

A LÓFEJ-FORRÁS MATEMATIKAI STATISZTIKAI VIZSGÁLATA

Réz Bianka

Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság

KIVONAT

Dolgozatom az Aggteleki-karszt területén található Lófej-forrás vizsgálatával foglalkozik. A forrás különleges működését összetett szivornyarendszere hozza létre. Az ilyen szivornyás források ritkaságnak számítanak: Magyarország területén összesen három darab található.

A forrás vízhozam-adatsorán gyakoriság és tartósság vizsgálatot, valamint Fourier transzformációt végeztem.

Foglalkoztam a forrás csapadéktól független szivornyás kitöréseinek vizsgálatával, valamint megkíséréltem kimutatni a közeli hidrometeorológiai állomáson mért csapadék befolyásoló hatását a forrás vízhozamára.

A Lófej-forrás vizsgálatának eredményeiről készült leírások mindig említést tesznek a szintén szivornyás Nagytóhonya-forrással való kapcsolatáról, melynek bebizonyítására én is kísérletet tettem korrelációs és kereszt-korrelációs vizsgálat segítségével.

KULCSSZAVAK: forrás, szivornya, Aggteleki-karszt, Lófej-forrás, Nagytóhonya-forrás, statisztika

A SZIVORNYÁS FORRÁSOK ÉS A LÓFEJ-FORRÁS BEMUTATÁSA

„Egy lófejű sárkány ki-kijárt barlangjából s a környék minden vizét elitta az emberek elől. Midőn egy napon hiába keresett vizet szenvedő beteg gyermekének egy édesanya, a völgyben vándorló őszszakállú zarándok megátkozta a sárkányt. Az átok megfogott, a hegy rászakadt a barlangjában heverő szörnyetegre, s a víz, amit kínjában magából kifűjt, rést ütött a sziklafalon...”

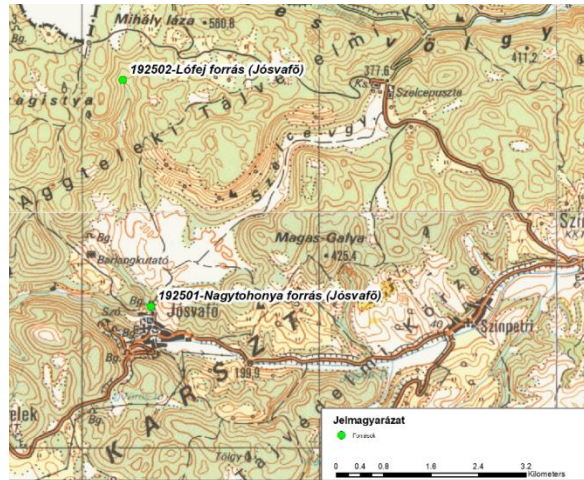
A jósvafői Lófej-forrás legendája már az 1900-as évek elején is megjelent, de vajon mitől olyan különleges az itt kialakult karsztos képződmény?

A forrás a felszín alatti víz koncentrált, természetes felszínre bukkanása, mely lehet talajvíz, rétegvíz vagy karsztvíz. Állandóság szerint a forrás lehet időszakos forrás, mely megnevezés két forrástípust takarhat. Ide sorolhatók azok a vízkilépések, amelyek működése a csapadéktól vagy a karsztvízszint magasságától függ, ezek egy része árvízi forrás. A másik típust a periodikus források alkotják, melyek abban különböznek az időszakos forrásoktól, hogy működésüket, azaz kitöréseiket nagyrészt szabályos szünetek, periódusok szakítják meg. Ezek működését szivornya vagy szivornyarendszer szabályozza. Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező forrásokat a hidrológiai irodalom is szivornyás forrásoknak nevezi. Magyarország területén mindössze három szivornyás forrás található, ezek közül kettő az Aggteleki-karsztvidék területén fakad.

A Lófej-forrás vízkilépésének helye Jósvafőtől északra, légvonalban 4 km-re, 428 mBf magasságban található. A forrás vízhozamának folyamatos mérése 1965-től kezdődött, először a Budapesti Műszaki Egyetem, majd a VITUKI jósvafői Kutató Állomása munkájának keretében. Az 1985-ös évtől a forrás mérését az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság vette át.

A forrás az Aggteleki-karsztvidéken helyezkedik el, mely legnagyobb részt triász-korú képződményekből épül fel. Aggtelektől Tornanádaskáig a magyar-szlovák határvonalon szinte megszakítás nélkül wettersteini-mész-kő húzódik a felszínen. Ettől délre, Jósvafőtől Bódvaszilásig átlagosan 2 km szélességben wettersteini dolomitos képződmények találhatók a felszínen. Részben ezek a dolomit és dolomit-mész-kő képződmények alkotják az itt található források vízgyűjtő területét.

A Lófej-forrás 1,2 km²-es vízgyűjtő területének 20%-át, a Nagytóhonya-forrás 24,4 km²-es vízgyűjtő területének pedig 40%-át alkotják dolomit képződmények.



1. ábra. A Lófej- és a Nagytöhonya-forrás elhelyezkedése
(szerkesztette: Stadler Tamás, monitoring referens, ÉMVIZIG)

Mivel a Magyarországon található mindhárom szivornyás forrás vízgyűjtőterületén található dolomit feltételezhetjük, hogy a ritkának számító szivornya-üreges kialakulását a mészkő és dolomit eltérő oldhatóságai okozzák.

A Lófej-forrás szivornyarendszere

Jósvafő község a környező településekhez képest jelentős vízforrásokkal rendelkezik, mivel a falu határában fakadnak az Aggteleki-karszt legnagyobb hozamú forrásai.



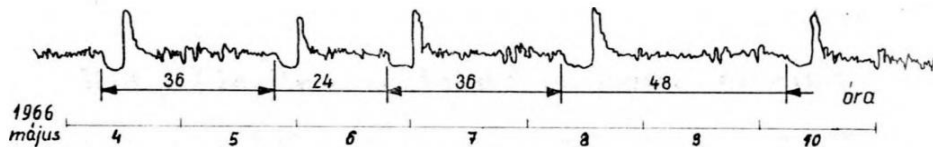
1. fénykép. A Lófej-forrás mérőműtárgya (saját fotó)

Az itt található legmagasabban fakadó forrás a Lófej-forrás a környék fontos itatóhelye volt. Még a hetvenes években is erre a területre hozták legelni a jósvafői csordát. Ennek jeléül szolgálnak a még mindig meglévő vályúk korhadó maradványai.

Ahhoz, hogy megérthessük a forrás szivornyarendszerének működését, először nézzük meg a vízhozam idősorának alakulását az egyes időszakokban. Hazslinszky és Maucha vizsgálatai alapján négy szakaszra bontható a szivornyás működés. Nagy vízhozamnál az a jelenség figyelhető meg, hogy a kitörések szüntelenek, mivel a szivornya a jelentősen megnövekedett karszt-víztükör szintje alá kerül, az apadás során előbb kis térfogatú, sűrű, majd nagy kitörések jelentkeznek. A második szakaszban a kitörések közepes vízhozam esetén 1-2 naponta követik

egymást, melyeket majdnem zérusra csökkenő hozamminimum előz meg és a kitörések között folyamatos pulzálás figyelhető meg, majd a további hozamcsökkenés hatására a kitörések sűrűsége 2-4 napra csökken. Kisvíznél kezdetben csak vízhozam pulzáció jelentkezik, majd már csak csekély vízhozam ingadozás, végül minden mozgás megszűnik.

A szivornyarendszer felépítésének meghatározásához Mauchaék az előbbi időszakokon kívül kiragadtak még egy középvízes, 1 hetes időszakot, amely minden információt tartalmaz, ami a forrás szivornyarendszerének megértéséhez kell.

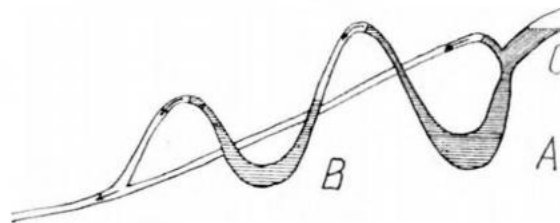


1. ábra: A Lófej-forrás egy hetes regisztrátuma 1966 (Maucha, 1967)

Az 1966 május 4-10. időszak vízhozamának ábrázolásán feltűnő, hogy egy közel konstans, átlagos vízhozam mellett, az időszakonként jelentkező kitöréseket minden esetben megelőzi egy jól kivehető hozamcsökkenés. A kitörések és a hozamcsökkenések között pedig folyamatos vízhozam pulzációk láthatók.

Ez alapján feltételezték, hogy ez a három jellegzetes görbe szakasz mind egy-egy külön szivornya működésének az eredménye, valamint, hogy a létrehozott görbét a három szivornya együttes működése, azok hidraulikai kölcsönhatása hozza létre.

A három szivornyából kettő azonos térfogatú nagy szivornya (A és B) sorba vannak kötve és az „A” szivornya felett egy kicsi szivornya (C) található.



