

Maucha László

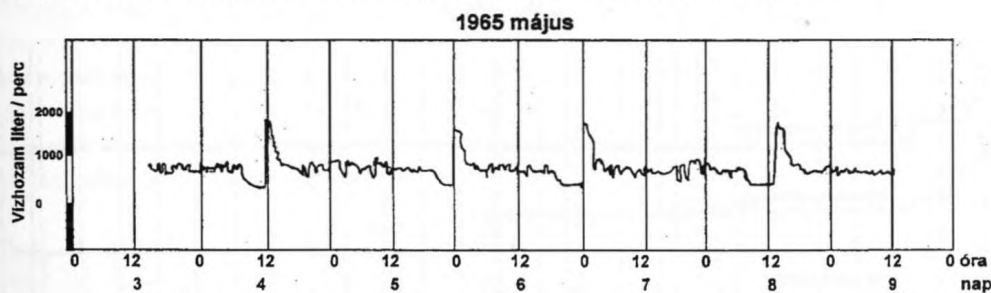
## A TRIÁSZ-KORÚ KARSZTOS KÖZETEK GEOFIZIKAI HATÁSOKAT FELNAGYÍTÓ KÉPESSÉGE

### Bevezetés

Dr. Papp Ferenc professzor 1957-ben létrehozta a Jósvafői Kutatóállomást, és Dr. Kessler Hubert a hatvanas évek elején a VITUKI-ban kidolgozta a forráshozam bukógátas regisztrálásának módszerét. Ezek az igen jelentős előzmények tették lehetővé, hogy 1964-ben megkezdjük a Jósvafő környéki karsztforrások folyamatos vízhozam-mérését. A korábbi vizsgálatok során megállapították, hogy nemcsak a Lófej-forrásnak vannak kitörései, hanem ugyanez a jelenség megfigyelhető a Nagy-Tohonya-forrás hozamváltozásában is (KESSLER H. 1954). Először a fenti két szivornyás forrás folyamatos hozamregisztrálására került sor. A karsztforrások műszeres vízhozam-mérése vezetett el a triász korú karsztos kőzetek geofizikai hatásokat felnagyító képességének meghatározására.

### Az első mérési eredmények

Magyarországon először figyeltük meg a karsztforrások folyamatos hozammérési eredményeit. A korábbi mérések általában havonként történtek, ami nem tette lehetővé az áradások időszakában lejátszódó jelenségek nyomkövetését. Már a vizsgálatok első időszakában kitént, hogy a mért források hozam-változásában nagyon jelentős a geofizikai hatások szerepe. Azt tapasztaltuk ugyanis, hogy a Lófej-forrás szivornyás kitörései túlságosan gyakran jelentkeznek 6, 12, 18 és 24 órakor. Az 1. ábrán feltüntettük, hogy volt olyan hét is, amikor csaknem minden kitörés délben és éjfélkor indult el. Az első év adatainak statisztikai feldolgozása nyomán szerkesztett óra-diagrammok (2. ábra) világosan megmutatták, hogy a kitörések kezdete az esetek 33 %-ában a fenti órákban alakul ki (MAUCHA L. 1967). Nemcsak a Lófej-forrás, hanem a Nagy-Tohonya-forrás esetében is közel azonos viszonyokat találtunk. A statisztikai eredmények alapján megállapítottuk, hogy az árapály-jelenség a tengerek vízjárásán kívül valószínűleg a felszín alatti karsztos vízfolyások hozam-változásában is szerepet játszik (BARTHA L. 1967). Az árapály-jelenség periódus ideje 12 óra 50 perc. A jelenség oka a luniszoláris hatás, melynek következtében a Hold és a Nap gravitációs hatásának vektoriális összege periodikusan levonódik a Föld mindenkor gravitációs térerősségének értékéből.

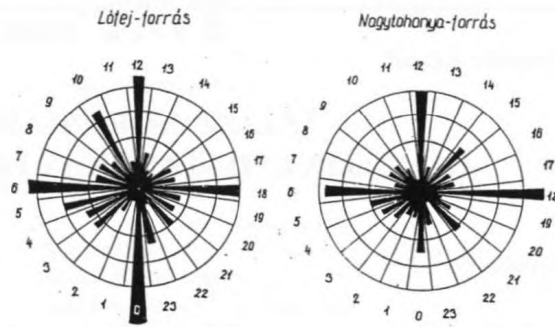


1. ábra. A Lófej-forrás szivornyás kitöréseinek gyakori megjelenése éjfélkor és délben

Fentiek alapján megállapítottuk, hogy amennyiben a karsztforrások hozam-változásában szerepet játszik az árapály-jelenség, akkor az csak a szilárd kéregben kialakuló deformációk következtében jöhet létre. Ebben az esetben a több száz méter mély függőleges litoklázisok (ill. az annak mentén kialakult barlangjáratok) szélességének kis mértékben ingadoznia kell. Elhatároztuk, hogy a kérdés megoldása érdekében ún. litoklázis-

fluktuáció méréseket fogunk végezni a Vass Imre-barlang közel É–D-i irányú Háromszög-folyosójában. Gádos Miklós alakított ki megfelelő mérőhelyet a kérdés megoldására. Két befalazott acélső között egymás mellett egy mikrométer-állást létesített a folyosó szélességének dilatáció mérésére, valamint egy-egy mikrométerállást létesített a függőleges, ill. a vízszintes (folyosó-hossz-irányú) nyíró mozgás vizsgálatára is. Ilyen módon vált lehetővé a szemben álló két mészköbökké relatív térbeli elmozdulásának vizsgálata. (GÁDOS M. 1969, SÁRVÁRY I. 1970). 1966 augusztus

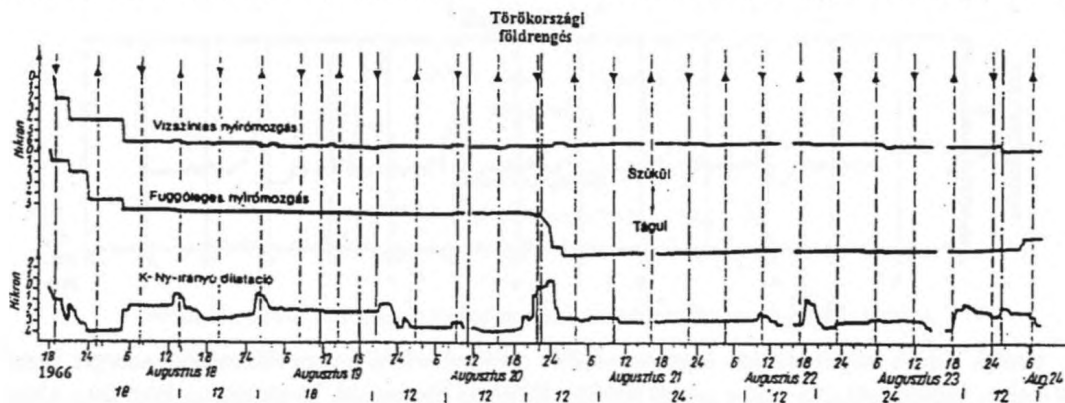
18 és 24. közötti időszakban egy hétig tartó és éjjel-nappal váltott műszakban végzett mérés során 10 percnként leolvastuk a mikrométer-órák állását. A mikrométeres beosztás következtében becsülni tudtuk a tizedes értékeket is. A kapott eredményt a 3. ábrán mutatjuk be. A legalul ábrázolt keresztirányú dilatációs görbén jól látható, hogy a vizsgált barlangfolyosó szélessége 6 óra egész számú többszöröseiben 1–2 mikrométeres szűkülést szenvedett. Az elmozdulások a szivornyás kitörésekhez hasonlóan több alkalommal 6, 12, 18, és 24 óra közelében történtek. A legnagyobb 5 mikrométeres szűkülést augusztus 20–21-én egy törökországi földrengés eredményezte. A középen és felül ábrázolt nyíró-mozgásokban alig találtunk elmozdulást, kivéve az említett földrengés időszakát, amikor 5 mikrométeres vetődés is keletkezett a vizsgált törésben a függőleges nyíró-mozgás tanúsága szerint. A vizsgálat időszakában a barlang forrásának (Kis-Tohonya-forrás) nem volt áradása. Sikertült tehát mérésekkel igazolni, hogy a litoklázis-fluktuáció valóban létezik, de az árapály-hatás folyamatos változását ekkor még nem tudtuk megfigyelni (MAUCHA L. 1968).



