

# Paleorengések által gerjesztett maximális horizontális gyorsulásamplitúdók számítása a cseppkövek törőszilárdságának ismeretében<sup>1</sup>

SZEIDOVITZ GYŐZŐ<sup>2</sup>, LEÉL-ÖSSY SZABOLCS<sup>3</sup>, SURÁNYI GERGELY<sup>4</sup>, CZIFRA TIBOR<sup>2</sup>, GRIBOVSZKI KATALIN<sup>2</sup>

A Magyarország területén található Hajnóczy- és Baradla-barlangokban lévő cseppkövek egy része alkalmas a környezetükben az elmúlt néhány tízezer évben keletkezett földrengések erősségének felső becslésére.

Az ép cseppkövek paramétereiből megállapítható, hogy fejlődésük során milyen nagyságú horizontális gyorsulásértéknél nagyobb nem terhelhette őket.

Laboratóriumban megmértük a cseppkőmintákban terjedő rugalmas hullámok sebességét, sűrűségét és a minták törőszilárdságát.

Két azonos típusú szeizmográfval folyamatosan regisztráltunk a sas-hegyi dolomit felszínén és a felszín alatt 25 m mélységben lévő pincében. Azt tapasztaltuk, hogy a földrengések regisztrátuma jól megegyezett.

A helyszínen mértük a cseppkövek sajátfrekvenciáját és csillapodási tényezőjét. Mintát vettünk a Baradla-barlang Olimposz Termében lévő 5,1 m magas sztalagmit cseppkőből és meghatároztuk életkorát.

Megállapítottuk, hogy az elmúlt 100 000 évben a cseppkővet 1,14 m/s<sup>2</sup>-nél nagyobb horizontális gyorsulás nem terhelte. A vizsgált cseppkő környezetében lévő tektonikai szerkezetek (Darnó vonal) földrengés-potenciáljának megállapításánál figyelembe kell venni ezeket az eredményeket.

**Gy. SZEIDOVITZ, Sz. LEÉL-ÖSSY, G. SURÁNYI, T. CZIFRA, K. GRIBOVSZKI: Calculating the peak ground horizontal acceleration generated by paleoearthquakes from failure tensile stress of speleothems**

*In the Hajnóczy and Baradla caves in Hungary some of the suitable speleothems are appropriate for estimating the upper limit of largest earthquakes that occurred in the last few ten thousand years.*

*From the parameters of not damaged speleothems can be determined the upper limit of peak horizontal acceleration generated by paleoearthquakes during their formation.*

*In a laboratory the velocity of elastic waves, density and failure tensile stress of speleothem samples have been determined.*

*Earthquakes have been recorded on the surface and 25 m deep in dolomite cavity by two identical type horizontal seismographs. The seismograms and the power spectra of the earthquakes recorded at the two stations were similar.*

*The fundamental frequency and damping of speleothems have been measured in cavity. We took samples from dripstones of 5.1 m height in Baradla cave and determined their age.*

*It was established that these speleothems was not excited with a horizontal acceleration more than 1.14 m/s<sup>2</sup> during the last 100 000 years. This value has to be taken into account in the estimation of earthquake potential of tectonical structures at the vicinity of the examined speleothems.*

## 1. Bevezetés

A litoszféralemezek peremén keletkezik a nagy földrengések túlnyomó többsége. Lemezeken belül a nagy rengések ritkábbak. Akár 10 000 év is eltelhet ugyanazon forrásból kipattant két nagy rengés között [SCHOLZ 1990]. Ebből következik, hogy a hosszúnak tűnő 1–2 ezer éves földrengés-megfigyelésekből sem szabad messzemenő következtetéseket levonni egy területen várható legnagyobb rengés erőssé-

gére. Ennek alátámasztására elég, ha csak a 1976-os tangshani rengésre hivatkozunk [CHENG YONG et al. 1988].

A Kárpát-medencében keletkezett földrengések megbízhatónak tekinthető adatsora 1763-tól kezdődik. Igaz, hogy 456-tól vannak adataink, de ezek szórványosak és megbízhatatlanok [ZSÍROS 2000].

Ha a földrengések gyakoriságára és erősségére megbízhatóbb és realisabb eredményeket akarunk elérni, akkor a történelmi időkben keletkezett földrengések mellett a paleorengések maradó nyomait is kutatni kell. A történelmi és paleorengések felderítésének komoly akadályai vannak.

A történelmi rengésekről kevés adatunk van. Akkor sikerül részeredményeket elérni, ha kutatásaik során a történeteszek, régészek stb. mint melléktermékre, egy nagyobb földrengésre bukkannak. Ilyen esetben esetleg pontosítani lehet a földrengés nagyságát [SZEIDOVITZ, CSABAFI 1998], de átfogó és alapvetően új eredményekre nem számíthatunk.

A nagy történelmi rengések nyomot hagyhatnak bizonyos nem eliszapolódott, és nem háborított sírokban. Pél-

<sup>1</sup> Beérkezett: 2005. június 16-án

<sup>2</sup> Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet Szeizmológiai Főosztály, H-1112 Budapest, Meredek u. 18. E-mail: szeid@seismology.hu; czifra@seismology.hu; kgribovs@ggki.hu;

<sup>3</sup> Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Általános és Történelmi Földtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c. E-mail: losz@iris.geobio.elte.hu;

<sup>4</sup> Magyar Tudományos Akadémia–Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport, H-1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/c.

daként megemlíthetjük a Dunaújvárosban a felszín alatt 2 m mélységben talált két, 1600 éves szarkofágot. Az egyik tetejét leemelve egy háborítatlanul fekvő, mumifikálódott holttestet találtak [FEHÉR 1994]. Sajnos a sírban nem találtak könnyen dőlő mellékletet, csak egy szivacsot. Így csak azt mondhatjuk, hogy az elmúlt 1600 évben Dunaújváros környezetében nagy rengés ( $I \geq 6^\circ$ ) nem keletkezett [BISZTRICSÁNY 1974].

A neotektonikai és geomorfológiai vizsgálatok a paleorengések nyomait csak szerencsés esetben deríthetik ki, hiszen az erózió a felszíni és felszínközeli formációkat átalakíthatja.

A földrengések és a cseppkövek növekedése, elhajlása és törése közötti kapcsolat kutatása kvantitatív eredményekkel kecsegtetett, ezért az utóbbi időben elkezdődtek az ilyen irányú vizsgálatok. A paleorengések kutatásának legújabb eredményeit a CAMELBECK [2001] szerkesztésében megjelent könyvben foglalták össze. Az itt megjelent DELABY [2001]-cikk törött és eldőlő sztalagmitból egy paleorengésre következtet.

Külföldi eredmények [FORTI, POSTPISCHL 1984; 1988] azt mutatják, hogy a történelmi és paleorengések felderítésében a cseppkövek törésének, hajlásának tanulmányozása célravezető lehet.

A földrengések és a cseppkövek növekedése, törése és dőlése közötti kapcsolatot eddig hazánkban még nem vizsgálták, de a cseppkövek korára, növekedésére vonatkozó kutatások már eredményesek voltak [LAURITZEN, LEÉL-ÖSSY 1999; ZÁMBÓ et al. 2002; FORD, TAKÁCSNÉ BOLNER 1993]. Meghatározható a cseppkövek eltörésének, kidőlésének az időpontja. Természetesen a mérések megkezdése előtt a földtani környezet alaposan megvizsgálendő, az egyéb aszeizmikus okok, pl. csuszamlások, barlangi árvizek kizárandók.

CADORIN et al. [2001] a Hotton-barlangban fellelhető 34 minta vizsgálata során csupán egy olyat találtak, amely  $2 \text{ m/s}^2$  gyorsulásra tört, a többi cseppkő töréséhez 1 g-nél nagyobb horizontális gyorsulás amplitúdójú gerjesztésre volt szükség. Ezek a cseppkövek tehát nem lehettek a paleorengések indikátorai. Az egyetlen „használható minta” saját-frekvenciája is magas ( $\geq 20 \text{ Hz}$ ) volt, törőszilárdságának számításánál a rezonancia jelenségét nem vették figyelembe, hiszen a földrengések által gerjesztett hullámok frekvenciája  $20 \text{ Hz}$ -nél alacsonyabb (lásd később). A külföldi kutatások az elferdült, eltört cseppkövek és a földrengések, paleorengések kapcsolatára kívántak fényt deríteni.

Előzetes vizsgálataink arra utaltak, hogy hazánkban található olyan szálban álló cseppkövek, amelyek már viszonylag kis horizontális gyorsulás amplitúdók ( $< 1 \text{ m/s}^2$ ) hatására törnének. Ezért ezek a cseppkövek a vizsgált területen előforduló legnagyobb paleorengések indikátorai lehetnek.

