

A JÓSVAFŐ KÖRNYÉKI KARSZTFORRÁSOK VÍZHOZAM KIÜRÜLÉSI IDŐSORAINAK MATEMATIKAI VIZSGÁLATA

VÉGH DÓRA¹ – KOVÁCS JÓZSEF² – MAUCHA LÁSZLÓ³ –
MÁRKUS LÁSZLÓ⁴

¹1125 Budapest, Diós árok 55., veghdora@freemail.hu

²ELTE, TTK, Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszék, 1117 Budapest,
Pázmány Péter sétány 1/C, kevesolt@geology.elte.hu

³VITUKI Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Kht., 1095
Budapest, Kvassay Jenő út 1., maucha@vituki.hu

⁴ELTE, TTK, Valószínűségelméleti és Statisztikai Tanszék, 1117 Budapest,
Pázmány Péter sétány 1/C, markus@cs.elte.hu

Abstract: The hydrogeological features of the springs in the Aggtelek Karst have been formerly discussed in a number of outstanding/remarkable papers. We present a mathematical examination of five springs that have 20-30 year-long water-flow data series recorded. A new method of fitting regression lines onto the emptying karst water-flow series (daily average) was applied. This shows the hierarchic behaviour of karstic drains. With the help of a program package S-Plus the data were displayed on semi-logarithmic scale in order to amplify trend-like changes. The program generated the slope and variance of the regression lines, based on the discipline of least squares deviations. Sudden, trend-like growth of these parameters was interpreted as an indication of the complete emptying of the channels of a given width and from that point a new regression line was fitted in the same way. Due to disturbing effects the emptying time of the first three water drain systems could not be defined precisely enough. In order to avoid these effects, several-year average curves were created in a special way and regression lines were fitted onto them. The outcome was implemented to determine annual change of karstic saturation by a method of creating average curves from normalized water flow series. From annual differences determined in percentage, comparison of the change in saturation in the particular years was possible. The result may show that the karst becomes saturated after rainy periods, however, following some arid years storage fills up very slowly, i.e. it shows the several-year refilling characteristic of the smallest drain-systems. The our paper highlights this important and directly non-measurable characteristic of karst.

Bevezetés

Korábban számos kitűnő hidrológiai vizsgálat készült az Aggteleki-karszton fakadó források tulajdonságainak feltárására. Jelen munkánkban öt Jósvafő környéki forrás apadási vízhozam idősorainak egyfajta matematikai vizsgálatát végeztük el. Az S-Plus statisztikai programcsomag segítségével a vízhozam kiürülési idősorokra regressziós egyenesek illeszthetők, és az egyenesek töréspontjainak felhasználásával a karsztos tároló-rendszerek viselkedésére vonatkozó következtetéseket lehet levonni. Ezen túlmenően egyedi módszerrel megkíséreltük a forrás-kiürülések sokéves átlaggörbéit létrehozni. Az átlaggörbékre illesztett egyenesekkel mód nyílt az egyes kiürülési vízhozam-idősorok összehasonlítására is. Az így kapott eredményeket - a kiürülési görbék normálását követően - felhasználtuk a karszt

egy közvetlenül nem mérhető sajátosságának, a sokéves telítettség változásának meghatározására.

A kiürülési folyamat matematikai vizsgálata

Öt Jósvafő környékén fakadó forrás, a Lófej-, a Kis-Tohonya-, a Nagy-Tohonya-, a Jósva- és a Komlós-forrás kiürülési viszonyait tanulmányoztuk. A fenti források vízhozam-változásairól hosszú, kb. 30 éves idősort publikáltak a jósvafői Papp Ferenc Karsztvízkutató Állomás munkatársai (*MAUCHA* 1998).

Az eddigi kutatási eredményekből kiindulva a nagyobb esőzések utáni - részben vagy egészen - telített karszt kiürülésének jellegét szeretnénk matematikai módszerekkel feltárni. *MAUCHA* (1998, 2002) által felvázolt tézis adta a kutatásunk alapját, amely szerint a kiürülési görbékre logaritmusos léptékben 5, illetve 6 egyenes illeszthető, amely sajátosság tükrözi a karszt repedéshálózatának 5 tárolóját, a legkisebb mikrorepedésektől a legnagyobb barlangi főágakig. A hatodik exponenciális egyenes nagy szárazságban a melegvizes felszálló ág kisebb hozamára utal.