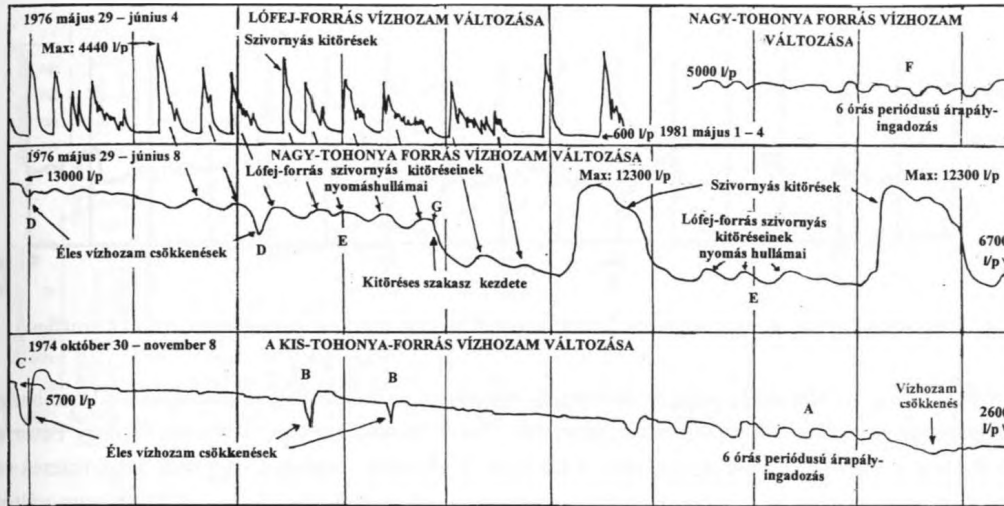
2. ábra. A Lófej- és Nagy-Tohonya-forrás kitörési gyakorisága 6, 12, 18 és 24 órákor

### A források hozamának árapály eredetű ingadozása

Feltételeztük, hogy a szivornyás-források különleges kitörési gyakorisága azért alakul ki, mert áradások időszakában a szivornyát töltő felszín alatti patakknak is 6 órás periódusú hozam-változásai vannak. Ezeket az ingadozásokat a Lófej-forrás esetében az áradások vége felé megszűnő kitörések utáni időszakban találtuk meg. (6. ábra). Gádos Miklós óránkénti méréssel már 1966-ban megfigyelte a Kis-Tohonya-forrás 6 órás periódusú hozam-változását. A folyamatos mérés bevezetése után igazolni lehetett ezt a jelenséget. A 4. ábra alsó sorában az utolsó előtti három napon tüntettük fel a Kis-Tohonya-forrás 6 órás periódusú árapály-ingadozását (A). Az előtte lévő hat nap időszakában három éles vízhozam-csökkenést figyelhetünk meg (C, B, B).



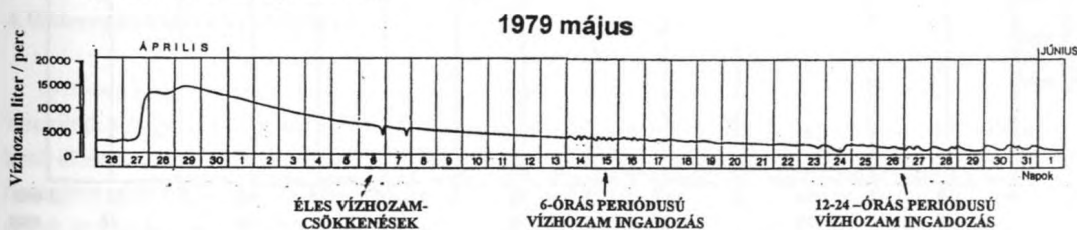
3. ábra. A Vass Imre-barlangban történt első litoklázis-fluktuáció mérés eredménye 1966. augusztus 17–24. közötti időszakban



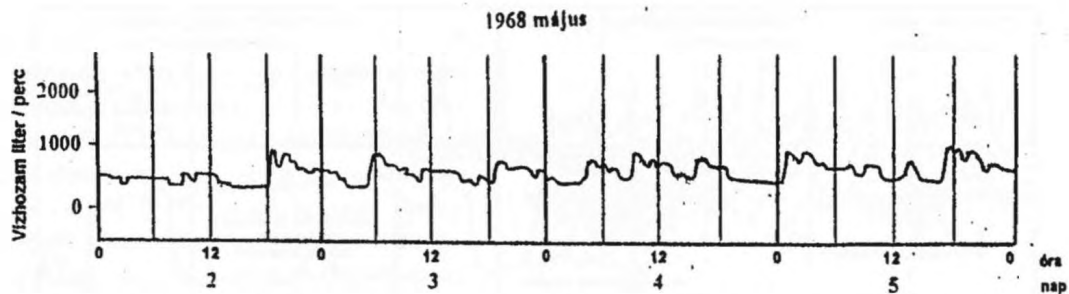
4. ábra. A Lófej, a Nagy-Tohonya- és a Kis-Tohonya-forrás jellegzetes vízhozam-változásai

Ilyen változások a 6 órás periódusú ingadozás után is megfigyelhetők kisebb hozam-csökkenések formájában. A statisztikai vizsgálat során kiderült, hogy ezeket a jelenségeket csaknem 50 %-ban földrengés-hatás hozza létre (MAUCHA L. 2003). A legnagyobb, 3000 l/perces éles vízhozam-csökkenést 30 év alatt egy alkalommal ugyanilyen gyakorisággal a Vecsem-forrás hozam-idősorában is megtalálható (MAUCHA L. 1998). Az ábra középső sorában a Nagy-Tohonya-forrás vízhozam-idősorát tüntettük fel. Az első három napon itt is láthatunk két éles vízhozam-minimumot (D). A többi pozitív pulzációt ennél a forrásnál a Lófej-forrás szivornyas kitéréseinek átlag 4 órás késéssel megjelenő nyomáshullámai okozzák (E), melyek jelenléte zavarta az árapály eredetű változások megfigyelését. E víznyelő kapcsolatból eredő változást először Szilvay Péter ismerte fel, melyet utólag nyomjelzéssel lehetett hitelesíteni. Az ábra felső sorában az utolsó három napon mutatjuk be a Nagy-Tohonya-forrás 6 órás periódusú árapály eredetű ingadozását (F). Ezek a változások általában a szivornyas kitérés időszakok utáni kisebb hozam-tartományban jelennek meg. A középső sorban a negyedik nap végén a kitérés szakasz kezdete azt a pillanatot jelzi (G), amikor az áradás miatt nyomás alá került szivornya megkezdte üritéseit. Az ugrásszerű vízhozam-csökkenést a szivornya első feltöltődése hozza létre. Az 5. ábrán bemutatjuk, hogy a 30 éves folyamatos mérések során egyedül a Kis-Tohonya-forrás hozam-változásában lehetett egy hónapon belül rendszeresen megfigyelni a 6 és 12 és a látszólag 24 órás periódusú árapály-ingadozást, valamint az ezek előtt és után jelentkező éles ill. kevésbé éles földrengés eredetű hozam-csökkenéseket.

Összesen négy forrásnál észleltünk rendszeresen megjelenő árapály-jelenséget a hozam-változásban. A Vecsem-forrás esetében leggyakrabban 6 órás periódusú árapály-ingadozást lehet megfigyelni, amely jelenség tíz napnál hosszabb ideig is jelentkezik. (7. ábra). Árapály eredetű hozam-változást csak azoknál a forrásoknál találtunk, melyek vízgyűjtő területe részben wettersteini dolomitból épült fel. A Pasnyag-forrásnál sok év alatt csak egy-két alkalommal regisztráltunk ilyen jellegű geofizikai hatást a vízhozam-idősorban, ezért ennek tárgyalásával nem foglalkozunk.



