

A KARSZTELÍTETTSÉG VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ AGGTELEKI-KARSZTVIDÉK ÉVI MINIMÁLIS FORRÁSHOZAM ÉRTÉKEI ALAPJÁN

MAUCHA LÁSZLÓ

VITUKI KHT.

1095. Budapest, Kvassay Jenő út 1. maucha@vituki.hu

Abstract: Investigation concerning spring-discharges in the Aggtelek karst-region (NE Hungary) revealed, that the diminution of discharge after a flood-period takes place more rapidly when following an arid series of years than after a wet period. The assumption is that the phenomenon depends on the saturation-level of the most narrow fissures in the rock-matrix. The saturation can be observed also in the multiannual changes of the yearly minimal discharge, which is in connection with the average precipitation of the preceding four years.

1. Bevezetés

Az Aggteleki-karszton végzett sokévi forráshozam vizsgálat során kitűnt, hogy az évi csapadék és évi forráshozam kapcsolatán kívül még más tényező is szerepet játszik a karszt hidrológiai állapotának alakításában. Egyes években egy-egy forrás látszólag váratlan elapadása, ill. a források áradásai után a vízhozam évenként változó sebességű kiürülése arra mutatott, hogy nemcsak az adott évi csapadékviszonyok irányítják a források vízjárását, hanem korábbi időszakok csapadékviszonyai is befolyásolják a források működését, mivel befolyásolják a karszt telítettségét. Ilyen szokatlan jelenségek feltárása vezetett az első beszívárgás számítási módszer kidolgozására is (KESSLER 1954), melynek során az időben változó karszttelítettség hatását is figyelembe vették.

A Jósvafői Karsztkutató Állomáson később végzett forrás kiürülési vizsgálatok alapján lehetőség nyílt a karszttelítettség fogalmának pontosabb meghatározására. Ezek a vizsgálatok arra az új eredményre vezettek, hogy a karsztban lezárt vizek öt különböző tárolóban halmozódnak fel és ezek a járatok tágasságának csökkenő sorrendjében ürülnek ki a jelenség értelmezésére kidolgozott új karszthidrológiai modell szerint (CSER 1978, IZÁPY-MAUCHA 1993).

Az Aggteleki-karszton fakadó nagyobb források kiürülési viszonyainak további vizsgálata során (MAUCHA 2002) az alábbi értékeket lehetett megállapítani a fenti öt tároló átlagos kiürülési sebességéről: A kiürülés kezdetén a vízhozam egy nagyságrenddel való csökkenéséhez a vizsgált

tizenöt forrás átlagában a barlangok főága esetén 7 napra, a mellékágak esetében 24 napra, a főtörés-háló vonatkozásában 66 napra, a főtörések által közbezárt kőzetblokkok szűkebb járatainál 139 napra és a legszűkebb járatrendszer esetében 482 napra van szükség .

Az új ismeretek birtokában karszttelítettségnek nevezzük a főtörések által közbezárt kőzetblokkok töréshálózatának, vagyis a két legszűkebb és leglassabban kiürülő járatrendszernek vízzel való telítettségét. Kitűnt ugyanis, hogy ezeknek a lassan feltelődő és kiürülő szűk járatoknak telített, vagy kiürült állapota idézi elő a fentebb említett váratlan jelenségeket, melyek a karszt mindenkori hidrológiai állapotát érdemben befolyásolják.

A karszttelítettség időbeli változását a továbbiakban a források évi minimális vízhozamának sokévi változása alapján fogjuk bemutatni, mivel a karszttelítettséget okozó tárolt vízkészletből származik a források minimális vízhozamának utánpótlása is.

2. A vizsgált források évi minimális vízhozamának sokévi változása

2. 1. Az évi minimumok szélső értékei

A források sokévi folyamatos vízhozam mérése arra az eredményre vezetett, hogy a források minimális vízhozama nem állandó érték, hanem forrásonként és időben is változik.

Valamennyi vizsgált évben kikerestük az egyes forrásokhoz tartozó minimális hozam adatok szélső értékeit. A kapott adatokat az *I. táblázatban* a legnagyobb minimumok csökkenő sorrendjében mutatjuk be. A táblázatban a vizsgált 15 forrás fakadási szintjét és vízgyűjtő területének átlagos vízhozamból számított adatait is feltüntettük.

Az összesített adatok áttekintése alapján az alábbiakat lehetett megállapítani:

A források évi minimális hozam értékei a forrás vízgyűjtők kiterjedésével nem arányosan változnak. Különösen feltűnő ez az aránytalanság, ha a két legnagyobb vízgyűjtő területű forrás adatait hasonlítjuk össze. Ezt a körülményt több tényező is befolyásolja. A források eltérő fakadási szintje önmagában is oka a fenti jelenségnek. Figyelembe kell venni azonban azt a tényt is, hogy a hegylábánál fakadó nagyobb hozamú karsztforrások helyzetüknél fogva képesek folyamatosan felszínre hozni a magasabban fakadó és gyakran elapadó kisebb hozamú karsztforrások alaphozamát is. A minimális vízhozamokhoz ugyanis nagyobb vízgyűjtő terület tartozik, mint az átlagos hozam értékekhez, mivel a magasabban kilépő kis források áradásai során kifolyó vizek nem vesznek részt a hegylábi nagy források átlagos hozamá-

nak kialakításában. Így az ezekből az értékekből számított vízgyűjtő területek aránya eltérhet a minimális hozam értékek arányaitól. A Jósva-forrásnak a Nagy-Tohonya-forráshoz viszonyított feltűnően nagy minimális vízhozam értéke a Szlovákia területén fakadó kecsői források alaphozamának átvételéből származik. Ezt igazolja az a tény, hogy csapadék hiányos periódusokban a Jósvafőre folyó Kecső-patak vízfolyása elapad, mert vize medernyelők mentén a mélybe szívárog, és a Meteor T. E. Baradla Csoportja által az 1970–1978-as években a Baradla vízgyűjtőterületén lebonyolított nyomjelzéses összefüggés-kutató vizsgálsorozat keretében 1987-ben a Kecső-patak medernyelőibe táplált nyomjelző anyag (fluoreszcein) a Jósva-patak vizében jelent meg. (DÉNES GY. – SZILÁGYI F. 1988, 1989, DÉNES GY. 1988).

I. táblázat

Table I.

