

## Karsztos szivornyák mint hidraulikai jelfogók\*

A Budapesti Műszaki Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékének Jósvafői Karsztkutató Állomásán három karsztforrás folyamatos vízhozamregisztrálása alapján 1963-tól 1968-ig kimutattuk a karsztvíztükör árapály jelenségét. A karsztvízmozgás eddig ismeretlen új jelenségének felismerésére a Lófej- és Nagytohonya-forrás intermittálásának ill. a Kistohonya-forrás pulzálásának megfigyelése vezetett. Az árapály jelenség mechanizmusának kutatására kiegészítő geofizikai vizsgálatokat is végeztünk. Kimutattuk, hogy a földdagály jelenség hatására a karsztos hézagterefogat periódikus összehúzódásával, tehát közvetett vízkiszorítással jön létre a karsztvíztükör árapály jelensége. Ennek a vizsgálatnak első eredményeiről a „Karszt-és Barlangkutatás” V. kötetében már részletesen beszámoltam. Ebben a dolgozatban szeretném összefoglalni azokat az új ismereteket, amelyekről az árapály jelenség vizsgálata során szereztünk tudomást, és amelyek a karsztos szivornyarendszerek felépítésére, működésére és hidraulikai szerepére vonatkoznak.

### Korábbi ismeretek

A világ minden nagyobb karsztterületén ismerünk olyan karsztforrásokat, amelyek vízhozamingadozása nem magyarázható pusztán a csapadékbeszivárgás ütemével. Magasan az átlagos karsztvízszint felett fekvő, csak időszakosan aktív forrásokról a legtöbb esetben kimutatható, hogy részleges aktivitásuk a karsztvíztükör emelkedésével hozható kapcsolatba. Az állandó alaphozamú, de periódikus kitöréseket és pulzációkat is napvilágra hozó

karsztforrásokról pedig a kutatók már régóta feltételezték, hogy a föld alatti vízgyűjtő járataikban természetes úton keletkezett szivornya működik. Ennek ellenére a legutóbbi időkig csak igen kevesen foglalkoztak a szivornyás karsztforrások vízhozamingadozásának huzamosabb megfigyelésével, a karsztos szivornyák működésének részletesebb vizsgálatával. Valószínűleg A. F. Anker zürichi kutató az első szakember, aki 1962. évi közleményeiben felhívja a figyelmet az intermittáló és pulzáló karsztforrásokra. Műszeres vízszíningadozás-mérések alapján nagyon világosan rámutatott arra, hogy a kitörések és pulzációk egyaránt szivornyaműködés eredményei lehetnek, bonyolultabb kifejlődésű szivornyakombinációk is elképzelhetők.

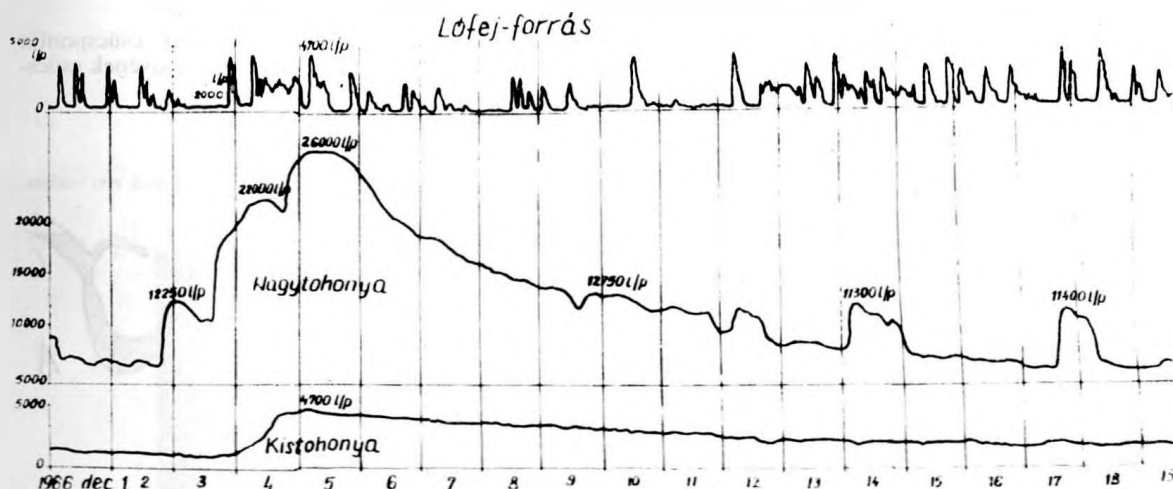
### A Jósvafő környékén vizsgált karsztforrások jellemzése

A Jósvafő környéki középső triász mészkő és dolomitból felépült karsztterületen egymáshoz közel bukkannak felszínre az általunk több éve regisztrált karsztforrások.