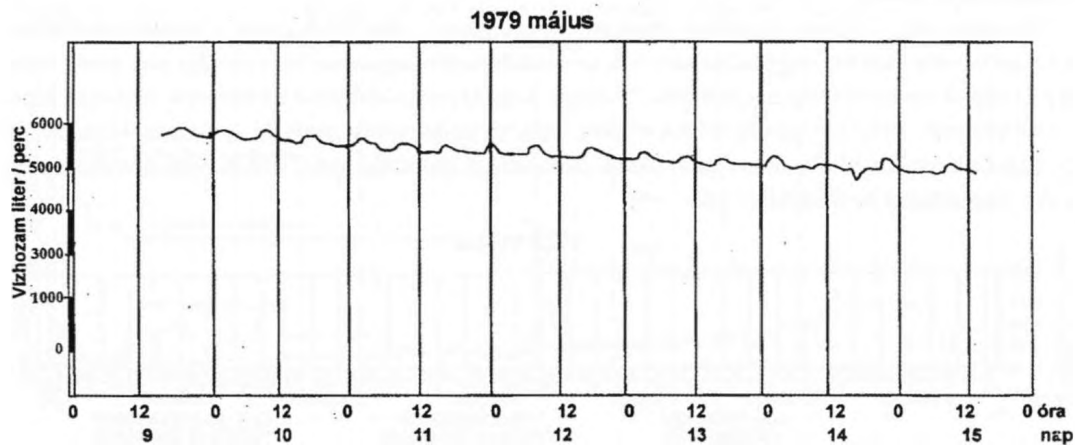
5. ábra. A Kis-Tohonya-forrás árapály ingadozásának három különböző formája



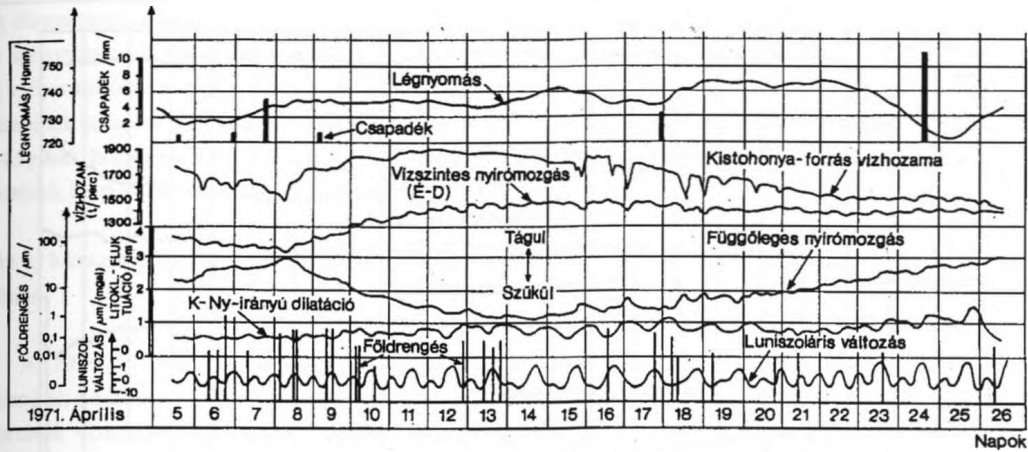
6. ábra. A Lófej-forrás 6 órás periódusú árapály-eredetű hozam-ingadozása a kitörések utáni időszakban

Az első litoklázis-fluktuáció megfigyelés időszakában még nem mértük folyamatosan a Vass Imre-barlang vizeit felszínre hozó Kis-Tohonya-forrás vízhozamát. Ennek beindulása után 1971-ben György Péter egy olyan fluktuáció-mérő elektronikus berendezést tervezett és létesített, amelynek nagyítása tízezerszeres volt. Szerettük volna megismerni, hogy milyen kapcsolat van a litoklázis-fluktuáció- és a forráshozam-változás között. A mérőállás acélsöveit is nagyon kis hőtágulású invar-acél csövekre cseréltük ki. A 8. ábrán mutatjuk be az 1971. április hó 5–26. közötti időszak változásait. Megállapítható, hogy a barlangjárat szélességének napi ingadozása általában nem volt nagyobb fél mikrométernél, és ez a mozgás igen jó kapcsolatban áll az alatta ábrázolt luniszoláris-változással (12 és látszólag 24 órás periódusú ingadozás). A függőleges és vízszintes nyírómozgások meglepő módon egyidejűek a Kis-Tohonya-forrás árapály- ill. földrengés-eredetű változásaival. Meglepetést okozott, hogy a nyíró mozgások a forrás áradás alakját is követik. Jól látható, hogy a forrás éles hozam-csökkenései nem minden esetben állnak kapcsolatban a Kutató Állomáson mért földrengésekkel. A vizsgálat legfontosabb eredménye az volt, hogy bizonyítani lehetett a luniszoláris-ingadozás, a litoklázis-fluktuáció és a forráshozam-változás közötti kapcsolatot (MAUCHA L. 1977).

Az 1979. április 15–június 16. közötti időszakban végzett litoklázis-fluktuáció mérés azonban megmutatta (9. a. b. c. ábra), hogy nagy árvíz időszakában mindhárom fluktuációs összetevő alakja hasonlóan változik, mint a Kis-Tohonya-forrás áradási hozam-idősora. Ennek felismerése után merült fel az elképzelés, hogy nemcsak az árapály-hatás, hanem a csapadék súlyterhelése is deformálja a karsztos kőzetet. E megfigyelés sorozat alapján bizonyítani lehetett, hogy a 6 órás periódusú forráshozam-változás időszakában volt olyan nap (1979. május 17.), amikor a forráshozam-változással együtt a litoklázis-fluktuáció mindhárom komponense is 6 órás-periódus szerint ingadozott. Ezen kívül éles vízhozam-csökkenéskor is igen jó kapcsolatot lehetett megfigyelni litoklázis-fluktuáció és a forráshozam változása között. (1979. május 24.). Az eredeti elképzelések tehát teljes mértékben

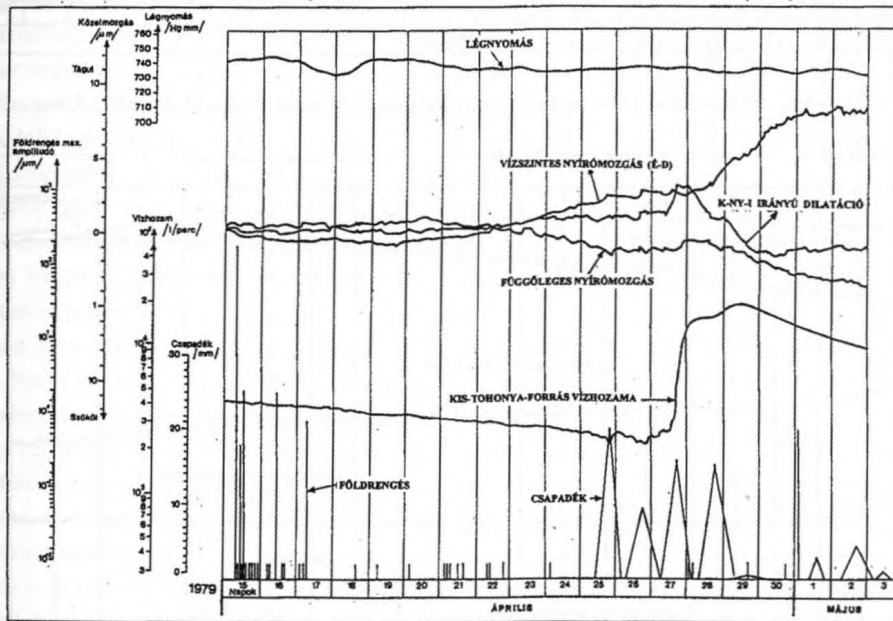


7. ábra A Vecsem-forrás tartósan 6 órás periódusú hozam-ingadozása



8. ábra. A második litoklázis-fluktuáció-mérés eredménye 1971 április 5–26. közötti időszakban

igazolást nyertek. Egy-egy törésben azonban nem feltétlenül jelenik meg a 6 órás periódusú árapály-ingadozás valamennyi hulláma, mivel a forrásnál a sok ezer törés mozgásából származó hozam-változás statisztikus átlaga mérhető. Az árapály-jelenség a forráshozamban csak a csapadékos áradások időtartamának második felében jelenik meg, mert csak ilyenkor működik a litoklázis-fluktuáció a karsztos töréshálózatban.