Az Aggteleki-karsztvidék vizsgált forrásainak évi minimális vízhozam értékei a legnagyobb minimumok csökkenő sorrendjében.

Annual minima of spring debits in the Aggtelek Karst in ascending order of the largest annual minima.

Forrás neve	Fakadás szintje mBf	Vízgyűjtő terület km ²	Évi minimális vízhozam m ³ /d	
			Maximuma	Minimuma
Jósva-forrás	218	34,4	11376	5472
Nagy-Tohonya-forrás	218	24,4	3942	1440
Pasnyag-forrás	164	5,3	576	130
Csörgő-forrás	178	2,7	540	138
Kastélykerti-forrás	167	3,5	518	0
Tapolca-forrás	166	1,2	518	0
Kis-Tohonya-forrás	258	3,6	374	0
Teresztenyei-forrás	245	2,2	360	7
Vecsem-forrás	189	4,8	234	11
Komlós-forrás	217	2,5	233	4
Melegvíz-forrás	174	0,5	180	85
Köpolya-forrás	220	3,4	144	14
Kecskekút-forrás	244	0,8	108	0
Bolyamér-forrás	268	1,6	100	14
Lófej-forrás	468	1,2	60	0

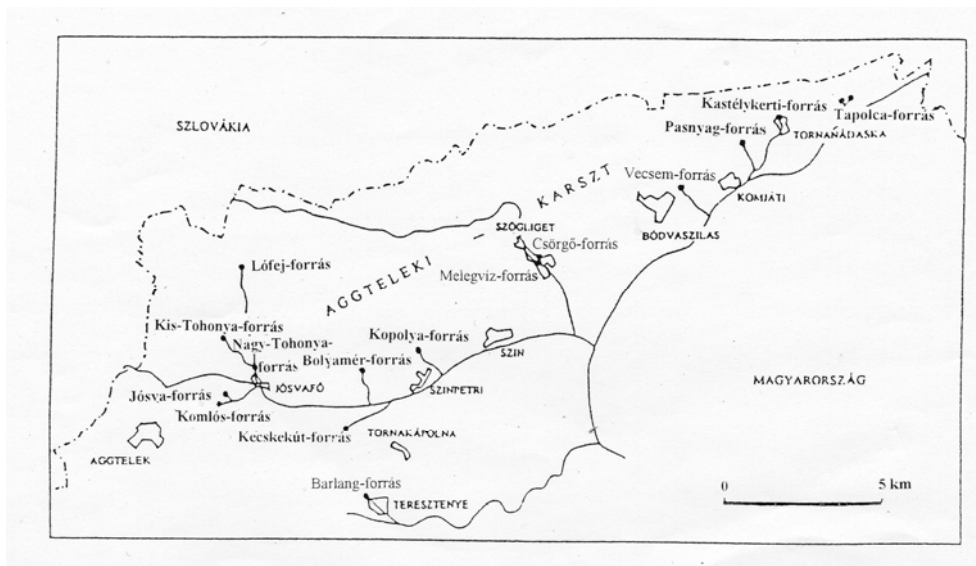
Az I. táblázat alapján az is megállapítható, hogy a legkisebb évi minimum értékek öt forrás esetében néhány alkalommal zérus értéket értek el. Ennek oka egyrészt abból adódik, hogy a fentebb említett magasabban fakadó kisebb források esetében karsztvízszint süllyedés is okozhatja a források teljes elapadását. Az Alsó-hegy déli peremének K-i részén a hegylábánál fakadó források elapadásának oka pedig az a körülmény, hogy az Alsó-hegy e források vízgyűjtőjén már olyan mértékben elkeskenyedik, hogy a szűk járatrendszerek tárolt vízkészlete itt a legkisebb.

2. 2. Az évi minimumok sokévi változása

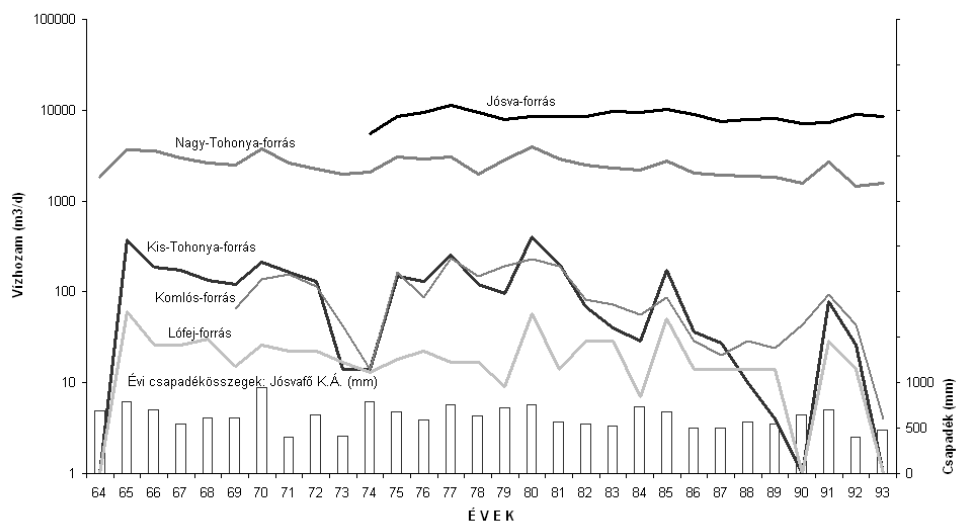
Megvizsgáltuk, hogy az évi minimális vízhozam értékek hogyan változtak a forráshozam mérések 20–30 éves időszakában. Kitűnt, hogy a jósvafői források évi minimum értékeinek idősora (2. a. ábra) a csapadékos és száraz évek egymásutánja szerint periódikus változásokat mutat. A nagy átlagos hozamú források esetében több ezer m³/d-os, a kisebb átlagos hozamú források esetében több száz m³/d-os értékek figyelhetők meg az évi minimumok adatsorában. E források évi minimális hozam értékei a legtöbb esetben közel egyidejűleg alakultak ki. Megállapítható, hogy a Lófej- és a Kis-Tohonya-forrás 30 év alatt három alkalommal teljesen kiszáradt. Az is feltűnő, hogy a Komlós-forrás vízhozama a mérések során egy alkalommal sem ért el zérus értéket, de évi minimumainak idősora közel ugyanolyan hozam értékekkel jellemezhető, mint a Kis-Tohonya-forrás esetében.