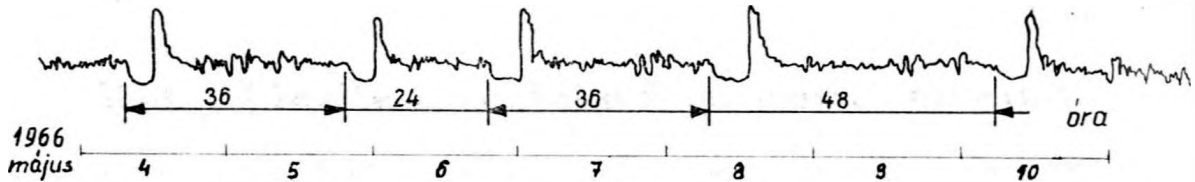
Az 1. ábrán azonos léptékben mutatjuk be a Lófej-, a Nagytohonya- és a Kistohonya-forrás azonos időszakban regisztrált vízhozamváltozásait 1966. december 1-től 19-ig. Az abszcisszán a függőleges vonalakkal elválasztott napokat raktuk fel. Az ordinátán 5000 liter/perces osztások adják a vízhozam-skálát.

\*Az V. Jugoszláviai Szepeleológiai Kongresszuson 1968. szeptember 16-án Szkopjében elhangzott előadás anyaga.

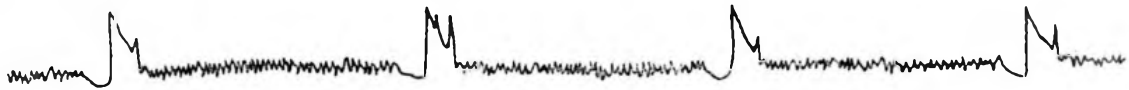
1. ábra. A jósvafői Lófej-, Nagytohonya- és Kistohonya-forrás vízhozamgörbéje 1966. december 1-től 19-ig. Mindhárom forrásban közepes méretű áradás vonul le. A Lófej-forrás kitörések sorozatával reagál az árhullámra, mivel hármasszivornyarendszere a főágban helyezkedik el. A Nagytohonya-forrás szabályos árhullámra szuperponálódó szabályos túlnyomásos, majd ismét szabályos alakú kitörések ritkább sorozatát hozza napvilágra, mivel szivornyája a karsztvízrendszer egyik mellékágában helyezkedik el. A Kistohonya-forráshoz nem tartozik szivornya, de az árhullám leszálló ágában a vízhozam görbén megfigyelhető csipkézettség közvetlenül jelentkező árapály hullámzásnak bizonyult.



## Eredeti vízhozam-görbe



## Hidraulikai modell vízhozam-görbéje



2. ábra. A jósmafői Lófej-forrás egy hetes vízhozamgörbéje (felül) 1966. május 4-től 10-ig, és e vízhozamkép magyarázatára logikai megfontolások alapján szerkesztett laboratóriumi szivornyarendszer-moddell vízhozamgörbéje (alul). A két görbe lényeges elemeinek azonos-sága bizonyítja a laboratóriumi modell helyes felépítését, vagyis szerkezeti és működésbeli azonosságát a valódi szivornyarendszerrel.

A felső vízhozamgörbe a Lófej-forrás egyik leg-aktívabb kitörés időszakát mutatja be 2000 l/p-es átlagos vízhozam mellett. E forrás minimális hozama 50 l/p, több évi átlagos hozama 800 l/p, eddig mért maximális hozama 6400 l/p. A szivornyas kitörések a mindenkori alaphozam felett átlag 2500 l/p-cel kulminálnak.

A középső vízhozamgörbe a Nagytöhonya-forrás közepes nagyságú csapadék eredetű árvízi aktivitását és az erre szuperponálódó szivornyatevékenységet mutatja be. Az árvízi időszak elején és végén a vízhozam 7000 l/p körül ingadozik. E forrás minimális hozama 1500 l/p, átlagos hozama 7700 l/p, maximális hozama 50.000 l/p. A szivornyas kitörések a mindenkori alaphozam felett átlag 5000 l/p-cel tetőznek.

Az alsó vízhozamgörbe a Kistöhonya-forrás szintén közepes nagyságú árvízes időszakát mutatja be. A vízhozam 2000 l/p az árvíz előtt és után. E forrás minimális hozama 20 l/p, átlagos vízhozama 1800 l/p, maximális hozama 18.000 l/p. Szivornyas kitörései nincsenek, de minden árvíz után a lezálló ágban maximum 500 l/p vízhozamkülbséget jelentő árapály-hullámzást hoz napvilágra átlag 6,5 órás periódussal.