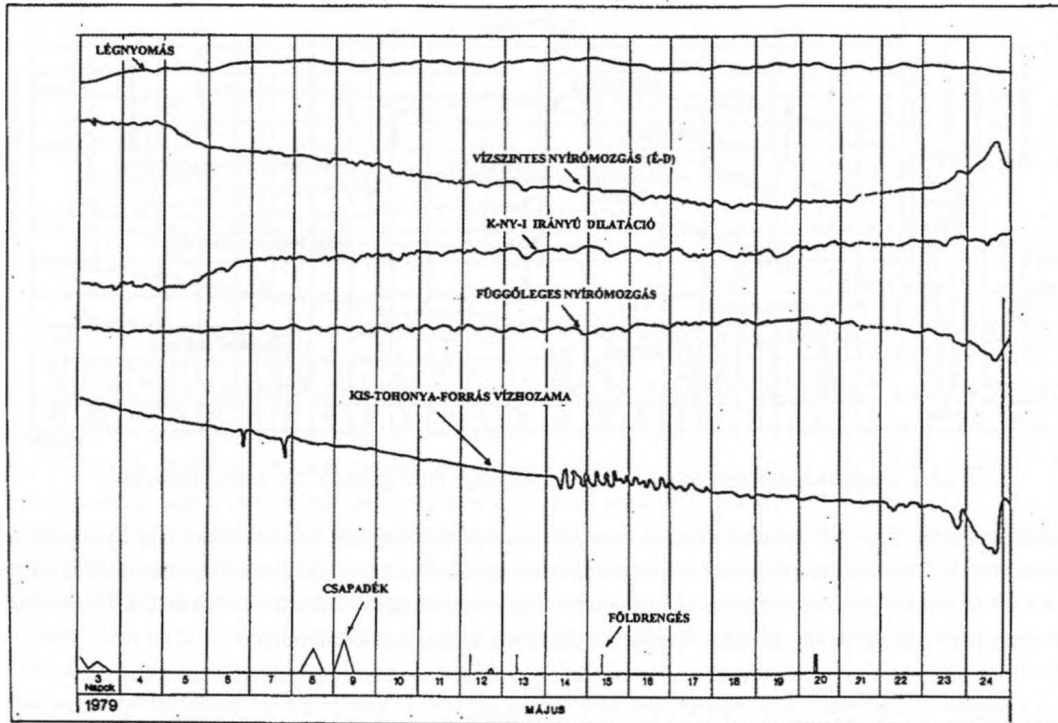


9. a. ábra. A harmadik litoklázis-fluktuáció-mérések eredménye 1979 április 15–május 3. közötti időszakban

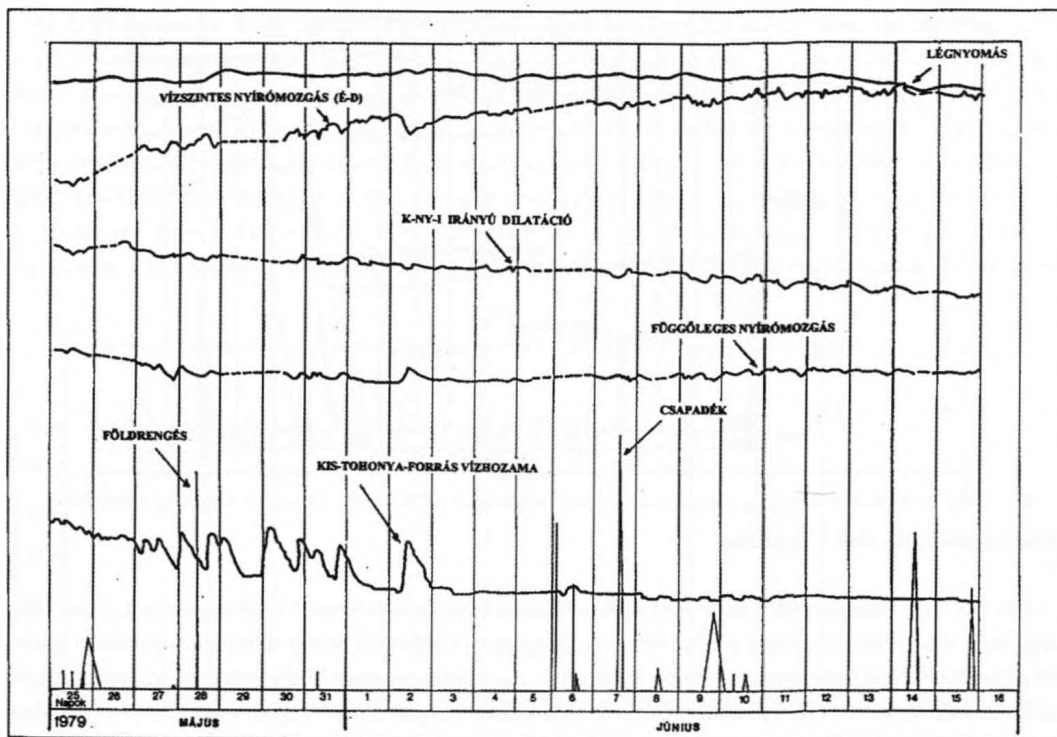
#### A földrengés-hatás első vizsgálata

1970-ben még nem ismertük, hogy milyen forráshozam-ingadozás tartozik a földrengésekhez. Ezért megvizsgáltuk a Nagy-Tohonya-forrás 1965–1969-évi jellegzetesen különböző típusú vízhozam-változással rendelkező időszakait abból a szempontból, hogy a fenti 5 év alatt összesen hány földrengés esett az egyes típusok összegzett időtartamára. A 10. ábra alsó részén tüntettük fel a vizsgált hozam-változás típusokat és felül ábrázoltuk az ezekhez tartozó földrengés számot. A különböző hosszúságú időszakok miatt a földrengések gyakoriságát azokkal a számokkal jelöltük, amelyek a talált földrengés-szám és az időtartam hányadosából adódtak.





9. b. ábra. A fluktuáció-mérési eredmények folytatása 1979 május 4–24. közötti időszakban



9. c. ábra. A fluktuáció-mérési eredmények befejeződése 1979 május 25. és június 15. közötti időszakban

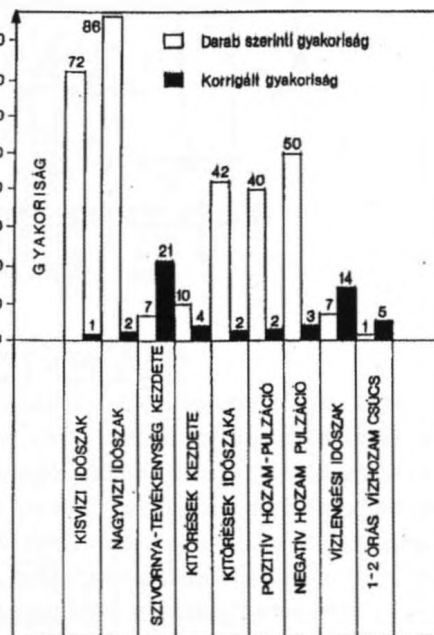
A diagrammon a hányados értékét fekete oszlopokkal jelöltük. A legnagyobb fajlagos földrengési gyakoriságot a szivornya-tevékenység megindulásának kezdetére kaptuk (4. ábra, G). A második legnagyobb érték pedig a vízhozam-idősor ingázó szakaszára esett (vízlengési-időszak). Amikor később megállapítottuk, hogy a földrengések hatására igen gyakran éles vízhozam-csökkenések keletkeznek a forráshozam változásban, akkor vált világossá, hogy ezek a hozam-csökkenések néhány órával időben előbbre hozzák a szivornya-tevékenység kezdetének időpontját (MAUCHA L. 1998.)