A Szinpetri környékén fakadó források évi minimumainak idősora (2. b. ábra) hasonló jellegű ingadozásokat mutat, mint a jósvafői környéki forrásoké, de ezen a területen a változások egyidejűsége kisebb mértékben valósult meg. Legnagyobb mértékben a Bolyamér-forrás évi minimumainak szélső értékei térnek el a többi forrás hasonló változásaitól, mert a legkisebb minimum értékek legtöbb alkalommal közel egyidejűek a többi forrás legnagyobb minimum értékeivel.

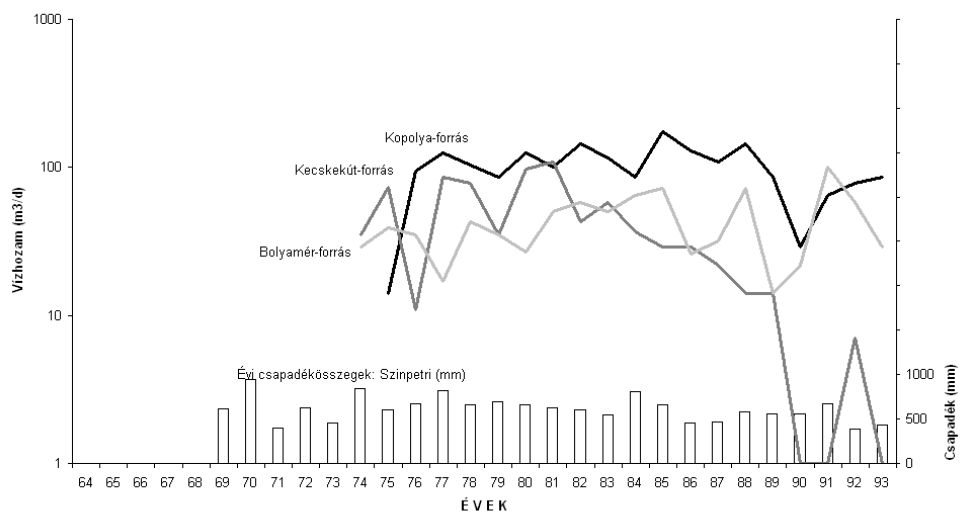
Az Alsó-hegy D-i peremén fakadó források évi minimumainak idősora (2. c. ábra) a jósvafői források idősorához hasonlóan közel egyidejű változásokat mutat. A négy forrás közül csak a Vecsem-forrásnál találunk ettől eltéréseket. Ennek oka az – mint ezt korábban kimutattuk – (MAUCHA 2002), hogy ennek a forrásnak a bukógátját közvetlenül a forrásszáj előtt építették fel, és ezért a kisvízi hozam a bukógát szintje alatt, a patakmeder alacsonyabb szakaszain bukkan felszínre. Ennek következtében a forrás kiürülés 4. és 5. lépcsőjében kiürülő vizek hozamváltozását nem lehetett regisztrálni.



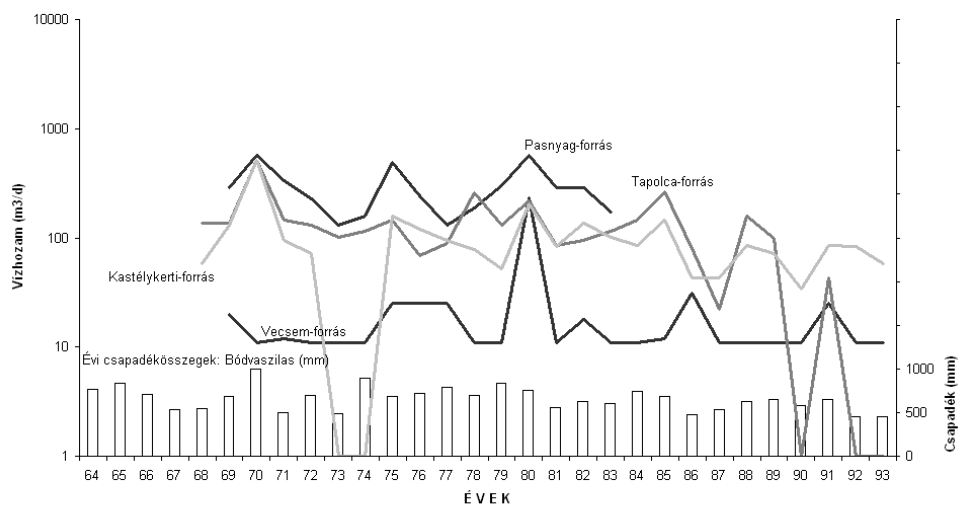
1. ábra: Az Aggteleki-karsztvidék vizgált forrásainak helyszínrajza
 Fig. 1.: Location of studied springs in Aggtelek karst



2. a. ábra: A Jósvalék környéki források évi minimális vízhozamainak időszora 1964-1993
 Fig. 2. a.: Annual minimal discharge time series of Jósvalék springs 1964-1993.



2. b. ábra: A Szinpetri környéki források évi minimális vízhozamainak időszora 1974-1993
 Fig. 2. b.: Annual minimal discharge time series of Szinpetri springs 1974-1993.



2. c. ábra: Az Alsóhegy D-i peremén fakadó források évi minimális vízhozamainak időszora 1968-1993
 Fig. 2. c.: Annual minimal discharge time series of Alsóhegy south margin springs 1964-1993.

3. A csapadék-hatás és a vizsgált források sokévi minimális vízhozam értékeinek kapcsolata

Korábbi tanulmányunkban (MAUCHA 2002) megállapítottuk, hogy az Aggteleki-karszt területén a legszűkebb hidegvizű tároló egy nagyságrenddel való hozamesökkenéséhez több, mint egy év szükséges, ezért 1000 m³/d alaphozam teljes elapadása legalább 4 évet vesz igénybe. Természetesen ugyanennyi időre van szükség a rendszer feltöltéséhez is. Ennek alapján feltételeztük, hogy a karszttelítettség változását 4 éves csapadék középértékek sorozata határozza meg.

