

A KARSZTVIZEK ÁRAPÁLY-JELENSÉGÉT OKOZÓ KÉREGMOZGÁSOK MŰSZERES VIZSGÁLATA

MAUCHA LÁSZLÓ

A 60-as évek elején fény derült arra, hogy egyes geofizikai tényezők jelentősebb változásokat okoznak a karsztvízmozgásban, mint azt valaha is gondolták. A karsztvizek árapály jelenségének megismerése és mechanizmusának tanulmányozása a kéreg árapály eredetű, ún. litoklázis-fluktuációra és a földrengés-hatás vizsgálatára terelte a figyelmet. E problémák vizsgálatának gyakorlati jelentősége a karsztos kőzetek hézagterefogatának meghatározására vonatkozó számítások új lehetőségeiben rejlik.

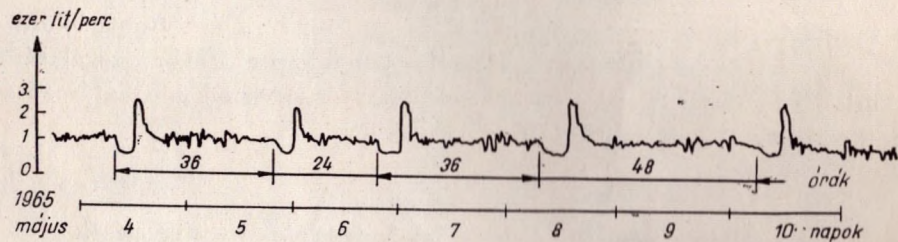
A karsztvizek árapály-jelenségével kapcsolatos megfigyelések

Magyarországon a földalatti vizek árapály-jelenségét a karsztvizek vonatkozásában ismerték fel. 1960-tól kezdve indult meg a karsztvízszintészlelő kutak vízszintjének és a karsztforrások vízhozamának folyamatos, műszeres mérése. Ezek a vizsgálatok részben bányavízvédelmi, részben alap-kutatási célból történtek. 1965-ben elsőként GERBER figyelt meg [6] az egyik Tatabánya környéki (Dunántúl) karsztvízszintészlelő fúrásban a holdfázisokkal együtt változó vízszintingadozást. Az általa megfigyelt mozgások amplitúdója meglepően nagy volt. Mérései során 10—15 cm-es árapály eredetűnek minősíthető vízszintváltozásokat talált.

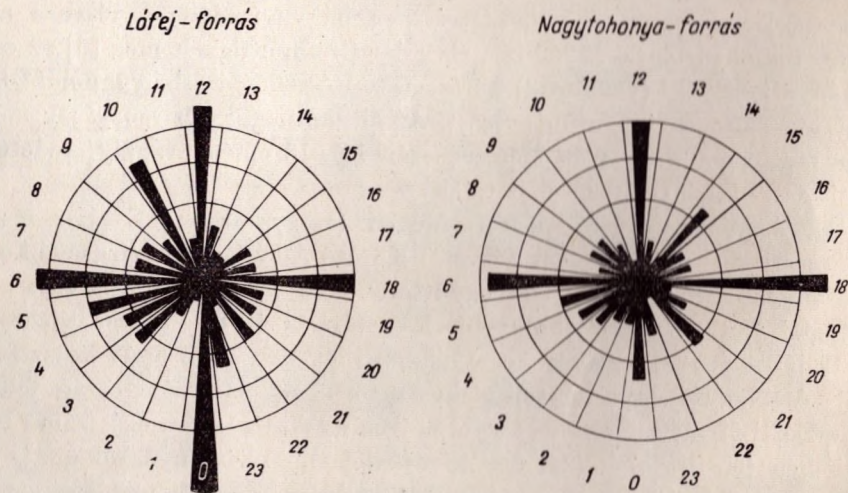
Az Aggtelek-Jósvafői Karsztvidéken (Magyarország É—K-i részén) a Budapesti Műszaki Egyetem Jósvafői Kutató Állomásán a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézettel együttműködve 1963-évtől kezdve karszt-hidrológiai kutatások céljából több karsztforrásnál folyamatos vízhozam-regisztrálásra rendezkedtünk be. 1965-ben két ún. szivornyás karsztforrás (Lófej- és Nagytohonya-forrás) vízhozamgörbéinek elemzése során feltűnt, hogy a Lófej-forrás szivornyás kitérései igen gyakran 12 óra egészszámú többszöröseiben jelentkeznek (24, 36, 48 óránként). E viszonyokról az 1. ábra tájékoztat. Egyidejűleg azt is megfigyeltük, hogy mindkét forrás szivornyás kitérései az esetek 30%-ban 6, 12, 18, 24 óraker indulnak meg. A statisztikai vizsgálatok eredményeit a 2. ábrán láthatjuk. E megfigyelések alapján fel-

tételeztük, hogy a karsztvízmozgásban az árapály-jelenség is szerepet játszik. Fel kellett tételezni azt is, hogy a szivornyas kitéréseket a szivornya-üreget tápláló földalatti vízfolyások 100–200 liter/perces dagályhullámai indítják meg, ha azok közel telített állapotban vannak [1] [8] [10].

Az első megfigyelések idején azonnal felmerült a jelenség mechanizmusának kérdése is. Megvizsgálva a lehetőségeket csak az látszott valószínűnek, hogy a néhány km² kiterjedésű karsztos víztározókban a gravitációs változások nem közvetlenül, hanem a szilárd kéreg árapály-mozgásán keresztül közvetve okoznak árapály-ingadozást a karsztvízszintben, ill. ennek függvényében a földalatti vízfolyások, források hozamában [4] [5] [12]. Ezért 1966 augusztusában a jósvafői VASS IMRE-barlangban 10 napos kísérlet során megvizsgáltuk, hogy a függőleges karsztos törésekben jelentkezik-e árapály-

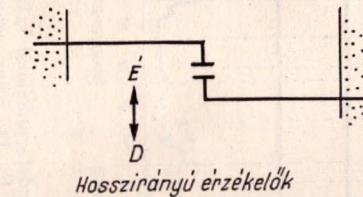
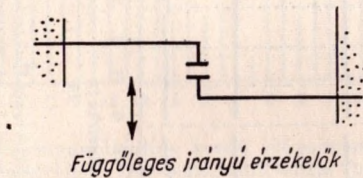
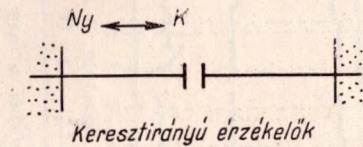


1. ábra. A jósvafői Lófej-forrás egyhetes vízhozamgörbéjén megfigyelhető a szivornyas kitérések (maximum csúcsok) inhomogén periodicitása 12 óra egész számú többszöröseiben. Az összetett szivornya működése olyan, hogy a kitéréseket közepes vízhozam időszakában vízhozamsökkenés előzi meg



2. ábra. A szivornyaműködés kezdő időpontjainak óránkénti eloszlása a Lófej- és a Nagytóhonya-forrásnál. A Lófej-forrás óra diagrammja 1965. évi 175 kitérés, a Nagytóhonya forrás óra diagrammja 1964, 1965, 1966. évi 128 kitérés statisztikai feldolgozása alapján készült

periódusú fluktuáció (kontrakció, ill. dilatáció)?¹ A barlang egyik É—D-i irányú törése mentén kialakult folyosójában a szemben álló kőzetblokkok mozgását a tér három irányába állított 0,001 mm-es beosztású indikátor órákkal mutattuk ki. (A mérőórákat vízszintesen befalazott acélsövegek végén kereszt, hossz és függőleges irányú relatív mozgások mérésére alkalmas

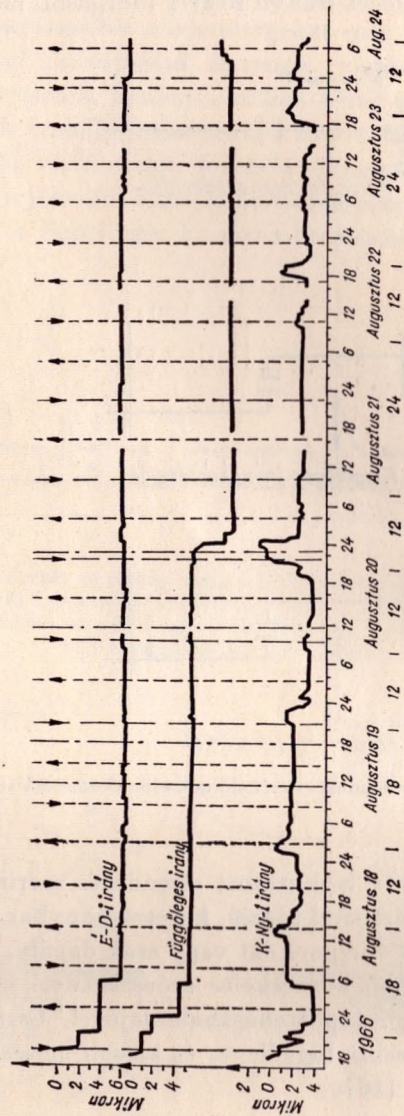


3. ábra. A litoklázis-fluktuációmérő berendezés érzékelőinek elrendezése a VASS IMRE-barlangban

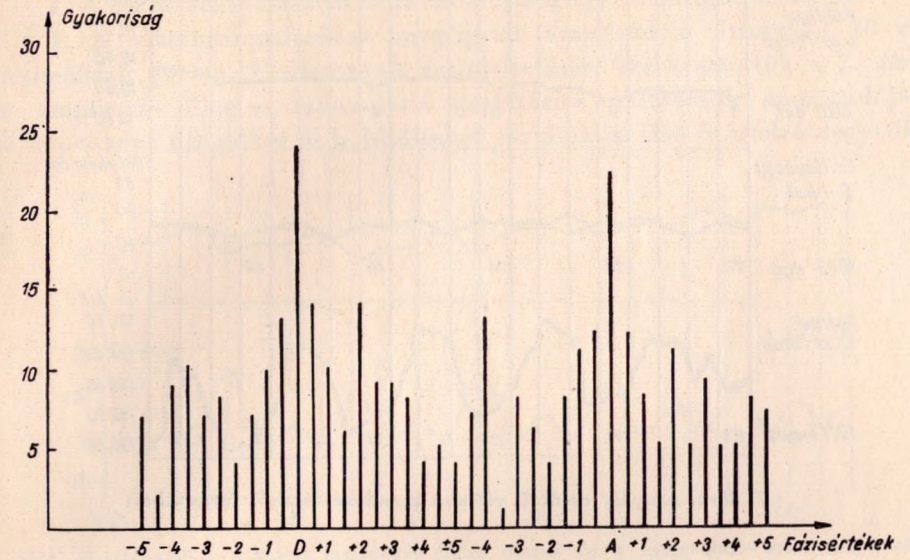
módon szereltük fel a 3. ábrán bemutatott elrendezés szerint.) Eredményül azt kaptuk, hogy a litoklázis-fluktuáció kereszt-irányban (K—Ny) mért 11 db. kontrakciós csúcsa 3–4 naponként vagy csak dagály, vagy csak apály időpontjára esik. A legnagyobb kontrakciós csúcs kezdeti szakasza egyidejű volt egy törökországi földrengés kipattanásának idejével.² Csak ebben az intervallumban találtunk jelentősebb függőleges és kisebb hossz irányú (É—D) elmozdulást is (4. ábra) [8] [10].

