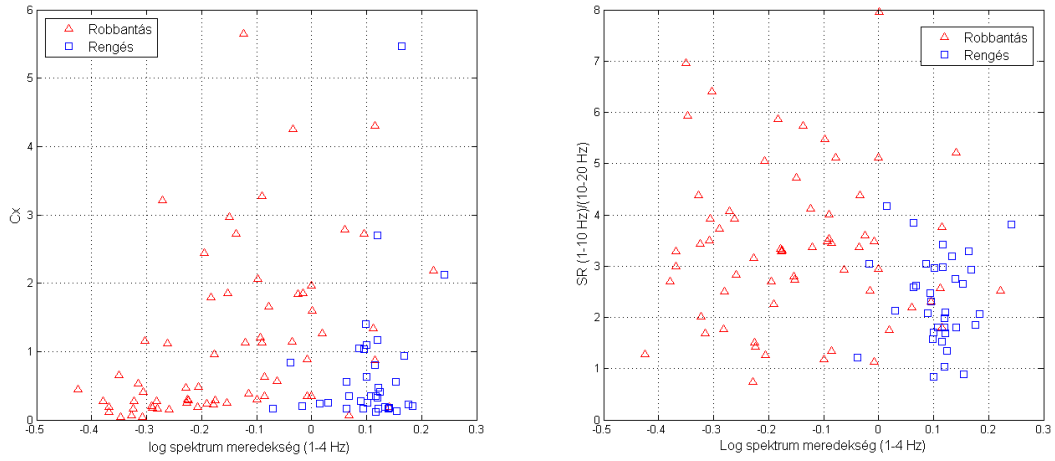


(a) **(b)**

3.33. ábra. *Az spektrum arányok két különböző (a) 5-10 Hz/10-15Hz, és (b) 1-10 Hz/10-20 Hz közötti frekvencia tartományban a Cx függvényében*

Érdemes a hullámforma és spektrum paramétereket együtt is megvizsgálni. Az így kapott MD értékek a 3.35a.-3.35b. ábrákon láthatók. Mind a robbantások, mind a földrengések esetében nőtt, a rengések esetében jelentősen javult a két csoport statisztikai távolsága. A robbantások 13%, a rengések 10%-a maradt a nem megfelelő, -4 és 4 közötti tartományban. A bányák elkülöníthetősége eltért egymástól. A 3.5. táblázatban összesítettem azon események számát – a különböző bányák és rengések esetében – amik a paramétereik alapján a kritikus zónában maradtak. A spektrum és amplitúdó adatokat együtt figyelembe véve a nagydaróci, nagylóci és recski bánya robbantásai sikeresen elkülöníthetőek voltak a földrengésektől, a kisnánai, gyöngyössolymosi, gyöngyöstarjáni és szalóci bányák esetében pedig csökkent a kritikus esetek száma. A berceli bányánál maradt a legtöbb kritikus eset. A földrengéseknél az amplitúdó adatok jobb diszkriminációs paraméternek bizonyultak, mint a spektrum adatok.

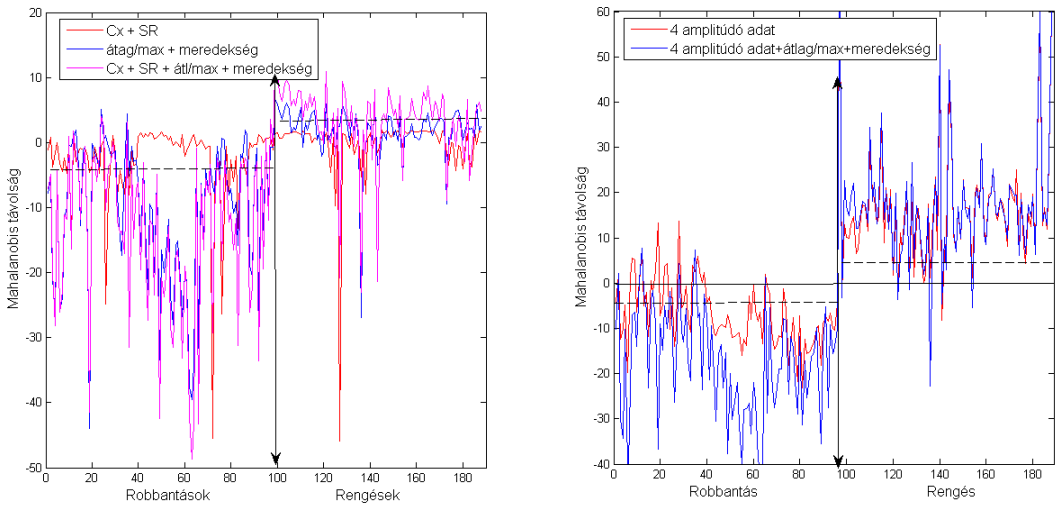
A $log(Rg)$, $log(Rg/P)$, $log(Rg/SHR)$, $log(SHR)$ és $log(SHR/P)$ értékek és két spektrum paraméter, a meredekség és spektrum átlag/maximum alkalmas voltát a robbantások



(a) **(b)**

3.34. ábra. *Az (a) Cx komplexitás, és (b) SR értékek a spektrum meredekség függvényében*

és földrengések elkülönítésére szintén verifikáltam. Kihagytam ugyanazt a 4-4 eseményt mindkét csoportból, amit az amplitúdó adatokra kapott MD verifikálásakor tettem. Ezen „ismeretlen" besorolású események MD értékei a megmaradt 2 csoporttól helyes, és számértékükben pedig határozottabb besorolást adtak.



(a) **(b)**

3.35. ábra. *Az (a) spektrum-adatokból és (b) amplitúdó- és spektrum-adatokból kapott MD értékek*

3.5. táblázat. *A csoportba nem illő esetek száma (%-a)*

Bánya/rengés	eseményszám	ampl. adatok	sp. adatok	ampl. + sp. adatok
Bercel	8	5 (62,5%)	5 (62,5%)	5 (62,5%)
Gyöngyöss.	12	9 (75%)	5 (41,7%)	4 (33,3%)
Gyöngyöst.	9	4 (44,4%)	0 (0%)	1 (11,1%)
Kisnána	29	7 (24,1%)	2 (6,9%)	1 (3,4%)
Nagydaróc	19	1 (5,3%)	6 (31,6%)	0 (0%)
Nagylóc	9	1 (11,1%	3 (33,3%)	0 (0%)
Recsk	5	3 (60%)	2 (40%)	0 (0%)
Szalóc	5	2 (40%)	4 (80%)	1 (20%)
földrengés	92	10 (11%)	42 (45,7%)	9 (9,8%)

A következő megállapítások tehetők a spektrum paraméterekből kapott Mahalanobis távolságok elemzéséből:

- *A legjobb elkülönülést a spektrum meredekség (1-4 Hz között) és spektrum átlag/maximum (1-10 Hz között) paraméterek együtt adták.*
- *A statisztikai elkülönülés a két csoport között növekedett az összes spektrum paraméter felhasználásával*
- *A statisztikai távolság a két csoport között tovább növekedett a hullámforma és spektrum adatok együttes felhasználásával, különösen a bányarobbantások esetében.*
- *A vizsgált paraméterek alapján a különböző bányák robbantási eltérő módon voltak elkülöníthetők.*
- *A földrengések 90%-a a spektrum és amplitúdó adatok együttes felhasználásával statisztikailag megfelelően elvált a robbantások paramétereitől.*

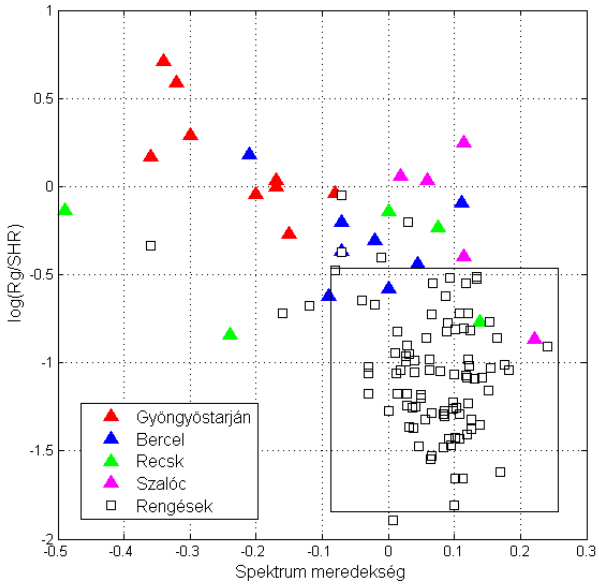
3.6. Az észak-magyarországi szeizmikus események további elemzése az egyes bányák jellemzőire lebontva

A vizsgált 8 bánya jellemzőit külön-külön is elemeztem az alábbiakban. Arra voltam kíváncsi, hogy melyik bánya adatait lehet a legjobban a földrengésektől elkülöníteni. A 3.36. és 3.37. ábrákon az egyik legjobban bevált diszkrimináns a $log(Rg/SHR)$ értékek láthatók a spektrum meredekség függvényében, ahol eltérő színű háromszögekkel jelöltem a különböző bányákhoz tartozó robbantásokat. A 3.38. és 3.39. ábrákon a $log(Rg/SHR)$ érétkeket a $log(Rg)$ függvényében tüntettem fel. Azt a tartományt, amit a legtöbb földrengés elfoglalt, téglalappal jelöltem. A 3.40. és 3.41. ábrákon pedig a $log(SHR/P)$ érétkeket a $log(Rg/P)$ függvényében ábrázoltam. A legtöbb földrengést a robbantásoktól elválasztó határt itt egy vonallal jelöltem.

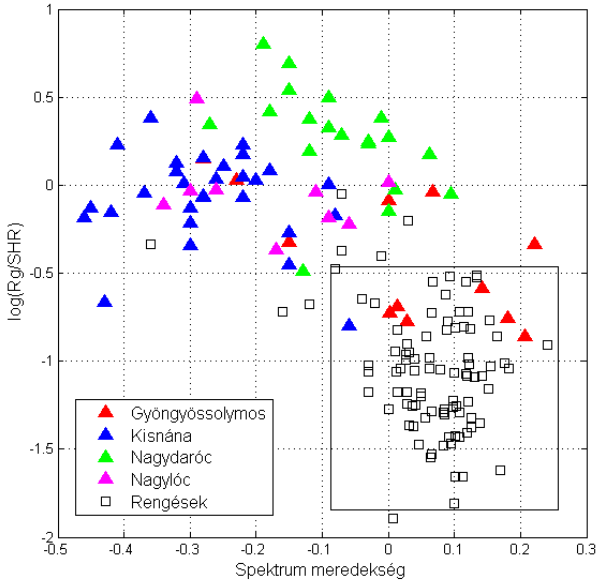
A 3.6. táblázat az egyik leggyakrabban használt diszkrimináns (pl. Wüster 1993; Fäh és Koch 2002), a $log(Rg)$ és $log(SHR/P)$ átlag és szórás értékeit mutatja a különböző bányákra lebontva. Az 3.7. táblázatban a $log(Rg/SHR)$ és spektrum meredekség paraméterek átlagértékei és szórásait összesítettem. Az 3.8. táblázatban pedig a $log(SHR)$ és a $log(Rg/P)$ paraméterek átlagértékét és szórását listáztam.

A földrengések adatait két részre osztottam – megfelezve az eseményeket – hogy a paraméterek stabilitásáról képet kaphassak. A földrengések két csoportja így 45-45 eseményt tartalmazott. A „Rengések I” és „Rengések II” adatok átlagának és szórásának alakulását a többi nyolc bánya paramétereivel együtt a 3.42a.-3.44b. ábrákon jelenítettem meg. A legjelentősebben a $log(Rg/P)$ paraméterben tért el a rengések I és II csoportja. Ez a 2013. április és július között kipattant Heves-Tenk környéki földrengésekkel magyarázható, amelyeknek a paraméterei egy jól körülhatárolható, a korábbi földrengésektől – és robbantásoktól – eltérő csoportot alkottak. Ezeket az események a 3.40. és 3.41. ábrákon a körrel jelzett területre estek.

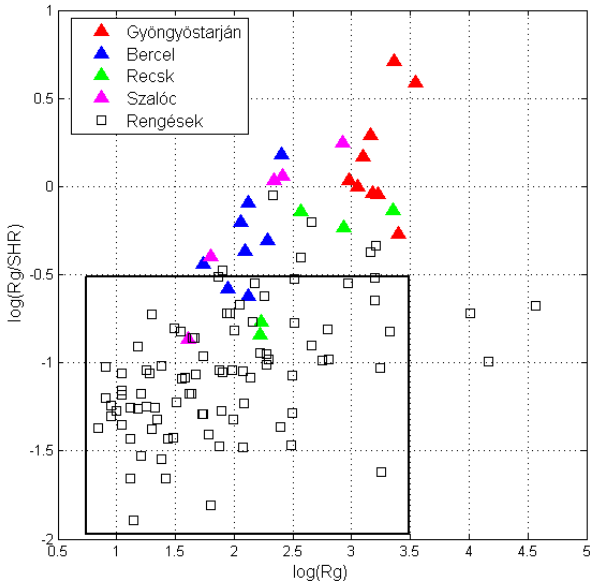
A $log(SHR/P)$ és $log(SHR)$ paraméterek esetében a bányák közül a gyöngyöstarjáni és gyöngyössolymosi robbantásainak a paraméterei estek legjobban a rengések paraméterei által kijelölt területre. A spektrum meredekség adatokat tekintve a gyöngyössolymosi bányarobbantások nem váltak el a földrengésektől.



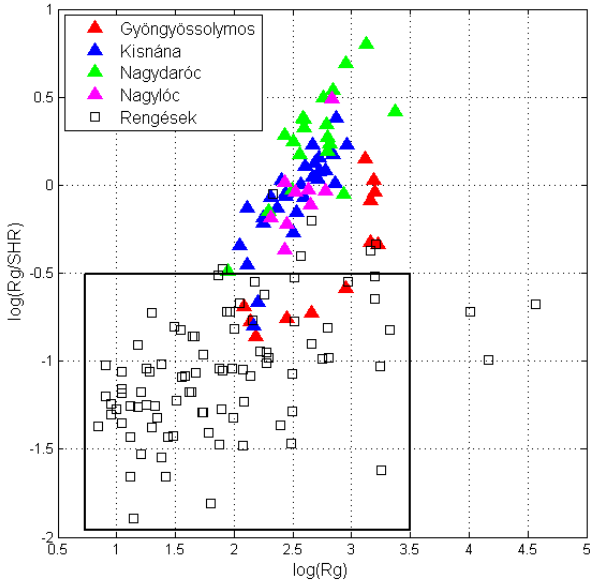
3.36. ábra. *A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a spektrum meredekség függvényében*



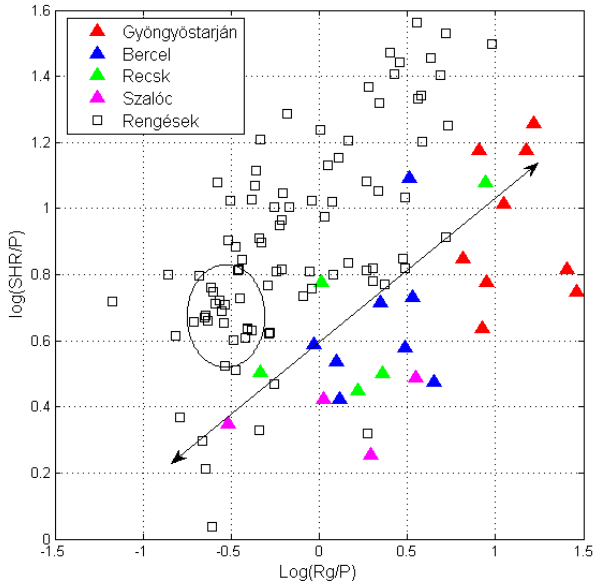
3.37. ábra. *A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a spektrum meredekség függvényében*



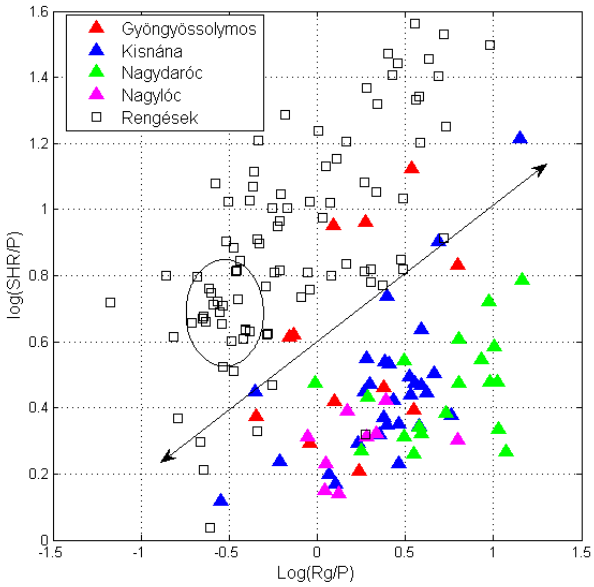
3.38. ábra. *A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a log(Rg) függvényében*



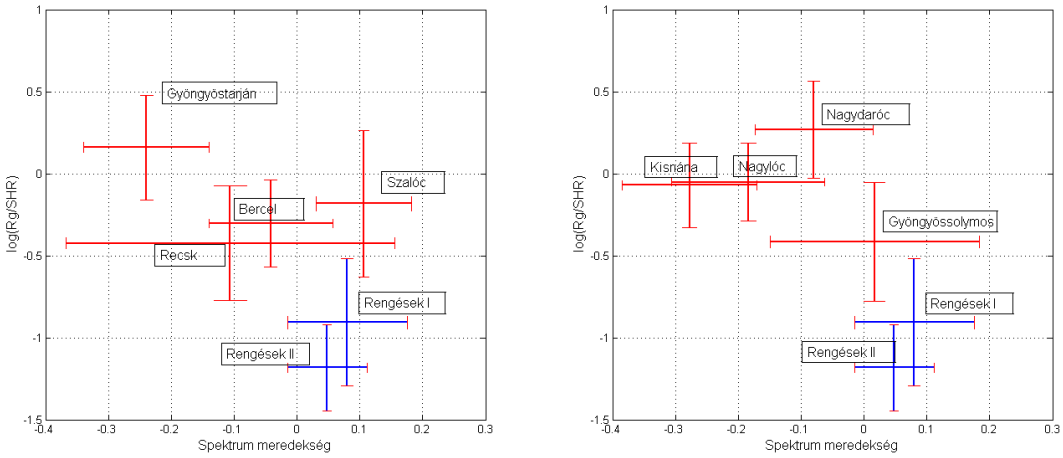
3.39. ábra. *A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a log(Rg) függvényében*



3.40. ábra. *A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(SHR/P) értékek a log(Rg/P) függvényében*

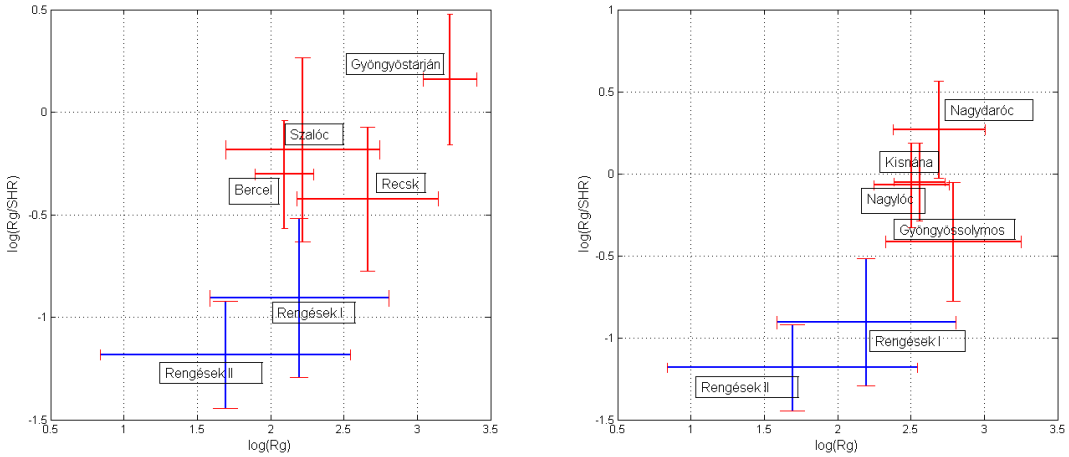


3.41. ábra. *A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(SHR/P) értékek a log(Rg/P) függvényében*



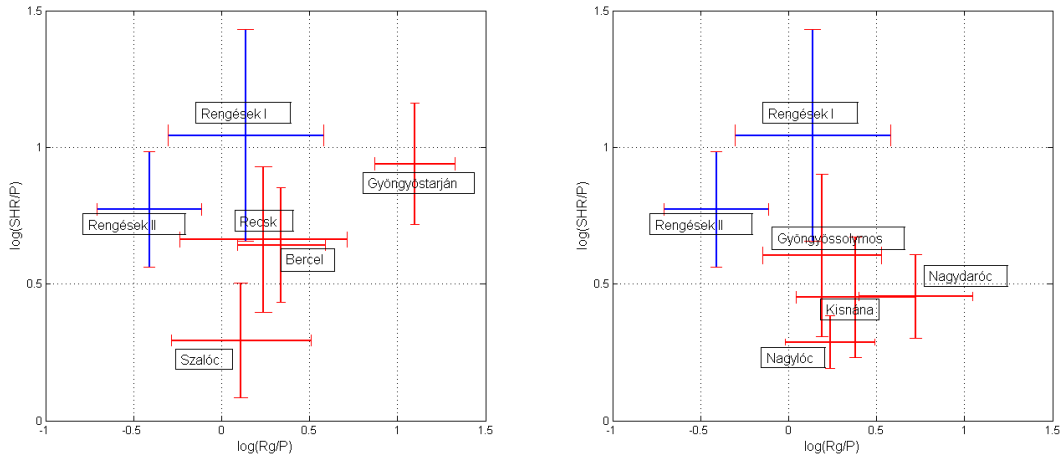
(a) **(b)**

3.42. ábra. *A log(Rg/SHR) és spektrum meredekség adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében*



(a) **(b)**

3.43. ábra. *A log(Rg) és log(Rg/SHR) adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében*



(a) **(b)**

3.44. ábra. *A log(Rg/P) és log(SHR/P) adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében*

3.6. táblázat. *A log(Rg) és log(SHR/P) paraméterek átlaga és szórása*

Bánya/ rengés	log(Rg) átlag/ (szórás)	log(SHR/P) átlag/ (szórás)
Bercel	2,10 (0,20)	0,64 (0,21)
Gyöngyöss.	2,79 (0,46)	0,60 (0,30)
Gyöngyöst.	3,22 (0,18)	0,94 (0,22)
Kisnána	2,51 (0,26)	0,45 (0,22)
Nagydaróc	2,69 (0,31)	0,45 (0,15)
Nagylóc	2,56 (0,17)	0,29 (0,10)
Recsk	2,66 (0,48)	0,66 (0,27)
Szalóc	2,22 (0,52)	0,29 (0,21)
Rengések I	2,19 (0,61)	1,04 (0,39)
Rengések II	1,69 (0,85)	0,77 (0,21)

3.7. táblázat. *A log(Rg/SHR) és spektrum meredekség paraméterek átlaga és szórása*

Bánya/ rengés	log(Rg/SHR) átlag (szórás)	sp. mer. átlag/ (szórás)
Bercel	-0,34 (0,26)	-0,04 (0,10)
Gyöngyöss.	-0,42 (0,36)	0,02 (0,17)
Gyöngyöst.	0,16 (0,32)	-0,24 (0,10)
Kisnána	-0,07 (0,26)	-0,28 (0,11)
Nagydaróc	0,27 (0,30)	-0,08 (0,09)
Nagylóc	-0,05 (0,24)	-0,18 (0,12)
Recsk	-0,42 (0,35)	-0,11 (0,26)
Szalóc	-0,18 (0,45)	0,11 (0,08)
Rengések I	-0,91 (0,39)	0,08 (0,09)
Rengések II	-1,18 (0,26)	0,05 (0,06)

3.8. táblázat. *A log(SHR) és log(Rg/P) paraméterek átlaga és szórása*

Bánya/ rengés	log(SHR) átlag (szórás)	log(Rg/P) átlag/ (szórás)
Bercel	2,40 (0,21)	0,34 (0,25)
Gyöngyöss.	3,21 (0,25)	0,19 (0,34)
Gyöngyöst.	3,06 (0,29)	1,10 (0,23)
Kisnána	2,58 (0,17)	0,38 (0,32)
Nagydaróc	2,42 (0,23)	0,72 (0,09)
Nagylóc	2,61 (0,17)	0,24 (0,26)
Recsk	3,09 (0,28)	0,24 (0,47)
Szalóc	2,40 (0,18)	0,11 (0,40)
Rengések I	3,10 (0,58)	0,14 (0,44)
Rengések II	2,88 (0,76)	-0,41 (0,30)

3.9. táblázat. *A hullámformák jellemző amplitúdó arányai a PSZ állomáson*

fázis	robbantások	földrengések
Rg/S	87%-ban Rg>S/3	93%-ban Rg<S/3
S/P	72%-ban P>S/4	90%-ban P<S/4

A következő megfigyelések vonhatók le a spektrum és amplitúdó paraméterek bányákra lebontott elemzéséből:

- *A földrengések spektrum meredeksége az 1-4 Hz közötti tartományban az esetek 87%-ban pozitív, a robbantásoké 75%-ban negatív volt.*

- *A robbantások 87%-ban az Rg hullám amplitúdó értéke az S amplitúdó harmadánál nagyobb volt, a földrengések 93%-ban pedig kisebb. A robbantások 73%-ban pedig az Rg hullám amplitúdója az S amplitúdó felénél is nagyobb volt.*

- *A legtöbb földrengés esetében a log(S/P) értékre nagyobbat kaptam, mint a robbantások esetében. A robbantások 72%-ban a P hullám aplitúdója az S hullám negyedénél nagyobbnak, míg a földrengések 90%-ban az S hullám negyedénél kisebbnek adódott (összefoglalva: 3.9. táblázatban).*

- *A földrengések epicentrum távolsága a PSZ állomástól 7-118 km közötti, méretük M_L=0,8-4,8 között változott, mégis jól behatárolható spektrum meredekség és log(Rg/S) paramétereket mutattak.*

- *Annak ellenére, hogy egy adott bánya esetében a robbantás szeizmikus hullámai mindig hasonló kőzetrétegeken hatoltak át, a paraméter értékek a földrengésekéhez hasonló mértékben szórtak, pedig a rengések mérete, azimutja és távolsága az állomástól igen eltérő volt. A robbantások végrehajtása során használt eltérő mennyiségű robbanóanyag és töltet elrendezés erősen módosította a spektrumokat, és az egyedi hullámformákat is.*

- *A vizsgált paraméterek alapján a különböző bányák robbantásai eltérő módon váltak el a földrengésektől. Az amplitúdó adatok szerint a gyöngyöstarjáni és gyöngyössolymosi bányarobbantások, míg a spektrum meredekség értékeket nézve csak a gyöngyössolymosi bányarobbantások nem váltak el a földrengésektől.*

- *A földrengések esetében a két részre bontott adatokra kapott log(S/P) és log(Rg/P) átlagértékek nagyobb eltérése a 2013. április és július között kipattant Heves-Tenk környéki földrengések adataival magyarázhatók. Ezek az események egymáshoz nagyon hasonló paramétereket mutattak, eltértek a korábbi rengésektől, viszont a robbantásoktól jól elvált halmazt alkottak.*

4. fejezet

Az elkülönítési módszerek alkalmazása a Vértes hegység robbantásaira és földrengéseire

4.1. A vizsgált terület jellemzése

4.1.1. Geológiai felépítés és szeizmicitás

A Vértes szerkezetileg a Dunántúli-középhegység része, tömegét túlnyomórészt felső-triász dolomit és mészkő alkotja. Ezekre fiatalabb jura, alsó-kréta és főleg felső-miocén képződmények települtek. A Bakonytól a kainozoos Móri-árok, keletről a Gerecsétől a Tatabányai medence határolja. A Vértes DK-i előterében a Csákberényi-árok és a Zámolyi-medence húzódik paleogén ill. neogén üledékekkel feltöltve. ÉNy-i előterében a Pusztavám-Oroszlányi medence határolja. Szerkezetét négyféle csapásirányú törések szabdalják. Ősföldrajzi tekintetben ez a terület tengeralatti hátság volt a jurában és a kora-kréta idején. A középső-eocén idején az akkori Vértes átmenetet képezett a bakonyi mélymedence és az ÉK-i hegységrészek sekélyebb környezete között. Az oligocénben pedig pont fordítva, az ÉK-i tengeri és a DNy-i szárazföld közötti átmenet alakult ki e területen. A mezozoos és kainozoos képződmények paleomágneses elemzése szerint a terület több fázisban függőleges tengely körüli forgást is szenvedett (Márton & Fodor, 2003).

A Vértes földtani kutatása 2008-ban friss eredményekkel bővült, amit Budai és munkatársai „A Vértes földtana” című könyvükben foglaltak össze (Budai et al., 2008). A könyv célja az elmúlt évmilliók és a jelenkori feszültségviszonyok feltárása volt, kiegészítve sztratigráfiai, paleomágneses, geomorfológiai, hidrogeológiai, GPS adatokkal és terepi vetőkarc vizsgálatokkal. A szerzők 13 deformációs fázisba sorolták a Vértes szerkezeteinek kialakulását, ezeket ismertetem röviden az alábbiakban. A terület szerkezeti viszonyait 4.1. ábra szemlélteti, amin kék téglalappal jelöltem a vizsgált területet.

D1 fázis: *tágulásos* szerkezetek (jura-berriasi). A triász platformot egy olyan tágulásos feszültségtér érte, amelyet dominánsan ÉÉK-DDNY széthúzás jellemzett, de a széthúzás irányával párhuzamosan is kialakulhattak tágulásos szerkezetek.

D2-D5 fázis (kréta-középső-eocén): a Vértes legfontosabb szerkezeti deformációi nagyon

összetettek, a mezozoos rétegek kibillenését okozó *térrövidülések* (gyűrődések, rátolódások) eltolódások és normálvetők formájában jelentkeztek ekkor. A paleomágneses adatok igazoltak függőleges tengelyű helyi forgás fellépését is. Az Északi-Vértes szerkezetét meghatározó Vértessomlói-vonal ebben az időszakban volt aktív.

D6 fázis (középső-eocén-negyedidőszak): *eltolódás, transzpresszió.* Szubtrópusi időszak, kevés deformáció érintette a Vértes környezetét.

D7 fázis (oligocén): Ekkorra datálható *normálvetők* metszik a triász dolomitot több helyen. A Móri peremvető ekkor kezdte meg a mozgását.

D8 fázis (miocén-kora-pliocén): A Vértes legmarkánsabb szerkezeti elemei közé tartoznak a K-Nyi-i csapású jobbos és az ÉNy-DK-i csapású balos *eltolódások*, amelyek eltolódáspárokat alkotnak. A legnagyobb elvetések ebben a fázisban az oligocén után jöttek létre. Általános a normálvetők és a szakításos ásványos erek megjelenése. Lehetséges, hogy a Móri-peremvető is felújult ebben az időszakban. A Vértes legjelentősebb eltolódásai közé tartozó, a Várgesztestől délre haladó Gesztesi-vári-eltolódás és a Vértes középső részén húzódó Zámoly-bükki-eltolódás ebben az időszakban volt aktív. A következő K-Ny-i szerkezeti elem a Csáki vári eltolódás, ami aktív volt ebben az időszakban, ami jobbos elmozdulást mutatott.

D9 fázis (ottnangi-középső-bádeni): *riftesedési* fázis, amit „szinrift" fázisnak is neveznek, és amiben a Pannon-medence kialakulását okozó tágulásos deformáció játszott fontos szerepet. A fázist ÉNy-DK-i irányú húzásos feszültségmező jellemezte, ami hatására húzásra merőleges normálvetők és a hozzájuk kapcsolódó kibillent blokkok jöttek létre. A Móri-peremvető is aktív volt, és normálvetőként működhetett. A Csákberényi-árok jelentős süllyedése is e fázisban történt. A gánti bauxitbányában számos ÉNy-DK-i csapású vető jelenik meg, aminek mozgása szintén normál jellegű volt. A Vértes középső részének legnagyobb vetője a riftesedés alatt normál csúszású lehetett (Eperjesi-vető). Északra pedig a Vértes gerincét szeli ketté az a normálvető, ami Vitánytól Körtvélyesig terjed, ahol az elvetés nagysága kb. 100-120 m. A legészakabb szinrift szerkezetek Szárliget és Óbarok táján jelentek meg.

D10 fázis (késő-bádeni-szarmata): késői *szinrift* fázis, amit szintén normálvetők jellemeznek. A feszültségteret K-Ny-i széthúzás jellemezte. A Móri-árok déli részén É-D-i és ÉNy-DK-i irányú szegmensekből álló, kanyarodó vetőrendszer jelenik meg.

D11 fázis (késő-szarmata): a miocén *tágulásos* deformációs szakaszát egy eltolódásos transzpressziós jellegű töréses fázis szakította meg. A gánti Bagoly-hegy külfejtésének elemzése szerint az itt fellépő rátolódásokat ÉNy-DK-i kompresszió hozta létre.

D12 fázis (késő-miocén-kora-pliocén): *transztenzió*, ami normálvetőket és eltolódásokat hozott létre. Feszültségtere megegyezik a D10-es fázissal, egy K-Ny-i és ÉNy-DK közötti húzás állhatott fenn. Ez esetben a maximális főfeszültség tengely nagyjából É-D-i volt. E fázis egyik leglátványosabb szerkezete a Vértes keleti peremét határoló vetőrendszer, amely 4 fő irányba csoportosuló szegmensből áll (4.1. ábra). A Móri-árok szerkezetének egy része is e fázisban jött létre, és ami valójában két önálló szerkezetből áll. A Sörédi-árok a morfológiai értelemben vett Móri-árok déli, eltemetett része, a D10-es fázisban jöhetett létre. A peremvető másik ága DK-i irányban, Magyaralmás felé követhető. A Móri-

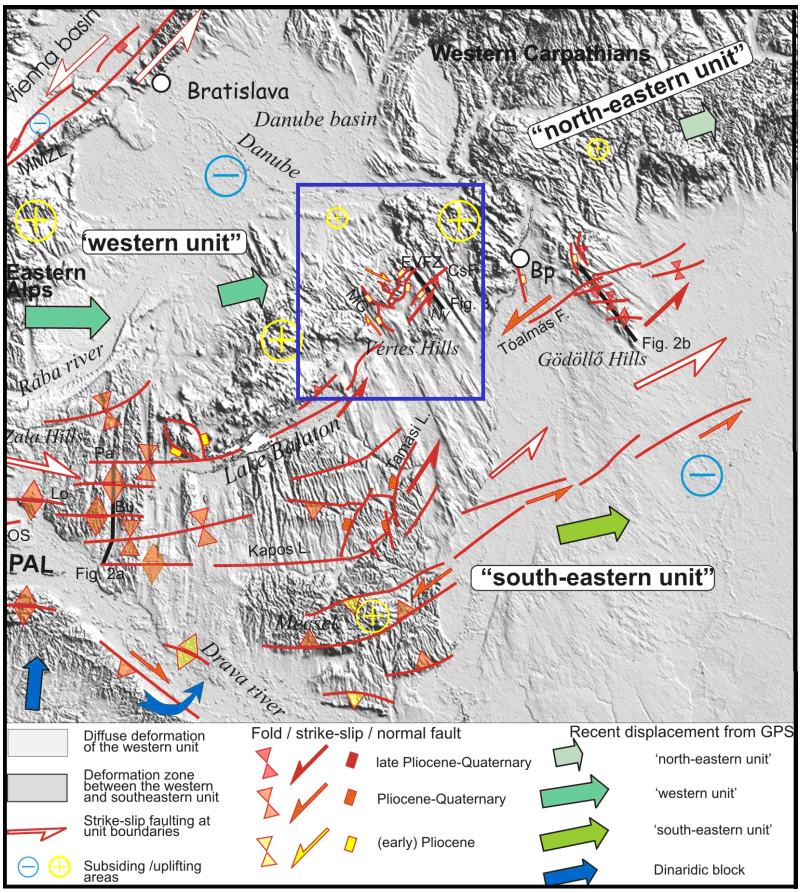
peremvető az Antal-hegy nyugati csücskénél elágazik két ÉÉK felé haladó ágra.

D13 fázis: *neotektonikus* deformációk: A neotektonikus elemek feltárása a legfontosabb a szeizmicitás megértésével kapcsolatban. Azok a deformációk tartoznak ide, amelyek a földtani közelmúltban kezdődtek, és megegyeznek a jelenleg is működő deformációs folyamatokkal. Nagyon sok tanulmány foglalkozott a Kárpát-medence egészét érintő mai deformáció jellemzésével. Eszerint szerkezeti inverzió történt a miocén legvégén vagy a pliocén elején. A korábbi széthúzásos jellegű feszültségmezőt összenyomásos váltotta fel. A Dunántúlon az inverzió akár a kvarter elejéig is eltarthatott (Fodor et al., 2005). A Vértes területén nehéz azonosítani a szerkezeti stílus megváltozását. Neotektonikus deformációs jegyeket főleg a Móri-árok területén sikerült azonosítani. A Vértes keleti előterének neotektonikus deformációja vízrajzi anomália alapján igazolható. A Felcsút-hát déli peremvetőjének negyedidőszaki megújulása megemelt hegylábfelszínt eredményezett, ami a Vértesacsai víz eredetileg délkeleties folyását északias irányba terelte. Tisztán balos-rátolódásos lehetett a mozgás, ami megfelel a Pannon-medence kora negyedidőszaki általános „inverzió" stílusának. A Kelet-Vértesi peremvetők mai aktivitásának összekapcsolása a Gánt és Csákvár térségében kipattant földrengésekkel nem egyértelmű. A Kelet-Vértesi-hát nyugati peremvetőjének déli vége Csákberény térségében található. A Móri-árok északi részének jelenlegi aktivitását az 1810-es móri földrengés jelzi. A Móri-peremvető 1-1,2 km-es elvetése részben a D7, illetve több miocén-kora-pliocén fázisban ment végbe. A peremvető több ágra vált szét, és mozgásuk révén a hegylábfelszínek DK-felé billentek. Ezekhez szeizmikus események is kötődtek, ami szeizmitek kialakulásához vezetett. Erre utal, hogy a pusztavámi feltárásban található kavicsok egy része töredezett, és a törési síkok közel párhuzamosak a Pusztavámi-árok peremvetőivel. Fagyás egyedül nem magyarázza a kavicstörések kialakulását.

A Móri árokhoz köthető az 1810-es móri M_L=5,4-es magnitúdójú földrengés. Majdnem pontosan 200 év után a Vértes északi részén, Oroszlányban pattant ki 2011. január 29-én egy M_L=4,5-es rengés, amit közel 300 mikro-utórengés követett. Gánt területén 2012 áprilisában egy M_L=2,7-es rengés pattant ki, amit közel 100 nagyon kis magnitúdójú utórengés követett. Utóbbiak pontos epicentrum adatait nem sikerült meghatározni, mert legtöbbször csak a PKSG szeizmológiai állomás regisztrálta őket. A terület tehát a mai napig is mutat szeizmikus aktivitást.