A fenti elgondolás alapján megszerkesztettük a tárgyévi és az azt megelőző három évi csapadékösszegek középértékéből álló csapadék-hatás és az évi minimális vízhozam-idősorok kapcsolatának diagramjait az Aggteleki-karsztvidék térképén (1. ábra) kövérebb betűkkel jelölt források esetében. A 20–30 éven át folyamatosan mért 15 forrás közül ugyanis csak 11 forrás kapcsolati diagramját készítettük el. A vizsgálatból kihagytuk a teresztenyei Barlang-forrást és a szögligeti Csörgő-forrást, mert vízhozam mérésük nem műszeres regisztrálással, hanem naponkénti méréssel történt. Ilyen módon kívántuk kiküszöbölni az esetleges észlelői hibából eredő hibás minimum értékek zavaró hatását. Másrészt kihagytuk a szögligeti Melegvíz-forrás vizsgálatát is, mivel e forrás kizárólag a Csörgő-forrás hatodik lépcsőben kiürülő langyos vízű hozam összetevőjét hozza felszínre (MAUCHA 2002). Ezen kívül kihagytuk a vizsgálatból a Vecsem-forrást is, mivel a korábbi indokolás szerint nem tudtuk regisztrálni a legszűkebb járatrendszer vizeinek hozam változását. A vizsgált források esetében a csapadékhatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolati pontjait exponenciális görbékkel egyenlítettük ki (3. a-k. ábra).

A fenti módon szerkesztett diagramok áttekintése során az alábbiakat lehetett megállapítani:

A kapcsolati pontok kisebb-nagyobb szórása ellenére a Bolyamér-forrás kivételével valamennyi vizsgált forrás esetében parabolikus jellegű kapcsolatot lehetett kimutatni a négy éves csapadék középérték és az évi minimális hozamértékek között.

A vártnál nagyobb szórás valószínű oka az a körülmény, hogy a minimális hozamok utánpótlása a főtörések által közbezárt kőzetblokkok szűk repedéshálózatából származik. A beszivárgás hatására a főtörések mentén elhelyezkedő karsztvízszint csapadékvíz utánpótlása folyamatos. Ezzel szemben a tömbök belsejében csapadékról-csapadékra nem teljesen összefüggő „felhőkben” szivárog le a csapadékvíz a forrás szintjéig. Ezért a minimális forráshozam utánpótlása – különösen a teljes kiapadás előtti idő-

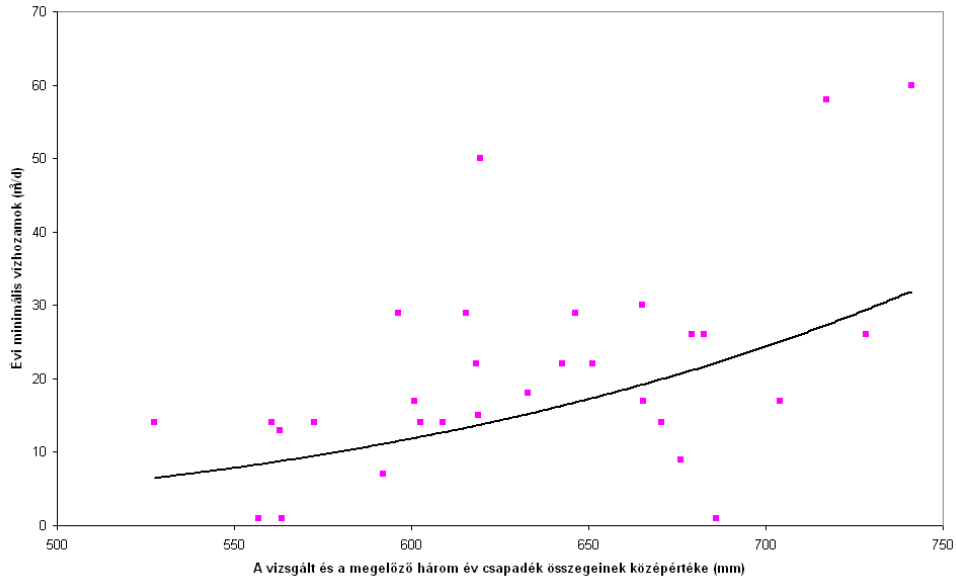
szakban – erősen ingadozó forráshozamot eredményez. Igen jól szemlélteti ezt a folyamatot a jósvafői Kis-Tohonya-forrás 1989. évi vízhozam diagramja (4. ábra).

A gyakrabban kiszáradó kisebb hozamú források esetében erősebb görbületű (3. b. d. f. k. ábra), a kisebb minimumokkal és közepes átlagos hozammal rendelkező források esetében csekélyebb görbületű (3. h. j. ábra), a nagyobb minimummal rendelkező források esetében (3. c. e. ábra) csaknem lineáris kapcsolatot lehetett megállapítani.

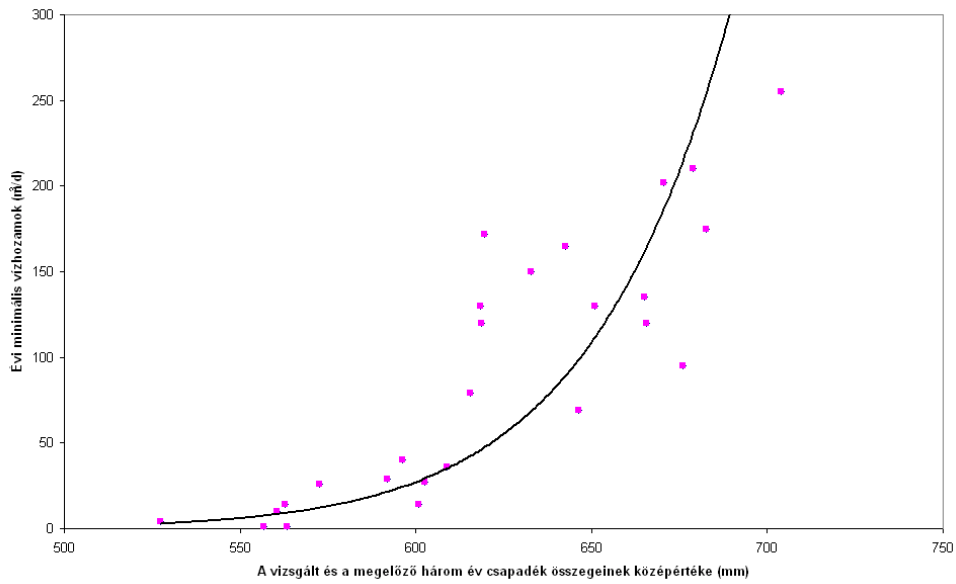
A Bolyamér-forrás esetében kapott abszcissa irányú kiegyenlítő egyenes következtében (3. g. ábra) nem lehetett kapcsolatot kimutatni a tárgyévi és az azt megelőző három évi csapadékösszeg középértéke és az évi minimális hozam értékek között. Ez a rendhagyó körülmény már akkor valószínűnek látszott, amikor kiderült, hogy e forrás alaphozamának minimumai közel egyidejűek a környékbeli források hasonló görbéinek maximumaival. Az e forrásnál megfigyelhető ellentétes alaphozam változás a kapcsolat teljes hiányát jelenti.