## 2. Elméleti megfontolások

A következőkben megadjuk azokat az összefüggéseket, amelyek alapján a cseppkövek bizonyos típusainak a paraméterei számíthatók. Három típusú cseppkő viselkedését tanulmányozhatjuk: sztalaktit, sztalagmit és sztalagmát. A barlang mennyezetéről lecsüngő sztalaktitot saját-frekvenciájának és törésének meghatározásakor FERENCZ és PÉTERFALVI dolgozatára [2002] hivatkozunk. Jelen tanul-

mányunkban csak a barlang fenékszintjén felfelé növő sztalagmittal és a fentről és lentől növekvő és összeérő sztalagmáttal foglalkoztunk.

A sztalagmit saját-frekvenciáját az

$$f = \frac{1}{\pi\sqrt{3ED^2/16\rho H^4}},$$

a törési talajgyorsulást az

$$a_g = \frac{r\sigma_u}{2\rho H^2}$$

képlettel számoltuk [CADORIN et al. 2001], ahol

$H$  a sztalagmit hossza [m],

$D$  az átmérője [m],

$r$  a sugara [m],

$\rho$  a sűrűsége [ $\text{kg/m}^3$ ],

$\sigma_u$  a törési feszültsége [Pa],

$E$  a Young-modulusz [Pa],

$\pi \sim 3,14$ .

Abban az esetben, ha rezonancia jelenségek is fellépnek, a törési gyorsulás amplitúdót megadó összefüggése a következőképpen módosul:

$$a_g = \frac{r\sigma_u}{2\alpha H^2 \sqrt{(1 - (T/T^0))^2 + 4\alpha^2 (T/T^0)^2}}, \quad \text{ahol}$$

$$\alpha^2 = \frac{\log^2 \varepsilon}{1,9 + \log^2 \varepsilon}.$$

A csillapítás ( $\varepsilon$ ) ismeretében ( $\varepsilon$  értéke a cseppkő saját-frekvenciájának meghatározásához készített szeizmogramok egymást követő amplitúdóinak arányából számolható),  $\alpha$  meghatározható.  $T$  a gerjesztő erő változó periódusa,  $T^0$  a vizsgált cseppkő sajátperiódusa.

## 3. Cseppkövek sérülésmentes vizsgálata barlangokban

A barlangok irodalmi tanulmányozása [KORDOS 1984], szakértőkkel történt megbeszélések és személyes bejárások alapján a Hajnóczy- és a Baradla-barlangban találtunk olyan cseppköveket (sztalagmitok), amelyek paleorengés-vizsgálatra perspektivikusnak tűntek. (Az 1. ábra az említett barlangok elhelyezését mutatja az ország ÉK-i részén.)

Tekintettel arra, hogy ezeknek a karcsú, magas cseppköveknek in situ vizsgálata csak sérülésmentesen történhet, ezért csak a méreteik meghatározására és saját-frekvenciájuk regisztrálására szorítkoztunk. Ilyen méréseket először e munka szerzői hajtottak végre.

A cseppkövekre horizontális rezgésmérőket erősítettünk és a sztalagmitokat ráütéssel horizontális rezgésre kényszerítettük (2. ábra). A rezgések időbeli lecsengését regisztráltuk, és spektrumát meghatároztuk. A mérések eredményeinek egy példáját a Baradla-barlangban készült felvétellel szemléltetjük (3a. és 3b. ábrák, ld. a 94. oldalon).

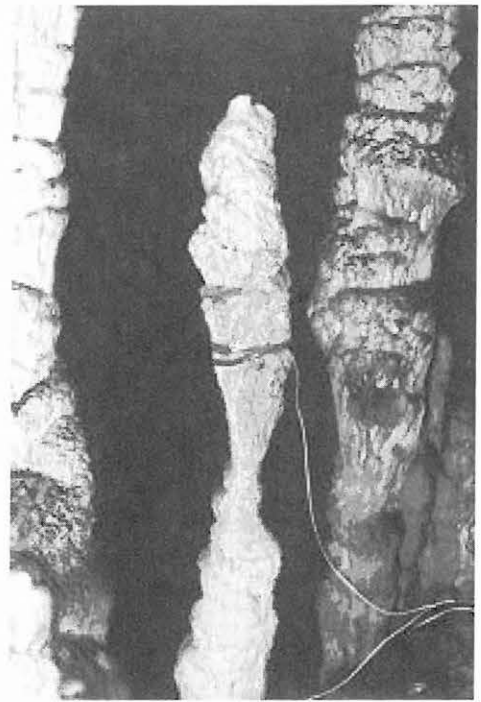
A cseppkövek nem mind egyszerű szerkezetűek. Ennek alátámasztására bemutatunk két — a Baradla-barlang Sárkány Termében található cseppkő (4. ábra) gerjesztésével készült — felvételt (5. ábra, ld. a 95. oldalon), amelyhez hasonló tudomásunk szerint még senki sem készített. A horizontális

gerjesztés hatására a cseppkő két egymáshoz közeli frekvencián lebegett. Jelenleg még nem vizsgáljuk, hogy az ilyen szerkezet hogyan viselkedik földrengés általi gerjesztés hatására.



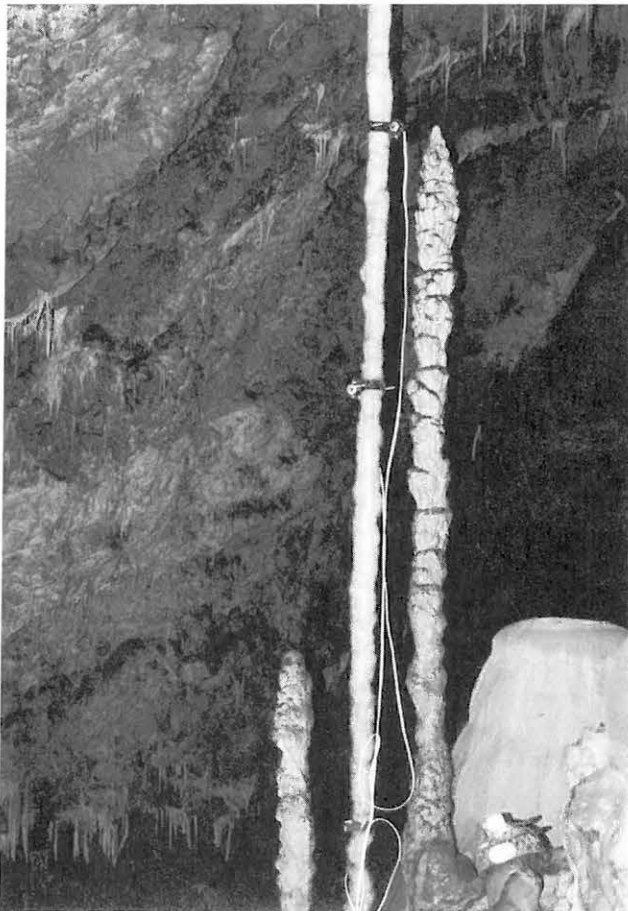
1. ábra. A Baradla- és a Hajnóczy-barlang elhelyezkedése az ország ÉK-i részén

Fig. 1. The location of the Baradla and Hajnóczy caves at the North-eastern part of Hungary



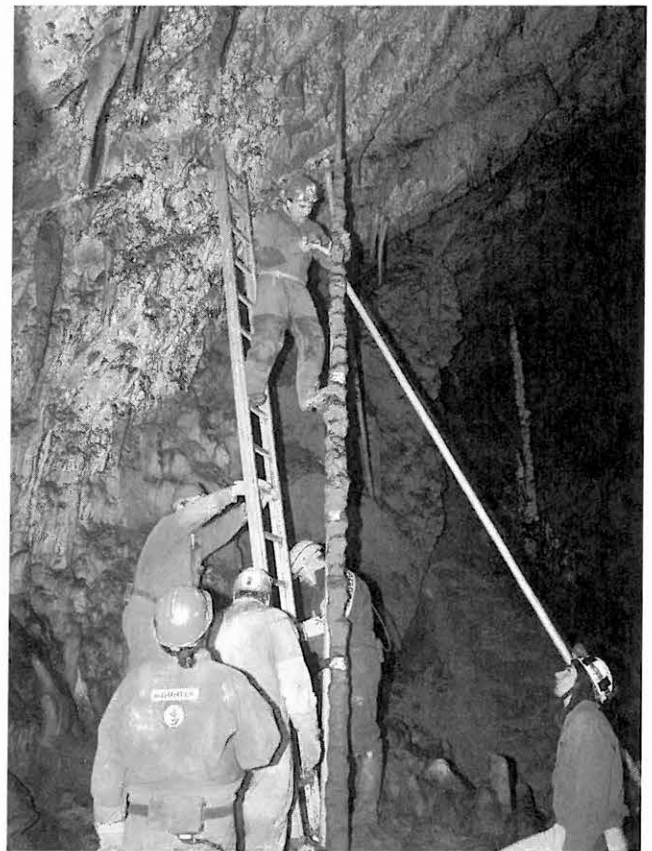
4. ábra. Baradla-barlang Sárkány Termében található, két sajátfrekvenciával rendelkező „lebegő” cseppkő