4.1.2. A gánti bánya és az analízisben felhasznált szeizmológiai mérőállomások adatai

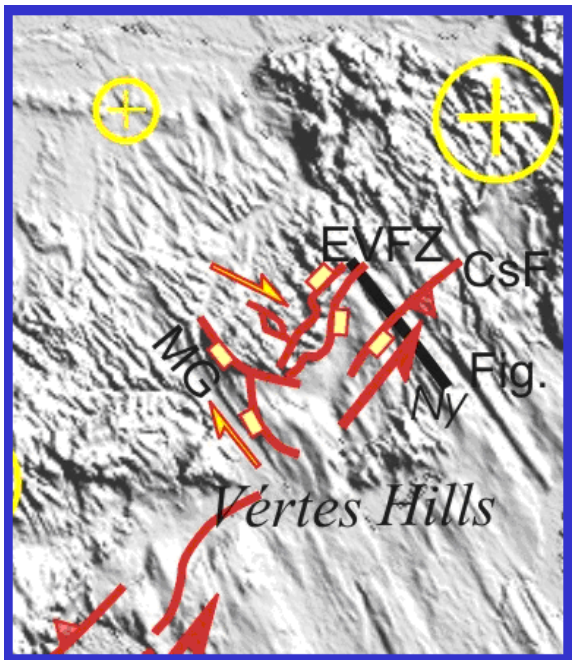
Az utóbbi néhány évben Magyarországon a Vértes környezetében működött a legsűrűbb szeizmológiai állomáshálózat. Tésen 2005, Gánton 2000 óta működik háromkomponenses rövid periódusú szeizmométer a GeoRisk Kft. üzemeltetésével. A terület szeizmikus eseményeinek rendszeres detektálása 2009 óta kezdődött meg, amikor Csókakőre az MTA Szeizmológiai Obszervatóriuma gondozásában egy harmadik mérőállomás került. 2009 óta közel 700 mikrorengést és robbantást sikerült a területen detektálni olyan alacsony magnitúdó tartományban, amire még nem volt példa hazánkban.



4.1. ábra. *Nyugat-Magyarország feszültségviszonyai. A kék téglalap a vizsgált területet jelöli(Fodor et al., 2008)*

Az oroszlányi 2011. január 21-i M_L4,5 rengést követően a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) közös kooperáció keretében két ideiglenes állomást telepített Vértessomlón és Bokodon (2011.02.02 - 2011.04.13), aminek az adatait felhasználhattuk. Sukorón a Nyugat-magyarországi Egyetem (NyME) támogatásával állított fel Obszervatóriumunk ideiglenes állomást a robbantások jobb megfigyelése céljából (2010.12.01-2011.03.16). A CSKK állomás sajnos nem működött 2011.02.06 és 2011.03.02 között és 2012 szeptemberétől 2012 végéig, de volt egy mintegy 2 hónapos időszak, amikor 4-5 állomás is működött a területen. Ennek köszönhetően a magyar szeizmológia történetében először, több mint 300 utórengést sikerült regisztrálni és katalógusba venni.

A Vértes hegység déli részén, Gánton működik a Dolomit Kőbányászati Kft. kezelésében levő kőbánya. Ez mintegy 3 km-re van a PKSG és 10,3 km-re a CSKK állomásoktól, amik heti rendszerességgel regisztrálták ennek a bányának a robbantásait. E bánya szeizmikus eseményeit elemeztem a területen kipattant földrengésekkel együtt. Magyaralmáson és Kincsesbányán is működnek kőbányák, amik robbantásait esetenként képesek detektáltálni az állomások. Ez utóbbiakban azonban évente csak 2-3 robbantást végeztek, ezért a gánti bánya eseményeire koncentráltam az analízis során. Két év alatti a gánti bánya 115 robbantását sikerült katalógusba venni. A bányakapitány elmondása szerin általában 10 töltettel robbantanak, 100 ms-os késleltetési idővel.



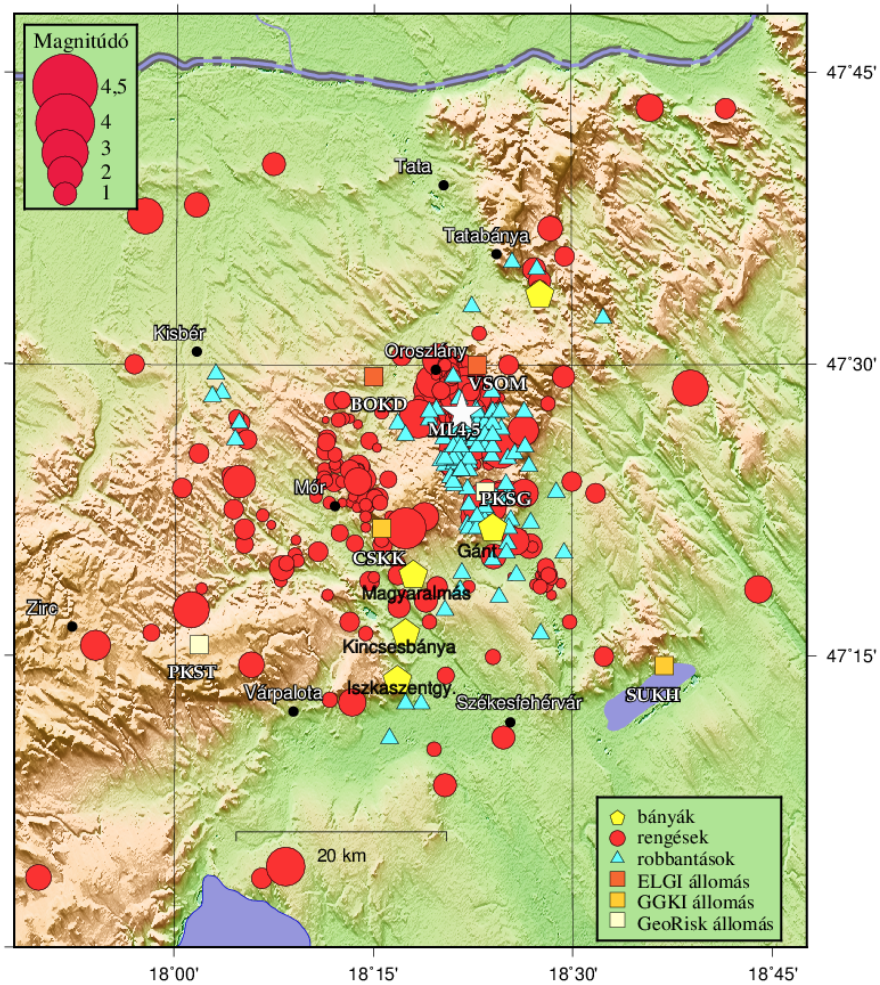
4.2. ábra. *A Vértes környezetének törésvonalai (a 4.1. ábra nagyított részlete) MG: Móri-árok; CsF: Csákvári eltolódás; EVFZ: Kelet-Vértesi-vetőzóna.*

4.2. A vizsgálatban felhasznált földrengések és robbantások paraméterei

A kiválasztott területen (47°-47°48'É - 17°48'-18°48'K) 2011-ben 67 robbantás és 362 földrengés, míg 2012-ben 48 robbantás és 49 földrengés történt a katalógusok alapján (Tóth et al. 2009-2012; Gráczer et al. 2012-2013). A 4.3. ábrán látható, hogy a robbantások számított epicentrumai szinte teljesen egybeesnek a földrengések forrásterületével. A robbantások nagyrészt a gánti kőbánya robbantásai voltak, de néhányan közülük a magyaralmási és az iszkaszentgyörgyi bányákhoz köthetők. A földrengések főként 3 területről származtak:

1. Az oroszlányi M_L=4,5 főrengés és utórengései
2. A Móri-árok Vértes felé eső oldalán kipattant rengések
3. A Móri-árok Bakony felöli oldalán kipattant rengések

A szeizmikus események nagy része (megfelelő jel/zaj esetében) alkalmas volt a beérkező fázisok amplitúdó, és ennél valamivel kisebb része spektrum adatok elemzésére. A spektrumok elemzésekor az egész vizsgált szeizmogramnak jó jel/zaj aránnyal kellett rendelkeznie, ill. több rengés és robbantás esetén előfordult, hogy spektrumuk nem volt elemezhető, mivel túl kicsi időkülönbséggel követték egymást az események. Az M_L=4,5 oroszlányi főrengés és a 2012. áprilisi gánti M_L=2,7 rengés olyan nagy amplitúdóval jelentkezett a PKSG állomáson, hogy a műszer telítésbe ment, ezért a hullámforma és a spektrumelemzésbe nem került bele. Az eseményeket négy részre bontva összegeztem:



4.3. ábra. *A területen 2011 és 2012 között regisztrált rengések és robbantások epicentrum térképe. A bányákat pentagon, az állomásokat négyzetek, míg az oroszlányi $M_L 4,5$ fő-rengést csillag jelzi.*

1. Gánti Dolomit Kőbányászati Kft. bánya robbantásai 2011-ben (F.3. táblázat)
2. Gánti Dolomit Kőbányászati Kft. bánya robbantásai 2012-ben (F.4. táblázat)
3. Földrengések 2011-ben (F.5. táblázat)
4. Földrengések 2012-ben (F.6. táblázat)

Az előző fejezetben az Északi-középhegység eseményei során 8 bánya robbantásai kerültek elemzésre a területen kipattant 104 földrengés mellett. A Vértes területén azonban csak 1 bánya robbantásait, és közel 400 közeli földrengést elemeztem. Az események nagy száma lehetővé tette, hogy a robbantások és a földrengések adatbázisát két részre osztva (az észak-magyarországi eseményeknél, csak a földrengéseknél tudtam ezt megtenni) a szeizmikus események amplitúdó és spektrum adataiból meghatározott jellemző paraméterek stabilitását ellenőrizzem, azaz megvizsgáljam, hogy mennyire használhatók a kapott paraméterek a jövőben a terület szeizmikus eseményeinek elkülönítésére.

4.3. Az események elkülönítése a fészekparaméterek alapján

A 4.4. ábrán a 2011-es és 2012-es év során a katalógusba került összes esemény heti eloszlása látható. Robbantások csak munkanapokon voltak, a földrengések hétvégi maximuma pedig annak köszönhető, hogy az oroszlányi főrengés szombatra esett, és ezen a hétvégén keletkezett a 2011 és 2012-es év összes földrengésének 42%-a.

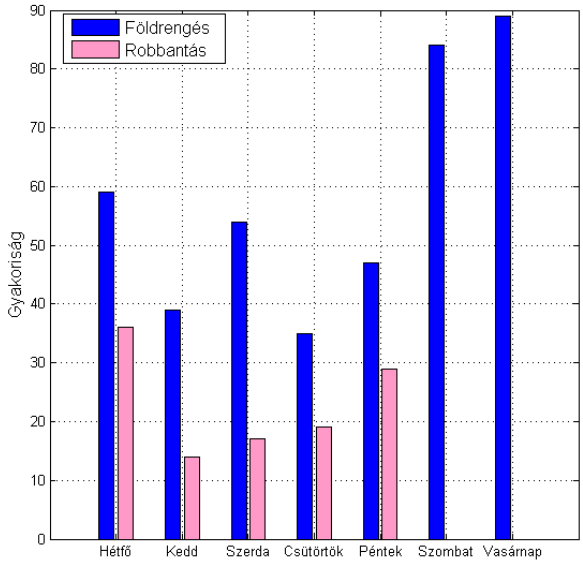
A napi és magnitúdó szerinti eloszlásokat a 4.5a. és 4.5b. ábrák mutatják. A bányarobbantások nagyrészt 8 és 12 (UT) óra között történtek, a földrengések esetében pedig megfigyelhető egy napi periodicitás, aminek az oka az, hogy éjszaka több rengés regisztrálható a jobb regisztrálási körülmények miatt (a kulturális zaj kisebb). A 4.5a. ábrán a robbantások időbeli eloszlását a téli és nyári időszámítás időszakában külön ábrázoltam. A nyári időszakban több robbantás történt, ill. a nyári időszámítás miatt a csúcs eltolódott 1 órával.

A 4.5b. ábra az események magnitúdó szerinti eloszlását mutatja. A robbantások többségének mérete M_L=0,8 és M_L=1,8 közé, míg a legtöbb földrengésé M_L=-0,3 és M_L=0,6 közé esett. A legkisebb földrengés mérete M_L=-0,7 volt. A sok kisméretű rengés nagyrészt az oroszlányi M_L=4,5 főrengés utórengése volt. Azért sikerült ezeket – a hazai szeizmológiai kutatások során először – nagy számban regisztrálni, mert több állomás is az epicentrumokhoz közel volt (5-10 km). A földrengések napi eloszlása különböző magnitúdó és mélység tartományokban a 4.6a.-4.6b. ábrákon látható. A 4.6a. ábra szerint az M_L<0,2 rengések napi periódust mutattak éjszakai maximummal, és 8-18 óra közötti nappali minimummal. A kisméretű rengések egy részének szeizmikus jelei a nappali órák nagyobb kulturális zaja miatt nem voltak regisztrálhatóak. Becslésem szerint az éjszaka regisztrált események számából ítélve az ilyen kis magnitúdójú események 44%-a hiányzik a nappali időszakból. Az M_L>0,2 események maximumot mutattak a déli órákban (bányarobbantási időszak), ezért feltehetően tartalmaz a katalógus hibásan rengésnek tekintett robbantást is, de a déli (helyi idő) maximumnak lehet más, a naptevékenység hatására változó Sq áramokkal kapcsolatos magyarázata is (Lipovics, 2004).

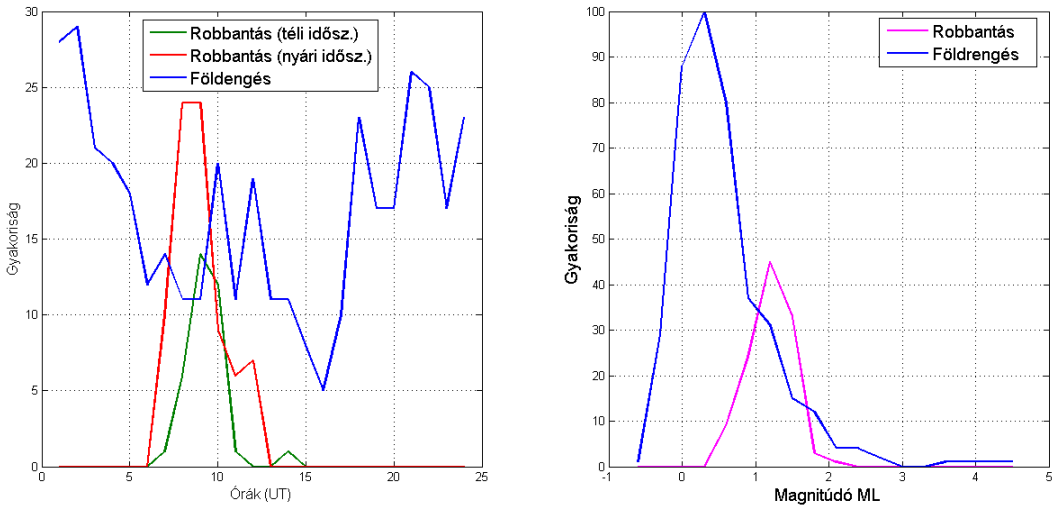
A hipocentrum mélysége alapján két részre osztottam a földrengéseket: 2 km-nél mélyebbekre és 2 km-nél sekélyebbekre (4.6a.). Megfigyelhető, hogy a mélyebb rengések gyakrabban fordulnak elő az éjszakai órákban. Ez azt jelenti, hogy detektálásuk a nappali órákban kedvezőtlenebb (kb. 33% esemény hiányzik nappal). A 2 km-nél sekélyebb rengések 8-12 óra között mutattak egy kisebb csúcsértéket, ami miatt feltételezhető, hogy néhány felszínhez közeli esemény valójában robbantás lehet. A mélység szerinti eloszlást a 4.1. táblázat tartalmazza. Két maximum mutatkozik a földrengések esetében: 0-1 és 6-10 km között. Ez összhangban van a Kárpát-medencére kapott korábbi eredményekkel (Tóth et al., 2002). A robbantások mélysége egyet kivéve 0 km-nek adódott.

4.1. táblázat. *A fészekmélységek eloszlása*

besorolás	0-1 km	2-5 km	6-10 km	11-20 km
földrengés	74	46	272	19
robbantás	114	1	0	0



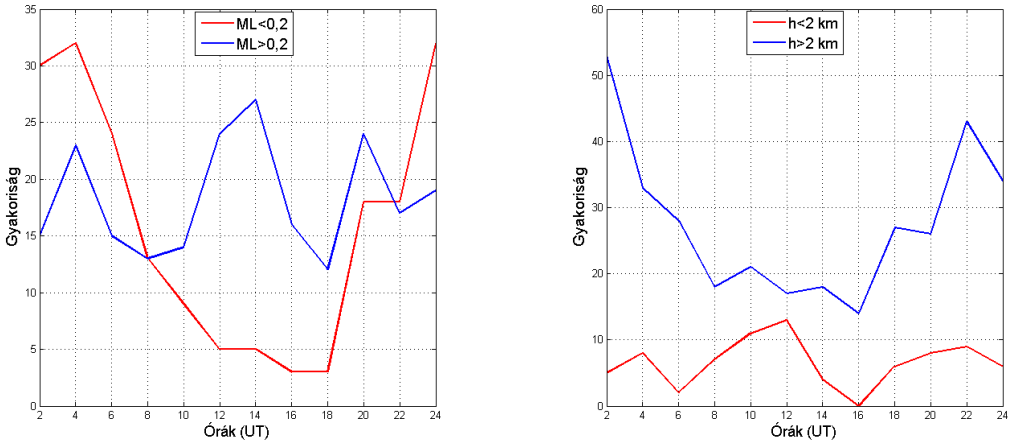
4.4. ábra. *A földrengések és robbantások heti eloszlása*



(a) *Napi eloszlás* **(b)** *Magnitúdó szerinti eloszlás*

4.5. ábra. *A katalógusbeli események (a) napi, és (b) magnitúdó szerinti eloszlása*

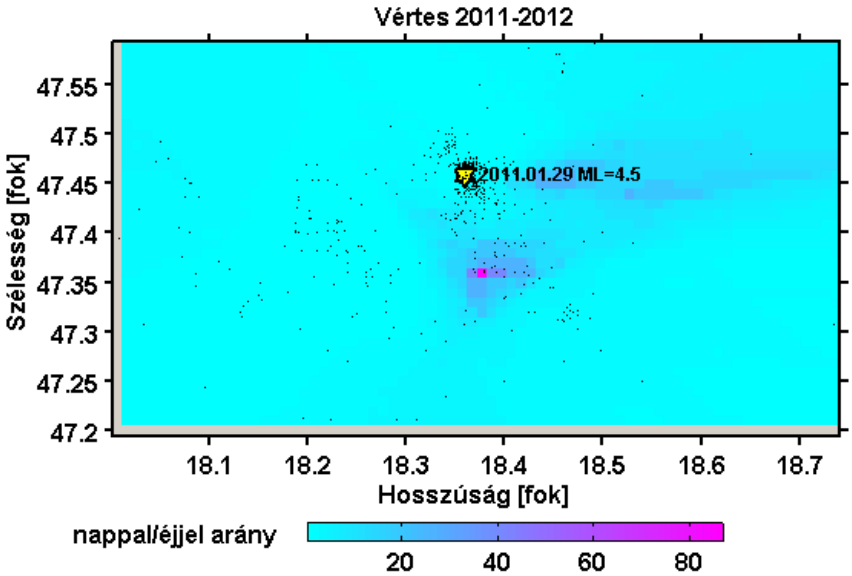
A területen a nappali és éjszakai események arányát a MATLAB „zmap” program segítségével jelenítettem meg (Wiemer S., 2001). A program a területet rácselemekre bontja, és az elemek környezetében számítja az arányt. Benne kijelölhetők a bányák robbantási órái, a rácselemek mérete, és az összes esemény száma, amelyeknek az adataival számol egy-egy rácselem környezetében a program. A nappali (robbantásos) és éjszakai események arányát színskála segítségével szemlélteti a térkép. A rácselem mérete 0.01x0.01° volt, és 30 esemény nappali/éjszakai arányát vettem figyelembe minden rácselem körül. Ez alapján kijelölhető az a régió, ahol robbantásokkal „szennyezett” az adatrendszer. Ez a gánti bánya



(a) *Magnitúdó szerint bontott* **(b)** *Hipocentrum mélysége szerint bontott*

4.6. ábra. *Az események időbeli eloszlása különböző (a) magnitúdó, és (b) mélységtartományokra*

mintegy 10 km-es környezete. A 2011-2012-es eseményekre kapott ededmények a 4.7. ábrán láthatók.



4.7. ábra. *A Vértes hegység területén kipattant 2011-2012 események indikációs térképe: a nappali (bánya működási óráinak) és az éjszakai események aránya*

A következő megfigyelések vonhatók le a területen 2011-2012 évben keletkezett szeizmikus eseményekről:

- *A robbantások mindig hétköznap történtek.*
- *A robbantások napi maximuma nyári időszámítás idején 8-10 (UT) óra között, télen a közép-európai idő használatakor 9-11 (UT) óra között volt (az 1 óra eltolódás miatt).*

- *A földrengések magnitúdó eloszlásának maximuma -0,3<M_L<0,6 közé esett. A nagyon kis események regisztrálása az ideiglenesen működtetett állomásoknak volt köszönhető.*

- *A földrengések heti eloszlásában tapasztalt hétvégi maximumot az oroszlányi M_L=4,5 főrengés utórengései okozták.*

- *A katalógusba került M_L<0,2 rengések napi eloszlására hatással volt a terület kulturális zaja, mivel éjjel több kisméretű rengést regisztrálhattunk. Az éjszaka regisztrált események számából ítélve az ilyen kis magnitúdójú földrengések 44%-a hiányzik a nappali időszakból, feltéve, hogy éjszaka minden ilyen eseményt regisztráltunk.*

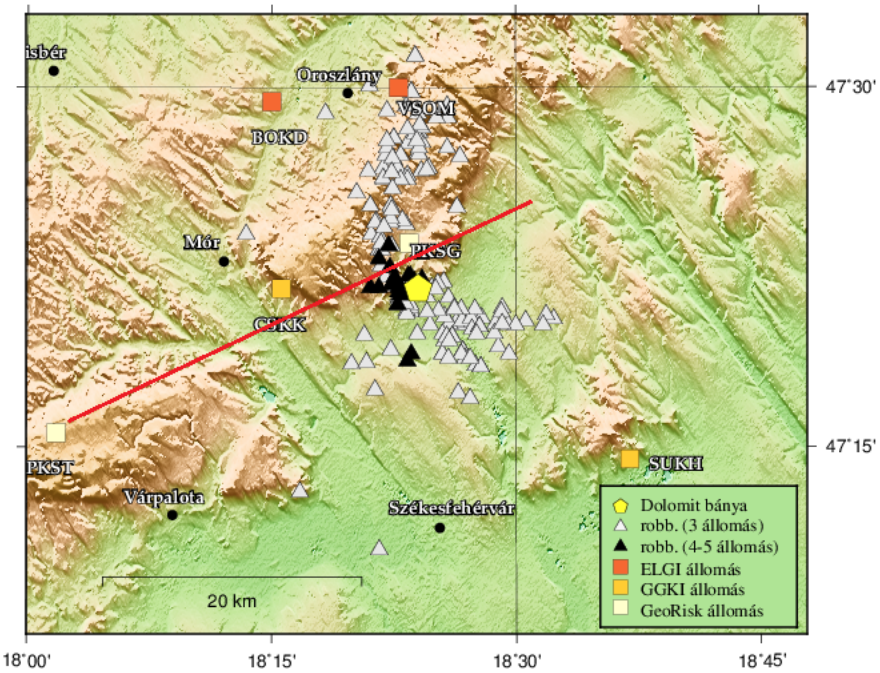
- *A 2 km-nél mélyebb rengések száma kevesebb a nappali órákban. A mélyebb, de kisebb rengések regisztrálása a nagyobb kulturális zaj miatt ekkor kedvezőtlenebb. A mélyebb és kisebb méretű földrengések 33%-a kimaradt a nappali időszakból, feltéve hogy éjszaka minden ilyen sekély rengést regisztráltunk.*

- *2011-2012 évek között a területen meghatározott szeizmikus események 22%-a robbantás volt.*

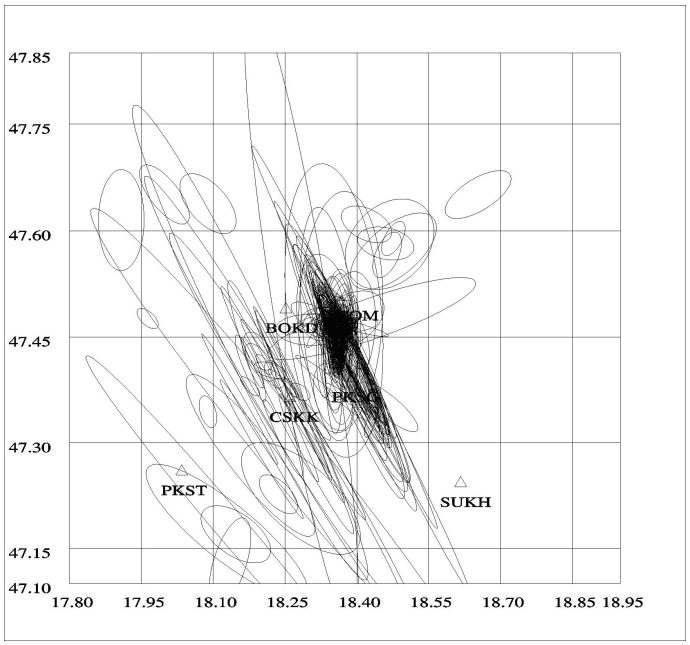
4.3.1. Az események földrajzi koordináták alapján történő elkülönítése

A 4.8. ábra a gánti bánya 2011 és 2012 között regisztrált robbantásainak epicentrum térképét mutatja. A hipocentrumok meghatározása a HYPO71 (Lee & Lahr, 1975) program segítségével történt. A számítások eltérő számú állomás beérkezési idő adatai alapján történtek, amiket külön jelöltem fekete (4-5 állomás) és fehér (3 állomás) háromszögekkel. A legtöbb robbantást csak 3 állomás, a PKST, a CSKK és a PKSG állomás detektálta. Ezek szinte egy vonalra esnek (pirossal jelöltem a térképen), és ettől a vonaltól csak kissé feküdt délebbre a bánya. Ezért a robbantások helyének horizontális hibája egy igen elnyúlt ellipszis, melynek nagytengelye merőleges az állomásokat összekötő vonalra. A 4.8. ábrán a bánya körül kifli alakban szétszórt epicentrumokat látunk, esetenként több, mint 10 km hibával. Abban a rövid időszakban, amikor működtek az ideiglenes állomások (SUKH, VSOM és BOKD), az epicentrumok hibája 1-5 km-re csökkent.

A helymeghatározás hibáját az is növelte, hogy a Pg és Sg fázisok beérkezési időkülönbsége nagyon kicsi volt (∼0,1-0,2 ms) a két legközelebbi állomáson (PKSG és CSKK), és az Sg fázis – aminek időpontja az epicentrum meghatározása szempontjából fontos adat – nem vált el élesen a Pg fázistól. A földrengések epicentrumának horizontális hibáit a 4.9. ábra szemlélteti. A hiba ellipszisek a 2011.01.01 és 2011.03.31 közötti rengések helyét mutatják 90%-os konfidencia szint esetén. Az ábrát a SEISAN programcsomag HYPOCENTER (Havskov & Ottemoller, 1999) rutinja segítségével készítettem. A hibaellipszisek nagytengelyének iránya és hossza tükrözi az állomások kedvezőtlen elhelyezkedését, merőleges a 4.8. ábrán jelölt piros egyenesre. Meg kell még azt is jegyezni, hogy a mélység meghatározást általában nagyobb hiba terheli, mint az epicentrum horizontális koordinátáját.



4.8. ábra. *A gánti kőbánya robbantásainak számolt epicentrumai eltérő állomásszám esetén. Az epicentrum meghatározásában legtöbbször használt 3 állomás csaknem egy vonalra esett*



4.9. ábra. *A földrengések epicentrumának horizontális 90%-os konfidencia ellipszisei*

A következő megfigyelések vonhatók le a szeizmikus események térbeli eloszlásáról:

- *A vizsgált területen az állomások elhelyezkedése alapján az epicentrumok konfidencia tartománya erősen elnyúlt ellipszist mutatott, melyeknek nagytengelye legtöbbször*

merőleges volt a PKST-CSKK-PKSG állomások által kijelölt egyenesre. A hiba sok esetben megközelítette a 15 km-t.

- *Az ideiglenes működő állomások révén a robbantások epicentrum hibája, a jobb állomás konfiguráció következtében 5 km alá csökkent.*
- *A Vértes területén a földrengések és robbantások elkülönítése az epicentrum térkép alapján – a helymeghatározás nagy horizontális hibája miatt – nem lehetséges.*

4.4. Elkülönítés a hullámformák vizsgálata alapján

4.4.1. A P hullám beérkezési iránya

Az elsőként beérkező P hullámok jellegéről a PSZ állomás szeizmogramjaihoz hasonló kimutatást készítettem, ami a 4.2. táblázatban olvasható. Az adatok a 2011-es és 2012-es földrengések évkönyvében közölt a vizsgált területe meghatározott összes földrengés és robbantás CSKK és PKSG állomáson tapasztalt P hullám beérkezési irányát tartalmazta (Tóth et al. 2012-2013 és Gráczer et al. 2012-2013). Az adatokat két részre osztottam: a 2011-es és 2012-es év adatai.

4.2. táblázat. *Az első beérkezések irányának eloszlása a CSKK és PKSG állomásokon*

Állomás	Robbantás/földrengés	Dilatációs	Bizonytalan	Kompressziós
CSKK	Robbantás -2011	6 (9,2%)	10 (15,3%)	49 (75,4%)
	Robbantás -2012	5 (10,4%)	5 (10,4%)	38 (79,2%)
	Földrengés -2011	168 (54,5%)	78 (25,3%)	62 (20%)
	Földrengés 2012	13 (31 %)	12 (28,5%)	17 (40,4%)
PKSG	Robbantás -2011	3 (4,5%)	8 (12,1%)	55 (83,3%)
	Robbantás -2012	1 (2,2%)	1 (2,2%)	43 (95,6%)
	Földrengés -2011	99 (27,8%)	76 (21,3%)	181 (50,8%)
	Földrengés 2012	20 (41,6,3%)	16 (33,3%)	12 (25%)

A következő megfigyelés vonható le a beérkező P hullám beütési irányából:

- *A gánti bányarobbantások első beérkezése mindkét állomáson nagyrészt (75% felett) kompressziós volt. A CSKK állomáson tapasztalt beérkezések 10%-a, a PKSG állomáson pedig 2-12%-a volt bizonytalan. Mindkét állomáson 10% körül, illetve az alatti volt dilatációs beérkezés.*
- *A földrengések esetében a 2012-es adatok mindkét állomáson közelítik az egyenletes eloszlást. A 2011-es évben pedig 50% feletti volt a CSKK állomáson a dilatációs, a PKSG-n pedig a kompressziós beérkezés. Ez utóbbi oka az lehetett, hogy az oroszlányi utórengések (amik a 2011-es év adatait túlnyomórészt adták) hasonló fészekmechanizmussal rendelkeztek, és eltérő első beérkezést adtak a két állomásra.*

4.4.2. Különböző fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata

A CSKK és PKSG állomás szeizmogramjaiból - hasonlóan a PSZ állomás adataihoz - többféle amplitúdót és amplitúdó arányt határoztam meg. A maximális amplitúdó értékeket mértem ki 1-4 Hz, 4-7 Hz és 7-10 Hz frekvenciák közötti Butterworth sávszűrő alkalmazása után, illetve szűrő alkalmazása nélkül. A szűretlen amplitúdó adatok a CSKK állomás esetében 0-25 Hz közötti, a PKSG-nél 0-31,5 Hz közötti frekvenciatartományból kiolvasott értékeket jelent. (A mintavételi idő CSKK állomáson 50 Hz, a PKSG esetében 62,5 Hz volt)

A következő amplitúdó értékeket olvastam ki:

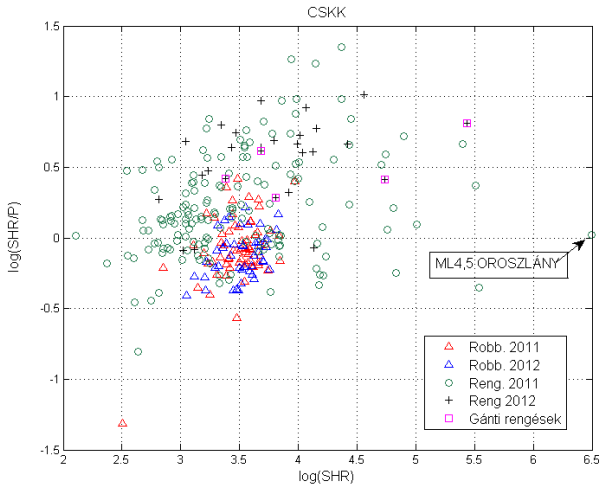
1. A P hullám amplitúdója (4 adat: szűretlen és a 3 féle sávszűrés után)
2. Az S hullám maximális amplitúdója az SHR és SHT csatornán (8 adat)
3. Az Rg hullám maximális amplitúdója 0,5-1,5 és 0,66-2 Hz közötti sávszűrés után (2 adat)

A 4.10.-4.11. ábrán a szűrés alkalmazása nélkül kiolvasott $log(SHR/P)$ amplitúdó értékeket ábrázoltam a $log(SHR)$ értékek függvényében. A szakirodalom alapján ez a leggyakrabban használt paraméter kombináció a robbantások diszkriminációjára. Külön jelöltem a 2011-es és a 2012-es év szeizmikus eseményeit. A háromszögek a robbantásokat, a négyszögek és a „+” jelek a földrengéseket jelölték. A CSKK állomás diagramján jobban beleolvadtak a robbantások paraméterei a földrengések közé, mint a PKSG állomás adatai esetében. Mindkét évben hasonló értéktartományt érintettek a földrengések és hasonlót a robbantások adatai. A CSKK állomás esetében nagyobb, a PKSG esetében kisebb átfedés volt a két csoport közöttük. Várható, hogy elegendő számú esemény esetén meghatározhatóak azok a paraméter értékek, amelyek jellemzik a terület robbantásait és földrengéseit.

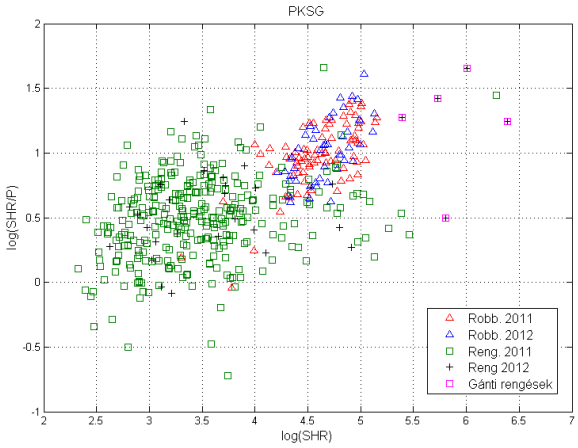
A 4.10.-4.11. ábrákon külön jelöltem a 2012. áprilisban Gánton kipattant földrengések amplitúdó adatait. Április hónapban Gánton kipattant M_L=2,7 rengést közel 300 utórengés követte, és ezek közül összesen 6 utórengés epicentrumát sikerült meghatározni, méretük M_L=0,9 és M_L=1,8 között változott. Ezek az események azért érdekesek az analízis szempontjából, mert epicentrumaik egybeestek a bánya területével. Az ábrákon azonban látható, hogy ezek a földrengések nem a robbantásokra jellemző amplitúdó értékeket vették fel. A PKSG állomáson a legnagyobb M_L=2,7 rengés hullámformája használhatatlan volt, mert a talajsebesség meghaladta a műszer által mérhető legnagyobb sebesség értéket.

Ezután az MD távolság számításával meghatároztam, hogy melyik sávhatár között kiolvasott Rg, valamint melyik horizontális csatornához tartozó S hullám (SHR vagy SHT) amplitúdó értékek, és melyik sávszűrő alkalmazása esetén különülnek el jobban a robbantások és földrengések. A 4.3. táblázatban összesítettem a különböző paraméterek segítségével kapott átlagos MD értékeket. A két csoport elkülönülését akkor tekintettem megfelelőnek, ha az |MD|>4.

A számítások hasonló eredményt adtak, mint a PSZ állomás esetében. Az SHR komponensen mért amplitúdókat használva a földrengések esetén nagyobb MD értékeket kaptam,



4.10. ábra. *A CSKK állomás regisztrátumaiból meghatározott log(SHR/P) vs. log(SHR) értékek*



4.11. ábra. *A PKSG állomás regisztrátumaiból meghatározott log(SHR/P) vs. log(SHR) értékek*

mint az SHT-nél. A szeizmogram alacsony frekvenciás összetevőit vizsgálva (Rg fázis), a 0,5-1,5 Hz-es sávszűrő alkalmazása esetén jobb elkülönülést kaptam, mint 0,66-2 Hz-nél. Az 1-4 Hz, 4-7 Hz és 7-10 Hz közötti sávszűrés esetén pedig - a PSZ adatrendszerhez hasonlóan - azt tapasztaltam, hogy sok eseménynél a P és S hullámokat nem lehetett meghatározni e szűk sávszűrők használata után.

Legtöbb esetben legmegfelelőbbnek a szűretlen hullámformák adatai bizonyultak. Ez a 4.3. táblázat első sora, ami szerint földrengések esetében mindkét állomásra ez adta legjobb eredményt. A robbantások MD értékei egyik állomás esetében sem érték el a MD<-4 értéket, de a PKSG esetében ezek a szűretlen adatok adták a legjobb eredményt.

