



**Földrengés-gyakoriság méret
és maximális vízszintes gyorsulás
szerinti eloszlásának meghatározása**

Tóth László - Wéber Zoltán

GeoRisk

Geophysical Research and Consulting Ltd.

*Földrengés-gyakoriság méret és maximális vízszintes
gyorsulás szerinti eloszlásának meghatározása*

Készítette

Tóth László

Wéber Zoltán

1. Bevezetés

A Paksi Atomerőmű tágabb környezete jelenkori szeizmicitásának tisztázására - a NAÜ ajánlásának megfelelően - tíz állomásból álló mikroszeizmikus megfigyelő hálózat került kiépítésre az erőmű kb. 50 km-es környezetében. A korszerű digitális mérőállomások üzembehelyezése 1995-ben történt meg. Az adatgyűjtés azóta is zökkenőmentesen, folyamatosan tart.

Jelen tanulmány az elmúlt három év során begyűjtött adatok feldolgozásával - felhasználva az Ove ARUP tanulmányában szereplő ismereteket is - meghatározza a földrengés-gyakoriság méret és maximális vízszintes gyorsulás szerinti eloszlását. Sor kerül a kapott összefüggések és eddigi ismereteink összevetésére is.

2. A földrengés-gyakoriság méret szerinti eloszlása

2.1 A regisztrált földrengések száma

A Paksi Atomerőmű Mikroszeizmikus Megfigyelőhálózata (MMH) elsősorban a magyarországi, illetve a határmenti területek földrengéseit van hivatva megfigyelni. Ez a terület a 45.5-49.0 északi szélességi és 16.0-23.0 keleti hosszúsági koordinátákkal határolható. Az e területen belül 1995. január és 1998. március között azonosított 88 földrengés adatait a 2.1 táblázat tartalmazza. A rengések epicentrumainak eloszlását a 2.1 ábrán szemléltetjük.

Az ARUP által definiált CLASS2 forrásterület az előzőekben meghatározott földrajzi ablaknál valamivel szűkebb, nem tartalmazza a Bécsi-medencén áthúzódó viszonylag aktív zónát, a szlovéniai Koprivnica környéki aktivitást, kisebb horvátországi területeket és a romániai Temesvár környéki bánáti forrásokat (2.1 ábra). Az összehasonlítás kedvéért a 2.1 táblázatban kiemelve található az a 66 esemény, mely a CLASS2 területre esik.

2.2 A magnitúdó-gyakoriság meghatározása

Számos tanulmány bizonyította, hogy egy adott területen a rengések száma a magnitúdó csökkenésével exponenciálisan növekszik az alábbi összefüggés szerint:

$$\log N = a - bM ,$$

ahol N azon földrengések száma, melyek magnitúdója nem kisebb, mint M .

A megfigyelt földrengések gyakoriságát a magnitúdó függvényében ábrázolva mód nyílik a Gutenberg-Richter összefüggés paramétereinek meghatározására. A 2.2 ábrát tanulmányozva megállapíthatjuk, hogy az $1.5-2.0 \leq M \leq 3.5$ tartományban az összefüggés lineáris, vagyis az adathalmaz teljes, mind a teljes monitorozott területet, mind az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületet tekintve. A mérési pontokra fektetett egyenes egyenletét lineáris regresszióval kaphatjuk meg. A kapott eredmények a következők:

$$\text{A teljes monitorozott területre:} \quad \log N = 2.66 - 0.75M$$

$$\text{A CLASS2 területre:} \quad \log N = 2.55 - 0.78M \quad (1)$$

A Gutenberg-Richter összefüggés paramétereinek pontosabb, megbízhatóbb meghatározását az tenné lehetővé, ha a mért adathalmaz teljességét szélesebb magnitúdó-intervallumra ki tudnánk terjeszteni. Kisebb magnitúdók felé ezt úgy tehetnénk meg, hogy növelnénk a hálózat észlelési képességét, azaz a mérőállomások számát és érzékenységét, amennyire a háttérzaj és a geológiai adottságok megengedik. Nagyobb magnitúdók felé a megfigyelési időszak növelése vezethet mérési adatokhoz.

Az ARUP a történelmi rengések katalógusa (Zsíros et al., 1988) alapján különböző időtartományokra számított magnitúdó-gyakoriság összefüggést, vizsgálva a katalógus teljességét is (ARUP, 1995). Ennek eredménye az a megállapítás, hogy 1880-tól tekinthető teljesnek a katalógus az $M=4$ -nél nagyobb magnitúdók esetében. Mivel értékelhető adat csak $M \leq 5.5$ magnitúdó értékig van, a lineáris tartomány, amelyre az illesztés elvégezhető, csupán

a $4 \leq M \leq 5.5$ tartományra szűkül. A Gutenberg-Richter egyenes meredekségére az ARUP a $b=0.82$ értéket számította (ARUP, 1995, 4.2.2 alfejezet), amely igen jó egyezést mutat az (1) egyenletben szereplő értékkel.

A 2.3 ábrán bemutatjuk az ARUP által megadott gyakorisági görbét (ARUP, 1995, 4.8 ábra), kiegészítve az MMH adataival. (Az ábrán 5-ös számmal jelölt pontok tehát *nem* vettek részt az egyenes-illesztésben!) Ez az ábra is igazolja azt az előbbi megállapításunkat, miszerint az ARUP által számított egyenes jól illeszkedik a műszeres mérési adatokhoz. Levonhatjuk tehát azt a következtetést, hogy a historikus szeizmicitásra vonatkozó adatokból levont következtetéseket a jelenlegi mérési adatok alátámasztják.

3. A földrengés-gyakoriság maximális vízszintes gyorsulás szerinti eloszlása

3.1 Adatok

A földrengés-gyakoriság maximális vízszintes gyorsulás szerinti eloszlásának meghatározásához azoknak a földrengéseknek a regisztrátumait használtuk fel, amelyek az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületen belül pattantak ki (2.1 táblázat és 2.1 ábra). A szeizmológiai állomások adatait a 3.1 táblázatban foglaltuk össze, míg pozíciójukat a 3.1 ábra szemlélteti.

Mivel az MMH szeizmológiai állomásai a talajmozgás *sebességével* arányos jelet regisztrálnak, a maximális vízszintes gyorsulás (PGA) meghatározása csak a szeizmogramok numerikus deriválása után vált lehetségessé. Annak érdekében, hogy a deriválás művelete ne emelje ki kedvezőtlen mértékben a nagyfrekvenciás háttérzajt, a szeizmogramokat deriválás előtt egy felülvágó szűrővel megszűrtük. A vágási frekvenciát állomásonként határoztuk meg és attól tettük függővé, hogy a kérdéses állomáson milyen spektrális tulajdonságokkal rendelkezik a háttérzaj. A 3.2 ábra az MMH állomásain mért zaj

egy esztendőre számított átlagos spektrumait ábrázolja. A legkisebb zajjal terhelt állomások (PKS8, PKSC és PKSM) esetén 8-10 Hz-es vágási frekvenciát alkalmaztunk, míg a többi állomás esetén a 6Hz körüli érték megadása látszott célszerűnek.

A 3.3 ábra a PGA adatok epicentrális távolság és magnitúdó szerinti eloszlását szemlélteti. Az ábrán minden kör egy PGA leolvasást reprezentál. A leolvasott PGA értékek epicentrális távolságtól való függését a 3.4 ábrán ábrázoltuk, ahol az adatpontokat jelölő körök mérete a magnitúdóval arányos.

3.2 A PGA csillapodási görbéjének meghatározása

A maximális horizontális gyorsulás magnitúdótól függő, távolság szerinti csillapodási görbéjét a szakirodalomból jól ismert és általánosan elfogadott módszer segítségével határoztuk meg (pl. Joyner és Boore, 1981; Boore és Joyner, 1982; Battis, 1981; Campbell, 1981; Chiaruttini és Siro, 1981; Herrmann és Goertz, 1981; Hasegawa et al., 1981; Cramer és Darragh, 1994; és mások).

Mivel adataink - főként a numerikus deriválás miatt - meglehetősen bizonytalansággal terheltek, a lehető legegyszerűbb csillapodási modellt alkalmaztuk, mely szerint:

$$\log A = a + bM - c \log[(R^2 + h^2)^{0.5}] + dS, \quad (2)$$

ahol A a maximális gyorsulás m/s^2 egységekben, M a lokális magnitúdó, R az epicentrális távolság km-ben. Az S értéke a szeizmológiai állomás környékének geológiai viszonyaitól függ: $S=0$, ha az állomás konszolidált kőzeten vagy kőzet kibúváson helyezkedik el, és $S=1$, ha az állomást laza üledékre telepítették. Az a , b , c , d és h a mérési adatok alapján meghatározandó ismeretlen paraméterek.

Az a , b , c és d paramétereket - rögzített h mellett - lineáris regresszióval határoztuk

meg. A h paraméter meghatározása direkt kereséssel történt: számos h érték mellett elvégezve a lineáris regressziót azt a h értéket fogadtuk el megoldásként, amelyre a reziduálok négyzetösszege minimálisnak adódott.