¹ A mérés műszaki vezetője GÁDOROS M. és SÁRVÁRY I. volt. A 10 percenkénti leolvasásokban részt vett a műegyetemi barlangkutató csoport 20 tagja.

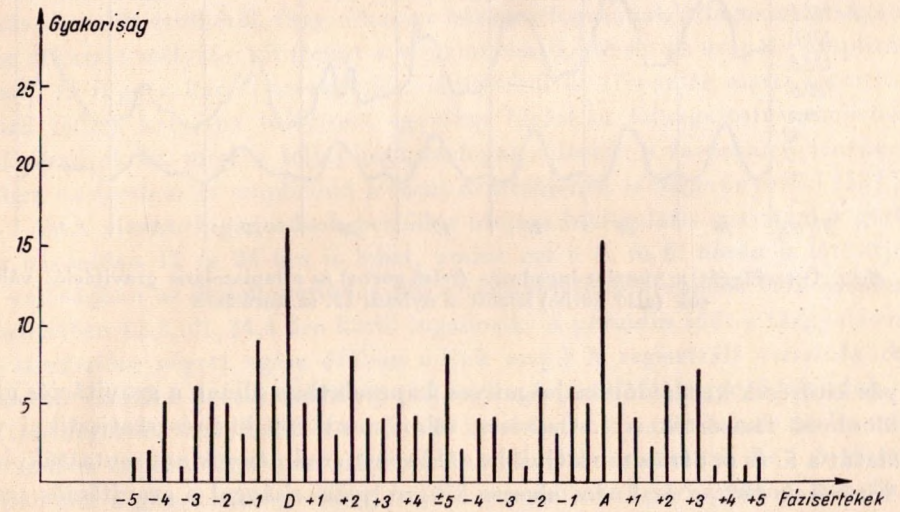
² 1969-ben az Országos Fürdőügyi Igazgatóság egyik Római Fürdő környéki karsztvízszintészlelő kútjában SZALONTAY GERGELY földrengésekkel egyidejű vízlengéseket mutatott ki. Ez az eredmény megerősítette azt az elgondolást, hogy a földrengések is a karsztos víztározók hézagterefogatának megváltoztatásával adják át mozgásukat a földalatti vizeknek.



4. ábra. A luniszoláris eredetű kéregdeformációból származó litoklázis-fluktuáció mérési görbéi a VASS IMRE-barlangban 1966 augusztusában. Az E—D-i irány jelenti a hosszirányú görbét, a K—Ny-i irány jelenti a keresztirányú görbét. A felcél mutató nyílak jelzik a dagály idepontjait. A vastagon kihúzott eredményvonalak az 1966. évi, augusztusi törökországi földrengések kipattanási idejét jelzik. A legalsó sorban feltüntetett számok a keresztirányú görbe kontraktációs maximumai közötti időtartamot jelölik órában kifejezve

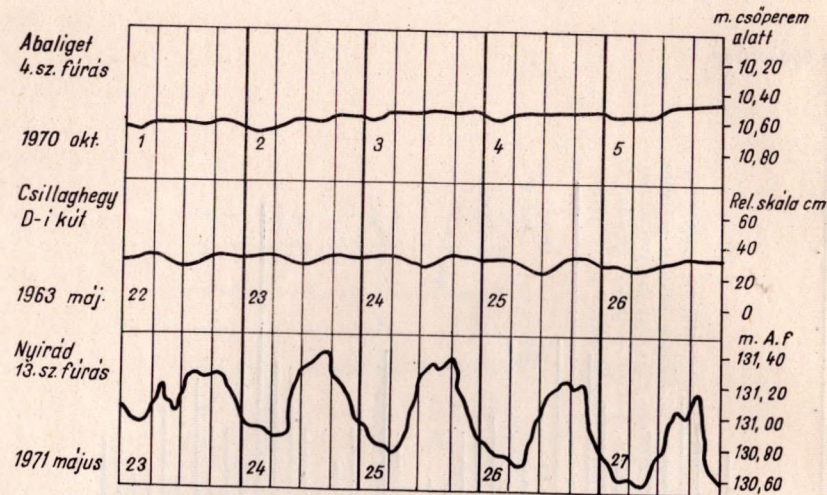


5. ábra. A Lófej-forrás szivornyaműködése kezdő időpontjainak gyakorisága a gravitációs-görbe fázisértékeinek függvényében. D=dagályáidőpontja (gravitációs minimum), A=apály időpontja (gravitációs maximum)

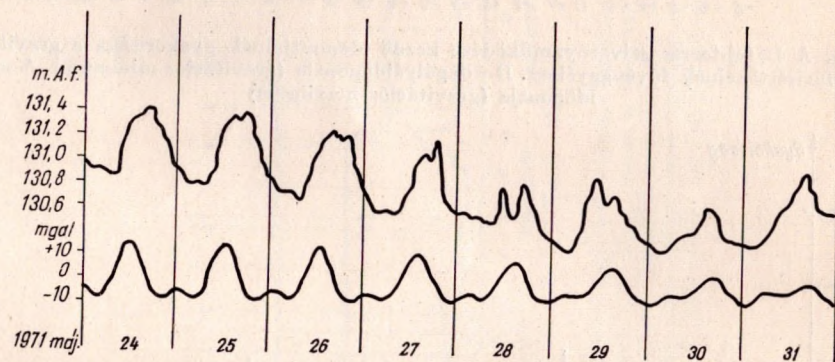


6. ábra. A Nagytihonya-forrás szivornyaműködése kezdő időpontjainak gyakorisága a gravitációs-görbe fázisértékeinek függvényében. D és A jelentése u.a. mint az 5. ábrán

Később a Lófej- és Nagytihonya-forrás 1965—1969. évi folyamatos vízhozamregisztrátumai, valamint az „Árapály Gravitációs Korrekció” táblázatok (Tidal Gravity Corrections) megfelelő évi adataiból szerkesztett 5 éves luniszoláris gravitációs görbe figyelembevételével megvizsgáltuk, hogy a szivor-



7. ábra. Árapály eredetű vízszint-ingadozás észlelő fúrásokban



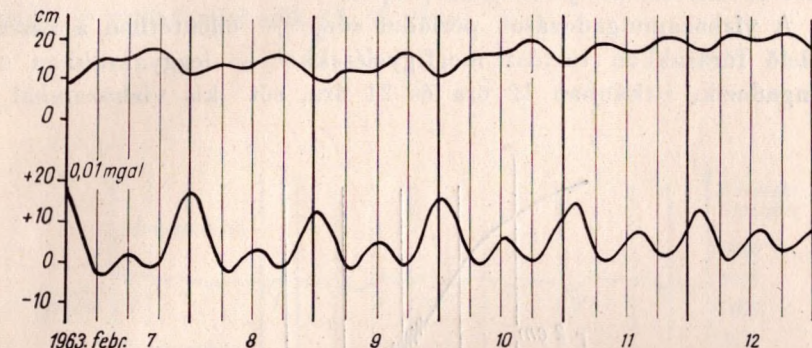
8. ábra. Összefüggés a vízszint-ingadozás (felső görbe) és a lunisolaris gravitációs változások (alsó görbe) között a nyírádi 13. sz. fúrásban

nyás kitérések kezdődőpontjai milyen kapcsolatban állnak a gravitációs görbe különböző fázisértékeivel. Összesen több, mint 500 kitérés statisztikai vizsgálatát a 5. és 6. ábrán mutatjuk be. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a kitérések 40%-a csaknem azonos kiugró gyakorisággal a gravitációs szélsőértékek közelében valósul meg, ami a karsztvízmozgás árapály-jelenségének közvetett, de megbízható bizonyítékául szolgált [9].

Az 1963–1972 közötti időszakban Magyarországon számos helyen megkezdődött a karsztvízszint-észlelő fúrások vízszintjének és a karsztforrások vízhozamának folyamatos műszeres mérése. Az eddig kapott mérési eredmények alapján a karsztvizek geofizikai eredetű mozgásjelenségeiről általánosabb képet nyertünk az alábbiak szerint:

I. A karsztvízszint-észlelő fúrásokban megfigyelt mozgásjelenségek:

1. A vízszintingadozások megfigyelt amplitúdója átlagosan 10 cm, maximálisan 60 cm. E viszonyok szemléltetésére szerkesztettük a 7. ábrát. Az amplitúdó függ a lunisolaris gravitációs változások amplitúdójától (14 naponként újholdkor és holdtöltekor maximális, első és utolsó negyedkor



9. ábra. Összefüggés a vízszint ingadozás (felső görbe) és a lunisolaris gravitációs változások (alsó görbe) között a csillaghegyi D-i kútban

minimális), függ az okozott Föld-árapály által létrehozott hézagterefogat változás abszolút értékétől, függ a karszt hézagterefogatának átlagos nagyságától, függ a karszt mélységétől (tehát a vízszint emelkedéssel az árapály amplitúdó is nő), és függ a karszt szerkezeti felépítésétől is. (Nyomás alatti leszorított tükrű fedett karsztba mélyített egyetlen fúrásban felnagyított amplitúdók alakulhatnak ki, mert a teljes hézagterefogat változás a fúrásban jelentkezik. Ebben az esetben az amplitúdó a fúrás átmérőjének is függvénye [7] [13].)

2. A vízszintingadozások periódus ideje a lunisolaris gravitációs görbéhez hasonlóan 12 és 24 óra is lehet, amint ezt a 8. és 9. ábrán is láthatjuk. (A valóságban az észlelt periódus idő a lunisolaris-gravitációs változásoknak megfelelően 12,2, ill. 24,4 óra körül ingadozik. A periódus időt a tárgyalásmód egyszerűsítése végett egész órában adjuk meg.) A regisztrált vízszintgörbék kedvező esetben a lunisolaris-gravitációs görbével megegyező alakúak, de a vízszintgörbék szélsőértékei 4–5 órát is késhetnek a gravitációs görbe szélső értékeihez képest. Erre igen szép példát a 8. ábrán mutatunk be. A vízszint görbéknek a gravitációs-görbével való kapcsolata hol párhuzamos, hol tükörképi. A 8. ábrán párhuzamos, a 9. ábrán tükörképi kapcsolatot láthatunk.