2. ábra. A Lófej-forrás szivornya rendszere (Maucha, 1967)

A „C” szivornya három különleges tulajdonsággal rendelkezik, melyek a következők:

- Nem a „C” szivornya leszívó csöve, hanem a víztároló alja van sorba kötve az „A” szivornya tetejével. Az összekötésük helyén szűkület van.
- A „C” szivornya leszívó csöve párhuzamosan fut az „A” és a „B” szivornyával és közvetlenül a szivornyarendszer utáni főág szakaszába vezet.
- A „C” szivornya leszívó csövének csúcspontja alig helyezkedik el lejjebb, mint az „A” szivornya leszívó csövének csúcspontja.

A jósvafői Kutató Állomáson elkészítették a forrás szivornyarendszerének hidraulikai modelljét, mellyel rekonstruálták az 1966. májusi vízhozam regisztrátumot, ezzel alátámasztva a szivornyarendszer felépítésére tett feltételezéseket. Valamint meg tudták határozni az egyes szivornyák térfogatát, a kitörések alatti vízhozam értékek összegzésével. Az „A” szivornya 300 m^3 , a „B” szivornya 270 m^3 , a „C” szivornya pedig 30 m^3 .

A vizsgálatok és a modell alapján a forrás működése a következőképpen alakul: a forrást tápláló víz kezdetben a „C” szivornyát tölti, mely során a befolyó víz egyik fele a „C” szivornya fenekén lévő nyíláson keresztül tölti az „A” szivornyát, másik fele pulzációk formájában ürül ki a „C” szivornyából. Amikor az „A” szivornya megtelik, elkezd kiürülni, ami egyben a „B” szivornya töltődésének kezdetét jelenti. Ennek hatására alakul ki a kitöréseket megelőző vízhozam csökkenés, ami együtt jár a pulzáció megszakadásával, mivel az ürítés szívó hatására megszűnik a „C” szivornya működése. A forrás kitöréseit a „B” szivornya kiürülése hozza létre, mely után visszaáll a kezdeti állapot. A kitörések előtti hozamcsökkenésből következtethetünk arra, hogy a szivornyarendszer a forrás főágában helyezkedik el.

A forrás kapcsolata a Nagytöhonya-forrással

A Nagytöhonya-forrás a Lófej-forráshoz hasonlóan, szintén az Aggteleki-karszton fakad. Vízhozamát a VITUKI 1950-től időszakosan, 1964-től folyamatosan mérte. A forrás szivornyas kitörései a viszonylag állandó nagy vízhozama miatt nem olyan látványosak, mint a Lófej-forráséi, ezért népi megfigyelések nem ismertek róla. Szivornyájának térfogata 3300 m³, melyet kisebb vízhozamú időszakban állapítottak meg, mivel ilyenkor a kitörések által szállított vízhozam megközelíti a szivornya üreg tényleges térfogatát.



2. fénykép. Nagytöhonya-forrás mérőműtárgya (saját fotó)

A Nagytöhonya-forrás szivornyája a Kárpát-medence legnagyobb térfogatú szivornyája, mely valószínűleg a vízrendszer mellékágában található. Árvízkor itt nem figyelhető meg a kitörések besűrűsödése. Ez adódhat abból, hogy a főági vízállás emelkedésekor a mellékági szivornya víz alá kerül vagy, hogy a mellékágban nem tud elég nagy áradás kialakulni.

A Lófej-forrás szivornyarendszerével ellentétben itt csak egy szivornya hozza létre a csapadéktól független, gyors vízhozam növekedéseket. Azonban a Nagytöhonya-forrás idősorában is található pulzálási jelenségek, melyeket a Lófej-forrás kitöréseinek csillapodott nyomáshullámai okoznak. A Lófej-forrás kitörései átlagosan 4 órás késéssel jelennek meg a Nagytöhonya-forrásban.

A Nagytöhonya-forrás kitöréseinek kezdeti vizsgálatok azt feltételezték, hogy a forrásnak nincs önálló szivornya rendszere, csak a Lófej-forrás kitörései jelentkezik a vízhozamában. Ezt azért is tartották lehetségesnek, mivel igen valószínűtlennek tűnt egymás mellett két szivornyas karsztforrás létezése.

A Lófej-forrás áradásai által szállított víz általában nem folyik végig a körülbelül 6 km hosszú völgyön, hanem útközben elnyelődik. Ezért felmerült, hogy a forrás azt a mellékágot táplálja, melyben a Nagytohonya-forrás szivornyája is működik. A Lófej-forrás 1965-ben mért egész évi vízhozam összege megegyezik a Nagytohonya-forrás ugyanebben az évben regisztrált kitöréseinek vízmennyiségével, ez a megállapítás és az 1967. május 23-án végzett nyomjelzéses vizsgálat is alátámasztotta a feltételezést, valamint azt, hogy a Lófej- és a Nagytohonya-forrás folyamatos hidrológiai kapcsolatban állnak.

A két forrás hidrológiai kapcsolata következtében a Nagytohonya-forrás vízgyűjtő területébe beletartozik a Lófej-forrás vízgyűjtő területe is. Ezért a 24,4 km² vízgyűjtő helyett a Nagytohonya-forrás független vízgyűjtő területe csak 23,2 km².

A leírtak alapján látható, hogy az Aggteleki-karszt területén található Lófej-forrás több szempontból is igen különlegesnek számít. Szivornyás mivolta mellett egyedi, többszörösen összetett szivornyarendszerrel rendelkezik, valamint még a közelében található másik szivornyás forrással is kapcsolatban áll.

A LÓFEJ-FORRÁS VÍZHOZAM ADATAINAK VIZSGÁLATA

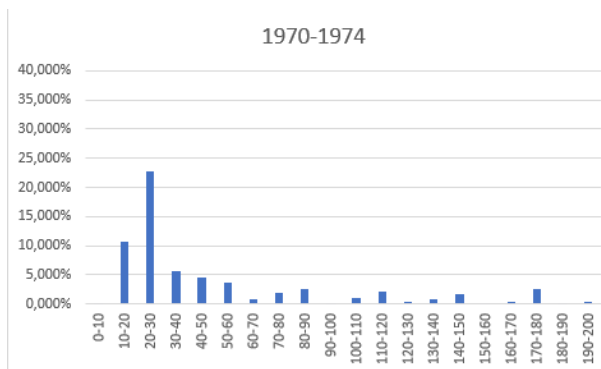
A Lófej-forrás adatai a forrás kataszterben 1965-től található meg, azonban az 1995. évtől kezdve jelentős adathiányok jelennek meg az adatsorban, ezért ebből az időszakból az 1965-től 1994-ig tartó 30 év adatain tudtam vizsgálatokat végezni.

A 2013-as évtől újra kezdődött a források regisztrálása, azonban a Lófej-forrás esetében 2018-ban műszerhiba következtében több havi adathiány keletkezett. Ebből az időszakból a 2013-2017 évek órás gyakoriságú regisztrált adatsora állt rendelkezésemre.

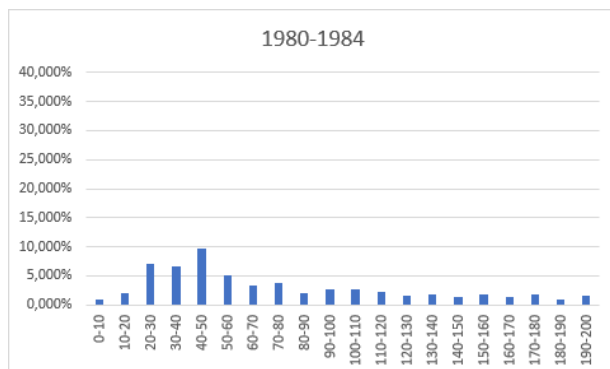
A gyakoriság és tartósság vizsgálata

A gyakoriság és tartósság adatok kiszámítása során a hagyományos módszerrel történő osztásköz meghatározás a kis tartományba csoportosuló adatok és a nagy terjedelem miatt nem bizonyult alkalmasnak a forrás hozamváltozásainak vizsgálatára. Ezért az 5 éves csoportokra bontott adatok gyakoriságát egységes 10-es osztásközzel határoztam meg.

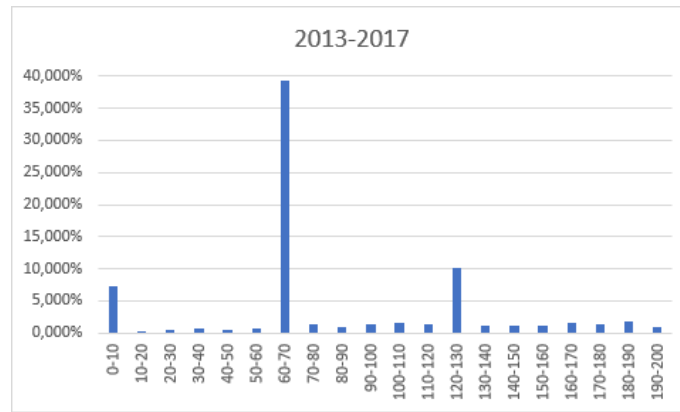
Mivel a gyakoriság ábrázolása során a 0-200 l/min tartományban mutatkozik nagyobb mennyiségű adat, ezért ennek az intervallumnak a vizsgálatával foglalkoztam. Ekkor lettem figyelmes arra, hogy a 2013-2017 közötti adatok eltérnek a többi év adataitól, mivel azok szinte kizárólag három jól elkülönülő hozamtartományba esnek.