A fenti jelenség oka valószínűleg arra a körülményre vezethető vissza, hogy a Bolyamér-forrás vízgyűjtő területe esik legközelebb a Nagy-Tohonya-forrás vízgyűjtő területéhez. Korábbi vizsgálatok alapján ugyanis arra lehetett következtetni, hogy a Nagy-Tohonya-forrás vízgyűjtője a környező források vízgyűjtőinek rovására növekvő tendenciát mutat a terület lassú emelkedése következtében. Többek között ennek a jelenségnek tulajdonítható az a tény is, hogy a Lófej-forrás vize a forrás alatt elnyelődik és ma már csaknem állandó jelleggel a Nagy-Tohonya-forrást táplálja. Ezért feltételezhető, hogy Bolyamér-forrás vízgyűjtő területe bifurkációs jelleggel a Nagy-Tohonya-forrás vízrendszerét is táplálja. Ezért a Bolyamér-forrást tápláló barlangi patak alaphozam csökkenése a bifurkáció következtében akkor is bekövetkezhet, ha a szomszédos forrásoknál hozam növekedés alakul ki. Ilyen ellentétes változás azonban csak akkor jöhet létre, ha a Bolyamér-forrás eredeti vízgyűjtőjén beszivárgott csapadékvizek hozamának legalább kétharmada átadódik a Nagy-Tohonya-forrás vízrendszerébe és bizonyos mértékig karsztvízszint süllyedés is szerepet játszik a Bolyamér-forrás apadási folyamatának kialakításában.

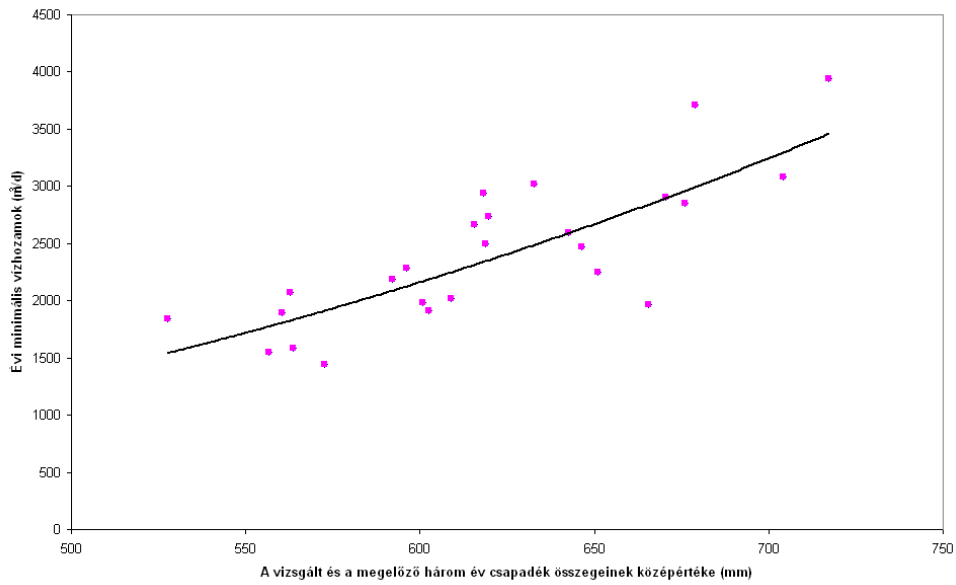
A fenti elgondolás valószínűségét megerősíti az a kutatási eredmény, hogy a Bolyamér-forráshoz nagyon közel eső Mogyorós-töbri víznyelő nyomjelzése kimutatta, hogy a víznyelőbe bejutó vizek nemcsak a Bolyamér-forrást, hanem a Nagy-Tohonya-forrást is táplálják. (DÉNES-SZILÁGYI 1988, SÁSDY-SZILÁGYI 2002).



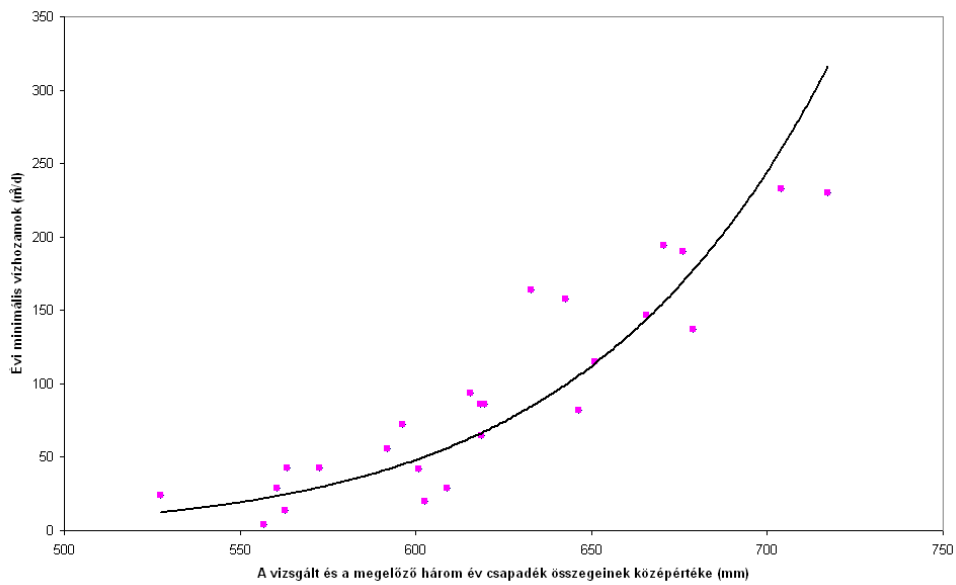
3. a. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Lófej-forrásnál
 Fig. 3. a.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Lófej-spring