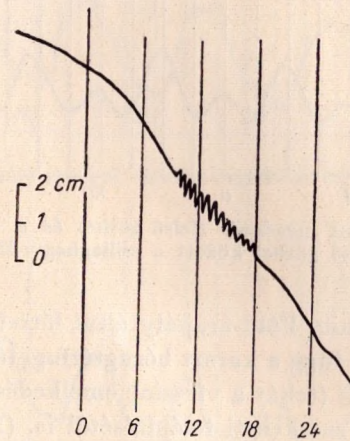
3. Egyes fúrásokban a földrengések erős vízlevegések képében jelentkeznek (valószínűleg csak nyomás alatti fedett karsztban). Földrengésektől függetlenül is jelentkeznek nagy frekvenciás, de kis amplitúdójú vízlevegések a fúrások vízszintgörbéin egyes időszakokban. E vízlevegések leggyakrabban 9–18 óra között lépnek fel. Eredetük még tisztázatlan. Ennek jellemző példáját a 10. ábrán szemléltetjük.

II. A karsztforrásoknál megfigyelt mozgásjelenségek:

1. A karsztforrások vízhozamingadozásában jelentkező árapály hullámzás amplitúdója átlagosan 150 liter/perc, maximálisan 1000 liter/perc vízhozam differenciával fejezhető ki. Ennek bizonyítékául bemutatjuk a 11. ábrát.

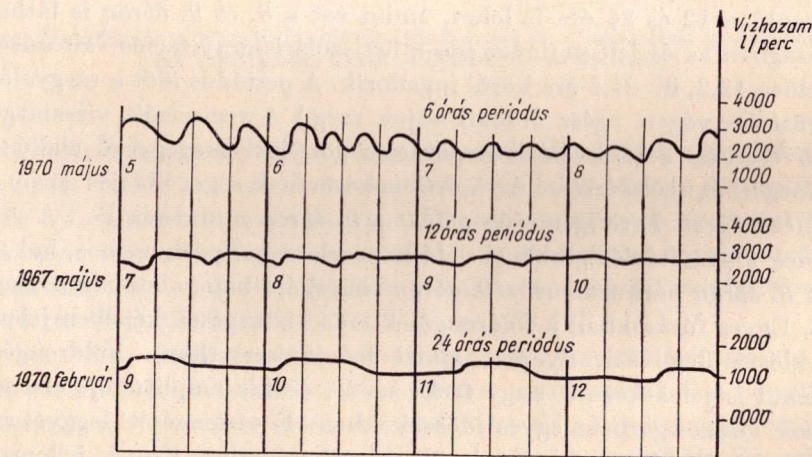
A legnagyobb amplitúdó a csapadék eredetű árvizek leszálló ágában újholdkor és holdtöltekor jelentkezik [10].

2. A vízhozamingadozások periódus ideje — ellentétben a karsztvíz-szintészlelő fúrásokban történt megfigyelésekkel — leggyakrabban 6 óra körül ingadozik, ritkábban 12 óra és 24 óra, sőt kis vízhozamnál 30—



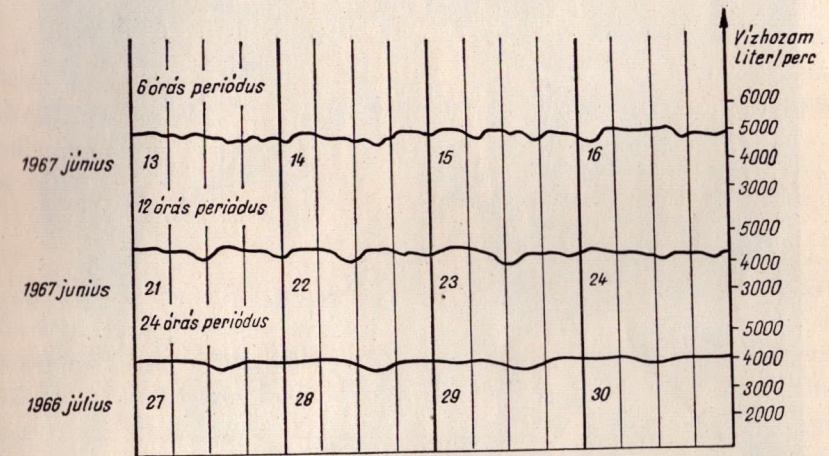
1972. október 17.

10. ábra. Vízlevegési jelenség a Jósvafő környéki Szelce-völgyi észlelő-fúrás vízszint görbéjén. A vízlevegés leggyakrabban 9 és 18 óra között jelenik meg

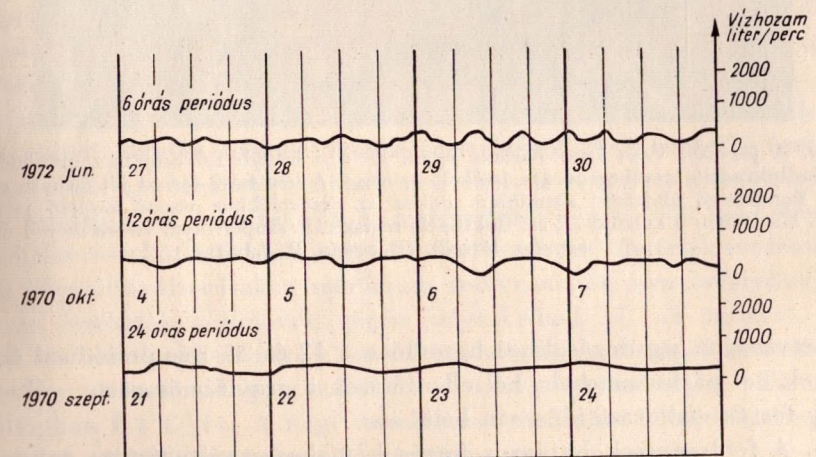


11. ábra. Árapály eredetű vízhozamingadozás a jósvafői Kistohonya-forráson

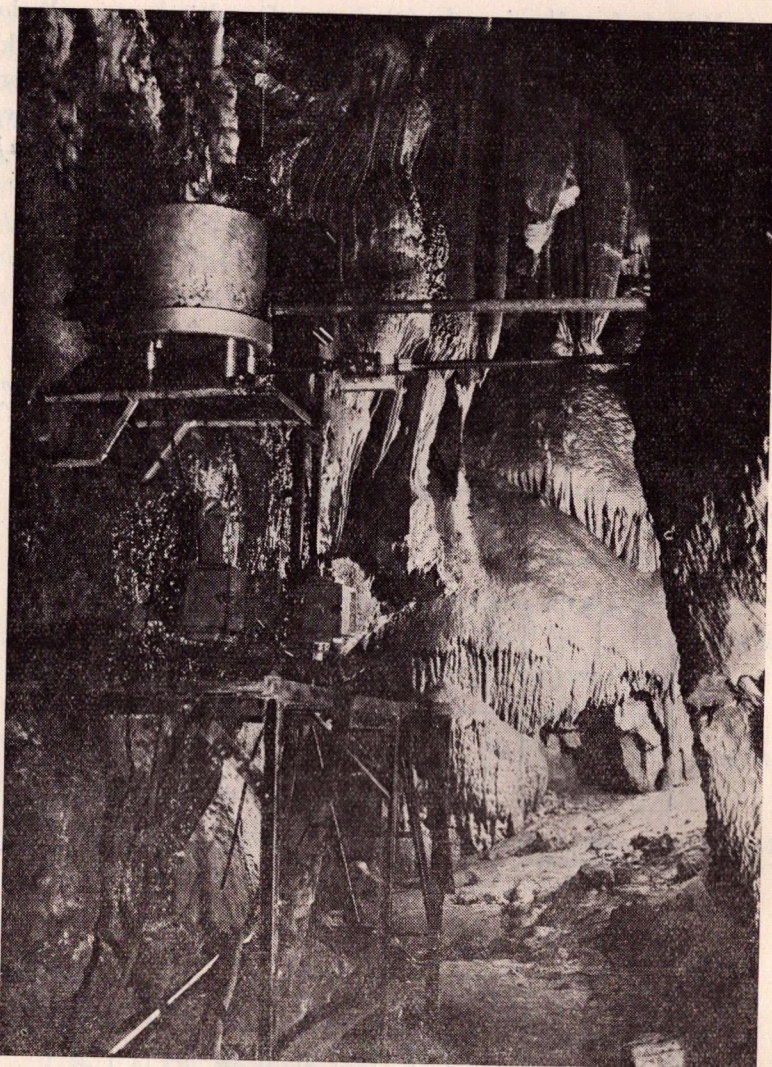
36 órás periódusú árapály ingadozást is megfigyeltünk egy alkalommal. Az adatok kizárólag az Aggtelek-Jósvafői karsztvidékre vonatkoznak. Ezeket szemlélteti a 11., 12. és 13. ábra. A leggyakoribb 6 órás periódusú hozamingadozást közvetve a szivornyás forrásoknál már kezdetben megfigyeltük. A karsztos szivornyák hatóránkénti kitörési hajlama (2. ábra) ill. a szivornyás kitöréseknek mindkét gravitációs szélsőértéknél előforduló azonos gyakorisága is erről tanúskodik (5., 6. ábra).



12. ábra. Árapály eredetű vízhozam—ingadozás a jósvafői Nagytohonya-forráson



13. ábra. Árapály eredetű vízhozam ingadozás a bódvaszilasi Vecsem-forráson



14. ábra. A jósüvafői VASS IMRE-barlang egyik É—D-i irányú folyosójában működő I. sz. litoklázis-fluktuáció mérőberendezés érzékelő egysége. A kép felső részén jól látható az érzékelőket tartalmazó olajzáras alumínium doboz az érzékelőkhöz vezető acélső jobb oldali részével. Háttérben a készülő II. sz. fluktuáció-regisztráló szuper-invár rúdra szerelt érzékelő egysége látszik, (BORZÁK P. felv.)

A karsztvízszint ingadozásokhoz hasonlóan a 12 és 24 órás periódusú árapály hullámok hol párhuzamosak, hol ellentétesek a gravitációs görbe változásaival egy forrás vízhozam idősorán belül is.

3. A földrengések hatása a források vízhozamváltozásaira nehezebben mutatható ki, mint a fúrás-vízszintek esetében. Ennek oka abban keresendő,

hogy amíg valamely fúrás csak néhány törésben mozgó vízszint ingadozását reprezentálja, addig a források geofizikai eredetű vízhozam változása a vízgyűjtő tér teljes repedéshálózatában történt vízszint változások statisztikus átlagától függ. Az eddigi megfigyelések szerint a földrengések hatására egyszer vízhozamcsökkenéssel, máskor vízhozam növekedéssel reagálnak a források [9].

A fúrások vízszintingadozásaihoz hasonlóan a források vízhozamváltozásaiiban is megfigyelhető a 9—18 óra között jelentkező, még ismeretlen eredetű nagyfrekvenciás, de kis amplitúdójú vízleingés.