3. ábra. Gyakoriság 1970-1974
(saját szerkesztés)



4. ábra. Gyakoriság 1980-1984
(saját szerkesztés)



5. ábra. Gyakoriság 2013-2017 (saját szerkesztés)

Osztásközök	1965-1969	1970-1974	1975-1979	1980-1984	1985-1989	1990-1994	2013-2017
0-10	0,110%	0,219%	0,438%	0,821%	7,941%	15,663%	7,338%
10-20	0,821%	10,679%	13,417%	1,916%	7,010%	12,541%	0,274%
20-30	15,115%	22,837%	16,813%	7,006%	8,708%	8,269%	0,383%
30-40	4,436%	5,531%	8,160%	6,623%	5,312%	6,955%	0,602%
40-50	8,762%	4,545%	7,174%	9,688%	8,817%	5,038%	0,383%
50-60	5,312%	3,724%	3,614%	5,036%	4,765%	5,586%	0,602%
60-70	0,986%	0,767%	2,136%	3,284%	8,269%	3,395%	39,376%
70-80	1,205%	1,807%	2,026%	3,831%	6,024%	4,545%	1,314%
80-90	2,300%	2,574%	1,314%	2,025%	4,381%	2,464%	0,931%
90-100	1,260%	0,164%	0,712%	2,627%	3,560%	3,669%	1,260%
100-110	0,876%	0,986%	1,533%	2,573%	1,369%	0,821%	1,588%
110-120	2,300%	2,136%	1,205%	2,299%	2,136%	2,026%	1,369%
120-130	1,041%	0,383%	1,533%	1,478%	0,602%	1,095%	10,022%
130-140	1,369%	0,767%	1,150%	1,861%	0,493%	0,821%	1,095%
140-150	1,588%	1,752%	0,767%	1,314%	0,602%	1,588%	1,205%
150-160	0,767%	0,164%	0,548%	1,697%	0,548%	0,821%	1,205%
160-170	0,602%	0,274%	0,602%	1,314%	0,329%	0,712%	1,479%
170-180	1,424%	2,464%	0,274%	1,752%	0,712%	1,314%	1,369%
180-190	0,274%	0,110%	0,548%	0,985%	0,383%	0,602%	1,752%
190-200	0,219%	0,438%	0,438%	1,642%	0,767%	1,150%	0,821%

1. táblázat. A 0-200 l/min hozamtartományhoz tartozó gyakoriság értékek táblázata (saját szerkesztés)

A diagrammok és a táblázat alapján is egyértelműen látszik, hogy a 2013-2017 adatokra számított gyakoriság értékek teljesen más képet mutatnak. Kiugrást mutat a 0-10, 60-70 és 120-130 l/min hozamtartomány.

Mi lehet ennek az oka?

A különbség az 1965-1994 és a 2013-2017 adatok között a mérési technikával magyarázható.

A jósvafői Kutató Állomás vízfolyásain úszós típusú vízszintészlelőkkel voltak felszerelve. A rajzoló vízmércék esetében az úszót nagyobb vízfolyásoknál aknában, a kisebb, hordalékos, de jégzajlástól mentes vízfolyásoknál pedig függőleges csőben helyezik el. Továbbító szerkezetük általában egy huzal vagy szalag, mely az úszó mozgását továbbítja, majd forgó mozgássá alakítja. A vízállás rögzítése író szerkezettel történik. Ennél a mechanikus író szerkezetnél a mozgó toll jelet hagy az óraszerkezet által egyenletes sebességgel mozgatott hengerre felhelyezett papíron.

A 2013-ban újra indított mérések bukógáttal és vízállás regisztráló készülékkel történnek. Nyomásérzékelő szonda óránként méri az átbukási szintet, majd ezek az adatok 3 havonta kerülnek kinyerésre, aztán feldolgozásra, azaz utólagos ellenőrzésre, mely kiküszöböli az esetlegesen a műszer működéséből adódó kisebb hibákat. Ezek után a feldolgozott vízállás adatokból bukó képlettel számíthatjuk ki a vízhozam idősort.

Az Észak-magyarországi Vízügyi Igazgatóság a vízrajzi tevékenység decentralizálásának következtében 1985. április 01-től átvette a jósvafői Kutató Állomás üzemeltetését a VITUKI-tól. Ennek következtében az ÉMVIZIG adattárában csak az 1985. évtől található meg a mérések dokumentációi. Ezek után további kutatásokat végeztem a régi mérés technika megértése érdekében.

A vízállás adatok vízhozammá való átváltása egy minden forrásra és víznyelőre külön meghatározott skálával történt.

Mivel a vízállás rajzoló folyamatosan rögzíti a forrás vízállását nem minősíthető helyesnek az a feltételezés, hogy maga a mérés technika okozza a gyakoriság adatok által kimutatott nagy eltérést. Ezek után az a kérdés merült fel bennem, hogyan történhetett az adatok kiértékelése.

A vízállás rajzoló 1 hetes periódusokat rögzített és a csere során mindig leolvasták a vízállást, a léghőt, a víz hőjét és megmérték az ellenállást, valamint megállapították a vízálláshoz tartozó hozamot. A vízállást rögzítő papíron minden napra jelölve van 4 érték 1, 7, 13 és 19 óránál, melyekhez a hozzá tartozó hozam is odairásra került.

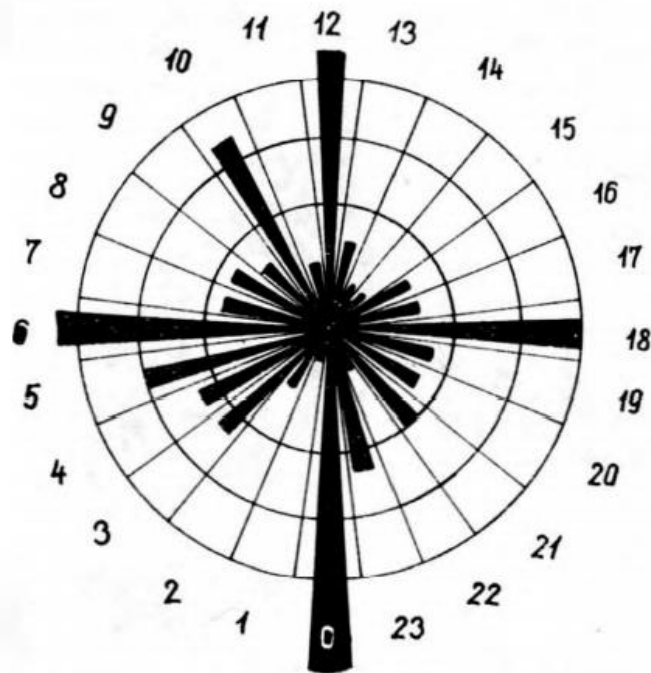
A Vízrajzi és Adattári Osztály adattárában meglévő vízállás rögzítő ívek vizsgálata során a következőket tapasztaltam: az 1986. július 30-án leolvasott értékek 80, 120, 80 és 80 l/min. Ezen a napon jelölésre került egy maximum érték is, amely 5400 l/min. A vízhozam összesítő lapon beírásra került ez a maximum érték, az aznapra meghatározott vízhozam értéke viszont 90 l/min. Ez azt jelenti, hogy a napi 4 leolvasott érték átlagát vették, figyelmen kívül hagyva az aznap bekövetkezett havi maximumot és az aznap történt esetleges kitöréseket.

Ugyanez történt 1986. augusztus 01-jén. Szintén jelölve lett a havi maximum érték 6100 l/min. Az itt meghatározott napi vízhozam 85 l/min, amely szintén a napi 4 leolvasott érték átlaga.

Ezek alapján az a következtetés vonható le, hogy a gyakoriság számításakor kimutatott érdekes eltérések az adatok kiértékeléséből adódó különbséget mutatják. Mivel a régi mérési eredmények kiértékelésekor nem vették figyelembe a forrás kitöréseit és még a havi maximumokat sem, az nagyban megváltoztatta az adatsor jellegét. A 2013-2017 időszakban mért adatokból számolt hozamokban mutatkozó különleges adatgyakoriság a forrás természetes szivornyás jellegéből adódik.

A forrás kitöréseinek vizsgálata

A kitörések kezdeti óráinak vizsgálata



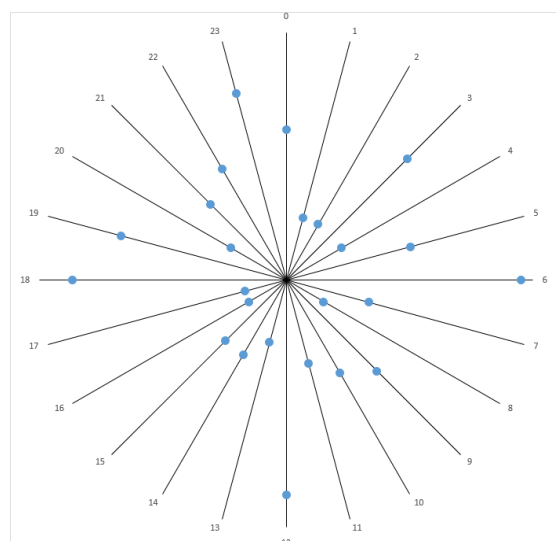
6. ábra. A Lófej-forrás kitöréseinek óradiagramja (Maucha, 1967)

A diagram a Lófej-forrás 1965. évi 175 kitörésének vizsgálata alapján készült. A diagram azt vizsgálja, hogy a kitörések melyik órában kezdődtek. Az eredmény, hogy a szivornyás kitörések 33%-ban csaknem pontosan 6, 12, 18 és 24 órakor kezdődtek.