A napi átlagos vízhozam adatsorokból mind az öt forrásnál azokat a szakaszokat vizsgáltuk, ahol nagy esőzések után (a rendszer telítettségét feltételezve) sokáig nem volt csapadék, tehát a relatív nagy vízhozamok minimálisra csökkentek. Érthető módon a források közel azonos időben reagálnak a lehullott csapadéokra, ezért az összes forrásnál hozzávetőleg ugyanazokon a napokon kezdődő és végződő idősorokat kaptunk az egyes években, ami a kis távolságoknak és a hasonló karsztos járatrendszereknek köszönhető. Forrásonként így négy-öt (a Nagy-Tohonya-forrás esetében hét) leürülési vízhozam idősor vált tanulmányozhatóvá (az eltérések a mérések kezdeti időpontjának különbözőségéből származnak).

Hiba forrása lehet viszont, hogy a több 10 év alatt is csak kevés olyan időszak van, ahol a telített rendszer zavartalan kiürülését vizsgálhatjuk, mert kisebb-nagyobb esőzések majdnem minden alkalommal megjelennek a 100-300 napos (mind a 6 mérettartományú tároló kiürüléséhez szükséges) időszakokban. Ezen kívül jelentősen nehezítik a vizsgálatot az egyéb – nem leürülésből származó – vízhozam-változások, pl. a Nagy Tohonya- és a Lófej-forrás szivornya-működése. Ezen hatások kiküszöböléséről a későbbiekben szólunk.

A kiindulási elmélet szerint (*MAUCHA* 1998, 2002) a karsztos járatrendszerek hierarchiája tükröződik a kiürülési görbékre illesztett regressziós egyeneseken, mert a nagyobb szélességű járatok visszaduzzasztják a kisebbeket és ezáltal az exponenciális lecsengésű

apadási fázis több helyen megtörik; így amíg a vízhozam nem csökken le a nagyobb járatokban hozzávetőleg harmad részére, addig a kisebbekből nem ürülhet ki víz. Ennek megvalósulási feltétele a járatrendszerek telítettsége, ezért a hosszú, esős időszakok után bekövetkezett legnagyobb áradásokat vizsgáltuk. A következőkben bemutatott, a járatrendszerekre vonatkozó vizsgálati módszert azért tartjuk jelentősnek, mert ezidáig egzakt matematikai illesztésekkel nem vizsgálták az egyes tároló-rendszerek különböző vízhozam kapacitásából származó eltéréseket.

A vizsgálat során első lépésben természetes alapú logaritmikus skálára helyeztük a leürülés napi vízhozam adatait, ami a változások nagyságrendjét hivatott megnövelni, szignifikánssá téve a trendszerű változásokat. Második lépésben egy kiválasztott ponttól regressziós egyenest illesztettünk a következő pontokra a legkisebb négyzetes eltérések elve alapján, vagyis

$$\sum_i (x_i - \bar{x}_i)^2 \rightarrow \min$$

ahol x_i a kiürülési görbe egyes pontjai, \bar{x}_i az illesztett egyenes pontjai. Ábrázoltuk a pontról-pontra illesztett meredekséget és szórásnégyzetet (következésképpen a meredekség az első pontra, a szórásnégyzet az első két pontra illesztett egyenesnél 0). A szórásnégyzet trendszerű, nagy mértékű növekedéséből arra lehet következtetni, hogy ebben időpontban az adott járatszélességű csatornák nagyrészt kiürültek és a vízhozamot ezek után az eggyel kisebb mérettartományú járatok biztosítják; valamint párhuzamosan ezt mutatja a meredekség nagyobb arányú növekedése, tehát kevésbé negatív értéke is. (Ez a változás az elmélet szerint ugrásszerű.) A szórásnégyzet növekedési pontjától illesztett, következő regressziós egyenesnél ugyancsak a meredekséget és a szórásnégyzetet ábrázoltunk, amiből (a trendszerű változások kezdőpontjánál) szintén kijelölhető a kisebb csatornahálózat bekapcsolódása a rendszerbe. Így tehát a leürülési görbének az elsőtől az utolsó pontjáig illesztett regressziós egyenesek száma megadja a különböző mérettartományú karsztos járattípusok számát.