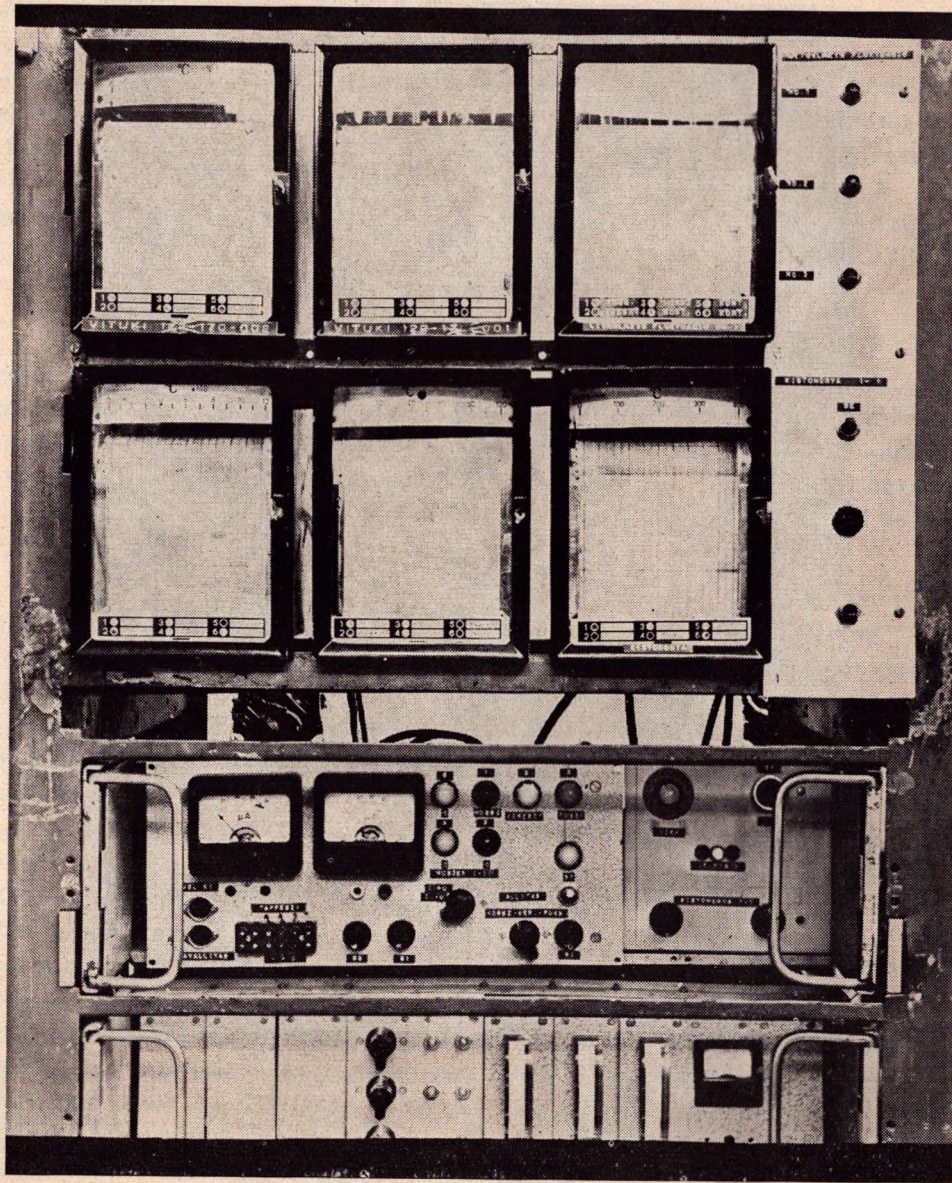
A kéregárapály műszeres vizsgálata karsztos törés mentén

A karsztvizek árapály-jelenségének mechanizmusára vonatkozó megfigyelések kiterjesztésére 1970. januárjában a jósüvafői VASS IMRE-barlangban üzembe állítottunk egy új mérőberendezést. Célunk az volt, hogy a litoklázis-fluktuáció menetét — az 1966. évi kísérleti mérésekhez hasonlóan — folyamatos idősorban is megismerjük.

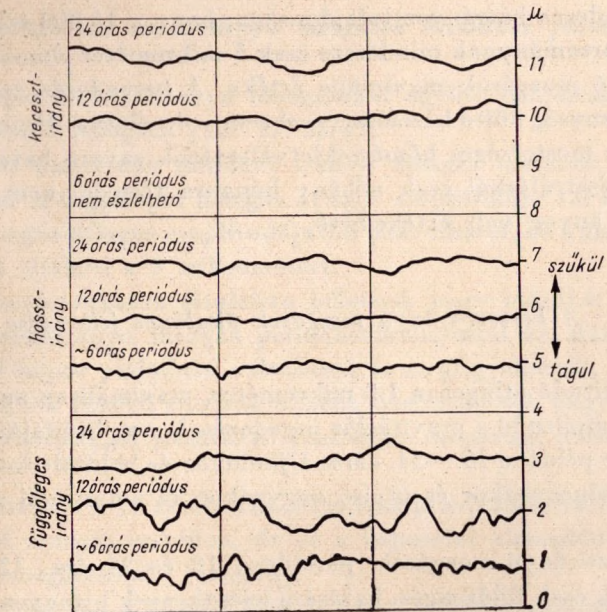
A mérőberendezés leírása

Az új litoklázis-fluktuáció mérő berendezés 1969. év folyamán GYÖRGY P. tervezése és kivitelezése nyomán készült el. A három komponensű elektronikus távmérő berendezés érzékelőit a VASS IMRE-barlangban az eredeti mérés helyén, azzal azonos elektróda elrendezéssel képeztük ki (3. ábra). A barlangi műszeregység fényképét a 14. ábra mutatja be. Az érzékelők fazékmágnésben elhelyezett oszcillátor tekercsek. A mozgás hatására az ellendarabon elhelyezett fedőlemez a tekercsek frekvenciáját elhangolja. Az így kapott frekvencia-változások jelét egy stabil-kristályoszcillátor jelével összekeverve maximálisan 20.000-es nagyítást sikerült elérni. Maximális nagyítás esetén a reprodukálható pontosság ± 0.2 mikrométer. A PDC-6-os regisztrálóra kerülő különbségi frekvencia értékek nem lineárisak az elmozdulások úthosszával. Ezért a berendezés nagyítása a különbségi frekvencia függvénye. A regisztrált görbék linearizálása egyelőre kézi átrajzolással történik az egyes érzékelők kalibrációs görbéi alapján készült skálák segítségével. A regisztráló berendezés a Kutató Állomás laboratóriumában van elhelyezve, melynek fényképét a 15. ábrán mutatjuk be. Az érzékelők és a regisztráló közötti 500 m-es távolságot földkábeles összeköttetés hidalja át. A kábel esetleges hőmérsékletváltozásából adódó ellenállásváltozások a mérőáram frekvenciáját nem befolyásolják.

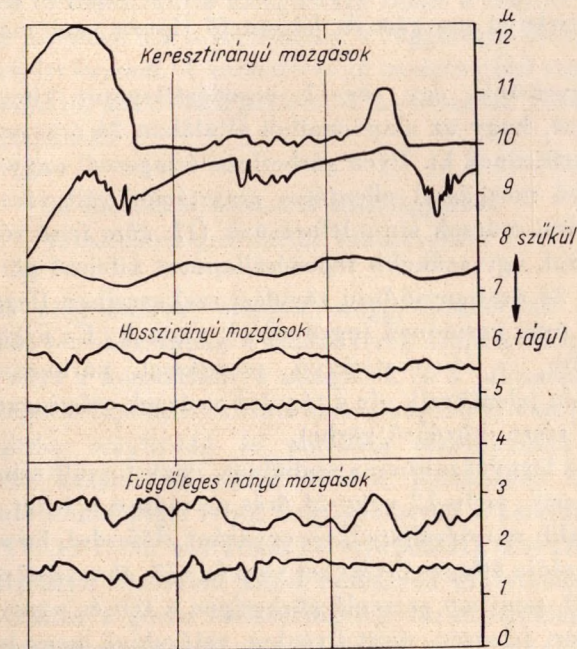
Az érzékelők acélsővek végén helyezkednek el. Az összesen 1.5 m. hosszú tartószerkezet ellenére a berendezés hőkompenzáltóságát az a szerencsés körülmény biztosítja, hogy a mérőhely természetes hőmérséklet változása sok évi átlagban $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{év}$. A napi természetes maximális hőmérsékletingadozás nem éri el a $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, de ilyen hőmérsékletváltozás évenként csak 1—2 alkalommal fordul elő.



15. ábra. A jósavfői Kutató Állomás laboratóriumában működő távregisztráló berendezés. A felső sorban vannak elhelyezve a litoklázis-fluktuációt mérő berendezések regisztráló készülékei, az alsó sor jobboldalán a Kistohonya-forrás 1 : 1-es léptékű vízhozam regisztrálója látszik. Közvetlenül a regisztrálók alatt látható a jelenleg is működő litoklázis-fluktuációmérő berendezés központi része BORZSÁK P.



16. ábra. A litoklázis-fluktuáció egyes komponenseinek jellemző periódus viszonyai



17. ábra. A litoklázis-fluktuáció komponenseinek jellemző görbetípusai

A berendezés hátrányos tulajdonsága, hogy a 15.000—20.000-es nagyítású mérési tartománynak mindössze csak 5 mikrométer elmozdulás felel meg, ami a várható mozgások maximális értéke. A berendezés eredetileg távirányítású érzékenység állító kezelőszervvel sem volt ellátva. Fentiek miatt — tekintetbe véve mesterséges hőmérsékletváltozások zavaró hatását is — a két éve folyó regisztrálásból csak néhány hónapra terjedő, nem teljesen összefüggő mérési anyag volt értékelhető.

A kereszt-irányú mozgások általános jellemzése

Az amplitudó átlagosan 1.5 mikrométer, maximálisan az 5 mikrométert is eléri. Az amplitudó a gravitációs ingadozások amplitudójának függvénye. Erre mutat be példát a 18.—24. ábra. Újholdkor és holdtöltekor az amplitudó maximális, elsőnegyedkor és utolsó negyedkor az amplitudó minimális értéket ér el.

A keresztirányú-mozgások periódusa 12 és 24 óra. 12 kisebb periódusú mozgások csak földrengés, hatására jelentkeznek bizonyos időszakokban, de 6 órás periódusú változás nem figyelhető meg (16. ábra). A 24 órás periódusú, 9—18 óra között gyakran jelentkező tágulási hullámokon belül órás periódusú ingadozások is előfordulnak, ha a törés kontrakció állapotában van (17. ábra: keresztirányú mozgások, középső görbe).