Végeredményben a maximális horizontális gyorsulás értékét az alábbi összefüggés alapján becsülhetjük:

$$\log A = -2.747 + 0.683 M - 1.690 \log[(R^2 + 2.2^2)^{0.5}] + 0.417 S + 0.330 P, \quad 0.5 \leq M \leq 4.0 \quad (3)$$

ahol a P változó együtthatója a reziduálok szórása. Ha $P=0$, 50% a valószínűsége annak, hogy a fenti összefüggés alapján becsült PGA nagyobb a valódinál. Ugyanez a valószínűség $P=1$ esetén 84%, míg $P=2$ mellett 98%.

A 3.5 ábra illusztrálja a reziduálok eloszlását, míg a 3.6 ábra az illesztéssel kapott csillapodási görbéket szemlélteti konszolidált geológiai viszonyokra számítva. Ez utóbbi ábrán a folyamatos vonalak felelnek meg az 50%-os, míg a pontozott vonalak a 84%-os konfidencia szintnek.

3.3 A PGA-gyakoriság meghatározása

A földrengés-gyakoriság magnitúdó szerinti eloszlásának, valamint a maximális horizontális gyorsulás csillapodási görbéjének ismeretében kiszámítható a PGA gyakorisági görbéje. Egy adott magnitúóhoz ugyanis meghatározható - az (1) Gutenberg-Richter összefüggés segítségével - a gyakoriság is, és - valamilyen rögzített epicentrális távolság mellett a csillapodást leíró (3) egyenlet alkalmazásával - a maximális horizontális gyorsulás értéke is. Az ARUP vizsgálódásai szerint a Paksi Atomerőmű földrengés-veszélyeztetettségéhez legnagyobb mértékben a kb. 11 km-es epicentrális távolságban kipattanó földrengések járulnak hozzá (ARUP, 1995). Ennek megfelelően a PGA-gyakoriság

kiszámításához az $R=11$ értéket választottuk.

Eredményeinket a 3.7 ábrán mutatjuk be. A folytonos vonal felel meg az 50%-os konfidencia szintnek, míg a szaggatott és pontozott görbék a 84%-os ill. a 98%-os konfidencia szintet mutatják. Az ábra jobb alsó részében az ARUP által számított PGA gyakorisági görbe látható vastagított vonallal megrajzolva (ARUP, 1995, 5.2 táblázat).

Az általunk, illetve az ARUP által számított gyakorisági görbékét nehéz összehasonlítani, mivel az ARUP görbéje a 0.1-0.3g gyorsulás tartományra van megadva, míg a mérési adatok alapján mi csupán a 10^{-5} - 10^{-3} g tartományra számolhattunk, hiszen a monitorozás eddigi időtartama alatt jelentősebb lokális földrengés nem volt. A nagymértékű extrapoláció ugyanakkor megtévesztő lehet. Másfelől az általunk, illetve az ARUP által számított PGA gyakorisági görbék közötti eltérés fő oka az, hogy az ARUP által 1995-ben alkalmazott csillapodási görbe jelentősen eltér a mi számításaink során kapott csillapodási görbétől. Mindebből messzemenő következtetéseket levonni azonban - véleményünk szerint - nem szabad. Ennek egyik oka az, hogy a csillapodási görbe számításakor alkalmazott modelltől ((2) egyenlet) - tudomásunk szerint - nem bizonyított, hogy a teljes magnitúdó tartományban érvényes lenne. Számításaink másik fontos korlátja - amelyről nem szabad megfeledkeznünk - az, hogy a rendelkezésünkre álló szeizmogramok a talajmozgás sebességét, és nem a gyorsulását reprezentálják. Mivel az MMH szeizmológiai állomásainak jelentős része meglehetősen magas háttérzaj mellett üzemel, az észlelt kis magnitúdójú földrengések regisztrátumai kis jel/zaj aránnyal rendelkeznek. Így a maximális gyorsulások meghatározásakor végrehajtott numerikus deriválás - a művelet zajkiemelő tulajdonsága miatt - jelentős mértékű bizonytalanságot eredményez. Az $0.5 \leq M \leq 4$ tartományra kapott eredményeinket extrapolálni tehát nem ajánlatos.

Ha az ARUP által számított gyakorisági görbét mégis össze szeretnénk hasonlítani

eredményeink extrapolációjával, nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a magnitúdó gyakorisági görbe a lehetséges legnagyobb magnitúdó közelében elveszíti linearitását. Az ARUP által megadott nemlineáris szakasz (ARUP, 1995, Appendix C16) figyelembe vételével kaptuk a 3.8 ábrán illusztrált eredményt, mely a két görbe igen jó egyezését mutatja. Ebből arra következtethetünk, hogy az ARUP 1995-ös vizsgálatának eredményeit a jelenlegi mérési adatok alátámasztják.

4. Összefoglalás

Vizsgálataink eredményeit röviden a következőképpen foglalhatjuk össze.

Az $1.5-2.0 \leq M \leq 3.5$ tartományban a magnitúdó--gyakoriság összefüggés lineáris, vagyis az adathalmaz teljes, mind a teljes monitorozott területet, mind az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületet tekintve. A mérési pontokra fektetett egyenesek egyenletei a következők:

$$\text{A teljes monitorozott területre:} \quad \log N = 2.66 - 0.75M$$

$$\text{A CLASS2 területre:} \quad \log N = 2.55 - 0.78M$$

A maximális horizontális gyorsulás értékét az $0.5 \leq M \leq 4$ tartományban az alábbi összefüggés alapján becsülhetjük:

$$\log A = -2.747 + 0.683 M - 1.690 \log[(R^2 + 2.2^2)^{0.5}] + 0.417 S + 0.330 P, \quad 0.5 \leq M \leq 4.0$$

ahol a P változó együtthatója a reziduálok szórása. A $P=0, 1$ és 2 értékek felelnek meg az 50, 84, ill. 98%-os konfidenciaszintnek.

Mind a Gutenberg-Richter összefüggés paramétereit, mind a PGA gyakorisági görbét pontosabban, megbízhatóbban határozhatnánk meg, ha a mért adathalmaz teljességét szélesebb magnitúdó-intervallumra ki tudnánk terjeszteni. Kisebb magnitúdók felé ezt úgy

tehetnénk meg, hogy növelnénk a hálózat észlelési képességét, azaz a mérőállomások számát és érzékenységét, amennyire a háttérzaj és a geológiai adottságok megengedik. Nagyobb magnitúdók felé a megfigyelési időszak növelése vezethet mérési adatokhoz.

Hivatkozások

- Battis, J., 1981: Regional modification of acceleration attenuation functions: *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 1309-1321.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., 1982: The empirical prediction of ground motion: *Bull. Seism. Soc. Am.* **72**, S43-S60.
- Campbell, K. W., 1981: Near-source attenuation of peak horizontal acceleration: *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 2039-2070.
- Chiaruttini, C., Siro, L., 1981: The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpidic Belt: *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 1993-2009.
- Cramer, C. H., Darragh, R. B., 1994: Peak accelerations from the 1992 Landers and Big Bear, California, earthquakes: *Bull. Seism. Soc. Am.* **84**, 589-595.
- Herrmann, R. B., Goertz, M. J., 1981: A numerical study of peak ground motion scaling: *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 1963-1979.
- Joyner, W. B., Boore, D. M., 1981: Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake: *Bull. Seism. Soc. Am.* **71**, 2011-2038.
- Ove ARUP, 1995: PHARE Regional Programme Nuclear Safety, Project No.: 4.2.1 VVER 440-213, Seismic Hazard Reevaluation, Final Report Vol. 2.
- Tóth, L., Mónus, P., Zsíros, T., 1996: Hungarian Earthquake Bulletin 1995: GeoRisk, Budapest
- Tóth, L., Mónus, P., Zsíros, T., 1997: Hungarian Earthquake Bulletin 1996: GeoRisk, Budapest

Tóth, L., Mónus, P., Zsíros, T., 1998: Hungarian Earthquake Bulletin 1997: GeoRisk,
Budapest

Tóth, L. (Ed.), 1998: A PAE telephely és környezete mikroszeizmikus megfigyelései:
GeoRisk, Budapest

Zsíros, T., Mónus, P., Tóth, L., 1988: Hungarian earthquake catalog (456-1986): Geod.
Geophys. Res. Inst., Budapest, pp. 182.