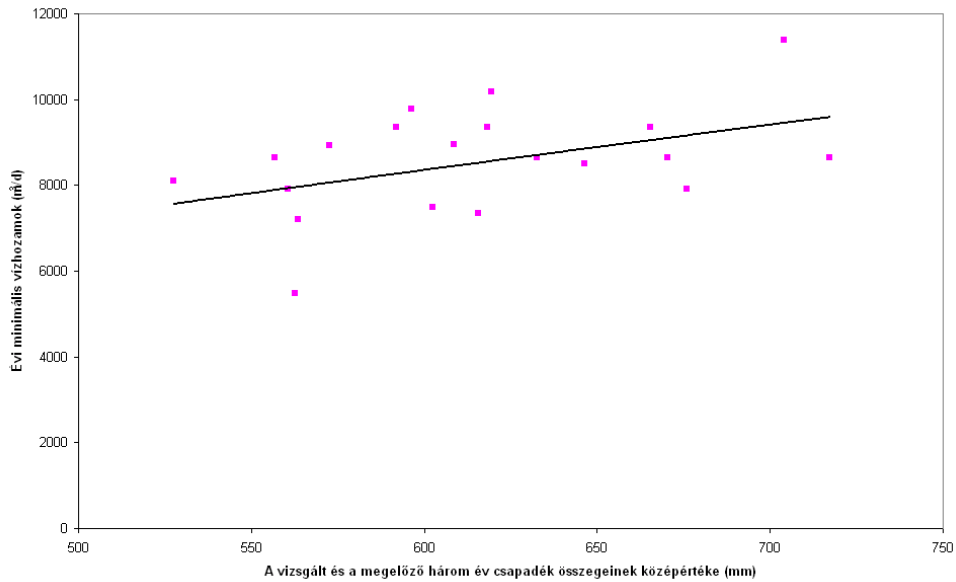
3. b. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Kis-Tohonya-forrásnál
 Fig. 3. b.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Kis-Tohonya-spring



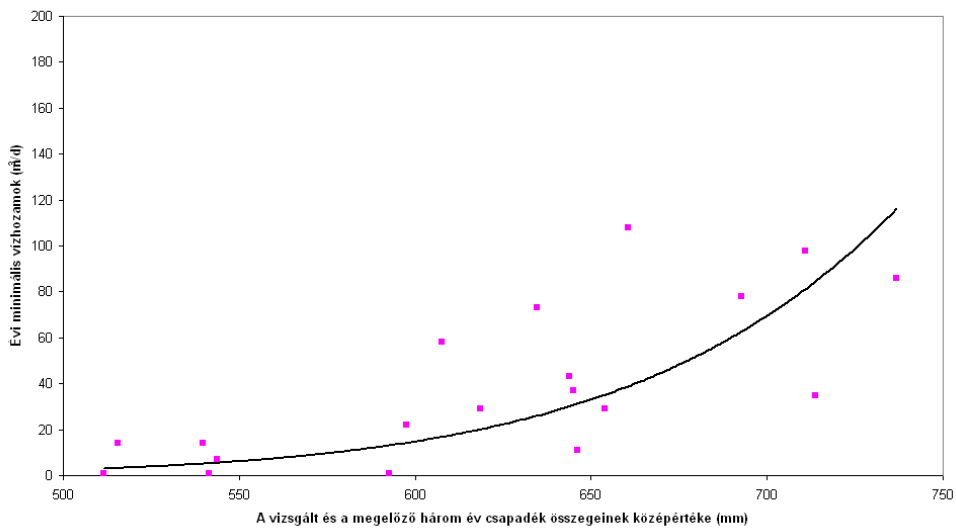
3. c. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Nagy-Tohonya-forrásnál
 Fig. 3. c.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Nagy-Tohonya-spring



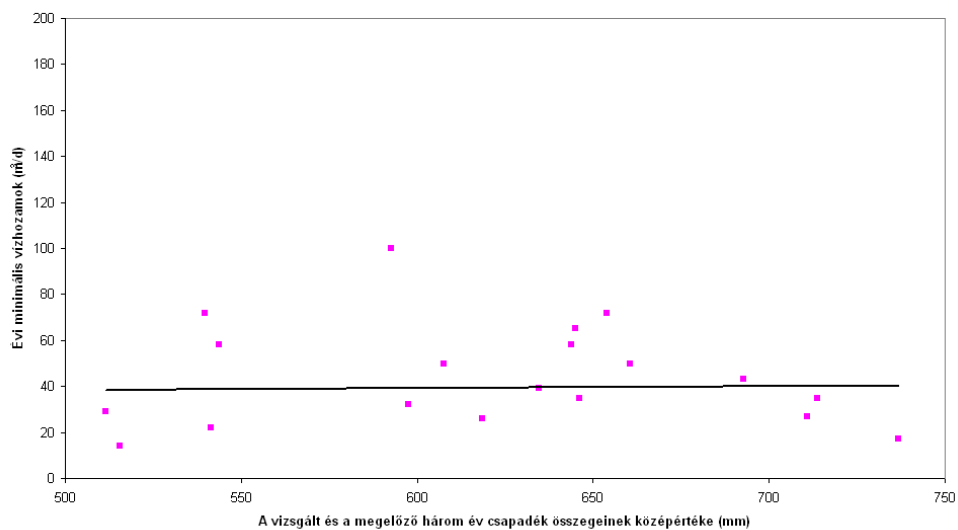
3. d. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Komlós-forrásnál
 Fig. 3. d.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Komlós-spring