A keresztirányú mozgásnak három fő típusa van, melyet a 17. ábrán mutatunk be:

1. Megfigyeltünk, egy tágabb repedésállapotot kifejező görbetípust, amelyre jellemző, hogy az alapvonalból általában 24 órás periódussal szűkülési csúcsok emelkednek ki. Ilyen görbetípus átlagosnál nagyobb amplitudójú, a kereszt-irányú mozgással ellentétes gravitációs változások idején jelentkezik. A szűkülési csúcsok síma lefutásúak (17. ábra felső része, felső görbe).

2. Ismerünk egy szűkebb repedésállapotot kifejező görbetípust, melyre jellemző, hogy 24 órás periódusú tágulási szakaszaiban (leggyakrabban 9 és 18 óra között) órás periódusú ingadozások vannak. Ez a görbetípus is átlagosnál nagyobb, a keresztirányú mozgással párhuzamos gravitációs változások idején jelentkezik, de a tágulási csúcsok erős ingadozást mutatnak (17. ábra felső része, középső görbe).

3. Végül a leggyakrabban a szabályos, vagy torzult szinuszos alakú görbetípus jelentkezik, mely 12 vagy 24 órás periódusú is lehet. Ez a görbetípus szűkebb és tágabb repedésállapotban egyaránt előfordul, ha a gravitációs változások amplitudója átlagos értékeket vesz fel (17. ábra felső része, alsó görbe).

Az 1. és 2. pontban szereplő görbetípus a téli és nyári napforduló időszakában gyakori jelenség, mert ilyenkor valósulnak meg a legnagyobb amplitudójú gravitációs változások.

A függőleges és hossz-irányú mozgások általános jellemzése

A függőleges és hosszirányú mozgásokat együtt jellemezzük, mert sok tekintetben hasonló jellegűek (16. 17. ábra).

Az átlagos amplitudó mindkét irányú mozgás esetében kisebb, mint keresztirányban. A függőleges mozgás átlagos amplitudója 1.0 mikrométer, a hosszirányú mozgás átlagos amplitudója 0.8 mikrométer, de a maximális amplitudó egyaránt elérheti a 3 mikrométert.

A periódusviszonyokra általában jellemző, hogy mindkét irányú mozgás eltér a keresztirányú mozgás periódusviszonyaitól az alábbiak szerint:

1. 18—20 napos periódusú változások is megfigyelhetők, melyek lassú, folyamatos, tömbök közötti eltolódásokként értelmezhetők nagyobb energiájú és nagyobb gyakorisággal jelentkező földrengés csoportok időszakában (22., 23. 24. ábra).

2. Kimutatható a 12 és 24 órás periódusú gravitációs változások hatása mindkét irányú mozgás esetében, de ez a kapcsolat elmosódottabb, mint a keresztirányú mozgásoknál (16. ábra).

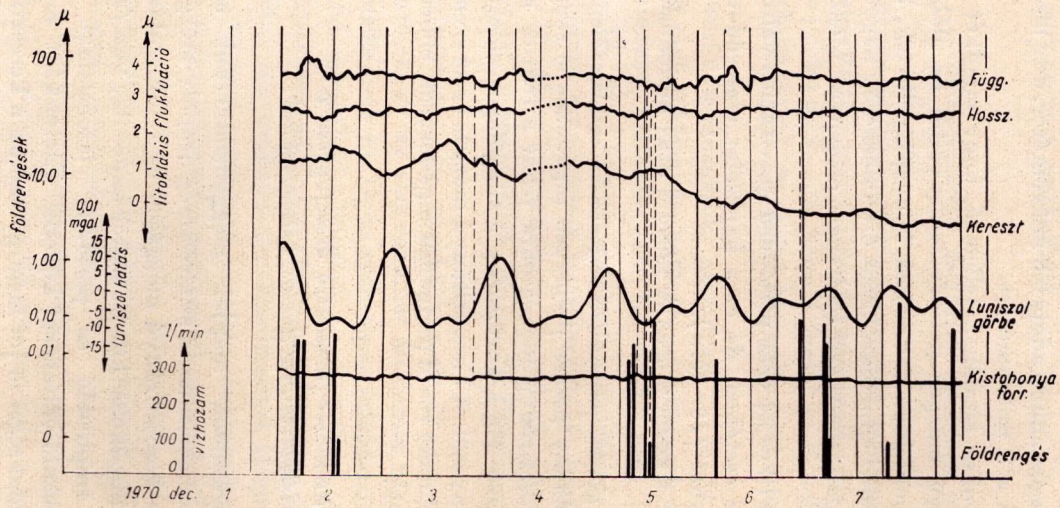
3. Igen gyakoriak a közel 6 órás és közel 3 órás periódusú ingadozások (16. ábra).

4. Valamennyi nagyobb periódusú változásra mikroszeizmikus nyugtalanságra emlékeztető néhány perces periódusú ingadozás is szuperponálódik.

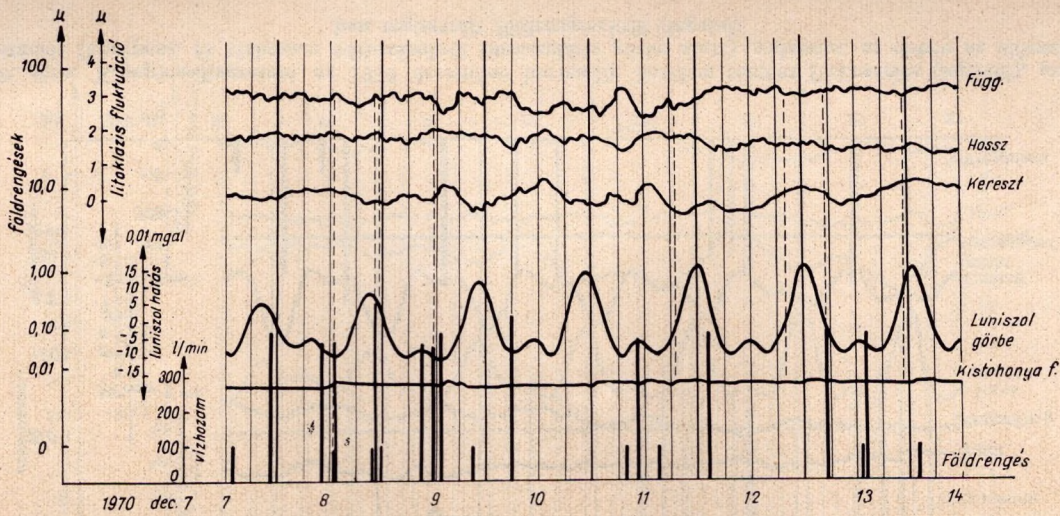
A függőleges és hosszirányú mozgásokra tehát a fentiek szerint általános nyugtalanság jellemző. Ez a körülmény a függőleges mozgásoknál fokozottabb mértékben érvényesül. A keresztirányú mozgás ezzel szemben kiegyensúlyozottnak mondható, mert rövid periódusú ingadozások ebben az irányban csak ritkán jelentkeznek.

A litoklázis-fluktuáció összefüggése a luniszoláris-gravitációs változásokkal

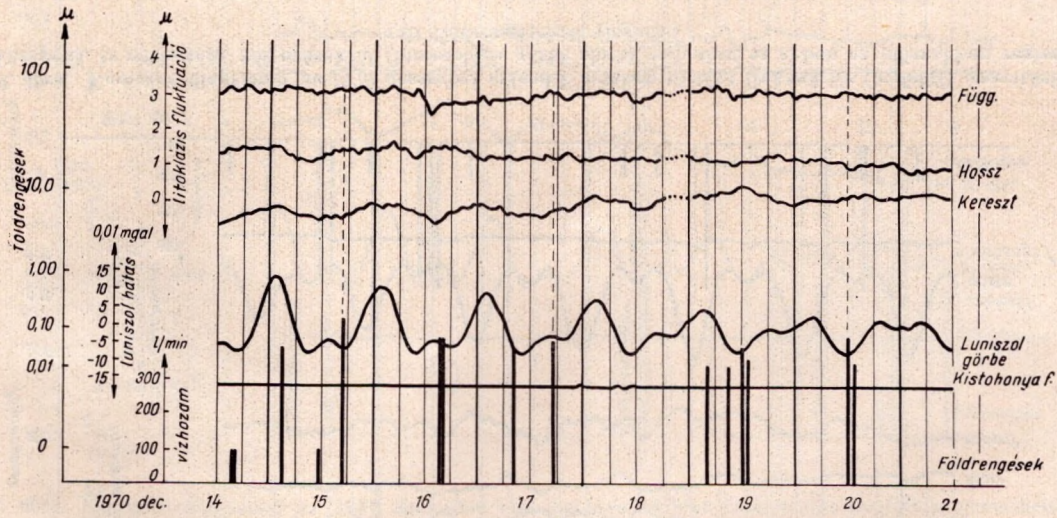
A komplex diagrammok alapján meggyőződhetünk arról, hogy a litoklázis-fluktuáció létrehozásában a szilárd kéreg árapály-mozgása elsődleges szerepet játszik, mert a keresztirányú mozgások és a luniszoláris gravitációs változások függőleges komponense között szoros kapcsolat van (18—24. ábra). A gravitációs görbe amplitudó és periódus viszonyainak változását a keresztirányú görbe hasonló változásai követik. Esetenként még a fél napos periódus amplitudó különbségei is jól megfigyelhetők a keresztirányú görbén (23. ábrán 1971. IV. 12-13-án mutatunk be erre példát). Zavarmentes időszakokban a keresztirányú érzékelők közel szabályos gravitációs görbe-alakot jeleznek. A keresztirányú görbe szélsőértékei gyakran egyidejűek a gravitációs görbe szélsőértékeivel, de ettől számos eltérés is mutatkozik. Így például közel 3 órás késés figyelhető meg a 22. ábrán 1971. IV. 5., 6., 7.-én. A kereszt-



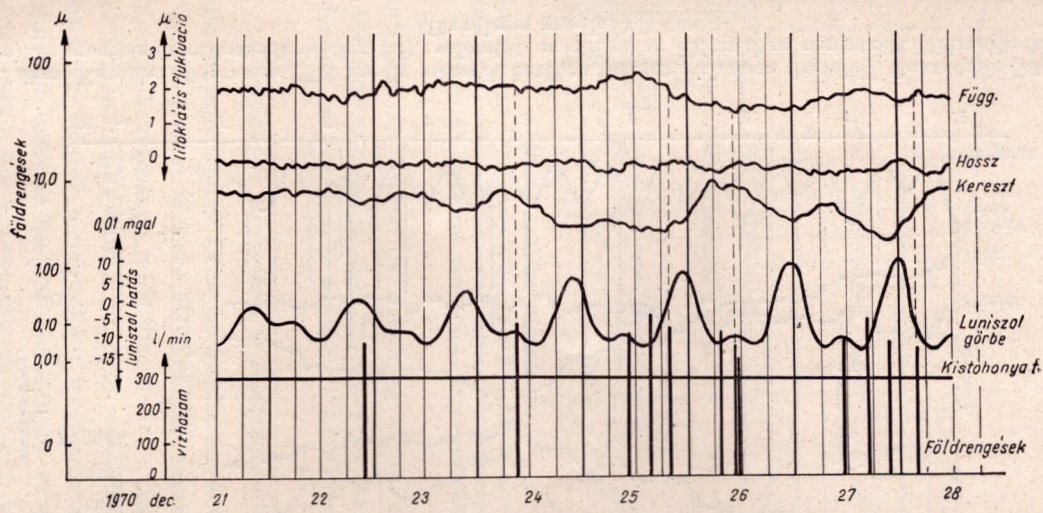
18. ábra. Komplex-diagramm az 1970 december első hetében történt fluktuációs (legfelül), gravitációs (középen), és vízhozam változásokról (luniszoláris görbe alatt), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (legalul)