### A Lófej-forrás szivornyarendszerének működése és felépítése

Közepes vízhozamnál a Lófej-forrás vízhozam-regisztrátuma minden olyan információt tartalmaz, amely a forrás szivornyarendszerének megértéséhez és tárgyunk részletes kifejtéséhez szükséges. Emiatt további vizsgálódásunkat csaknem kizárólag a Lófej-forrásra fogjuk összpontosítani. A 2. ábra felső részén mutatjuk be a forrás egyik legtöbb információt adó vízhozamgörbéjét, melyet közepes vízhozam idején 1966 tavaszán regisztráltunk. Feltűnő, hogy közel konstans átlagos vízhozam mellett az egymást különböző időszakoként követő kitöréseket minden esetben jól definiált minimum szakasz előzi

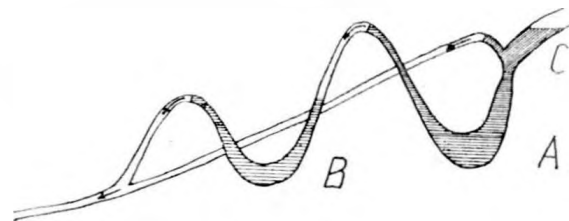
meg. A kitörések és a minimum szakaszok között pedig folyamatos vízhozam pulzáció jelentkezik. A pulzáció átlagosan 150 l/p-es vízhozamingadozás formájában jelenik meg.

Logikai megfontolások alapján feltételeztük, hogy a három jellegzetes görbeszakasz egy-egy külön szivornya működésének eredménye. Feltettük továbbá, hogy az előttünk álló vízhozamgörbét a három szivornyából álló rendszer kombinációja sajátos hidraulikai kölcsönhatások eredményeként hozza létre. Elgondolásunk elvi vázlatát a 3. ábrán láthatjuk be.

Az ábra szerint a három szivornyából két azonos térfogatú nagy szivornya (A és B) sorba van kötve. Az A-szivornya felett egy kis szivornya (C) helyezkedik el. A C-szivornyának három különleges tulajdonsága van:

1. Nem a leszivó csőve, hanem a víztároló alja van sorba kötve az A-szivornya tetejével. Az összekötés helyén szűkület van.
2. A C-szivornya leszivó csőve párhuzamosan fut az A és B-szivornyával és közvetlenül a szivornyarendszer utáni főág szakaszba vezet.
3. A C-szivornya leszivó csővének csúcspontja alig valamivel az A-szivornya leszivó csővének csúcspontja alatt helyezkedik el.

3. ábra. A Lófej-forrás szivornyarendszerének elvi vázlata.



Ebben az elrendezésben a szivornya-rendszer működése a következő:

Valamely kitorés végén kezdődő pulzálás időpontjában a rendszert tápláló vízfolyás egyidejűleg kezdi feltölteni a C és A-szivornyát. Az A-szivornya feltöltése közben kiszoruló levegő bizonyos kompresszió után elzárja a C-szivornya alsó nyílását, egyensúlyt tart a C-szivornyában emiatt feltöltődő vízmennyiséggel, majd a C-szivornya leürítését biztosítva azon keresztül lökészerűen távozik a rendszerből. Így jön létre egy pulzáció. Ebben a szakaszban a szivornya-rendszer a tápvizhozamra nézve félig átérésztő állapotban van, mert a rendszerbe befolyó víz egyik fele tölti az A-szivornyát, a másik fele pulzálások alakjában távozik. Az A-szivornya megtelezésekor a pulzálás gyakorisága megnő, ha a tápvizhozam közepes és konstans. Ebben az esetben ugyanis az A-szivornya nem üríthet le, mert leszívó csövének csúcspontja valamivel a C-szivornya leszívó csövének csúcspontja felett helyezkedik el. Ebben a szakaszban a teljes tápvizhozam a pulzator C-szivornyán át folyik a forrás felé, mint a rendszer kvantált túlfolyása. Ekkor a szivornya-rendszer a tápvizhozamra nézve teljesen átérésztő állapotban van. Amennyiben a tápvizhozam csak csekély értékkel is megnövekszik, vagyis közepesnél nagyobbá válik, ebben a pillanatban az A-szivornya egyensúlya megbomlik és üríteni kezd. Ennek oka az, hogy a C-szivornyában a víznyomás megnövekedésével az A-szivornya leszívó csövében a vízszint a csúcson átbukik. Ha a tápvizhozam közepesnél állandóan nagyobb marad, akkor az A-szivornya minden megtelezésekor automatikusan leürít. Ürítés kezdetén az

A-szivornyában szivás lép fel, emiatt a pulzáció ugrásszerűen leáll. Ugyanakkor az A-szivornya tölteni kezdi a B-szivornyát. Ebben a pillanatban alakul ki a vízhozamgörbének az a pontja, amely a pulzálás megszűnését és a minimum-szakasz kezdetét jelzi (átcsapási-pont). A szivornya-rendszer átérésztőképessége a minimum szakasz idején teljesen megszűnik. A B-szivornya megtelezésekor kezdődő automatikus ürítés hozza létre a forrás tulajdonképpeni kitorését. A B-szivornya ürítésének végén a szivóhatás megszűnik és az A-szivornya újratöltésével egyidejűleg a pulzálás is automatikusan megindul.

Fentiek részletes tisztázását a szivornya-rendszer laboratóriumi hidraulikai modelljének megépítésével és regisztrált üzemeltetésével lehetett elérni. A modell fényképét a vízhozam regisztráláshoz szükséges elektromos berendezésekkel együtt a 4. ábrán mutatjuk be.