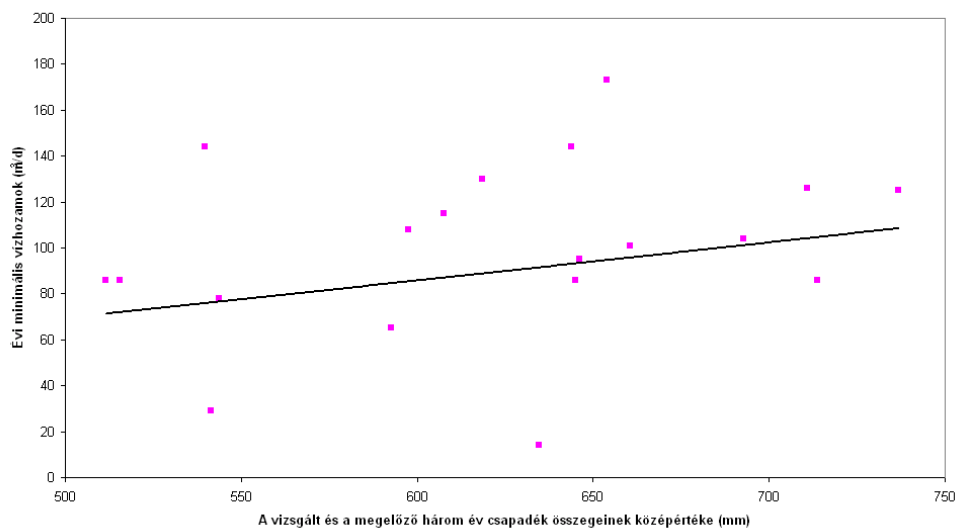
3. e. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Jósvali-forrásnál
 Fig. 3. e.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Jósvali-spring



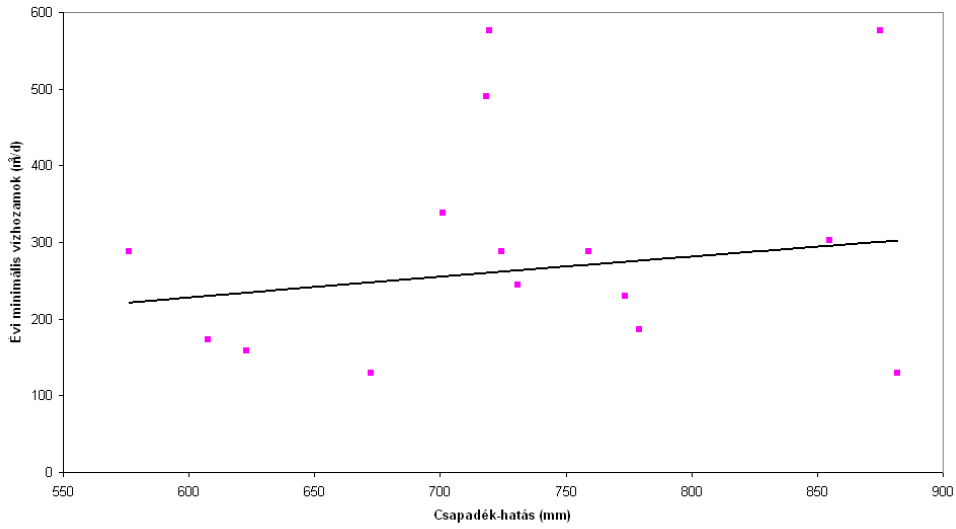
3. f. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Kecskekút-forrásnál
 Fig. 3. f.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Kecskekút-spring



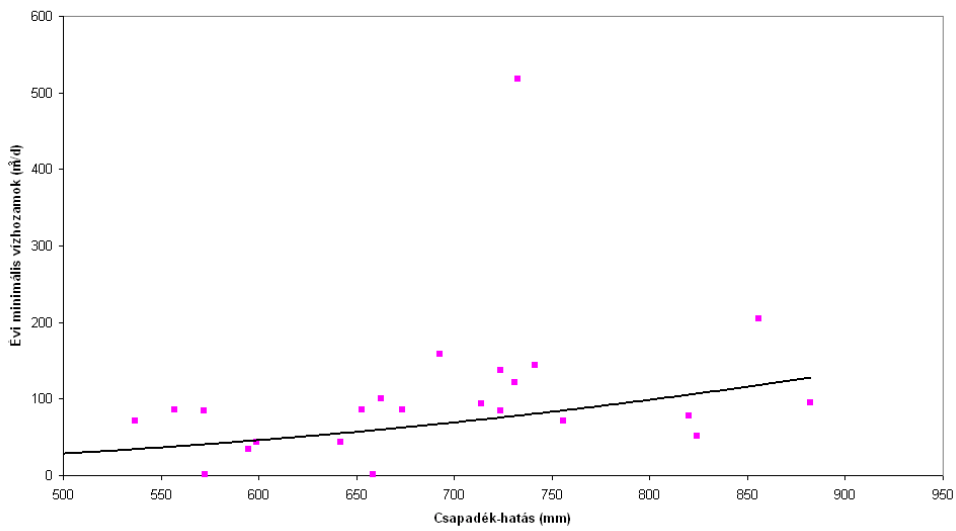
3. g. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Bolyamér-forrásnál
 Fig. 3. g.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Bolyamér-spring



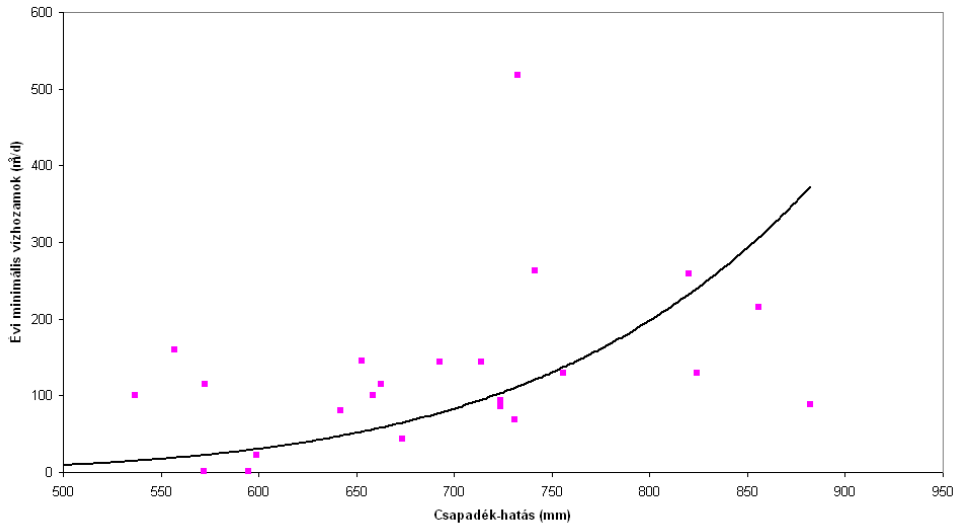
3. h. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Kopolya-forrásnál
 Fig. 3. h.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Kopolya-spring