Fig. 4. The stalagmite with two different frequencies in the Sárkány hall of Baradla cave



2. ábra. Vizsgált cseppkő a Baradla-barlangban

Fig. 2. A dripstone being examined in Baradla cave

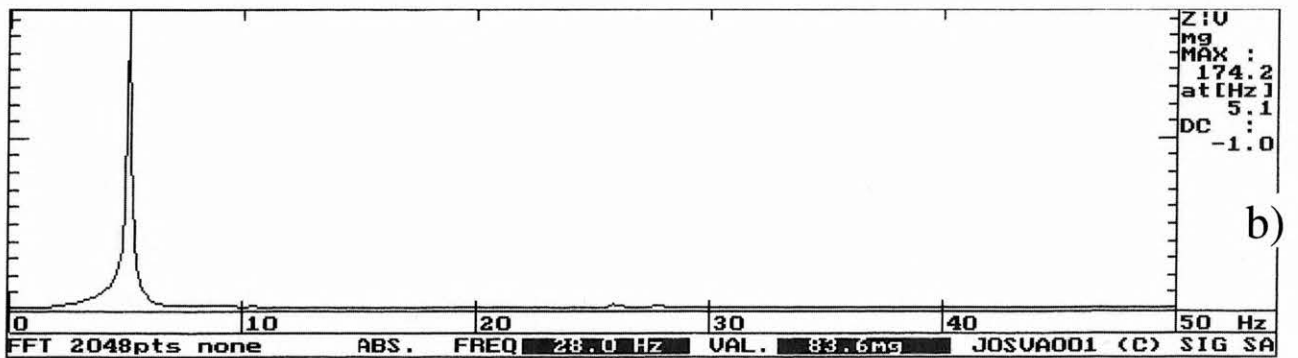
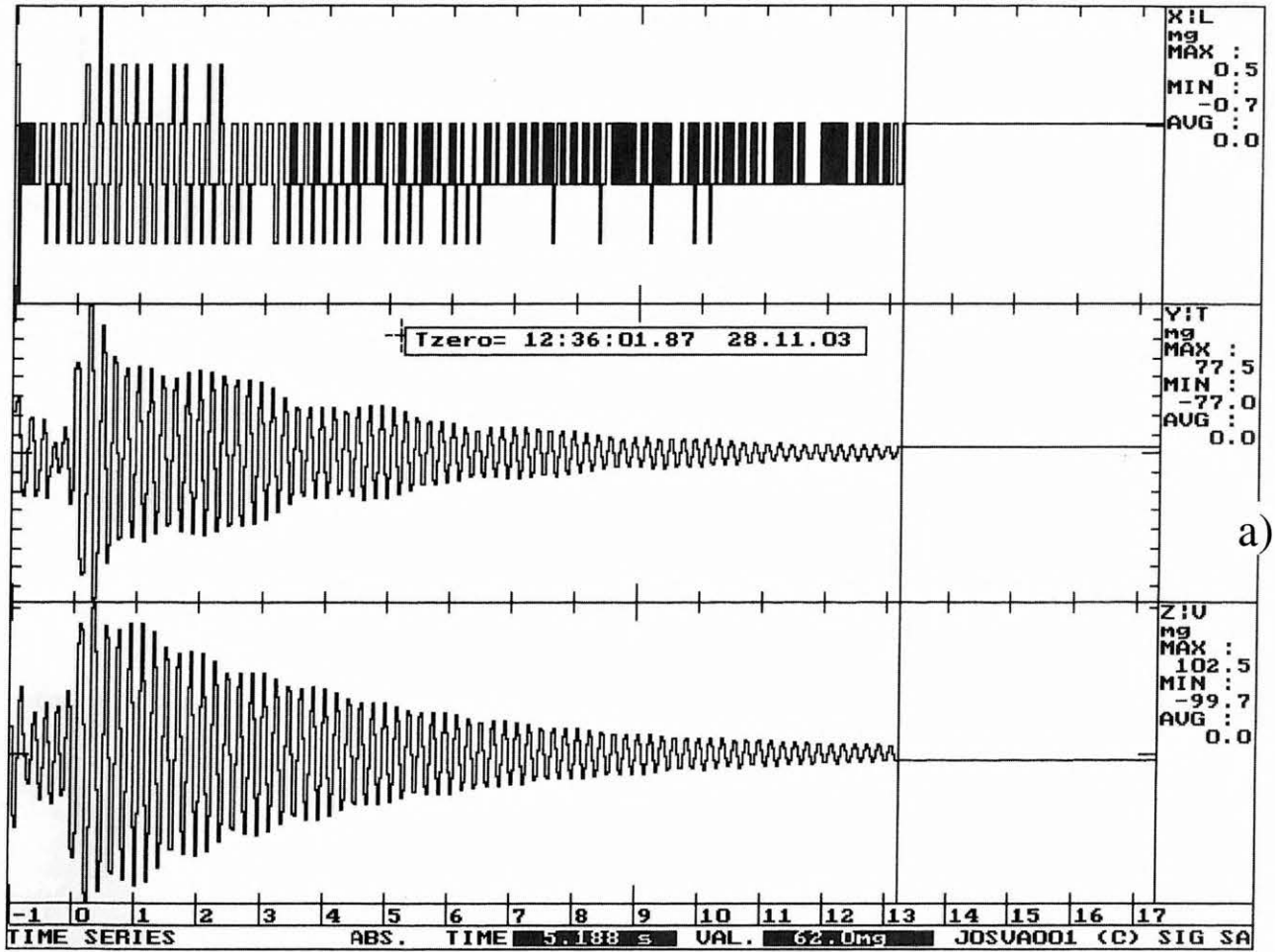


6. ábra. Mintavételi nehézségek az aggteleki Baradla-barlang Olimposz Termében található 5,1 m magas 7–10 cm átmérőjű sztalagmitről

Fig. 6. Sampling difficulties of the stalagmite high 5.1m with a diameter of 7–10 cm in Olimposz hall of Baradla cave