#### Az új karsztmodell és a geofizikai változások mechanizmusa

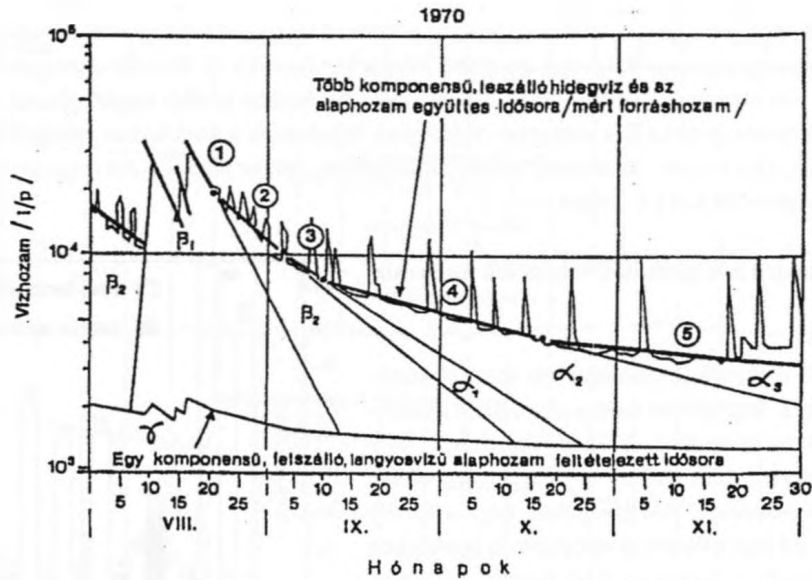
Az 1950–1970-es évek időszakában még nem volt egyértelmű az a kérdés, hogy milyen módon játszódik le a karsztforrások vízhozam-utánpótlása. Többen feltételezték, hogy a karsztforrások áradásait pusztán a víznyelőkön befolyó patakok áradásai okozzák. Azt gondoltuk, hogy a lehulló csapadékvizek a karszt különböző repedésein át egyidejűleg összefolyva jutnak el a forráshoz. Csak később, két karsztvízszint-észlelő fúrás vizsgálata nyomán derült ki, hogy nagy csapadékok időszakában mészkőben kialakult függőleges törésekben maximum 22 m-es, dolomitban 7 m-es vízszintemelkedés alakul ki és a piezometrikus nyomás változásának hatására jönnek létre a három-négy hetes áradások. A Nagy-Tohonya-forrás kiürülési vizsgálata azonban új karsztmodell kialakítására vezetett. Cser Ferenc tudta, hogy fizikai szempontból minden kiürülés lejátszódása  $e^x$ -függvény szerint változik. Ezért vizsgálata során a vízhozam-változást ábrázoló diagrammon a függőleges tengelyre a vízhozam logaritmusát tette fel (11. ábra). Így fedezte fel, hogy ebben az esetben a kiürülés időszora ötoldalú poligon alakját veszi fel (CSER F. 1978). Később tisztázódott, hogy ezt a jelenséget az alábbi módon lehet értelmezni (12. ábra): A felső-triász mészkőben ill. dolomitban mintegy 50x50 m-es függőleges főtörésrendszer alakult ki. Ezt a hálózat-sűrűséget többek között a Vass Imre-barlang alaprajzi viszonyai alapján lehetett megállapítani (18. ábra). Árvíz alkalmával először a barlangok főága, majd a mellékágak, utána a főtörésrendszer, végül az elemi blokkok finom érhálózatának tágabb és szűkebb járatai ürülnek ki. Amíg a tágabb járatban áradás van, addig a szűkebb járatok nem tudnak kiürülni. A kiürülésnek tehát a vízszállító járatok szélesség-csökkenése szerinti hierarchiája van. Az új karsztmodell értelmében a karszthidrológiai jelenségek minden lényeges folyamata a főtöréshálóban játszódik le. E töréshálóban történik a karsztos beszivárgás, itt létezik ténylegesen a karsztvízszint, és e törések mentén alakul ki a barlangjáratok fő- és mellékága is (IZÁPY G.–MAUCHA L. 1993). Ezek az új ismeretek vezettek annak megállapítására, hogy a forráshozam geofizikai eredetű változását is e hálóban lévő törések szélesség-ingadozása hozza létre.

#### A 6 órás periódusú árapály-ingadozás kialakulása

A források hozam-változásban időnként megjelenő közel 6 órás, tehát fél árapály-periódusú ingadozások okát sokáig nem ismertük. Érthetetlen volt, hogyan alakulhat ki dagály és apály időszakában is szűkülés a függőleges töréshálózatban? Később megértettük, hogy vannak olyan fizikai rendszerek, melyek húzásra és nyomásra is képesek hézagtfogat-csökkenésre, ha ennek geometriai feltételei adottak. Amennyiben a főtörések által közbezárt elemi kőzetblokkok vízszintes metszetben szabályos négyzet-alakúak, akkor vízszintes irányú húzásra és



10. ábra. A földrengéshatás első vizsgálata a Nagy-Tohonya-forrás 5 éves vízhozam-változásában



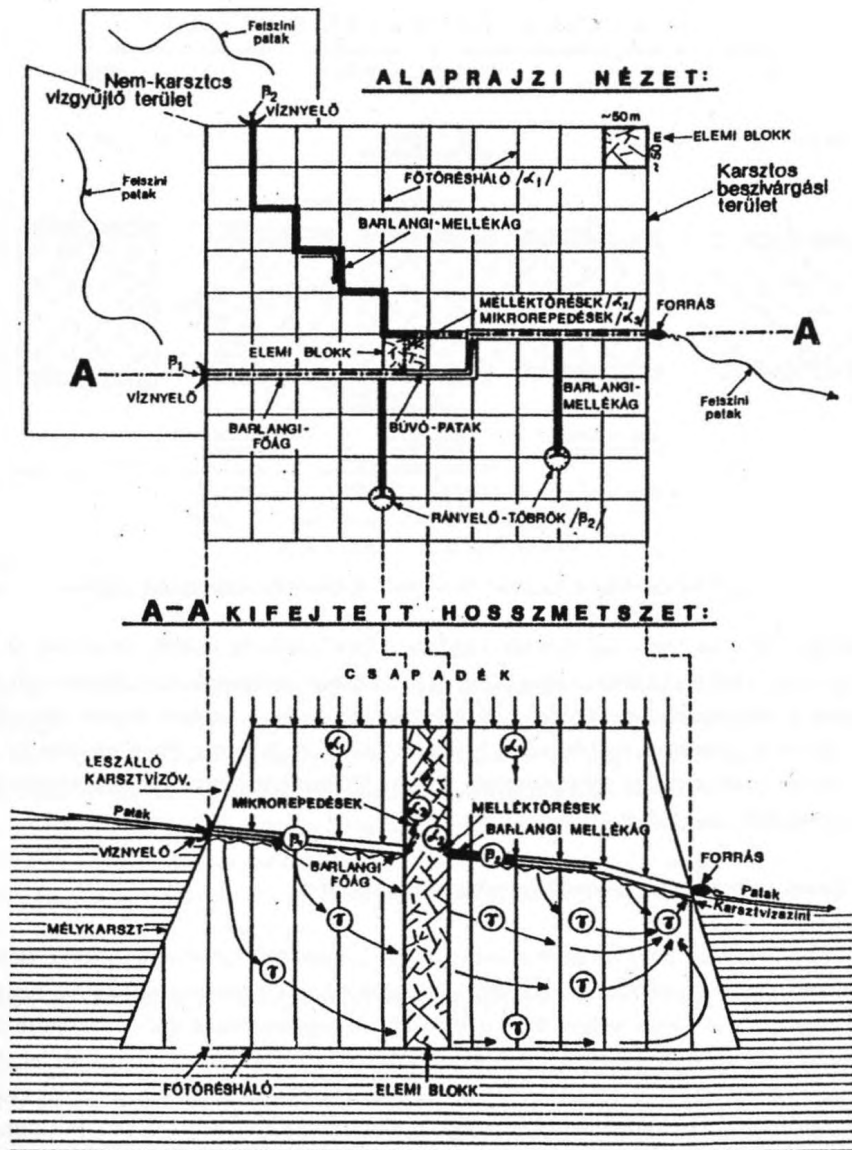
11. ábra. A Nagy-Tohonya-forrás kiürülési vizsgálatának eredménye