4.3. táblázat. *Az MD távolságok átlaga különböző paraméter kombinációk esetén*

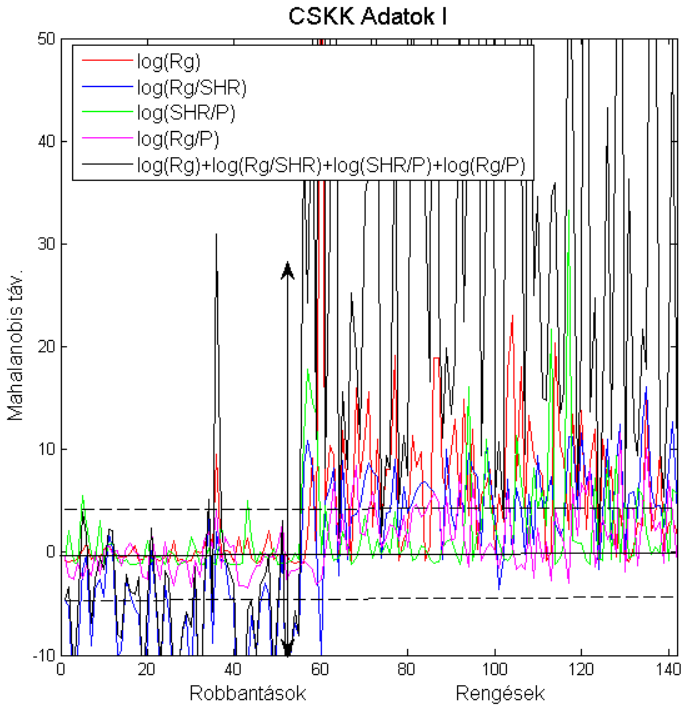
	Robb. CSKK	Robb. PKSG	Reng. CSKK	Reng. PKSG
log(SHR/P) szűretlen + Rg (0,5-1,5Hz)	0,19	-2,62	16,40	12,02
log(SHT/P) szűretlen +Rg (0,5-1,5Hz)	0,71	-2,03	14,56	11,98
log(SHT/P) szűretlen +Rg (0,66-2,0Hz)	0,67	-2,19	12,9	8,96
log(SHR/P) 1-4 Hz +Rg (0,5-1,5Hz)	0,59	kevés adat	15,98	kevés adat
log(SHR/P) 4-7 Hz +Rg (0,5-1,5Hz)	1,03	-1,00	1,97	7,22
log(SHR/P) 7-10 Hz +Rg (0,5-1,5Hz)	1,18	0,46	6,58	14,39

4.4. táblázat. *Az Adatok I és Adatok II felosztása a CSKK és PKSG esetében*

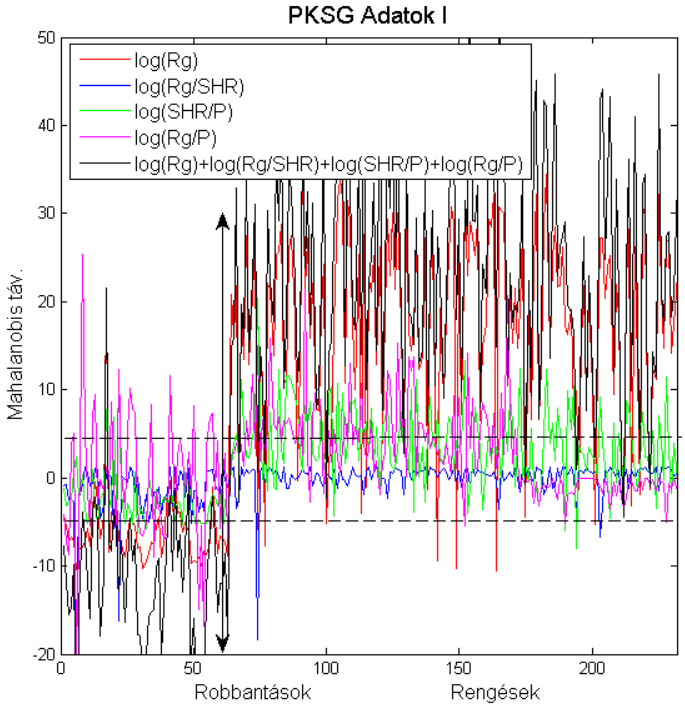
	Adatok I		Adatok II	
	robbantások	rengések	robbantások	rengések
CSKK	55 esemény CSB1-CSB56	87 esemény CSEQ1- CSEQ92	63 esemény GB3-GB68	169 esemény GEQ1-GQ174
PKSG	51 esemény CSB57-CSB108	90 esemény CSEQ93-CSEQ183	63 esemény GB69-GB126	170 esemény GEQ175-GEQ345

4.5. táblázat. *Az MD távolságok átlaga különböző paraméter kombinációk esetén, az adatrendszert két részre bontva*

	Robbantás		Rengés	
	CSKK	PKSG	CSKK	PKSG
	Adatok I			
log(Rg/P)	0,24	-0,14	0,49	3,04
log(Rg/SHR)	-7,77	-1,78	5,29	0,12
log(SHR/P)	-0,21	-2,35	3,06	3,95
log(SHR)	1,09	-4,27	11,21	15,6
log(Rg)	0,34	-5,88	7,59	17,78
log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)	-5,52	-7,45	24,7	6,84
log(SHR/P)+log(SHR)+log(Rg)	-6,24	-7,97	19,97	27,36
log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)+log(Rg)	-4,68	-11,58	37,95	23,60
	Adatok II			
log(Rg/P)	0,73	-2,3	4,35	5,93
log(Rg/SHR)	-0,51	0,13	6,03	0,9
log(SHR/P)	-0,53	-1,01	6,25	5,4
log(SHR)	0,59	-0,78	7,08	23,42
log(Rg)	1,37	-1,72	10,10	27,11
log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)	0,22	-2,17	26,6	7,60
log(SHR/P)+log(SHR)+log(Rg)	1,36	-2,45	22,02	34,25
log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)+log(Rg)	2,24	-2,75	37,96	34,33



4.12. ábra. *A CSKK állomáson regiszrált amplitúdó-paraméterek MD értékei*



4.13. ábra. *A PKSG állomáson regiszrált amplitúdó-paraméterek MD értékei*

Az adatok felosztását a 4.4. táblázatban foglaltam össze. Az Adatok II alapján számított MD értékeket a 4.12.-4.13. ábrák mutatják. Az ábrákon vízszintes vonal jelöli a „-4” és „4” határokat, ami alatti és fölötti MD értékeknél az események statisztikai szempontból szétváltak a másik csoporttól. A vízszintes tengelyen függőleges vonal mutatja a robbantások és földrengések adatainak határát.

A 4.5. táblázatban összesítettem az egyes paraméterekre, és paraméter kombinációkra kapott MD távolságok átlagát. A szűretlen SHR és az Rg(0,5-1,5 Hz) amplítúdó adatokat használtam fel. Az elkülönülés az Rg, P és SHR amplitúdó adatok együttes felhasználásával ($log(SHR/P) + log(SHR) + log(Rg)$) mindkét állomáson javult. Az MD meghatározására 4 bemenő adatot figyelembe véve ($log(Rg/P) + log(SHR/P) + log(Rg/SHR) + log(Rg)$) tovább javultak az MD eredmények. Megállapítható, hogy a hullámformák amplitúdó adatai alapján az Adatok II. esetében egyik állomáson sem voltak statisztikailag elkülöníthetők a robbantások a földrengésektől.

A következő megfigyelések vonhatók le a CSKK és PKSG állomás hullámforma amplitúdó adataiból:

- *A szűretlen P és S hullám amplitúdó adatok megfelelőbbnek bizonyultak, mint a szűrt adatok. Ennek oka, hogy a szűk határok közötti sávszűrések után sok esetben a P és S fázis amplitúdója nem volt meghatározható, elveszítette a szeizmogram az eredeti karakterét.*

- *Az alacsony frekvencia tartalmú Rg fázis 0,5-1,5 Hz közötti frekvenciasávban mért amplitúdó adatok használatakor jobban szétvált a robbantások és földrengések osztálya.*

- *A P, S és Rg amplitúdó adatok alapján a robbantások elkülönülése nem volt megfelelő az Adatok II esetében.*

- *A CSKK állomás esetében az SHR csatorna használatával a földrengések jobban elváltak a robbantásoktól, mint az SHT adatokkal. A PKSG állomásnál nem volt nagy eltérés az SHR és SHT amplitúdó adatok eredménye között.*

- *A 2012. áprilisi gánti M_L=2,7 földrengés és utórengései hullámforma paramétereik alapján jól elkülönültek a robbantásoktól annak ellenére, hogy epicentrumaik a bánya területétől csak néhány km-re voltak.*

4.4.3. A hullámformák hasonlósága

Annak ellenére, hogy az események többsége kisméretű (M_L<1) volt, a CSKK és PKSG állomások epicentrumokhoz való közelsége miatt (5-10 km) jelentős számú esemény hullámformája alkalmas volt korrelációs analízisre. Olyan események hullámformáit is belevettem a korrelációs analízisbe, amelyeknek epicentrumát nem sikerült meghatározni, de elég nagy amplitúdóval rendelkeztek, és hullámformáik hasonlítottak olyan eseményekéhez, amelyek epicentruma ismert volt. A kritikus korrelációs együtthatót, ami fölött az eseményeket hasonlónak tekintettem, c_{xy}=0,75-nek vettem, és 8 sec hosszú szeizmogramokat vizsgáltam,

ami közeli hipocentrumok esetében az esemény teljes szeizmogramját tartalmazta. A hasonlónak tekinthető események korrelációs együtthatóját itt magasabbnak vettem, mint a PSZ adatrendszer esetében (ott c_{xy}=0,6 volt), mert több hullámforma adattal tudtam dolgozni, amik között nagyon sok hasonló esemény volt.

Mindkét állomás esetében a Z vertikális és az É-D-i horizontális csatorna hullámformáit elemeztem. A vertikális csatornán a P, míg a horizontálison az S hullámok fázisai jelentkeznek nagyobb amplitúdóval. A CSKK állomás esetében a vertikális, míg a PKSG állomásnál az É-D-i horizontális komponens esetében kaptam több hasonló eseményt (4.6. táblázat). A CSKK állomáson regisztrált események több mint fele robbantás volt, ennek ellenére csak 3% hasonló párt találtam közöttük. A csoportok elemei eltérő magnitúdójú eseményeket tartalmaztak.

4.6. táblázat. *A hullámforma korrelációban szereplő események száma (c_{xy}=0,75)*

állomás	összes rengés	hasonló rengés	összes robb.	hasonló robb.
CSKK SHZ	128	45%	72	3%
PKSG SHN	375	78%	114	34%

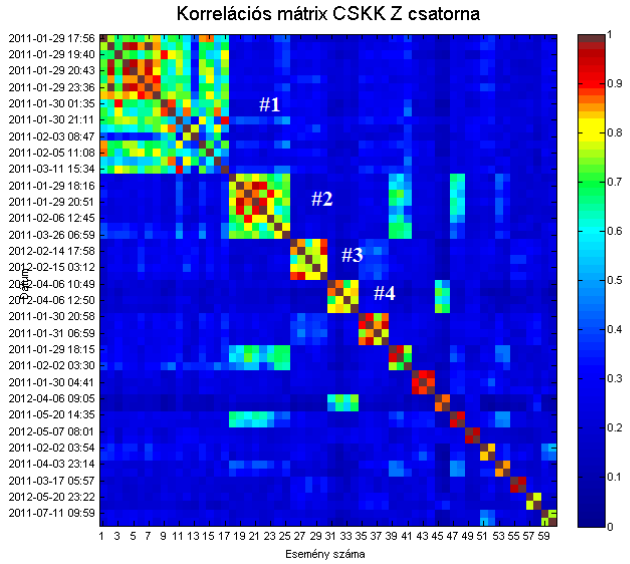
Gánton a Richter-skála szerinti M_L2,7 erősségű földrengés pattant ki 2012. április 6-án, amit sokan éreztek az epicentrum közelében. Ez a rengés rendkívül közel pattant ki a PKSG (Gánt) állomáshoz, gyakorlatilag „alatta” (a gánti bánya robbantásai is az állomástól 3 km-re történtek). Április végéig 140 utórengés követte, ezek azonban olyan kicsik voltak, hogy többségüket csak ez az egy közeli állomás rögzítette, ezért nem kerültek katalógusba. Hullámformáik viszont nagyon hasonlítottak egymásra (Kiszely, 2012). A PKSG állomás É-D-i komponens hullámformáit kiegészítettem ezekkel az eseményekkel. A következőkben először a CSKK állomás és utána a PKSG állomás hullámforma elemzésének az eredményét mutatom be.

A CSKK állomás Z csatornához tartozó hullámformáinak korrelációs mátrixa és dendrogramja a 4.14. és 4.15. ábrákon látható. Sajnos az állomás 2011.02.06 és 2011.03.02 között nem működött, ezért a 2011. január. 29-i oroszlányi főrengés utórengéseinek egy része kimaradt az analízisből. A korrelációs mátrixban nem időrendben láthatók az események, hanem az egymással kapott hasonlóság alapján rendezve. Az átló mentén látható minden négyzet 1-1 klaszter, amikbe az egymáshoz – a meghatározott kritérium szerint – hasonló események kerültek. A legfelső a legnagyobb klaszter, a többiek egyre kevesebb számú elemből állnak. Az átló alsó részén dublettek láthatók, ezek 2-2 hasonló eseményt tartalmaznak. A korrelációs mátrixhoz tartozó dendrogramon hasonlóságuk alapján rokonsági ágakba lettek kapcsolva az események, itt a négy legnagyobb klasztert külön jelöltem.

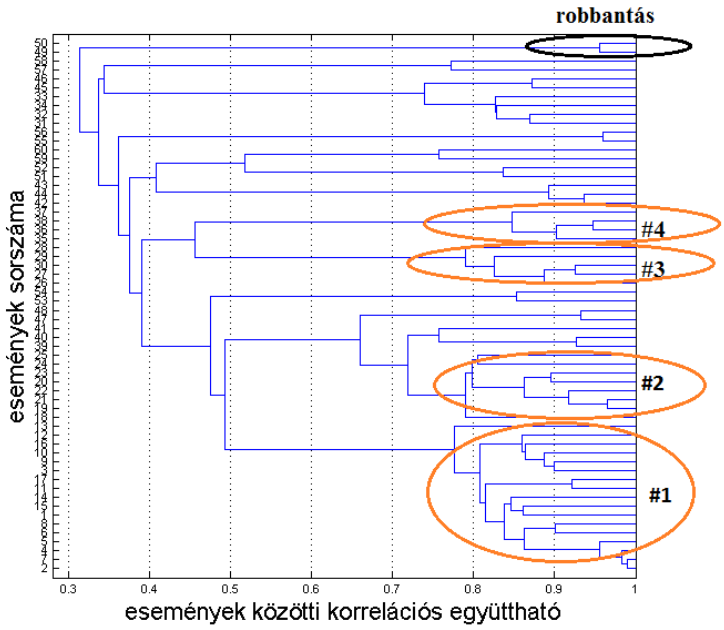
Megállapítható, hogy a robbantások között csak egyetlen dublett alakult ki, és a földrengésekhez egyetlen robbantás sem bizonyult hasonlónak. Az 4.16a. és 4.16b. ábrán a 4 legnagyobb klaszter tipikus szeizmogramjai láthatók c_{xy}=0,75 és c_{xy}=0,8 esetében. A két legnagyobb klaszter c_{xy} =0,75 esetében a 17 ill. 8 földrengést tartalmazott, amelyek mind az oroszlányi földrengés utórengései voltak. A #3 klaszter a Móri-árokhoz tartozó, a #4 a 2012. áprilisi M_L=2,7 gánti földrengések csoportja.

A kritikus c_{xy} együttható értékét 0,85-re emelve, 60-ról 43-ra csökkent a hasonló ese-

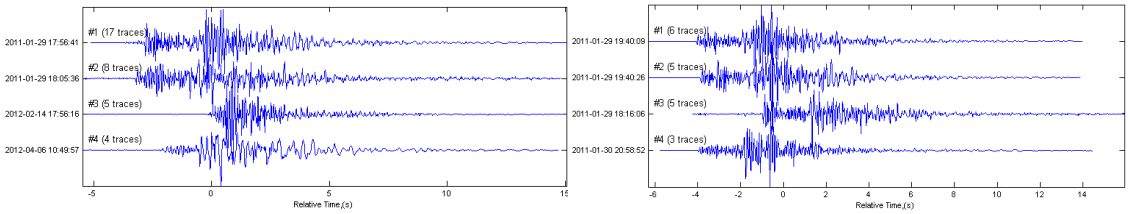
mények száma. Ez már szoros csoportokat jelölt, ami azt jelenti, hogy az ilyen epicentrumoknak egymáshoz közel kellett lennie. A c_{xy}=0,75 esetén kapott #1 klaszter 2 kisebb klaszterre vált szét, #2, #3 és #4 klaszterekből pedig néhány esemény kimaradt.



4.14. ábra. *CSKK Z csatorna korrelációs mátrixa*



4.15. ábra. *CSKK Z csatorna dendrogramja*



(a) c_{xy}=*0,75 esetén* **(b)** c_{xy}=*0,85*

4.16. ábra. *A CSKK Z csatorna négy legnagyobb klaszterének jellemző szeizmogramjai*

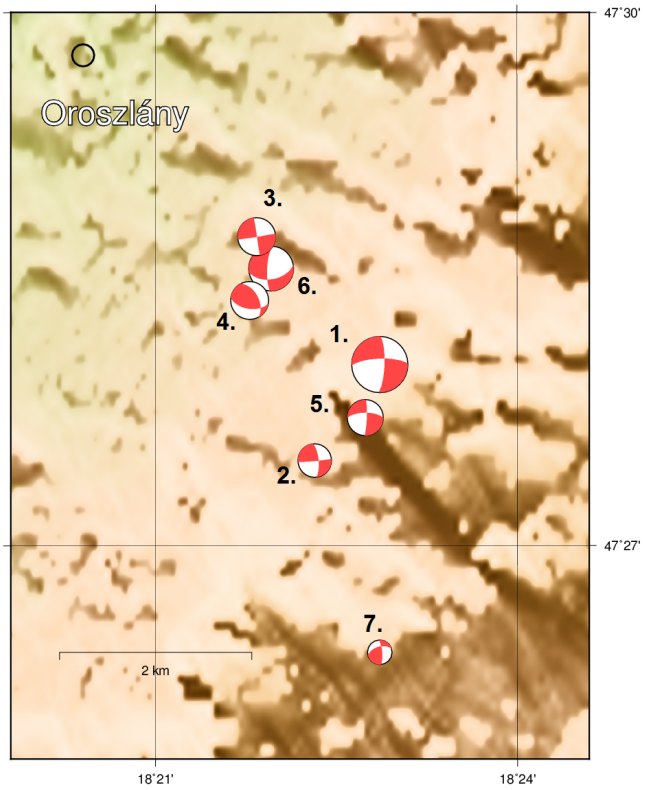
Az események közül az oroszlányi főrengés és további 6 esemény fészekmechanizmusát sikerült meghatározni (Az F.5. Melléklet, CSKK és PKSG állomásra érvényes sorszámokkal). A rengések fészekmechanizmus megoldásainak vizuális megjelenítése a 4.17. ábrán látható. Az 1-4 sorszámú események fészekmechanizmusát Wéber és Süle cikke alapján (Wéber & Süle, 2014), az 5-7 eseményekét a 2011 és 2012-es Évkönyvek alapján (Tóth et al. 2012; 2013) ábrázoltam. Ezek többsége nagyon hasonló ÉK-DNY irányú elmozdulásról árulkodnak, illetve a 4. és 7. sorszámú utórengések az epicentrum környezetében uralkodó kompressziós feszültségviszonyokról árulkodnak. Ha egy szoros klaszterbe belekerül egy ismert fészekmechanizmusú esemény, akkor a többi eseménynek – az elmélet alapján – is ehhez hasonló fészekmechanizmust tulajdoníthatunk.

A CSKK állomás hullámformáiból c_{xy} =0,85 feltétel esetén kialakult „szoros” klaszterek esetén a 2 és 5-ös, valamint a 3 és 4-es jelű fészekmechanizmussal rendelkező utórengések kerültek közös klaszterbe. A PKSG esetében c_{xy} =0,85 feltétellel a 7-es és 2-es jelű fészekmechanizmusok kerültek bele 1-1 klaszterbe (4.17. ábra). Ez utóbbi 2 klaszter 51 és 13 elemet tartalmazott.

Az ismert fészekmechanizmusú események listája:

1. CSEQ6-GEQ4: 2011.01.29 17:41 M_L4,5
2. CSEQ46-GEQ83: 2011.01.30 13:34 M_L2,0
3. CSEQ49-GEQ90: 2011.01.30 20:58 M_L2,7
4. CSEQ55-GEQ105: 2011.01.31 00:25 M_L2,4
5. CSEQ87-GEQ215: 2011.03.11 01:45 M_L2,3
6. CSEQ129-GEQ282: 2011.07.11 06:05 M_L3,5
7. CSEQ167-GEQ322: 2012.03.13 03:26 M_L1,5

A PKSG állomás szerencsére végig működött a vizsgált időszakban. Az É-D horizontális csatorna hullámformáinak elemzése a következő eredményt adta. Az oroszlányi M_L=4,5 főrengés és a 2012. áprilisi M_L=2,7 rengés hullámformái nem voltak használhatók az analízisben, mert olyan nagy amplitúdóval érkeztek be a hullámok az állomásra, hogy a műszer nem volt képes végig detektálni a hullámvonulatot pontos sebességértékekkel. A regisztrált



4.17. ábra. *A főrengés és 6 utórengés fészekmechanizmusa*

hullámformák korrelációs mátrixa c_{xy} =0,75 és c_{xy} =0,85 feltételek mellett az 4.18. és 4.19. ábrákon láthatók. Az első esetben 318, az utóbbiban 158 hullámforma mutatott a megadott határ feletti hasonlóságot. A c_{xy} =0,75 feltétel esetében kialakult 4 legnagyobb klasztert külön jelöltem az ábrán.

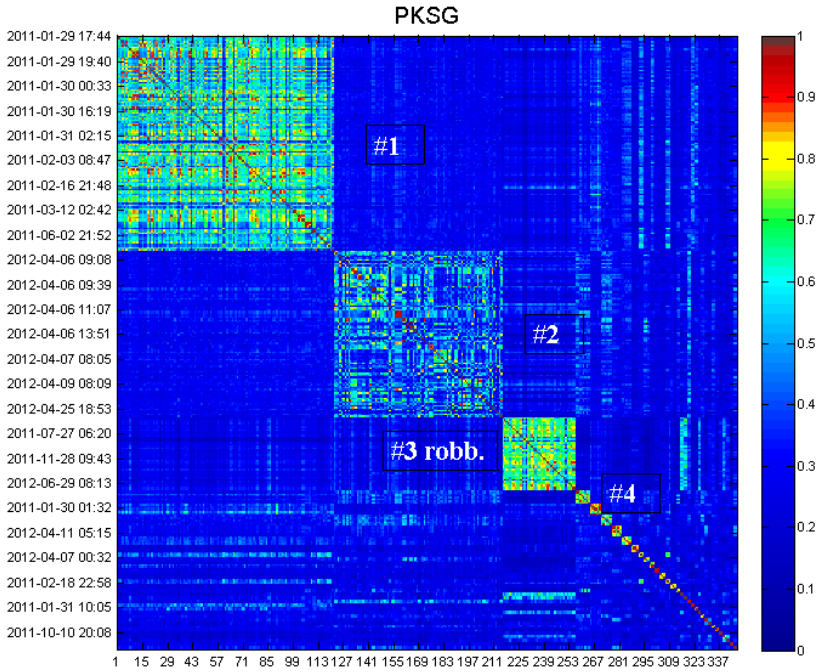
A CSKK állomás Z komponens hullámformáinak a c_{xy} =0,75 feltétellel alkotott klaszterei közül a #1-be került a CSEQ46 és CSEQ87; a #4-be a CSEQ49 és CSEQ55 esemény került bele. A CSEQ129 esemény pedig egy dublettet alkotott a CSEQ157 rengéssel.

A PKSG szeizmogramjai esetén c_{xy} =0,75 (4.18. ábra) helyett szigorúbb c_{xy}=0,85 feltételnél (4.19. ábra) a földrengések legnagyobb klasztere három csoportra vált szét, amit körökkel emeltem ki. Az 4.20a. ábrán a c_{xy}=0,75 feltétel melletti négy legnagyobb klaszter tipikus szeizmogramja és 4.20b. ábrán azok kipattanási időpontjai láthatók. A #1 klaszter az oroszlányi, a #2 és #4 pedig a gánti 2012. áprilisi rengés hasonló utórengéseit tartalmazza (ez utóbbi kettő klaszter elemeinek a kevés adat miatt nem lett epicentruma, időbeli kiterjedésük 1 hónap volt).

A #3 jelű klaszterbe a gánti Dolomit Kőbányászati Kft. robbantásai kerültek. Az #1 klaszter elemeinek időbeli kiterjedése még 2012-es évre is áthúzódott, de a főrengés időpontja körül volt a legtöbb esemény, ezután számuk egyre kevesebb lett. A robbantások a vizsgált időszakban rendszeresen előfordultak.

A CSKK állomás Z komponens hullámformáinak legnagyobb klasztere a c_{xy} =0,85 feltételesetén 3 részre bomlott, külön csoportba került a CSEQ46 és CSEQ87 esemény, de e szigorúbb feltétel esetén is egy csoportban maradt a CSEQ49 és CSEQ55 ismert fészekme-

chanizmusú utórengés.



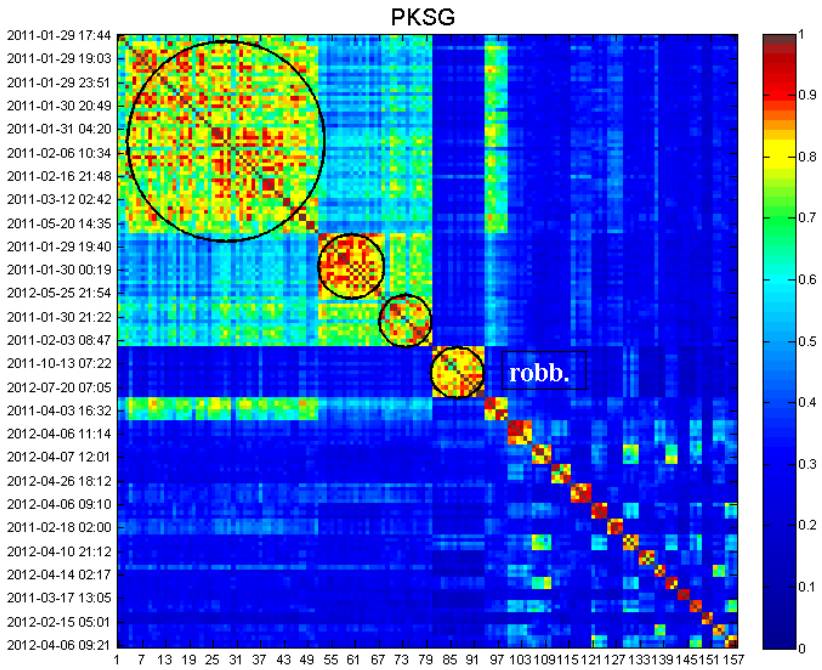
4.18. ábra. *A PKSG É-D csatorna korrelációs mátrixa c_{xy}=0,75 esetén*

A PKSG É-D horizontális csatorna c_{xy} =0,75 feltétel alapján meghatározott klasztereinek adatait a 4.7. táblázatban közöltem. A legjelentősebb klaszterek epicentrum térképe pedig a 4.24. ábrán látható. A Móri-árok területén az események 5 klasztert alkottak. Ezek epicentrumai a PKST-CSKK-PKSG által meghatározott irányra (amit piros vonallal jelöltem) merőleges, közel párhuzamos vonalakra esnek. Ezen klaszterek elemeinek közelebb kellene lennie egymáshoz (néhány km). Széttolódásuk a kedvezőtlen állomás konfigurációnak tudható be. Ugyanez mondható el az oroszlányi utórengések eloszlásáról is.

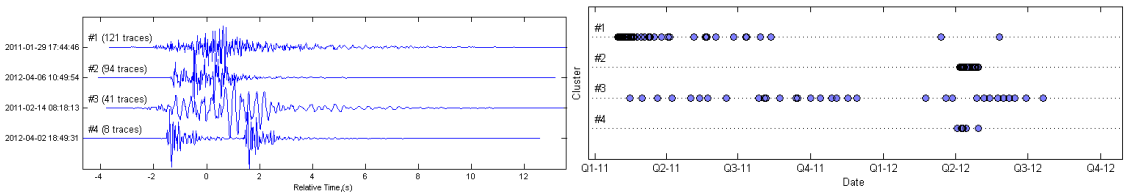
Kb. 160 olyan hullámformát vizsgáltam, amelyek forrását nem sikerült meghatározni (pl. a gánti, 2012. április 6-i M_L2.7 főrengés utórengései). Ezek közül 110 volt c_{xy} =0,75 feltétel mellett hasonló valamelyik másik eseményhez. A klaszter analízis lehetővé teszi, hogy az utórengések számát, és időbeli lecsengését olyan eseményekkel egészítsük ki, amelyek epicentrumát a korlátozott állomásszám miatt nem lehetett meghatározni. Amennyiben egy ismert eseménnyel került egy ilyen esemény azonos klaszterbe, feltehető, hogy epicentruma is közel volt ahhoz.

A PKSG állomáshoz tartozó klaszterek közé három olyan esemény került, aminek a fészekmechanizmusát sikerült meghatározni. A GEQ83 és GEQ322 események a #1 klaszterbe, és a GEQ105 a #16 klaszterbe került. A c_{xy} =0,85 feltétel szerinti #1 klaszterbe került két utórengés már két különböző csoportba került. A GEQ322 rengés szeizmogramja a 4.22. ábra utolsó eseményeként látható, a GEQ83 rengést a 4.23a. ábrán nyíllal jelöltem.

A PKSG É-D horizontális és a CSKK állomás vertikális és É-D horizontális csatornája



4.19. ábra. *A PKSG É-D csatorna korrelációs mátrixa c_{xy}=0,85 esetén. A c_{xy}=0,75 #1 klasztere 3 nagyobb részre vált szét, amiket körökkel jelöltem*



(a) *Jellemző szeizmogramok* **(b)** *A klaszterek elemeinek időbeli eloszlása*

4.20. ábra. *A PKSG É-D-i csatorna négy legnagyobb klaszterének jellemző szeizmogramja és időbeli kiterjedésük (c_{xy} =0,75) feltétel mellett*

alapján meghatározott klasztereket az alábbiakban összehasonlítottam. Mint láttuk a 4.19. ábrán, a PKSG c_{xy} =0,75 #1 klasztere c_{xy} =0,85 feltétel esetén három nagyobb csoportra vált szét. A 4.8. táblázatban foglaltam össze a két állomás klasztereit. A többi csoport esetében is megvoltak a megfelelő egyezések, a kimutatott klaszterek tehát állomástól független fizikai tartalommal bírnak. Az eltérő klaszterek fészekmechanizmus vagy a sugárút tekintetében különbözhettek egymástól.

Mint korábban említettem, A PKSG állomáshoz tartozó c_{xy} =0,75 feltétellel kialakult legnagyobb klaszere c_{xy} =0,85 esetén három nagyobb csoportra vált. Ezeknek és a negyedik klaszter (robbantások) szeizmogramjai az 4.21.-4.23b. ábrákon láthatók (c_{xy} =0,85 feltétellel). A csoportok egyes elemeinek hasonlósági fokáról az események dendrogramja ad információt (4.25. ábra). A dendrogramon jelöltem a 2012. áprilisi gánti M_L2,7 rengést

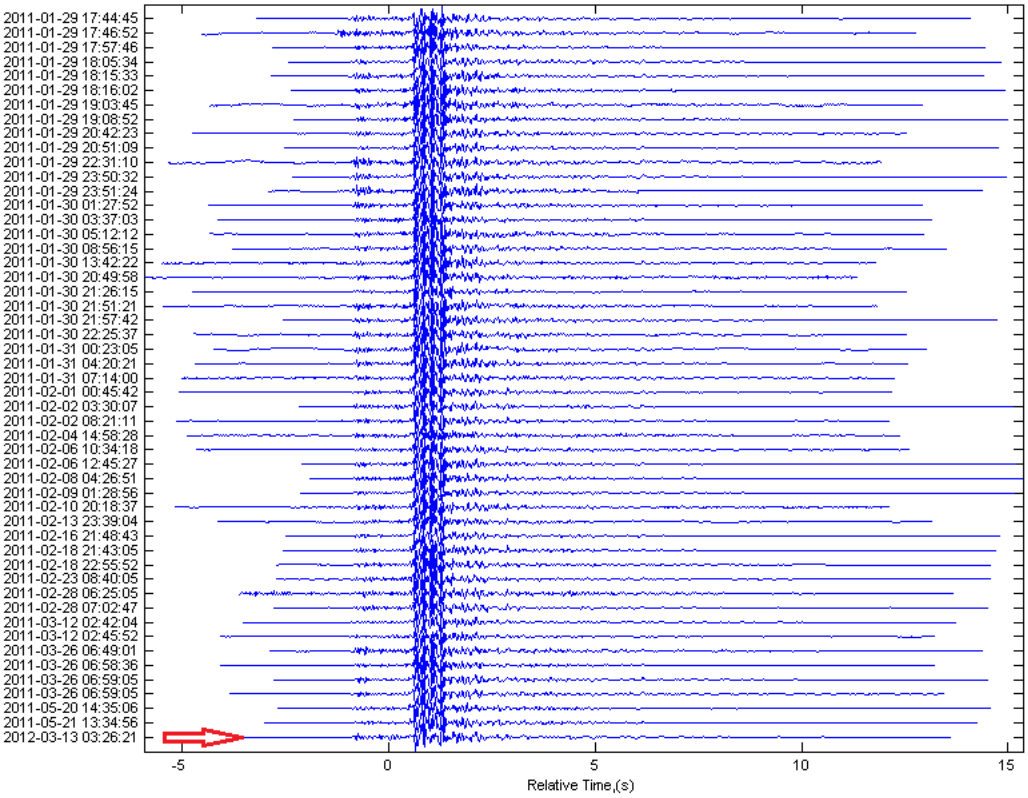
4.7. táblázat. *A PKSG állomáson regisztrált földrengések klaszterei c_{xy} =0,75 feltétel mellett*

N	elemszám	napok	min M_L	max M_L	Terület
#1	121	482	-0,5	2	oroszlányi
#2	94	28	(nem megh.)	(nem megh.	2012.04. gánti
#4	8	28	(nem megh.)	(nem megh.)	2012.04 gánti
#5	6	28	(nem megh.)	(nem megh.)	2012.04 gánti
#6	6	2	(nem megh.)	(nem megh.)	2012.04 gánti
#7	6	85,4	0	1,7	oroszlány
#8	5	436	0,9	2,2	oroszlányi
#9	4	0,4	0	0,6	Móri-árok
#10	3	197,7	0,3	0,5	oroszlány
#11	3	40,5	0,1	0,9	oroszlányi
#12	3	6,8	(nem megh.)	(nem megh.)	gánti
#13	3	7,5	0	0,5	Móri-árok
#14	3	24,3	0	1,1	Móri-árok
#15	3	16,9	0	1	oroszlányi
#16	3	0,63	0,2	2,4	oroszlányi
#17	2	2,74	0,1	1,2	oroszlányi
#18	2	0,0006	0	0,6	oroszlány
#19	2	0,25	0,2	0,8	Móri-árok
#20	2	148,7	0,6	0,7	oroszlányi
#21	2	2,42	-0,1	0,6	oroszlányi
#22	2	0,0015	0,7	1,8	Móri-árok

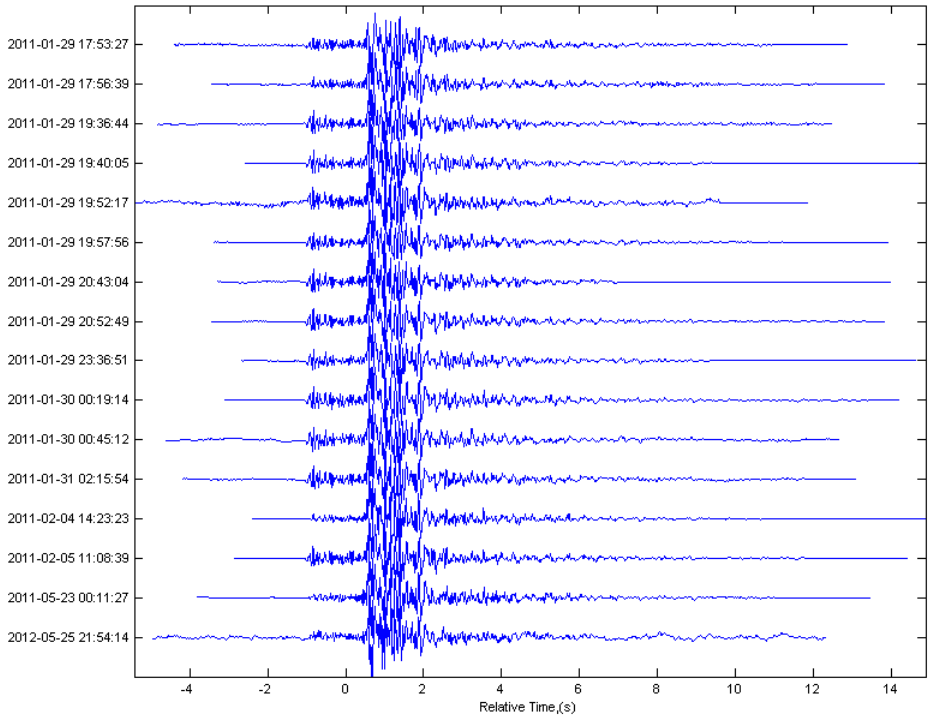
követő utórengések klasztereit (amiket csak a PKSG állomás detektált), az oroszlányi #1, #2, #3 jelű utórengéseket és a robbantások elhelyezkedését. A gánti és oroszlányi utórengések külön ágakon találhatók, térben is távolabb voltak az epicentrumok egymástól. A gánti robbantásokhoz a dendrogramon legközelebb a gánti utórengések álltak. Ezek az oroszlányi utórengésekhez és egyéb eseményekhez sem hasonlítottak, távol is estek azoktól. A gánti és az oroszlányi utórengések 2 ill. 3 alcsoportra oszlottak. Az alcsoportok elemei szoros kapcsolattal jellemezhetők: nemcsak a forrás helye, hanem a fészekmechanizmusuk is nagyon hasonló lehetett.