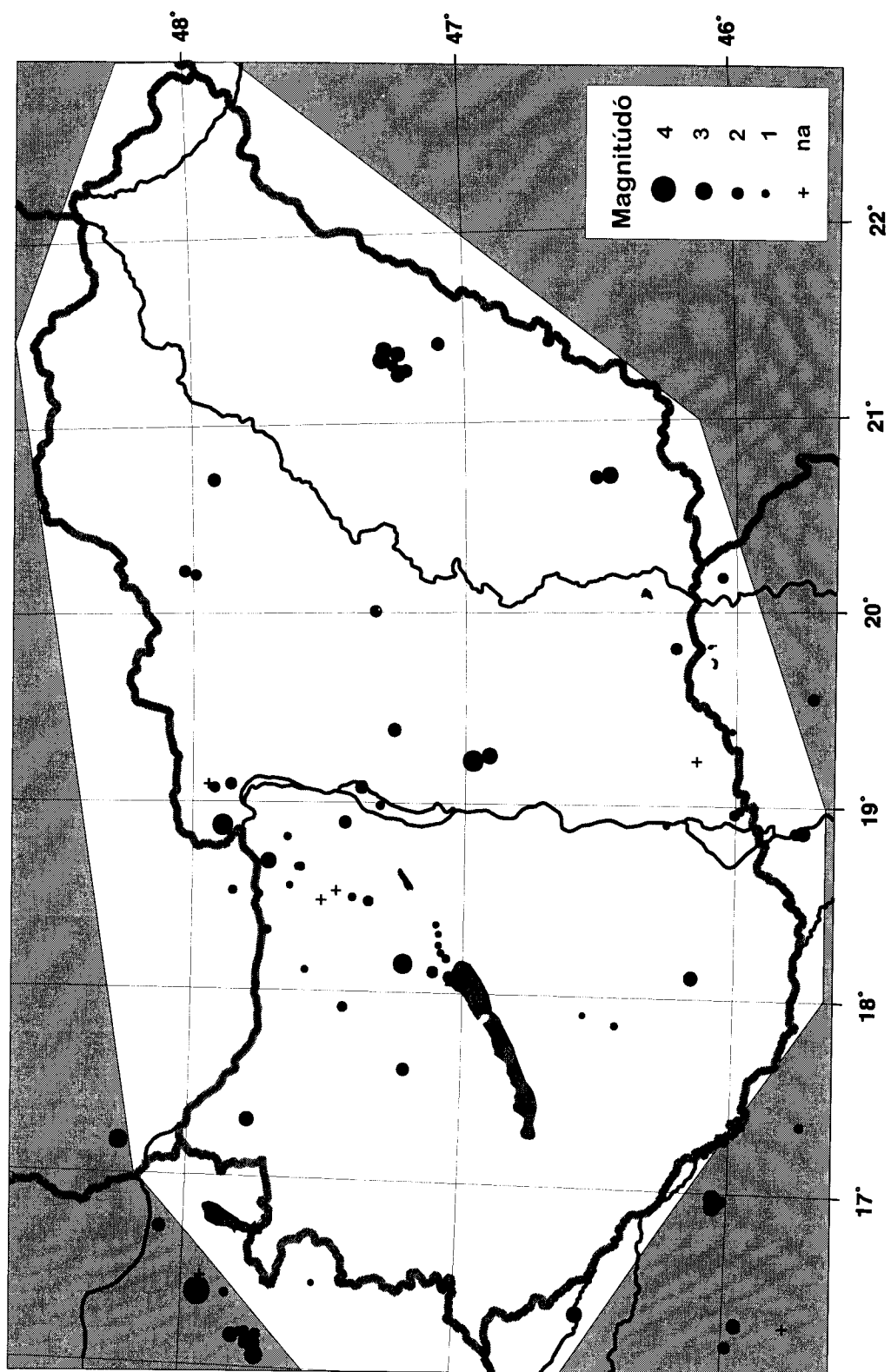
2.1. Táblázat

A megfigyelési időszak alatt (1995. január – 1998. március) regisztrált és azonosított lokális földrengések katalógusa (45.5–49.0N és 16.0–23.0E tartományban; a kövér betűkkel szedett sorok eseményei az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületre esnek)

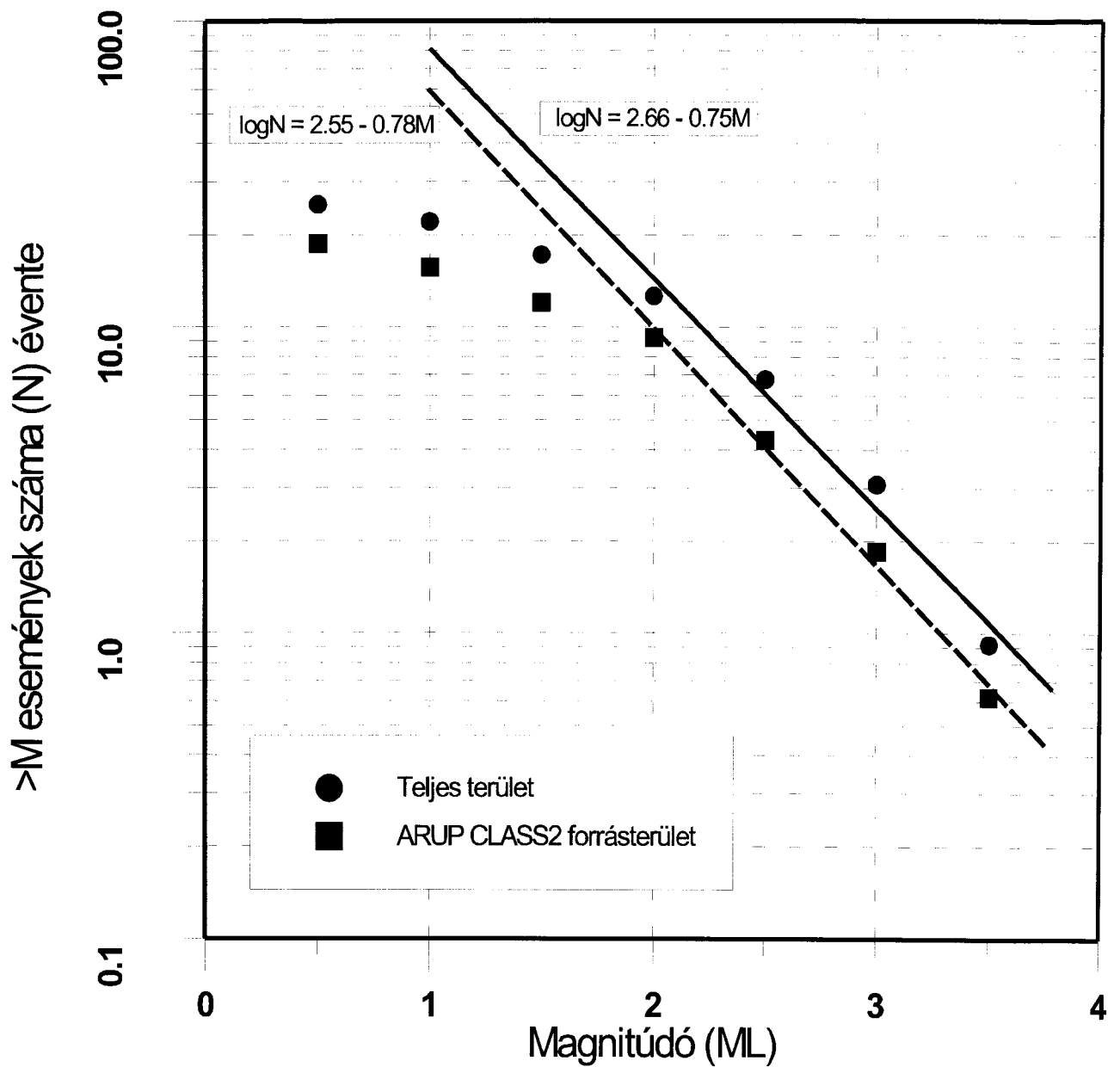
	Date			Time (UTC)			Coordinates		Depth (km)	ML	I _{max} EMS	Locality/Region
	Year	Month	Day	h:min:sec	Lat	Long	Lat	Long				
1.	1995	01	23	- 19:43:07.7	47.316N	18.173E	15	2.2	4	Berhida		
2.	1995	02	05	- 13:45:36.2	46.974N	19.230E	15	3.7	5-6	Szabadszállás		
3.	1995	05	04	- 05:54:31.8	47.437N	18.903E	13	2.4	-	Budaörs		
4.	1995	05	04	- 06:55:56.7	47.716N	18.692E	19	3.0	-	Esztergom		
5.	1995	06	09	- 15:57:01.8	46.923N	19.264E	12	1.6	-	Szabadszállás		
6.	1995	06	28	- 16:32:22.6	45.748N	18.867E	12	2.7	-	Croatia		
7.	1995	09	12	- 22:14:05.3	47.224N	18.146E	08	3.5	5-6	Várpalota		
8.	1995	09	18	- 08:26:10.8	47.894N	18.879E	12	3.7	5-6	Börzsöny mt.		
9.	1995	10	09	- 11:59:01.2	46.160N	18.104E	01	2.7	-	Mecsek mt.		
10.	1996	01	09	- 01:07:22.7	47.960N	16.490E	04	3.6	6	Austria		
11.	1996	03	28	- 06:31:22.3	46.910N	19.256E	14	3.0	-	Szabadszállás		
12.	1996	05	23	- 03:20:20.8	46.217N	19.831E	15	2.2	-	Mórahalom		
13.	1996	05	30	- 22:47:00.0	46.048N	20.176E	10	1.9	-	Serbia		
14.	1996	06	29	- 08:06:49.4	47.331N	20.011E	14	2.2	-	Jászboldogháza		
15.	1996	09	29	- 19:01:47.7	47.244N	21.374E	07	2.8	-	Füzesgyarmat		
16.	1996	09	29	- 21:45:53.7	47.304N	21.379E	02	3.2	4	Füzesgyarmat		
17.	1996	09	29	- 22:04:30.5	47.260N	21.314E	03	2.1	-	Füzesgyarmat		
18.	1996	09	30	- 00:31:17.4	47.225N	21.275E	06	2.2	-	Füzesgyarmat		
19.	1996	09	30	- 00:42:20.9	47.293N	21.393E	03	3.1	-	Füzesgyarmat		
20.	1996	09	30	- 01:37:47.5	47.214N	21.279E	10	2.4	-	Füzesgyarmat		
21.	1996	09	30	- 03:40:45.3	47.242N	21.258E	05	2.7	-	Füzesgyarmat		
22.	1996	10	21	- 01:23:25.5	47.381N	19.076E	12	2.5	4-5	Dunaharaszti		
23.	1996	12	03	- 00:30:57.7	47.733N	16.107E	10	3.1	5	Austria		
24.	1996	12	03	- 04:17:53.9	47.444N	17.906E	02	1.8	-	Veszprémvarsány		
25.	1996	12	11	- 18:53:12.7	47.994N	20.208E	09	2.0	-	Bükkszék		
26.	1996	12	11	- 23:27:22.1	48.028N	20.230E	09	2.2	-	Bükkszék		
27.	1996	12	20	- 19:14:24.9	45.780N	18.862E	10	2.1	-	Croatia		
28.	1997	01	23	- 05:57:40.2	46.010N	19.378E	06	0.6	-	N Serbia/Hungary		
29.	1997	01	23	- 20:01:17.3	47.920N	20.725E	10	2.5	-	Sály		
30.	1997	01	24	- 11:32:47.2	47.642N	18.557E	14	0.9	-	Bajna		
31.	1997	02	11	- 14:19:11.6	47.854N	18.533E	10	1.5	-	S Slovakia		
32.	1997	03	03	- 14:33:00.4	47.207N	17.590E	25	2.4	4	Magyarpolány		
33.	1997	03	03	- 15:17:46.9	46.252N	18.904E	10	0.9	-	Pörböly		