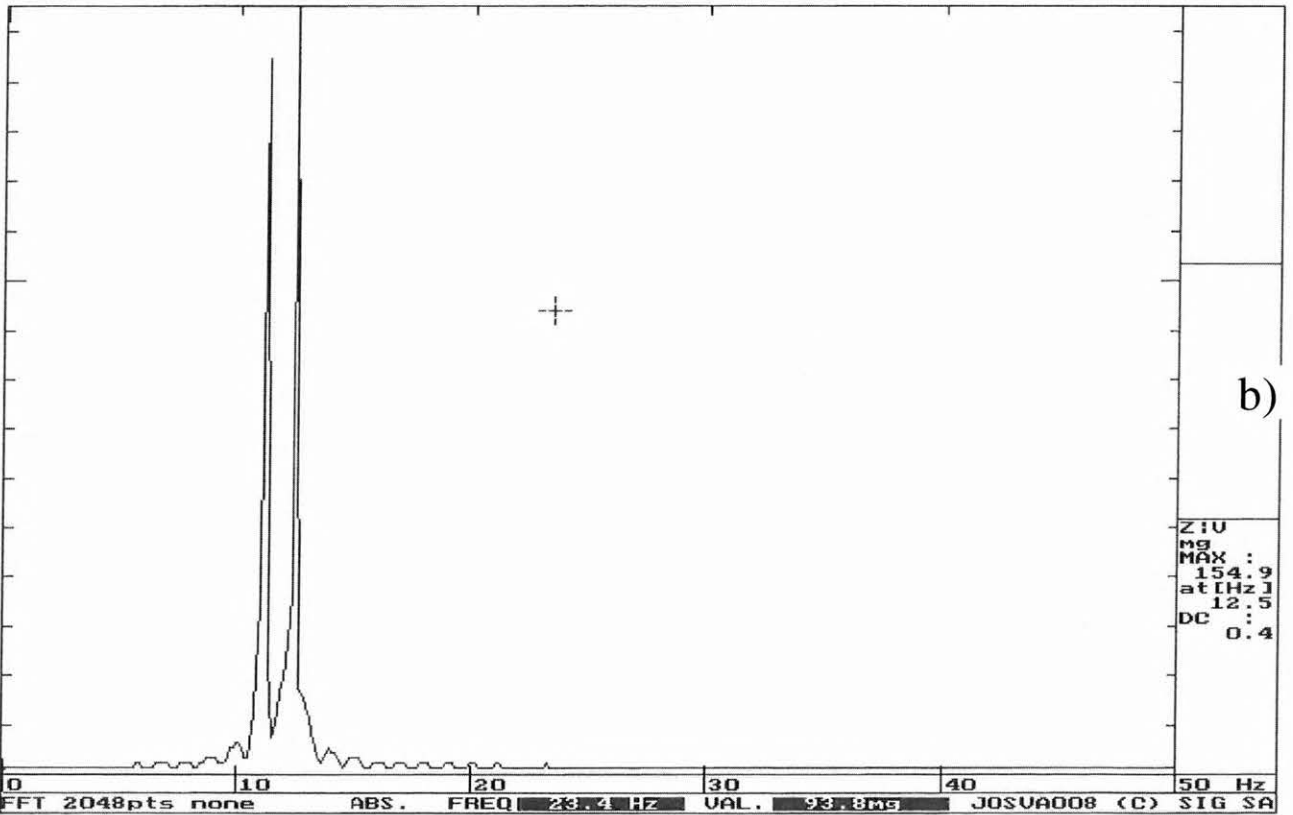
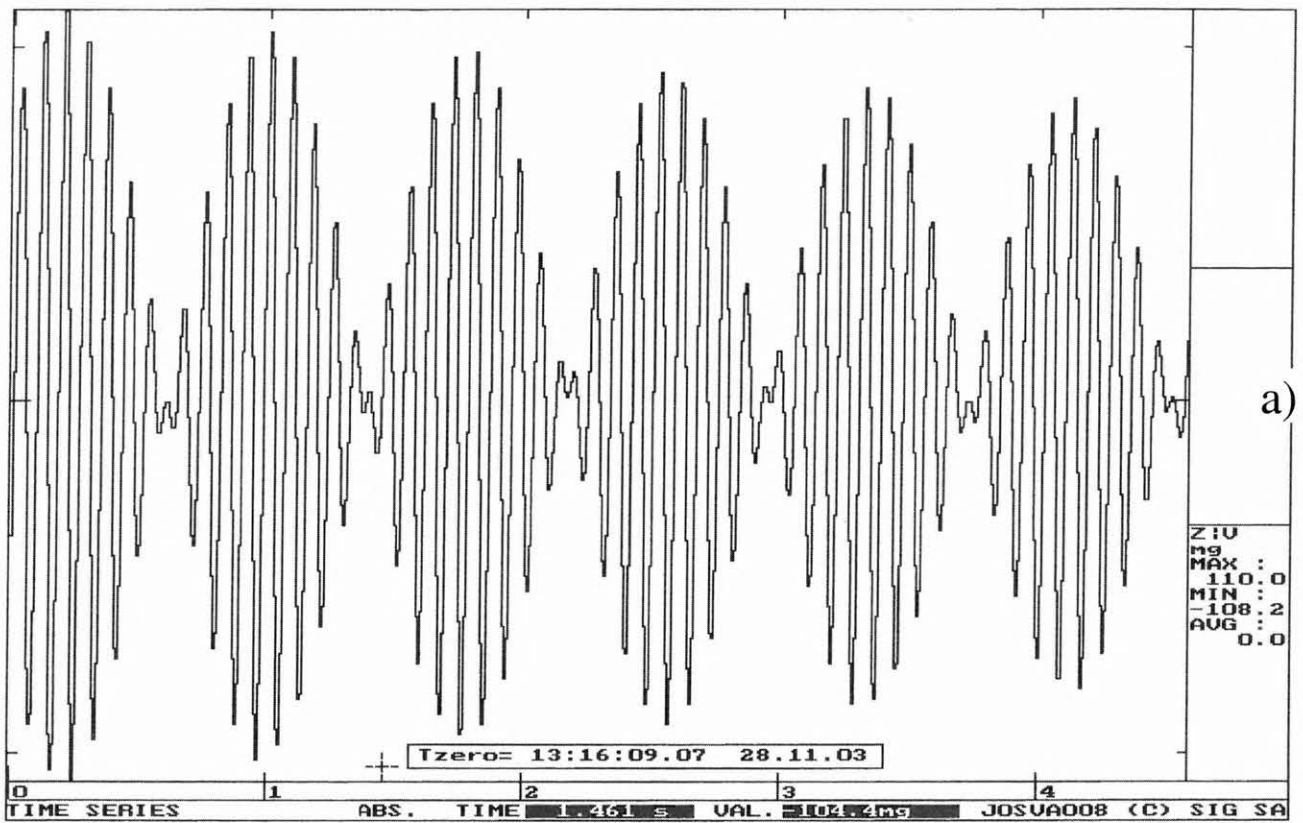
A Baradla-barlang Olimposz Termében találtunk egy 5,1 m magas, 7–10 cm átmérőjű sztalagmitot (6. ábra), amely az előzetes becslés alapján idősnek tűnt. Horizontális gerjesztéssel meghatároztuk sajátfrekvenciáját és csillapítá-

sát (7. ábra). A cseppkőből különböző magasságban mintát vettünk, hogy korát és növekedési sebességét meghatározzuk.



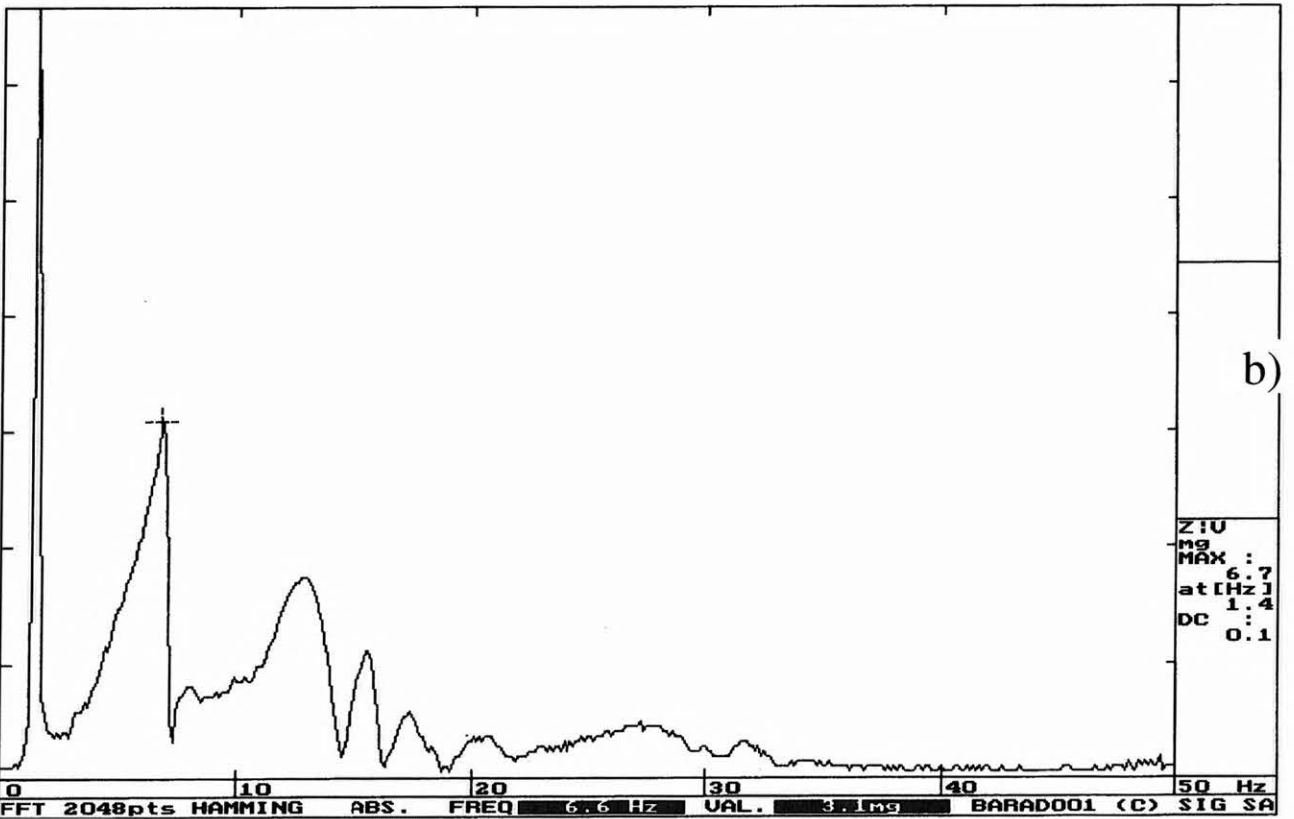
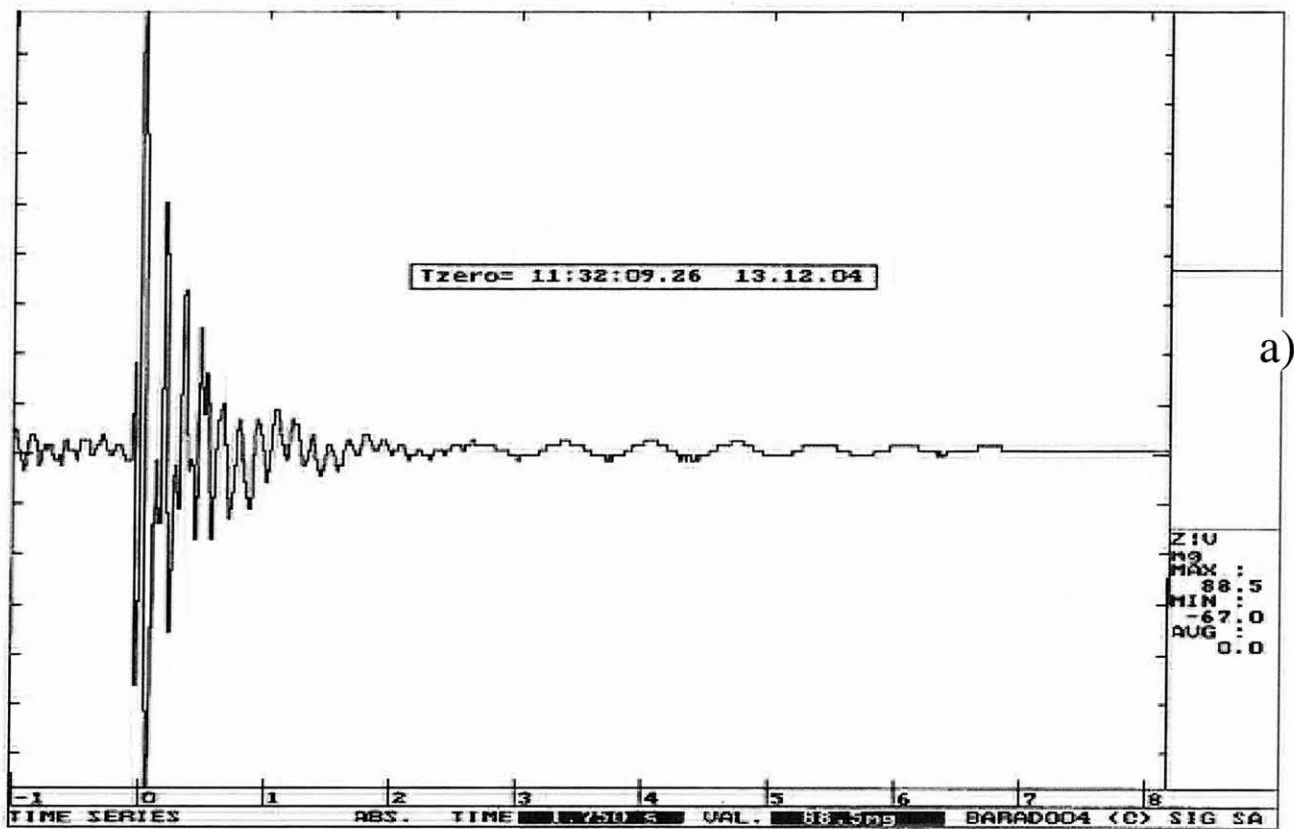
3. ábra. A Baradla-barlang Sárkány Termében készült felvétel. A 3,35 m magas sztalagmit rezgésének lecsengése (a) és spektruma (b). Az y tengely beosztása mGal