4.8. táblázat. *A PKSG és CSKK klasztereinek átfedése*

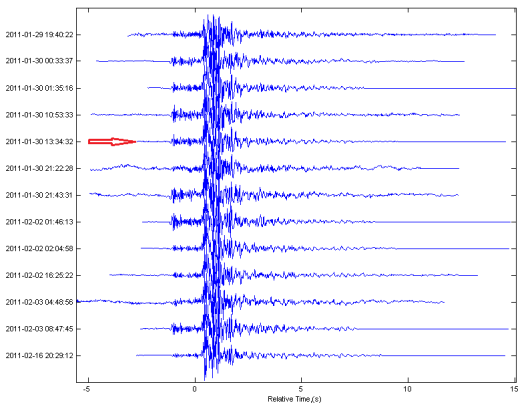
CSKK É-D c_{xy} =0,75	CSKK Z c_{xy} =0,75	CSKK Z c_{xy} =0,85	PKSG É-D
#1	#1	#1	#2 c_{xy} =0,85
#3	#1	#2	#3 c_{xy} =0,85
#2	#2	#3	#1 c_{xy} =0,85
#4	#3		#9 c_{xy} =0,75
#5	#4	#4	#16 c_{xy} =0,75
#6	#5		#3 c_{xy} =0,75
#7	#6		#7 c_{xy} =0,85



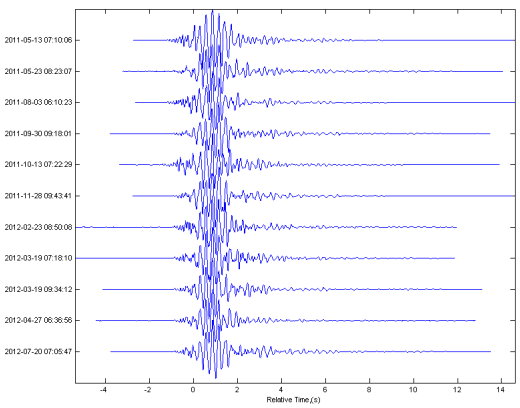
4.21. ábra. *A PKSG állomáson regisztrált #1 klaszterbe tartozó események szeizmogramjai c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett. Az ismert fészekmechanizmusú eseményt nyíl jelöli*



4.22. ábra. *A PKSG állomáson regisztrált #2 klaszterbe tartozó események szeizmogramjai c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett*

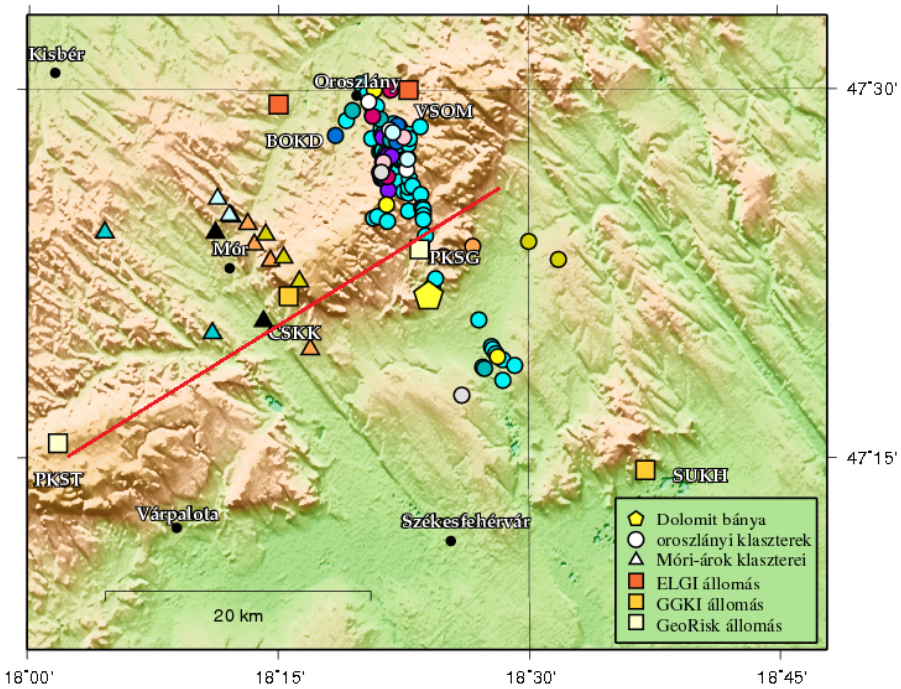


(a) *#3*

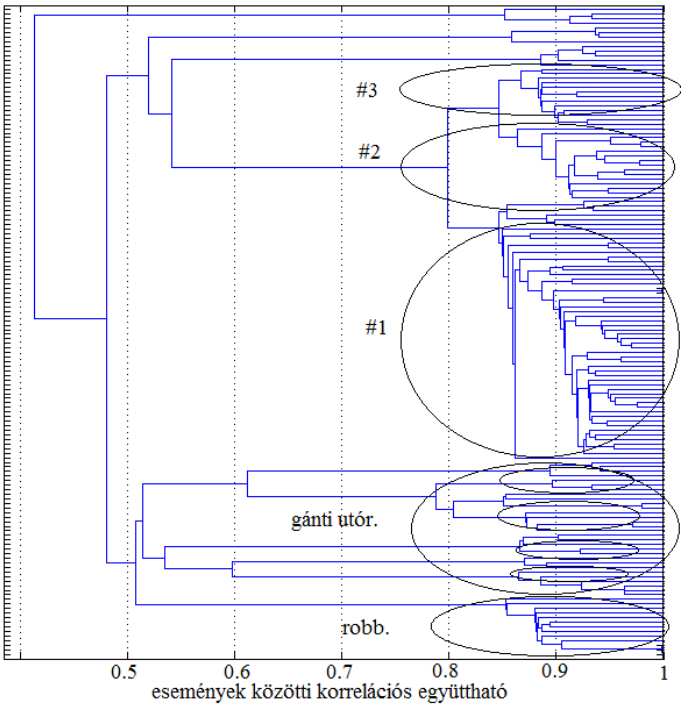


(b) *#4*

4.23. ábra. *A PKSG állomáson (a) #3 földrengések és (b) #4 robbantások klasztereihez tartozó szeizmogrammok c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett. Az ismert fészekmechanizmusú eseményt nyíl jelöli*



4.24. ábra. *PKSG állomás hullámformái alapján elkülönített jelentősebb klaszterek (c_{xy} =0,75) epicentrum térképe. Körökkel a legjelentősebb oroszlányi utórengések, háromszögekkel a Móri-árok területén kipattant földrengések klasztereit jelöltem. A különböző színárnyalatok, különböző klasztereket jelentenek*



4.25. ábra. *A PKSG-hez tartozó hullámformák c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett meghatározott dendrogramja*

A következő mondható a két állomás klaszter csoportjairól:

- *A CSKK É-D hullámformákból származó c_{xy} =0,75 feltétel mellett meghatározott három legnagyobb csoport (#1; #2; #3) a PKSG c_{xy} =0,85 három legnagyobb klaszterével mutatott átfedést.*

- *A CSKK Z komponensének c_{xy} =0,75 elemzésével talált #1 klaszter pedig megfelelt a PKSG c_{xy} =0,85 feltétel esetén meghatározott #2 és #3 csoportoknak.*

- *A felsorolt ismert fészekparaméterű események közül az 5. rengéssel a CSKK Z komponensei alapján a CSEQ50 és CSEQ89 alkottak c_{xy} =0,85 feltétel esetén szoros csoportot. A 2. rengéssel a CSEQ22, CSEQ39, és CSEQ69 alkotott szoros klasztert. A 4. esemény pedig a CSEQ49 és CSEQ63 regésekkel hármas csoportot hozott létre. Feltehető, hogy a csoport tagjai az ismert fészekmechanizmusú rengéshez hasonlóval mentek végbe.*

- *A PKSG É-D komponensei alapján a 7. esemény c_{xy} =0,85 feltétel esetén szoros csoportot alkotott egy 51 elemű és 2. utórengés egy 13 taggal rendelkező csoporttal. Ezek az ismert fészekmechanizmusú eseményhez közeli és hasonló fészekmechanizmusú események lehettek.*

A következő megfigyelések vonhatók le a hullámforma korreláció vizsgálatokból:

- *A CSKK állomás esetében a vertikális, míg a PKSG állomás esetében a horizontális csatorna szeizmogramjai eredményeztek több hasonló eseményt.*

- *A szeizmikus események – amelyeknek hullámformáit elemeztem – az esetek 88%-ban 10 km-nél közelebb estek a PKSG állomáshoz, és csak 36%-ban voltak közelebb a CSKK állomáshoz. Minél távolabbi az epicentrum, annál több fázis érkezik be, illetve jobban szétterültek a P és S hullámok csomagjai. Az állomáshoz közeli események ezért jobban hasonlítanak egymáshoz, mint a távolabbiak.*

- *Az eseményhez (oroszlányi utórengések) közelebbi állomás (PKSG) hullámformáinak csoportjai a távolabbi állomás (CSKK) esetében már kisebb c_{xy} feltétel esetén is szétváltak egymástól.*

- *Az események hasonlóságát nem befolyásolja azok mérete. A PKSG É-D csatorna legnagyobb klaszterének – amihez 121 rengés tartozott c_{xy} =0,75 feltétel esetén – legkisebb eleme M_L=-0,5, legnagyobb pedig M_L=2 magnitúdójú volt.*

- *Több olyan esemény is bekerült valamelyik klaszterbe, amiket kis méretük miatt csak 1-2 állomás regisztrált, így a helyüket nem lehetett meghatározni, és nem lehetett katalogizálni. Hullámforma korreláció segítségével tehát az utórengések számáról és a felszabaduló energiáról pontosabb ismereteket kaphatunk.*

- *Előfordult, hogy egy klaszteren belül az elemek számított epicentrumai egymástól 15 km-re is voltak. A hasonlósági elmélet szerint a szoros párok forrásainak egymáshoz*

nagyon közel, 1-2 km-en belül kell lennie. Ez arra utal, hogy az epicentrumok meghatározási hibája a Vértes hegység területén telepített állomások kedvezőtlen elhelyezkedése miatt több mint 10 km is lehet.

- *A korrelációs analízis során nemcsak az oroszlányi M_L=4,5 főrengés utórengései alkottak csoportokat, hanem a Móri-árok területén kipattant rengések is.*

- *Sem a CSKK, sem a PKSG állomáson regisztrált robbantások hullámformái nem kerültek közös klaszterbe a földrengések csoportjaival. Az elemzett hullámformák több mint harmada robbantás volt, mégis nagyon kevés hasonló esemény volt közöttük annak ellenére, hogy az állomás és a robbantás helye, ill. mélysége sem változott. A robbantások kivitelezése (töltetek tömege, késleltetési idők és fúrólyukak száma) miatt egyedi felületi hullámformák alakultak ki nagy amplitúdóval. Ezek uralják a közeli robbantások szeizmogramját, ami miatt keresztkorrelációjuk kicsi.*

- *A mikro-rengések klasztereinek időbeli kiterjedése több hónap is lehet. Az oroszlányi M_L=4,5 főrengés #1 klaszterébe tartozó rengések időbeli kiterjedése 482 nap volt. A dublettekre jellemző a rövidebb időablak.*

- *A Móri-árok területén 5 klasztert tudtam elkülöníteni, amik nem kapcsolódtak az oroszlányi utórengésekhez. 2009-től (mióta a CSKK állomás elkezdte működését) évente több tucat rengést sikerült detektálni e területen. E mikro-rengésekre is jellemző a dublettek és csoportok kialakulása.*

- *A hasonló hullámformák nagy száma részben (CSKK Z csatorna esetében 45%; PKSG É-D csatorna esetében 78%) az állomás és a forrás kis távolságának köszönhető. Ennek oka, hogy nincs nagy különbség a kőzetrétegek között, amin áthatolnak a hullámok, és a szeizmogram is rövid (3-6 sec.)*

- *A CSKK és PKSG állomás hullámforma klaszterei egymással átfedést mutattak, tehát az egyes klaszterek egymástól eltérő, stabil fizikai paraméterekkel bírnak.*

- *A robbantások és földrengések külön klaszetereket alkottak, nem keveredtek egymással a c_{xy} =0,65 feltétel esetén sem.*

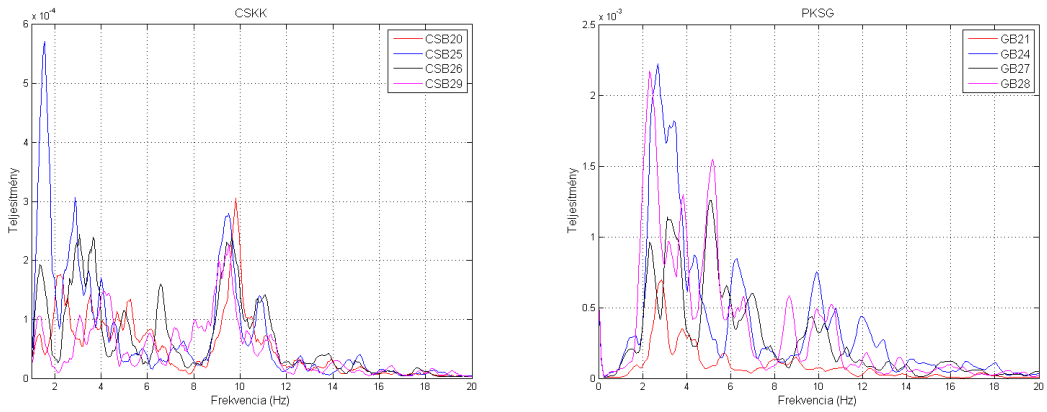
4.5. A spektrumok elemzése

Az 4.26a. és 4.26b. ábrákon látható a CSKK és PKSG állomásokon detektált néhány robbantás, a 4.27a. és 4.27b. ábrákon néhány földrengés teljesítményspektruma. A CSKK állomás mintavételi ideje 50 Hz a PKSG esetében 62,5 Hz volt. A spektrumok 1024 pontos FFT-vel történő számítása a CSKK állomás 20,48 s-os, a PKSG állomás 16,4 s-os szeizmogramjait érintette, ami már az esemény teljes regisztrátumát magában foglalta. A 4.28a.-4.28b. ábrákon látható a CSKK és PKSG állomáson 1-1 földrengés (M_L=1,0), 4.29a.-4.29b. ábrákon néhány robbantás (M_L=1,4) szeizmogramja és spektrumaik időbeli változása (spektrogram). A robbantások szegényebbek magasabb frekvenciákban, és a felületi Rg hullám alacsonyfrekvenciás része uralja a spektrumot a P hullám beérkezés után pár másodperccel. Az ábrákon jól láthatók a különbségek a robbantások és földrengések szeizmogramjai és spektrumaik, valamint spektrogramjaik között. Azokat a spektrumokból meghatározott számszerűsíthető jellemzőket kerestem, amik e különbségeket tükrözik.

A következő spektrum paramétereket határoztam meg:

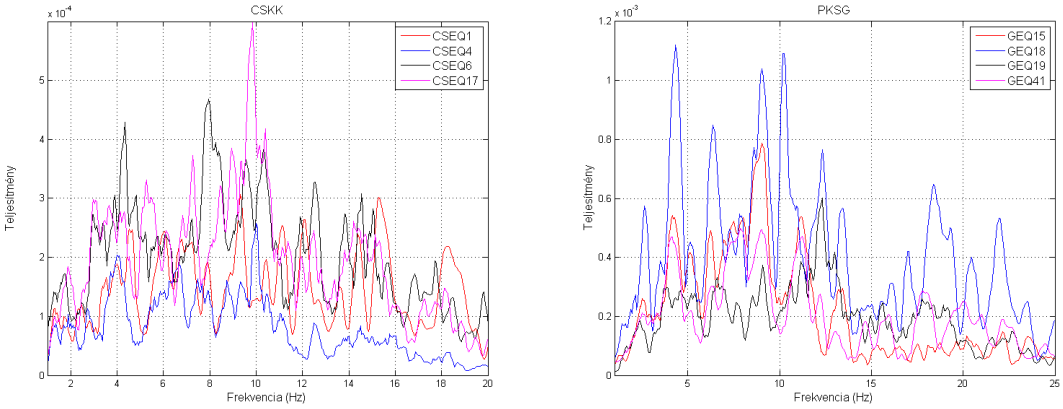
1. A spektrum csipkézettsége (1024 pontos FFT; vertikális csatornán)
2. A bináris spektrum elemzése (128 pontos FFT; vertikális csatornán)
3. A 1-10 Hz és 10-20 Hz közötti spektrum arány meghatározása (1024 pontos FFT-vel az (1.12) képlet szerint)
4. A spektrum meredeksége 2-24 Hz között
5. A spektrum átlagos teljesítményének és maximumának hányadosa 2-24 Hz között.

A 4.30a.-4.30b. ábra demonstrálja a spektrumok 2-24 Hz közötti meredekségének eltérését robbantás és földrengés esetében a CSKK és PKSG állomások regisztrátumai alapján.



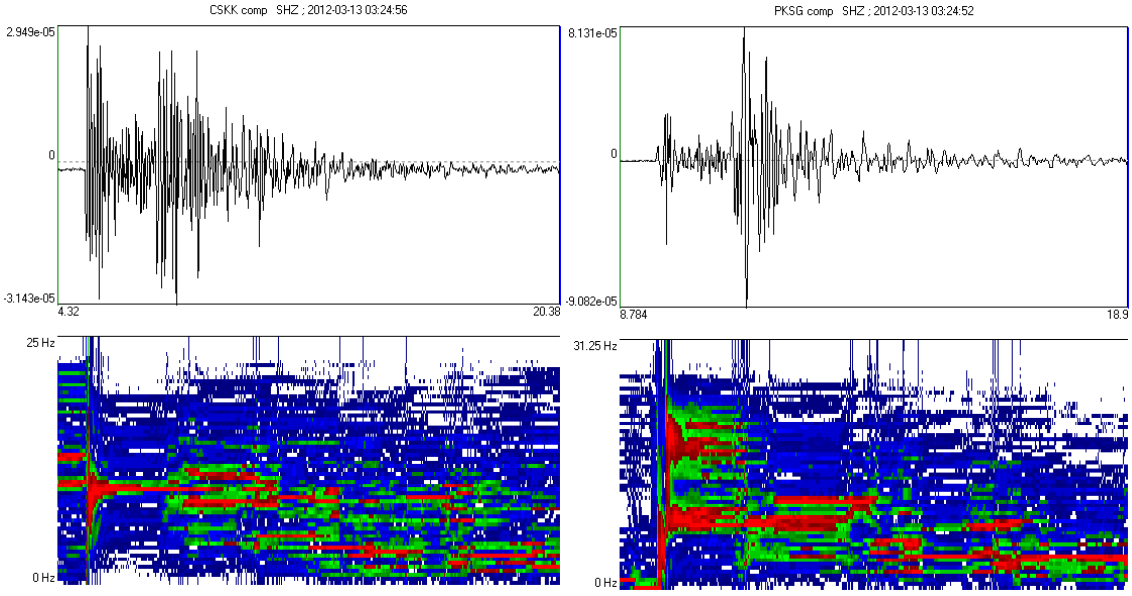
(a) *CSKK állomás* **(b)** *PKSG állomás*

4.26. ábra. *Néhány gánti bányarobb. teljesítményspektruma*



(a) *CSKK állomás* **(b)** *PKSG állomás*

4.27. ábra. *Néhány földrengés teljesítményspektruma*



(a) *CSKK állomás* **(b)** *PKSG állomás*

4.28. ábra. *A 2012. március 13-i földrengés szeizmo- és spektrogramja*

4.5.1. A spektrum csipkézettsége (scalloping)

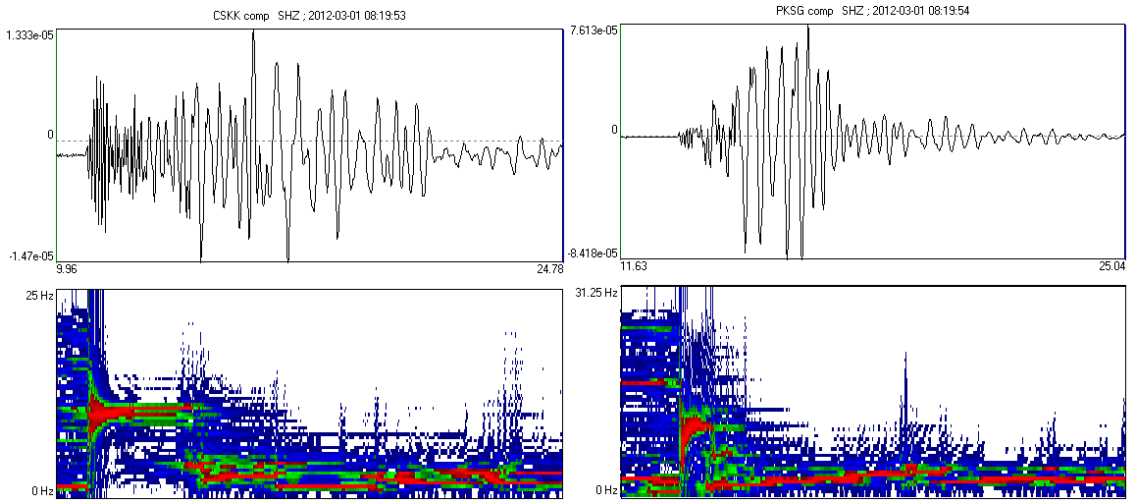
A gánti bányában ripple-fired technikával, általában 10 töltettel és 100 ms-os késleltetési idővel robbantanak több sorban. A csipkézettség vizsgálatával ennek a nyomát kerestem a spektrumokban. Meghatározhatók azok frekvenciák, ahol konstruktív, ill. destruktív interferencia alakul ki.

Az elsődleges maximum $f_{max} = k/dt$ -nél (k = 0, 1, 2...), a

másodlagos maximumok $f_{mm} = (2k+1)/(2N/dt)$ -nél (k = 1, 2...; N-2, N+2...), a

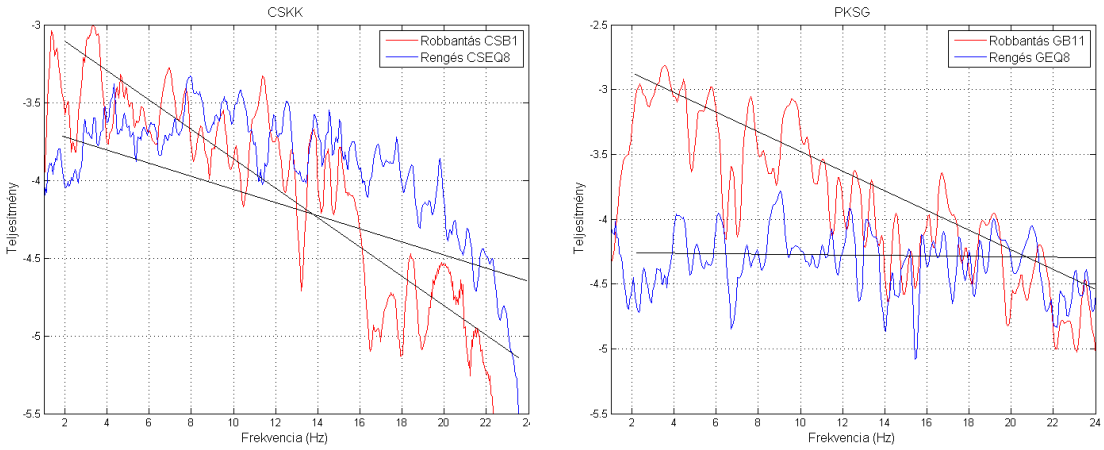
minimumok $f_{min} = k/(N/dt)$ -nél (k = 1, 2...; N-1, N+1...) várhatóak, ahol N a robbantási sorok száma.

Az elsődleges maximumok így f_{max}=10 Hz-nél és ennek többszöriseinél lesznek, a másod-



(a) *CSKK állomás CSB69* **(b)** *PKSG állomás GB86*

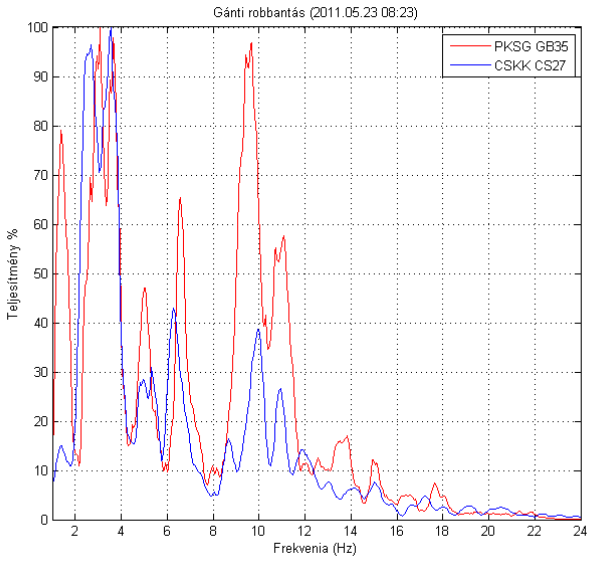
4.29. ábra. *A 2012. március 3-i robbantás szeizmo- és spektrogramja*



(a) *CSKK állomás* **(b)** *PKSG állomás*

4.30. ábra. *A spektrum meredekség meghatározása. A rengések meredeksége nagyobb, mint a robbantásoké*

lagos maximumok N=5 esetében: f_{mm}=3, 5, 7, 9, 11... Hz-nél, míg a minimumok f_{min}=2, 4, 6, 8, 10... Hz-nél várhatók. A 4.31. ábrán a 2011.05.23 08:23 gánti bányarobbantás CSKK és PKSG állomásokon regisztrált hullámainak normált spektruma látható. A két spektrum nagyon hasonlít egymáshoz, de a távolabbi CSKK állomás spektrumán erőteljesebb a 10 Hz feletti összetevők gyengülése, mint a közelebbi állomásén. Mindkét spektrumon megtalálható az abszolút maximum 10 Hz-körül, ami felett nagyban lecsökkent a teljesítmény. A legnagyobb másodlagos maximumok és a minimumok N=5 esetén megfelelnek az elméletileg várt értéknek.



4.31. ábra. *Gánti robbantás normált spektruma a CSKK és PKSG állomásokon*

A következő megfigyelések vonhatók le a spektrumokból:

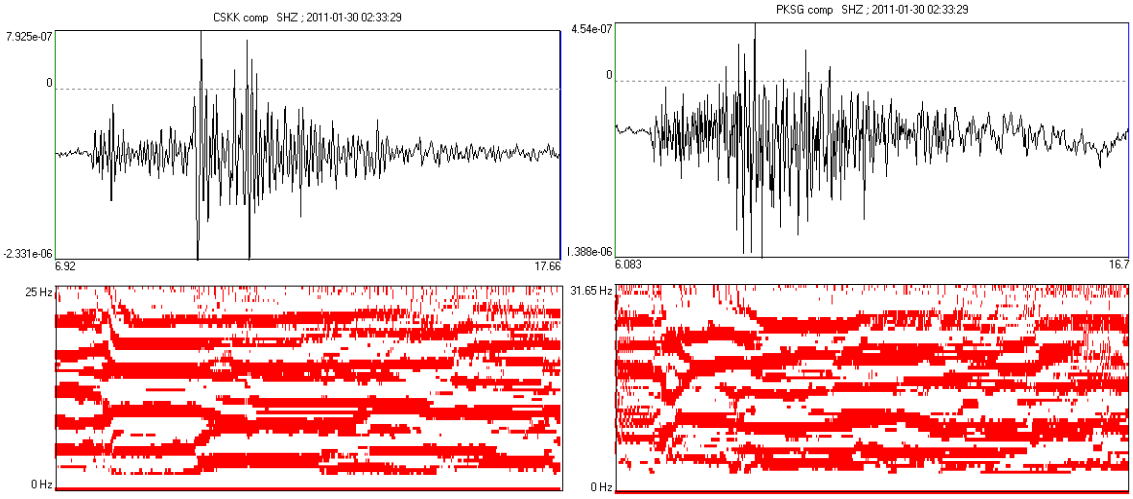
- *A gánti robbantások spektrumai mindkét állomáson csipkézettek voltak.*
- *A legtöbb esetben megfigyelhető egy 10 Hz körüli maximum, ami megfelel a 100 ms-os késleltetési időnek.*
- *Ugyannak a robbantásnak a spektruma (maximumok és minimumok) hasonló a két állomáson.*
- *A 10 Hz feletti lecsökkent intenzitás általánosan jellemző a robbantások spektrumaira*
- *A robbantások spektrumainak alapvető hasonlósága ellenére azok egyedi hullámformáinak keresztkorrelációja kicsi lett.*

4.5.2. A bináris spektrumok elemzése

A bináris spektrumok révén a „ripple-fired" technika során felerősödött frekvenciák időbeli követése válik lehetővé. A PSZ állomáson regisztrált események esetében a robbantások bináris spektrumain megjelentek ezek az időfüggetlen sávok. A 4.32a.-4.34b. ábrákon a CSKK és PKSG állomásokon regisztrált ugyanannak a földrengésnek és robbantásnak a bináris spektrumai láthatóak. Robbantásnál egyértelműen kialakultak az időtől független sávok. Megfigyeléseim szerint azonban sokszor földrengések esetén is sávos spektrumok alakultak ki, amik az S-hullámok beérkezése után átrendeződtek, és a sávosság esetleg újra kialakult később is (4.32a.-4.32b. ábra). Például a CSKK spektrumán földrengés esetében is észlelhető volt több sáv kialakulása. (A CSKK állomás esetében 0,18 és 2 Hz, a PKSG állomás esetében 0,15 és 1,6 Hz volt a rövid, illetve a hosszú átlag sávszélessége.)

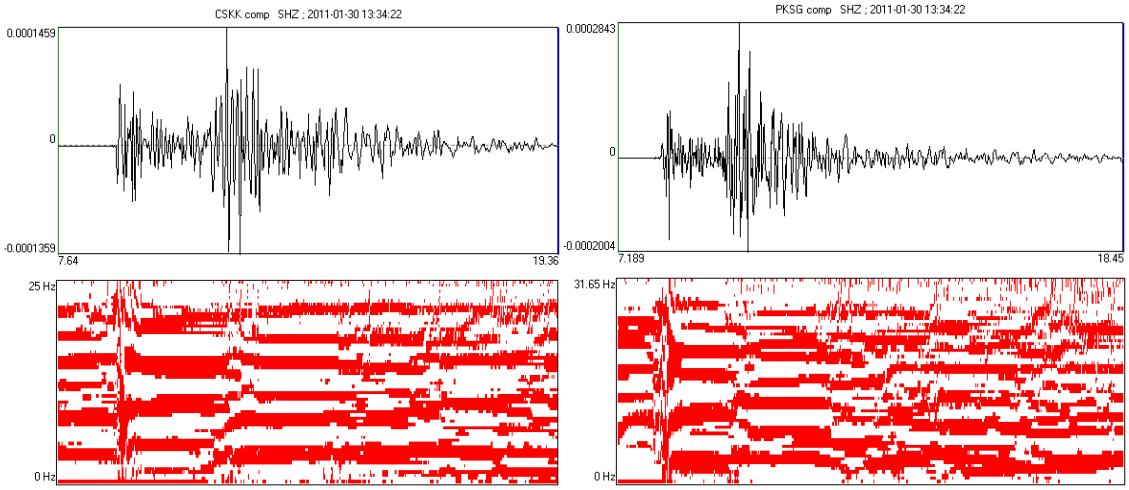
A következő megfigyelések vonhatók le a bináris spektrumokból:

- *A robbantások bináris spektrumain legtöbbször kialakultak az időtől független sávok, amik a szeizmogram végéig követhetők voltak.*
- *Földrengések többségénél is kialakultak a sávok, de ezek helye az S hullámok beérkezése után átrendeződött.*



(a) *CSKK állomás (CSEQ41)* **(b)** *PKSG állomás (GEQ66)*

4.32. ábra. *A 2013.01.30 02:33-i földrengés bináris spektruma (M_L 0,1)*

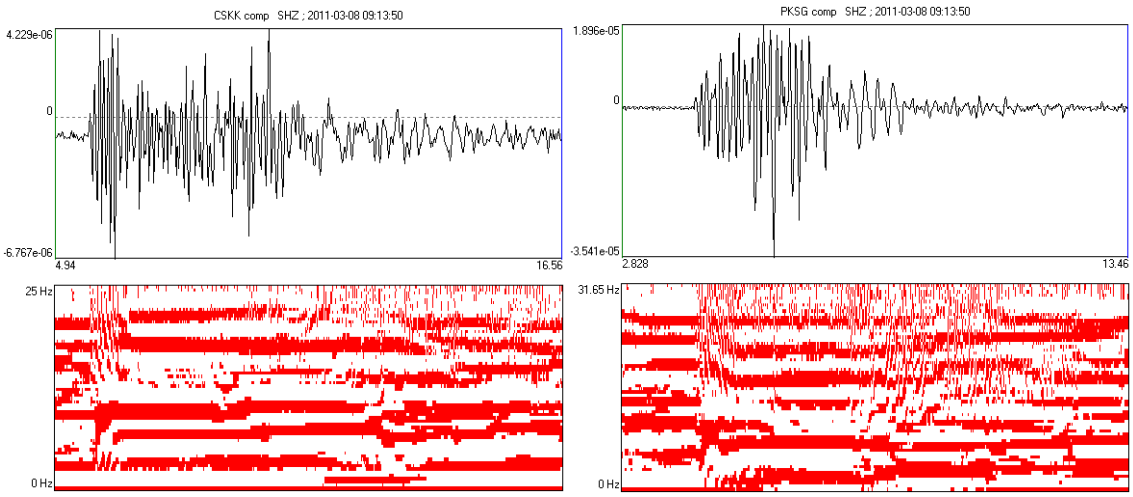


(a) *CSKK állomás (CSEQ83)* **(b)** *PKSG állomás (GEQ46)*

4.33. ábra. *A 2013.01.30 13:34-i földrengés bináris spektruma (M_L 2,0)*

4.5.3. A spektrum adatok további elemzése

A **3.5** fejezetben a PSZ állomáson detektált 8 különböző bánya robbantásainak spektrumát hasonlítottam össze a terület földrengéseivel. Ebben a fejezetben ugyanannak a bányának,



(a) *CSKK állomás (CSB10)* **(b)** *PKSG állomás (GB12)*

4.34. ábra. *A 2013.03.08 09:13-i a robbantás a bináris spektruma (M_L 0,8)*

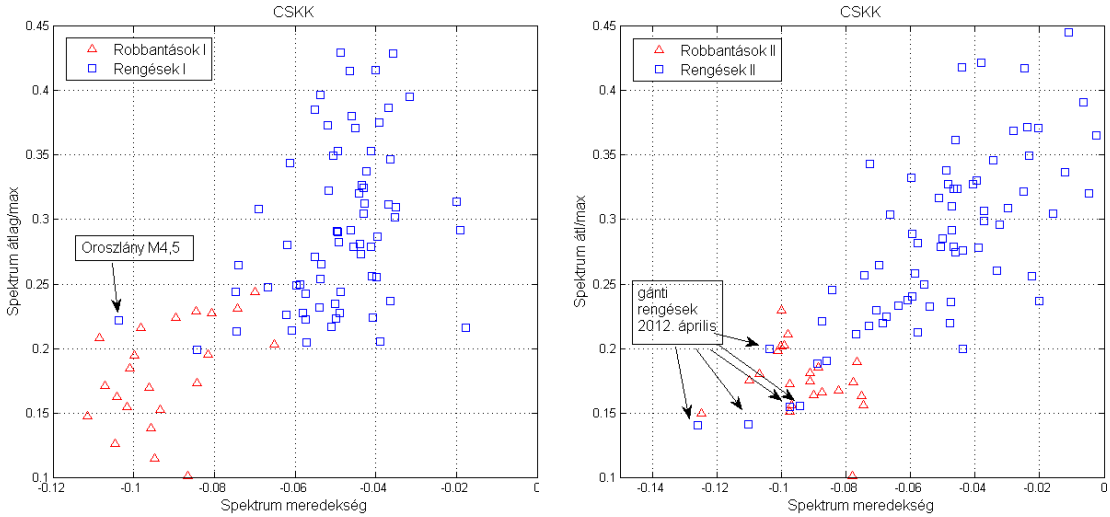
a gánti Dolomit Kőbányászati Kft. robbantásainak két különböző állomáson kapott spektrumait tudtam összevetni, és az eseményeket két részre osztva külön-külön összegeztem. A CSKK állomás két részre bontott adatai 22-22 robbantást és 69-69 földrengést tartalmaztak. A PKSG adatai esetében 30-30 robbantás és 113-111 földrengés adata került elemzésre (4.9. táblázat). Itt kevesebb adat szerepel, mint a hullámforma elemzések esetében, mert csak megfelelő jel/zaj arány esetén volt használható a spektum részletes elemzésre.

A legjobb elkülönülést a gánti bányarobbantások és földrengések között akkor kaptam, ha a spektrum meredekség függvényében a spektrum átlagos teljesítménye és maximum értékének hányadosát (4.35a.-4.36b. ábra), illetve a spektrum arányt SR ábrázoltam (4.37a.-4.38b. ábra). A spektrum meredekség a spektrum teljesítményének csökkenését számszerűsíti a nagyobb frekvenciák felé haladva. A negatív érték a csökkenő, a pozitív a növekvő teljesítményt jelenti. A robbantások spektrum meredeksége mindkét állomáson kisebb volt, mint a földrengéseké, de átfedés is volt a két csoport között. Az átlag/maximum paraméter a késleltetett robbantási technika miatt kialakult spektrum csipkézettséget méri: minél csipkézettebb, annál nagyobb az átlag eltérése a maximumtól. Az SR az alacsonyabb frekvencia tartomány teljesítményének arányát adja a magasabb tartományhoz képest (1-10Hz/10-20Hz). A robbantások kisebb teljesítményt mutattak a magasabb frekvenciákon, ezért a grafikonon a földrengésekénél nagyobb értékek jellemzik.

A grafikonokon látható, hogy az I és II csoport robbantás és földrengés adatai mindkét állomáson szétváltak, és szinte ugyanazt a területet határolták be. A CSKK állomásnál a robbantásokhoz tartozó paraméter értékek közé az I adatsor esetében az oroszlányi főrengés, a II adatsornál a 2012 áprilisában Gánton kipattant fő- és utórengések kerültek bele, amiket külön jelöltem az ábrákon. Ezek mind a három elemzett paraméter esetében a robbantásokéhoz hasonló értékeket mutattak. A CSKK állomás szeizmogramjai alapján ez azt jelenti, hogy a gánti robbantások és az ugyanott kipattant földrengések a meghatározott spektrum paraméterek alapján hasonlónak bizonyultak.

4.9. táblázat. *Az Adatok I és Adatok II felosztása a CSKK és PKSG esetében*

	Adatok I		Adatok II	
	robbantások	rengések	robbantások	rengések
CSKK	22 esemény CSB1-CSB44	69 esemény CSEQ1- CSEQ93	22 esemény GB3- GB59	69 esemény GEQ1- GQ174
PKSG	30 esemény CSB45-CSB108	113 esemény CSEQ94-CSEQ183	30 esemény GB61-GB126	111 esemény GEQ175-GEQ345

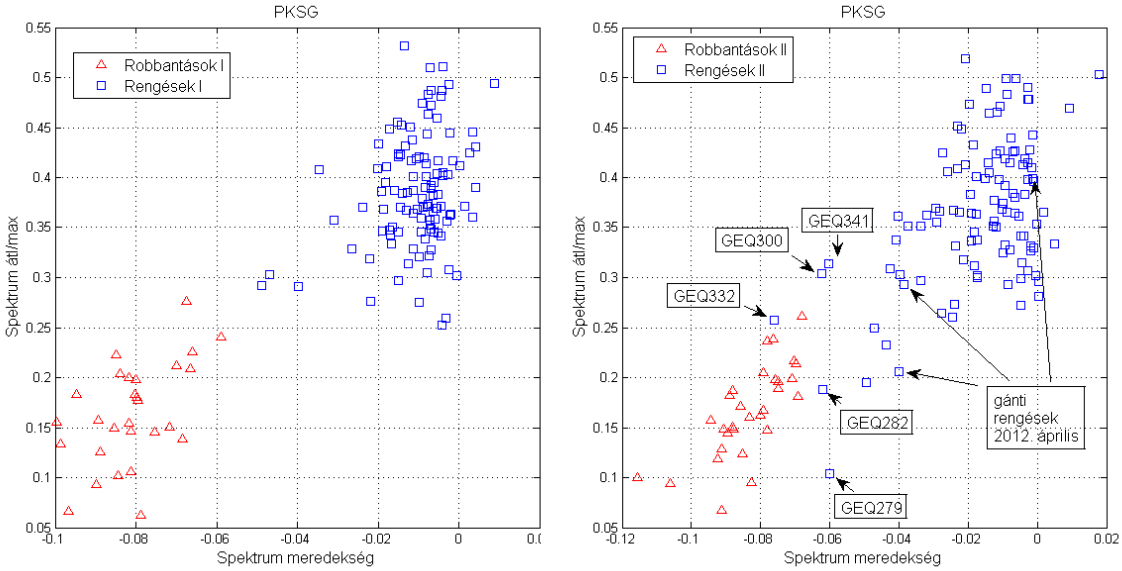


(a) *CSKK I adatok* **(b)** *CSKK II adatok*

4.35. ábra. *A CSKK állomás spektrum-adatai: spektrum-meredekség vs. átlag/maximum*

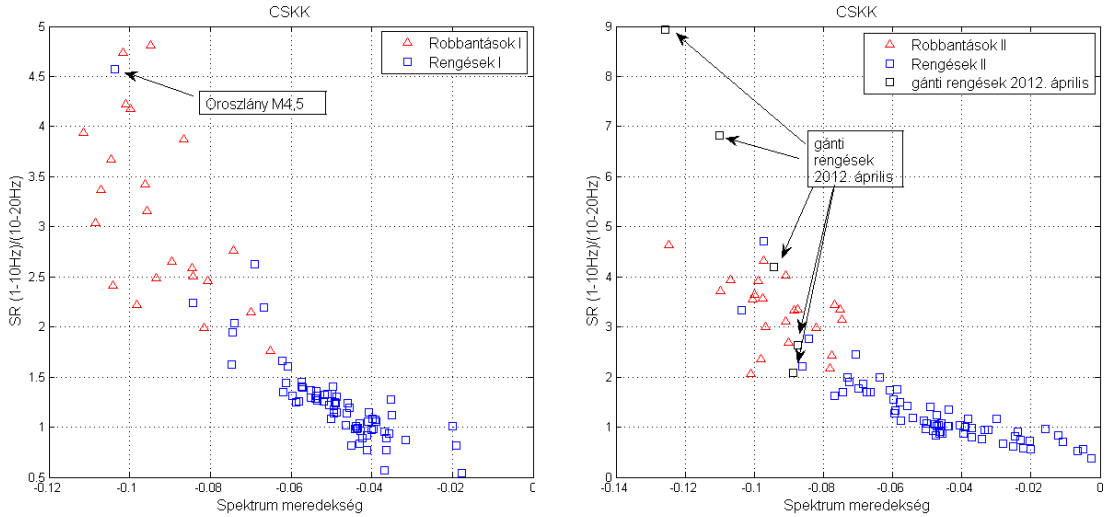
A PKSG állomás esetében is volt néhány földrengés, amik paramétereik alapján a robbantások közé estek, ezeket a 4.36b. és 4.38b. ábrákon ki is emeltem. Mindkét esetben ugyanazokról az eseményekről volt szó: GEQ279; GEQ282; GEQ300; GEQ332; és GEQ341. Közülük egy az időpontja és helye alapján valószínűleg nem földrengés, hanem a magyaralmási bánya robbantása volt (GEQ279). A CSKK állomáson megnézve ezeket a kritikus eseteket az utolsó (GEQ279) nem szerepelt a CSKK állomás spektrum adatai között, de a többi négy a rengések paraméter tartományába esett. A 2012 áprilisában Gánton keletkezett utórengések paraméterei rengések volt hasonló, amiket a 4.36b. és 4.38b. ábrákon jelöltem is.