A Lófej-forrás valódi szivornya-rendszere valószínű méreteit az alábbi adatokkal lehet jellemezni:

A-szivornya térfogata = 300 m<sup>3</sup>

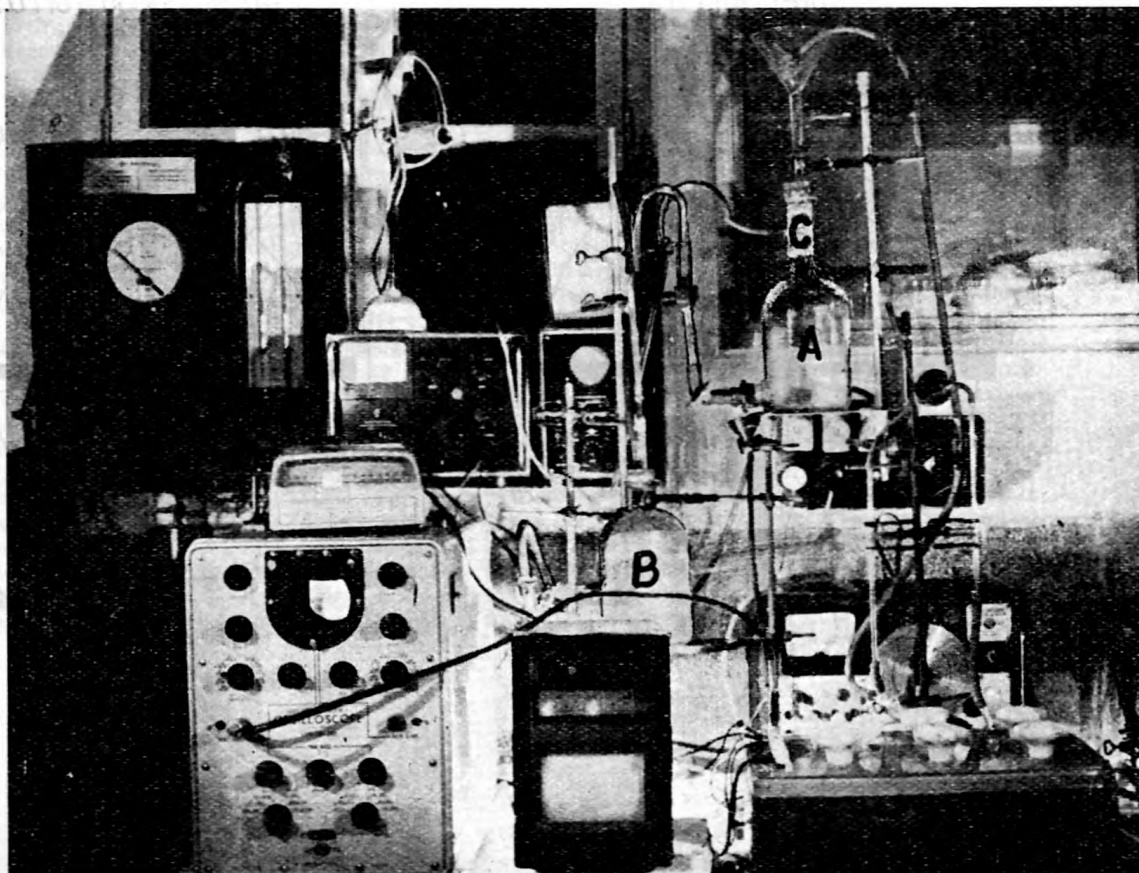
B-szivornya térfogata = 270 m<sup>3</sup>

C-szivornya térfogata = 30 m<sup>3</sup>

Fenti adatokat a forrás és modell vízhozamgörbék elemzése alapján lehetett meghatározni.

A modell helyes felépítését közepes vízhozamnál nyert vízhozam regisztrátuma igazolja, melyet a 2. ábra alsó felében láthatunk. A felső görbe a már tárgyalt eredeti vízhozamregisztrátum, amely arányos léptékben összehasonlításként szolgál. A két görbe összehasonlításakor a kevésbé lényeges különbség a modell-görbe kitoréseinek éles másod-

4. ábra. A Lófej-forrás szivornya-rendszerének hidraulikai modellje a Kutatóállomás laboratóriumában. A B-szivornya alatti berendezés a regisztráló-galvanométer, amely alkalmas arra, hogy a hidraulikai modell gyors vízhozamváltozásait érzékenyen regisztrálja.



csúcsa, amely az eredeti görbén csak elmósódottan (mint utóváll) jelentkezik. Gádoros Miklós kollégával mutattuk ki, hogy ez a másodcsúcs bármely szivornya üritési mechanizmusával van kapcsolatban, mint „végponteffektus.” Oka az, hogy az ürités végén a leszívó csőben elszakadó vízzel csúcsponton való átfutása az utolsó pillanatban az átbukási magasságnak megfelelő nyomásmagasságot alakítja ki a szivornyában. Ennek felismerésével értelmezni lehetett azt a tényt, hogy a Lófej- és a Nagytöhonya-forrás kitorési görbéin miért jelentkezik rendszeresen utóváll, vagy utócsúcs.