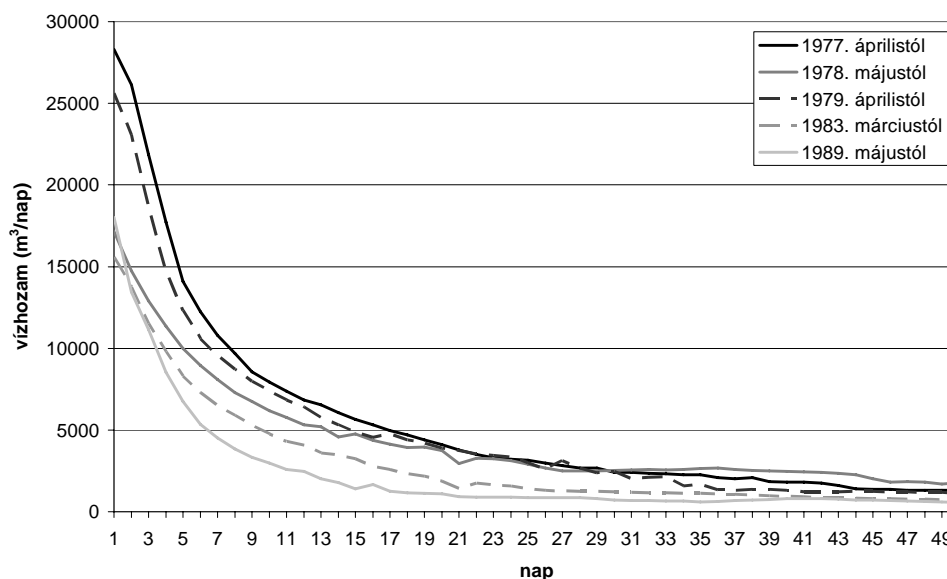
Az első három tároló-rendszer meghatározása járt sikerrel, ugyanis a további tárolók töréspontjainak helyét az újabb és újabb töréspontoktól vett illesztés relativvá tette. A vizsgált paraméterek (elsősorban a szórásnégyzet változása) az apadási görbe „*ellaposodásánál*” viszonylag nagy hibát mutatott már kis – elhanyagolható – vízhozam-ingadozásoknál is. Ezen kívül, az időközben hullott csapadék és egyéb hatásokból származó „*zajhatás*” is jelentősen zavarta a vizsgálatot. Nem lehetett olyan „*tökéletes*” többszáz napos kiürülési görbét találni a rendelkezésre álló idősorokban,

amelyekben jól kivehetően jelentkezne a 4-6. tároló vízhozam-változása. Következésképp felmerülhet az a gondolat is, hogy ezen tárolókból eredő különbségek létezése inkább elméleti, a valóságban nem jelentkezik, vagy nagyon ritka alkalmakkor lehetünk csak tanúi az eseménynek.

A vizsgálatoknál figyelembe vettük az eredeti (nem logaritmikus léptékű) kiürülési görbe képét és így a kedvezőtlen hatásokat próbáltuk elméleti úton kiszűrni. A töréspontok helyét a szórásnégyzet megnövekedése vagy a meredekség megváltozása, esetenként mindkettő egyidejűleg határozta meg.

Az x tengelyen minden esetben az illesztési ponttól kezdődő napok száma van feltüntetve. Az y tengely az ábrák felső része a meredekséget, az alsó a logaritmikus léptékű értékekre illesztett regressziós egyeneseknél levő szórásnégyzetet mutatja. (Az egyes apadási görbéket annak a hónapnak a nevével jelöltük, amikor a kiürülés megkezdődött.)

A Kis-Tohonya-forrás vizsgálatánál az 1965-1992-ig tartó adatsorból azokat a szakaszokat vágtuk ki, amelyeknél a csapadék zavaró hatása minimális volt, így öt db leürülési görbe vált tanulmányozhatóvá, amelyek az 1. ábrán láthatók.