A továbbiakban a CSKK állomás előzőkben említett robbantásos tulajdonságokat mutató földrengéseit a PKSG állomáson kapott spektrum paraméterekkel vetettem össze. E kritikus események közül az oroszlányi M_L=4,5 és a 2012. áprilisi gánti M_L=2,7 főrengések kimaradtak a PKSG állomás spektrum elemzéséből, mert a műszer telítésbe ment a túl nagy talajmozgás miatt. A többi gánti utórengést külön jelöltem a 4.35b. és 4.37b. ábrákon a PKSG állomás esetében. Ezek az események a földrengések és robbantások közötti átmeneti tartományt foglaltak el, nem estek sem a többi robbantás, sem a többi földrengés paraméterei által kijelölt tartományba. Mindenképpen hasznos több állomás adatait



(a) *PKSG Adatok I* **(b)** *PKSG Adatok II*

4.36. ábra. *A PKSG állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. átlag/maximum*



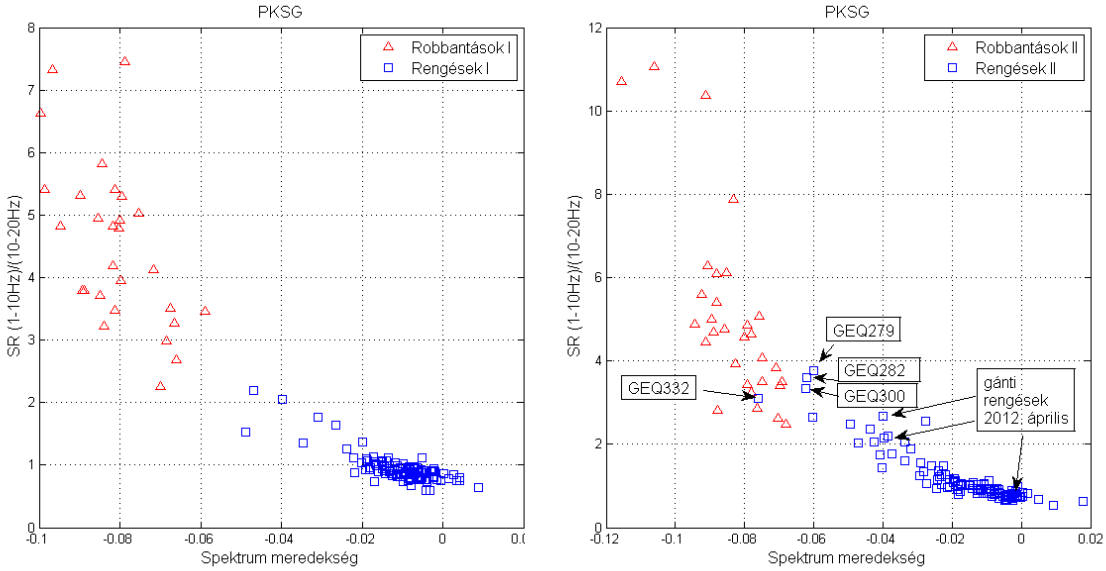
(a) *CSKK Adatok I* **(b)** *CSKK Adatok II*

4.37. ábra. *A CSKK állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. SR*

felhasználni a biszonytalan események megítélése érdekében.

A továbbiakban a spektrum adatokból számított Mahalanobis távolságok segítségével kerestem meg, hogy mely paraméter(ek) volt a legalkalmasabb az elkülönítésre. Összesítésüket a 4.39.-4.42. ábrákon mutattam be. A diagramokon fekete vonallal jelöltem a robbantások/rengések határát. A statisztikai szétváláshoz |MD|>4 értékeket kell kapni a robbantások ill. földrengések csoportjára is.

A CSKK állomáson az Adatok I. és II. a földrengései esetében a spektrum meredekség



(a) *PKSG Adatok I* **(b)** *PKSG Adatok II*

4.38. ábra. *A PKSG állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. SR*

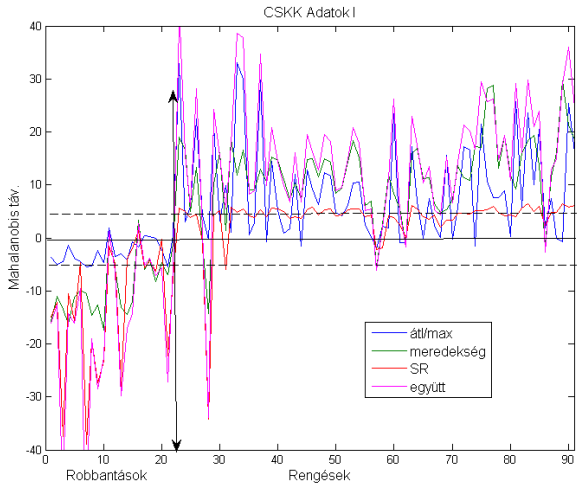
és spektrum átlag/maximum adták a legjobb elkülönülést. A robbantások esetében csak az Adatok I. esetében kaptam megfelelő MD értékeket, ahol a SR és spektrum meredekség voltak a kulcsparaméterek.

A PKSG állomáson kapott paraméterek a CSKK esetében leeírt tulajdonságokat mutatták, de itt az Adatok I. és II. robbantásai is statisztikailag megfelelő mértékben elkülönültek a földrengésektől. Mindkét adatrendszerben 90% felett volt a stabilan elkülönülő esetek száma mind a földrengések, mind a robbantások esetében.

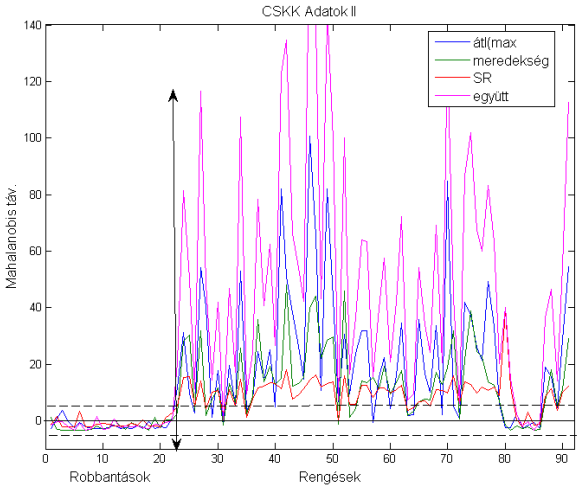
Együtt vizsgálva a spektrum és amplitúdó paramétereket a következő tapasztalat vonható le (4.43.-4.46. ábrák). Spektrum paraméterként a SR, a spektrum meredekség és a spektrum átlag/maximum, míg amplitúdó paraméterként a log(SHR/P), a log(Rg/P) és a log(Rg/SHR) adatokat használtam fel.

A CSKK állomáson a földrengések esetében a spektrum és amplitúdó paramétereket együtt alkalmazva mindkét csoportra jelentősen nőttek az MD értékek, de a robbantásokra nem hoztak javulást. A földrengések közel 100%-ban elkülönültek statisztikailag a robbantásoktól.

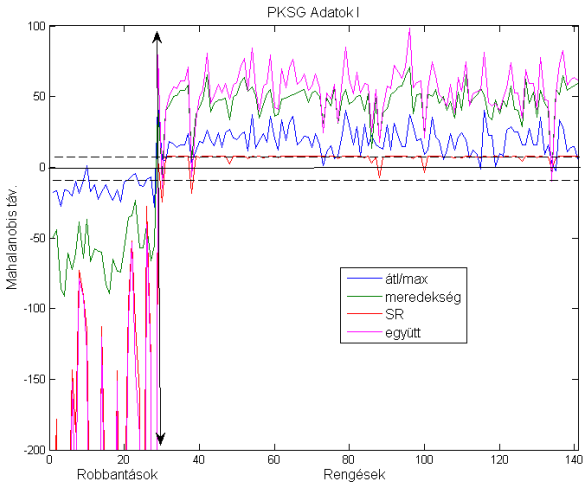
A PKSG állomáson regisztrált robbantásokra érdekes módon csökkentek a spektrum adatokra kapott MD értékek az amplitúdó adatokat is hozzátéve a spektrum paraméterekhez, de így is bőven meghaladták a kritikus MD értéket. Az Adatok I földrengéseinél kicsit nőttek, de az Adatok II esetében csökkentek az ekkor kapott MD értékek.



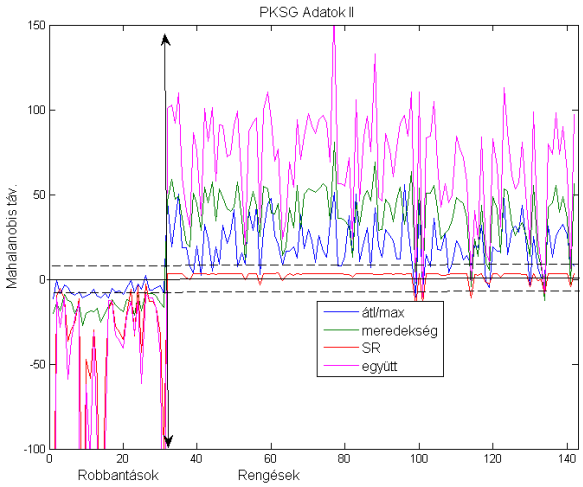
4.39. ábra. *A CSKK állomás esetében az Adatok I spektrum paramétereire kapott MD értékek*



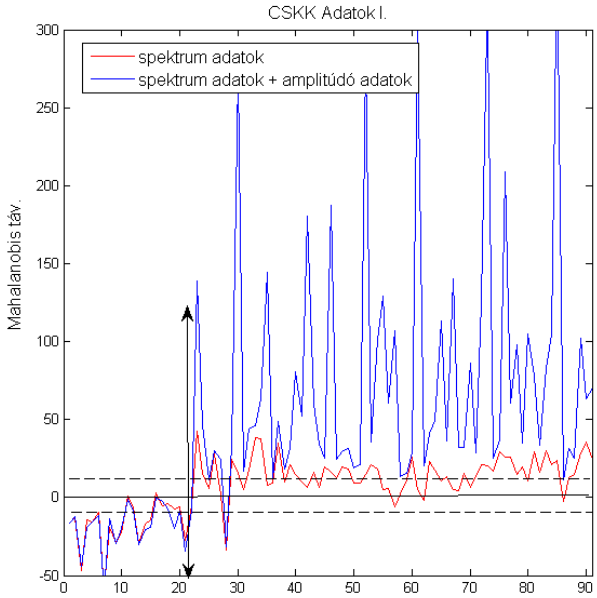
4.40. ábra. *A CSKK állomás esetében az Adatok II spektrum paramétereire kapott MD értékek*



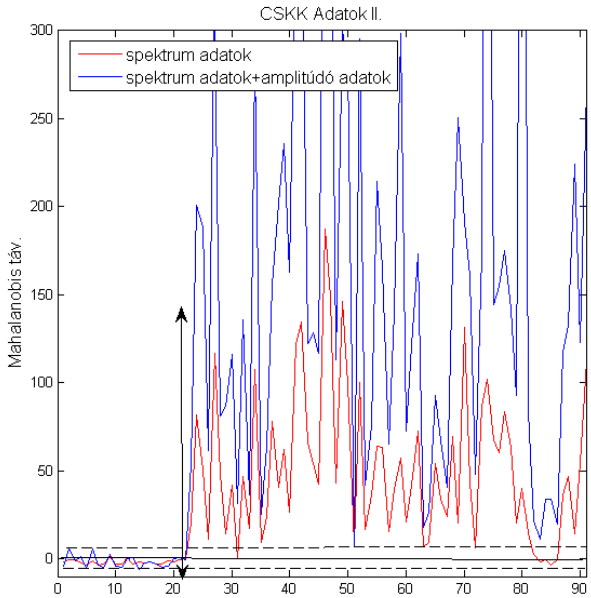
4.41. ábra. *A PKSG állomás esetében az Adatok I spektrum paramétereire kapott MD értékek*



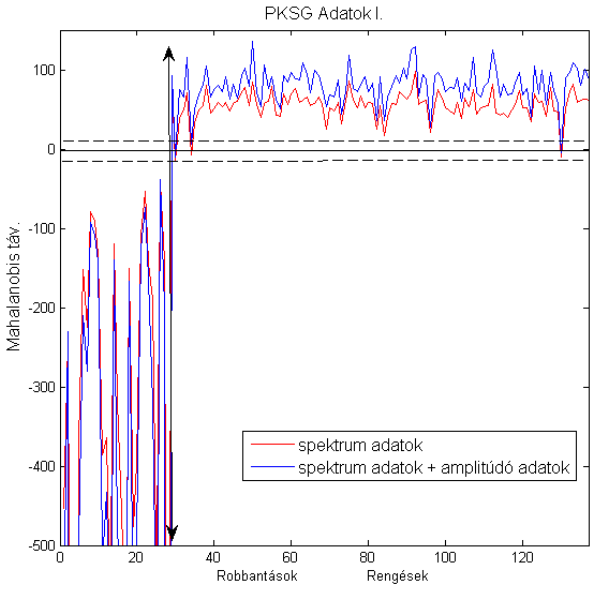
4.42. ábra. *A PKSG állomás esetében az Adatok II spektrum paramétereire kapott MD értékek*



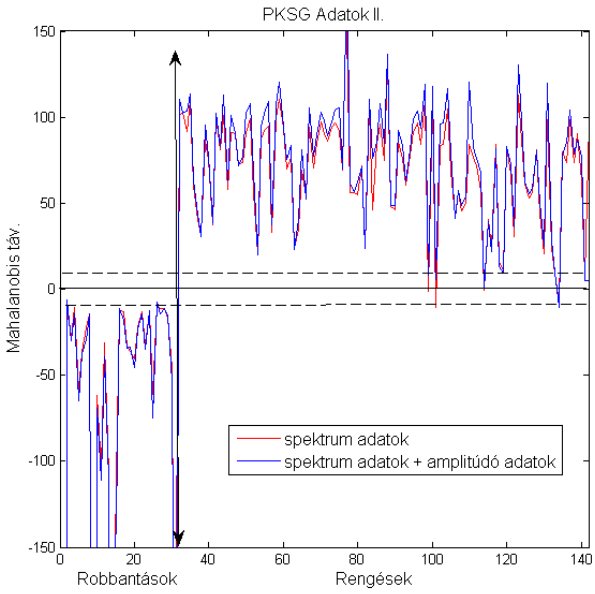
4.43. ábra. *A CSKK állomás esetében az Adatok I spektrum ill. spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek*



4.44. ábra. *A CSKK állomás esetében az Adatok II spektrum ill. spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek*



4.45. ábra. *A PKSG állomás esetében az I adatrendszer spektrum, valamint spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek*



4.46. ábra. *A PKSG állomás esetében a II adatrendszer spektrum, valamint spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek*

A következő megfigyelések vonhatók le a spektrum adatokból kapott MD értékekből:

- *A robbantások és földrengések a PKSG állomás spektrum adatai alapján mindkét adatbázison jól elkülönültek egymástól. Ezek a spektrum meredeksége 2-24 Hz között, és az ebben a tartományban mért átlagos és maximális teljesítmény hányadosa voltak. Az SR paraméter nem adott kellő eredményt.*

- *A CSKK állomás esetében a robbantások és földrengések csak az I adatok esetében különültek el megfelelően. A II adatoknál Gánt térségében kipattant földrengések a robbantásokra jellemző paramétereket adták (a spektrumuk a robbantásokéhoz hasonló csipkézettséget mutatott), és az MD értékek egyik paraméter esetében sem adtak a robbantásokra MD<-4 értéket.*

- *A meredekség és az SR egymástól nem független paraméterek, emiatt azokat egymás függvényen ábrázolva, az értékek egy keskeny területre korlátozódtak.*

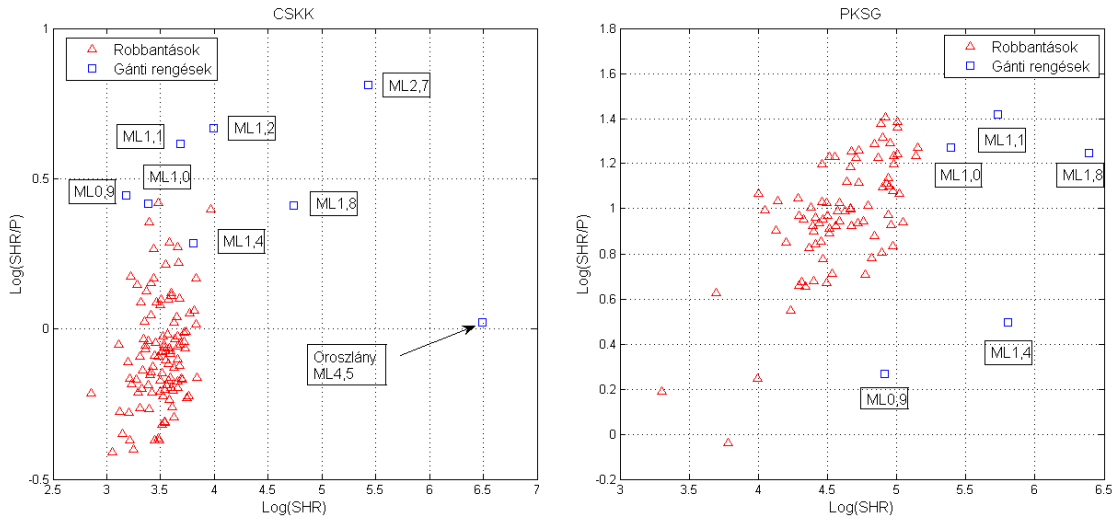
- *Mindhárom spektrumjellemző együttes használatával javultak az MD értékek.*

4.5.4. A robbantások és rengések fázis és spektrum adatainak együttes kvantitatív elemzése

Az észak-magyarországi szeizmikus eseményekhez hasonlóan a gánti bányarobbantások és a terület földrengéseinek hullámforma és spektrum adatainak számszerű értékeit elemeztem. Ugyannak a szeizmikus eseménynek a két különböző állomáson kapott értékeit vetettem össze ebben a fejezetben. A 2012. áprilisi gánti földrengések (4.37b. ábra) sem a CSKK, sem a PKSG állomások esetén a spektrum adatok alapján nem különültek el a robbantásoktól, viszont a hullámforma adatok felhasználásával igen.

A 4.47a.-4.47b. ábra most csak a 2011-es és 2012-es robbantásokat, és a 2012-es áprilisi gánti földrengéseknek az adatait mutatja ($log(SHR/P)$ vs. $log(SHR)$). Az ábrákon látható a rengéseknek a mérete is. Megállapítható, hogy minél nagyobb a földrengés mérete, annál nagyobb az S hullám amplitúdója. Ez annak köszönhető, hogy a földrengések lokális Richter magnitúdóját a legnagyobb hullám amplitúdója alapján határozták meg –korrigálva a távolsággal –, de itt az események távolsága az állomástól majdnem ugyanakkor volt. A robbantások mérete legtöbbször 0,8<M_L<1,2 között változott. A CSKK állomás esetében a robbantások mérettartományába eső földrengések esetében az SHR/P arány nagyobb volt, mint a robbantásoknál (4.47a. ábra). Ez egyezik azzal az elméleti megfontolással, hogy földrengésekre a nyíróhullámok gerjesztése inkább jellemző, mint az impulzív jellegű nyomáshullámokat keltő robbantásokra.

A PKSG állomás esetében (4.47b. ábra) is megfigyelhető volt, hogy a robbantásokhoz hasonló méretű földrengések esetében nagyobb volt az S hullám amplitúdója. Minél nagyobb volt a magnitúdója az eseménynek, annál nagyobb S hullámmal rendelkeztek. A CSKK állomással ellentétben itt az SHR/P arány a robbantásokéhoz hasonló értékeket adtak. Az, hogy mégis elkülönültek a robbantásoktól, annak volt köszönhető, hogy a $log(SHR)$ értékek hasonló $log(SHR/P)$ paraméterek mellett nagyobbak voltak mint a robbantások esetében.



(a) *CSKK adatok* **(b)** *PKSG adatok*

4.47. ábra. *A log(SHR/P) vs. log(SHR) amplitúdó adatok a 2012. áprilisi földrengések és a gánti bányarobbantások esetében*

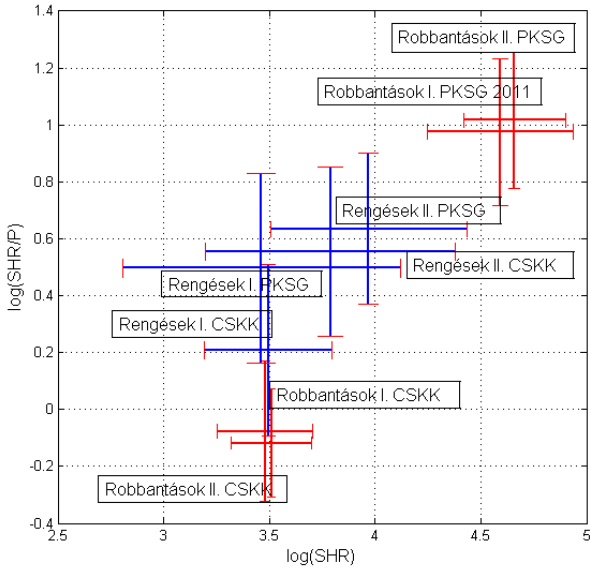
A legfontosabb spektrum és amplitúdó adatok átlagát és szórását a PKSG és CSKK állomások esetében a 4.10. táblázatban közöltem. A spektrum és amplitúdó adatok esetében is megfigyelhető, hogy a paraméterek aránylag jól körülhatárolható értékek közé estek. A robbantások és földrengések amplitúdó adatai a PKSG hullámformái alapján jobban elkülönültek, mint a CSKK állomásén.

A $log(SHR/P)$ paraméter esetében a két állomáson eltérő tendencia figyelhető meg. A PKSG esetében a robbantások átlagértéke a földrengések átlagánál nagyobb, míg a CSKK esetében azoknál kisebb értékeket mutattak. A PKSG állomás esetében – ami nagyon közel volt a bányához, 3 km-re – a robbantások nagyobb S/P aránya a földrengésekhez képest annak volt köszönhető, hogy a P és S hullámok, valamint a felületi hullám szinte egyszerre érkeztek be az állomásra.

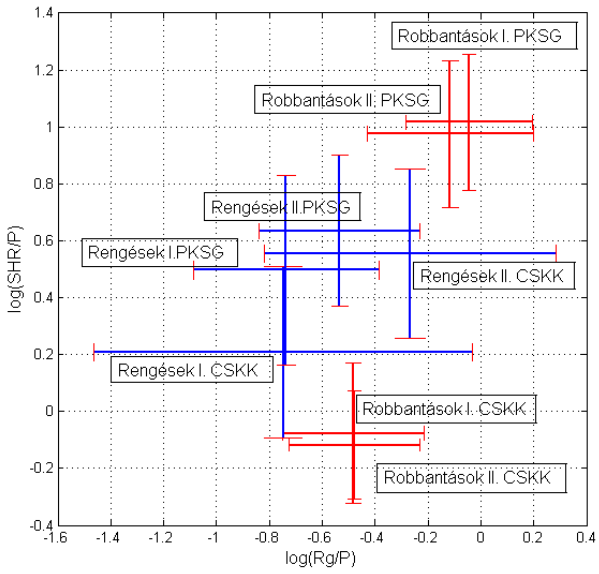
A robbantások $log(SHR/P)$ átlagértékei nagyon hasonló értékeket adtak az Adatok I. és II. esetében, viszont a földrengésekhez tartozó értékek nagyobb eltéréssel és szórással jelentkeztek. A 4.10. táblázatban közölt paraméter értékeket a 4.48.-4.50. ábrákon szemléltettem.

A robbantások spektrum meredeksége mindkét állomáson abszolút értékben nagyobb volt, mint a földrengések esetében. A CSKK állomáson a robbantásokra és földrengésekre kapott értékek mindkét adatrészre hasonlóak voltak. A PKSG esetében már volt eltérés az I és II adattcsoport spektrum meredeksége között. Ez a paraméter mutatta a legkisebb szórást.

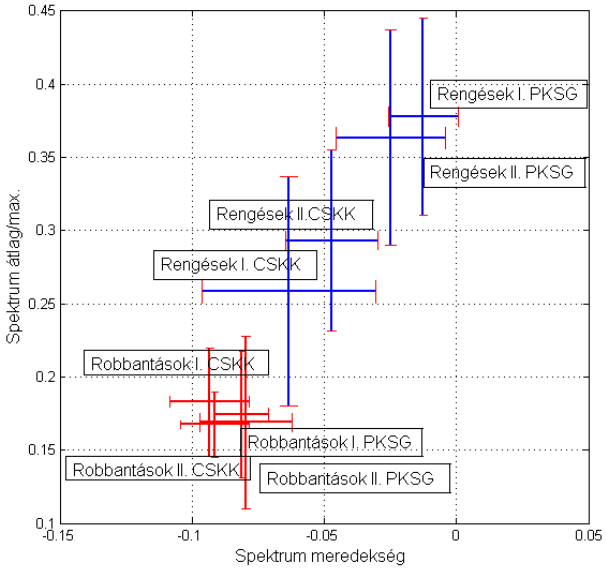
Az átlag/maximum értékek robbantás esetén mindkét állomáson, mindkét évben hasonló számokat hoztak (∼0,16-0,18). A földrengéseknél is hasonló adatokat kaptam mindkét adatrészre, de a két állomás számai eltértek egymástól. A PKSG állomás paraméter értékei nagyobbak voltak.



4.48. ábra. *A log(SHR/P) és log(SHR) átlaga és szórása*



4.49. ábra. *A log(SHR/P) és log(Rg/P) átlaga és szórása*



4.50. ábra. *A spektrum átlag/maximum és spektrum meredekség paraméterek átlaga és szórása*

4.10. táblázat. *A különböző paraméterek összesítése állomások és az Adatok I és II szerint*

	PKSG robb. I átlag (szórás)	PKSG robb. II átlag (szórás)	PKSG földr. I átlag/szórás	PKSG földr. II átlag (szórás)
log(SHR/P)	0,96 (0,26)	1,02 (0,23)	0,46 (0,31)	0,56 (0,37)
log(SHR)	4,57 (0,33)	4,67 (0,27)	3,36 (0,55)	3,63 (0,81)
log(Rg/P)	-0,12 (0,32)	-0,04 (0,24)	-0,74 (0,35)	-0,53 (0,30)
log(Rg/SHR)	-0,75 (0,23)	-0,73 (0,26)	-0,97 (0,25)	-0,93 (0,52)
meredekség	-0,08 (0,01)	-0,08 (0,01)	-0,01 (0,01)	-0,02 (0,02)
átlag/max.	0,16 (0,05)	0,17 (0,05)	0,39 (0,06)	0,37 (0,07)
SR	4,52 (1,30)	5,02 (2,25)	0,94 (0,24)	1,18 (0,64)
log(Rg/P)	-0,12 (0,32)	-0,04 (0,24)	-0,97 (0,25)	-0,93 (0,52)
	CSKK robb. I átlag (szórás)	CSKK robb. II átlag (szórás)	CSKK földr. I átlag/(szórás)	CSKK földr. II átlag (szórás)
log(SHR/P)	-0,06 (0,20)	-0,12 (0,23)	0,19 (0,30)	0,33 (0,43)
log(SHR)	3,49 (0,20)	3,49 (0,22)	3,44 (0,72)	3,63 (0,62)
log(Rg/P)	-0,48 (0,27)	-0,48 (0,20)	-0,75 (0,37)	-0,27 (0,55)
log(Rg/SHR)	-0,41 (0,29)	-0,36 (0,19)	-0,96 (0,30)	-0,82 (0,50)
meredekség	-0,09 (0,01)	-0,09 (0,01)	-0,05 (0,01)	-0,05 (0,03)
átlag/max	0,18 (0,04)	0,18 (0,03)	0,29 (0,06)	0,28 (0,07)
SR	3,11 (0,89)	3,31 (0,68)	1,27 (0,54)	1,54 (1,37)

4.11. táblázat. *A fázisok jellemző értéke a a CSKK és PKSG állomásokon*

	CSKK		PKSG	
fázis	robbantások	rengések	robbantások	rengések
S/P	98 %-ban P>S	71 %-ban P<S	84 %-ban P<S/6	87 %-ban P>S/6

A következő megfigyelések vonhatók le az amplitúdó és spektrum adatok további elemzéséből:

- *Minél nagyobb volt a földrengés mérete, annál nagyobb lett a CSKK és PKSG állomásokon az S hullám amplitúdója. Ez annak volt köszönhető, hogy a közeli földrengések lokális Richter magnitúdóját a legnagyobb, legtöbbször az S hullám amplitúdója alapján határozzuk meg, és itt az események távolsága az állomástól majdnem ugyanakkora volt.*

- *A CSKK állomás esetében a robbantások mérettartományába eső földrengéseknél az S/P arány nagyobb volt, mint a robbantásoknál. Ez egyezik azzal az elméleti megfontolással, hogy földrengésekre a nyíróhullámok gerjesztése inkább jellemző, mint az impulzív jellegű nyomáshullámokat keltő robbantásokra.*

- *A PKSG állomás esetében az S/P arány a földrengésenél és robbantásoknál is hasonló értékhatárok között mozgott. Az, hogy mégis elkülönültek a robbantásoktól, annak volt köszönhető, hogy a földrengések S amplitúdói nagyobbak voltak a robbantásokénál.*

- *A CSKK állomás esetében a robbantások P amplitúdója legtöbbször nagyobb volt az S hulláménál, a földrengéseknél pedig kisebb. A PKSG adatai esetében eltérő trendet tapasztaltam, összefoglalva:4.11. táblázatban.*

- *Mindkét állomáson a robbantások és földrengések paramétereinek átlaga az Adatok I és Adatok II esetében alig változtak.*

5. fejezet

Összefoglalás

A hazai bővülő szeizmológiai állomáshálózatnak köszönhetően egyre több esemény kerül a földrengés évkönyvekbe, ezek nagy része már a bányarobbantások mérettartományába esik, és előfordulhat, hogy néhány robbantás is a földrengések közé kerül. A tévesen földrengésnek tekintett robbantások torzítják egy-egy terület szeizmicitásáról alkotott következtetéseinket, ezért elkülönítésük a természetes szeizmicitástól nagyon fontos. A dolgozat célkitűzése a magyarországi robbantások és földrengések szeizmikus jeleinek elemzése, és az elkülönítő módszereinek a vizsgálata volt.

Erre a célra két területet választottam ki, ahol rendszeres volt a bányarobbantások detektálása, ill. a területen földrengések is gyakran pattantak ki.

Az Észak-Magyarország és Szlovákia déli részén működő 8 bánya robbantásait és a terület földrengéseit a piszkéstetői (PSZ) állomás által regisztrált jelek alapján vizsgáltam.

A Vértes területén pedig a gánti kőbánya robbantásait és a terület földrengéseit két helyi állomás, a csókakői (CSKK) és a gánti (PKSG) szeizmogramjai alapján elemeztem. Mindkét területen 1-1 kérdéses, vagy tanulságos földrengést, illetve robbantást kiemelten is vizsgáltam.

A robbantások és földrengések jellemzőit első lépésben a fészekparaméterek alapján analizáltam, ami az esemény keletkezésének és hipocentrum koordinátájának elemzéséből állt. Második lépésként a hullámforma vizsgálatokból származó paramétereket vettem szemügyre. Ez a P hullám beérkezési irányának, a P, S, és Rg hullám elkülönítésre alkalmas sávtartományának és az így kapott amplitúdó értékeinek az elemzéséből állt. Harmadik lépésként az állomásokon detektált szeizmogramok hullámformáinak korrelációs elemzését végeztem el.

A továbbiakban a földrengések és robbantások spektrális tulajdonságait elemeztem. Ez a spektrum csipkézettségét, a bináris spektrum és további spektrum adatok elemzését foglalta magában.

A különböző paraméterek, és azok kombinációja közül a statisztikában használatos Mahalanobis távolság meghatározása révén választottam ki a robbantások és földrengések elkülönítésére a legmegfelelőbb paramétereket.

5.1. Az észak-magyarországi szeizmikus események elemzésének eredményei

Az Észak-Magyarország és Szlovákia déli részén működő 8 bánya robbantásai esetében kijelölhető volt egy hétköznap 6h és 15h (UT) közé eső időablak, amikor a robbantások 88%-a történt. Ebben az időszakban történt azonban a földrengések 36%-a is, ezért az esemény időpontja nem ad elegendő információt a robbantások kiszűrésére.

A P hullám beérkezési irányának elemzése során a robbantások harmadánál találtam az elméletileg várttól ellentétes dilatációs beérkezést, és nem volt lényeges eltérés a robbantások és földrengések osztálya esetében a P irányának eloszlása között. A P hullám irány közelítőleg ugyanannyi arányban volt kompressziós, mint dilatációs. A bizonytalan beérkezések száma is nagy volt, robbantások esetében harmada, a földrengéseknek közel a fele. A robbantásoknál megfigyelt sok dilatációs és a bizonytalan beérkezési irányok miatt ez sem tekinthető az elkülönítés biztos paraméterének.

A különböző P és S fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata során a szűretlen (0-25 Hz közötti) amplitúdó adatok felhasználásával kaptam a legjobb elkülönülést. Az S hullámoknál a radiális irányba elforgatott SHR amplitúdó adatokkal lehetett elérni nagyobb MD távolságokat, az Rg amplitúdó adatok esetében pedig a 0,5-1,5 Hz között szűrt adatokkal. A legjobb eredményt akkor kaptam, ha a különböző fázisok amplitúdóit és amplitúdó arányait együtt vizsgáltam. A $log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)+log(Rg)$ amplitúdó adatokat együtt felhasználva a robbantások 70%-ban és a földrengések közel 90%-ban kaptam megfelelő statisztikai elkülönülést a két csoport között.

Az egyes bányák eltérő módon voltak elkülöníthetőek a P, S és Rg amplitúdók alapján. A $log(SHR/P)$ és $log(SHR)$ paraméterek esetében a bányák közül a gyöngyöstarjáni és gyöngyössolymosi robbantásainak a paraméterei estek legjobban a rengések paraméterei által kijelölt területre. A $log(Rg/P)$, a $log(SHR/P)$, a $log(Rg/SHR)$ és a $log(Rg)$ amplitúdó adatokat együtt felhasználva a legjobban a nagydaróci és nagylóci, a legkevésbé a berceli és gyöngyössolymosi bányarobbantások váltak el a földrengésektől.

A hullámformák összehasonlító elemzésére 201 esemény É-D csatornájának 25 másodperces szeizmogramját használtam fel. Összesen 116 esemény mutatott valamely másik eseménnyel a kritikus értéknél (c_{xy}=0,6) nagyobb hasonlóságot. A hullámforma vizsgálat alapján a robbantások és földrengések külön klaszterekbe kerültek. Egyes bányák robbantásai akár több klasztert is alkottak, de még c_{xy}=0,5-re csökkentve a kritikus értéket sem keveredtek a földrengésekkel. A földrengések is több klaszterbe rendeződtek, és megfigyelhető volt, hogy az egy klaszteren belüli földrengések epicentrumai közel estek egymáshoz. A recski, nagylóci és gyöngyössolymosi bányákhoz tartozó klaszterek esetében korábban földrengésnek tekintett, vagy ismeretlen eredetűnek tartott robbantást sikerült azonosítani.

A nyolc bánya legtöbb robbantásának spektrumán megfigyelhető volt a késleltetett robbantási technika miatt fellépő csipkézettség. A csipkézettség az 1-10 Hz közötti spektrum tartományra volt leginkább jellemző. A spektrumok teljesítménye az 1-4 Hz közötti sávban jelentősen megnőtt majd a teljesítmény növekedés a nagyobb frekvenciák felé haladva

újra jelentkezett, de egyre kisebb amplitúdóval. Néhány földrengés esetén is megfigyelhető volt egyes frekvenciák megemelkedett teljesítménye, de a spektrum magasabb frekvenciákig terjedt ki, mint a robbantások esetében.

A közeli hipocentrumú földrengéseknek nemcsak a hullámformáira, hanem a spektrumaira is jellemző volt a nagyfokú hasonlóság.

A legtöbb bányarobbantás bináris spektrogramján időtől független moduláció alakult ki, ami az esemény végéig követhető volt (100 robbantás közül 7 esetben nem alakult ki moduláció). A földrengések esetében a legtöbbször bizonytalan volt a bináris spektrumon a sávok jelenlétének a megítélése.

A spektrum adatok esetében a legjobb elkülönülést a spektrum meredekség (1-4 Hz között) és a spektrum átlag/maximum (1-10 Hz között) paraméterek adták. A földrengések spektrum meredeksége az 1-4 Hz közötti tartományban az esetek 87%-ban pozitív, a robbantások 77%-ban negatív volt.

A spektrum adatok felhasználásával a robbantások 70%-nál és a földrengések 54%-ában kaptam megfelelő statisztikai elkülönülést. A földrengések csoportja a spektrum adatok alapján kevésbé alkotott statisztikailag elkülönülő csoportot, mint az amplitúdó adatok alapján. A legjobban a gyöngyöstarjáni és kisnánai, a legkevésbé a szalóci és berceli bányarobbantások váltak el a földrengéseket jellemző paraméterektől.

A robbantások és földrengések a fázisok amplitúdó és spektrum adatainak együttes felhasználásával tovább növekedtek a két csoport statisztikai eltérését jellemző MD értékek.

A hipocentrum adatokat kiegészítve a hullámforma és spektrum paraméterekkel a robbantások 98%-a és a földrengések 74%-a mutatott a kiválasztott paraméter értékek alapján robbantásos ill. földrengéses jelleget.

A földrengésekre kapott hullámforma és spektrum paraméterek stabilitását az adatrendszer két részre bontásával elemeztem. Az $log(SHR/P)$ és $log(Rg/P)$ átlagértékek a két adatrendszer között nagyobb, a spektrum paraméterek kisebb mértékben eltértek egymástól, ami a 2013. április és július között kipattant Heves-Tenk környéki földrengések adataival magyarázható. Ezek az események egymáshoz nagyon hasonló paramétereket adtak, és eltértek a többi földrengésre kapott értékektől. Ezek a rengések a robbantásoktól jól elváló halmazt alkottak.

5.2. A Vértes környéki szeizmikus események elemzésének eredményei

A Vértes hegység déli részén, Gánton működik a Dolomit Kőbányászati Kft. kezelésében levő kőbánya. Ez mintegy 3 km-re van a PKSG és 10,3 km-re a CSKK állomásoktól. E bánya 115 robbantásának szeizmikus jeleit elemeztem a területen kipattant több mint 400 földrengésével együtt. A következő megfigyelések vonhatók le az eseményekről.

A vizsgált időszakban a területen meghatározott szeizmikus események 22%-a robbantás volt. Ezek mindig hétköznap történtek, és napi maximumuk a nyári időszámítás idején 8-10 (UT) óra között, télen a közép-európai idő használatakor 9-11 (UT) óra között volt.

A földrengések heti eloszlásában tapasztalt hétvégi maximumot az oroszlányi M_L=4,5 főrengés utórengései okozták, mivel a főrengés szombatra esett, és a vizsgált 2 év földren-

géseinek negyede erre a szombatra és az azt követő vasárnapra esett.

A katalógusba került M_L<0,2 rengések napi eloszlására hatással volt a terület kulturális zaja. Éjjel több kisméretű rengést regisztrálhattunk. Számukból ítélve az ilyen kis magnitúdójú földrengések 44%-a hiányzik a nappali időszakból. A 2 km-nél mélyebb rengések száma is kevesebb a nappali órákban. A mélyebb, de kisebb rengések regisztrálása a nagyobb kulturális zaj miatt kedvezőtlenebb nappal. Becslésem szerint a 2 km-nél mélyebb földrengések 33%-a kimaradhatott a nappali időszakból.