A Mauchaék által végzett vizsgálatot én is megkíséreltem rekonstruálni a rendelkezésemre álló órás adatsorból. Először a kitörések kezdetét a vízhozamnövekedés kezdetétől számítottam, azonban ez a módszer nem a várt eredményt adta.

Abban az esetben, amikor a szivornyás kitörések kezdeti óráit a kitöréseket megelőző vízhozam csökkenés kezdetét vettem a kigyűjtött 128 darab kitörésnek a 29,7%-a kezdődött 0, 6, 12 vagy 18 órakor.

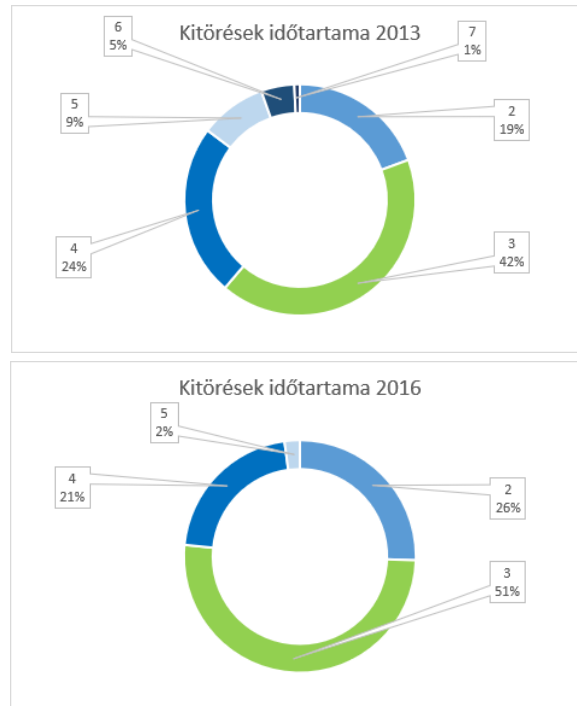
Kitörés kezdeti órája	
0	5,5%
1	2,3%
2	2,3%
3	6,3%
4	2,3%
5	4,7%
6	8,6%
7	3,1%
8	1,6%
9	4,7%
10	3,9%
11	3,1%
12	7,8%
13	2,3%
14	3,1%
15	3,1%
16	1,6%
17	1,6%
18	7,8%
19	6,3%
20	2,3%
21	3,9%
22	4,7%
23	7,0%



7. ábra. A 2013. év kitöréseinek táblázata és óradiagramja, ha a kitörések kezdete az őket megelőző vízhozamcsökkenés kezdete (saját szerkesztés)

A kitörések időtartamának vizsgálata

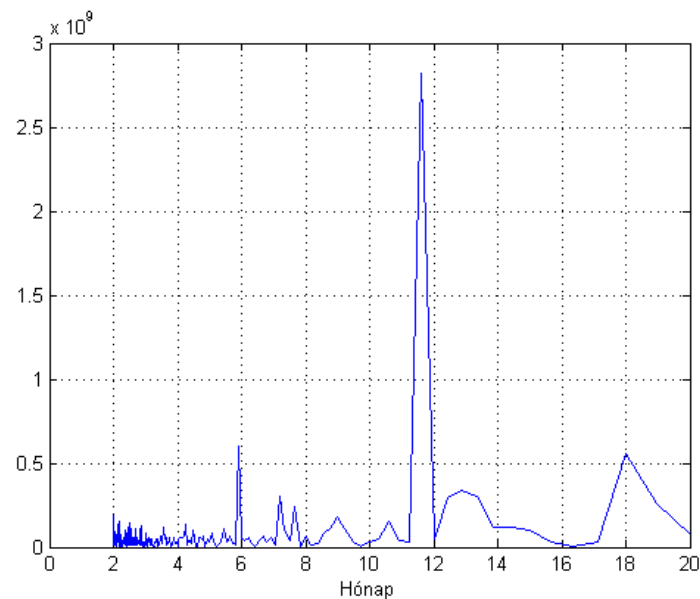
A forrás hozamának 1950-2000 között regisztrált adatai alapján megállapították, hogy az egyes kitörések időtartama átlagosan 3 óra volt. Ez alapján vizsgáltam meg a 2013 és 2016 évek kitöréseinek időtartamát. A kitörés kezdetének a hozam emelkedés kezdetét, a végének pedig a visszaesés végét tekintetem. Megfigyelhető, hogy 42 és 51%-al itt is a 3 órás időtartam dominál.



8. ábra. A Lófej-forrás 2013. és 2016. évi kitöréseinek időtartama (saját szerkesztés)

Periodicitás vizsgálat Fourier transzformációval

A Lófej-forrás adatsorában lévő esetleges periodicitások megkeresésére Fourier transzformációs vizsgálatot alkalmaztam, melyet a MATLAB program segítségével végeztem el.



9. ábra. 1965-1994 havi átlagok Fourier transzformációs vizsgálatának eredménye 0-20 hónap között (saját szerkesztés)

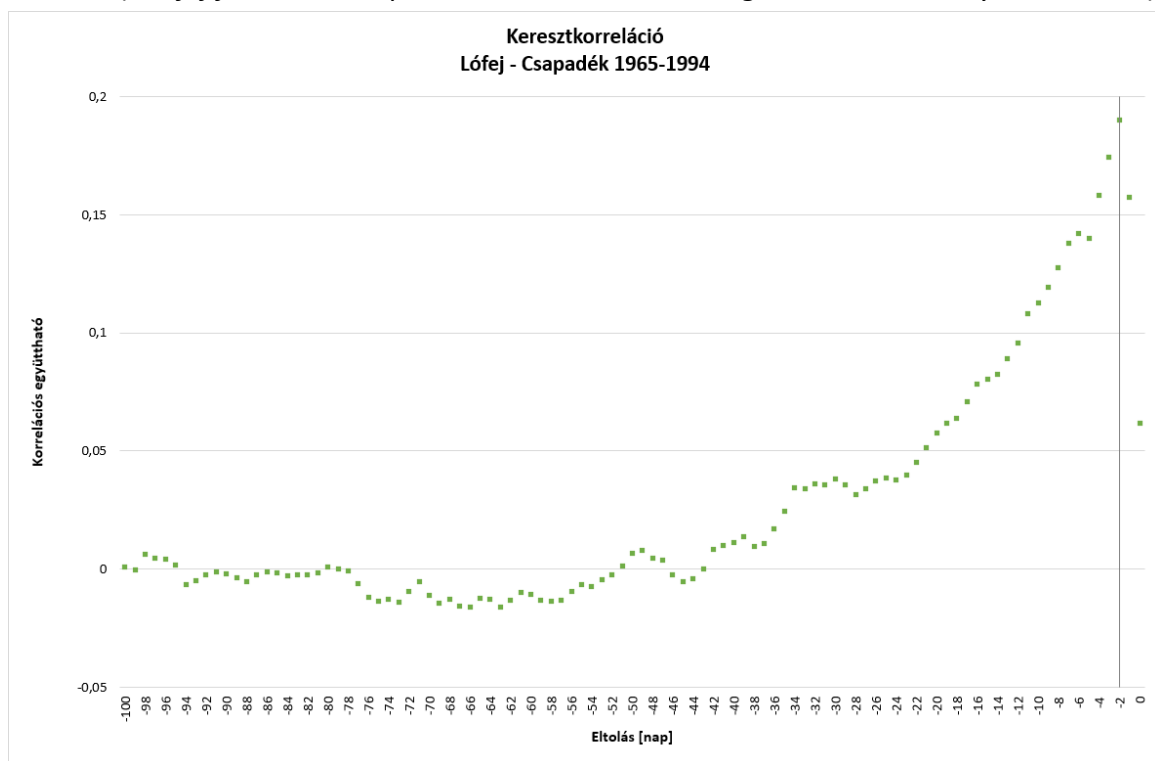
A Fourier transzformáció során az 1965-1994 és 2013-2017 évek adatainak vizsgálatakor bebizonyosodott, hogy a forrás működésében egy nagyon karakteres 1 éves periodicitás található. Felfedezhető egy hosszabb 10 éves ismétlődés, valamint egy félévenkénti ciklikusság is.

A LÓFEJ-FORRÁS ÉS A CSAPADÉK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA

A Lófej-forrás és a csapadék kapcsolatának kimutatását először keresztkorrelációs vizsgálattal kíséreltem meg. A napi csapadékösszegeket [mm] korreláltattam a forrás átlagos napi vízhozamával [l/min]. Az 1965-1994 időszakra „A Lófej-forrás és a csapadék keresztkorrelációs vizsgálatának eredménye 1965-1994” diagrammot kaptam eredményül.