34.	1997	03	09	-	00:45:25.6	45.798N	18.506E	06	1.9	-	Magyarbóly
35.	1997	03	26	-	12:02:58.6	47.916N	19.081E	15	1.9	-	Diósjenő
36.	1997	03	30	-	04:18:04.6	47.755N	16.170E	15	2.0	-	E Austria
37.	1997	04	08	-	11:03:36.4	47.095N	18.312E	12	0.7	-	Polgárdi
38.	1997	04	08	-	16:10:45.1	46.431N	17.854E	15	1.1	-	Magyaratád
39.	1997	04	30	-	19:18:22.5	46.122N	16.105E	10	???	-	Croatia
40.	1997	05	10	-	19:29:14.6	48.090N	16.706E	04	2.5	-	E Austria
41.	1997	05	19	-	03:21:35.3	47.809N	16.151E	10	2.8	-	E Austria
42.	1997	05	22	-	00:11:17.5	47.090N	21.425E	13	2.5	-	Vekerd
43.	1997	05	23	-	23:40:19.0	47.345N	18.475E	11	1.9	-	Zámoly
44.	1997	05	26	-	07:56:46.0	45.949N	16.320E	10	2.7	-	Croatia
45.	1997	05	30	-	19:28:20.8	47.721N	16.053E	10	3.3	-	E Austria
46.	1997	06	17	-	13:33:45.4	46.456N	20.728E	10	3.1	3-4	Csorvás
47.	1997	06	17	-	17:03:07.7	46.508N	20.718E	08	2.5	-	Csorvás
48.	1997	07	08	-	00:48:25.1	47.516N	16.444E	22	0.6	-	E Austria
49.	1997	07	16	-	10:52:54.3	47.764N	18.029E	07	1.4	-	Komárom
50.	1997	07	16	-	11:58:31.3	47.077N	18.208E	07	1.0	-	Csajág
51.	1997	07	16	-	20:43:32.0	47.783N	17.303E	10	2.8	4	Kóny
52.	1997	07	18	-	18:58:37.2	45.976N	18.979E	10	1.5	-	Hercegszántó
53.	1997	07	19	-	22:33:37.7	47.842N	16.372E	04	1.5	-	E Austria
54.	1997	07	29	-	14:24:58.0	47.310N	18.989E	10	1.4	-	Szigethalom
55.	1997	08	06	-	11:45:26.9	47.940N	19.090E	10	???	-	Diósjenő
56.	1997	08	10	-	10:48:26.9	46.565N	16.331E	10	3.0	5	Lendva (Slovenia)
57.	1997	08	15	-	09:50:47.9	47.722N	18.319E	04	1.4	-	Dunaalmás
58.	1997	09	04	-	01:45:39.1	47.718N	16.164E	04	2.0	4	E Austria
59.	1997	09	05	-	09:21:38.6	47.408N	18.498E	19	1.3	-	Csákvár
60.	1997	09	05	-	18:16:59.6	46.140N	19.227E	13	???	-	Bácsbokod
61.	1997	09	12	-	14:46:15.0	47.092N	18.247E	10	0.9	-	Füle
62.	1997	09	18	-	10:10:24.9	47.580N	18.105E	10	1.0	-	Csép
63.	1997	09	23	-	15:03:44.0	47.058N	18.177E	10	1.3	-	Csajág
64.	1997	10	08	-	15:40:26.6	47.645N	18.817E	10	1.2	-	Piliscsaba
65.	1997	10	11	-	15:41:41.5	47.608N	18.658E	16	1.1	-	Szomor
66.	1997	10	16	-	12:14:43.3	47.103N	18.356E	10	0.8	-	Kőszárhegy
67.	1997	10	17	-	11:01:18.8	47.856N	19.104E	08	2.2	-	Szendehely
68.	1997	10	25	-	23:49:15.6	45.743N	17.351E	10	1.5	-	Croatia
69.	1997	10	27	-	23:26:05.3	45.999N	18.962E	10	1.9	-	Dávod
70.	1997	11	03	-	21:44:53.7	47.758N	16.126E	10	1.6	4	E Austria
71.	1997	11	03	-	23:17:04.0	47.761N	16.113E	10	1.7	4	E Austria
72.	1997	11	04	-	02:22:19.7	47.755N	16.111E	10	1.5	-	E Austria
73.	1997	11	10	-	14:54:40.9	48.251N	17.170E	10	3.4	-	Slovakia
74.	1997	11	24	-	08:48:46.1	47.782N	16.171E	06	1.5	-	E Austria

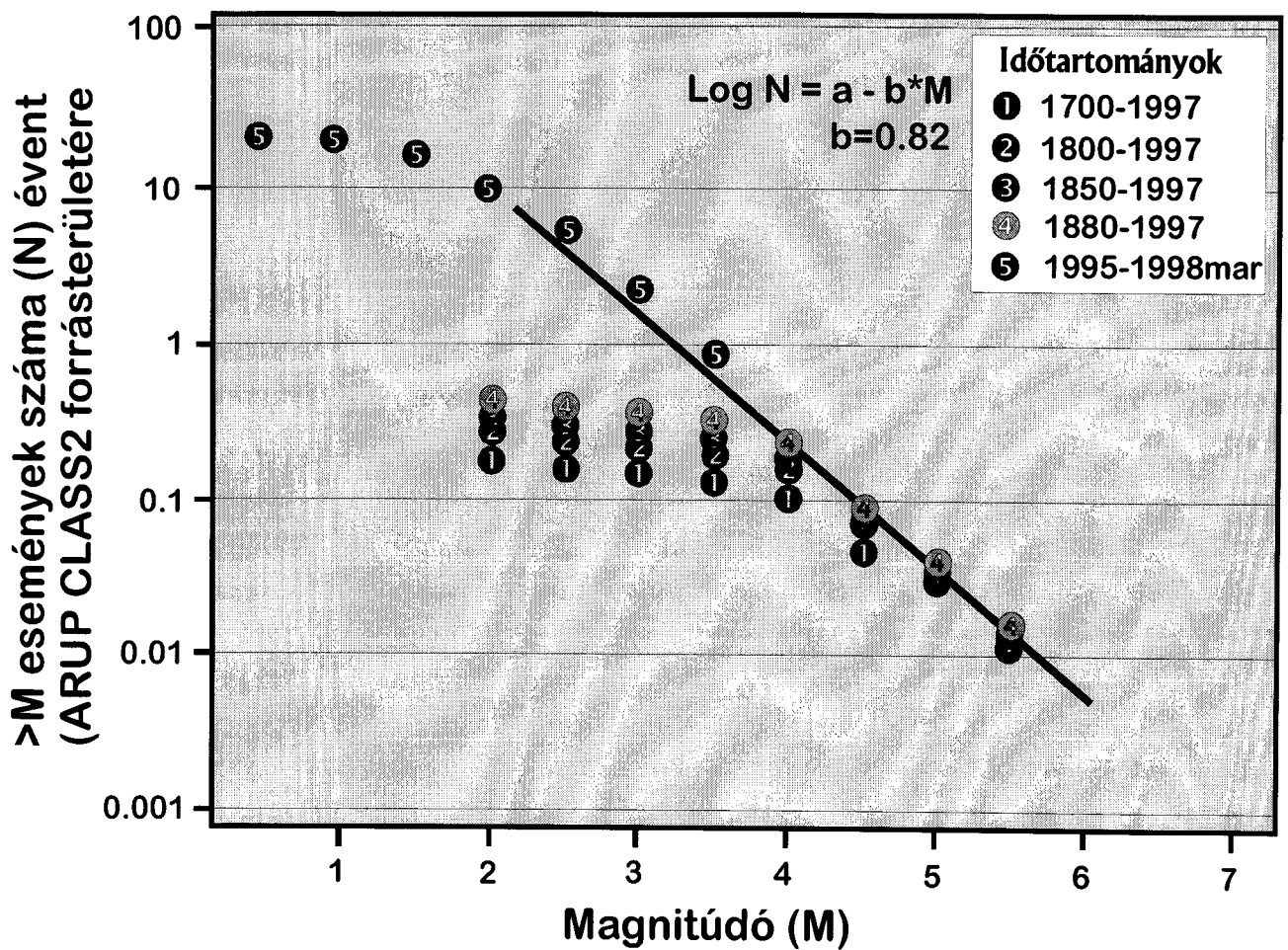
75.	1997	11	27	-	10:40:56.9	47.260N	19.385E	16	2.5	3-4	Nyáregyháza
76.	1997	12	01	-	00:42:58.2	45.951N	16.208E	10	2.3	-	Croatia
77.	1997	12	19	-	11:34:17.6	47.604N	18.657E	07	1.4	-	Zsámbék
78.	1997	12	29	-	02:09:53.6	46.548N	17.896E	21	0.6	-	Igal
79.	1998	01	12	-	04:15:45.9	47.050N	18.076E	04	2.0	-	Balatonfűzfő
80.	1998	01	18	-	02:05:28.6	46.041N	16.920E	10	2.7	-	Croatia
81.	1998	01	18	-	02:11:19.4	46.018N	16.935E	15	1.8	-	Croatia
82.	1998	01	18	-	07:30:08.5	46.036N	16.937E	15	2.8	-	Croatia
83.	1998	01	28	-	10:57:04.4	47.756N	18.508E	08	1.1	-	Lábatlan
84.	1998	01	29	-	00:11:22.8	45.711N	19.557E	15	1.9	-	Serbia
85.	1998	02	02	-	11:30:42.5	47.495N	18.486E	10	???	-	Vértesszentmária
86.	1998	03	11	-	10:55:45.5	47.470N	18.514E	10	???	-	Vértesszentmária
87.	1998	03	11	-	11:33:29.0	47.933N	16.420E	10	???	-	E Austria
88.	1998	03	22	-	08:39:12.4	46.675N	21.425E	10	2.2	-	Dénesmajor