A vizsgált területen a permanens állomások elhelyezkedése alapján számolt konfidencia tartományok erősen elnyúlt ellipszist mutattak, melyeknek nagytengelye legtöbbször merőleges volt a PKST-CSKK-PKSG állomások által kijelölt egyenesre. A hiba sok esetben megközelítette a 15 km-t. Amikor a területen az ideiglenesen működő állomások kerültek telepítésre (SUKH; VSOM; BOKD), a robbantások epicentrumának hibája a jobb állomás konfiguráció következtében 5 km alá csökkent. Ennek ellenére a Vértes területén a földrengések és robbantások elkülönítése az epicentrum térkép alapján – a helymeghatározás nagy horizontális hibája miatt – nem lehetséges.

Az elsőként beérkező P hullámok jellegéről a következők mondhatók el. A gánti bányarobbantások első beérkezése mindkét állomáson nagyrészt (75% felett) kompressziós volt; a CSKK állomás és a PKSG állomásokon tapasztalt beérkezések 7%-a, ill. 23%-a volt bizonytalan. Mindkét állomáson 10% körül volt a robbantások dilatációs beérkezése.

A 2012-ben keletkezett földrengések esetében az irányok mindkét állomáson közelítették a 30-30-30%-ot. A 2011-es évben 50% feletti volt a CSKK állomáson a dilatációs, a PKSG állomáson pedig a kompressziós beérkezés. Ez utóbbi oka az lehetett, hogy az oroszlányi utórengések (amik a 2011-es év adatait túlnyomórészt adták) hasonló fészekmechanizmussal rendelkeztek, amik eltérő első beérkezést adtak a két állomásra.

A különböző fázisok amplitúdó arányainak vizsgálata alapján meghatározott MD távolságok szerint a szűretlen P és S hullám amplitúdók megfelelőbbnek bizonyultak, mint a különböző sávon szűrt adatok. Az alacsony frekvencia tartalmú Rg fázisnál pedig a 0,5-1,5 Hz közötti frekvenciasávban mért amplitúdók adták a jobb szétválást.

A P, SHR és Rg amplitúdó értékek kombinációjával kapott paraméterek alapján a robbantások statisztikai elkülönülése a földrengésektől nem volt megfelelő egyik állomáson sem. Ennek oka, hogy a robbantások amplitúdó paraméterei a CSKK állomáson szinte teljesen, a PKSG állomás esetében részben a földrengésekre jellemző tartománynak egy szűkebb részét foglalták el. A 2012. áprilisi gánti M_L=2,7 főrengés és utórengései viszont a hullámforma paramétereik alapján elkülönültek a gánti robbantásoktól annak ellenére, hogy epicentrumaik közel estek a bánya területéhez.

A PKSG állomásra kapott amplitúdó értékek alapján jobban elváltak egymástól a robbantások és földrengések, mint a CSKK állomás esetében. A 2012. áprilisi gánti földrengések esetében mindkét állomás a földrengésekre jellemző paramétereket adta. A szeizmikus események elkülönítésének biztonsága több paramétert figyelembe véve javult.

A CSKK és PSZ állomás esetében hasonló tendencia mutatkozott a robbantások és földrengések S/P paramétere között, vagyis földrengésekre a nyíróhullámok jóval nagyobb gerjesztése volt jellemző, mint az impulzív jellegű nyomáshullámokat keltő robbantásokra.

A PKSG állomás esetében – ami nagyon közel volt a bányához, csak 3 km-re – a robbantások nagyobb S/P aránya a földrengésekhez képest annak volt köszönhető, hogy az S, valamint a felületi hullámok, szinte egyszerre érkeztek be az állomásra.

A CSKK és PKSG állomások epicentrumokhoz való közelsége miatt (5-10 km) sok esemény hullámformája alkalmas volt korrelációs analízisre, annak ellenére, hogy az események többsége kisméretű volt (M_L<1). A kritikus korrelációs együtthatót, ami fölött az eseményeket hasonlónak tekintettem, c_{xy}=0,75-nek vettem, és 8 sec hosszú szeizmogramokat vizsgáltam.

A CSKK állomás esetében a vertikális, míg a PKSG állomás esetében a horizontális csatorna szeizmogramjai eredményeztek több hasonló eseményt. A szeizmikus események – amelyeknek hullámformáit elemeztem – az esetek 88%-ában 10 km-nél közelebb estek a PKSG állomáshoz, és csak 36%-ban voltak közelebb a CSKK állomáshoz. Távolabbi epicentrum esetén több fázis érkezik be, illetve jobban szétterültek a P és S hullámok csomagjai, ezért az állomáshoz közeli események ezért jobban hasonlítottak egymáshoz, mint a távolabbiak. Az eseményhez (oroszlányi utórengések) közelebbi állomás (PKSG) hullámformáinak csoportjai a távolabbi állomás (CSKK) esetében már kisebb c_{xy} feltétel esetén is szétváltak egymástól.

Az események hasonlóságát nem befolyásolta azok mérete. A PKSG É-D csatorna legnagyobb klaszterének – amihez 121 rengés tartozott c_{xy} =0,75 feltétel esetén – legkisebb eleme M_L-0,5 legnagyobb pedig M_L2 magnitúdójú volt.

Több olyan esemény is belekerült valamelyik klaszterbe, amiket kis méretük miatt csak 1-2 állomás regisztrált, így a helyüket nem lehetett meghatározni, és nem lehetett katalogizálni. Hullámforma korreláció segítségével azonban hozzákapcsolhatók más, ismert hipocentrumú rengésekhez, így kipattanási helyük becsülhető.

Előfordult, hogy egy klaszteren belül az elemek számított epicentrumai egymástól 15 km-re is voltak. A hasonlósági elmélet szerint a szoros párok forrásainak egymáshoz nagyon közel, 1-2 km-en belül kell lennie. Ez arra utal, hogy az epicentrumok meghatározási hibája a Vértes hegység területén telepített állomások kedvezőtlen elhelyezkedése miatt akár 15 km is lehetett.

A korrelációs analízis alapján nemcsak az oroszlányi M_L=4,5 főrengés utórengései alkottak csoportokat, hanem a Móri-árok területén kipattant rengések is.

A CSKK és PKSG állomás hullámforma klaszterei egymással átfedést mutattak, tehát az egyes klaszterek egymástól eltérő, stabil fizikai paraméterekkel bírnak.

A robbantások között nagyon kevés hasonló esemény volt annak ellenére, hogy az állomás és a robbantás helye, ill. mélysége sem változott. Kivitelezésük (töltetek tömege, késleltetési idők és fúrólyukak száma) miatt egyedi Rg felületi hullámok alakultak ki nagy amplitúdóval, ami miatt keresztkorrelációjuk kicsi lett.

Azonban sem a CSKK, sem a PKSG állomáson regisztrált robbantások hullámformái nem kerültek közös klaszterbe földrengések csoportjaival.

A gánti bánya robbantásainak spektrumán a legtöbb esetben megfigyelhető volt egy 10 Hz körüli maximum, ami megfelel a bánya késleltetett robbantási technikája során alkalmazott 100 ms-os késleltetési időnek. Ugyanannak a robbantásnak a spektruma (maximumok

és minimumok) hasonló volt a két állomáson. Általánosan jellemző volt, hogy a 10 Hz feletti lecsökkent az intenzitás.

A gánti robbantások bináris spektrumai esetében kialakultak az időtől független sávok, amik a szeizmogram végéig követhetők voltak. Földrengések többségénél is kialakultak, de ezek helye az S hullámok beérkezése után átrendeződött. Hasonlót tapasztaltam az észak-magyarországi 8 bánya robbantásai esetében is.

Az eredmények stabilitását az események két részre osztásával vizsgáltam. A PKSG állomás spektrum adatai alapján a robbantások és földrengések mindkét adatbázison jól elkülönültek egymástól. Ezek a spektrum meredeksége 2-24 Hz között, és az ebben a tartományban a spektrum átlagának és maximális teljesítményének hányadosa voltak. Az SR paraméter a földrengések esetében nem adott megfelelő elkülönítést.

A CSKK állomás esetében a robbantások és földrengések a spektrum adatok alapján csak az Adatok I. esetében különültek el megfelelően. A 2012. áprilisi gánti földrengések paraméterei a CSKK állomáson robbantásos, a PKSG állomáson a és földrengésekre jellemző paramétereket adták.

Mindhárom spektrumjellemző együttes használatával javult a statisztikai távolság a két csoport között. A spektrum és hullámforma amplitúdó paramétereket együtt figyelembe véve, mindkét állomáson tovább javult a földrengések statisztikai elkülönülése. A robbantások esetében csak a PKSG állomásra kaptam javulást.

5.3. Eredmények

A kiválasztott két terület földrengéseinek és robbantásainak az elemzése alapján a következő általános megállapítások tehetők.

Észak-Magyarország területén a bányák 10 km-es környezetében robbantásnak nem visszaigazolt mikrorengések is előfordultak. A robbantások számolt epicentrumainak hibája az 5-10 km-t is elértek. A Vértes területén az epicentrumok konfidencia tartománya erősen elnyúlt ellipszist mutatott, melyeknek nagytengelye legtöbbször merőleges volt a permanens állomások által kijelölt egyenesre. A hiba sok esetben megközelítette a 15 km-t.

A robbantások mélysége a két területen több mint 90%-ban 0 km-nek adódott. Az Északi-középhegység területén a földrengések 4%-a esett 1 km-nél sekélyebbre a Vértes esetében pedig 18%. A földrengések és robbantások elkülönítése a sekélyfészkű földrengések előfordulása, és a helymeghatározás nagy horizontális hibája miatt az epicentrum térkép alapján egyik területen sem lehetséges.

Észak-Magyarország területén a robbantások 90%-a, a Vértesben működő gánti bánya esetében pedig mindig hétköznap történtek. Az Észak-Magyarországon és Szlovákia déli részén működő 8 bánya robbantásai esetében kijelölhető volt egy időablak, amikor a robbantások jelentős részét végezték. A robbantásokat jellemző órákra esett a földrengések 26% (Észak-Magyarország területén) ill. 15%-a (Vértesben). Az esemény időpontja nem ad elegendő információt a robbantások kiszűrésére.

A Vértes területén az utórengésekhez közeli állomásoknak köszönhetően a földrengések közel felének a mérete kisebb volt, mint M_L=0,2. Az M_L<0,2 földrengések napi eloszlására

hatással volt a terület kulturális zaja, ami miatt éjjel több kisméretű rengést regisztrálhattunk. Számukból ítélve az ilyen kis magnitúdójú földrengések 44%-a hiányzik a nappali időszakból. A kedvezőtlenebb regisztrálási körülmények miatt a 2 km-nél mélyebb rengések száma is kevesebb a nappali órákban. Becslésem szerint az ilyen földrengések 33%-a kimaradhatott a nappali időszakból.

Elméletileg a robbantások impulzív tulajdonsága miatt minden állomáson kompressziós első beérkezést kell tapasztalni. Az Észak-Magyarország területén vizsgált szeizmikus eseményeknél a P hullám beérkezési iránya nem mutatott lényeges eltérést a két osztály között, kb. ugyanannyi arányban mutatott „+" mint „-" irányt. A bizonytalan beérkezések aránya a robbantások harmadát, a földrengések közel felét jellemezte. A gánti bányarobbantások első beérkezése mindkét állomáson nagyrészt (75% felett) kompressziós volt. A robbantásoknál megfigyelt dilatációs és a bizonytalan beérkezési irányok miatt tehát ez sem tekinthető az elkülönítés biztos paraméterének.

A földrengések epicentrum távolsága a PSZ állomástól 7-118 km, méretük pedig M_L0,8-4,8 között változott A Vértes esetében a földrengések a PKSG és CSKK állomásoktól 1-44 km közé estek, méretük pedig M_L=-0,7 és M_L=4,5 között mozgott. A gánti bánya 3, ill. 10,3 km-re helyezkedett el ugyanezektől a szeizmográfoktól. Mindkét területen a fölrengések és robbantások mégis jól behatárolható hullámforma és spektrum paramétereket mutattak.

Az amplitúdó arányok meghatározása során a P és S hullámfázisokra a szűretlen, az 1-4 Hz, 4-7 Hz és 7-10 Hz között szűrt regisztrátumok közül a szűretlenből meghatározott amplitúdó adatok adták a legjobb szétválást. Az alacsony frekvenciával jelentkező Rg felületi hullámnál a 0,5-1,5 Hz közötti szűrés alkalmazásakor jobb eredményt kaptam, mint a 0,66-2 Hz közötti szűrés esetén. Mindkét területen a $log(Rg/P)+log(SHR/P)+log(Rg/SHR)+log(Rg)$ paraméterek együtt adták a legjobb elkülönülést a két csoport között.

A spektrumok elemzése során az Észak-Magyarország eseményei esetében a legjobb elkülönülést a spektrum meredekség (1-4 Hz között), és a spektrum átlagos teljesítményének és maximumának hányadosa (1-10 Hz között)paraméterek együtt adták. A Vértes eseményei esetében a spektrum meredekség (2-24 Hz között), a spektrum átlagos teljesítményének és maximumának hányadosa (2-24 Hz között), valamint az 1-10 Hz és 10-20 Hz közötti spektrum arány együtt adta a legjobb diszkriminációt.

A PSZ és PKSG állomások adatai esetében a robbantások és földrengések csoportja között javult a statisztikai elkülönülés, ha egyre több spektrum illetve amplitúdó paramétert vettem figyelembe. A CSKK állomáson a földrengések esetében a spektrum és amplitúdó paramétereket együtt alkalmazva ugyancsak jelentősen nőttek az MD értékek, de a robbantásokra nem hoztak javulást.

Annak ellenére, hogy egy adott bánya esetében a robbantások szeizmikus hullámai mindig hasonló kőzetrétegeken hatoltak át, a paramétereik a földrengésekéhez hasonló mértékben szórtak, pedig a rengések mérete, azimutja és távolsága az állomástól igen eltérő volt. A bányák robbantásaira a földrengésektől különböző mértékben, de eltérő hullámforma és spektrum paramétereket kaptam. Az egyes bányák jellemzői között is mutatkoztak eltérések.

A legtöbb bányarobbantás spektrumán megfigyelhető volt a késleltetett robbantási tech-

nika miatt fellépő spektrum csipkézettség, és a bináris spektrogramon az időfüggetlen moduláció kialakulása. E spektrumjegyek jelenléte jó elkülönítő paraméter a bányarobbantások felismerésére.

A különböző állomásokon regisztrált szeizmogramok korrelációs elemzése a következő eredményt adta. Észak-Magyarország területén a földrengések szeizmogramjainak 56%-a, a Vértesben a CSKK állomás esetén 45%, míg a PKSG esetében 75% bizonyult hasonlónak valamely másik eseményhez az általam megadott kritérium szerint. A bányarobbantások hullámformái esetében ennél kevesebb részre volt ez igaz (c_{xy}=0,6: PSZ 56%;c_{xy}=0,75: CSKK 3%, PKSG 34%). A különböző bányák robbantásai külön klaszter(eke)t alkottak. A földrengések szeizmogramjai is több klaszterbe rendeződtek. A klasztereken belül különböző méretű események szerepeltek, a hasonlóságot nem befolyásolta azok mérete. A földrengések és robbantások külön klaszterekbe kerültek, nem keveredtek egymással.

A Vértes területének rengései esetében előfordult, hogy egy klaszteren belül az elemek számított epicentrumai egymástól több mint 15 km-re voltak. A hasonlósági elmélet szerint egy szigorúbb korrelációs feltételre kapott klaszter elemeinek egymáshoz nagyon közel, 1-2 km-en belül kell lennie. Ez arra utal, hogy az epicentrumok meghatározási hibája a Vértes hegység területén a telepített állomások kedvezőtlen elhelyezkedése miatt akár 15 km is lehet. Hasonló eredményt adott a gánti bánya számolt epicentrumainak meghatározási hibája, amikor csak 3 állomás adatai alapján történt a számítás.

A recski, nagylóci és gyöngyössolymosi robbantások klaszterei esetében korábban földrengésnek tekintett, vagy ismeretlen eredetű robbantást sikerült a bányák tevékenységéhez kötni. Létrehozva az egyes bányákhoz tartozó hullámforma adatbázist – és azt az újabb robbantások hullámformáival bővítve – lehetővé válik a robbantások jelentős részének a kiszűrése.

A hullámforma és spektrum, valamint a szeizmogramok korrelációs analízisét együttesen alkalmazva a földrengések és a robbantások nagy biztonsággal elkülöníthetők. A vizsgálat alapján azonban az elkülönítésre leginkább alkalmas módszerek területenként és állomásonként különbözők lehetnek 5.1. táblázat.

5.1. táblázat. *A módszerek összesítése*

	Állomás		
	PSZ	PKSG	CSKK
	Észak-Magyarország	Vértes	
Területi/időbeli eloszlás			
epicentrum helye	✗	✗	
mélység	✔	✗	
kipattanás ideje	✗	✔	
Fázisok jellemzői			
log(Rg)	✗	✗	✗
log(Rg/SHR)	✔	✗	✗
log(SHR/P)	✗	✗	✗
log(Rg/P)	✗	✗	✗
log(Rg)+log(Rg/SHR)+log(SHR/P)+log(Rg/P)	✔	✔ ✗	✔ ✗
Spektrális jellemzők			
csipkézettség	✔	✔	✔
bináris spektrum	✔	✗	✗
spektrum meredekség	✗	✔	✔ ✗
spektrum átlag/maximum	✗	✔	✗
meredekség + spektrum átlag/maximum	✗	✔	✔ ✗
fázisok amplitúdó +spektrum adatai	✔	✔	✔ ✗
Hullámforma			
P hullám iránya	✗	✗	✗
klaszter-analízis	✔	✔	✔

6. fejezet

Köszönetnyivánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet Dr. Győri Erzsébet témavezetőmnek a dolgozat megírása során nyújtott rengeteg segítségéért. Győri Erzsébettel mindennapos munkakapcsolatban voltam az elmúlt években. A tőle kapott építő bírálatokat és nagy türelmét is külön köszönöm. Dr. Ádám Antal és Dr. Veress Márton témevezetőim szakmai segítségét is köszönöm.

Szeretném megköszönni a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolának, hogy a Geo-környezettudományi programja keretében lehetőséget adtak továbbképezni magam a 3 éves doktori iskolában. A Doktori Iskolában külön köszönetet mondok Dr. Pődör Andrea tanszékvezető tanárnak, a Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar Térinformatika Tanszék docensének az ArcGis programcsomag megismertetéséért.

Szeretném megköszönni a Nyugat-magyarországi Egyetem anyagi támogatását, amivel lehetővé vált a sukorói (SUKH) ideiglenes állomás üzemeltetése, ami hozzásegített a Vértes szeizmicitásának, és a bányarobbantások detektálásának pontosabb megismeréséhez. Hálás vagyok az MTA CSFK GGI jelenlegi igazgatójának Dr. Wesztergom Viktornak, illetve az MTA GGKI igazgatójának Dr. Závoti Józsefnek, amiért lehetővé tették, hogy munkámat jó körülmények között végezzem.

Szeretném megköszönni a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek (jogutódja a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet) hogy az ideiglenes vértessomlói (VSOM) és bokodi (BOKD) állomások adatait az Obszervatórium számára rendelkezésre bocsájtotta. Rendkívül hálás vagyok, hogy az M_L=4,5 oroszlányi főregés után 3 nappal már telepítették ezeket az állomásokat, a legmegfelelőbb helyre, az utórengések minél jobb detektálását figyelembe véve.

Szeretnék Győri Erzsébetnek és Czifra Tibornak köszönetet mondani a sukorói (SUKH) ideiglenes állomás felállításában nyújtott segítségükért, aminek feladata a robbantások jobb paramétereinek megismerése volt, de az az M_L=4,5 oroszlányi főrengést követő utóregések detektálásában is kulcsszerepet játszott.

Szeretném megköszönni a GeoRisk Földrengés Mérnöki Irodának, hogy a Magyarországi Földrengések Évkönyve hipocentrum adatait, és a PKSG (Gánt) szeizmológiai állomás hullámformáit felhasználhattam a dolgozat során.

Szeretnék köszönetet mondani kollégáimnak: Mónus Péternek, Tóth Lászlónak, Zsíros Tibornak, Gráczer Zoltánnak, Varga Péternek hogy tapasztalataikkal segítettek, és nem volt olyan kérésem, amiben ne adtak volna maximális segítséget. Szeretném kiemelni azt a tényt, hogy a dolgozat során született eredmények nagy része a CSKK állomás 2009-es telepítése nélkül nem jött volna létre, és ez az állomás pedig az én kérésemre a kutatásom céljára került a Vértesbe. Szeretnék köszönetet mondani Czifra Tibornak, Mónus Péternek és Gráczer Zoltánnak, akik az állomások telepítését végrehajtották.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni férjemnek Maróti Tamásnak biztatását, türelmét, és a tőle kapott sok-sok számítástechnikai támogatást. Maróti Árpád fiamnak pedig a LaTex használatában nyújtott segítségért vagyok hálás.

Függelék

F.1. A dolgozatban használt rövidítések

M magnitúdó általában

M_s felületi hullám magnitúdó

m_b térhullám magnitúdó

M_L Richter (lokális) magnitúdó

P P hullám, elsőként beérkező primer fázis

S S hullám, másodiknak beérkező szekunder fázis

Pg, Sg felső gránitos kéregben refraktálódott hullámokok

Pn, Sn Mohorovičić diszkontinuitáson refraktálódott hullámok

SHR a rengés irányába „radiális" elforgatott horizontális csatornán jelentkező S hullám

SHT az SHR-re merőleges „transzverzális" horizontális csatornán jelentkező S hullám

Rg felületi hullám (rövid periódusú Rayleigh-hullám)

Lg felületi hullám tipus

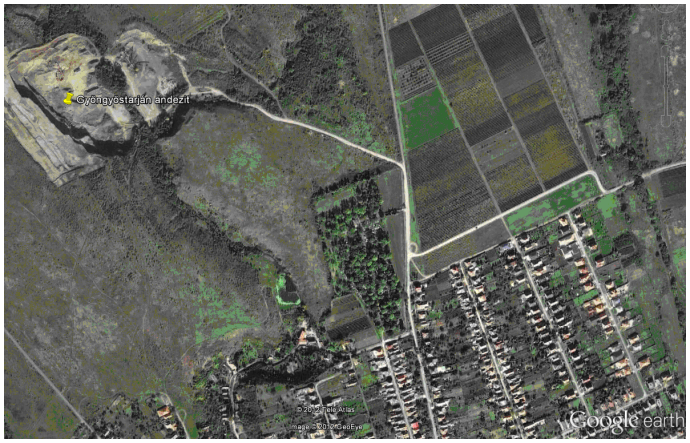
SR spektrum arány

Cx komplexitás

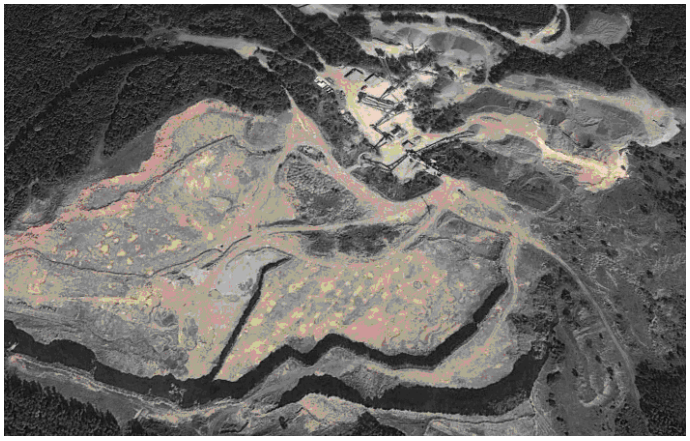
MD Mahalanobis távolság

F.2. A vizsgálatban felhasznált kőbányák fényképei

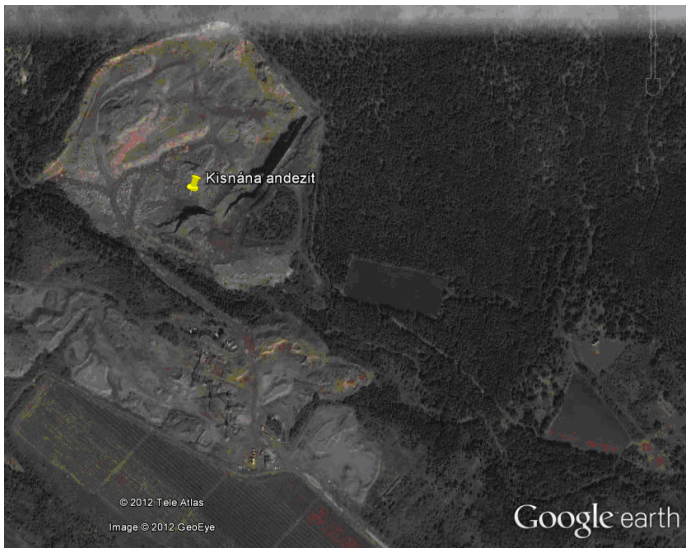
F.1. ábra. *Gyöngyössolymos, Cserkő andezit bánya*



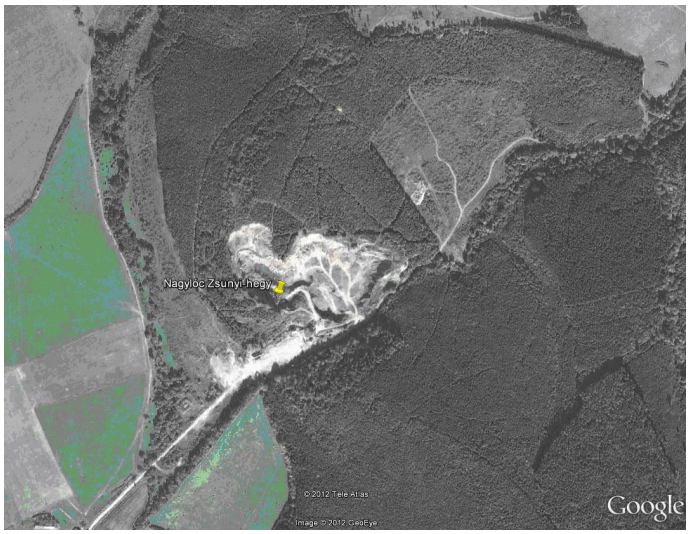
F.2. ábra. *Gyöngyöstarján Füledugó andezit bánya*



F.3. ábra. *Recsk Csákányhegy andezit bánya*



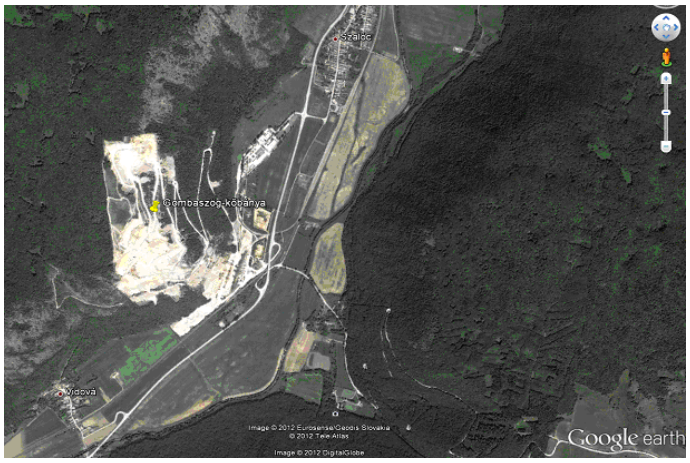
F.4. ábra. *Kisnána andezit bánya*



F.5. ábra. *Nagylóc andezit bánya*

F.6. ábra. *Bercel Nógrádkövesd andezit bánya*

F.7. ábra. *Szlovákia Nagydaróc bazalt bánya*



F.8. ábra. *Szlovákia, Szalóc Gombaszög-kőbánya*

F.9. ábra. *Gánt Dolomit Zrt bánya*

F.3. Az Északi-középhegység területén regisztrált földrengések és robbantások paraméterei

Az Északi-középhegység területén a bányarobbantások egy részét csak a PSZ állomás detektálta, ezért ezekre az eseményekre nem történt epicentrum számítás. Az F.1. táblázatban ekkor hiányoznak a földrajzi szélesség, hossszúság és mélységadatok. Ha több állomás adata állt rendelkezésre, akkor a számolt epicentrális adatokat közöltem, amik nem estek pontosan a bánya helyére. A vastagon szedett robbantásokkal az elemzés során kiemelten foglalkoztam.

F.1. táblázat. *Az Északi-középhegység bányáiból származó robbantások adatai*

Bánya	N	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	h(km)	M_L	Megjegyzés
Gyöngyös.	B1	2012.05.10	06:10:00	-	-	-	-	-
	B2	2012.07.02	07:02:00	-	-	-	-	-
	B3	2012.08.14	07:56:00	-	-	-	-	-
	B4	2012.09.06	07:00:00	-	-	-	-	-
	B5	2012.11.29	08:30:00	-	-	-	-	-
	B6	2013.04.08	08:00:00	-	-	-	-	-
	B7	2013.05.16	07:35:00	-	-	-	-	-
	B8	2013.06.17	06:20:00	-	-	-	-	-
	B9	2013.06.21	07:30:00	-	-	-	-	-
	B10	2013.06.28	08:00:00	-	-	-	-	-
	B11	2013.07.01	07:20:00	-	-	-	-	-
	B12	2013.07.09	06:40:00	-	-	-	-	-
Gyöngyöst.	B13	2007.01.20	12:04:00	-	-	-	-	-
	B14	2007.06.20	10:22:00	-	-	-	-	-
	B15	2007.10.18	10:26:00	-	-	-	-	-
	B16	2007.10.20	11:57:00	-	-	-	-	-
	B17	**2008.04.01**	**10:09:41**	**47,94**	**19,80**	**20**	**1,5**	**Mátravereb.**
	B18	2011.04.14	08:56:00	-	-	-	-	-
	B19	2012.06.04	09:49:00	-	-	-	-	-
	B20	2012.06.08	10:36:00	-	-	-	-	-
	B21	2013.02.28	11:37:00	-	-	-	-	-
Kisnána	B22	2007.10.20	10:16:00	-	-	-	-	-
	B23	2011.05.18	14:49:00	-	-	-	-	-
	B24	2011.05.30	10:25:00	-	-	-	-	-
	B25	2011.06.15	12:18:00	-	-	-	-	-
	B26	2011.07.23	10:21:00	-	-	-	-	-
	B27	2011.08.11	11:50:00	-	-	-	-	-
	B28	2011.08.19	09:43:00	-	-	-	-	-
	B29	2011.08.26	09:30:00	-	-	-	-	-
	B30	2011.09.01	12:15:00	-	-	-	-	-
	B31	2011.10.20	11:30:00	-	-	-	-	-
	B32	2011.11.25	10:44:00	-	-	-	-	-
	B33	2012.02.27	15:02:00	-	-	-	-	-
	B34	2012.05.10	12:03:00	-	-	-	-	-
	B35	2012.05.17	12:44:00	-	-	-	-	-
	B36	2012.05.25	10:15:00	-	-	-	-	-
	B37	2012.06.11	12:34:00	-	-	-	-	-
	B38	2012.06.21	12:14:00	-	-	-	-	-
	B39	2012.07.12	10:05:00	-	-	-	-	-
	B40	2012.07.17	09:32:00	-	-	-	-	-
	B41	2012.07.30	10:38:00	-	-	-	-	-
	B42	2013.02.25	15:40:00	-	-	-	-	-
	B43	2013.03.13	09:40:00	-	-	-	-	-
	B44	2013.03.26	13:37:00	-	-	-	-	-

Table F.1 Folytatás az előző oldalról

Bánya	N	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	h(km)	M_L	Megjegyzés
	B45	2013.04.10	11:21:00	-	-	-	-	-
	B46	2013.05.14	13:30:00	-	-	-	-	-
	B47	2013.05.27	14:37:00	-	-	-	-	-
	B48	2013.06.05	11:55:00	-	-	-	-	-
	B49	2013.06.13	08:00:00	-	-	-	-	-
	B50	2013.06.22	10:20:00	-	-	-	-	-
Bercel	B51	2012.05.17	10:35:00	-	-	-	-	-
	B52	2012.05.24	09:30:00	-	-	-	-	-
	B53	2012.06.29	09:15:00	-	-	-	-	-
	B54	2012.07.16	09:36:00	-	-	-	-	-
	B55	2012.08.02	10:23:00	-	-	-	-	-
	B56	2012.09.20	11:00:00	-	-	-	-	-
	B57	2013.06.05	10:20:00	-	-	-	-	-
	B58	2013.07.15	10:18:00	-	-	-	-	-
Nagydaróc	B59	2010.04.19	10:36:22	48,37	19,83	0	2,0	-
	B60	2010.04.30	12:43:07	48,32	19,78	0	1,7	-
	B61	2010.07.02	08:10:24	48,33	19,97	0	1,4	-
	B62	2010.08.31	09:15:00	48,36	19,81	0	1,8	-
	B63	2010.10.04	09:37:59	48,37	19,79	0	1,9	-
	B64	2010.11.15	09:38:48	48,36	19,80	0	1,7	-
	B65	2011.03.03	08:49:15	48,39	19,82	7	1,7	-
	B66	2011.03.17	10:50:27	48,38	19,82	0	1,8	-
	B67	2011.05.20	13:22:23	48,35	19,82	0	2,0	-
	B68	2011.06.03	07:48:31	48,36	19,84	0	1,5	-
	B69	2011.06.16	08:32:26	48,38	19,82	0	2,0	-
	B70	2011.06.21	07:51:48	48,40	19,80	0	1,1	-
	B71	2011.07.06	09:38:28	48,93	20,71	7	1,9	-
	B72	2011.08.03	07:58:45	48,38	19,83	0	1,9	-
	B73	2011.10.12	08:48:43	48,37	19,83	0	2,2	-
	B74	2011.12.09	12:48:11	48,36	19,85	0	2,3	-
	B75	2012.02.01	10:00:49	48,36	19,82	0	2,0	-
	B76	2012.07.13	08:17:00	48,34	19,85	-	-	-
	B77	2012.10.11	07:55:00	-	-	-	-	-
	B78	2013.06.03	12:30:33	48,37	19,83	0	1,8	rengés
	B79	2013.06.22	10:09:00	-	-	-	-	-
Szalóc	B80	2010.11.05	10:05:03	48,52	20,28	0	1,6	-
	B81	2011.04.14	10:41:26	48,54	20,33	0	1,7	-
	B82	2011.08.04	08:52:52	48,57	20,42	0	1,5	-
	B83	2012.02.11	12:29:15	48,66	20,13	1	2,4	-
	B84	2012.05.18	12:20:32	48,53	20,32	0	1,6	-
	B85	2012.06.30	09:57:30	48,65	20,24	0	1,1	-
	B86	2013.06.03	09:00:30	48,62	20,56	0	1,5	zajos
Nagylóc	B87	2011.02.14	10:28:38	48,03	19,62	0	1,1	robb.
	B88	**2011.03.05**	**14:31:44**	**48,02**	**19,60**	**10**	**1,1**	**rengés?**
	B89	**2011.03.21**	**10:27:28**	**48,03**	**19,61**	**0**	**0,9**	**rengés?**
	B90	**2011.04.22**	**17:07:35**	**48,06**	**19,67**	**0**	**1,7**	**rengés?**
	B91	**2011.06.09**	**08:53:29**	**48,04**	**19,57**	**0**	**0,6**	**rengés?**
	B92	2011.09.26	11:30:13	48,04	19,64	0	1,9	robb.
	B93	2011.12.04	09:19:33	48,18	19,88	0	1,2	robb.
	B94	2011.12.28	09:20:30	48,04	19,60	10	1	robb.
	B95	**2011.12.29**	**09:07:06**	**48,04**	**19,64**	**8**	**0,9**	**Sóshartyán?**
Recsk	B96	2011.11.25	12:18:10	47,98	19,91	0	1,1	Szuha robb.
	B97	2013.05.27	08:000	-	-	-	-	szónikus jel
	B98	**2013.06.06**	**10:21:15**	**47,98**	**19,99**	**0**	**1,6**	**rengés**
	B99	2013.07.12	05:40:00	-	-	-	-	-
	B100	2013.07.18	06:00:00	-	-	-	-	-

Az Északi-középhegység területén 2010. január és 2013. július között hipocentrum adattal rendelkező összes detektált földrengést felhasználtam munkám során. A hipocentrum adatokat az F.2. Táblázatban foglaltam össze. A h a rengés mélysége km-ben és az utolsó oszlop az rengés epicentrális távolsága PSZ állomástól km-ben értendő.