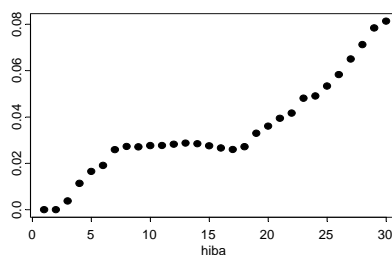
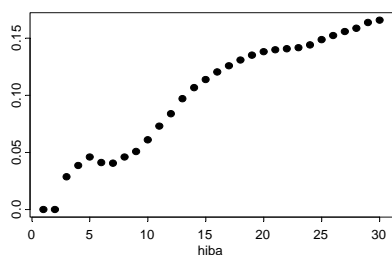
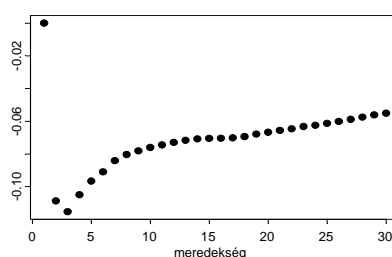
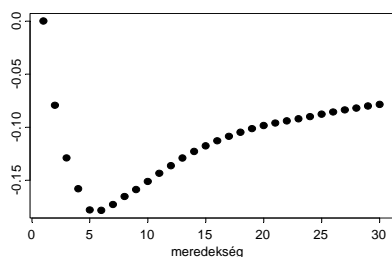


1. ábra: A Kis-Tohonya-forrás kiválasztott apadási szakaszai, amelyekre alkalmazható a regressziós egyenesek illesztése

Fig. 1. The chosen emptying periods of Kis-Tohonya spring, where the method 'fitting of regression lines' can be applied

Az 1977. áprilisi hozam idősorban a vizsgálat eredménye, a 28296 l/perces tetőző árvíz apadási szakaszára a fenti módszerrel illesztett

egyenesének meredeksége és szórásnégyzete (hiba) a 2-4. ábrán látható. A 2. ábra az idősor 1-30. elemét mutatja. Az első 5 értéknél a meredekség erősen csökken ($-0,15$ alá) ugyanakkor ezzel párhuzamosan a szórásnégyzet helyi maximumot ér el. A 7. ponttól a meredekség növekszik (kevésbé negatív) és a szórásnégyzet nőni kezd (7-8. pont). Ebből levonható az a következtetés, hogy az első egyenes az 1-től az 6. napig terjedő vízhozam görbéjére illeszthető és ez mutatja az első tárolórendszer kiürülését.



2. ábra: A Kis-Tohonya-forrás 1977. áprilisi idősora 1-30. napjának vízhozamára illesztett regressziós egyenes meredeksége és szórásnégyzete Fig. 2. The fitted regression line slope and variance during 1-30th day of Kis-Tohonya spring's flow in April, 1977

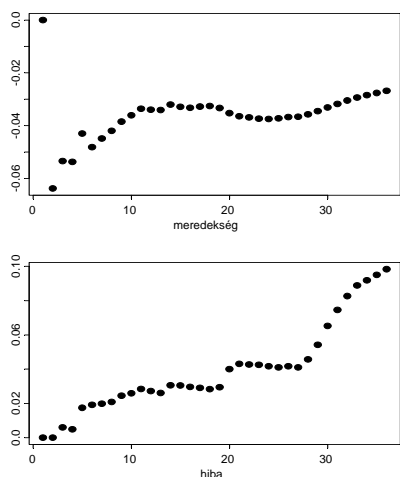
3. ábra: A Kis-Tohonya-forrás 1977. áprilisi idősora 7-36. napjának vízhozamára illesztett regressziós egyenes meredeksége és szórásnégyzete Fig. 3. The fitted regression line slope and variance during 7-36th day of Kis-Tohonya spring's flow in April, 1977

A következő, 3. ábrán a 7. ponttól a 36-ig illesztett egyenes tulajdonságai láthatók (2. tároló). A szórásnégyzet a 6-13. napig emelkedik, onnan kezdve konstans értékre áll be. A 25. naptól jelentős növekedés érzékelhető, tehát ettől a ponttól az új, 3. tároló vette át a 2. tároló szerepét, amelynek kiürülése az ábra tanúsága szerint a 6-24. napig tartott. A 4. ábrán a 25. ponttól kezdődő illesztés alapján meghatározható, hogy a 3. tároló működése a 25-51. napig tartott.

A többi forrás vizsgálatánál az adatsorból szintén azokat a szakaszokat vontuk be a vizsgálatba, amelyeknél a csapadék zavaró hatása nem, vagy alig észrevehető az idősorokban. Így a Komlós-forrás esetében öt, a Jósva-forrás rövidebb vízhozam idősorából négy db vizsgálatra

alkalmas leürülési görbét kaptunk. Az eredmények az I. táblázatban láthatók.