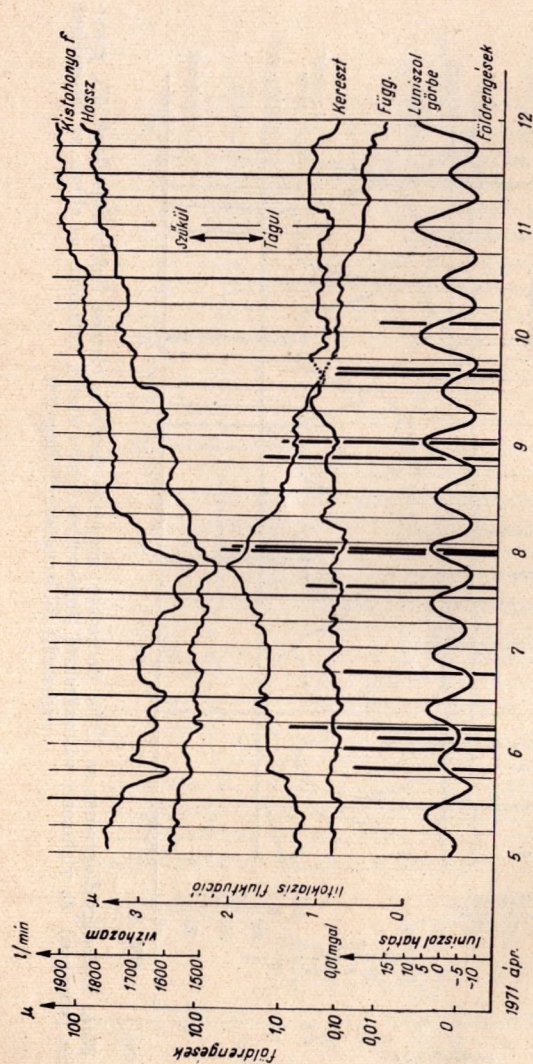
19. ábra. Komplex-diagramm az 1970 december második hetében történt fluktuációs (legfelül), gravitációs (középen), és vízhozam változásokról (luniszoláris görbe alatt), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (legalul)



20. ábra. Komplex-diagramm az 1970 december harmadik hetében történt fluktuációs (legfelül), gravitációs (középen), és vízhozam változásokról (luniszoláris görbe alatt), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (legalul)



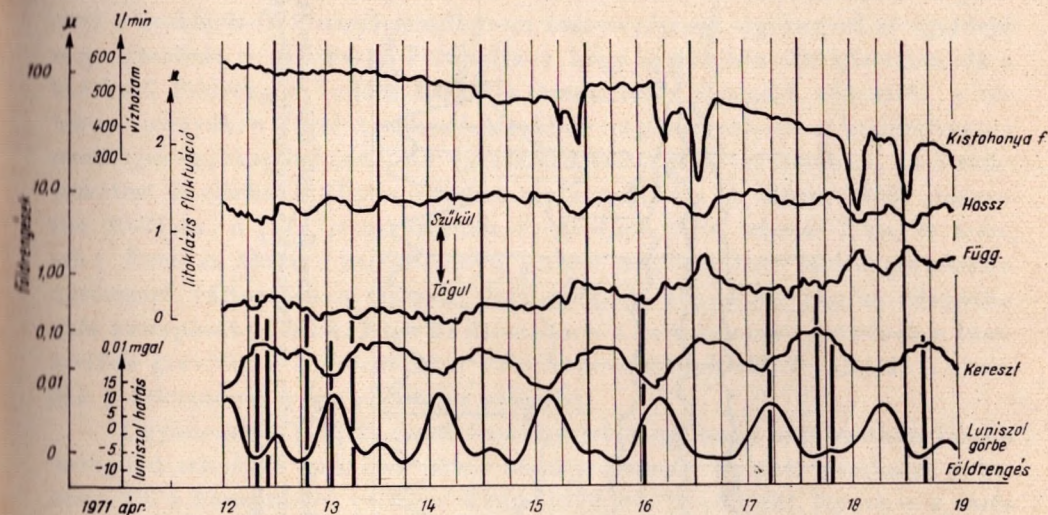
21. ábra. Komplex-diagramm az 1970. december negyedik hetében történt fluktuációs (legfelül), gravitációs (középen), és vízhozam változásokról (luniszoláris görbe alatt), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (legalul)



22. ábra. Komplex-diagramm 1971 április második hetében történt vízhözam (legfelül), fluktuációs (középen), és gravitációs változásokról (legalul), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (függőleges vonalak)

irányú mozgás az esetek nagyobb részében tükörképe a gravitációs változásoknak. Bizonyos időszakokként azonban a két görbe párhuzamossá válik.

A függőleges és hosszirányú mozgások 12 és 24 órás periódusú változásai a keresztirányhoz hasonlóan hol párhuzamosak hol ellentétesek a gravitációs görbével. Ez a kapcsolat azonban mind görbemorfológiailag, mind szín-



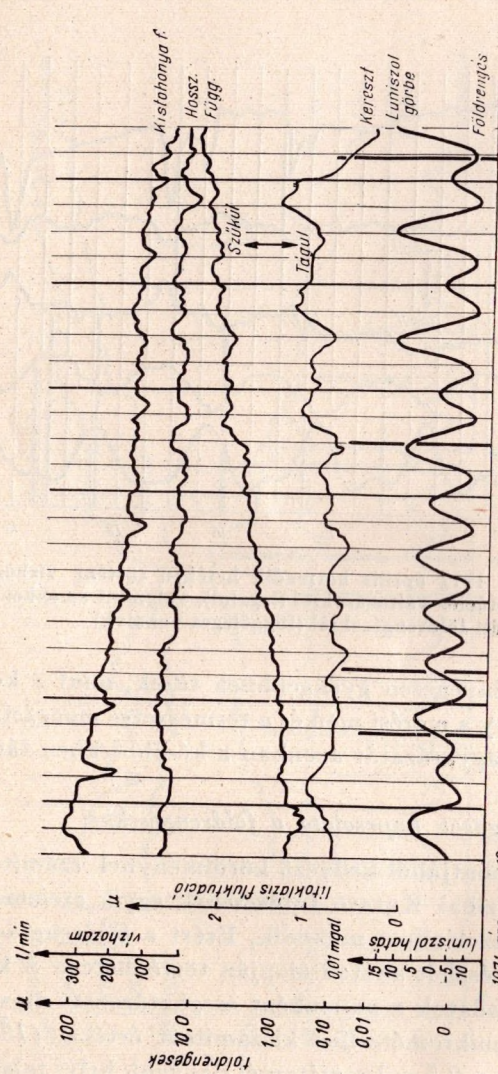
23. ábra. Komplex x-diagramm 1971 április harmadik hetében történt vízhözam (legfelül) fluktuációs (középen), és gravitációs változásokról (legalul), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (függőleges vonalak)

kronitás szempontjából lényegesen gyengébbnek tűnik, mint a keresztirányú mozgásnál. Ez a körülmény a mérési mód és a természetes mozgásfajta különbségéből adódik. Ennek magyarázatát azonban a későbbiekben tárgyaljuk.

A mozgások kapcsolata a földrengésekkel

Vizsgálataink szempontjából kedvező körülménynek számított, hogy az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetének egyik szeizmográfja 1969 óta a Kutató Állomás kezelésében működik. Ezért a földrengés-hatás figyelembevétele a helyszínen észlelt adatok alapján történhetett. A komplex diagramokon feltüntetett adatok a naponként meghatározott maximális talajrészecske elmozdulások mikrométerben kiszámított értékei (18–24. ábra). Vizsgálataink szerint csak a 0,5 mikrométernél nagyobb helyi talajelmozdulást okozó földrengések hatása mutatható ki a litoklázis-fluktuációban.

Az észlelt földrengés-csoportok gyakran egyidejűek a kéreg árapály-hullámainak maximumaival, vagy minimumaival, vagyis a keresztirányú kontrakciós, vagy dilatációs csúcsokkal. Ez a megfigyelés megfelel azoknak az ismereteknek, mely szerint az árapály hullámoknak a kéregben földrengés



24. ábra. Komplex-diagramm 1971. április negyedik hetében történt vízhozam (legfelül), fluktuációs (középen), és gravitációs változásokról (legalul), valamint az ebben az időszakban regisztrált földrengésekről (függőleges vonalak)

kioldó szerepük is van. Ha bizonyítható, hogy az észlelt földrengések a kéreg árapály hullámok kialakulásának környezetében pattantak ki, úgy az idézett példák ezt a jelenképet szemléltetik. (Korábbi közleményünk [11] 2. ábráján 1970. I. 29-én és II. 2-án, stb.)