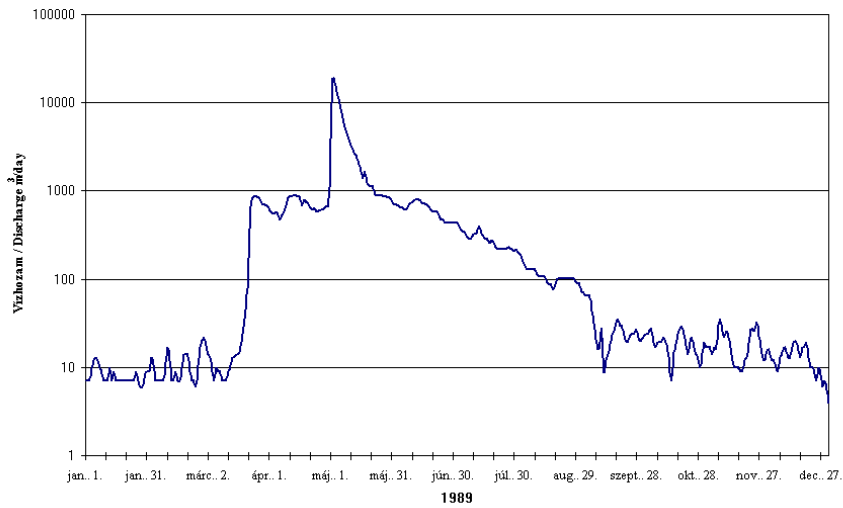
3. i. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Pasnyag-forrásnál
 Fig. 3. i.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Pasnyag-spring



3. j. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Kastélykerti-forrásnál
 Fig. 3. j.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Kastélykerti-spring



3. k. ábra: A csapadék-hatás és az évi minimális vízhozamok kapcsolata a Tapolca-forrásnál
 Fig. 3. k.: Relationship between the precipitation impact and the annual minimal discharge values of the Tapolca-spring



4. ábra: A Kis-Tohonya forrás napi átlagos vízhozamának évi változása
 Fig. 4.: Annual variation of the Kis-Tohonya spring daily mean discharge

4. Eredmények

Az Aggteleki-karszton 20–30 éven át folyamatosan végzett forráshozam mérések nyomán kitűnt, hogy a karsztforrások évi minimális hozama – a szűkebb repedéshálózat telítettségének változása következtében évről – évre változik. Az 1964 – 1993 évek közötti időszakban a Jósvafői Kutató Állomáson végzett mérések alapján megállapítottuk, hogy a nagyobb átlagos hozamú és hegylábánál fakadó források soha nem apadnak ki. Ugyanezen a fakadási helyen a kisebb átlaghozamú források évi minimális hozama zérus is lehet. A magasabban fakadó források esetében gyakrabban lehet teljes kikapadásra számítani. E források minimális hozama általában $70 \text{ m}^3/\text{d}$ körüli értékre csökken. A legnagyobb évi minimum értékek itt néhány száz m^3/d -ra tehetők. Ezzel szemben a nagyobb átlaghozamú források legnagyobb minimális hozama több ezer m^3/d értéket is elérhet, amely nem feltétlenül arányosan változik az átlagos hozamból számított vízgyűjtő terület nagyságával.

Vizsgálataink szerint a források évi minimális hozamainak sokévi idősorát nem az évi csapadékösszeg változása alakítja ki, hanem a szűk járatrendszerek telítettségének változását négy egymás utáni év csapadékösszegének középértéke vezérli.

A karszttelítettség vizsgálatának egyik jelentősebb eredménye az a felismerés volt, hogy a karsztvidékek hidrológiai szempontból sajátos tulajdonságokkal rendelkeznek. Nagy telítettség esetén már csekélyebb csapadék is létrehozhat áradást a forrásoknál, mert a fő töréshálóba beszivárgott vizek teljes egészükben megjelennek a forrásnál. Kis telítettség esetén még nagyobb csapadékok hatására sem alakul ki jelentősebb áradás a forráshozam változásában, mert a főtörések által közbezárt kőzetblokkok a beszivárgott csapadékvizek jelentős részét magukba szívják.

5. Összegzés

Az Aggteleki-karszton a források vízhozamának sokévi vizsgálata során kitűnt, hogy csapadékos években lassabban, száraz években gyorsabban csökken a vízhozam a források áradását követő időszakban. Feltételeztük, hogy a jelenség oka a legszűkebb járatok vízzel való telítettsége. Megállapítottuk, hogy a telítettség időbeli ingadozását az évi minimális vízhozamok sokévi változása alapján lehet megfigyelni. Kapcsolatot mutattunk ki négy éves csapadékátlagok és az évi minimális vízhozamok sokévi változása között.

IRODALOM

- CSER F.* (1978): The analytical determination of stored Water of karstic Springs. – Nemzetk. Karszthidr. Szimp. Közl. Budapest. p. 129 –140.
- DÉNES GY.* (1988): Beiträge zu etlichen und hydrologischen Fragen des Baradla–Domica Höhlensystem. - International Symposium on Physical Chemical and Hydrological Research of Karst. Košice. p. 213 – 216.
- DÉNES GY.- SZILÁGYI F.* (1988): A Kecső-patak összefüggése a Baradla-barlang rendszerével. – Vörös Meteor. T. E. Tájékoztató. 1988. máj. Budapest. p. 17-22.
- DÉNES GY. – SZILÁGYI F.* (1989): Hydrographische Zusammenhänge im Einzugsgebiet des Baradla-Höhlensystems Aggtelek – Ungarn. – 10. Internationaler Kongress für Speläologie. Budapest. Abhandlungen II. p. 555–558.
- IZÁPY G.- MAUCHA L.* (1993): The discharge-quality relationship interpreted for karst springs by a new karstmodel. – Bull. de la Soc. Geographique de Liege. p. 53-60.
- KESSLER H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken. - Vízügyi Közlemények. 2. Budapest. p.179 – 188.
- MAUCHA L.* (2002): Az Aggteleki-karsztvidék nagyobb forrásainak kiürülési viszonyai. - Karsztfejlődés VII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely. 2002. p.105-128.
- SÁSDI L. – SZILÁGYI F.* (2002): Jósvafői Nagy-Tohonya - forrás vízgyűjtő területének földtani és karszthidrológiai viszonyai. Kossuth Emléknepok előadásai. - MKBT kiadványa. Aggtelek - Jósvafő. p. 67-71.