A Kis-Tohonya-forrásnál megállapítható, hogy az 1. tároló leürülésének időtartama, ami a legnagyobb víznyelők által továbbított vízmennyiség kiürülését jelenti, a legnagyobb áradások során az 1-5. napig tartott az esetek többségében. Ez az esemény a Komlós-forrás esetében 1-3 nap között játszódik le. A Jósva-forrásnál a nagy járatrendszereknek köszönhetően ez az időtartam a legrövidebb: 1-2, míg a Lófej-forrásnál átlagosan 1-4. nap. A Nagy-Tohonya-forrás esetében tapasztaltuk a leghosszabb ideig tartó leürüléseket. Ez az 1. tárolónál 9. napig is terjedhet.



4. ábra: A Kis-Tohonya-forrás 1977. áprilisi idősora 25-60. napjának vízhozamára illesztett regressziós egyenes meredeksége és szórásnégyzete

Figure 4. The fitted regression line slope and variance during 25-60th day of Kis-Tohonya spring's flow in April,

A 2. tároló kiürülése a Kis-Tohonya-forrás vízhozam idősorában a 6-7. napon kezdődik és átlagosan a 16-20, szélsőséges esetekben a 24. napig is eltarthat. A Komlós-forrás esetében viszonylag jól egyező értékeket kaptunk: átlagosan a 3. naptól a 10-ig, esetleg a 14. napig tart a 2. tároló elapadása. A Jósva-forrásnál észlelt, a 3. napon kezdődő, összesen 1-2 nap alatt kiürülő csatornarendszer a mészköves víznyelő járatok nagy méretéből következik és éppen ezért feltételezhető, hogy ezen idősoroknál a kizárási, visszaduzzasztási hatás sem érvényesül teljes mértékben a 2. járatrendszer esetén. A Lófej-forrás esetén hozzávetőleg az 5. naptól indul ezen tároló apadása és a 12., illetve a 20. nap körül lép be az eggyel kisebb mérettartományú járatrendszer működése. A Nagy-Tohonya-forrásnál a 2. tárolóra vonatkozó kezdő időpont változó: a 4-10. nap közé esik és a 13-20. napon fejeződik be, átlagosan a 8-15. napig tart. A 2. tároló a kisebb víznyelők vizét továbbítja a forrasszájhoz.

A 3. tároló kiürülése, amely a főtörés-rendszerből kiürülő karsztvizet tükrözi, a Kis-Tohonya-forrás idősorában számításaink szerint átlagosan a

20. naptól a 43. napig tart. A Komlós-forrás esetén ezen tároló belépési időpontja átlagosan a 11. napra esik és a 19. napon fejeződik be, ami a Jósva-forrásnál szinte egyöntetűen az 5-17. napig tartó időintervallumra tehető. A Lófej- és Nagy-Tohonya-forrás esetében nem lehetett igazán pontosan meghatározni a 3. tároló leürülésének időtartamát, mert a szivornya-hatás nagy mértékben rontotta a vizsgálhatóságot.

A Lófej-forrás idősorában a 17-28. napra, a Nagy-Tohonya-forrás esetén pedig hozzávetőleg 16-25. nap közé tehető a járatrendszer leürülése, de ezek az értékek rendkívül nagy bizonytalanságot hordoznak magukban, ezért az eredményeket nem lehet mérvadónak tekinteni.

I. táblázat
Table I.

A vizsgált források 1-3. tárolójának kiürülési időtartama napokban, a kiürülés kezdő időpontjához képest
1st-3rd drain-systems' emptying duration of the examined springs, counting from the start of the emptying period