A két vízhozamgörbe összehasonlításakor sokkal nagyobb különbség is adódik. Az eredeti görbén a kitorések aperiódikusan, a modell görbén szabályos periódusokban jelentkeznek. A modellt tápláló vízfolyás hozama konstans volt, de közepesen nagyobb értékre állítottuk be. Ezért az A-szivornya minden megtelésekor automatikusan leürített. Ebből következik, hogy az eredeti vízhozamgörbe kialakulása a valóságos szivornyarendszer tápvízhozamának közepesen kellett lennie átlagértékben és szükségképpen periódikus ingadozásai voltak. Mivel a valóságos kitorések közötti időtartam a vizsgált szakaszon 36, 24, 36, 48 óra, vagyis 6, vagy 12 óra egészszámu többszöröse volt, a tápvízhozam szabályos ingadozásainak periódus ideje is 6, vagy 12 óra lehetett. Azt is fel kell tételezni, hogy e periódusok amplitudó viszonyai egymástól eltértek. Többek között ez a megfigyelés volt az, amely igazolta, hogy a karsztvíztükörben és az ebből táplálkozó vízfolyásokban árapály eredetű hullámzás van.

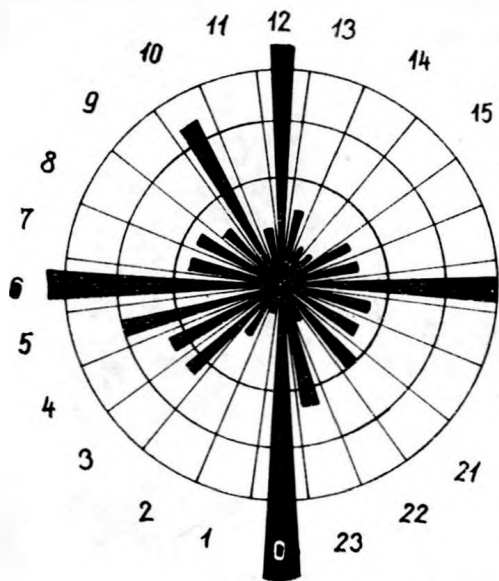
A karsztvízszint árapály jelenségére vonatkozó első megfigyelésünk ennél feltűnőbb esemény volt. Mind a Lófej-, mind a Nagytöhonya-forrásnál azt tapasztaltuk, hogy a szivornyas kitorések az esetek 33%-ában csaknem pontosan 6, 12, 18 és 24 órákor kezdődnek. Ezt mutatja be a 5. ábra. Közvetlenül meg kell jegyeznünk, hogy a luniszoláris eredetű árapály jelenség a földi gravitációs térerősség napi két maximumával és minimumával feje ki hatását. Ezek időpontja a nap bármely órájában előfordulhat. A legnagyobb amplitudójú hatás idején: ujholdkor és holdtöltekor azonban a szélsőértékek szintén 6, 12, 18 és 24 órákor valósulnak meg. A kitorési kezdőpontok napi eloszlása tehát ezzel a ténnyel hozható kapcsolatba.

#### A karsztos szivornyák hidraulikai jelfogó szerepe

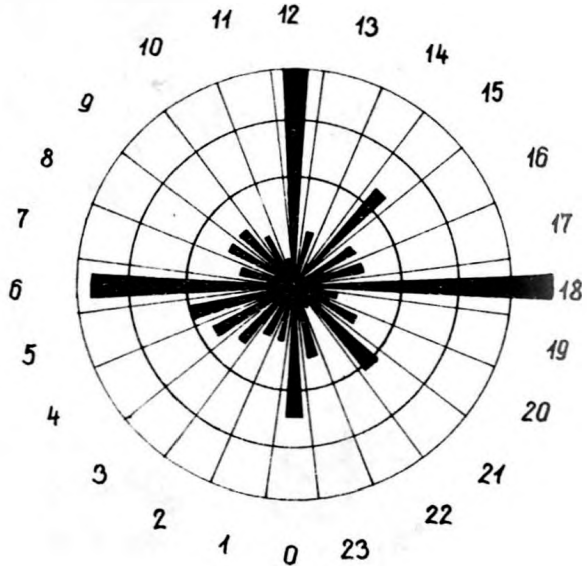
Fentiekből nyilvánvaló, hogy a Lófej-forrás szivornya-rendszerében az A és C-szivornya leszívó csövének csekély csúcsszint-differenciája nagyfokú instabilitást hoz létre. Ezáltal lehetővé válik, hogy a gyakran előforduló közepes vízhozam idején az A-szivornya feltöltése utáni pulzálási időszakban mindig akkor induljon meg az A-szivornya működése, amikor a szivornyát tápláló vízfolyásban mikroáradás következik be. A Lófej-forrás speciális szivornyarendszere tehát érzékeny „hidraulikai jelfogó” gyanánt működik. Ebből következik, hogy a vízhozamgörbe „átcsapási pontja” (pulzálásból — minimumgörbébe) közepes tápvízhozam mellett mindig megegyezik az árhullámok szivornyába érkezési időpontjával. Az árhullámokat okozhatja