Fig. 3. A recording made in the Sárkány hall of Baradla cave. The attenuation (a) and spectra (b) of a stalagmite high 3.5 m. The y axis represents the horizontal acceleration amplitude in mGal



5. ábra. a) A Baradla-barlang Sárkány Termében található cseppkő (4. ábra) regisztrált lebegése. Az y tengelyen a gerjesztés horizontális gyorsulásamplitúdóját ábrázoltuk mGal-ban; b) A Baradla-barlangban lévő „lebegő” cseppkő spektruma két, egymáshoz közeli éles rezonanciacsúccsal

Fig. 5. a) The registered frequency of the dripstone in the Sárkány hall of Baradla cave (Fig. 4). On the y axis we represented the horizontal acceleration amplitude in mGal. b) The spectra of the dripstone with two frequencies with two sharp resonance peaks close to each other



7. ábra. A Baradla-barlang Olimposz terem 5,1 m magas sztalgmit a) sajátrezgésének időbeli lefutása, b) sajátfrekvenciája (1,4 Hz). A cseppkő 4,76 m magasságban repedt volt. A magasabb frekvenciájú mellékrezonanciák a cseppkő felső repedt részének mozgásából származhatnak

Fig. 7. The 5.1 m high stalagmite Olimposz hall of Baradla cave a) attenuation in time of the self-frequency b) self-frequency (1.4 Hz). The dripstone was cracked at a height of 4.76 m. The higher frequency side-resonances may originate from the movement of the cracked part of the dripstone

Az 1. táblázatban összehasonlítottuk a CADORIN et al. [2001] által megadott értékekből ( $E = 22\,000\text{ MPa}$ ,  $\rho = 2\,500\text{ kg/m}^3$ ,  $\sigma_u = 0,4\text{ MPa}$ ) számított sajátfrekvenciát a saját laboratóriumi méréseink eredményeiből számolt érté-

kekkel. Saját számításaink eredményei a 6. oszlopban találhatóak, a CADORIN és munkatársai által számított értékek pedig a 7. oszlopban. A cseppköveken ténylegesen mért értékeket a 8. oszlop tartalmazza.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Cseppkő típusa	H [m]	D [m]	Hivatkozás	$a_g$ [ $\text{m/s}^2$ ]	f [Hz] számított E=90000MPa	f [Hz] számított E=22000MPa	f [Hz] mért
1	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	3,35 (3,35–3,45)	0,075 (0,045–0,12)	3. ábra	0,267 1,136	5,4	2,7	5,1
2	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	3,9 (3,79–3,9)	0,07 (0,045–0,08)					25,8
3	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,85	0,29–0,12 bonyolult forma két kiszélesedő résszel	4. és 5. ábra			Előzetes adat nincs	Két frekv.: 11,3 és 12,5 lebegés: 1,25
4	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,84	(0,08–0,15)			10,1		9,8
5	Sztalagmit Baradla, Sárkány Terem	2,1	alsó részén: 0,085 felfelé kiöblösödik: 0,28					27,9
6	Sztalagmit, München Terem eltört oszlop	3,1 (fekü felett 0,9 m-re törött, 0,20 m-es elmozdulás)	0,28 (0,38×0,18 téglalap alakú)		23		125	
7	Sztalagmit Baradla, Olimposz Terem	5,1 (4,76-nál repedt)	0,1–0,075	6. ábra	0,34 1,14			1,4
8	Sztalagmit, Hajnóczy-barlang	3,6	0,05		0,15 0,658	3,2	1,6	4,0

1. táblázat. CADORIN et al. [2001] által megadott értékekből számított sajátfrekvenciák összehasonlítása a saját laboratóriumi méréseink eredményeiből számolt értékekkel

Table 1. Comparison of self-frequencies calculated from the values given by CADORIN et al. [2001] with the values calculated on the basis of our own laboratory measurements

A CADORIN et al. által használt  $\rho$  sűrűséget elfogadtuk ERKI Imre mérése alapján [SZEIDOVITZ et al. 2004]. CADORIN és munkatársai a cseppkövek törőszilárdságra sok különböző értéket kaptak, melyek közül számításaihoz a legkisebbet választották (0,4 MPa) Saját mintáink törőszilárdságát a Baradla-barlang Olimposz Termében lévő dölt cseppkőből GÁLOS Miklós [SZEIDOVITZ et al. 2004] határozta meg. Méréseinek átlagértékével számoltunk ( $\sigma_u = 1,7\text{ MPa}$ ). Ez az érték 4,25-ször nagyobb a CADORIN et al. által választott törőszilárdságnál.

A Sárkány Teremben lévő elfekvő cseppkőből vett mintákban mért sebességadatokból (ERKI Imre által) meghatározott  $E$ -re kapott 90 000 MPa is lényegesen meghaladja CADORIN et al. 22 000 MPa-os értékét.

A 90 000 MPa értékkel számolva a mért és a számított sajátfrekvencia (6. és 8. oszlop) jól megegyezett.

A táblázat 5. oszlopában megadtuk a  $\sigma_u = 1,7\text{ MPa}$ -al (a táblázat azonos sorának alsó értéke) és a 0,4 MPa-lal (a táblázat azonos sorának felső értéke) számolt értéket is.