Látható, hogy a lehulló csapadék hatása leginkább 2 napos késleltetéssel jelentkezik a forrás hozamában, azonban még ez is csak 0,19-es korrelációs együtthatót mutat.

A 2013-2017 időszakra a napi csapadékösszeg [mm] és az óras vízhozam adatokból számított napi átlag vízhozamra [l/min] elvégzett keresztkorrelációs vizsgálat alapján a csapadék hatása 3 nap múlva jelenik meg a forrásban, azonban ez a kapcsolat csak 0,105-ös korrelációs együtthatóval jellemezhető (A Lófej-forrás és a csapadék keresztkorrelációs vizsgálatának eredménye 2013-2017).



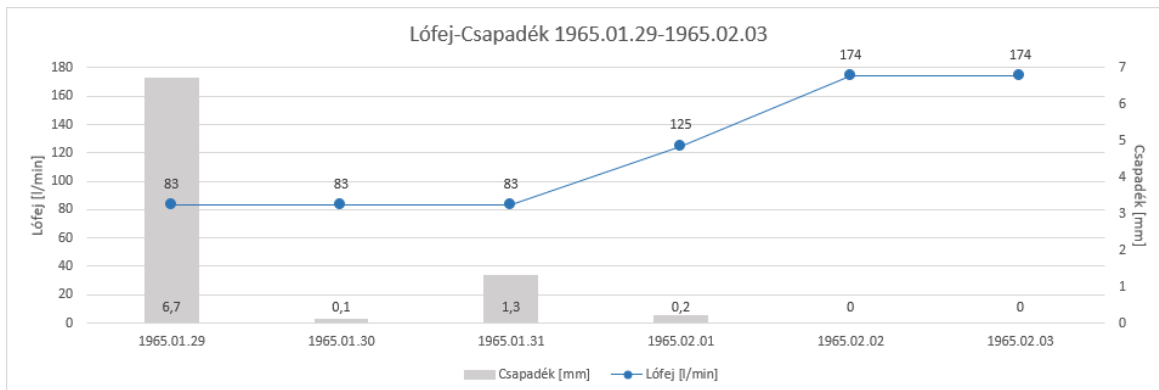
10. ábra. A Lófej-forrás és a csapadék keresztkorrelációs vizsgálatának eredménye 1965-1994 (saját szerkesztés)

A keresztkorreláció vizsgálat nem mutatott ki szoros összefüggést a forrás napi átlagos hozama és a csapadék között, ezért következő lépésben az 1965-1994 időszak nyári és téli féléveinek szétválasztásával próbálkoztam. Ily módon külön a nyári és téli félévre vizsgáltam a kapcsolatot késleltetés nélkül. A vizsgálat eredménye: nem mutatható ki kapcsolat a két paraméter között.

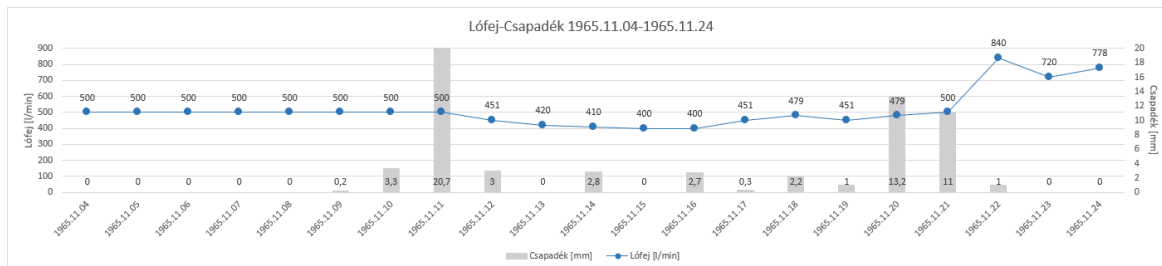
Majd megvizsgáltam mi történik, ha csak a csapadék csúcsokhoz tartozó forrás hozam csúcsok között számítom a korrelációs együtthatót. Ez a vizsgálat sem mutatott ki semmi érdemleges eredményt, azonban miközben a csúcsok kigyűjtését végeztem felfigyeltem egy érdekes jelenségre. Csak néhány kiragadott példa grafikus ábrázolása a 12-14. ábrán látható.



11. ábra. A Lófej-forrás és a csapadék keresztkorrelációs vizsgálatának eredménye 2013-2017 (saját szerkesztés)

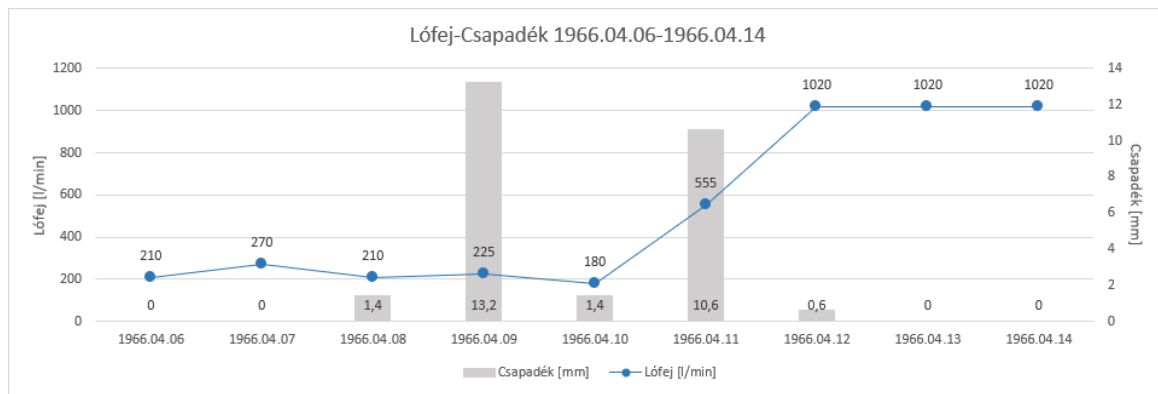


12. ábra. Lófej-Csapadék 1965. január 29. - 1965. február 03. (saját szerkesztés)



13. ábra. Lófej-Csapadék 1965. november 04. - 1965. november 24. (saját szerkesztés)

A diagrammokon egy jelentősebb csapadékok megelőző és követő pár nap látható. Megfigyelhető, hogy általában nem a csapadék csúcsokhoz köthető a forrás hozamának a csúcspontja, az csak napokkal később következik be több napos csapadékesemény hatására. Ez valószínűleg a forrás összetett szivornya rendszerének következménye.



14. ábra. Lófej-Csapadék 1966. április 06. - 1966. április 14. (saját szerkesztés)

Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a csapadék hatással van a forrás hozamára, azonban az egyszerű statisztikai vizsgálatokkal nem egyértelműen kimutatható. Továbbá a gyenge kapcsolat háttérben állhat, hogy a vizsgálatok során az 1965-1994 évekre képzett havi átlagokat használtam fel, melyekről a forrás gyakoriság vizsgálata során már kiderült, hogy az adatok feldolgozásakor átlagolással éltek. Az átlagképzés már önmagában is de, főleg a régi módszerrel, amikor a kitörések hozamát eliminálták, nehézkessé teszi a csapadék hatásának kimutatását.

Mivel több napi jelentős csapadék összeadódása okozza a forrás hozamemelkedését, a csapadék futóösszegének vizsgálatával próbálkoztam.

A leglátványosabb eredményt a 2013-2017 időszakra képzett Lófej- és Nagytöhonya-forrás napi összes átfolyt vízmennyiségének és a csapadék 7 napos futóösszeg kapcsolatának vizsgálata adta. A napi átfolyt összes vízmennyiség a 2013-2017 években végzett órás mérésekből képződött. A 7 napos futóösszeg az előző 7 nap csapadékának összegét veszi az adott napra. Futóösszeg, mivel a napok változásával az összegezni kívánt tartomány is változik. Ez alapján az adatsor vizsgálata csak a 7. naptól kezdhető.

Minden év elején a források hozama reagál a lehullott csapadéokra. A nyári félév hónapjaiban a forrás kitörésektől mentes, sokszor stagnál. Ez betudható a párolgás kezdetének, de a források elhelyezkedésének is, mivel a Lófej-forrás erdős, fákkal erősen benőtt területen található a csapadék nagy része valószínűleg el sem éri a felszínt, azaz kisebb a beszívargás.