2.1. Ábra. A megfigyelési időszak alatt (1995. január – 1998. március) regisztrált és azonosított lokális földrengések epicentrum eloszlása (45.5-49.0N és 16.0-23.0E földrajzi ablakban; a világos tartomány az ARUP által definiált CLASS2 forrásterület).



2.2. Ábra. A megfigyelési időszak alatt (1995. január – 1998. március) regisztrált és azonosított lokális földrengések magnitúdó-gyakoriság eloszlása a teljes (45.5-49.0N és 16.0-23.0E földrajzi ablak) és az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületen.



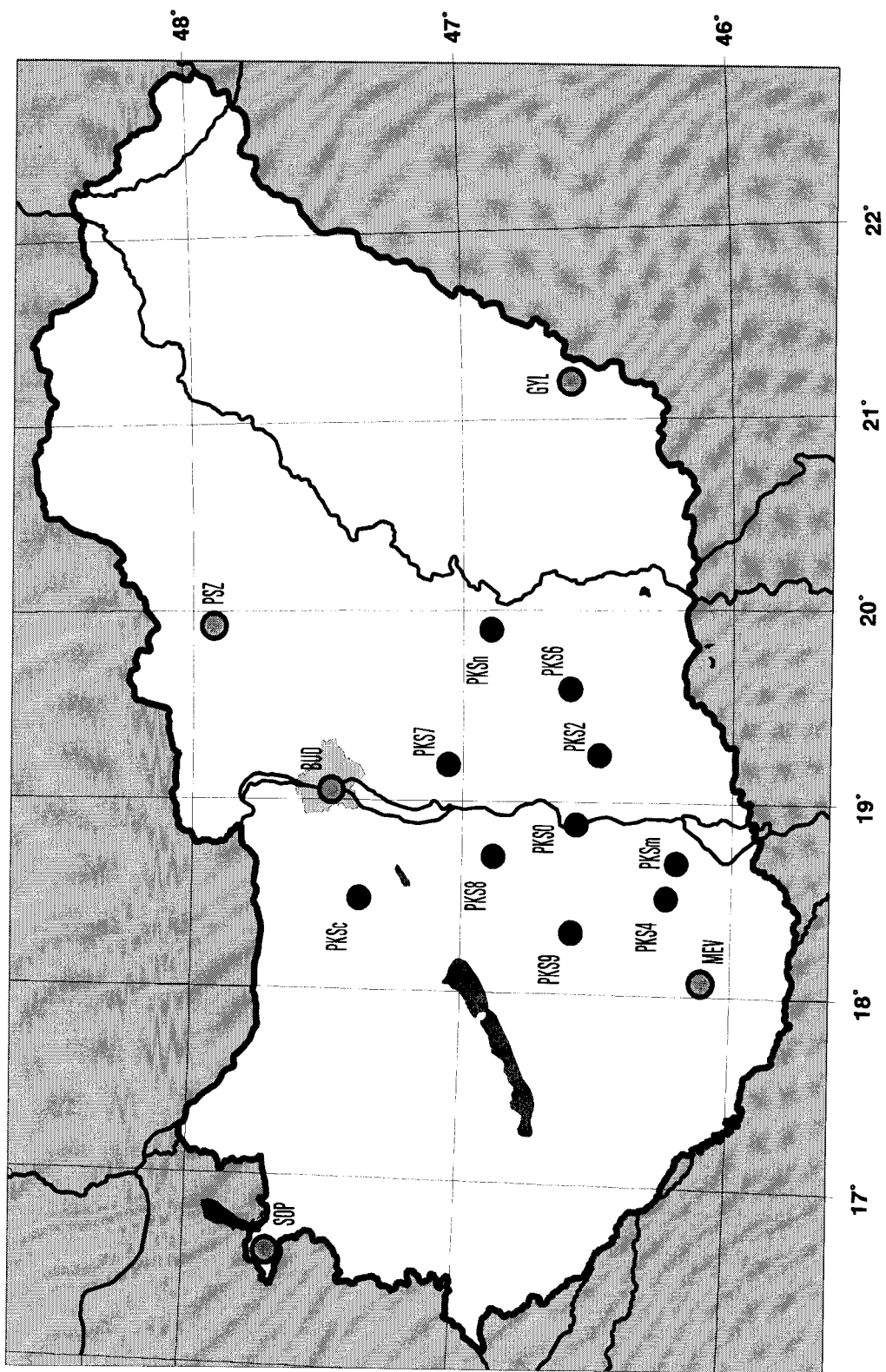
2.3. Ábra. A történelmi földrengések és a megfigyelési időszak alatt (1995. január – 1998. március) regisztrált és azonosított lokális földrengések magnitúdó-gyakoriság eloszlása (az ARUP által definiált CLASS2 forrásterületen; magyarázatot lásd a szövegben).

3.1. Táblázat

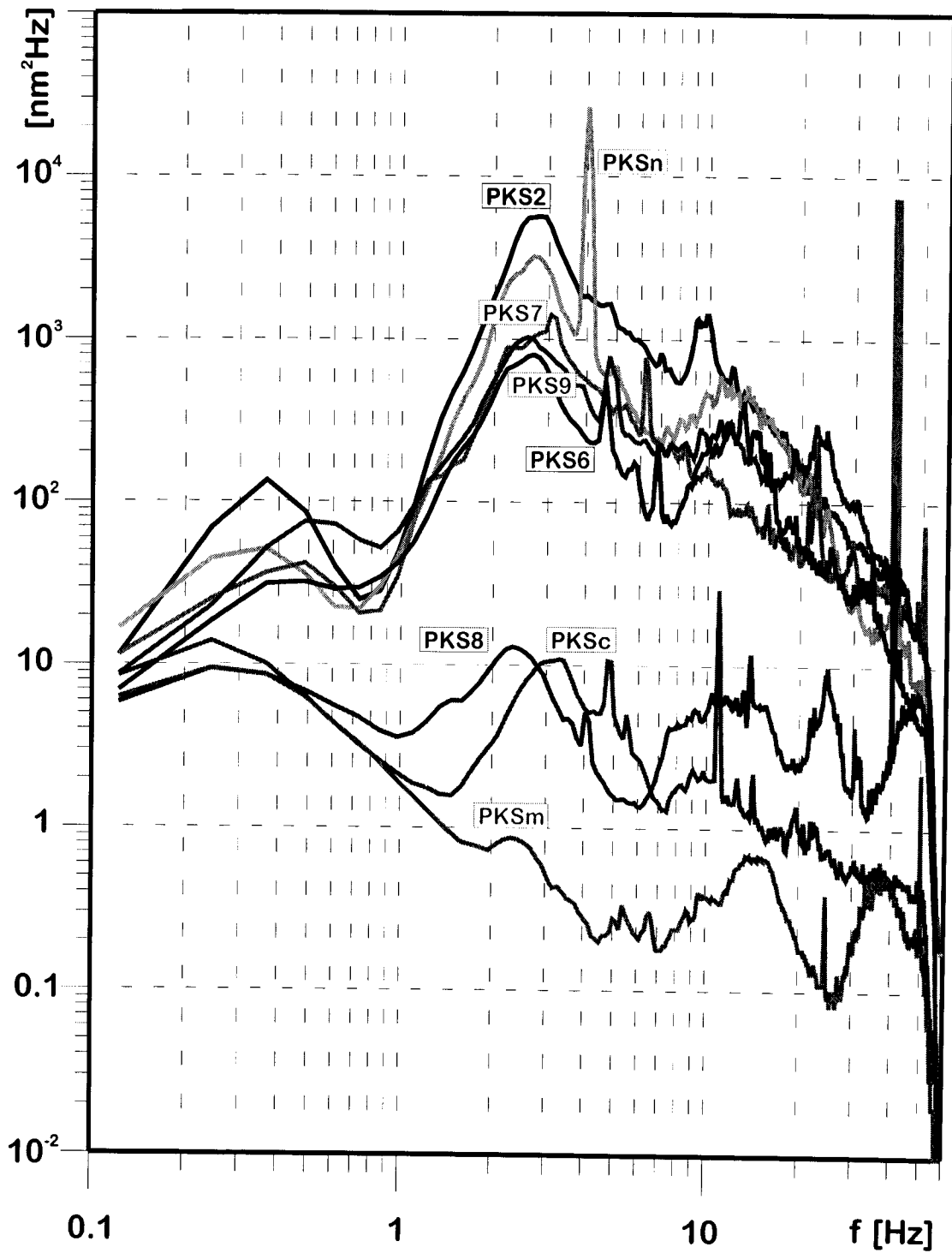
A magyarországi szeizmográf állomások koordinátái, geológiai viszonyai és műszerezettsége