A táblázatunkban nem tüntettük fel a rezonanciát is figyelembe vevő értéket. Ez azt jelenti, hogy merev testnek tekintettük a vizsgált cseppköveket, ezért azok a megadott horizontális gyorsulásnál a valóságban kisebb értékre törnek.

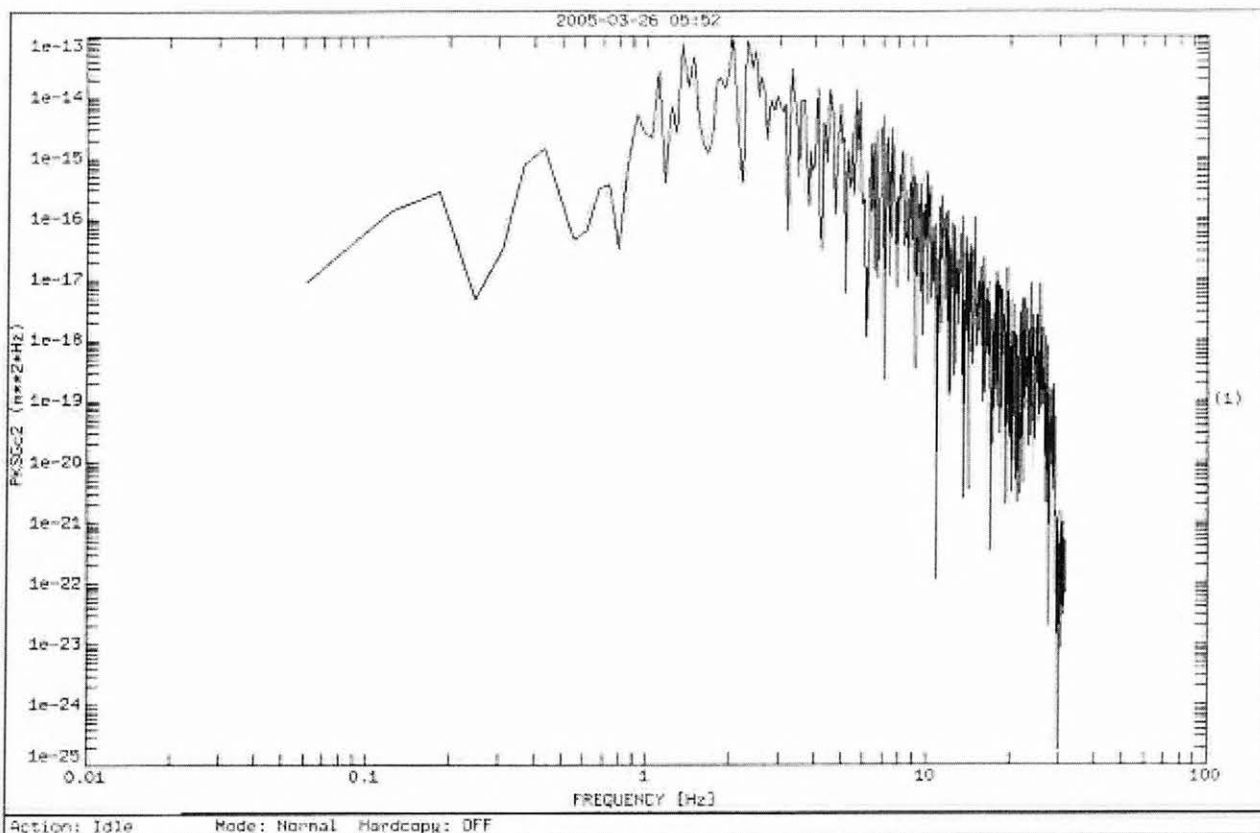
A cseppkövek növekedése közben törőszilárdságuk, koruk és sajátfrekvenciájuk változik. Bizonyos méretű cseppköveknél sajátrezgésük a földrengések frekvenciatartományába „nöhet”. Az általunk kiválasztott cseppkövek saját-

frekvenciája — az esetek többségében — az 1–10 Hz-es tartományban van. Megfigyelések szerint a közeli rengések domináns frekvenciasávja ebbe a tartományba esik. Ennek bizonyítására KISZELY Márta volt szíves az MTA GGKI és a Georisk Kft. által 2004-ben és 2005-ben regisztrált közeli rengések spektrumait rendelkezésünkre bocsátani. Ebben a dolgozatban csupán egy spektrum bemutatását (8. ábra) tartottuk célszerűnek. A földrengés-spektrumok további felvételei egy részletes OTKA (T038099 számú) jelentésben megtalálhatók.

#### 4. Földrengéshullámok intenzitásának változása a barlangokban

Annak vizsgálatára, hogy a felszínen érzékelt hullámok mennyit módosulnak ugyanazon a helyen, de mélyebben, zárt barlangban, két azonos típusú szeizmográfot telepítettünk a Sas-hegyen. Közülük az egyiket a Sas-hegy tetején a felszínen helyeztük el, a másikat pedig az első alatt, a sas-hegyi obszervatórium pincéjében.

Egy Romániában keletkezett (45.788N, 26.627E; 2004. október 27.; 20:34:36.8;  $M_L=5.6$ ) és egy hazai, Mezőörsön keletkezett (47.572N, 17.922E; 2004. október 14.; 09:44:51.7;  $M_L=5.6$ ) földrengést sikerült mindkét műszerrel regisztrálnunk. A regisztrátumokat a 9. és 10. ábrákon mutatjuk be.



8. ábra. Egy közeli rengés spektruma

Fig. 8. Spectra of nearby earthquakes

Az ábrák alapján megállapítható, hogy annak ellenére, hogy 25 m vastag porló dolomit van a két állomás között, a regisztrátumok és a regisztrátumok spektrumaik jó közelítéssel megegyeznek.

## 5. Mintavétel és kormeghatározás

Az álló cseppkő az Aggteleki Nemzeti Park fokozottan védett objektumában található (a Baradla-barlang Olimposz Termében), ezért a mintavétellel csak minimális kárt okozhattunk. Az 6. ábrán bemutatott cseppkő geometriája miatt a mintavétel komoly feladat elé állított minket. A törés elkerülésére a cseppkővet több helyen a mellé épített állványzathoz rögzítettük. Az alfa-spektrometria számára szükséges 3–4 g anyagot magfúrással (16 mm koronaátmérő) vettük négy különböző magasságból.

A mintafeldolgozás és a mérés az MTA–ELTE Geofizikai és Környezetfizikai Kutatócsoport Radiometriai Laboratóriumában történt. A bemért minta híg sósavas feltárása után vashidroxidos előkoncentráció történt, majd az urán-tórium elválasztást UTEVA gyantán szilárd fázisú extrakciós kromatográfiával végeztük. A forráskészítés  $\text{NdF}_3$  mikrocsapadékos együttleválasztással történt. Az alkalmazott nyomjelző egyensúlyi  $^{232}\text{U}$  volt, a kémiai ki-termelések 65–95% között voltak. A források aktivitását alacsony háttérű alfa-spektrométerekben mértük, a mérés-ideje 8–10 nap volt. A méréseket saját fejlesztésű kiértékelő eljárással és Monte Carlo-módszeren alapuló hibaszámítással értékeltük ki. Az eddigi elvégzett mérések eredményei a 2. táblázatban láthatók.

Az eredmények ellentmondásosságának okát többszöri mérés- és kiértékelés-ellenőrzés ellenére sem sikerült megtalálni. Keresztszennyezés és  $^{232}\text{Th}$ -szennyezés kizárható. Gyanú merült fel a mintavető fúrókorona festésének esetleges urántartalmával kapcsolatban, de az 5 napos kontrollmérésen a festék nem mutatott alfa aktivitást, amellet a mintavétel előtt a festék nagy részét eltávolítottuk. A mérések nagy szórása a rendkívül kis urántartalom és a rendelkezésre álló kis mintatömeg következménye. A további kontrollmérések elvégzéséig annyi nagy biztonsággal kijelenthető, hogy a cseppkő 3 m feletti része legalább 100 000 éves.