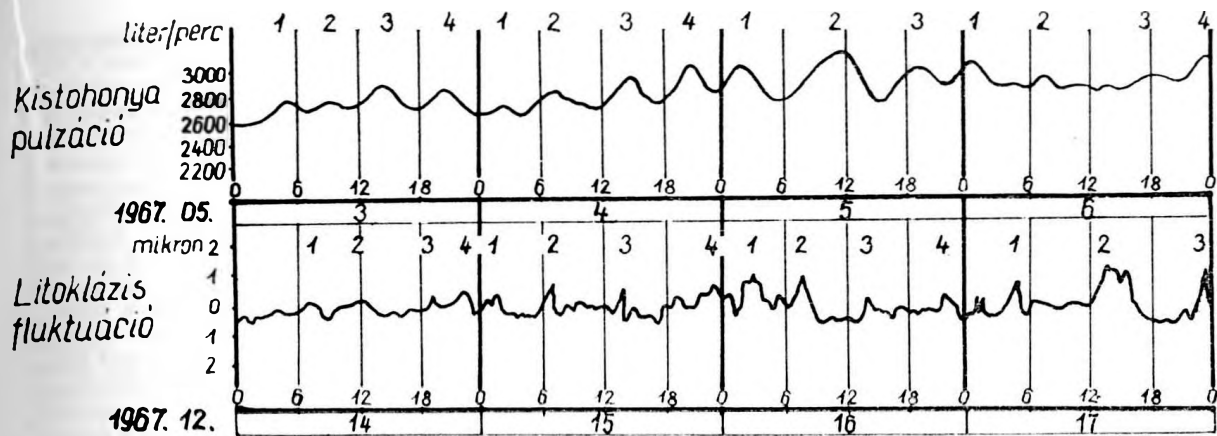
5. ábra. A szivornyaműködés kezdő időpontjának óránkénti eloszlása a Lófej- és a Nagytöhonya-forrásnál. A Lófej-forrás óradiagramja 1965. évi 175 kitorés, a Nagytöhonya-forrás óradiagramja 1964—65—66. évi 128 kitorés statisztikai feldolgozása alapján készült. A feldolgozás félórás felbontással és óránkénti mintavétellel történt.

#### Lófej-forrás



#### Nagytöhonya-forrás





6. ábra. A Kistohonya-forrás vízhozamának regisztrálásával megfigyelt árapály hullámok (felső-görbe), és a jösvafői Vass Imre-barlangban elektronos távregisztrálással mért keresztirányú litoklázis-fluktuáció (alsó-görbe) összehasonlítása. A két görbe különböző időszakban készült. Egyidejű regisztrálásukra eddig még technikai okok miatt nem volt lehetőség. A két folyamat periódusviszonyai azonban így is összemérhetők. Mindkét görbére jellemző a napi négy maximum, illetve 3—4 naponként a napi három maximum jelentkezése. Az átlagos periódus mindkét esetben 6,5 óra.

csapadék, légnyomás, árapály vagy távolabb lévő másik szivornya hatása. Legújabb vizsgálatainkból azonban kitűnt, hogy a karsztos árapály jelenség mintegy 90%-ban átlag 6,5 órás periódusú karsztvíztükör ingadozásokat eredményez. Erre mutat a Kistohonya-forrás árapály hullámjainak egyik jellemző szakaszáról nyert regisztrátumunk. (6. ábra felső görbe). Emiatt mai ismereteink szerint a karsztvíztükörben és az ebből táplálkozó vízfolyásokban létrejövő, még mérhető ingadozásoknak leggyakrabban az árapály hatásból kell származniuk.