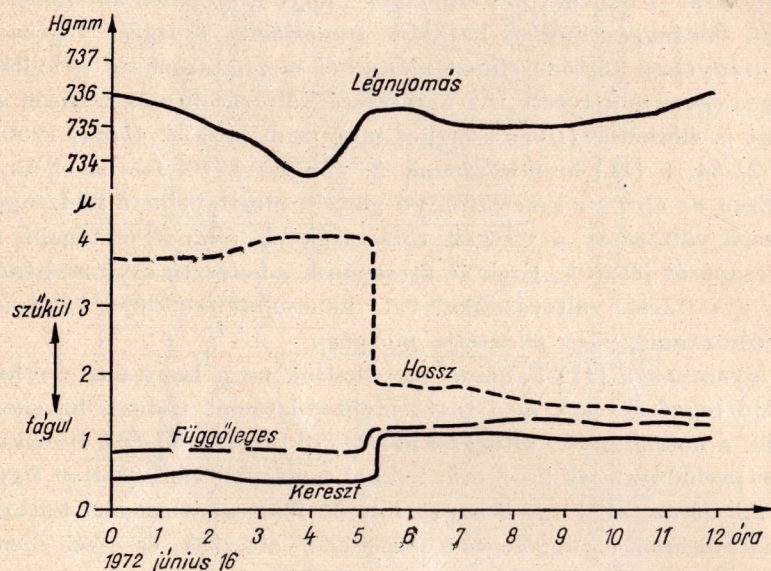
A nagyobb energiájú távoli földrengések hatása (melyek maximálisan 900–1000 mikrométer talajrészecske elmozdulást is létrehozhatnak a helyszínen) a litoklázis-fluktuáció mindhárom összetevőjének ugrásszerű és egyidejű megváltozását is okozhatja. Feltételezve, hogy a szemben álló kőzettömbök a beérkező földrengés hullám hatására translációs mozgást végeznek, a tér három irányában történt elmozdulásokból meghatározható a hullámfrontra merőleges egyenes helyzete. Az ugrásszerű változások maximálisan az 5 mikrométert is elérhetik. (Ilyen eseteket mutatunk be a 4. ábrán, 1966. augusztus 20-21-én, a [11] hivatkozásunk 2. ábráján 1970. február 2-án, és 4-én, stb.). Ezen az ábrán a keresztirányú görbén megfigyelhető földrengés okozta ugrásszerű változások a vizsgált törés szűkebb állapotból tágabb állapotba való átcsapását jelentik. Ezek az átcsapások a keresztirányú görbének a luniszoláris gravitációs változásokkal való kapcsolatának előjel váltását is okozzák (párhuzamos, vagy ellentétes mozgás).

Ugyancsak a [11] 2. ábrán figyelhetjük meg, hogy más esetben kisebb energiájú rengések csak igen rövid idejű dilatációt tudnak létrehozni a kereszt, ill. a hosszirányú változásokban (1970. II. 10–11-én). Ilyenkor a törés tágulási periódusa csak 2–3 óra. Sokkal tartósabb változásokat figyelhetünk meg a 22. ábrán, ahol egy 5 napra terjedő földrengés csoport burkoló görbéjével párhuzamos a függőleges komponens változása, és ezzel ellentétes, de szimmetrikus a hosszirányú komponens alakulása. Mivel a keresztirányú mozgások láthatóan függetlenek a másik két komponens megváltozásától, ezért feltételezhető, hogy bizonyos esetekben egyes földrengés csoportok a szemben álló kőzettömbök több napos tektonikus mozgását idézik elő. Ezek a tektonikus változások a 22. 23. és 24. ábra figyelembe vételével 18 napos reverzibilis folyamatot mutatnak, és translációs mozgásként értékelhetők.

Kapcsolat a légnyomásváltozásokkal

A légnyomás változások és a litoklázis fluktuáció közötti összefüggés részletesebb tanulmányozására eddig még nem volt lehetőség. A helyszíni meteorológiai állomáson regisztrált és frontbetörésekor jelentkező ugrásszerű légnyomás változások (ún. légnyomás orrok) kapcsolatát a litoklázis-fluktuációval azonban néhány esetben megvizsgáltuk. Nagy sebességű frontbetörések idején 1–2 órán belül 2–3 Hgmm-es légnyomás növekedés is jelentkezhet. Az így kialakuló súlytöbblet — amely a karszt felszínére nehezedik, — deformálja a törésekkel elválasztott kőzettömböket és ezáltal megváltoztatja az egyes kőzettömbök relatív helyzetét is. A 25. ábrán bemutatjuk a fenti hatás

karsztos törésben mérhető egyik jellemző esetét. A légnyomás 1972. VI. 16-án 4 órától 6 óráig 2 Hgmm-el növekedett meg. Ennek következtében 5 óra 15 perckor a litoklázis-fluktuáció mindhárom komponense ugrásszerű változást szenvedett. Keresztirányban 0.7 mikrométeres tágulás lépett fel a vizsgált törésben. Függőleges irányban a szemben álló kőzettömbök a 4. ábra értelmében úgy mozdultak el egymás mellett, hogy Ny-i tömb emelkedett, ill. a K-i tömb süllyedt 0.4 mikrométert. A legnagyobb változás hosszirányban



25. ábra. Gyors légnyomás változás hatása a litoklázis-fluktuációra

történt. A Ny-i tömb É-i irányban, illetve a K-i tömb D-i irányban kerekén 2 mikrométert mozdult el.

A légnyomás hatás vizsgálata megmutatta, hogy a törésekkel határolt kőzettömbök rugalmas alakváltozással, ill. függőleges törések menti relatív mozgással reagálhatnak valamely globális erőhatásra. Fentiek alapján az is feltételezhető, hogy a légnyomásváltozások a litoklázis-fluktuáció közvetítésével is befolyást gyakorolhatnak a karsztvízszint változásaira.

A litoklázis-fluktuáció és a források vízhozamváltozásainak összefüggése

Vizsgálataink alapján meggyőző módon tudtuk igazolni a luniszoláris gravitációs változások és a függőleges karsztos törésrendszerekben jelentkező változások kapcsolatát. Ebben a fejezetben a törésrendszerek térfogatában bekövetkező változások, valamint a törésrendszerekben — mint víztározók-

ban — elhelyezkedő karsztvíztestben kialakuló mozgások közötti összefüggést szeretnénk bemutatni. A litoklázis-fluktuáció mérő állomás színhelyén, a VASS IMRE-barlang hidrológiai rendszerében a mérések időszakában még nem rendelkezünk karsztvízszint észlelő furással, ezért a törés menti mozgások és a karsztvízszint változások közötti kapcsolatot nem tudtuk megvizsgálni. A barlang vízrendszeréből táplálkozó Kistohonya — forrás hozamát 1966 óta folyamatosan regisztráltuk. A bukógátas, linearizáló bukólappal felszerelt műtárgyon Metra-gyártmányú vízszint regisztrálóval 1 : 5 léptékben, elektromos távmérő berendezéssel 1 : 1 léptékben mértük a vízszintet, illetve az ezzel lineárisan változó vízhozamot. Fentiek miatt a litoklázis-fluktuáció és a forrás vízhozam változása közötti összefüggés tanulmányozására volt csak lehetőség. Az 1 : 1-es léptékű vízszint mérés lehetővé tette 1—2 liter/perces vízhozam differenciák megbízható meghatározását, vagyis sikerült olyan érzékeny vízhozammérő rendszert kialakítani, amely alkalmas volt a geofizikai hatások okozta vízmozgás érdemi megfigyelésére. Ennek ellenére évekig nem sikerült kapcsolatot találni a litoklázis-fluktuáció és a forrás vízhozamváltozásai között, mert a Kistohonya-forrásnál csak magas karsztvízszint esetén, csapadékos árvizek leszálló ágában jelentkezik árapály eredetű vízhozam-ingadozás. Évente átlagos körülmények esetén csak 1—2 árvíz jelentkezik. Ezért csak 1971 tavaszán tudtuk először biztosítani az 1 : 1-es vízszint regisztráló és a litoklázis-fluktuáció regisztráló berendezés egyidejű és megbízható üzemét.

A probléma vizsgálatának első időszakában feltételeztük, hogy a szilárd kéreg dagálya idején a karsztban lévő függőleges törésrendszerek általános izotróp tágulása, a szilárd kéreg apálya idején pedig szűkülése következik be, amely együtt jár a karsztvízszint, ill. a forráshozamok csökkenésével és növekedésével. E feltevés teljesülése esetén a függőleges törésrendszer egyetlen pontjában történő keresztirányú fluktuációmérés reprezentálta volna az egész törésrendszer keresztirányú-mozgását és ennek függvényében a karsztvízszint ill. a forráshozamok árapály-mozgását. Az első három komponensű fluktuáció mérés (1966) tisztázta, hogy az okok és okozatok kapcsolatában természetesen bonyolultabb összefüggésekre kell számítani [8]. [10]. Technikai okok miatt azonban eddig csak egyetlen mérőhelyen tudtuk megvalósítani a litoklázis-fluktuáció mérését. Adott körülmények között a kezdeti feltevéstől való eltérések vizsgálata betekintést nyújtott a tényleges kapcsolatok mechanizmusába.

A megbízhatóság szerint kiválasztott mérési időszakok anyagában elsősorban a keresztirányú mozgások és a forráshozam közötti változások összefüggését tanulmányoztuk, de szorosabb és egyértelmű kapcsolatot nem találtunk. Egy-két alkalommal kimutatható volt a keresztirányú változás és a vízhozam változás előjel-helyes egyidejű hulláma ([11] 2. ábrán: 1970 január 29-én, február 3-án, 18. ábrán: 1970 december 3—4-én stb.), de más időszakokban a két görbe ellentmondásos változása megmutatta, hogy valószínű-

leg csak időszakonként van előjelhelyes kapcsolt a törés keresztirányú mozgása és a vízhozamváltozások között. Itt kell megemlíteni, hogy az előjel-helyes együttes változások alatt azt értjük, hogy a törések térfogat növekedéséhez, vagy csökkenéséhez vízhozam csökkenésnek, vagy növekedésnek kell tartoznia. Másrészt a fluktuációs-mozgások és a vízhozam változások közötti tényleges kapcsolat esetén azért lehet egyidejűsége, vagy csak elhanyagolhatóan kis időeltérésre számítani, mert a törések geofizikai eredetű térfogatváltozása elegendően gyors ahhoz, hogy hatásuk a karsztvíztestben nyomáshullámok terjedési sebességével jusson el a forráshoz.

A litoklázis-fluktuáció és a forrásvízhozam változása közötti összefüggés jellegét legszemléletesebben a 22., 23., 24. ábrán mutatjuk be. Az 1971 áprilisi havi komplex diagramokon az áttekinthetőség növelése érdekében a Kistonya-forrás vízhozamváltozásait kétszeres nagyításban, a fluktuációs változások görbéit 50.000-szeres nagyításban dolgoztuk fel. Az április 5-től 26-ig terjedő időszakban a keresztirányú mozgások és a vízhozamváltozások között szintén nem találtunk összefüggést, annak ellenére, hogy a gravitációs változásokkal igen jó korellációt kaptunk (különösen a 23. ábrán figyelhető meg az eredeti feltevésnek megfelelő igen jó kapcsolat). Az ugrásszerű vízhozam minimumok többségét ugyan keresztirányú kontrakciós csúcsokkal közel egyidejűnek találtuk, de ez a körülmény is ellentmondásos, mert az összeesések nem előjel helyesek. Ezzel szemben a hossz- és függőleges-irányú változások (lényegesen torzultabb gravitációs kapcsolat ellenére) igen sokoldalú megegyezést mutatnak a vízhozamváltozásokkal. Nemcsak az ugrásszerű vízhozam minimumok egyidejűek a hossz- és függőleges-irányú szintén ugrásszerű görbe csúcsokkal, hanem a fő változások tendenciája is szorosan összefügg egymással. A hosszirányú görbe az adott ábrázolási mód mellett párhuzamos, a függőleges-irányú görbe ellentétes haladást mutat a vízhozamváltozásokkal. Az összefüggés szorossága szempontjából azonban mindegy, hogy milyen irányú kapcsolatról van szó, másrészt a hossz- és függőleges-irányú mozgásoknál a vízhozammal való előjel-helyes kapcsolat kérdésének aligha lehet értelmet tulajdonítani. Még arra is rá kell mutatnunk, hogy csak az átlagosnál nagyobb hossz- és függőleges-irányú görbe csúcsok, illetve vízhozam minimumok között tapasztalható megbízható egyidejűség. Ugyanakkor a függőleges-irányú görbe egy árnyalattal élesebb összefüggést mutat a vízhozam változásokkal, mint a hosszirányú görbe.