F.2. táblázat. *A földrengések hipocentrum adatai*

N	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	h	M_L	Helységnév	Táv.
EQ1	2010.05.25	06:55:26	47,286	19,943	15	3,1	Újszilvás EMS=5	70
EQ2	2010.07.23	07:01:37	47,984	19,956	10	0,9	Mátramindszent	8,6
EQ3	2010.08.14	06:57:26	47,988	20,802	3,3	2,7	Miskolc EMS=3-4	68
EQ4	2010.08.14	22:12:43	48,047	20,781	10	1,9	Miskolctapolca	67
EQ5	2010.08.17	05:32:43	47,994	20,783	10	2,4	Miskolc EMS=4	68
EQ6	2010.08.19	01:29:05	48,055	20,782	10	3,0	Miskolc EMS=4-5	68
EQ7	2010.08.19	14:48:07	48,041	20,796	1,8	2,4	Miskolc EMS=4-5	68
EQ8	2010.08.19	17:45:32	48,054	20,786	10	2,1	Szirma	68,3
EQ9	2010.08.19	22:24:21	47,996	20,785	10	2,1	Bükkaranyos	67
EQ10	2010.08.20	11:39:26	47,979	20,772	10	2,3	Bükkaranyos	66
EQ11	2010.08.20	16:06:55	47,985	20,781	10	2,3	Bükkaranyos	67
EQ12	2010.08.20	19:17:32	48,027	20,847	2,6	1,6	Kistokaj	72
EQ13	2010.08.21	04:58:48	48,032	20,82	3,5	2,4	Kistokaj	70
EQ14	2010.08.21	11:18:32	47,979	20,816	10	2,1	Kistokaj	70
EQ15	2010.09.26	05:02:15	48,049	20,35	7	1,8	Bélapátfalva	69
EQ16	2010.12.14	17:38:17	48,035	20,864	0,6	2,5	Sajópetri	53
EQ17	2010.12.14	21:29:03	48,075	20,855	1,3	2,8	Felsőzs. EMS=4-5	74
EQ18	2010.12.14	21:32:48	48,114	20,816	2,4	2,0	Felsőzsolca	72
EQ19	2010.12.14	23:07:23	48,092	20,821	1,6	2,6	Szirma	72
EQ20	2011.02.20	08:53:58	47,834	19,145	10	1,3	Szirma	57
EQ21	2011.03.12	05:47:01	47,566	19,404	10	1,7	Isaszeg	54
EQ22	2011.05.20	09:08:09	47,544	19,899	10	2,3	Jászdózsa EMS=3	42
EQ23	2011.06.06	21:55:08	48,128	20,359	10	1,4	Bükkmogyorósd	42
EQ24	2011.06.18	03:47:34	47,604	19,788	10	1,4	Jászágó	35,8
EQ25	2011.07.26	05:52:26	47,915	19,887	5	0,8	Mátraszentimre	0,6
EQ26	2011.09.07	22:38:20	47,845	19,563	1	2,3	Kisbágyon EMS=4	26
EQ27	2011.10.28	09:25:54	47,978	19,99	2	1,3	Mátraterenye	12
EQ28	2011.11.03	03:29:28	47,399	19,413	7	1,2	Péteri	31
EQ29	2011.11.27	06:54:33	47,939	19,307	1	1,2	Kisecset	44
EQ30	2012.02.01	09:42:22	47,25	19,906	8	2,1	Újszilvás	74
EQ31	2012.03.20	01:21:22	47,98	20,38	4	2,4	Felsőtárkány	37
EQ32	2012.03.23	15:40:43	48,646	20,164	8	1,9	Szlovákia	83
EQ33	2012.05.31	21:35:42	48,944	20,315	0	2,6	Szlovákia	118
EQ34	2012.06.01	03:47:40	48,91	20,28	1	2,1	Szlovákia	114
EQ35	2012.06.14	08:13:46	48,075	20,25	8	1,2	Bekölce	31
EQ36	2012.06.21	20:32:03	48,79	20	15	1,6	Szlovákia	97
EQ37	2012.07.08	18:46:26	47,41	19,698	10	1,3	Nagykáta	70
EQ38	2012.07.16	09:36:37	47,964	19,435	14	1,3	Terény	8,6
EQ39	2012.07.17	15:12:26	48,068	20,249	10	0,7	Egercsehi	68
EQ40	2012.07.19	09:22:43	48,881	20,497	7	2,0	Szlovákia	67
EQ41	2012.08.09	04:35:43	47,373	19,553	14	1,7	Gomba	68
EQ42	2012.10.29	08:34:05	47,76	20,1	10	1,9	Detk	23
EQ43	2013.02.05	22:34:31	47,275	19,805	6	2,1	Tápiószőlős	72
EQ44	2013.02.09	01:13:12	47,311	19,465	10	1,1	Monorierdő	75
EQ45	2013.02.11	06:08:21	47,27	19,835	6	2,2	Tápiószőlős	72
EQ46	2013.02.16	17:18:42	47,643	20,269	10	3,6	Heves EMS=4-5	42
EQ47	2013.02.17	13:21:48	47,647	20,3	1	2,5	Tenk	43
EQ48	2013.03.19	15:09:26	48,342	19,806	9	1,6	Szlovákia	47
EQ49	2013.03.20	23:48:46	48,097	20,82	10	1,7	Szirma	71
EQ50	2013.03.21	11:17:04	48,342	19,795	10	1,2	Szlovákia	47
EQ51	2013.04.22	22:28:47	47,65	20,302	10	4,8	Heves EMS=6	44

Table F.2 Folytatás az előző oldalról

N	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	h	M_L	Helységnév	Táv.
EQ52	2013.04.22	22:33:48	47,65	20,187	10	1,7	Boconád	37
EQ53	2013.04.22	22:37:12	47,667	20,188	17	1,4	Tarnazsadány	45
EQ54	2013.04.22	23:01:43	47,617	20,285	10	2,1	Heves	45
EQ55	2013.04.22	23:24:24	47,673	20,304	5	2,2	Heves	44
EQ56	2013.04.23	03:30:41	47,667	20,309	10	1,6	Erdőtelek	42
EQ57	2013.04.23	04:23:49	47,667	20,214	10	1,5	Boconád	37
EQ58	2013.04.23	13:31:04	47,667	20,214	10	1,5	Boconád	37
EQ59	2013.04.24	1:09:25	47,667	20,333	10	1,4	Tenk	40
EQ60	2013.04.24	1:40:07	47,667	20,146	10	1,1	Tanaméra	34
EQ61	2013.04.24	3:39:37	47,636	20,304	3	2,5	Heves EMS=2,5	78
EQ62	2013.04.24	10:05:14	48,846	20,198	2	2,1	Szlovákia	26
EQ63	2013.04.24	15:53:58	47,667	20,318	10	1,9	Erdőtelek	26
EQ64	2013.04.24	21:02:37	47,595	20,25	6	1,3	Heves	40
EQ65	2013.04.24	22:39:36	47,571	20,264	10	1,8	Heves	48
EQ66	2013.04.24	23:02:15	47,558	19,956	0	1,1	Jászdózsa	40
EQ67	2013.04.25	13:42:31	47,667	20,324	10	1,8	Tenk	43
EQ68	2013.04.26	09:14:19	47,667	20,323	10	2,0	Tenk	42
EQ69	2013.04.26	18:57:23	47,61	20,267	6	1,5	Heves	44
EQ70	2013.04.27	04:58:50	47,564	20,221	4	1,3	Jászszentandrás	46
EQ71	2013.04.28	07:01:37	47,721	20,167	10	1,5	Nagyút	30
EQ72	2013.04.29	13:58:04	47,667	20,304	10	2,0	Erdőtelek	42
EQ73	2013.05.02	20:06:53	47,723	20,369	1	1,0	Füzesabony	42
EQ74	2013.05.03	17:52:38	47,67	20,317	10	1,3	Erdőtelek	42
EQ75	2013.05.05	20:58:49	47,716	20,299	4	1,3	Kál	38
EQ76	2013.05.05	23:15:31	47,649	20,251	4	1,0	Boconád	40
EQ77	2013.05.08	20:49:15	47,647	20,347	13	1,7	Jász.sz. EMS=2	45
EQ78	2013.05.09	01:42:19	47,669	20,327	10	1,2	Jászszentandrás	43
EQ79	2013.05.12	07:47:23	47,567	20,222	1	0,7	Jászszentandrás	46
EQ80	2013.05.12	21:10:47	47,639	20,248	6	1,6	Jászszentandrás	41
EQ81	2013.05.17	04:23:21	47,675	20,298	16	1,7	Erdőtelek	41
EQ82	2013.05.18	20:34:20	47,654	20,296	10	2,9	Heves EMS=4,5	42
EQ83	2013.05.18	22:25:17	48,123	20,852	8	1,7	Onga	75
EQ84	2013.05.24	18:54:54	47,663	20,286	0	1,8	Erdőt. EMS=4	41
EQ85	2013.06.03	21:23:06	47,667	20,289	1	2,2	Erdőt. EMS=3,5	41
EQ86	2013.06.05	18:45:46	47,993	19,216	4	4,1	Erdőt. EMS=5,5	51
EQ87	2013.06.05	20:46:37	47,98	19,252	6	1,7	Szente	48
EQ88	2013.06.05	22:00:56	47,992	19,228	2	1,5	Érsekvadkert	51
EQ89	2013.06.11	05:31:25	47,995	19,226	5	2,3	Csesztve EMS=4	51
EQ90	2013.06.14	06:35:53	48,009	19,224	10	1,5	Csesztve	49
EQ91	2013.06.16	15:10:26	48	19,236	5	2,0	Csesztve	50
EQ92	2013.06.19	11:22:40	48,213	19,775	4	1,2	Szlovákia	34
EQ93	2013.06.22	15:32:37	47,846	19,125	10	1,2	Szendehely	58
EQ94	2013.06.23	03:47:21	47,989	19,208	2	2,3	Érsekvadkert	52
EQ95	2013.06.23	15:47:52	47,985	19,242	5	2,1	Csesztve	49
EQ96	2013.06.24	23:06:40	47,669	20,295	0	1,2	Erdőtelek	41
EQ97	2013.07.02	13:49:04	–	–	–	–	Szlovákia	–
EQ98	2013.07.02	17:44:03	47,652	20,274	1,0	1,9	Erdőtelek	41
EQ99	2013.07.02	19:07:04	47,987	19,204	4,0	3,4	Érsekv. EMS=5,5	52
EQ100	2013.07.02	19:47:04	47,990	19,198	5,0	2,3	Érsekv. EMS=3,5	53
EQ101	2013.07.04	02:26:52	–	–	-	–	Heves	–
EQ102	2013.07.04	15:19:52	–	–	-	–	Heves	–
EQ103	2013.07.05	19:34:58	47,633	20,254	1	1,9	Heves	41
EQ104	2013.07.11	06:10:21	47,641	20,254	1	1,9	Heves EMS=3,5	41

F.4. A Vértes területén a vizsgálatban felhasznált földrengések és robbantások paraméterei

A dolgozat során felhasznált robbantások és földrengések adatait az alábbi táblázatokban listáztam. A CSKK és PKSG állomások esetében nem minden regisztrált földrengés és robbantás adatát tudtam felhasználni a hullámforma és a spektrum elemzésekre. A táblázatok két szélén az CSBN és GBN a felhasznált robbantások a CSEQN és GEQN a földrengések sorszámát jelenti.

F.3. táblázat. *A gánti robbantások adatai (2011)*

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSB1	2011.01.12	7:22:43	47,3	18,35	0,6	-
CSB2	2011.01.12	7:23:04	47,42	18,41	0,8	-
CSB3	2011.01.17	8:08:00	47,42	18,42	0,6	-
CSB4	2011.01.17	8:15:23	47,32	18,36	0,8	-
CSB5	2011.01.26	9:16:38	47,36	18,38	0,8	GB1
CSB6	2011.01.26	9:16:51	47,37	18,39	0,8	GB2
CSB7	2011.01.31	8:53:17	47,38	18,41	1,2	GB3
CSB8	2011.01.31	9:00:28	47,36	18,36	1,0	GB4
-	2011.01.31	9:00:39	47,38	18,4	1,3	GB5
-	2011.02.14	8:17:43	47,38	18,42	0,7	GB6
-	2011.02.14	8:18:11	47,36	18,42	1,2	GB7
-	2011.02.23	9:24:02	47,36	18,39	1,2	GB8
-	2011.03.01	9:01:19	47,36	18,39	1,2	GB9
-	2011.03.01	9:05:46	47,37	18,39	1,1	GB10
CSB9	2011.03.08	9:11:07	47,36	18,39	1,2	GB11
CSB10	2011.03.08	9:13:54	47,36	18,37	0,8	GB12
CSB11	2011.03.21	8:34:06	47,43	18,38	1,1	GB13
CSB12	2011.03.21	8:40:53	47,45	18,32	1,0	GB14
CSB13	2011.03.25	10:02:03	47,44	18,37	1,0	GB15
CSB14	2011.03.25	10:02:13	47,45	18,08	1,0	GB16
-	2011.03.26	6:48:58	47,48	18,434	0,4	GB17
CSB15	2011.03.30	8:48:10	47,36	18,44	1,4	GB18
CSB16	2011.04.04	7:59:28	47,35	18,4	1,0	GB19
CSB17	2011.04.04	8:12:36	47,34	18,41	0,8	GB20
-	2011.04.08	8:37:22	-	-	-	GB21
CSB18	2011.04.08	9:20:13	47,33	18,4	1,7	GB22
-	2011.04.08	9:20:29	-	-	-	GB23
CSB19	2011.04.19	8:08:55	-	-	-	GB24
-	2011.04.19	8:09:10	-	-	-	GB25
-	2011.04.19	8:20:03	-	-	-	GB26
CSB20	2011.05.02	8:20:17	-	-	-	GB27
CSB21	2011.05.02	8:33:07	47,33	18,4	1,1	GB28
CSB22	2011.05.09	8:21:00	47,43	18,37	1,1	GB29
	2011.05.09	8:33:59	47,41	18,34	0,2	GB30
CSB23	2011.05.11	6:23:55	47,42	18,66	1,4	GB31
CSB24	2011.05.11	6:24:11	47,3	18,36	1,1	GB32
CSB25	2011.05.13	7:10:04	47,46	18,37	1,2	GB33
CSB26	2011.05.13	7:10:16	47,39	18,48	1,4	GB34
CSB27	2011.05.23	8:23:05	47,45	18,37	1,4	GB35
-	2011.05.24	7:45:00	47,41	18,35	0,3	GB36
CSB28	2011.05.24	7:50:21	-	-	-	GB37
CSB29	2011.06.14	7:56:45	-	-	-	GB38
CSB30	2011.06.14	8:00:51	-	-	-	GB39
CSB31	2011.06.14	8:01:00	-	-	-	GB40
CSB32	2011.06.16	9:01:02	-	-	-	GB41

Table F.3 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
-	2011.06.16	9:01:11	47,45	18,38	1,5	GB42
-	2011.06.16	9:10:12	-	-	-	GB43
CSB33	2011.06.21	8:35:25	-	-	-	GB44
-	2011.06.21	8:39:24	-	-	-	GB45
CSB34	2011.06.21	8:40:11	-	-	-	GB46
CSB35	2011.07.11	8:05:31	47,49	18,34	0,3	GB47
CSB36	2011.07.11	8:05:56	47,3	18,4	1,0	GB48
CSB37	2011.07.11	8:11:07	47,41	18,35	1,0	GB49
CSB38	2011.07.11	8:11:46	47,41	18,33	1,0	GB50
	2011.07.27	6:20:10	-	-	-	GB51
CSB39	2011.07.27	6:20:38	-	-	-	GB52
CSB40	2011.08.03	6:10:34	47,4	18,34	1,4	GB53
CSB41	2011.08.05	6:33:31	47,44	18,38	1,3	GB54
CSB42	2011.08.05	6:33:46	47,47	18,35	1,4	GB55
-	2011.08.22	9:50:34	47,44	18,43	1,6	GB56
-	2011.09.12	7:43:34	47,44	18,35	1,6	GB57
CSB43	2011.09.12	7:43:42	47,47	18,39	1,7	GB58
CSB44	2011.09.14	9:05:18	47,44	18,38	1,0	GB59
CSB45	2011.09.14	9:11:29	-	-	-	GB60
CSB46	2011.09.14	9:13:10	47,34	18,42	1,0	GB61
CSB47	2011.09.19	8:06:18	47,42	18,39	0,5	GB62
CSB48	2011.09.19	8:10:03	47,44	18,38	1	GB63
CSB49	2011.09.22	6:39:18	47,42	18,35	1,4	GB64
CSB50	2011.09.30	9:13:41	47,43	18,33	1,1	GB65
CSB51	2011.09.30	9:18:00	47,44	18,37	1,3	GB66
CSB52	2011.10.06	6:28:23	-	-	-	-
CSB53	2011.10.13	7:17:40	47,43	18,44	1,2	GB67
CSB54	2011.10.13	7:22:27	47,37	18,39	1,2	GB68
-	2011.10.13	8:06:19	-	-	-	GB69
-	2011.10.18	10:53:49	47,41	18,37	1,3	GB70
CSB55	2011.10.27	10:20:12	47,45	18,4	1,4	GB71
CSB56	2011.11.02	9:16:34	-	-	-	GB72
CSB57	2011.11.02	9:16:59	-	-	-	GB73
CSB58	2011.11.14	9:35:35	47,39	18,35	0,9	GB74
-	2011.11.14	9:36:22	47,41	18,44	1,1	GB75
CSB59	2011.11.16	9:05:09	47,33	18,41	1,0	GB76
-	2011.11.16	9:12:03	47,44	18,36	1,2	GB77
CSB60	2011.11.22	7:31:10	47,42	18,35	1,6	-
CSB61	2011.11.22	7:31:24	47,44	18,41	2,0	-
CSB62	2011.11.22	7:31:59	47,43	18,35	1,5	GB78
CSB63	2011.11.28	9:43:40	-	-	-	GB79
-	2011.11.28	9:43:50	-	-	-	GB80
CSB64	2011.12.09	8:55:42	47,39	18,41	1,4	GB81

F.4. táblázat. *A gánti robbantások adatai (2012)*

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSB65	2012.01.11	7:37:00	-	-	-	GB82
CSB66	2012.01.26	7:57:00	-	-	-	GB83
CSB67	2012.02.23	8:50:07	47,36	18,37	0,9	GB84
CSB68	2012.02.23	8:50:07	47,45	18,38	1,0	GB85
CSB69	2012.03.01	8:21:08	47,32	18,43	1,0	GB86
CSB70	2012.03.09	8:43:00	-	-	-	GB87
CSB71	2012.03.19	7:18:09	47,41	18,36	1,0	GB88
CSB72	2012.03.19	9:34:10	47,42	18,35	1,3	GB89
CSB73	2012.03.19	9:34:31	47,45	18,39	1,5	GB90
CSB74	2012.03.28	6:52:31	-	-	-	GB91

Table F.4 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSB75	2012.03.28	6:52:58	47,44	18,4	1,3	GB92
-	2012.04.02	7:50:58	47,36	18,41	0,9	GB93
CSB76	2012.04.13	8:50:50	47,44	18,39	0,9	GB94
CSB77	2012.04.13	8:29:28	-	-	-	GB95
CSB78	2012.04.18	8:50:50	47,44	18,39	1,4	GB96
CSB79	2012.04.18	8:51:01	47,39	18,35	1,1	GB97
CSB80	2012.04.18	8:56:56	47,4	18,35	0,7	GB98
CSB81	2012.04.27	6:36:37	47,44	18,37	0,3	GB99
CSB82	2012.04.27	6:36:54	47,44	18,38	0,4	GB100
CSB83	2012.05.07	7:55:37	47,45	18,28	1,2	GB101
-	2012.05.07	7:55:48	47,41	18,37	1,2	GB102
CSB84	2012.05.07	8:01:25	47,46	18,32	0,8	GB103
CSB85	2012.05.07	8:01:50	-	-	-	GB104
CSB86	2012.05.14	8:03:54	47,43	18,4	1,1	GB105
CSB87	2012.05.14	8:04:10	47,46	18,4	1,3	GB106
CSB88	2012.05.15	7:08:32	47,44	18,29	1,0	GB107
CSB89	2012.05.15	7:09:08	47,42	18,34	1,0	GB108
CSB90	2012.05.24	8:32:46	47,46	18,38	1,2	GB109
CSB91	2012.05.24	8:33:03	47,46	18,4	1,5	GB110
CSB92	2012.05.31	9:21:18	47,42	18,37	0,8	GB111
CSB93	2012.05.31	9:28:12	47,45	18,37	1,1	GB112
CSB94	2012.06.07	7:54:48	47,27	18,45	1,3	GB113
CSB95	2012.06.14	9:02:48	47,43	18,35	1,0	GB114
CSB96	2012.06.15	7:51:38	47,52	18,4	1,0	GB115
CSB97	2012.06.15	8:00:08	47,46	18,4	0,9	GB116
CSB98	2012.06.15	8:00:45	47,46	18,44	1,0	GB117
CSB99	2012.06.29	8:13:10	47,36	18,38	0,8	GB118
CSB100	2012.06.29	8:13:47	47,4	18,36	1,1	-
CSB101	2012.06.29	8:14:12	47,49	18,35	0,8	GB119
CSB102	2012.06.29	8:21:10	47,38	18,37	0,8	GB120
CSB103	2012.07.09	8:13:18	47,43	18,38	1,5	GB121
CSB104	2012.07.13	7:59:10	47,36	18,42	1,3	GB122
CSB105	2012.07.20	7:05:46	47,37	18,38	1,3	GB123
CSB106	2012.07.20	7:06:01	47,43	18,36	1,2	GB124
CSB107	2012.08.10	7:30:17	47,44	18,38	1,4	GB125
CSB108	2012.08.10	7:30:30	47,44	18,4	1,4	GB126

F.5. táblázat. *A Vértes hegység földrengéseinek adatai (2011)*

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSEQ1	2011.01.04	1:25:49	47,35	18,26	0,3	-
CSEQ2	2011.01.23	8:51:24	47,4	18,18	0,4	GEQ1
CSEQ3	2011.01.24	1:56:59	47,3	18,28	-0,2	GEQ2
CSEQ4	2011.01.26	20:23:22	47,63	17,96	2,1	GEQ3
CSEQ5	2011.01.28	13:10:05	47,62	18,47	1,1	-
CSEQ6	2011.01.29	17:41:38	47,45	18,36	4,5	GEQ4
CSEQ7	2011.01.29	17:44:15	47,35	18,44	1,1	GEQ5
CSEQ8	2011.01.29	17:44:43	47,45	18,36	1,5	GEQ6
CSEQ9	2011.01.29	17:45:03	47,45	18,36	0,9	GEQ7
CSEQ10	2011.01.29	17:46:49	47,39	18,39	0,7	GEQ8
CSEQ11	2011.01.29	17:50:42	47,46	18,36	0,5	GEQ9
CSEQ12	2011.01.29	17:53:25	47,41	18,36	0,3	GEQ10
-	2011.01.29	17:55:11	47,45	18,37	-0,3	GEQ11
CSEQ13	2011.01.29	17:56:36	47,44	18,35	0,3	GEQ12
-	2011.01.29	17:57:32	47,31	18,45	0,0	GEQ13
-	2011.01.29	17:57:43	47,44	18,36	0,1	GEQ14
CSEQ14	2011.01.29	18:05:31	47,47	18,38	1,5	GEQ15

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSEQ15	2011.01.29	18:15:31	47,45	18,38	0,3	GEQ16
CSEQ16	2011.01.29	18:15:59	47,43	18,36	0,4	GEQ17
CSEQ17	2011.01.29	18:18:35	47,43	18,36	1,7	GEQ18
-	2011.01.29	18:20:08	47,44	18,37	-0,1	GEQ19
-	2011.01.29	18:32:08	47,44	18,37	0,1	GEQ20
CSEQ18	2011.01.29	18:40:49	47,45	18,36	0,2	GEQ21
-	2011.01.29	18:58:58	47,45	18,36	0,0	GEQ22
-	2011.01.29	19:02:17	47,43	18,36	0,0	GEQ23
-	2011.01.29	19:03:42	-	-	-	GEQ24
CSEQ19	2011.01.29	19:08:49	47,45	18,37	0,5	GEQ25
CSEQ20	2011.01.29	19:10:36	47,48	18,35	0,3	GEQ26
-	2011.01.29	19:15:04	47,44	18,36	-0,1	GEQ27
CSEQ21	2011.01.29	19:19:41	47,45	18,36	0,1	-
-	2011.01.29	19:33:03	47,28	18,49	0,2	GEQ28
-	2011.01.29	19:36:41	47,45	18,36	0,1	GEQ29
CSEQ22	2011.01.29	19:40:02	47,38	18,24	1,0	GEQ30
CSEQ23	2011.01.29	19:40:28	47,38	18,24	0,2	GEQ31
-	2011.01.29	19:40:41	47,44	18,36	0,1	GEQ32
-	2011.01.29	19:42:03	47,41	18,39	0,1	GEQ33
-	2011.01.29	19:52:13	47,3	18,47	-0,1	GEQ34
CSEQ24	2011.01.29	19:57:54	47,44	18,35	0,5	GEQ35
-	2011.01.29	20:20:40	47,44	18,36	0,0	GEQ36
CSEQ25	2011.01.29	20:32:22	47,31	18,46	-0,1	GEQ37
CSEQ26	2011.01.29	20:42:21	47,44	18,36	0,5	GEQ38
CSEQ27	2011.01.29	20:43:01	47,41	18,39	0,0	GEQ39
-	2011.01.29	20:48:31	47,45	18,36	0,0	GEQ40
CSEQ28	2011.01.29	20:51:07	47,44	18,36	1,3	GEQ41
CSEQ29	2011.01.29	20:52:47	47,45	18,36	0,9	GEQ42
CSEQ30	2011.01.29	21:06:27	47,45	18,36	0,7	GEQ43
-	2011.01.29	21:15:37	47,39	18,4	0,3	GEQ44
CSEQ31	2011.01.29	23:02:05	47,45	18,36	0,3	-
-	2011.01.29	21:39:32	47,31	18,42	-0,3	GEQ45
-	2011.01.29	21:46:56	47,45	18,36	0,1	GEQ46
-	2011.01.29	22:31:07	47,31	18,48	-0,1	GEQ47
-	2011.01.29	23:02:05	47,44	18,36	0,3	GEQ48
-	2011.01.29	23:04:10	47,31	18,46	-0,1	GEQ49
-	2011.01.29	23:12:51	47,43	18,36	0,0	GEQ50
CSEQ32	2011.01.29	23:36:49	47,45	18,36	0,4	GEQ51
CSEQ33	2011.01.29	23:50:30	47,45	18,36	0,4	GEQ52
-	2011.01.30	0:03:01	47,45	18,36	-0,2	GEQ53
CSEQ34	2011.01.30	0:19:12	47,44	18,36	0,4	GEQ54
-	2011.01.30	0:28:23	47,41	18,38	-0,5	GEQ55
CSEQ35	2011.01.30	0:31:09	47,41	18,35	1,1	GEQ56
CSEQ36	2011.01.30	0:33:33	47,43	18,38	0,1	GEQ57
CSEQ37	2011.01.30	0:45:10	47,44	18,36	0,1	GEQ58
-	2011.01.30	0:57:34	47,45	18,37	0,2	GEQ59
CSEQ38	2011.01.30	1:27:50	47,44	18,36	0,4	GEQ60
-	2011.01.30	1:32:50	47,45	18,36	0,0	GEQ61
CSEQ39	2011.01.30	1:35:13	47,45	18,35	0,6	GEQ62
-	2011.01.30	1:43:32	47,45	18,36	0,1	GEQ63
-	2011.01.30	2:07:39	47,45	18,37	-0,4	GEQ64
CSEQ40	2011.01.30	2:32:39	47,45	18,36	0,2	GEQ65
CSEQ41	2011.01.30	2:33:35	47,48	18,34	0,1	GEQ66
-	2011.01.30	2:39:27	47,44	18,37	0,0	GEQ67
-	2011.01.30	3:30:05	47,43	18,39	-0,1	GEQ68
-	2011.01.30	3:37:01	47,44	18,35	0,2	GEQ69
CSEQ42	2011.01.30	4:41:19	47,44	18,35	0,7	GEQ70
-	2011.01.30	5:12:09	47,45	18,37	0,7	GEQ71

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
-	2011.01.30	6:29:15	47,45	18,37	0,1	GEQ72
CSEQ43	2011.01.30	6:29:38	47,45	18,38	0,2	GEQ73
-	2011.01.30	6:32:09	47,45	18,37	0,2	GEQ74
-	2011.01.30	7:08:46	47,45	18,36	0,1	GEQ75
-	2011.01.30	8:36:24	47,45	18,37	0,4	GEQ76
-	2011.01.30	8:56:12	47,45	18,37	0,3	GEQ77
-	2011.01.30	9:27:58	47,43	18,35	0,0	GEQ78
CSEQ44	2011.01.30	10:34:25	47,45	18,35	1	GEQ79
-	2011.01.30	10:53:30	47,31	18,47	0,1	GEQ80
-	2011.01.30	12:08:10	47,43	18,37	0,0	GEQ81
CSEQ45	2011.01.30	13:22:07	47,45	18,36	0,4	GEQ82
CSEQ46	2011.01.30	13:34:29	47,46	18,35	2,0	GEQ83
-	2011.01.30	13:42:20	47,45	18,35	0,1	GEQ84
CSEQ47	2011.01.30	14:47:24	47,44	18,36	0,5	GEQ85
CSEQ48	2011.01.30	16:09:54	47,41	18,19	0,2	GEQ86
-	2011.01.30	16:19:18	47,42	18,39	0,1	GEQ87
-	2011.01.30	19:30:04	47,43	18,39	-0,3	GEQ88
-	2011.01.30	20:49:56	47,43	18,37	-0,3	GEQ89
CSEQ49	2011.01.30	20:58:45	47,48	18,34	2,7	GEQ90
-	2011.01.30	21:09:04	47,42	18,36	0,0	GEQ91
CSEQ50	2011.01.30	21:11:39	47,44	18,36	0,7	GEQ92
-	2011.01.30	21:14:54	47,32	18,47	0,0	GEQ93
CSEQ51	2011.01.30	21:21:33	47,45	18,37	0,3	GEQ94
-	2011.01.30	21:22:25	47,47	18,37	-0,2	GEQ95
-	2011.01.30	21:26:13	47,32	18,46	0,1	GEQ96
-	2011.01.30	21:43:28	47,46	18,37	-0,1	GEQ97
-	2011.01.30	21:51:19	47,37	18,4	0,1	GEQ98
CSEQ52	2011.01.30	21:57:39	47,44	18,37	0,7	GEQ99
CSEQ53	2011.01.30	22:12:27	47,44	18,37	0,2	GEQ100
-	2011.01.30	22:16:31	47,47	18,37	0,3	GEQ101
-	2011.01.30	22:25:34	47,42	18,39	-0,4	GEQ102
-	2011.01.30	23:51:54	47,42	18,38	-0,1	GEQ103
CSEQ54	2011.01.31	0:23:02	47,45	18,38	-0,1	GEQ104
CSEQ55	2011.01.31	0:25:28	47,49	18,34	2,4	GEQ105
-	2011.01.31	0:28:25	47,45	18,37	-0,5	GEQ106
CSEQ56	2011.01.31	0:31:28	47,42	18,38	0,1	GEQ107
-	2011.01.31	1:10:38	47,43	18,37	0,6	GEQ108
CSEQ57	2011.01.31	1:37:57	47,43	18,37	0,6	GEQ109
CSEQ58	2011.01.31	2:15:51	47,34	18,45	0,0	GEQ110
CSEQ59	2011.01.31	3:16:41	47,44	18,38	0,1	GEQ111
-	2011.01.31	4:20:18	47,43	18,38	0,0	GEQ112
CSEQ60	2011.01.31	6:58:58	47,33	18,47	0,4	GEQ113
CSEQ61	2011.01.31	7:08:16	47,35	18,42	0,1	GEQ114
-	2011.01.31	7:12:40	47,32	18,46	0,1	GEQ115
CSEQ62	2011.01.31	10:05:39	47,45	18,35	1,2	GEQ116
-	2011.01.31	13:24:57	47,44	18,37	0,2	GEQ117
CSEQ63	2011.01.31	13:25:49	47,45	18,35	0,9	GEQ118
CSEQ64	2011.01.31	22:55:45	47,45	18,35	0,0	GEQ119
-	2011.01.31	23:23:34	47,45	18,36	0,0	GEQ120
-	2011.02.01	0:15:44	47,41	18,34	0,3	GEQ121
CSEQ65	2011.02.01	0:45:39	47,45	18,35	0,3	GEQ122
-	2011.02.01	1:26:59	47,48	18,33	-0,2	GEQ123
-	2011.02.01	1:54:12	47,47	18,33	-0,7	GEQ124
CSEQ66	2011.02.01	2:02:44	47,45	18,35	0,3	GEQ125
-	2011.02.01	2:09:42	47,5	18,34	-0,1	GEQ126
-	2011.02.01	2:37:02	47,48	18,33	-0,1	GEQ127
-	2011.02.01	3:33:20	47,43	18,36	0,0	GEQ128
-	2011.02.01	3:40:53	47,45	18,37	-0,2	GEQ129

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
-	2011.02.01	4:16:12	47,45	18,37	0,1	GEQ130
CSEQ67	2011.02.01	10:54:09	47,41	18,23	0,4	GEQ131
-	2011.02.01	17:44:39	47,47	18,36	0,2	GEQ132
CSEQ68	2011.02.02	0:27:52	47,47	18,37	0,2	GEQ133
CSEQ69	2011.02.02	1:46:10	47,47	18,36	0,6	GEQ134
CSEQ70	2011.02.02	2:04:56	47,47	18,34	0,6	GEQ135
CSEQ71	2011.02.02	3:30:04	47,47	18,37	1,1	GEQ136
-	2011.02.02	3:41:06	47,46	18,37	0,3	GEQ137
-	2011.02.02	3:42:24	47,46	18,37	0,2	GEQ138
CSEQ72	2011.02.02	3:54:10	47,47	18,36	0,5	GEQ139
-	2011.02.02	6:16:46	47,47	18,36	0,4	GEQ140
-	2011.02.02	8:21:08	47,47	18,36	0,4	GEQ141
CSEQ73	2011.02.02	8:52:12	47,47	18,34	0,2	-
CSEQ74	2011.02.02	11:29:31	47,47	18,36	1,4	GEQ142
-	2011.02.02	16:25:19	47,47	18,36	0,4	GEQ143
-	2011.02.02	1:46:00	47,47	18,36	-0,2	GEQ144
-	2011.02.02	2:45:18	47,48	18,36	-0,1	GEQ145
CSEQ75	2011.02.03	3:59:58	47,47	18,37	0,1	GEQ146
-	2011.02.02	4:48:54	47,47	18,35	0	GEQ147
CSEQ76	2011.02.03	8:37:03	47,38	18,26	0,0	GEQ148
CSEQ77	2011.02.03	8:47:42	47,46	18,35	0,5	GEQ149
-	2011.02.04	4:21:56	47,46	18,35	0,1	GEQ150
-	2011.02.04	5:37:58	47,46	18,37	0,1	GEQ151
CSEQ78	2011.02.04	13:11:10	47,38	18,24	0,9	GEQ152
CSEQ79	2011.02.04	14:23:20	47,46	18,36	1,0	GEQ153
-	2011.02.04	14:58:25	47,47	18,37	0,1	GEQ154
-	2011.02.05	0:16:56	47,46	18,37	-0,2	GEQ155
CSEQ80	2011.02.05	10:39:36	47,39	18,2	0,5	-
CSEQ81	2011.02.05	11:08:36	47,48	18,32	1,4	GEQ156
-	2011.02.06	3:27:00	47,46	18,32	0,0	GEQ157
-	2011.02.06	10:34:16	47,46	18,38	0,0	GEQ158
CSEQ82	2011.02.06	12:45:24	47,46	18,36	1,1	GEQ159
-	2011.02.06	21:12:19	47,47	18,37	0,0	GEQ160
-	2011.02.06	21:59:16	47,46	18,37	-0,1	GEQ161
-	2011.02.08	4:26:48	47,46	18,37	0,6	GEQ162
-	2011.02.06	1:28:54	47,46	18,37	1,1	GEQ163
-	2011.02.09	5:44:50	47,37	18,37	0,4	GEQ164
-	2011.02.09	21:02:26	47,46	18,37	0,5	GEQ165
-	2011.02.10	0:48:23	47,47	18,34	0,0	GEQ166
-	2011.02.10	5:02:26	47,47	18,35	-0,4	GEQ167
-	2011.02.10	12:41:07	47,47	18,3	0,0	GEQ168
-	2011.02.10	20:18:34	47,46	18,37	0,3	GEQ169
-	2011.02.11	5:03:12	47,47	18,37	-0,2	GEQ170
-	2011.02.11	6:07:24	47,47	18,41	-0,1	GEQ171
-	2011.02.12	2:29:32	47,47	18,37	0,3	GEQ172
-	2011.02.12	23:24:48	47,47	18,37	0,1	GEQ173
-	2011.02.12	23:39:02	47,46	18,38	0,1	GEQ174
-	2011.02.15	1:56:29	47,47	18,37	0,4	GEQ175
-	2011.02.15	2:57:35	47,46	18,37	-0,1	GEQ176
-	2011.02.15	9:02:38	47,47	18,37	0,8	GEQ177
-	2011.02.16	5:15:09	47,47	18,37	0,2	GEQ178
-	2011.02.16	20:29:10	47,46	18,35	1,6	GEQ179
-	2011.02.16	21:48:41	47,47	18,37	1,8	GEQ180
-	2011.02.16	22:25:03	47,46	18,37	1,6	GEQ181
-	2011.02.16	22:44:57	47,47	18,4	-0,4	GEQ182
-	2011.02.18	2:00:06	47,47	18,36	0,4	GEQ183
-	2011.02.18	14:42:16	47,47	18,36	0,3	GEQ184
-	2011.02.18	21:43:02	47,46	18,36	0,8	GEQ185

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
-	2011.02.18	22:55:49	47,46	18,37	0,4	GEQ186
-	2011.02.18	22:58:05	47,46	18,37	1,0	GEQ187
-	2011.02.19	8:51:12	47,46	18,35	0,4	GEQ188
-	2011.02.21	1:20:21	47,47	18,37	0,7	GEQ189
-	2011.02.21	4:52:43	47,37	18,27	0,0	GEQ190
-	2011.02.22	7:22:38	47,46	18,27	-0,4	GEQ191
-	2011.02.23	4:16:13	47,47	18,37	0,6	GEQ192
-	2011.02.23	8:40:02	47,47	18,36	0,4	GEQ193
-	2011.02.26	4:25:31	47,47	18,34	-0,4	GEQ194
-	2011.02.27	7:34:18	47,47	18,41	-0,5	GEQ195
-	2011.02.27	10:00:39	47,35	18,26	-0,1	GEQ196
-	2011.02.28	4:21:07	47,46	18,35	0,2	GEQ197
-	2011.02.28	4:49:47	47,47	18,33	-0,4	GEQ198
-	2011.02.28	6:25:02	47,46	18,37	0,5	GEQ199
-	2011.02.28	7:02:44	47,46	18,37	0,8	GEQ200
-	2011.03.01	14:04:46	47,47	18,36	0,2	GEQ201
-	2011.03.02	15:35:01	47,36	18,28	0,6	GEQ202
-	2011.03.04	19:58:12	47,47	18,35	0,2	GEQ203
-	2011.03.04	22:40:08	47,47	18,35	-0,1	GEQ204
-	2011.03.05	7:51:28	47,47	18,36	0,0	GEQ205
-	2011.03.05	10:33:58	47,47	18,35	-0,2	GEQ206
CSEQ83	2011.03.05	16:28:07	47,41	18,2	0,3	GEQ207
CSEQ84	2011.03.05	20:28:05	47,34	18,22	0,4	GEQ208
-	2011.03.05	22:31:37	47,38	18,22	-0,1	GEQ209
-	2011.03.07	19:31:44	47,37	18,37	0,0	GEQ210
-	2011.03.07	22:26:25	47,47	18,36	-0,4	GEQ211
CSEQ85	2011.03.08	13:04:32	47,45	18,35	0,5	GEQ212
CSEQ86	2011.03.10	1:06:56	47,45	18,37	0,7	GEQ213
-	2011.03.10	21:40:32	47,46	18,35	0,1	GEQ214
CSEQ87	2011.03.11	1:45:24	47,45	18,3	2,3	GEQ215
CSEQ88	2011.03.11	1:49:39	47,45	18,35	0,3	GEQ216
-	2011.03.11	3:26:28	47,47	18,36	-0,6	GEQ217
-	2011.03.11	4:16:58	47,45	18,36	0,2	GEQ218
-	2011.03.11	12:10:19	47,57	18,51	0,5	GEQ219
CSEQ89	2011.03.11	15:34:53	47,5	18,36	0,9	GEQ220
-	2011.03.11	18:52:34	47,45	18,37	0,1	GEQ221
CSEQ90	2011.03.12	2:42:01	47,44	18,37	1,0	GEQ222
CSEQ91	2011.03.12	7:41:01	47,35	18,29	0,3	-
-	2011.03.12	2:45:49	47,47	18,37	0,1	GEQ223
CSEQ92	2011.03.12	15:04:33	47,42	18,19	0,5	GEQ224
-	2011.03.12	18:42:32	47,47	18,36	0,0	GEQ225
CSEQ93	2011.03.13	4:20:45	47,41	18,2	0,0	GEQ226
CSEQ94	2011.03.13	22:56:49	47,67	18,12	1,0	GEQ227
-	2011.03.16	0:37:55	47,47	18,37	-0,4	GEQ228
-	2011.03.16	0:49:25	47,46	18,37	-0,1	GEQ229
CSEQ95	2011.03.17	5:27:18	47,47	18,35	0,1	GEQ230
CSEQ96	2011.03.17	5:57:18	47,4	18,23	1,1	GEQ231
CSEQ97	2011.03.17	13:05:22	47,39	18,25	0,8	GEQ232
CSEQ98	2011.03.18	18:56:27	47,47	18,36	0,9	GEQ233
CSEQ99	2011.03.20	5:27:04	47,38	18,25	0,4	-
-	2011.03.20	22:39:07	47,47	18,35	0,0	GEQ234
-	2011.03.24	1:16:47	47,5	18,35	0,0	GEQ235
-	2011.03.25	11:20:10	47,45	18,08	0,6	GEQ236
CSEQ100	2011.03.26	6:58:33	47,48	18,34	0,6	GEQ237
CSEQ101	2011.03.26	6:59:03	47,46	18,36	1,1	GEQ238
-	2011.03.30	0:11:20	47,45	18,38	-0,1	GEQ239
-	2011.03.30	0:25:00	47,49	18,35	-0,5	GEQ240
-	2011.03.31	1:37:44	47,47	18,36	-0,3	GEQ241