Az 5. ábrán láttuk, hogy a Nagytohonya-forrás kitéréseinek kezdőpontjai csaknem olyan nagy gyakorisággal esnek az árapály hatást jelző kerek hat órára (6, 12, 18, 24 óra), mint a Lófej-forrás kitéréseit megelőző „átsapási pontok”. A Nagytohonya-forrás kitéréseit létrehozó egyetlen szivornyaüreg térfogata számításaink szerint 3800 m<sup>3</sup>, amely átlag 4 nap alatt telik fel. Első megközelítésben azt gondolhatnánk, hogy emiatt átlagos esetben négy naponta legfeljebb néhány percig van alkalom arra, hogy az ürítés előtti instabil állapotban a tápvízhozam valamely növekedése a szivornyát leüritse. A Lófej-forrás szivornyarendszere — mint láttuk — napokig állhat jelfogóképes instabil állapotban. Emiatt a Nagytohonya-forrás szivornyájának lényegesen ritkábban kellene reagálni a töltő vízfolyás áradásaira. A fennálló ellentmondás azonban eltűnik, ha van lehetőség arra, hogy itt is tartósabb — jelfogásra alkalmas — instabil állapot alakuljon ki. Az első megközelítésben hallgatólagosan feltételeztük, hogy a szivornyaüreg fala vizet át nem eresztő felület. Ezzel szemben a valósághoz sokkal közelebb áll az a feltevés, hogy valamely karsztos szivornya-üreg határfelülete kisebb-nagyobb repedésekkel van átjárva. Amennyiben ez így van, akkor bármely karsztos szivornya feltöltődése az oldalfalak hézagain elszivárgó vizek miatt általában lelassított folyamat. Ilyen körülmények között mód van tehát arra, hogy a Nagytohonya-forrás és bármely más karsztos szivornyában az ürítés előtti instabil állapot ideje hosszúra nyúljon. Ebből következik, hogy elvben bármely karsztos szivornya hidraulikai jelfogónak tekinthető. Elvileg tehát lehetőség van arra, hogy a csekély karsztvíztükör ingadozásokból származó mikroáradások szivornyába érkezési időpontját bármely karsztos szivornya jól megfigyelhető kitérésekkel jelezze.

A karsztvíztükör árapály jelenségének tényét újabb méréseink napról napra megerősítik. Ezt igazolja például a 6. ábra is, amelyen a felső görbén a korábban bemutatott Kistohonya-forrás vízhozam-ingadozásában jelentkező átlag 6,5 órás periódusú árapály-hullámzás látható. Az alsó görbe pedig más időszakban mért, szintén 6,5 órás átlagos periódusú litoklázis-fluktuáció görbéje. A kiugró maximumcsúcsok, mint szűkülési időszakok jelentik a litoklázis-fluktuáció aktivitását. A közbenső finomabb hullámzást valószínűleg mikroszeizmikus nyugtalanság okozza. Eddig még nem volt lehetőség arra, hogy a két jelenséget egyidejűleg regisztráljuk. Ezért itt csupán a két görbe lefutásában megfigyelhető azonos tendenciára hívjuk fel a figyelmet. Az alsó görbét elektronos távmérő berendezéssel a Kistohonya-forráshoz tartozó Vass Imre-barlangban regisztráltuk.

Fentiek ismeretében ma már elég nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy valamennyi intermittáló karsztforrásnál legalább 33%-os gyakorisággal 6, 12, 18, 24 órákor kell várni a szivornyas kitéréseket. A karsztos árapály jelenséggel és a karsztos szivornyákkal kapcsolatos megfigyeléseink helyességét előbbi megállapításunk igazolása nagymértékben megerősítendő.

A karsztos szivornyák hidraulikai jelfogó szerepének felismerése új lehetőséget is ad kezünkbe arra, hogy az intermittáló és pulzáló karsztforrások részletes megfigyelésével a karsztvízmozgást befolyásoló tényezők periódus viszonyait, tehát eredetét és működési mechanizmusát kikutassuk.

## IRODALOM

1. ANKLER T. F.: Über intermittierende und pulsierende Karstwasserläufe. Höhlen und Karstforscher Mitteilungen. Jahrgang 8, Nr. 3. München. 1962. p. 64—67.
2. BARTHA L.: Ebbe und Flut im Karstgebiet. Sterne und Weltraum. Jahrgang 6, No. 8/9. 1967. aug.-sept. Mannheim. p. 216.
3. BULLA B. (KEZ A.): Általános természeti földrajz. I—II. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó. Budapest. 1953.
4. LUTZ I.: A Rank-Herlányi időszakos szökőkút tuneményeinek kísérleti előállítása. Természettudományi Közöny. XVI. köt. Budapest, 1888. p. 386—388.
5. MAUCHA L.: A karsztvízszint árapály jelenségének kimutatása. Bányászati Kutató Intézet Közleményei. Budapest. 1967. XI. évf. 1—2. sz. r. 87—94.
6. MAUCHA L.: Ausweis der Gezeiten-Erscheinungen des Karstwasserspiegels. Karszt és Barlangkutató. MKBT. Évkönyv. V. köt. Budapest. 1968. p. 101—116.
7. NEMETH E.: Hidrológia és hidrometria. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó. Budapest. 1954.
8. TÓTH G.: Az intermittáló karsztforrások működése. Egeri Tanárképző Főiskola Füzetei. 411. Eger. 1966. p. 585—593.