nyomásra is egyaránt kisebb területű rombusz-alakúvá válnak. Ezzel egyidejűleg a törések szélessége is csökken. Ennek következtében dagály és apály időszakában is egyaránt karsztvízszint emelkedés és forráshozam-növekedés alakul ki. Az összecsukható törésrács-modell értelmében a karsztos vízgyűjtő területek öt különböző mechanikai állapotát mutatjuk be (13. ábra). A középső három állapot változásai ábrázolják a 6 órás periódusú árapály-ingadozás kialakulását. A két szélső állapot pedig az áradások tetőzése és a kisvízi időszak továbbtorzult rombuszait ábrázolja. A korábban bemutatott eredmények szerint a lehullott csapadék súlyterhelése is szerepet játszik a fluktuációs ingadozások kialakításában. Mivel e változások maximális amplitúdója eléri a 9 mikrométeres értéket, ezért úgy tűnik, hogy a csapadékterhelés a törésrács nyitásával, majd másik irányú összenyomásával kisvízi torzult állapotból áradási torzult állapotba viszi a karsztot. A forrás-áradás felfutásakor a törésrács elemei áthaladnak a szabályos négyzetek állapotán, amikor maximális a karszt hézagterfoga (lásd a dilatációs változás tágulási maximumát az áradás kezdetén a 9. a. ábrán 1979. április hó 27–28-án). Az áradás lezálló ágában ugyanez az állapot teszi lehetővé a 6 órás periódusú vízhozam-változás kialakulását is (9. b. ábra, 1979. május 14–17.). A hozam-csökkenés csak törésrács nyitással jöhet létre. Ezért a 12 és 24 órás periódusú árapály-ingadozás csak az áradások végén jelenik meg a Kis-Tohonya- (5. és 9. c. ábra, 1979. május 27–június 2.) és a többi három forrás hozam-idősorában is, mivel széthúzott törésrácsban az árapály- periódus nem felelődhethet. Feltételezhető, hogy a csapadékterhelés nyitja ki a karsztos törésrács elemeit négyzetes alakúra és ez teszi lehetővé a 6 órás periódusú árapály-ingadozás kialakulását a vizsgált források hozam-változásában. A két szélső állapotban ugyanis a karszt nagyobb belső sűrűdése következtében ez a jelenség nem tudna kialakulni. Ezzel magyarázható, hogy nem tudtunk mérni folyamatos árapály-ingadozást az első litoklázis-fluktuáció mérés során, mert az akkori 1000 l/p alatti forráshozamnál veszi kezdetét a kisvízi belső sűrűdés (3. ábra). Hasonló mechanizmusra lehet számítani mind a négy vizsgált forrásnál is, de valószínű, hogy a Vecsem-forrás esetében a csapadékterhelés törésrács-módosító hatása az eltérő tektonikai viszonyok következtében lassabban lejátszódó jelenség, mint amit a Kis-Tohonya-forrás esetében tapasztaltunk (MAUCHA L. 1995).

#### A földrengés-hatás második vizsgálata

Megállapítottuk, hogy az áradások tetőzésekor és kisvízi időszakában nem található árapály-jelenség a források hozam-változásában. Mintegy 6000 l/percnél nagyobb és 1000 l/perc-nél kisebb forráshozam esetén még a litoklázis-fluktuáció sem működik folyamatosan. A kivétel a Lófej-forrás, ahol a vízhozam-érték alsó

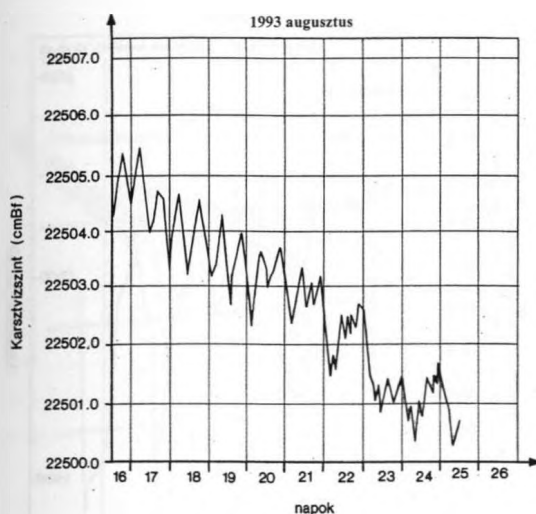




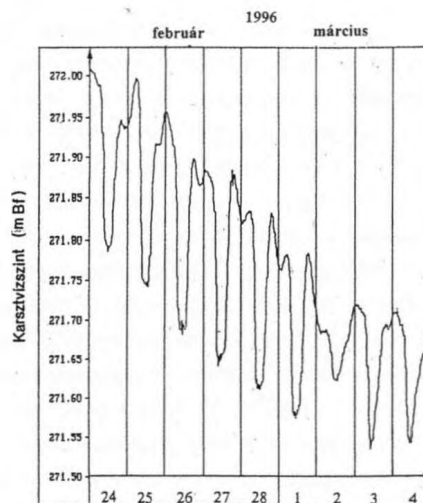
12. ábra. Új karsztmodell a kiürülési vizsgálat eredményének magyarázatára.

határa 50 l/p. Úgy tűnik, hogy a belső sűrűlódás megnövekedése időszakában (főleg áradások tetőzése és a 6 órás periódusú változások beindulása közötti időszakban) a földrengés-hullámok a törésrács meglökésével, 50 százalékos gyakorisággal, rövid időre csökkentik a belső sűrűlódást. Ennek következtében az összecsukható rács egy-egy fél árapály-periódus időtartamára ugrásszerűen nyílik vagy zárul, majd visszatér eredeti állapotába (8. ábra. 1971. április 15–19.). Ez a mozgás azért jön létre, mert a luniszoláris hatás minden pillanatban valamilyen feszültségi állapotban tartja a karsztos kőzetet. Áradások tetőzése után dagálykor ugrásszerű hézagterefogat-növekedés, apálykor gyors -csökkenés alakul ki. Árvizek közepén dagálykor és apálykor is hézagterefogat-csökkenés jön létre. Áradások végén dagálykor hézagterefogat-csökkenés, apálykor pedig -növekedés következik be. Ez a magyarázata annak a ténynek, hogy földrengések hatására nemcsak éles hozam-csökkenések, hanem ugrásszerű hozam-növekedések is előfordulnak az árvíz tetőzése utáni időszakban (MAUCHA L. 2003). Az esetek további 50 százalékában azonban nem tartozik földrengés a fenti változásokhoz. Feltételezhető, hogy a 6 órás periódusú változások előtti időszak utolsó három napján a luniszoláris





14. ábra. Árapály eredetű vízszint-ingadozás a Szelce-völgyi fűrés által harántolt mészkőben 1993 augusztus hó folyamán



15. ábra. Árapály eredetű vízszint-ingadozás a Hosszú-völgyi fűrés által harántolt dolomitban 1996 február-március hó folyamán

megtudni, hogy a fent említett műszerrel milyen felbontásban mérhető a Kis-Tohonya-forrás árapály-eredetű hozam-változása? A kapott eredményt a 16. ábrán mutatjuk be. 1994. május 2–7. közötti időszakban 24 órás periódusú – az átlagnál kisebb nagyságú – árapály-eredetű vízhozam-ingadozást regisztráltunk. Az ingadozás amplitúdója 10 és 30 mm között változott, melynek vízhozamra átszámított értéke 200 és 600 l/perc-nek felelt meg. Mivel ennek az értéknek a tizedrésze 20 és 60 l/perc, a kapott mérési eredmény alapján megállapítható, hogy van remény a mészköves vízgyűjtőjű források vízhozam-változásában található árapály-jelenségnek kimutatására is, ha Metra-műszer helyett a Gealog-műszerhez hasonló érzékenységű egycsatornás Datakva nyomásmérő műszert helyezünk el a bukógáton.