Code	Latitude (N)	Longitude (E)	Elevation (m)	Foundation	Type of station (1)	Sensor type (2)	Recording (3)	Org. (4)
BUD	47.4836	19.0239	196	dolomite	3C LP	Kirnos	A - C	GGKI
BUDA*	47.4836	19.0239	196	dolomite	3C SP	LE-3D	D - E	GR
GYL	46.5981	21.1718	92	sand	3C SP	SS-1	D - E	GGKI
MEV	46.1128	18.1123	400	limestone	3C SP	SS-1	D - E	GEOS
PKS0	46.5743	18.8449	100	sand	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS1*	46.5940	18.5786	200	loess	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS2	46.4920	19.2131	106	sand	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS3*	46.7869	19.0663	105	loess	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS4	46.2340	18.4635	220	limestone	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS5*	46.8092	19.5547	110	sand	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS6	46.5998	19.5645	120	sand	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS7	47.0473	19.1609	95	mud	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS8	46.8787	18.6765	135	rhyolite tuff	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKS9	46.5870	18.2789	240	loess	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKSc*	47.3806	18.4371	200	dolomite	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKSm*	46.2119	18.6413	170	granite	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PKSn*	46.8972	19.8673	110	sand	3C SP	LE-3D	D - E	GR
PSZ	47.9184	19.8944	940	andesite	3C BB	STS-2	D - C	GGKI
SOP	47.6833	16.5583	260	gneiss	3C SP	SS-1	D - E	GGKI

- (1) 1C - one component vertical seismometer, 3C - three component seismometer
 SP - short period seismometer, BB - broad band seismometer, SM - strong motion accelerograph
- (2) STS-2 - Streckeisen broad band seismometer, LE-3D - Lennartz three directional 1Hz geophone,
 SS-1 - Kinematics 1Hz seismometer, Kirnos - 12 s long period seismometer
- (3) A - analogue, D - digital, C - continuous recording, E - event recording
- (4) GEOS - GEOS BT., GGKI - Institute of Geodesy and Geophysics, GR - GeoRisk Ltd., PART - Paks Nuclear Power Plant Ltd.
- (*) BUDA off date 1996/06/30
 PKS1 off date 1996/11/21
 PKS3 off date 1996/12/16
 PKS5 off date 1996/11/19
 PKSc on date 1996/12/20
 PKSm on date 1996/11/21
 PKSn on date 1996/11/20

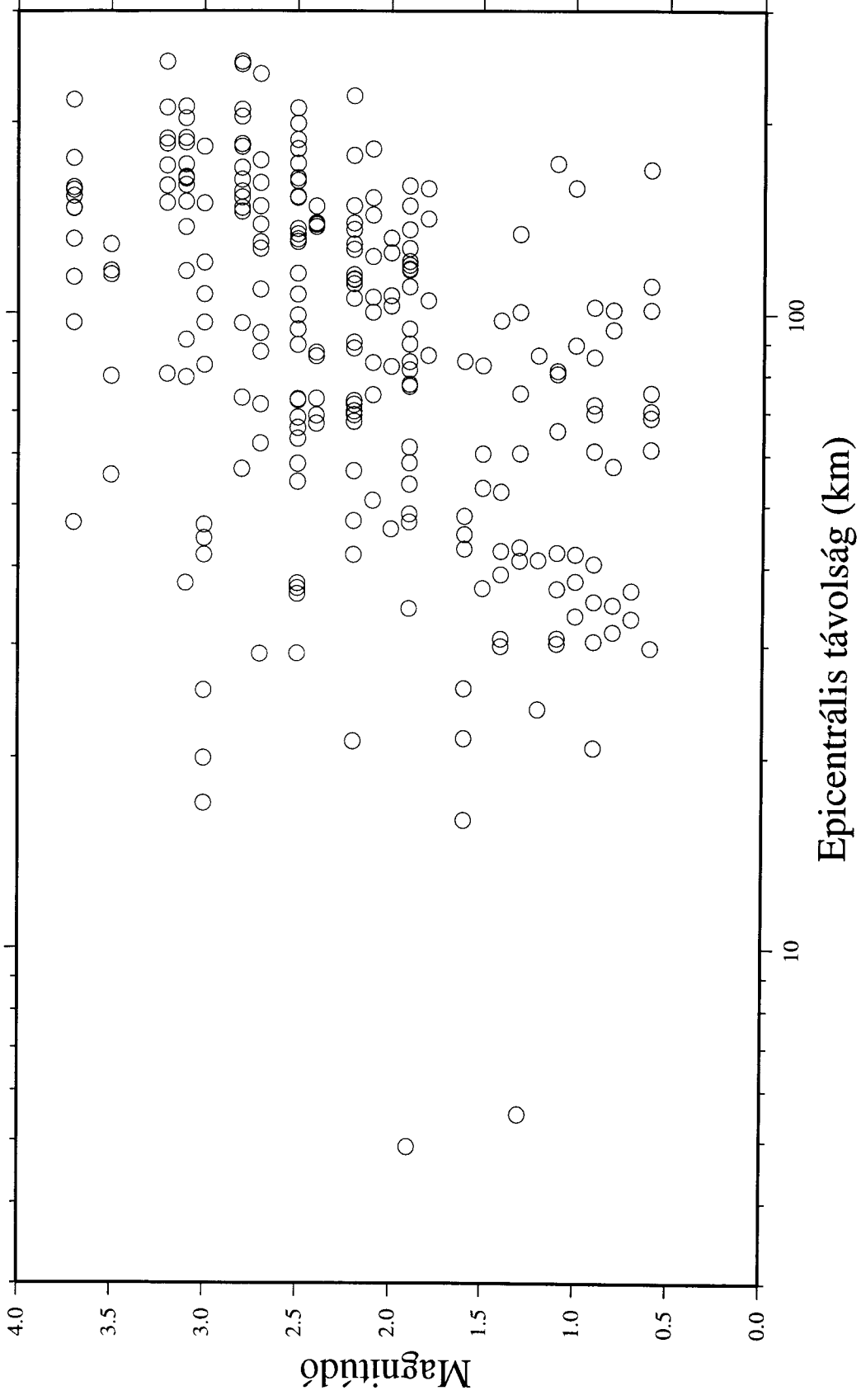


3.1. Ábra. Magyarországi földrengésjelző állomások 1995. január - 1998. március között