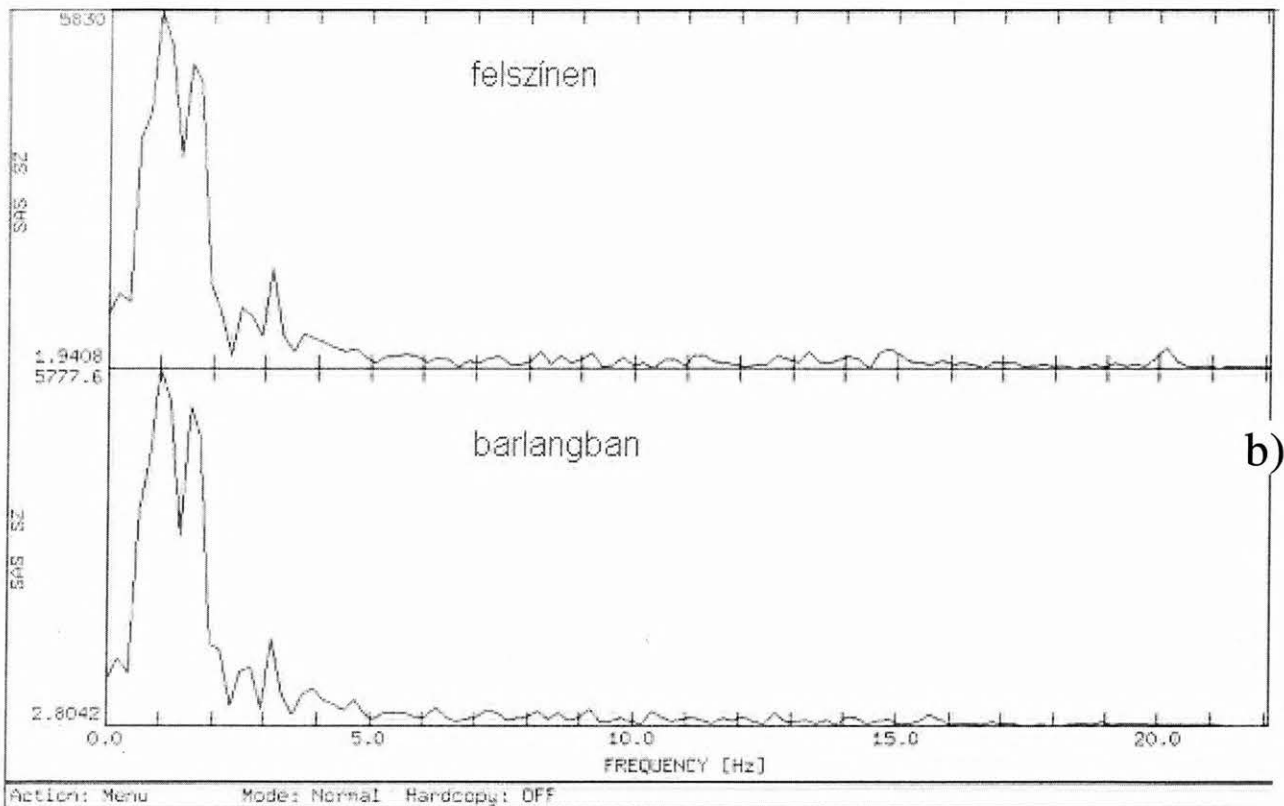
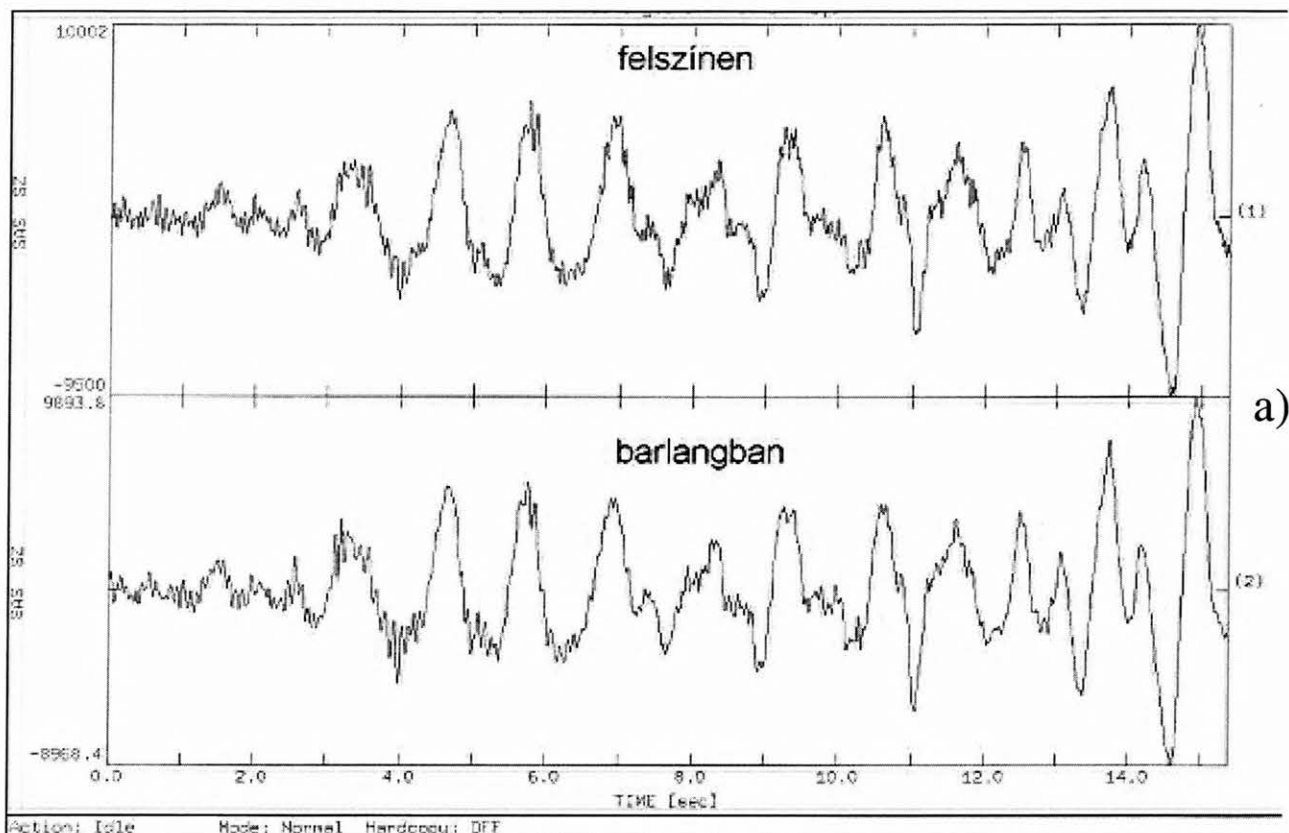
## 6. Következtetések

Az 1. táblázatból kitűnik, hogy az Olimposz Teremben lévő 5,1 m magas sztalagmit  $0,34\text{--}1,14\text{ m/s}^2$  horizontális gyorsulásértékre török. Még a nagyobb gyorsulás amplitúdó is alig haladja meg az (MSK-64) intenzitás skála 7 fokos ( $1\text{ m/s}^2$ ) szintjét.

Tekintettel arra, hogy ez a cseppkő nem fiatalabb 100 000 évesnél, ezért mondhatjuk, hogy ez alatt az idő alatt a vizsgált helyen  $7,5^\circ$ -os intenzitásúnál erősebb meg-rázottság nem lépett fel.

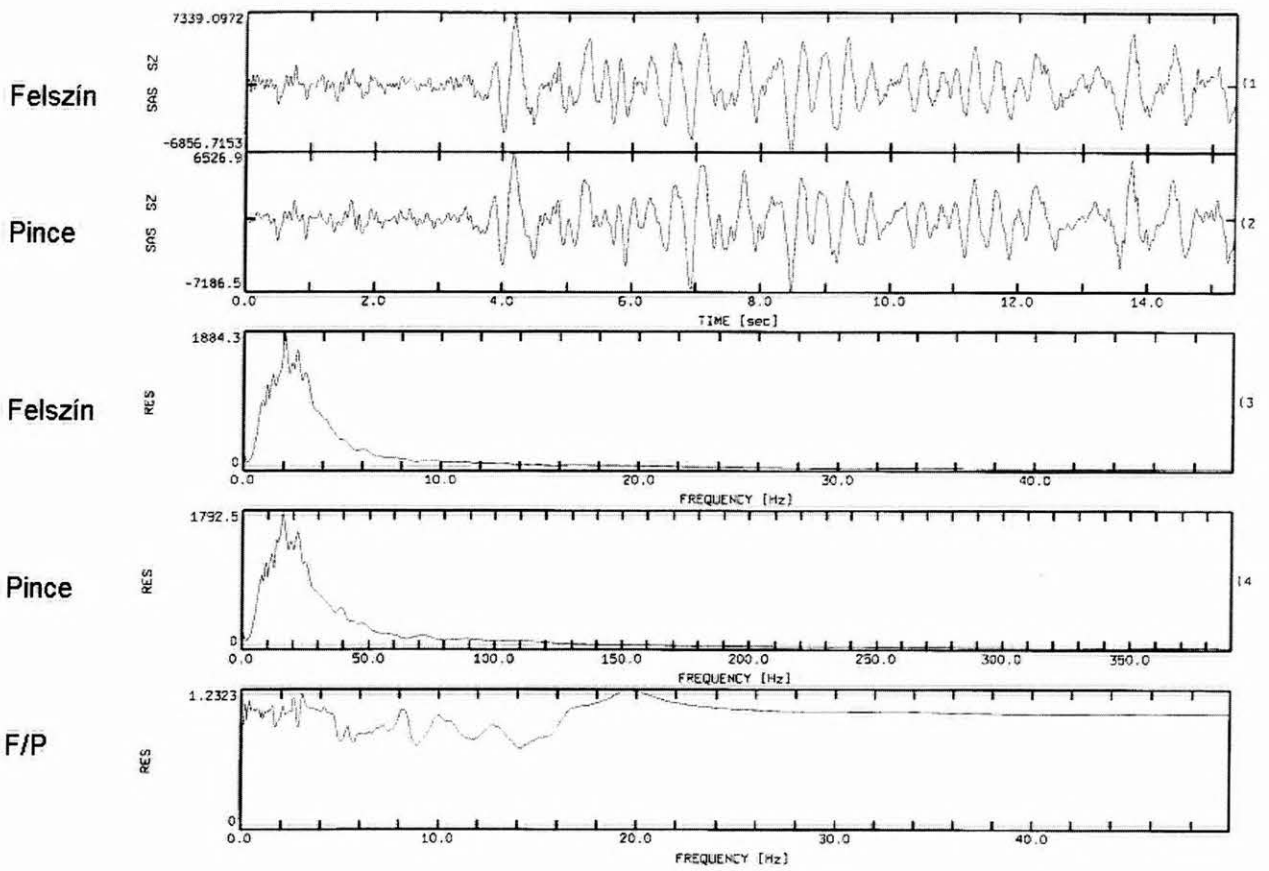
Vizsgálataink alapján tehát megállapítható, hogy azok a földtani szerkezetek, amelyek egy részét a 11. ábrán mutatjuk be, nem gerjesztettek az elmúlt 100 000 évben nagy paleorengést. Minden — különböző módszerrel — kiszámított földrengés-veszélyeztetettségi értéknek ezt az eredményt figyelembe kell venni.