#### A triász-korú karsztos kőzetek eddig ismeretlen tulajdonsága

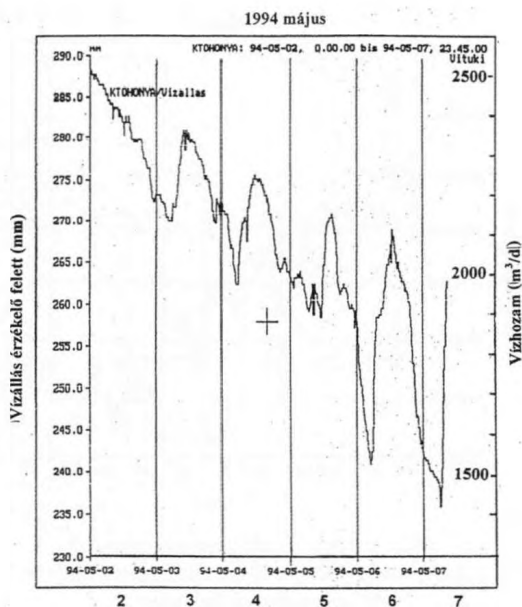
Az Aggteleki-karsztvidék középső- és felső-triászkorú karsztos kőzeteiről az alábbiakat lehetett megállapítani: Közismert, hogy e karbonátos kőzetek (más karsztokhoz hasonlóan) abban különböznek minden más kőzefajtától, hogy szénsavas víz hatására erősen karsztosodnak, vagyis felszínén nagy méretű töbrök keletkeznek, és a felszín alatt barlangrendszerek alakulnak ki. Vizsgálataink szerint a triász-korú karszt másikkal szemben egyedülálló tulajdonsága, hogy rendkívül érzékeny műszer gyanánt meglepően nagymértékű e kőzetek geofizikai hatást felnagyító képessége. Ezt a megállapításunkat azzal indokoljuk, hogy mészkőben a barlangfolyosók, azaz a főtörések átlagosan 0,5 mikrométeres szélesség-ingadozása a karsztvízszintben átlag 2 cm-es változást eredményez, a nagyítás értéke tehát 40 000-szeres. Ezzel szemben a dolomitban az azonos mértékű törésszélesség-változás 20 cm-es vízszint-ingadozást hoz létre, vagyis a nagyítás ebben az esetben 400 000-szeres. A Dunántúli-középhegységben hasonló korú karsztos kőzetbe fűrt kutak vízszintjében ugyanilyen nagyságrendű árapály-ingadozás mérhető (KESSLER H. 1964, CSABA L. 1971.). Részben mészköves, részben dolomitos vízgyűjtő esetén az átlagos karsztvízszint-ingadozás 10–12 cm-es értéket érhet el. Az ennek megfelelő átlagos árapály-eredetű hozamváltozás 300–600 l/percnek adódik.

Fentiek alapján valószínűnek látszik, hogy áradások időszakában a bódvaszilasi Vecsem-forrás (kivételesen nagyon kis belső súrlódású) Metra műszerével mért, közel 1 órás periódusú kis hozam-ingadozása (17. ábra) az ún. „mikroszeizmikus nyugtalanság” hatására jött létre. Ezt a jelenséget a Föld kérgében a távoli földrengések hatására kialakuló geofizikai „háttérzaj”-nak tekintik.

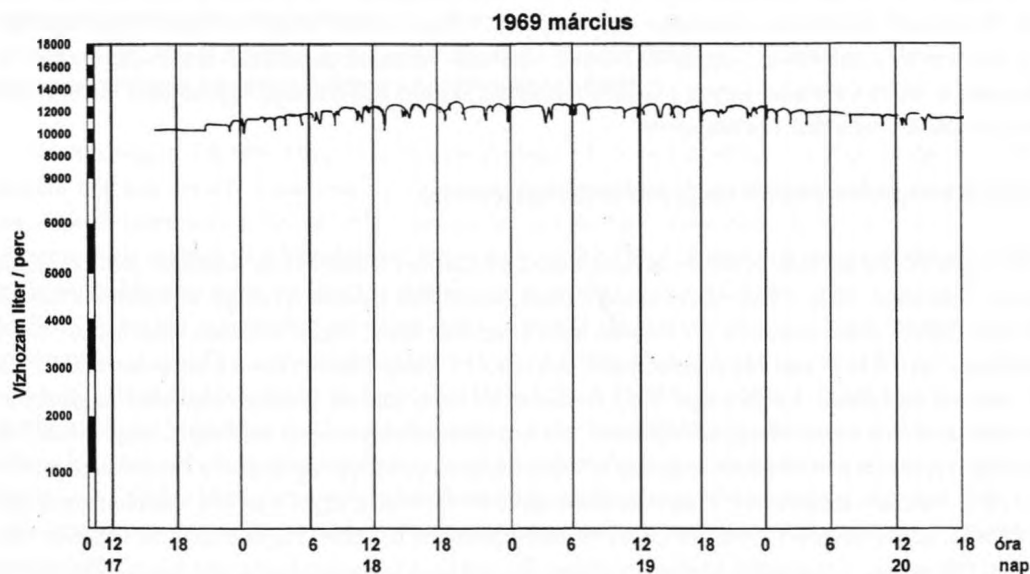
A vizsgálatok kezdetén még nem volt tudomásunk arról, hogy az egyik felvidéki szivornyás forrásnál a kutatók már a tizenkilencedik század közepén felismerték a kitörési gyakoriság árapály-eredetét, de akkor még nem tudták ezt igazolni (ŠTŪR. D. 1863). Azt sem ismertük, hogy Papp Ferenc professzor már az 1941-ben feltételezte a források vízhozam változásában megjelenő „Hold-hatást” ill. „földrengés-hatást” (PAPP F. 1941). Gerber Pál pedig 1964-ben már előttünk kimutatta a Tatabánya-1. sz. karsztvízszintészlelő-kút vízszint-változásában az árapály- és légnyomás-eredetű ingadozásokat (GERBER P. 1965). Később artézi- és más rétegvíz kutakban is megfigyelték az árapály-eredetű vízszint-ingadozást, amely maximum 3–4 cm-es vízszintváltozást hoz létre. (MELCHIOR P. 1960).

### Összefoglalás

Az Aggteleki-karszton a karsztos szivornyák ke-  
rek hatóránkénti kitörési gyakorisága arra mutatott,  
hogy a szilárd kéreg árapály-jelensége a függőleges  
törések szélesség-változásával okozza a karsztos vízfolyások (források) hozam-ingadozását.

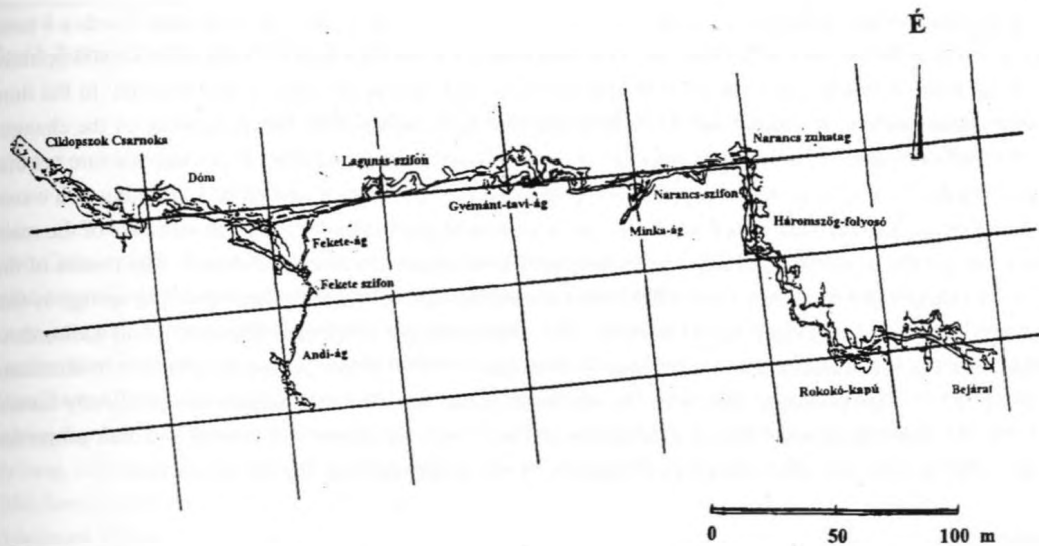


16. ábra. A Kis-Tohonya-forrás vízhozamának árapály-ingadozása nagy érzékenyséű hozam-mérés esetén



17. ábra. Mikroszeizmikus nyugtalanság feltételezett észlelése a Vecsem-forrás vízhozam-változásában 1969 március hó folyamán

A litoklázis-fluktuáció első mérése igazolta a jelenség létezését és azt is, hogy a földrengések is részt vesznek a fluktuáció létrehozásában. A további mérések során a keresztirányú dilatációs mozgás a luniszoláris változásokkal egyidejű változást mutatott. Nagy forráshozam-áradások időszakában a fluktuáció mindhárom összetevője (a dilatáció és a függőleges nyíró mozgás is) leírja a forrásáradások alakját.