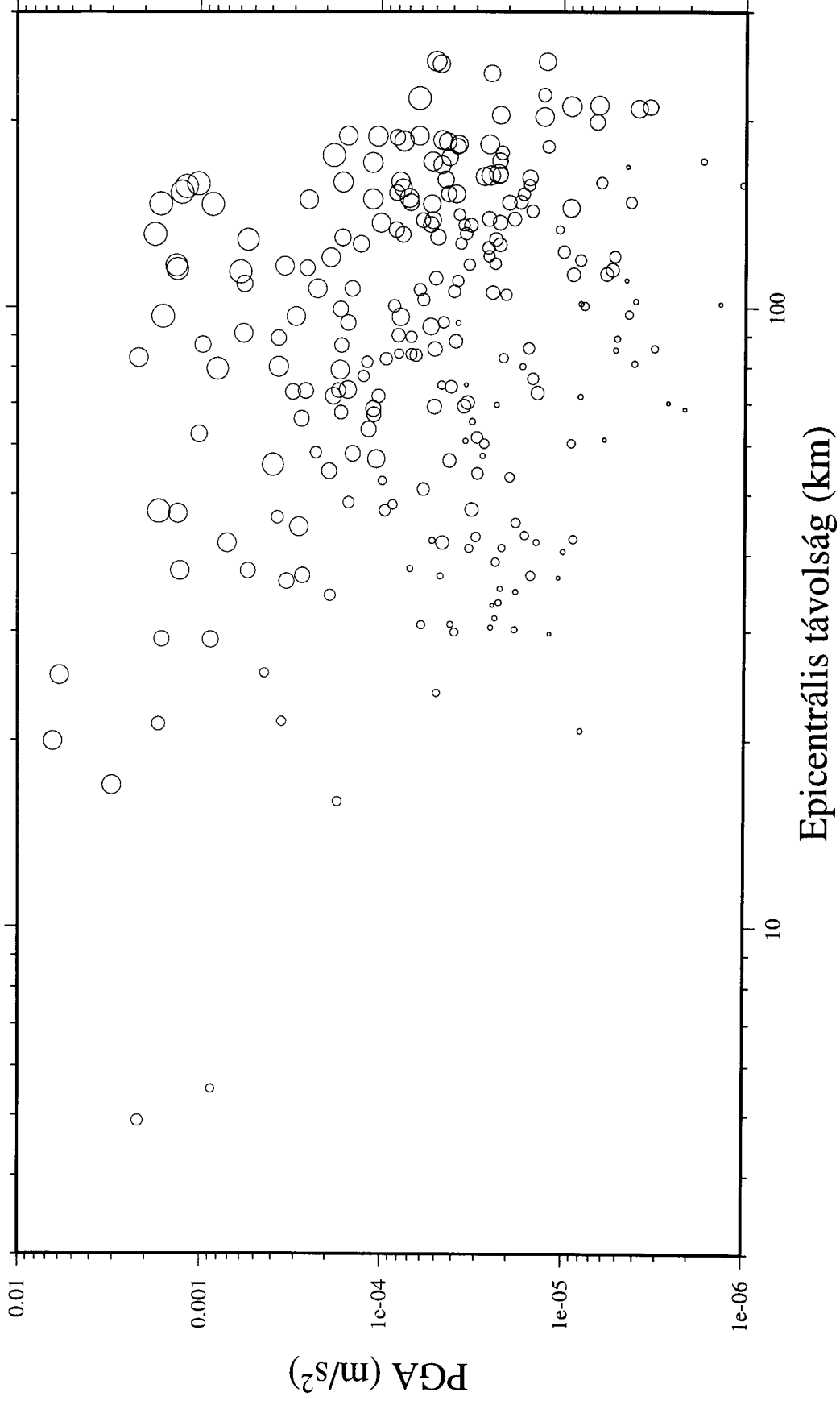
3.2. Ábra. Átlagos zajspektrumok az MMH állomásain

Az adatok eloszlása



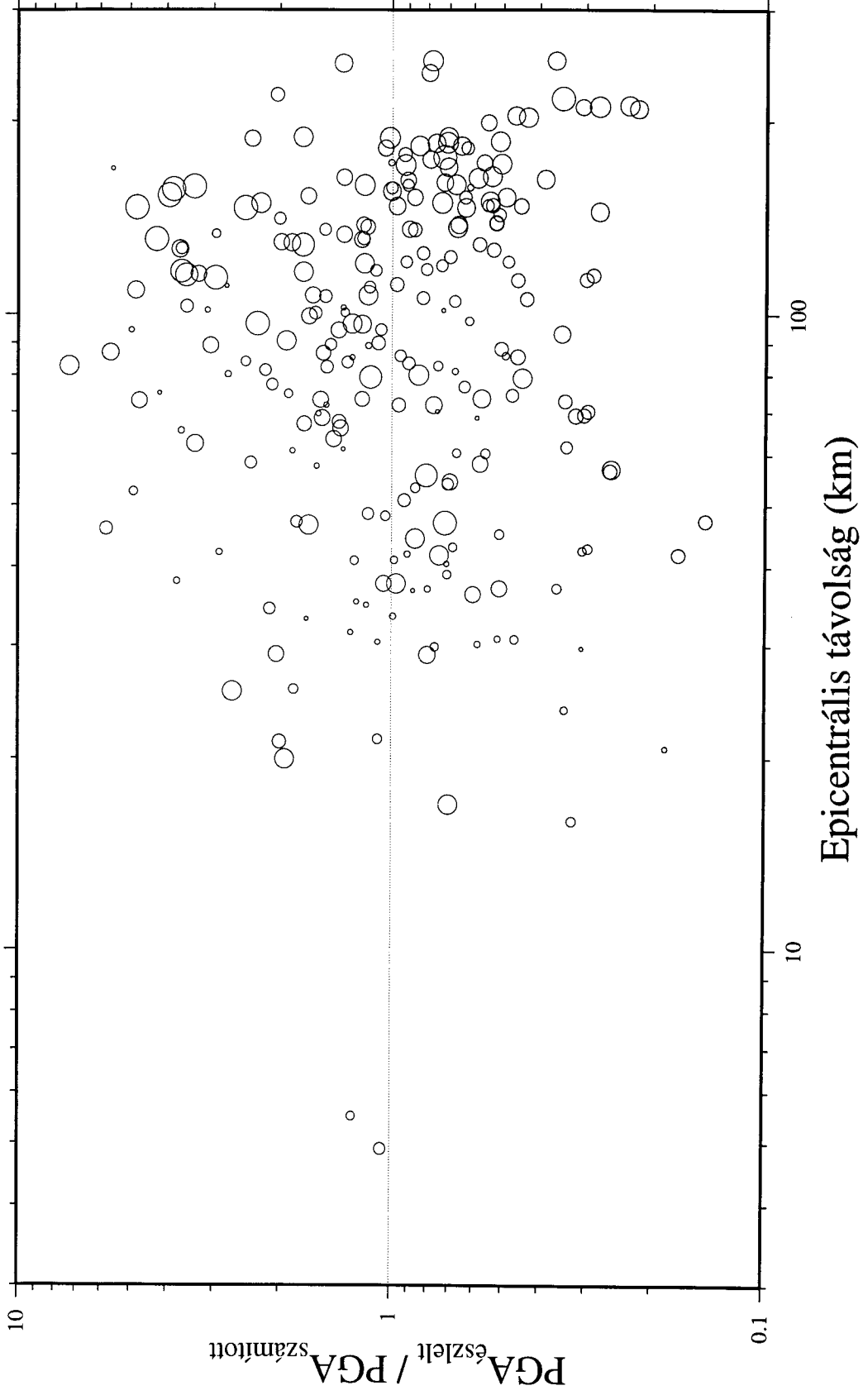
3.3 ábra: A PGA adatok epicentrális távolság és magnitúdo szerinti eloszlása

Mért PGA értékek a távolság függvényében



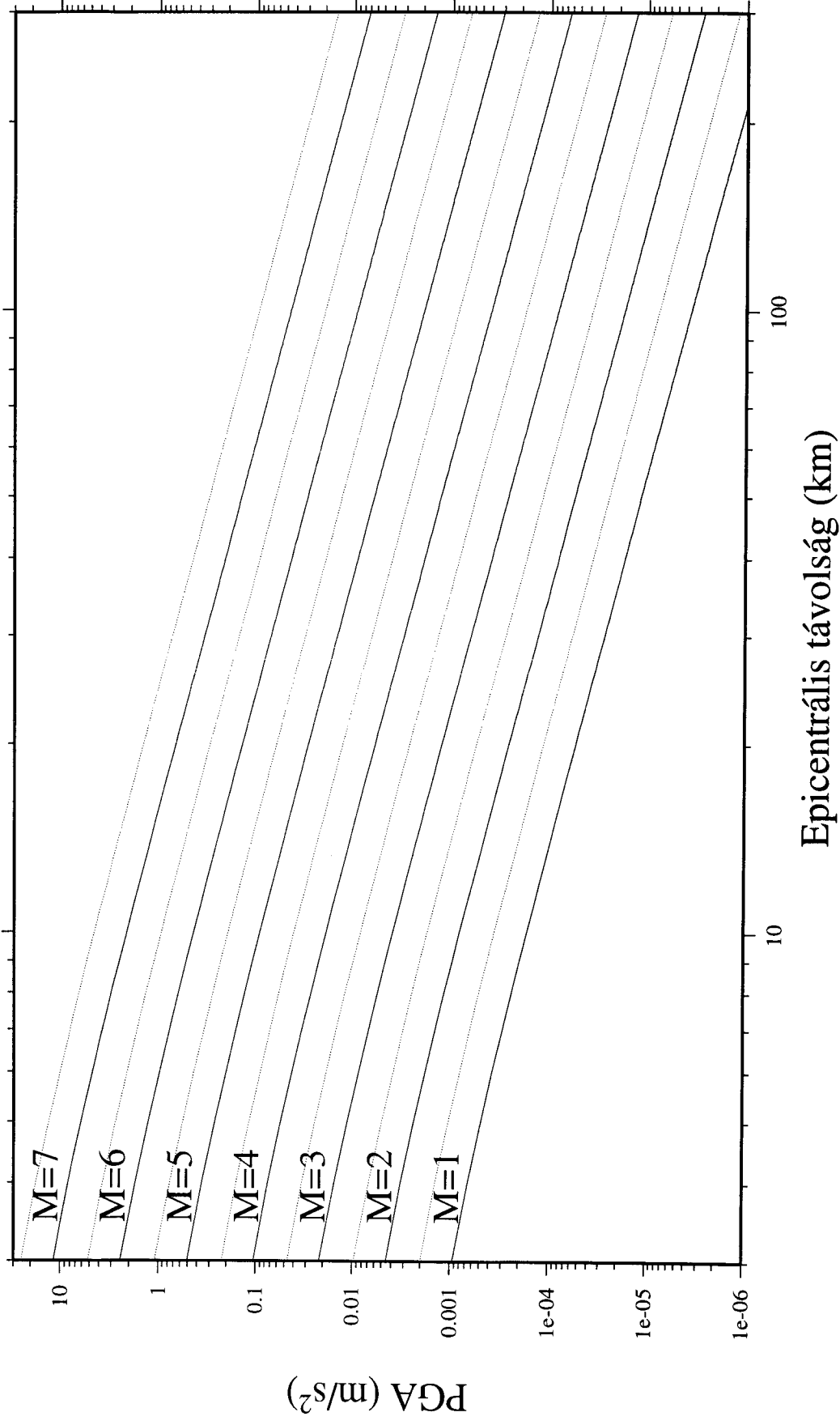
3.4 ábra: A mért PGA értékek a távolság függvényében. A körök mérete a magnitúdóval arányos.