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
-	2011.03.31	21:48:26	47,49	18,34	-0,1	GEQ242
-	2011.03.31	23:12:26	47,48	18,34	-0,3	GEQ243
-	2011.04.01	9:51:39	47,4	18,06	0,5	GEQ244
-	2011.04.01	10:23:31	47,47	18,36	0,6	GEQ245
CSEQ102	2011.04.01	20:40:25	47,46	18,21	0,1	GEQ246
-	2011.04.02	23:29:40	47,47	18,37	-0,2	GEQ247
-	2011.04.03	2:53:02	47,47	18,37	-0,5	GEQ248
-	2011.04.03	3:41:33	47,47	18,37	-0,4	GEQ249
CSEQ103	2011.04.03	16:32:25	47,47	18,36	0,5	GEQ250
CSEQ104	2011.04.03	23:14:21	47,46	18,36	0,4	GEQ251
-	2011.04.04	0:32:09	47,47	18,37	-0,3	GEQ252
-	2011.04.04	3:06:41	47,47	18,35	0,1	GEQ253
CSEQ105	2011.04.05	6:21:07	47,23	18,34	0,4	-
CSEQ106	2011.04.05	23:41:32	47,47	18,39	1,3	GEQ254
-	2011.04.07	0:09:34	47,38	18,21	-0,2	GEQ255
-	2011.04.07	0:30:02	47,33	18,15	0,2	GEQ256
CSEQ107	2011.04.09	21:18:26	47,46	18,19	0,2	GEQ257
-	2011.04.10	0:31:07	47,47	18,35	-0,4	GEQ258
CSEQ108	2011.04.11	4:29:30	47,34	18,26	0,6	GEQ259
-	2011.04.11	17:03:53	47,46	18,35	0,1	GEQ260
CSEQ109	2011.04.16	11:58:53	47,36	18,08	0,8	GEQ261
CSEQ110	2011.04.23	4:36:22	47,48	18,35	2,2	GEQ262
CSEQ111	2011.04.24	17:03:23	47,48	18,32	1,7	GEQ263
CSEQ112	2011.04.25	5:55:00	47,46	18,35	0,6	GEQ264
CSEQ113	2011.05.06	4:38:06	47,48	18,35	0,7	GEQ265
CSEQ114	2011.05.10	15:26:45	47,44	18,35	0,6	GEQ266
-	2011.05.10	15:29:16	-	-	-	GEQ267
CSEQ115	2011.05.13	23:39:04	47,32	18,13	0,2	-
CSEQ116	2011.05.14	16:58:20	47,38	18,19	0,1	-
CSEQ117	2011.05.15	1:08:12	47,36	18,43	0,3	GEQ268
CSEQ118	2011.05.20	14:35:03	47,5	18,33	1,8	GEQ269
CSEQ119	2011.05.21	13:34:53	47,45	18,37	0,8	GEQ270
CSEQ120	2011.05.22	19:46:05	47,45	18,35	0,2	GEQ271
CSEQ121	2011.05.23	0:11:24	47,45	18,35	0,2	GEQ272
CSEQ122	2011.05.29	11:22:37	47,41	18,23	1,0	GEQ273
CSEQ123	2011.05.29	11:43:58	47,37	18,26	0,2	-
-	2011.05.31	23:36:12	47,47	18,36	-0,1	GEQ274
-	2011.06.02	21:52:06	47,47	18,37	1,2	GEQ275
CSEQ124	2011.06.14	15:53:58	47,31	18,24	0,7	GEQ276
CSEQ125	2011.06.17	23:08:03	47,31	18,24	0,6	GEQ277
-	2011.06.25	20:08:28	47,36	18,41	0,3	GEQ278
-	2011.06.27	11:32:45	47,3	18,31	1,0	GEQ279
CSEQ126	2011.06.30	16:38:39	47,37	18,26	0,3	GEQ280
CSEQ127	2011.07.08	21:40:25	47,26	17,9	1,5	-
CSEQ128	2011.07.09	9:10:37	47,38	18,26	0,3	-
-	2011.07.10	21:53:46	47,44	18,37	-0,3	GEQ281
CSEQ129	2011.07.11	6:05:59	47,47	18,36	3,5	GEQ282
CSEQ130	2011.07.11	9:59:14	47,5	18,34	0,5	GEQ283
CSEQ131	2011.07.11	16:40:01	47,43	18,35	0,5	GEQ284
CSEQCSEQ132	2011.07.11	17:48:39	47,49	18,35	0,5	GEQ285
-	2011.07.11	22:12:12	47,32	18,46	0,9	GEQ286
-	2011.07.21	3:41:12	47,35	18,29	0,1	GEQ287
CSEQ133	2011.07.22	1:58:52	47,43	18,24	0,4	GEQ288
CSEQ134	2011.07.17	11:23:26	47,28	18,41	2,3	-
CSEQ135	2011.07.27	12:49:09	47,45	18,37	2,1	GEQ289
CSEQ136	2011.07.27	18:18:34	47,45	18,34	0,5	GEQ290
CSEQ137	2011.07.29	10:48:15	47,48	18,33	0,4	GEQ291
CSEQ138	2011.07.29	13:37:28	47,48	18,33	1,7	GEQ92

Table F.5 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSEQ139	2011.07.30	17:21:07	47,36	18,26	0,5	GEQ293
-	2011.07.31	22:43:25	47,49	18,36	-0,4	GEQ294
CSEQ140	2011.08.03	7:56:55	47,42	18,2	0,2	GEQ295
-	2011.08.04	10:20:40	47,34	18,41	0,1	GEQ296
-	2011.08.05	17:43:58	47,43	18,19	0,5	GEQ297
CSEQ141	2011.08.06	2:10:34	47,42	18,25	-0,2	-
CSEQ142	2011.08.11	10:18:07	47,48	18,34	0,6	GEQ298
CSEQ143	2011.08.11	14:18:07	47,4	18,26	0,4	GEQ299
CSEQ144	2011.08.15	5:58:00	47,39	18	0,7	-
CSEQ145	2011.08.21	14:12:36	47,18	18,41	1,0	GEQ300
CSEQ146	2011.08.29	0:38:11	47,35	18,2	0,4	-
-	2011.09.15	3:56:13	47,49	18,35	0,3	GEQ301
-	2011.10.06	10:39:10	47,2	18,28	0,3	GEQ302
-	2011.10.09	23:53:41	47,49	18,33	-0,2	GEQ303
-	2011.10.10	20:08:20	47,4	18,19	0,2	GEQ304
CSEQ147	2011.10.11	2:08:29	47,39	18	0,1	GEQ305
-	2011.10.14	0:51:16	47,38	18,35	0,2	GEQ306
CSEQ148	2011.10.14	22:43:24	47,52	18,38	0,2	GEQ307
CSEQ149	2011.10.15	16:01:53	47,47	18,2	0,5	GEQ308
CSEQ150	2011.10.16	20:21:21	47,31	18,25	0,0	GEQ309
CSEQ151	2011.11.06	18:38:17	47,46	18,36	1,0	GEQ310
CSEQ152	2011.11.13	2:14:28	47,32	18,13	1,1	GEQ311
CSEQ153	2011.11.13	17:13:27	–	–	–	–
CSEQ154	2011.11.14	5:38:59	47,24	18,09	1,2	-
CSEQ155	2011.11.22	0:54:13	47,47	18,37	0,5	GEQ312
-	2011.11.23	3:18:47	47,42	18,35	1,8	GEQ313
CSEQ156	2011.12.07	9:14:14	47,4	18,24	0,1	-

F.6. táblázat. *A Vértes hegység földrengéseinek adatai (2012)*

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSEQ157	2012.01.25	4:33:32	47,32	18,47	0,3	GEQ314
CSEQ158	2012.02.14	17:56:17	47,39	18,22	0,0	-
CSEQ159	2012.02.14	17:58:29	47,39	18,28	0,2	GEQ315
CSEQ160	2012.02.15	3:06:42	47,41	18,22	0,4	GEQ316
CSEQ161	2012.02.15	3:07:09	47,41	18,23	-0,1	GEQ317
CSEQ162	2012.02.15	3:12:27	47,32	18,28	0,6	GEQ318
CSEQ163	2012.02.15	5:01:43	47,38	18,24	0,1	GEQ319
CSEQ164	2012.02.21	3:24:31	47,37	18,24	0,0	GEQ320
CSEQ165	2012.03.01	12:12:10	47,28	18,22	0,6	-
CSEQ166	2012.03.03	23:48:36	47,28	18,22	0,2	GEQ321
CSEQ167	2012.03.13	3:26:19	47,44	18,38	1,5	GEQ322
-	2012.03.18	23:46:09	47,4	18,5	0,6	GEQ323
CSEQ168	2012.03.19	12:18:31	47,4	18,21	0,1	-
CSEQ169	2012.04.06	9:05:17	47,38	18,38	2,7	-
CSEQ170	2012.04.06	9:38:44	47,37	18,38	1,8	GEQ324
CSEQ171	2012.04.06	10:49:31	47,39	18,44	1,1	GEQ325
CSEQ172	2012.04.06	11:07:53	47,39	18,41	1,4	GEQ326
CSEQ173	2012.04.06	12:50:53	47,39	18,44	1,0	GEQ327
CSEQ174	2012.04.15	9:09:22	47,39	18,41	1,2	GEQ328
CSEQ175	2012.04.26	21:37:51	47,39	18,41	0,9	GEQ329
CSEQ176	2012.05.14	20:44:49	47,25	18,4	0,3	GEQ330
CSEQ177	2012.05.20	23:22:03	47,33	18,18	0,7	GEQ331
CSEQ178	2012.05.20	23:24:20	47,4	18,07	1,8	GEQ332
-	2012.05.25	21:54:12	47,49	18,34	0,1	GEQ333
CSEQ179	2012.05.25	23:55:49	47,44	18,22	1,3	GEQ334
-	2012.05.27	20:20:56	47,31	18,45	0,2	GEQ335

Table F.6 Folytatás az előző oldalról

N CSKK	Dátum	Idő (UT)	φ	λ	M_L	N PKSG
CSEQ180	2012.05.31	21:21:47	47,5	18,42	0,6	GEQ336
CSEQ181	2012.06.02	20:23:01	47,31	18,36	0,1	GEQ337
CSEQ182	2012.06.18	21:10:15	47,35	18,26	0,2	GEQ338
-	2012.08.14	18:08:11	47,38	18,53	0,7	GEQ339
CSEQ183	2012.09.09	1:42:23	47,33	18,41	0,3	-
-	2012.09.24	20:02:15	47,24	18,54	0,6	GEQ340
-	2012.09.27	17:05:22	47,47	18,65	2,1	GEQ341
-	2012.10.02	1:35:43	47,4	18,22	1,3	GEQ342
-	2012.12.02	9:01:47	47,07	18,14	1,6	GEQ343
-	2012.12.05	15:33:44	47,36	18,29	1,6	GEQ344
-	2012.12.16	20:08:56	47,28	18,03	1,4	GEQ345

Ábrák jegyzéke

1.1. A földrengés két kőzetblokk vetősík mentén történő gyors elmozdulása során jön létre, míg a robbantás egy minden irányban kompressziós jellegű, izotróp forrás. A maximális tenziós és kompressziós főfeszültségek iránya: σ_1 és σ_3 . 9
1.2. Vetőelmozdulás által okozott P hullám sugárzási kép, azaz a forrásból kiinduló hullámok amplitúdójának és polaritásának irányfüggése (+ kompresszió; - dilatáció); A P nyomástengely a dilatációs, a T tenzió tengely a kompressziós térnegyed közepén található. 10
1.3. (a) robbantások és (b) földrengések tipikus forrásfüggvénye (Bormann et al., 2008) nyomán 11
1.4. A talajelmozdulás forrás spektruma segítségével meghatározható a szeizmikus momentum M_0 értéke (Bormann et al., 2008) 12
1.5. A csipkézett spektrum keletkezése késleltetett robbantás esetén a spektrum csúcsok és minimumok (Chapman et al., 1992) 14
1.6. A korrelációs analízis végeredménye 21
1.7. A spektrum binárissá alakításának menete kétféle futó-átlag számolásával, a B41 kisnánai robbantás esetében 23
1.8. Euklideszi és MD távolság szemléltetése x_1 és x_2 változók esetén (Maesschalck et al., 2000). A körök az egyforma Euklideszi távolságokat az ellipszisek az azonos MD íveket reprezentálják a csoport középpontjától 26

2.1. Magyarország nagyszerkezeti egységei a két kiválasztott területtel (Budai & Konrád, 2011) 30

3.1. Az Északi-középhegység területének szeizmicitása (1900-2012.06) és a területen áthaladó nagyszerkezeti tektonikus vonalak 36
3.2. A bányák elhelyezkedése és a földrengések epicentrum térképe a PSZ és a KECS szlovákiai állomásokkal. A robbantások számított helyét a különböző bányák esetében eltérő színű háromszögek jelzik. 38
3.3. A gyöngyöstarjáni bánya robbantási sémája és a töltetek robbantási ideje . 39
3.4. Az események időbeli eloszlása: (a) heti, és (b) napi eloszlás 41
3.5. Berceli robbantás dilatációs Pg beérkezése 42
3.6. Gyöngyössolymosi robbantás dilatációs Pg beérkezése 42

3.7. A B12 robbantás szeizmogramja (a) 1-4 Hz és (b) 4-7 Hz közötti sávszűrések után . . . 43
3.8. A B12 robbantás szeizmogramja (a) 7-10 Hz és (b) 0,5-1,5 Hz közötti sávszűrések után . . . 43
3.9. Az (a) szűretlen és (b) 1-4 Hz közötti sávszűrések után kapott amplitúdó arányok . . . 45
3.10. Az (a) 4-7 Hz és (b) 7-10 Hz közötti sávszűrések után kapott amplitúdó arányok . . . 45
3.11. A szűretlen és szűrt log(SHR/P) és log(SHR) adatokból kapott MD távolságok. A jelkulcsban jelöltem, hogy hány esetben kaptam |MD|>4 értéket . 46
3.12. A log(SHR/P) és log(SHT/P) adatok felhasználásával kapott Mahalanobis távolságok . . . 47
3.13. A log(SHR/P) vs. log(Rg/P) függvényében . . . 47
3.14. Az MD távolságok különböző amplitúdó adatok alapján külön-külön és együtt 48
3.15. Rendezett korrelációs mátrix, a hasonló események eredetének feltüntetésével 50
3.16. A $c_{xy} > 0,6$ események dendrogramja, a jelentősebb klaszterek feliratozásával 50
3.17. A c1 klaszter: 11 hasonló kisnánai robbantás szeizmogramja . . . 51
3.18. A c2 klaszter: Érsekvadkert térségének 9 hasonló földrengése . . . 51
3.19. A c3 klaszter: A Felsőzsolca Bükkaranyos térségének 8 hasonló földrengése . 52
3.20. A c4 klaszter: 7 nagydaróci hasonló robbantás hullámformája . . . 52
3.21. A c5 klaszter: 5 gyöngyössolymosi hasonló bányarobbantás szeizmogramja . 53
3.22. A c13 klaszter: 3 recski hasonló bányarobbantás hullámformája . . . 53
3.23. Az EQ38 földrengés szeizmo- és spektrogramja . . . 56
3.24. A spektrum meredekség meghatározása . . . 57
3.25. A spektrum átlag/maximum értéke a meredekség függvényében . . . 58
3.26. Az eltérő mennyiségű robbanóanyaggal történt berceli robbantások spektrumai 59
3.27. Az EQ34 földrengés és az B41 robbantás jellegzetes „csipkézett” spektruma . 59
3.28. Az (a) nagydaróci, és (b) szalóci robbantások spektrumai . . . 60
3.29. Az (a) kisnánai, és (b) gyöngyöstarjáni robbantások spektrumai . . . 60
3.30. Az (a) gyöngyössolymosi és (b) nagylóci robbantások spektrumai . . . 61
3.31. Az (a) recski robb.-ok (b) Kistokaj-Bükkaranyos környéki rengések spektrumai 61
3.32. Az (a) B95 nagylóci bányarobbantás, és (b) EQ31 felsőtárkányi földrengés bináris spektrogramjai . . . 62
3.33. Az spektrum arányok két különböző (a) 5-10 Hz/10-15Hz, és (b) 1-10 Hz/10-20 Hz közötti frekvencia tartományban a Cx függvényében . . . 64
3.34. Az (a) Cx komplexitás, és (b) SR értékek a spektrum meredekség függvényében 65
3.35. Az (a) spektrum-adatokból és (b) amplitúdó- és spektrum-adatokból kapott MD értékek . . . 65
3.36. A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a spektrum meredekség függvényében . . . 67

3.37. A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a spektrum meredekség függvényében 68
3.38. A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a log(Rg) függvényében 68
3.39. A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(Rg/SHR) értékek a log(Rg) függvényében 69
3.40. A gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(SHR/P) értékek a log(Rg/P) függvényében 69
3.41. A gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák robbantásaira valamint a terület földrengéseire számított log(SHR/P) értékek a log(Rg/P) függvényében 70
3.42. A log(Rg/SHR) és spektrum meredekség adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében 70
3.43. A log(Rg) és log(Rg/SHR) adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében 71
3.44. A log(Rg/P) és log(SHR/P) adatok átlaga és szórása (a) a gyöngyöstarjáni, berceli, recski és szalóci, és (b) gyöngyössolymosi, a kisnánai, a nagydaróci és nagylóci bányák és a földrengések esetében 71

4.1. Nyugat-Magyarország feszültségviszonyai. A kék téglalap a vizsgált területet jelöli(Fodor et al., 2008) 77
4.2. A Vértes környezetének törésvonalai (a 4.1. ábra nagyított részlete) MG: Móri-árok; CsF: Csákvári eltolódás; EVFZ: Kelet-Vértesi-vetőzóna. 78
4.3. A területen 2011 és 2012 között regisztrált rengések és robbantások epicentrum térképe. A bányákat pentagon, az állomásokat négyzetek, míg az oroszlányi $M_L 4,5$ főrengést csillag jelzi. 79
4.4. A földrengések és robbantások heti eloszlása 81
4.5. A katalógusbeli események (a) napi, és (b) magnitúdó szerinti eloszlása . . . 81
4.6. Az események időbeli eloszlása különböző (a) magnitúdó, és (b) mélységtartományokra 82
4.7. A Vértes hegység területén kipattant 2011-2012 események indikációs térképe: a nappali (bánya működási óráinak) és az éjszakai események aránya . . 82
4.8. A gánti kőbánya robbantásainak számolt epicentrumai eltérő állomásszám esetén. Az epicentrum meghatározásában legtöbbször használt 3 állomás csaknem egy vonalra esett 84
4.9. A földrengések epicentrumának horizontális 90%-os konfidencia ellipszisei . . 84
4.10. A CSKK állomás regisztrátumaiból meghatározott log(SHR/P) vs. log(SHR) értékek 87

4.11. A PKSG állomás regisztrátumaiból meghatározott log(SHR/P) vs. log(SHR) értékek . . . 87
4.12. A CSKK állomáson regiszrált amplitúdó-paraméterek MD értékei . . . 89
4.13. A PKSG állomáson regiszrált amplitúdó-paraméterek MD értékei . . . 89
4.14. CSKK Z csatorna korrelációs mátrixa . . . 92
4.15. CSKK Z csatorna dendrogramja . . . 92
4.16. A CSKK Z csatorna négy legnagyobb klaszterének jellemző szeizmogramjai 93
4.17. A főrengés és 6 utórengés fészekmechanizmusa . . . 94
4.18. A PKSG É-D csatorna korrelációs mátrixa c_{xy}=0,75 esetén . . . 95
4.19. A PKSG É-D csatorna korrelációs mátrixa c_{xy}=0,85 esetén. A c_{xy}=0,75 #1 klasztere 3 nagyobb részre vált szét, amiket körökkel jelöltem . . . 96
4.20. A PKSG É-D-i csatorna négy legnagyobb klaszterének jellemző szeizmogramja és időbeli kiterjedésük (c_{xy} =0,75) feltétel mellett . . . 96
4.21. A PKSG állomáson regisztrált #1 klaszterbe tartozó események szeizmogramjai c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett. Az ismert fészekmechanizmusú eseményt nyíl jelöli . . . 98
4.22. A PKSG állomáson regisztrált #2 klaszterbe tartozó események szeizmogramjai c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett . . . 99
4.23. A PKSG állomáson (a) #3 földrengések és (b) #4 robbantások klasztereihez tartozó szeizmogrammok c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett. Az ismert fészekmechanizmusú eseményt nyíl jelöli . . . 99
4.24. PKSG állomás hullámformái alapján elkülönített jelentősebb klaszterek (c_{xy} =0,75) epicentrum térképe. Körökkel a legjelentősebb oroszlányi utórengések, háromszögekkel a Móri-árok területén kipattant földrengések klasztereit jelöltem. A különböző színárnyalatok, különböző klasztereket jelentenek . . . 100
4.25. A PKSG-hez tartozó hullámformák c_{xy} =0,85 kritikus korrelációs együttható mellett meghatározott dendrogramja . . . 100
4.26. Néhány gánti bányarobb. teljesítményspektruma . . . 103
4.27. Néhány földrengés teljesítményspektruma . . . 104
4.28. A 2012. március 13-i földrengés szeizmo- és spektrogramja . . . 104
4.29. A 2012. március 3-i robbantás szeizmo- és spektrogramja . . . 105
4.30. A spektrum meredekség meghatározása. A rengések meredeksége nagyobb, mint a robbantásoké . . . 105
4.31. Gánti robbantás normált spektruma a CSKK és PKSG állomásokon . . . 106
4.32. A 2013.01.30 02:33-i földrengés bináris spektruma (M_L0,1) . . . 107
4.33. A 2013.01.30 13:34-i földrengés bináris spektruma (M_L2,0) . . . 107
4.34. A 2013.03.08 09:13-i a robbantás a bináris spektruma (M_L0,8) . . . 108
4.35. A CSKK állomás spektrum-adatai: spektrum-meredekség vs. átlag/maximum 109
4.36. A PKSG állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. átlag/maximum 110
4.37. A CSKK állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. SR . . . 110
4.38. A PKSG állomás spektrum adatai: spektrum meredekség vs. SR . . . 111

4.39. A CSKK állomás esetében az Adatok I spektrum paramétereire kapott MD értékek . . . 112
4.40. A CSKK állomás esetében az Adatok II spektrum paramétereire kapott MD értékek . . . 112
4.41. A PKSG állomás esetében az Adatok I spektrum paramétereire kapott MD értékek . . . 113
4.42. A PKSG állomás esetében az Adatok II spektrum paramétereire kapott MD értékek . . . 113
4.43. A CSKK állomás esetében az Adatok I spektrum ill. spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek . . . 114
4.44. A CSKK állomás esetében az Adatok II spektrum ill. spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek . . . 114
4.45. A PKSG állomás esetében az I adatrendszer spektrum, valamint spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek . . . 115
4.46. A PKSG állomás esetében a II adatrendszer spektrum, valamint spektrum és amplitúdó paraméterekre kapott MD értékek . . . 115
4.47. A log(SHR/P) vs. log(SHR) amplitúdó adatok a 2012. áprilisi földrengések és a gánti bányarobbantások esetében . . . 117
4.48. A log(SHR/P) és log(SHR) átlaga és szórása . . . 118
4.49. A log(SHR/P) és log(Rg/P) átlaga és szórása . . . 118
4.50. A spektrum átlag/maximum és spektrum meredekség paraméterek átlaga és szórása . . . 119

F.1. Gyöngyössolymos, Cserkő andezit bánya . . . 133
F.2. Gyöngyöstarján Füledugó andezit bánya . . . 133
F.3. Recsk Csákányhegy andezit bánya . . . 133
F.4. Kisnána andezit bánya . . . 134
F.5. Nagylóc andezit bánya . . . 134
F.6. Bercel Nógrádkövesd andezit bánya . . . 134
F.7. Szlovákia Nagydaróc bazalt bánya . . . 135
F.8. Szlovákia, Szalóc Gombaszög-kőbánya . . . 135
F.9. Gánt Dolomit Zrt bánya . . . 135

Táblázatok jegyzéke

1.1. A különböző módszerek és eredményeik 26

2.1. A felhasznált szeizmológiai állomások paraméterei 30
2.2. A bányák főbb adatai 31

3.1. A fészekmélységek eloszlása 40
3.2. A P hullám beérkezési iránya 42
3.3. A spektrum csipkézettsége 60
3.4. A bináris spektrum sávossága 63
3.5. A csoportba nem illő esetek száma (%-a) 66
3.6. A log(Rg) és log(SHR/P) paraméterek átlaga és szórása 72
3.7. A log(Rg/SHR) és spektrum meredekség paraméterek átlaga és szórása . . . 72
3.8. A log(SHR) és log(Rg/P) paraméterek átlaga és szórása 72
3.9. A hullámformák jellemző amplitúdó arányai a PSZ állomáson 72

4.1. A fészekmélységek eloszlása 80
4.2. Az első beérkezések irányának eloszlása a CSKK és PKSG állomásokon . . . 85
4.3. Az MD távolságok átlaga különböző paraméter kombinációk esetén 88
4.4. Az Adatok I és Adatok II felosztása a CSKK és PKSG esetében 88
4.5. Az MD távolságok átlaga különböző paraméter kombinációk esetén, az adatrendszert két részre bontva 88
4.6. A hullámforma korrelációban szereplő események száma (c_{xy}=0,75) 91
4.7. A PKSG állomáson regisztrált földrengések klaszterei c_{xy} =0,75 feltétel mellett 97
4.8. A PKSG és CSKK klasztereinek átfedése 97
4.9. Az Adatok I és Adatok II felosztása a CSKK és PKSG esetében 109
4.10. A különböző paraméterek összesítése állomások és az Adatok I és II szerint . 119
4.11. A fázisok jellemző értéke a a CSKK és PKSG állomásokon 119

5.1. A módszerek összesítése 129

F.1. Az Északi-középhegység bányáiból származó robbantások adatai 136
F.2. Az Észak- területén regisztrált földrengések hipocentrum adatai 138
F.3. A gánti robbantások adatai 2011 140
F.4. A gánti robbantások adatai 2012 141
F.5. A Vértes hegység földrengéseinek adatai 2011 142

F.6. A Vértes hegység földrengéseinek adatai 2012 148

Irodalomjegyzék

Aki F. S. K. (1967): AScaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res.*, V .73 No 1217-1231.

Arai N. & Yosida, Y. (2004): Discrimination by short-period seismograms, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute (IISEE), Lecture Note, Global Course, Tsukuba, Japan, 10.

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*, V. 96, No. 6, 2368-2382.

Baisch S., Ceranna L. & Harjes H-P. (2006): Earthquake Cluster: What can we learn from waveform similarity? *BSSA*, V. 98, No. 6, 2806-2814.

Ben-Menahem & Sarva Jit Singh (1981): Seismic Waves and Sources. ISBN 978-1-4612-5858-2 (Print) 978-1-4612-5856-8 (Online)

Bennett T. & Murphy J. (1986): Analysis of seismic discrnimination capabilities using regional data from western United States events. *BSSA*, V. 76, 1069-1086.

Baumgardt D. R. & Ziegler K. A. (1988): Spectral evidence of source multiplicity in explosions: application to regional discrimination of earthquakes and explosions. *BSSA*, V. 78, 1773-1795.

Baumgardt D. R. & Young G. B. (1990): Regional seismic waveform discrimination and case-based event identification using regional arrays. *BSSA*, V. 80, No. 6, 1874-1892.

Budai T., Császár G., Csillag G., Fodor L., Kercsmár Zs., Kordos L. & Selmeczi I. (Budai T., Fodor L. (szerk)) (2003): A Vértes hegység mföldtana. Magyarázó a Vértes hegység földtani térképéhez, 1:50000.(Geologí of the Vértes Hills. Explanatory book to the Geologycal Map of the Vértes Hils. 1:50000) – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 368.

Bormann P., Baumbach M., Bock, G., Grosser, H, Choy, G. L, & Boatwright, J. (2008): In P. Bormann (Ed.), New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). (pp. 1-94). Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.

Budai T. & Konrád Gy. (2011): Magyarország földtana. Egyetemi Jegyzet, Pécs

Carr B. D. & Garbin H. D. (1998): Discrimination ripple-Fired explosions with high-frequency (>16Hz) data. *BSSA*, V. 88, No. 4, 963-972.

Chapman M. C., Bollinger G. A. & Sibol M. S. (1992): Modeling delay-fired explosion spectra at regional distances. *BSSA*, V. 82, No. 6, 2430-2447.

Congress U.S. Office of Technology Assessment, Verification of Nuclear Testing Traties, *OTA-ISC-361*, (Washington, DC: U.S. Government Printing Office), 1988.

Dahy S. A., Hassib G. H., Mohamed A-M. S. & Hassoup A. (2009): Identification of local seismicity observed south of Aswan city-Egypt. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst, Kyoto Univ*, No. 52, B.

Deneva D. L., Khristoskov V., Babachkova N., Dotskey K. & Marinov K. (1989): Detection of industrial exposions and weak earthquakes with local seismological networks. *Izvestiya Earth Phys.*, V. 25, No 9, 750-753.

Deichmann N. & Garcia-Fernandez M. (1996): Rupture geometry from high-precision relative hypocenter locations of microearthquake clusters. *Geophy. J. Inst.*, V. 110, 501-517.

Evernden J. F. (1977): Spectral Characteristics of the P-codas of Eurasian Earthquakes and explosions. *BSSA*, V. 67, 1153-1171.

Fäh D., & Koch K. (2002): Discrimination between ea and chemical explosions by multivariate statistical analysis: a case study for Switzerland. *BSSA*, V. 92, No. 5, 1795-1805.

Fodor L., Bada G., Csillag G., Horváth E., Ruszkiczay-Rüdiger Zs., Horváth F., Cloething S., Palotás K., Síkhegyi F., & Tímár G. (2005): An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Paanonian basin. *Tectonophysics*, 410, 15-41.

Fodor, L. I., Gerdes, A., Dunkl, I., Koroknai, B., Pécskay, Z., Trajanova, M., Horváth, P., Vrabec, M., Jelen, B., Balogh, K. & Frisch, W. (2008): Miocene emplacement and rapid cooling of the Pohorje pluton at the Alpine-Pannonian-Dinaric junction: a geochronological and structural study.*Swiss Journal of Earth Sciences* 101 Supplement 1, 255271.

Gitterman Y, & Torild Van Eck (1993): High-fr spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions. *BSSA*, V. 83, No. 4, 1799-1812.

Gitterman Y., Pinsky V. & Shapira A. (1998): Spectral classification methods in monitoring small events by the Israel seismic network. *Journal of Seismology*, V. 2, 237-256.

Gráczer Z., Czifra T., Kiszely M., Mónus P. & Zsíros T. (2012): Hungarian National Seismological Bulletin 2011. Kövesligethy Radó Seismological Observatory, MTA CSFK GGI Budapest, 336.

Gráczer Z., Czifra T., Győri E., Kiszely M., Mónus P., Süle B., Szanyi Gy., Tóth L., Varga P., Wesztergom V., Wéber Z. & Zsíros T. (2013): Hungarian National Seismological Bulletin 2012. Kövesligethy Radó Seismological Observatory, MTA CSFK GGI Budapest, 258.

Gulia L. (2010): Detection of quarry and mine blasts contamination in European regional catalogue. *Nat. Hazards*, V. 53, 229-249. DOI 10.1007/s11069-009-9426-8.

Hage M. & Joswig M. (2009): Mapping local microseismicity using short-term tripatle small array installations – Case study: Coy region (SE Spain). *Tectonophysics*, V. 471, 225-231.

Haggag M., Kalab Z. & Lednicka M. (2006): Contribution to recent seismicity evaluation in surroundings of High Dam, Aswan, Egypt. In 31st General Assembly, European Seismological Commission. Programme, Abstracts and Short Papers [CD-ROM]. Athens: Institute of Geodynamics, National Observatory of Athens, 2008. s. 130-137.

Havskov J., & Ottemoller L. (1999): SeisAn Earthquake analysis software. *Seis. Res. Lett.*, V. 70.

Hedlin M. A. inster J. B.& Orcutt J.(1989): The time-frequency characteristics of quarry blasts and calibration explosion recorded in Kazakhstan, USSR. *Geophys J. Inst.*, V. 99, 102-121.

Hedlin M. A. (1998): A global test of a time-Frequency small-event discriminant. *BSSA*, V. 88, No. 4, 973-988

Jeffry L . & Day M. S. (2012): The physical basis of mb : Ms and variable frequency magnitude methods for earthquake/explosion discrimination. *J. Geophys. Res. Solid Earth Phys.*, V. 90, Issue B4, No 3009-3020.

Kekovali K., Kalafat D. & Deniz P. (2012): Spectral discrimination between mining blasts and natural earthquakes: Application to vicinity of Tunbilek mining area, western Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, V. 7(35), 5339-5352.

Kafka A. A. (1990): Rg as a depth discriminant for earthquakes and explosions: a sace study in new England. *BSSA*, V. 80, No. 2, 373-394.

Kilényi É. & Sefara J. (1989): Pre-Tertiary basement contour map of the Carpathian basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary 1:500 000. *ELGI*, Budapest.

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*, V. 87, No. 3, 569-588.

Kim S. G., Perk Y., & Kim W. Y. (1998): Discrimination of small earthquakes and artifical explosions in the Korean Peninsula using Pg/Lg ratios. *Geophys. Journ. Int.*, V. 134, 267-276.

Kim S. G., Simpson D. W., & Richard P. G. (1994): High-frequency spectra of regional phases from earthquakes and chemical explosions. *BSSA*, V. 84, 1365-1386.

Kiszely M. (2000): Attenuation of Coda Waves in Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.R.*, V. 35(4), 465-473.

Kiszely M. (2001): Discriminating quarry-blasts from earthquakes using spectral analysis and coda waves in Hungary. *Acta Geod. Geoph. Hung.R.*, V. 36(4), 439-449.

Kiszely M. (2009): Discrimination of small earthquakes from quarry blasts in the Vértes Hills, Hungary using complex analysis. *Acta Geod. Geoph. Hung.R.*, V. 44(2), 227-244.

Kiszely M. (2010): Statistical analysis of earthquakes and quarry blasts in the Carpathian Basin New problems and facilities. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, V. 5(2), 101-110.

Kiszely M. (2012): A hullámforma korreláció használata mikrorengések elemzésére - 2012. április, Vértes. *Geomatikai Közlemények*, V. 5(2), 101-110.

Kiszely M. & Győri E. (2013): Az Északi-középhegységben és Szlovákia déli területein kipattant földrengések és robbantások összehasonlító elemzése *Magyar Geofizika* , 54. 4. 1-19.

Koch K., & Fäh D. (2002): Identification of earthquakes and explosions using amplitude ratios: The Voghtland area revisited. *Pure appl. Geophys.*, V. 159, 735-757.

Lee W. H. K. & Lahr J. C. (1975): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. *Geological Survey Open File Report* 75-311, 113.

Less Gy. (2007): Magyarország földtana. Egyetemi Jegyzet, Miskolc.

Lipovics T. (2004): Connection between earthquake and geomagnetic Sq-variations. *Conference of Young Experts* Sárospatak, Abstract.

Maesschalck R. Jouan-Rimbaud D. & Massart D. L. (2000): Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, V. 50, 1-18.

Massa M., Spallarossa D. &Eva E. (2006): Detection of earthquake clusters on the basis of waveform similarity: An application in the Monferrato region (Piedmont, Italy). *Journal of Seismology*, V. 10, 1-22.

Márton E. & Fodor L. (2003): A Dunántúli-középhegység mozgásai a harmadkorban a környezetében levő tektonikai egységekhez képest: komplex mágneses és mikrotektonikai vizsgálatok. *Magyar Geofizika* 43, 27-29.

Mészáros E. & Schweitzer F. (2002): Magyar tudománytár 1.Föld, víz, levegő. *MTA Társadalomkutató Központ* Kossuth Kiadó 512. o. ISBN 963 09 4357 3.

Murphy J.& Bennett T. (1982): A discrimination analysis of short-period regional seismic data recorded at Tonto forest observatory. *BSSA*, V. 72, 1351-1366.

Musil M. & Pleŝinger A.(1996): Discrimination between Local Microearthquakes and Quarry Blasts by Multi-Layer Perceptrons and Kohonene Maps. *BSSA*, V. 86, 1077-1090.

Pechmann J. C. & Kanamori H. (1982): Waveform and spectra of preshock and aftershock sequences in Utah. *J. Geophy. Res.*, V. 87, 10579-10589.

Plafcan D., Sandvol E., Seber D., Barazangi M., Iberbrahim A & Cherkaoui T. E.(1997): Regional discrimination of chemical explosions and earthquakes: a case study in Marocco. *BSSA*, V. 87, 1126-1139.

Pomeroy P. W., Best J. W. & McEvilly T. V., (1982): Test ban treaty verification with regional data - A review. *BSSA*, V. 72, S89-S129.

Reyes C, G. & West E. (2011): The waveform suite: A roboust platform for manipulating waveforms in MATLAB. *Seis. Res. Lett.*, V. 82, No. 1.

Schweitzer F. (1993): Eger és Dunaharaszti környezetének ősföldrajzi viszonyai, különös tekintettel a szerkezeti mozgásokhoz kapcsolódó geomorfológiai formákra. *MTA Földrajtudományi Intézet* Budapest.

Selby N. D., Marshall P. D. & Bowers D. (2012): mb:Ms Event Screening Revisited. *BSSA*, V. 102, 88-97.

Spence W., Sipkin S. A. & Choy L. G. (1989): Measuring the size of an earthquake, *Earthquakes and Volcanoes* V. 21, N. 1.

Szeidovitz Gy. (1986): The dunahaszti earthquake January 1, 1956. *Acta Geodaet., Geophys., Montanist.* V. 21, 1-2. 109-125. *kézirat*

Szeidovitz Gy. & Tóth L. (2000): Nagyobb földrengések Magyarországon. *kézirat*

Taylor S. R, Sherman N. W., Denny M. D. (1988): Spectral discrimination between NTS explosions and western U.S. earthquakes at regional distances. *BSSA*, V. 78, 1563-1579.

Taylor S. R., Denny M. D. (1991): An analysis os spectral differences between NTS and Shagan River nuclear. *J. Geophys. Res.*, 96 No 4 6234-6245.

Tóth L., Mónus P., Zsíros T. & Kiszely M. (2002) Seismicity in the Pannonian Region - earthquake data, EGU Stephan Mueller Special Publications Series, 3, 9-28.

Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M. & Czifra T. (2008) Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2007. MTA GGKI és GeoRisk Kft., Budapest, 76 old. HU ISSN 1589-8326.

Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M. & Czifra T. (2009) Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2008. MTA GGKI és GeoRisk Kft., Budapest, 98 old. HU ISSN 1589-8326.

Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M. & Czifra T. (2010) Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2009. MTA GGKI és GeoRisk Kft., Budapest, 92 old. HU ISSN 1589-8326.

Tóth L., Mónus P., Zsíros T., Bus Z., Kiszely M. & Czifra T. (2011) Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2010. MTA GGKI és GeoRisk Kft., Budapest, 140 old. 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, 158 old. 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 old. HU ISSN 1589-8326.

Tóth L., Mónus P., Kiszely M. & Czifra T. (2014) Magyarországi Földrengések Évkönyve, Hungarian Earthquake Bulletin, 2013. GeoRisk Kft., Budapest, 136 old. HU ISSN 1589-8326.

Ursino H., Langer L., Scarfi G. Di Grazia & Gresta S. (2001): Discrimination of Quarry Blasts from Tectonic Earthquakes in the Iblean Platform (Southeastern Sicily). *Annali Di Geifisica*, V. 44, N4.

Wessel P. & Smith W. H. F. (1998) GMT-The Generic Mapping Tools version 3.0, free software and data distributed over the World Wide Web: GENERIC MAPPING TOOLS.

Wéber Z. & Süle B. (2000): Source parameters of 29 January 2011 ML 4.5 Oroszlány (Hungary) mainshock and its aftershocks. *BSSA*, V. 114, No. 2. 113-127.

Wiemer S. & Baer M. (2000): Mapping and removing quarry blasts events from seismicity catalogs. *BSSA*, V. 90, No. 2. 525-530.

Wiemer S. (2001): ZMAP A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismol. Res. Lett.* 72, 3, 373-382.

Wüster J. (1993): Discrimination of chemical explosions and aerthquakes in Central Europe a case study. *BSSA*, V. 83, No. 4, 1182-1212.

Zeiler C. & Velasco A. A. (2009): Developing local to regional explosion and earthquake discriminant. *BSSA*, V. 99, No. 1, 24-35.