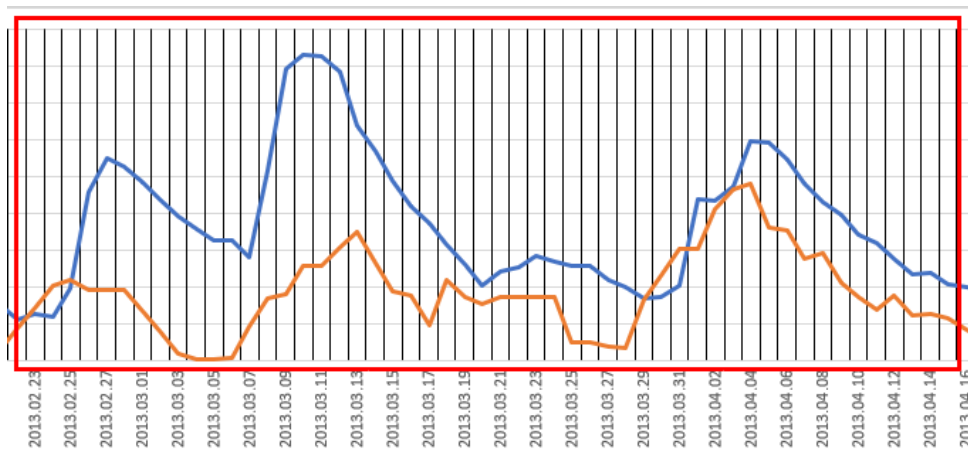
Kessler cikke szerint, ha a forrás vízgyűjtőjén a talaj már előzőleg jól átázott állapotba kerül, akkor kis csapadékmennyiség is feltűnően megnöveli a forrás hozamát. Az év eleji csapadékok nagyobb hatását a felszínt takaró vegetáció, különösen az erdős területek esetében, bizonyos időszakokra korlátozódott vízfogyasztása okozza. Ez a tény okozza azt is, hogy a nyári hónapokban leesett csapadék szinte semmilyen befolyással nincs a források vízhozamára. Azonban nem csak az erdők, hanem a füves területek is nagy vízfogyasztók.

Az év utolsó negyedében lehulló csapadék sokkal nagyobb hatást gyakorol a forráshozamra, mint a nyári időszakban, azonban nem olyan jelentős, mint az év eleji csapadékmennyiség.

A karsztforrások járatai általában csak a felszín alatt alkotnak tágas, barlangszerű üregeket. A csapadékvíznek, ahhoz, hogy eljuthasson ezekbe a járatokba szűk hajszálereken keresztül kell leszivárognia. A nyári nagy szárazság után a lehullott csapadékvíz nem jut le a források üregébe, hanem a felettük lévő hajszálerekben, repedésekben marad. Ahogy ez a felső hálózat telítődik, úgy jut le fokozatosan a csapadék a forrásokat tápláló járatokba. (Kessler, 1954)

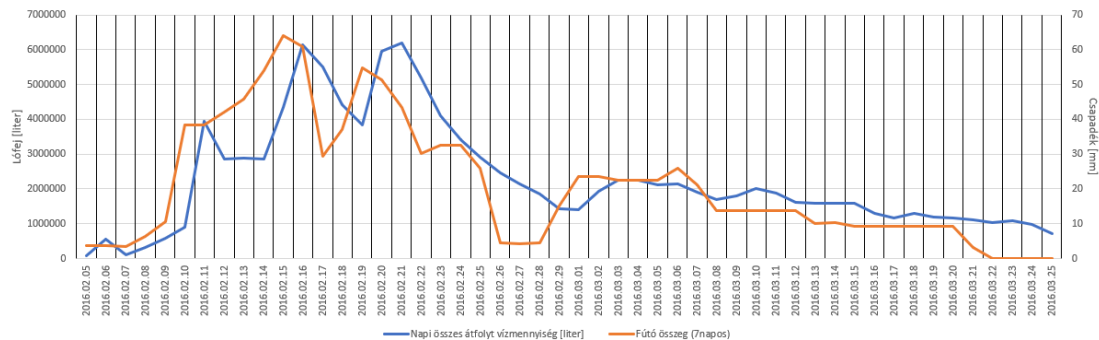
Ezek alapján kiválasztottam az év eleji időszakokat, amelyekben a csapadék nagy valószínűséggel hatással van a forrás vízhozamának alakulására. Erre az időszakra elvégeztem a korrelációs számítást.

2013-ban a január 16-tól június 30-ig tartó időszakot vizsgáltam. A Lófej-forrás napi összes átfolyt vízmennyiségének és a csapadék 7 napos futóösszegének korrelációja 0,16. Mivel még ez az érték sem mutat elég nagy összefüggést, ezért a két adatsort ábrázoltam az idő függvényében. A grafikus ábrázolás során akadt meg a szemem azon az időszakon, ahol a két adatsor hasonló képet mutat:



15. ábra. A Lófej-forrás és a Csapadék adatsora 2013. február 23. - 2013. április 15. (saját szerkesztés)

Ez alapján a 2013. február 23. - 2013. április 15 időszakra végzett korreláció számítás eredménye 0,4649. Ezek után már csak az egyező időszakra végeztem el a vizsgálatot. A 2016. február 05. - 2016. március 25 időszakra végzett korrelációs együttható eredménye: 0,786.



16. ábra. A Lófej-forrás és a Csapadék adatsora 2016. február 05. - 2016. március 25. (saját szerkesztés)

A karsztnak már az előzőekben is említett feltöltődési tulajdonságai miatt megvizsgáltam, hogy hány napos futóösszeggel való korreláció adja a legjobb eredményt. A több hónapos feltöltődés hatására nem találtam bizonyítékot, viszont a 2013-2017 időszakra a 10 napos futóösszeg korrelációja adja a legjobb eredményt. Az 1965-1994 időszakra a csapadék futóösszegének vizsgálatakor bebizonyosodott, hogy 5 évente egyre több nap csapadékösszege szükséges a jó korrelációs együttható érték eléréséhez.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a csapadék hatással van a Lófej-forrás hozam változásaira, azonban az összetett szivornya rendszere miatt több napi nagy csapadékra van szükség egy kitörés létrehozásához. Emellett a nyári növényzetes időszakban a le hulló csapadékmennyiség valószínűleg nem jut el a forráshoz, mely akkor stagnál vagy esetleg pulzáló viselkedést mutat.

A LÓFEJ-FORRÁS ÉS A NAGYTOHONYA-FORRÁS KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA

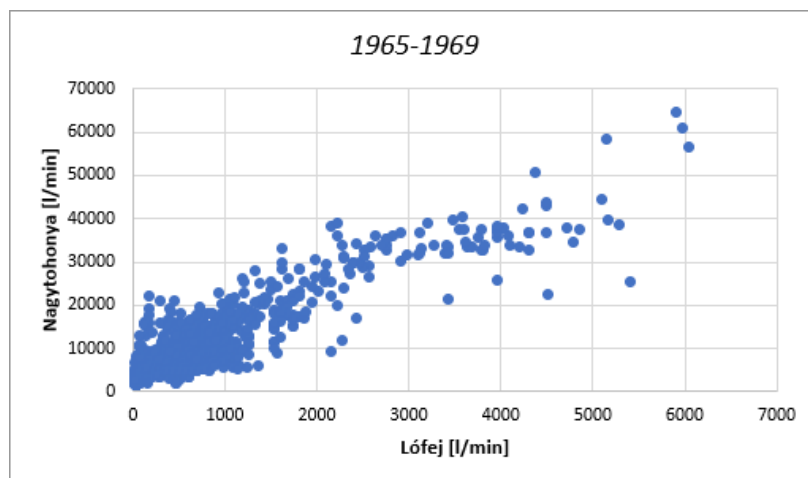
A Lófej-forrás és a Nagytöhonya-forrás kapcsolatának kimutatására számos kutatást végeztek. A Lófej-forrás szivornyas rendszere már önmagában is különlegességnek számít, melyet még kivételesebbé tesz a mellette található szintén szivornyával rendelkező Nagytöhonya-forrás, melyek még ezen felül kapcsolatban, összeköttetésben is állnak egymással.

A következőkben ennek a kapcsolatnak a kimutatására tett vizsgálati eredményeimet mutatom be. Először a források adatainak ábrázolásával próbálkoztam, azonban a két forrás nagyon eltérő dinamikája miatt ez a módszer nem mutatott az elvárásaimnak megfelelő eredményt. Ezután a két forrás napi átfolyt vízmennyiségét vizsgáltam 2013-2017 évek adatain. A két forrás napi átfolyt vízmennyisége szépen követi egymást. Ezután az 1965 és 1994 közötti adatsorok korrelációját vizsgáltam 5 éves bontásban. Mindegyik érték 0,8 felett van, ezért arra következtethetünk, hogy a két forrás adatai között erős lineáris kapcsolat feltételezhető.

	Korrelációs együttható
1965-1969	0,91
1970-1974	0,87
1975-1979	0,89
1980-1984	0,90
1985-1989	0,89
1990-1994	0,88

2. táblázat. Az 5 éves bontás korrelációs együtthatói (saját szerkesztés)

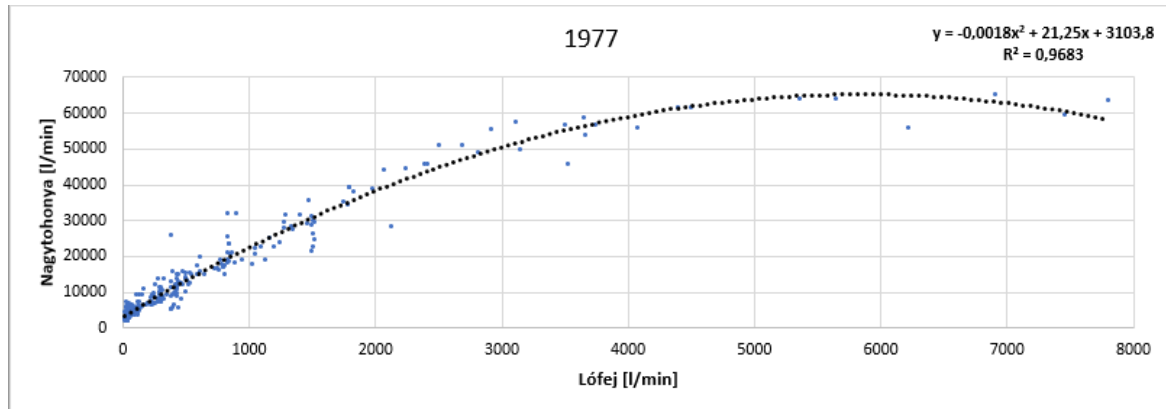
Az alábbi két változóra szerkesztett pontfelhő diagrammon jól megfigyelhető a két forrás közti erős kapcsolat.