### *Die Karstsaugheber als hydraulische Relais*

Zur Nachweisung des Gezeitenvorganges des Karstwasserspiegels führten die instrumentalen Abflussvermessungen der Syphon-Spaltquellen in der Umgebung von Jósfaö. Im Laufe dieser Untersuchungen wurden die Konstruktion, die Funktion und die spezielle hydraulische Rolle der Saugheber geklärt. Auf Grund der Modellierung des dreifachen Saughebersystems der Lófej-Quelle konnte man auch die Wechselwirkung eingehend kennenlernen, die sich zwischen den unterirdischen Wasserläufen und den Karstsaughebern abspielt. In Abhängigkeit von ihrer Struktur verursachen die Karstsaugheber Abflussfluktuationen von verschiedenen Ausmass und Häufigkeit in den unterirdischen Wasserläufen mit ständiger Ergiebigkeit. Auf der anderen Seite, die Periode von Abflussschwankungen beliebigen Ursprungs der unterirdischen Wasserläufe beeinflussen beträchtlich die Häufigkeit der Saugheberbetätigung. Da die durchschnittliche Periodenzeit des Gezeitenvorganges des Karstwasserspiegels 6,5 Stunden ist, stammen die noch messbaren Schwankungen der unterirdischen Wasserläufe meistens vom Gezeitenvorgang. Die Betätigung der Karstsaugheber beginnt in überwiegender Mehrzahl der Vorfälle in den Zeitpunkten der Extremwerte der erdgravitativen Feldstärke. Das komplizierte Saughebersystem der Lófej-Quelle ist besonders gut geeignet, in andauernd instabilem Zustand als hydraulisches Relais den geringsten Zuwachs des Zuflusswassers durch Ausbrüche zu signalisieren. Die ähnliche Betätigung des einfachen Saughebers der Nagytohonya-Quelle erweckte den Gedanken, dass infolge der Auffüllungsverhältnisse jeder Karstsaugheber oft und anhaltend in instabilem Zustand sein kann; deswegen kann jeder beliebige Karstsaugheber als hydraulisches Relais betrachtet werden.

### *Карстовые сифоны — гидравлические реле*

Наличие явления прилива и отлива зеркала карстовых вод было установлено при испытаниях сифонных карстовых источников, проведенных с помощью приборов в окрестности Иош-

вафе. В ходе этих испытаний была выяснена структура карстовых сифонов, их действие и их своеобразная гидравлическая роль. При модельных испытаниях трехкратной системы сифонов источника Лофей была детально изучена взаимосвязь, имеющая место между подземельными течениями и крастовыми сифонами. Крастовые сифоны, в зависимости от их структуры, вызывают различные по величине и частоте колебания дебита воды подземных течений. В то же время периодичность дебита воды т.е. ее изменения вызванные причинами, в значительной степени влияют на частоту действия сифонов. Поскольку средняя частота явления прилива и отлива зеркала карстовых вод составляет 6,5 часов, еще измеряемые колебания подземных течений в карсте, в большинстве случаев вызваны влиянием прилива и отлива. Из-за сказанного карстовые сифоны в большинстве случаев начинают действовать в период предельных величин интенсивности поля. Система сифонов источника Лофей являющаяся весьма сложной, особенно пригодна чтобы, как гидравлическое реле, в продолжительно колеблющемся состоянии, показывала путем выброса незначительные повышения дебита воды. Подобное действие простого сифона источника Надьтохоня выдвинуло соображение, что из-за условий заполнения, любой карстовый сифон очень часто и продолжительно может быть в неустойчивом состоянии, и поэтому любой карстовый сифон может рассматриваться как гидравлическое реле.

### *Karstaj sifonoj kiel hidraulikaj relajsoj*

La demonstiron de la tajdo de la karstakvo rezultigis la perinstrumenta akvodebito-registrado ĉe la sifonhavaj karstfontoj en la regiono de Jósfaö. Dum ĉi tiuj esploroj oni malkovris la strukturon, funkciadon kaj specialan hidraulikan rolon de la karstaj sifonoj. Per modelado de la triobla sifonsistemo de la fonto Lófej oni ekkonis detale la interrilatojn inter la subteraj akvofluoj kaj karstaj sifonoj.

La karstaj sifonoj laŭ sia sturkturo estigas fluktuaĵojn kun diversaj amplitudoj kaj periodoj en la alioke konstanta akvodebito de la subteraj fluoj. aliparte la ŝanĝoj de la akvodebitoj konsiderinde influas la oftecon de la sifonfunkciado. Ĉar la meza periodo de la karsta tajdo estas 6,5 horoj, tial la ankoraŭ mezureblaj ŝanĝoj en la subteraj akvofluoj originas plej ofte el la efiko de la tajdo. Pro tio la sifonoj ekfunkcias plej multfoje ĉe la ekstremvaloroj de la gravita kampintenso.

Precipe la komplika sifonsistemo de la fonto Lófej taŭgas esti je dispono en daŭre instabila stato, kiel hidraulika relajso, por signali per erupcio la etkvantan pligrandigon ĉe la debito de la akvo ĝin nutranta. La fonto Nagytohonya havas simplan sifonon, sed tiu ĉi simile signalas. Tiu ĉi observo rezultigis la teorion, ke pro la cirkonstanco de la plenigo ĉiu ajn sifono povas esti ofte kaj longe en malstabila stato, tial ĉiu ajn karsta sifono estas rigardebla kiel hidraulika relajso.