PGA reziduálok eloszlása



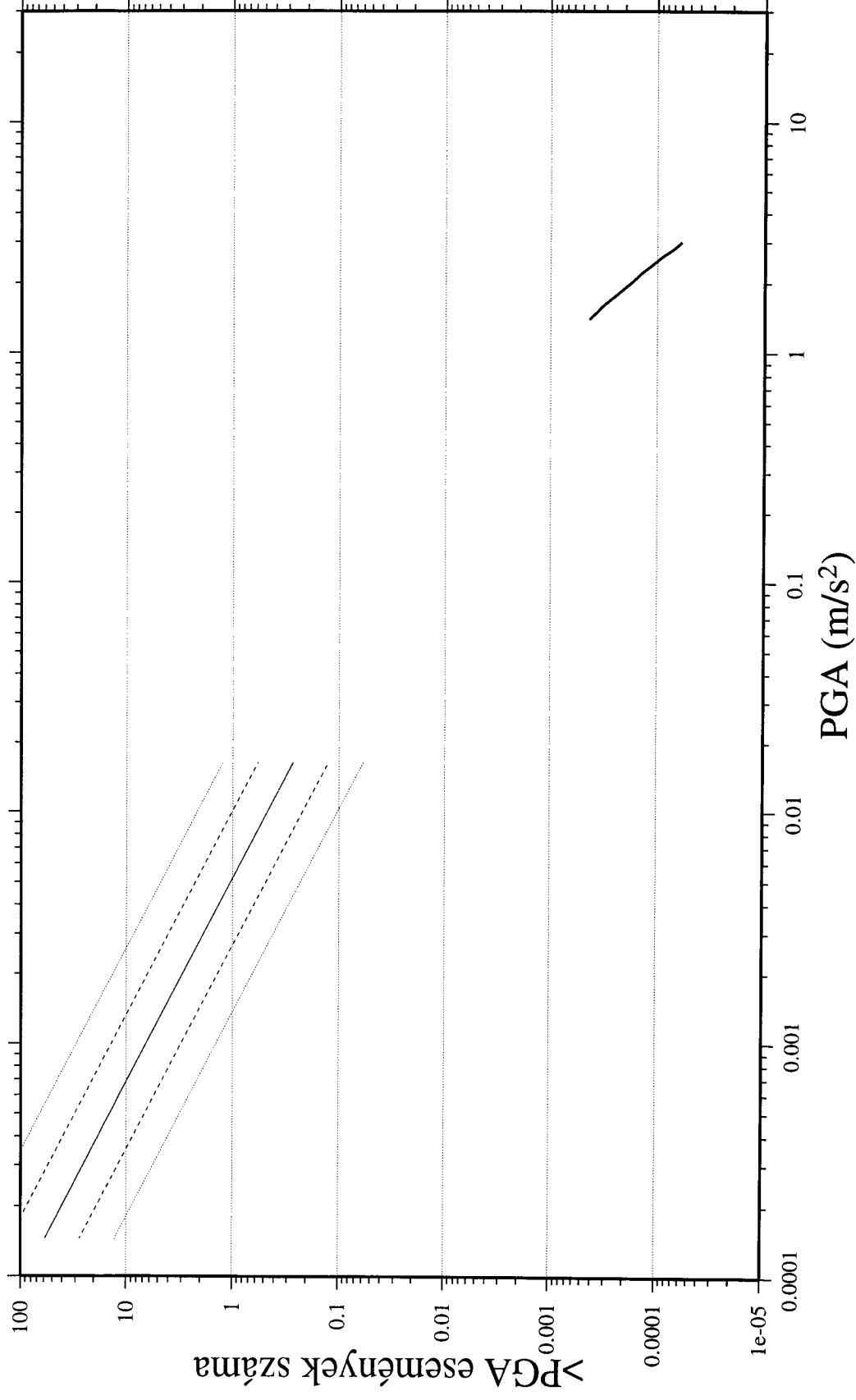
3.5 ábra: A PGA reziduálok a távolság függvényében.

PGA a távolság függvényében



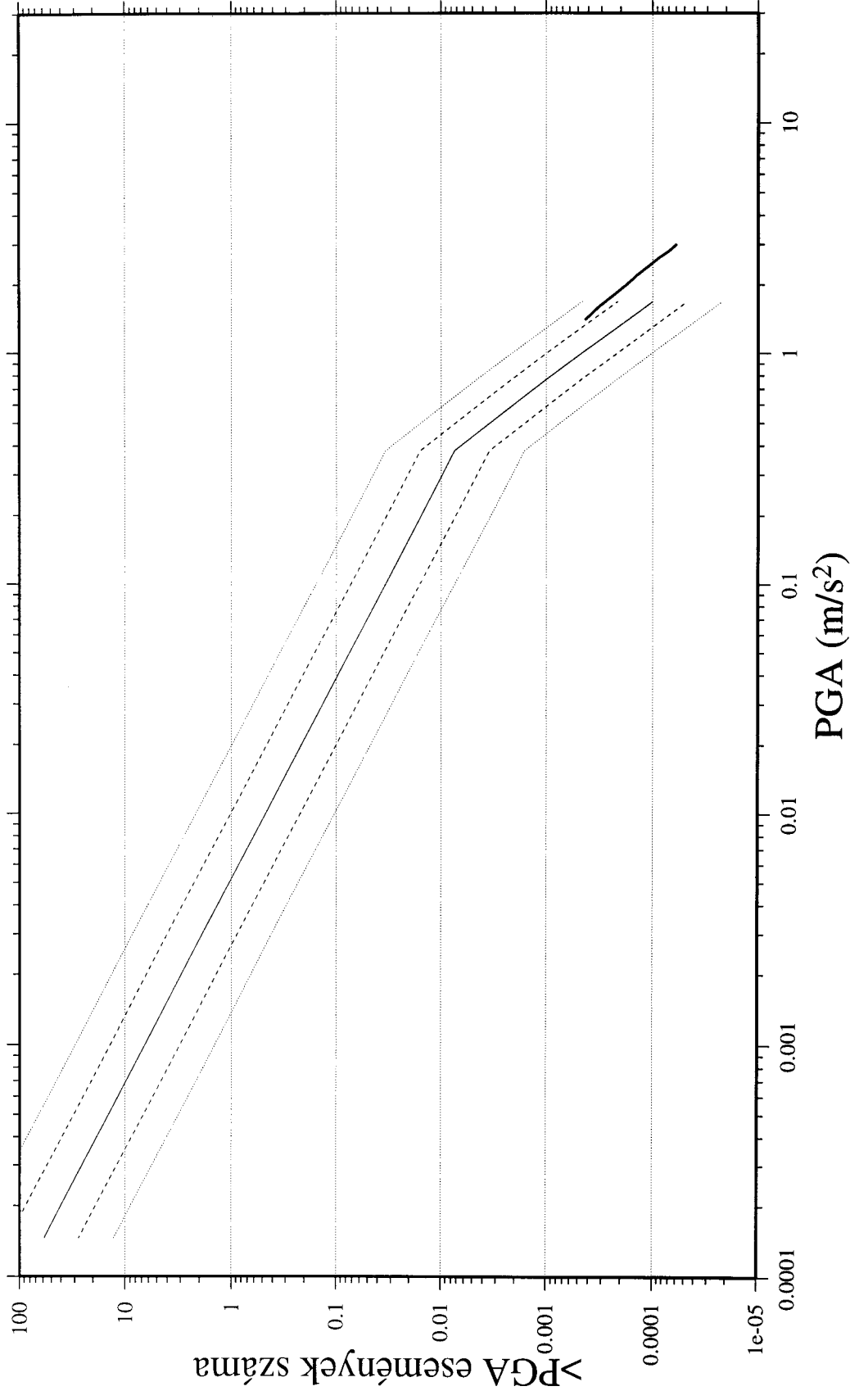
3.6 ábra: Az illesztéssel kapott elméleti csillapodási görbék konszolidált geológiai viszonyokra számítva. A folyamatos vonalak felelnek meg az 50%-os, míg a pontozott vonalak a 84%-os konfidencia szintnek.

PGA-gyakoriság



3.7 ábra: PGA-gyakoriság 50 (folytonos vonal), 84 (szaggatott vonal) és 98 (pontozott vonal) százalékos konfidencia szinttel. Az ábra jobb alsó részén az ARUP által számított gyakorisági görbe látható.

PGA-gyakoriság



3.8 ábra: PGA-gyakoriság 50 (folytonos vonal), 84 (szaggatott vonal) és 98 (pontosított vonal) százalékos konfidencia szinttel. Az extrapolációval kapott görbék mellett az ábra jobb alsó részén az ARUP által számított gyakorisági görbe látható.