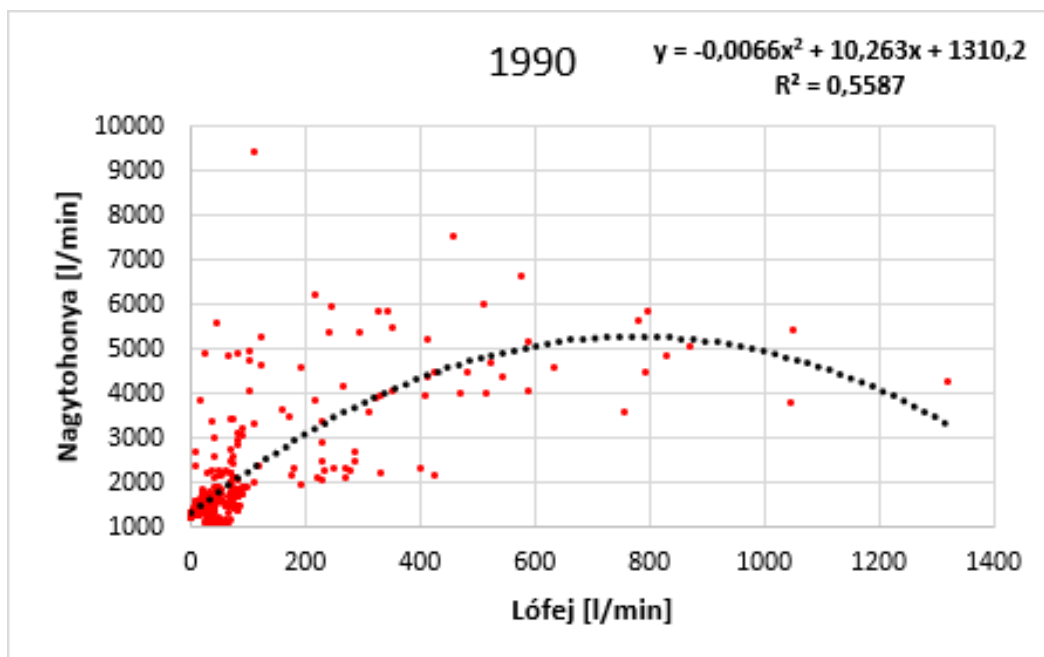
17. ábra. A Lófej- és Nagytöhonya-forrás együtt változásának ábrázolása 1965-1969 (saját szerkesztés)

Az évenkénti vizsgálat eredménye azt mutatta, hogy a korrelációs együtthatók 90%-a esik 0,8 felé, azaz az évek 90%-ában a két forrás között erős lineáris kapcsolat állapítható meg.

Az évenkénti adatok ponthalmazára illesztett polinomok segítségével meghatároztam a determinációs együttható értékét. Ez alapján a Lófej-forrás adatsorának változása átlagosan 82%-ban befolyásolja a Nagytóhonya-forrás adatsorában bekövetkezett változásokat. A Lófej-forrás hatása az 1977-es évben volt a legmagasabb és az 1990-es évben a legalacsonyabb.

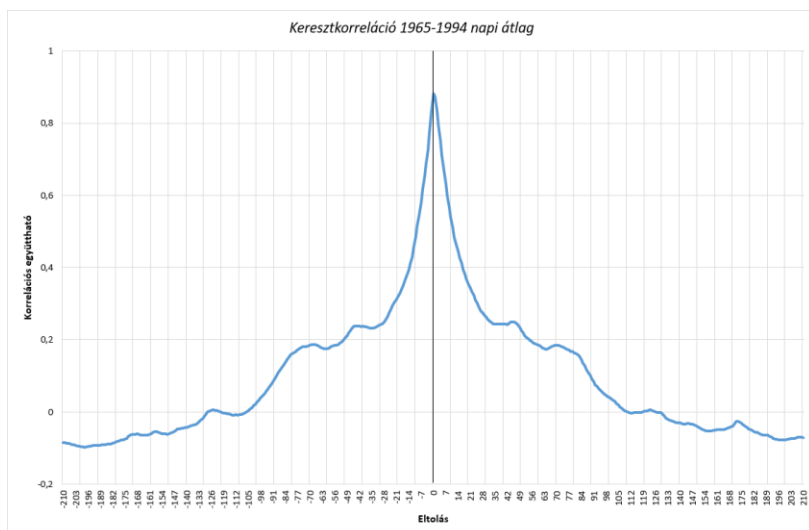


18. ábra. Az 1977-es évi adatokra illesztett polinom (saját szerkesztés)

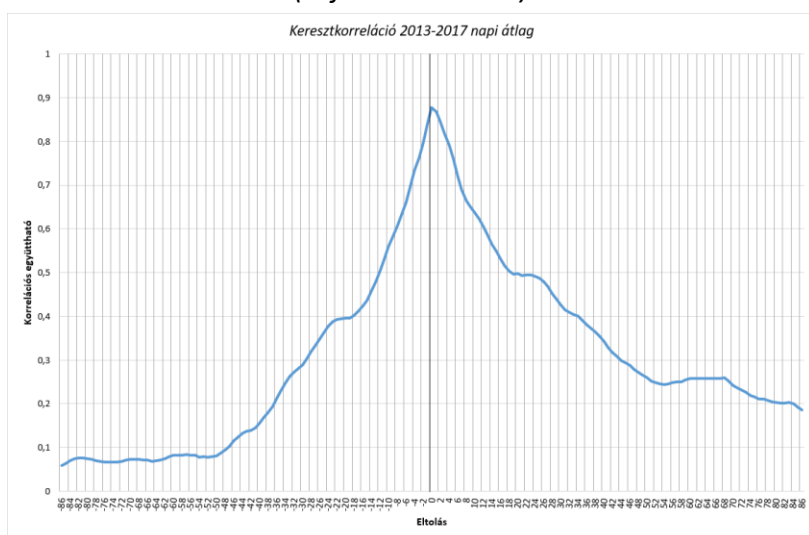


19. ábra. Az 1990-es évi adatokra illesztett polinom (saját szerkesztés)

Ezután keresztkorrelációs vizsgálatot végeztem az 1965-1994 és 2013-2017 napi átlag adatokon, melyek eredményét az alábbi ábrák szemléltetik.



20. ábra. A Lófej- és Nagytóhonya-forrás közötti keresztkorrelációs vizsgálat 1965-1994 (saját szerkesztés)



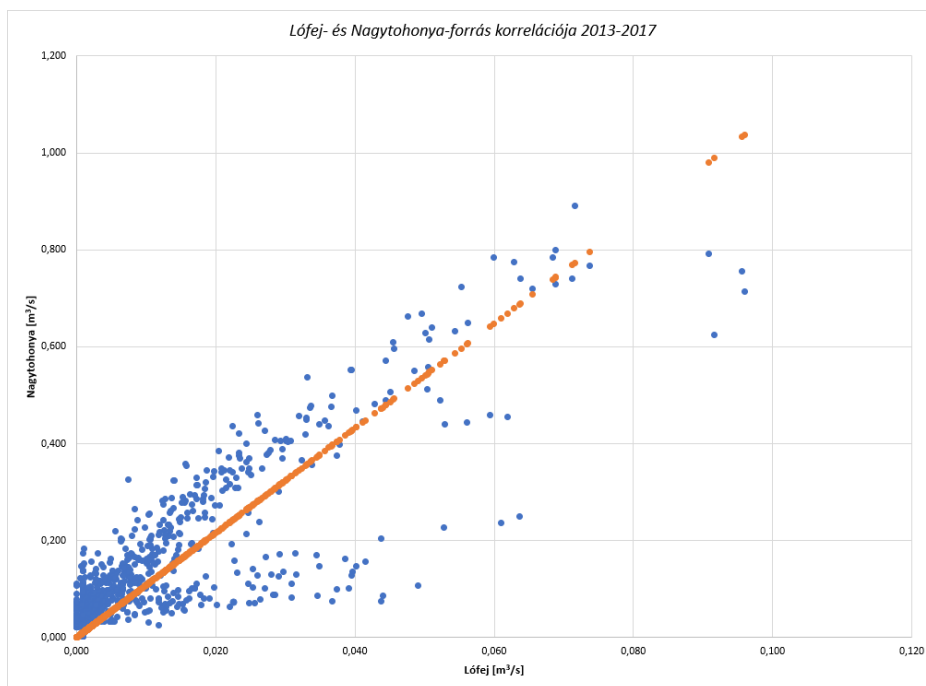
21. ábra. A Lófej- és Nagytóhonya-forrás közötti keresztkorrelációs vizsgálat 2013-2017 (saját szerkesztés)

Mindkét esetben az eltolás nélküli korrelációs együttható adott egy kiugróan magas eredményt. Ez azt jelenti, hogy a Lófej-forrás vízhozam anomáliái még ugyanazon a napon, azaz 24 órán belül megjelennek a Nagytóhonya-forrásban.