Megállapíthatjuk tehát, hogy a tanulmányozott időszakban vizsgálataink helyén (egy függőleges karsztos törésrendszer egyetlen pontján) a vízhozamváltozásokkal a hossz- és függőleges-irányú mozgások függnek össze és nem a keresztirányú mozgások. Ha tekintetbe vesszük azt is, hogy a vizsgált időszakban a vízhozam minimumok többsége keresztirányú kontrakciós csúcsokkal volt egyidejű, úgy valószínűnek látszik, hogy a földkéreg dagálya idején egy adott területen nincs általános keresztirányú tágulás, apálya idején

nincs általános keresztirányú szűkülés a függőleges karsztos törésrendszerekben. Másrészt az a tény, hogy a hossz- és függőleges-irányú változások egyetlen ponton való mérés esetén is összefüggnek a vízhozamváltozásokkal csak azt jelentheti, hogy ezek a mozgások valamilyen módon a forrás vízrendszeréhez tartozó függőleges törési hálózat átlagos keresztirányú mozgását reprezentálják. Ezt azért kell feltételezni, mert hézagterefogat változással forrásvízhozam változás csak úgy jöhet létre, ha a vízgyűjtő terület alatti törésekben a különböző amplitúdójú karsztvízszint változások átlagában történik változás.

A mérési módszer kritikai vizsgálata

Az előzmények során bemutatott mérési módszerünk nyilvánvalóan nem alkalmas a szemben álló kőzettömbök önálló mozgásának meghatározására, hiszen azok egymáshoz való viszonyát vizsgáltuk. Bármelyik kőzettömb önálló mozgásának 0,2 mikrométeres pontossággal való meghatározásához arra lenne szükség, hogy legalább 0,02 mikrométeren belül stabilizált fixponthoz képest mérjük meg valamelyik kőzettömb egyik pontjának mozgását (amennyiben a vizsgált kőzettömböt merev testnek tekinthetnénk). Ilyen fixpontot azonban a szilárd kéreg, a gravitációs és mágneses tér dinamikája miatt valószínűleg csak csillagászati tájolással, vagy giroszkópos elv alkalmazásával lehetne létrehozni. Egyetlen kőzettömb két merőleges oldalon való relatív mérésével azonban statisztikusan következtetni lehetne egyes önálló mozgások lefolyására.³

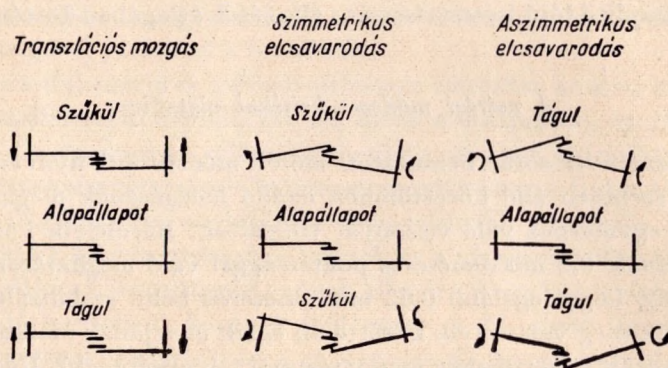
Méréseink és a karsztvízmozgás vizsgálata alapján a további kutatások során szeretnénk körvonalazni a karsztvizek árapály-jelenségének valószínű mechanizmusát. Ehhez még arra van szükségünk, hogy megismerjük a mérési módszerünk által nyerhető adatok valóságtartalmát. Tekintsük át az elvileg lehetséges relatív mozgástípusokat és nézzük meg, hogy mérőberendezésünk hogyan közvetíti a valóságos folyamatok lejátszódását.

Keresztirányban a két szembenálló kőzettömböt összenyomóerő esetén a tömbök szabad elmozdulására csak a tömbök közötti törések záródásáig van lehetőség. Ezután csak rugalmas alakváltozással közeledhet egymáshoz a barlang két szemben álló fala. A két kőzettömböt széthúzó erő esetén elvben nincs határa a szabad elmozdulásnak. Maradó változások is létrejöhetnek a két kőzettömb viszonyában. A keresztirányú mozgás összetevője lehet olyan relatív kőzettömb mozgásnak is, amely a kőzettömbök járatengellyel párhuzamos tengelyű, illetve függőleges tengelyű billegéséből, illetve elcsavarodásából származik.

Függőleges- és hosszirányban — azaz a törés síkjában — rugalmas alakváltozások nélküli szabad elmozdulásokkal is lehet számolni. A maradó

³ Ennek a vizsgálatnak az előkészítése folyamatban van.

változások a két közettömb viszonyában nagyobb valószínűséggel jöhetnek létre, mint keresztirányban. (pl. tektonikus mozgások), ha csupán a két szembenálló közettömb translációs mozgását vesszük tekintetbe. Mindkét mozgástípus azonban összetevője lehet a közettömbök olyan relatív mozgásának, melyek a járattengellyel párhuzamos, vagy merőleges tengelyű, illetve függőleges tengelyű billegésből, illetve elcsavarodásból származik. Ezek a térbeli



26. ábra. A függőleges- és hosszirányú érzékelők különböző mozgástípusok esetén történő relatív mozgása

mozgások torlódásokat okozhatnak a közettömbök között. A tömbök rugalmas deformációja esetén függőleges és hosszirányban is jelentkezhetnek ebből származó elmozdulások.

Keresztirányban az érzékelő minden esetben előjel helyesen jelzi a mozgások lejátszódását. A 26. ábrán bemutatjuk, hogy ezzel szemben függőleges- és hosszirányban az érzékelők csak abban az esetben közvetítik egyértelműen a relatív elmozdulásokat, ha translációs mozgásról van szó. Geometriai okokból szimmetrikus elcsavarodás esetén mindkét forgásirányban szűkülés, aszimmetrikus elcsavarodás esetén mindkét forgásirányban tágulás jöhet létre az érzékelő elemek között. Ez utóbbi két esetben, ha az alapállapothoz képest a szemben álló közettömbök vízszintes, vagy függőleges tengely mentén ingázó mozgást végeznek, akkor az érzékelők által közvetített mozgás olyan, hogy a tényleges mozgás periódus ideje megfelelődik, vagyis a tényleges ingadozások száma megkétszereződik. A természetes mozgásjelenségeken kívül ez a körülmény is hozzájárulhat ahhoz, hogy függőleges- és hosszirányban igen nagyfokú instabilitás észlelhető és a gravitációs változásokkal való kapcsolat is elmosódottabb, mint keresztirányban.

Kiragadott példákon mutattuk be módszerünk korlátait. Fentiekből következik, hogy mérőberendezésünk nem alkalmas mindenfajta relatív mozgástípus egyértelmű és előjel-helyes kimutatására. Ezért az eredmények érté-

kelésénél figyelembe kell venni azt a lehetőséget, hogy a hossz- és függőlegesirányú görbék alakulásában esetleg a mérőberendezés torzító hatása is szerepet játszik.

A mérések értelmezésének kérdése

Ebben a tanulmányunkban a mérések értelmezésére és a karsztvizek árapály-jelenségének mechanizmusával kapcsolatos problémák megoldására még nem vállalkozhatunk, csupán mérési módszerünket és a kapcsolatok jellegét kívántuk bemutatni. A jelenségek okainak és összefüggéseinek magyarázatához a rendelkezésünkre álló és feldolgozott litoklázis-fluktuáció mérési anyag még nem elegendő. Remény van azonban arra, hogy az adatok további tanulmányozásával ezekről a kérdésekről is rövidesen számot tudunk adni.

IRODALOM

1. ANKER, T. F.: Über intermittierende und pulsierende Karstwasserläufe. Mitteilungen München, 8, 3, 64-67, 1962.
2. ARAGÓ FR.: Oeuvres Completes. Paris, „Les puits forés”. 6, VII, 311, 1856.
3. BARTA GY.—VARGA P.: Nagy mélységben és magasságokban mozgó tömegek földi hatásáról. II. Anyag- és Energiaáramlási Ankét anyaga. Akadémiai Kiadó, Budapest, 243-249, 1972.
4. BREDEHOEFT J. D.: Response of Well-Aquifer Systems to Earth Tides. Journal of Geophysical Research, 72, 12, 3075-3087.
5. CARR, P. A.: Use of Harmonic Analysis to Study Tidal Fluctuations in Aquifers near the Sea. Water Resources Research, 7, 3, 632-643.
6. GERBER P.: Karszthidrológiai megfigyelések a tatabányai medence nyugati sásbércén. V. Bányavízvédelmi Konferencia tárgyalási anyaga. Budapest, 1965, IX, 20-22. 74-95, 1965.
7. KLÖNNE, F. W.: Die periodischen Schwankungen in den inundierten Kochenschichten von Dux in der Periode von 8. April bis 15. September 1879. S. B. Kais. Akad. Wiss., 81, 101, 1879.
8. MAUCHA L.: A karsztvízszint árapály-jelenségének kimutatása. Bányászati Kutató Intézet Közleményei, Budapest, XI, 1-2, 87-94, 1967.
9. MAUCHA L.: Geofizikai tényezők hatása a karsztvizek mozgásviszonyaira. I-II. Kéziratban jelentés a Közp. Földt. Hiv. részére. Budapest, 1969-1970.
10. MAUCHA, L.—SÁRVÁRY, I.: Tidal Phenomena in the Karstic Water-Level. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, XV, 2, 6, 39-45, 1970.
11. MAUCHA L.—SÁRVÁRY I.: Az árapály eredetű közetdilatáció mérése és az ehhez kapcsolódó észlelések a Jósavfői Kutató Állomáson. II. Anyag- és Energiaáramlási Ankét anyaga. Akadémiai Kiadó, Budapest, 239-242, 1972.
12. MELCHIOR, P.: Die Gezeiten in unterirdischen Flüssigkeiten. Communications de l'Observatoire Royal de Belgique. 172, Série Geophysique 55, 312-317, 1960.
13. ROBINSON, T. W.: Earth Tides as Shown by Fluctuations of Water-Levels in Wells in New Mexico and Iowa. Trans. Amer. Geophysic. Union, Part IV, 665, 1959.