18. ábra. A középső-triász korú karsztos kőzetek közel 50x50 m-es alaprajzú függőleges főtöréshálózata a Vass Imre-barlang alaprajzának figyelembevételével

Áradások közepes kiürülése idején 6 órás periódusú hozam-ingadozás figyelhető meg. Ez a jelenség okozza a karsztos szivornyák 6 órás kitörési gyakoriságát. Kisebbszámú időszakában 12–24 órás periódusú árapály-ingadozás is megjelenhet. Köztes hozamok idején a földrengések hatására általában hozam-minimumok alakulnak ki. A hozamtól függő eltérő változások a karsztban található 50x50 m-es főtörésháló összecsukható rácshoz hasonló mozgásának hézagterefogat-változtató hatása következtében jönnek létre, melyet a beszivárgott csapadék súlyának változó terhelése irányít. A fél-periódusú árapály-ingadozás eredetére a főtörésháló vízszintes metszetben négyzet alakú elemeinek nyomásra és húzásra is egyaránt rombuszá alakulása adott geometriai magyarázatot. A vizsgált négy forrás hozam-változásában az árapály-jelenség jelentős mértéke (maximum 1000 l/perc) annak köszönhető, hogy vízgyűjtő területük részben dolomitból épült fel. Az árapály eredetű dilatáció átlagos amplitúdója fél mikrométer. E változáshoz képest a karsztvízszint-ingadozás a mészkőben 40 000-szeres (2 cm), dolomitban viszont 400 000-szeres (20 cm) nagysággal jelenik meg. Ennek alapján lehetett megállapítani, hogy a kitűnő karsztosodási képességen kívül a geofizikai hatások felnagyító képessége igen jelentős mértékű, általános, és minden más tömeges kőzettől eltérő tulajdonsága a középső- és felső-triász korú karsztos kőzeteknek.

## THE GEOPHYSICS EFFECTS ENLARGING CAPABILITY OF TRIASSIC KARSTIC ROCKS

### Summary

The frequency of the eruption of the siphons at round boundaries on the Aggtelek karst showed that the tidal effect of the solid crust causes the fluctuation of the outflow of the karstic water by the variation of the width of the vertical faults. The existence of the phenomenon was proven by the first measurement of the lithoclasia fluctuation and also that earthquakes play an important role in the creation of the fluctuation. During further measurements the cross dilatation showed simultaneous movement changes according to lunisolar changes. During the period of large spring outcome all the three components of the fluctuation (on both horizontal,



vertical sharing motion) describes the shape of the spring floods. During the time of mean drain floods a 6 hour periodic outcome fluctuation can be observed. The phenomenon causes the 6 hour outbreak of the karstic siphons. During the time of smaller outcome a 12-24 hour periodic tidal fluctuation can also be observed. In the time of intermediate outflow minimums can occur from the effects of earthquakes. The irregularity of the changes from the outflow is due to the changing effect of the gap volume of the movement of the main fracture net that can be modelled by a folding 50x50 m grid that is controlled by the changing load of the infiltrating rain water. The origin of the half periodic tidal fluctuation can be answered geometrically when the elements of the main fracture net system in a horizontal segment is deformed from squares to rhomboid shapes. The reason of the significant changes of the outflow (max 1000 l/min) caused by tidal effects in the surveyed four springs is that their water collecting area is made up of Dolomite. The mean amplitude of the tidal dilatation is half a kilometre. Compared to this the changing of the water level in the karst is 40.000 times (2 cms) more intense in limestone and 400.000 (20 cms) greater in dolomite. On this bases it can be stated that besides the excellently karstic capability the intensifying capability of geophysical effects is very significant and general and their properties that are different from any other mass rock are general of the middle and late Triassic karstic rock.

## Irodalom

- BARTHA L. (1967): *Ebbe und Flut im Karstgebiet* – Sterne und Weltraum, VI. évf. 8-9 sz., Mannheim, p. 216.
- CŠABA L. (1971): *Vízlevegő és árapály jelenség a felszínalatti vizekben* – MÁFI évi jelentése. Budapest. p. 229.
- CŠER F. (1978): *The Analytical Determination of Stored Water of Karstic Springs* – Nemz. Karszthidr. Szimp. Kiadv. Budapest. p. 129.
- GERBER P. (1965): *Karszthidrológiai megfigyelések a tatabányai medence nyugati sásbércén* – V. Bányavízvédelmi Konf. Kiadv. Budapest. p.74.
- GÁDOROS M. (1969): *Registrierung der Litoklassenbewegung unter der lunisolaren Einflüssen* – V.th. Int. Kongr. für Speläologie. Abhandlungen. Bd. 3. Stuttgart. p. S 42 / 1-4.
- HAZSLINSZKY T.–MAUCHA L. (2003): *Szivornyás források a Kárpát-medencében* – VIII. Karsztféjl. Konf. kiadv. Szombathely. p. 145.
- IZÁPY G.–MAUCHA L. (1993): *The discharges quality relationship interpreted for karst springs by a new karstmodel* – Proc. of the Europ. Konf. of Spel. And Karst. Bull. de la Societ. Geograph. de Liege. p. 53.
- IZÁPY G. (1995): *A jósvafői Kis-Tohonya-forrás vízhozam és vízminőségi jellemzői* – Karszt és Barlangkutatás. MKBT évk. X. köt. p. 53.
- KESSLER H. (1954): *Forrástani részletvizsgálatok az Aggteleki karszton* – VITUKI Témabeszámoló. Budapest. p. 134.
- KESSLER H. (1964): *Karszthidrológiai periodikus jelenségek megállapítása és értékelése* – VITUKI témajelentés. Budapest.
- MAUCHA L. (1967): *Karsztos szivornyák, mint hidraulikai jelfogók* – Karszt és Barlang. I-II. Budapest. p. 11.
- MAUCHA L. (1968): *A karsztvízszint árapály jelenségének kimutatása* – Bányászati Kutató Intézet Közleményei. I. félév. Budapest. p. 87.
- MAUCHA L. (1968): *Ausweise der Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels* – Karszt és Barlangkutatás. MKBT évk. V. köt. Budapest. p.101.
- MAUCHA L.–SÁRVÁRY I. (1970): *Tidal phenomena in the karstic water level* – Bull. of the Int. Ass. Hydr. XV. évf. 2. sz. p. 39.
- MAUCHA L. (1973): *A karsztvizek árapály jelenségét okozó kéregmozgások műszeres vizsgálata* – MTA X. Oszt. Közl. 6/1-4. Budapest. p. 55.
- MAUCHA L. (1977): *Study of tidal movements of karstwaters and karstic rocks* – Ann. de Geophys. T.33. fasc. 1/2. p. 51.
- MAUCHA L. (1995): *A karsztos árapály-jelenség működési mechanizmusa Vass Imre-barlangi vizsgálatok alapján* – Karszt és Barlangkutatás. MKBT évk. X. köt. Budapest. p. 71.
- MAUCHA L. (1997): *A karsztos árapály-jelenség működési mechanizmusa* – Karszt és Barlang. I-II. Budapest. p. 40.
- MAUCHA L. (1997): *Special spring discharge changes in the Aggtelek Karst Region in Hungary* – Proc. of the 12 th. Int. Cong. of Spel. La Chaux de Fonds. p. 157.
- MAUCHA L. (1998): *Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai 1958–1993*. Az OTKA támogatásával készült könyv. VITUKI kiadv. Budapest. pp.1–414.
- MAUCHA L. (2003): *A geofizikai hatások újabb vizsgálata az Aggteleki-karszt három forrásának vízhozam változásában* – Mérnökgeológiai Jubileumi Konf. kiadv., Budapest. p. 221.
- MELCHIOR P. (1960): *Die Gezeiten in unterirdischen Flüssigkeiten* – Com. de l'obs de Belg. 172. Ser. Geoph. 55. Liege. p. 312.
- PAPP F. (1941): *A Dunántúl karsztvizei és a feltárás lehetőségei Budapesten* – Hidr. Közl. XXI. évf. 7–12. Budapest. p. 146.
- SÁRVÁRY I. (1970): *Extrapolation of Results about Waterlevel Change in Fissured Carbonate Rocks* – IASH – UNESCO Wellington Symposium. IASH Publication No 96. New Zealand
- ŠTÜR. D. (1863): *Die periodische Quelle von Kapsdorf in Ungarn*. Mitteilungen d. k. k. Geographischen Gesellschaft. Wien.