A két forrás kapcsolatának vizsgálatakor a kutatók arra az eredményre jutottak, hogy a Lófej-forrás kitörései 4 órás késleltetéssel jelennek meg a Nagytóhonya-forrásban.

A 2013-2017 időszakra rendelkezésemre álló órás gyakoriságú adatokon is elvégeztem a keresztkorrelációs vizsgálatot, ami azt az eredményt adta, hogy a Lófej-forrás hozamváltozásai 7 óra késleltetéssel jelennek meg a Nagytóhonya-forrásban. A kapott korrelációs együttható értéke 0,76.

Ezek után jobban megvizsgáltam a 2013-2017 éves Lófej- és Nagytóhonya-forrás eltolás nélküli korrelációját, melynek ábrázolásakor megfigyelhető, hogy a pontok egy kis része elválasztódik a legjobban illeszkedő regressziós egyenesre eső ponttömegetől.



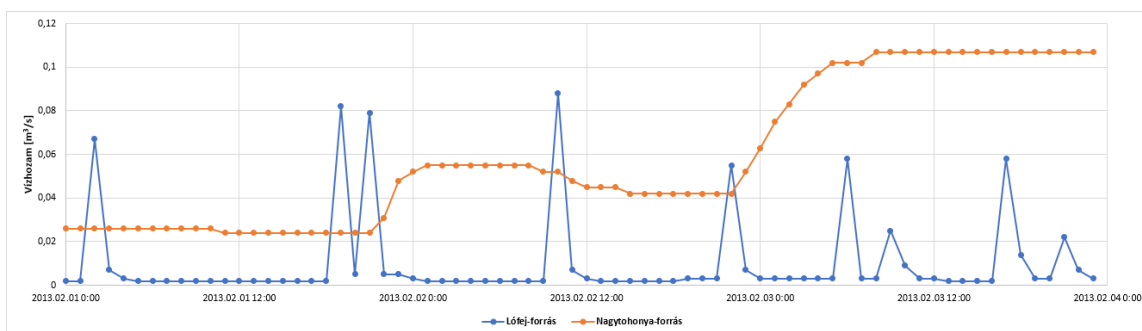
22. ábra. Lófej- és Nagytohonya-forrás korrelációjának ábrázolása az elválasztó egyenessel 2013-2017 (saját szerkesztés)

A regressziós egyenessel a két ponthalmaz elválasztható egymástól. Az így külön válogatott, regressziós egyenes alá eső pontok időbeli ábrázolásakor megfigyeltem, hogy az értékek az évek elején csoportosulnak. Ezek a pontok legnagyobb tömegben 2013 első három hónapjában és 2017 márciusában, valamint április hónap elején található.

Az elválasztódás okának először a hiszterézis jelenségét feltételeztem, azonban a két forrás eltérő karakterisztikája és a Lófej-forrás hektikus működése miatt ez még az órás adatokból sem kimutatható. Azonban a Lófej-forrás órás vízhozam adatainak havi átlagtól való eltéréseinek idő szerinti ábrázolásán megfigyelhetők egyes időszakokban gyakrabban kiugró értékek az eltérésekben.

A Lófej-forrás csapadékkal való vizsgálatakor kiderült, hogy ezekben az időszakokban jelentős a lehullott csapadék hatása a forrás vízhozamára és az is kijelenthető, hogy a regressziós egyenes alatti összetartozó adatpárok esetében a Lófej-forrás nagyobb vízhozamaihoz alacsonyabb vízhozama társul a Nagytohonya-forrásnak, mint a vizsgált időszak többi, legnagyobb részében.

A 2013-as év eleji adatok karakterisztikájának vizsgálatakor, a regressziós egyenes alá került értékek esetén két jellegzetesség figyelhető meg, amelyek az alábbi ábrán szereplő adatsoron jól láthatók.



23. ábra. A Lófej- és Nagytohonya- forrás órás vízhozam adatsora 2013. február 01-03. (saját szerkesztés)

Az egyik, hogy a Nagytohonya-forrás vízhozam értékei olyan alacsonyak, hogy a Lófej-forrás kitöréseinek vízhozama meghaladja őket, ami azért érdekes, mert az év nagy részében a Nagytohonya-forrás vízhozamai egy nagyságrenddel magasabbak. A másik, hogy ezekben az időszakokban a Lófej-forrás a szokott módon működik, kisebb-nagyobb időközönként kitörések tapasztalhatók, amelyeket vízhozam csökkenés előz meg, a Nagytohonya-forrás vízhozama pedig ugyan lassabban, de növekvő tendenciát mutat.

Feltételezhető, hogy a tapasztalt anomáliák a nagy csapadék hatására a források vízhozamában történő eltérő dinamikájú változásokra vezethetők vissza.

ÖSSZEZÉS

Az elvégzett vizsgálatok eredményeinek összegzése a következő:

A gyakoriság vizsgálat során fény derült a Lófej-forrás 1965-től 1994-ig regisztrált adatsorok feldolgozásának olyan módszerére, amely nem tükrözi valóságként a forrás működését. Az új mérési módszer alapján bebizonyítottam a forrás vízhozamának három szűk intervallumba való tömörödését, amelyet különleges szivornyarendszere okoz.

A forrás kitöréseinek vizsgálatokor a 2013. évi adatokon rekonstruálni tudtam a Mauchaék által készített óradiagram eredményeit, valamint a kitörések időtartamának vizsgálata is az általuk már kimutatott eredményt hozta. Ez azt a tényt támasztja alá, hogy a forrás működésében, a kitörések karakterisztikájában nem történt változás az évtizedek alatt.

A Fourier transzformáció során az 1965-1994 és 2013-2017 évek adatainak vizsgálatokor bebizonyosodott, hogy a forrás működésében egy nagyon karakteres 1 éves periodicitás található. Felfedezhető egy hosszabb 10 éves ismétlődés, valamint egy félévenkénti ciklusosság is.

A Lófej-forrás és a csapadék kapcsolatának vizsgálatokor arra a következtetésre jutottam, hogy a lehullott csapadék befolyásolja ugyan a forrás vízhozamváltozásait, de az egyszerű statisztikai vizsgálatokkal nem egyértelműen kimutatható. A forrás vízhozama csak az év eleji csapadékokra reagál, melynek oka a talaj telítettsége és a felszínt borító vegetáció vízfogyasztásának hiánya. A forrás napi összes lefolyt vízmennyiségének és a csapadék 7 és 10 napos futóösszegének az említett időszakban történő vizsgálatával megfelelő korrelációs együttható értékeket tudtam elérni.

A Lófej- és Nagytohonya-forrás kapcsolatának vizsgálatokor a különböző időszakokra elvégzett korrelációs vizsgálatok eredményei bizonyosságot adnak a két forrás közötti kapcsolat meglétének feltételezésére.

A 2013-2017 évi adatok korrelációjának elválasztódása kapcsán pedig kiderült, hogy az év eleji csapadékok jelentős hatása eltéréseket okoz a források vízhozamváltozásainak alakulásában.

IRODALOMJEGYZÉK

Réz Bianka (2021): A Lófej-forrás matematikai statisztikai vizsgálata (Diplomamunka, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar)

Benke L.: Hidrometriai és hidrometeorológiai mérések és adatfeldolgozás (Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest) 21-37. oldal

Dr. Kessler Hubert (1954): A karsztból tartósan kitermelhető vízmennyiség és a beszivárgási százalék megállapítása. Hidrológiai közlöny, 34. évfolyam, 5-6. szám, 214. oldal

Hazslinszky T. és Maucha L. (2003): Szivornyás források a Kárpát-medencében. Karsztfejlődés VIII. 145-155. oldal

Izápy G. (2009): Élő, eltűnő és elfeledett kutak és források Jósvafőn. (Jósvafői Helytörténeti Füzetek 30., 2009. július 30.)

Izápy G. és Maucha L.: Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai vizsgálata a jósvafői Kutató Állomáson

Maucha L. (1967): Karsztos szivornyák mint hidraulikai jelfogók. Karszt és Barlang 1967. I.-II., Budapest, 11-15.

Maucha L. (1967): Kimutatták a Lófej- és Nagytohonya-forrás összefüggését. Karszt és Barlang 1967. 1-2. félév, 35. oldal

Maucha L. (2009): A karsztforrások vízhozam-változását létrehozó természeti tényezők kimutatása a Jósvafői Kutató Állomáson. Hidrológiai közlöny, 89. évfolyam, 2. szám, 1-4. oldal

Ombódi I., Pataky K., Dr. Csiba G. és Veres M. (1987): Aggteleki karsztvidék észlelőhálózat 1986. évi adatainak értékelése