9. ábra. Romániai földrengés felszínen és a sas-hegyi obszervatórium pincéjében mért horizontális komponenseinek regisztrátumai (a) és azok spektrumai (b). Az y tengelyen mGal-ban megadott érték szerepel

Fig. 9. Seismograms (a) and spectra (b) of the horizontal component of an earthquake in Romania, registered on the surface of Sas-hegy and in the cellar of the observatory. The y axis represents the horizontal acceleration amplitude in mGal



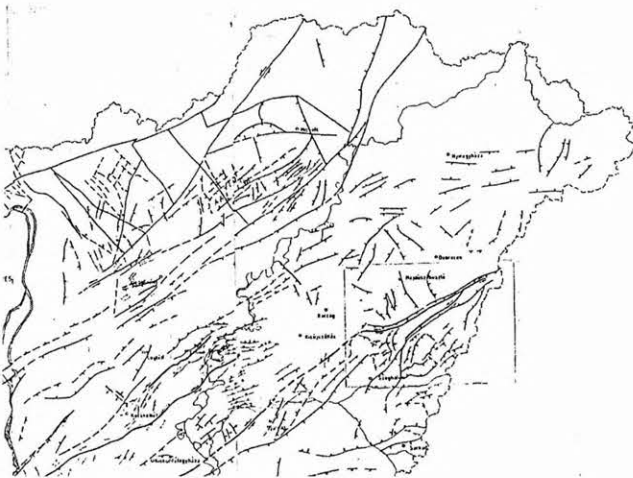
10. ábra. A mezőörsi rengés földregés-regisztrátumai (felső két kép), azok frekvenciaspektruma a felszínen és a barlangban (harmadik és negyedik kép) és a felszínen és a barlangban mért regisztrátumok amplitúdó-aránya (legalsó kép)

Fig. 10. Seismograms of the earthquake occurred in Mezőörs (upper two figures) and the spectra of the seismograms (the third and the fourth figures) and the ratio of amplitudes registered on the surface of Sas-hegy and in the cellar of the observatory (bottom figure)

Mintavételi hely magassága [cm]	A mag távolsága a cseppkő felületétől [mm]	Kor [év]	Hiba [év, 95%-os konfidenciaszint]	U-tartalom [ppm]
476	19–39	140 000	+29 000 / –24 000	0,034
390	19–39	138 000	+45 000 / –32 000	0,021
287	22–43	102 500	+22 500 / –19 000	0,020
287	3–22	102 500	+36 000 / –28 000	0,020

2. táblázat. A Baradla-barlang Olimposz Termében található 5,1 m magas, 7–10 cm átmérőjű sztalagmit kormeghatározási táblázat

Table 2. Age definition table of the stalagmite high 5.1m with a diameter of 7–10 cm in Olimposz hall of Baradla cave



11. ábra. Törésvonalak Aggtelek környezetében BARVITZ et al. [1990] szerint. (Az országhatár — pontvonal —, a Tisza és a Duna vonalának kivételével a térképen ábrázolt vonal mind recens törésvonal)

Fig. 11. Active faults around Aggtelek according to BARVITZ et al. [1990]. (The lines in the figure are recent faults except the lines of the country borderline, the rivers Tisza and Danube)

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány az OTKA T038099, T049713 és a T32433 sz. pályázatok támogatásával készült. Külön köszönet illeti meg GRUBER Pétert, az Aggteleki Nemzeti Park munkatárát a technikai segítségért.

## HIVATKOZÁSOK

- BARVITZ A., LAKATOS L., POGÁCSÁS Gy., RUMPLER J., SIMON E., UJSZÁSI K., VAKARCS G., VÁRKONYI L., VÁRNAI P. 1990: Magyarország tektonikai térképe, OKGT, GKV, MÁFI adatok alapján. M = 1: 500 000, Budapest
- BISZTRICSÁNY E. 1974: Mérnök-szeizmológia. Akadémiai Kiadó, Budapest 216 old.
- CAMELBEECK Th. (Ed.) 2001: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe. Luxembourg, p. 1–173
- CADORIN J. F. et al. 2001: Modelling of speleothem rupture. Proceedings of Workshop: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe (Ed.: CAMELBEECK Th.), Luxembourg
- CHEN YONG, KAM-LING TSOI, CHEN FEIBI, ZOU QIJIA, CHEN ZHANGLI 1988: The Great Tangshan Earthquake of 1976. Pergamon press. Oxford, New York, Beijing, Frankfurt, Sao Paulo, Sydney, Tokyo, Toronto, 153 p.
- DELABY S. 2001: Paleoseismic Investigations in Belgium Caves. Proceedings of Workshop: Evaluation of the Potential for Large Earthquakes in Regions of Present Day Low Seismic Activity in Europe (Ed.: CAMELBEECK Th.) Luxembourg, p. 45–48
- FEHÉR T. 1994: Aquincumi lovas. Babits Kiadó, 524 oldal
- FORD D., TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1993: Abszolút kormeghatározás és stabil izotóp vizsgálatok budai barlangi kalcitmintákon. Karszt és Barlang 1991, 11–18
- FORTI P., POSTPISCHL D. 1984: Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. Marine Geology 55, p. 145–161
- FORTI P., POSTPISCHL D. 1988: Seismotectonics and radiometric dating of karst sediments. Proc. Hist. Seismol. of Central-eastern Mediterranean Region ENEA – IAEA Roma, p. 312–322
- FERENCZ E., PÉTERFALVI Cs. 2002: Cseppkövek rezgéseinek és letörésük lehetőségeinek vizsgálata földrendések esetén. Témavezető GNÄDIG P. ELTE–TTK Atomfizikai Tanszék, p. 1–16
- KORDOS L. 1984: Magyarország barlangjai. Gondolat Kiadó, Budapest, 315 oldal
- LAURITZEN Stein-Erik, LEÉL-ÖSSY Sz. 1999: Előzetes koradatok egyes baradlai cseppkövekről. Karszt és Barlang 1994, p. 3–8
- SCHOLZ H. 1990: The mechanics of the earthquakes and faulting. Cambridge University Press, 467 p.
- SZEIDOVITZ Gy., CSABAFI R. 1998: Szombathely és környezetének földrendései. Magyar Geofizika 39, 3, 76–79
- SZEIDOVITZ et al. 2004: T038099. sz. OTKA éves beszámoló
- ZÁMBÓ L., FORD D., TELBISZ T. 2002: Baradla-barlangi cseppkőkoradatok a késő-negyedidőszaki klímaingadozások tükrében. Földtani Közöny 132, különszám, 231–238
- ZSÍROS T. 2000: A Kárpát-medence szeizmicitása és földrendés veszélyessége: Magyar földrendés katalógus (456–1995). MTA GGKI Szeizmológiai Osztálya, Budapest