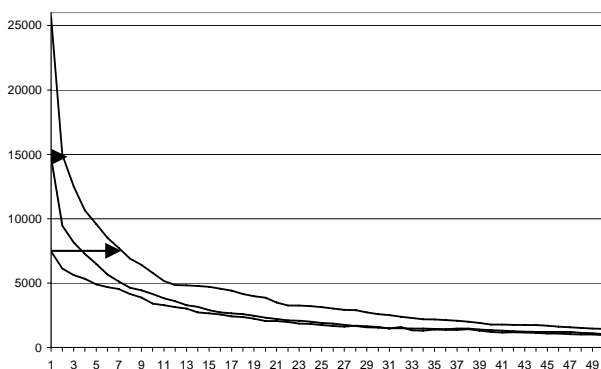
források	leürülés kezdete	1. tároló (napok)	2. tároló (napok)	3. tároló (napok)
Kis-Tohonya-forrás	1977. április (April, 1977)	1-6	7-24	25-52
	1978. május (May, 1978)	1-5	6-18	19-46
	1979. április (April, 1979)	1-5	6-16	17-42
	1983. március (March, 1983)	1-5	6-20	21-38
	1989. május (May, 1989)	1-6	7-19	20-37
Komlós-forrás	1975. április (April, 1975)	1-2	3-14	15-22
	1977. április (April, 1977)	1-2	3-12	13-23
	1979. április (April, 1979)	1-2	3-8	9-16
	1983. május (May, 1983)	1-3	4-9	10-16
	1989. május (May, 1989)	1-3	4-7	8-13
Jósva-forrás	1975. április (April, 1975)	1-3	4-5	6-17
	1978. május (May, 1978)	1-2	3-4	5-16
	1979. április (April, 1979)	1-2	3-4	5-16
	1983. május (May, 1989)	1-2	3	4-18
Lófej-forrás	1974. október (Oktober, 1974)	1-3	4-13	14-25
	1975. április (April, 1975)	1-5	6-20	21-28
	1977. április (April, 1977)	1-3	4-11	12-28
	1979. április (April, 1979)	1-5	6-20	21-28
Nagy-Tohonya-forrás	1965. június (June, 1965)	1-4	5-13	14-21
	1974. október (Oktober, 1974)	1-3	4-15	16-27
	1975. április (April, 1975)	1-7	8-15	16-26
	1977. április (April, 1977)	1-9	10-20	21-27
	1978. május (May, 1978)	1-8	9-15	16-27
	1979. április (April, 1979)	1-6	7-15	16-23
	1989. május (May, 1978)	1-7	8-14	15-24

Megfigyelhető ezen kívül (pl. a Komlós-forrás idősorainál), hogy a nagyobb áradások (1975 és 1977-ben) kitolják a 3. tároló belépési

időpontját, míg a kisebb áradások (1983 és 1989-ben) akár egy héttel gyorsabban is levonulhatnak.

Az apadási idősorok elemzésénél felmerült az a probléma, hogy a töréspontok meghatározása nem mindig egyértelmű. Ez abból a nem elhanyagolható hibából adódik, hogy a leürülési görbék több hatástól függenek egyidejűleg, ezért a járatszélesség sokszor nem befolyásolja olyan mértékben az adott kiürülési vízhozamot, mint azt korábban feltételeztük, illetve a „zajhatás” elnyomja a töréspontok helyét. Ezek alatt a szivornya-hatás és a leürülési időszak alatt előforduló csapadék hatása értendő, amelyek torzítják a regressziós egyenesek illesztéséből levonható következtetéseket. A probléma megoldására több matematikai simítási módszer is alkalmazható lenne, de ez azzal az eredménnyel járna, hogy – bár az így kapott görbék könnyebben vizsgálhatóvá válnak - az eredeti leürülésről nem adnak megfelelő képet. Ennek oka, hogy a simító eljárás a töréspontok helyét „eltompítja”.

A különböző zavaró hatások kiküszöbölésére létrehoztunk a források 1970-1992 közötti éveiben mért leürülési görbéiből előállított sokéves átlagdiagramot. Ennek során a legnagyobb maximális vízhozamról induló idősorra néhány nappal eltolva (a már kisebb vízhozamokra) illesztettük rá a többi idősort úgy, hogy a megközelítőleg azonos hozamról induló görbéket átlagoltuk egymással (5. ábra). Ezáltal sokévi átlaggörbét hoztunk létre (6., 7. ábra), ilyen módon el lehetett érni, hogy a rendszer önmagát „simítja”. Ezt jól érzékelteti a Kis-Tohonya-forrás 23 idősorának (6. ábra) és az erős szivornya-hatással rendelkező Nagy-Tohonya-forrás vízhozamainak sokéves átlaggörbéje (7. ábra).

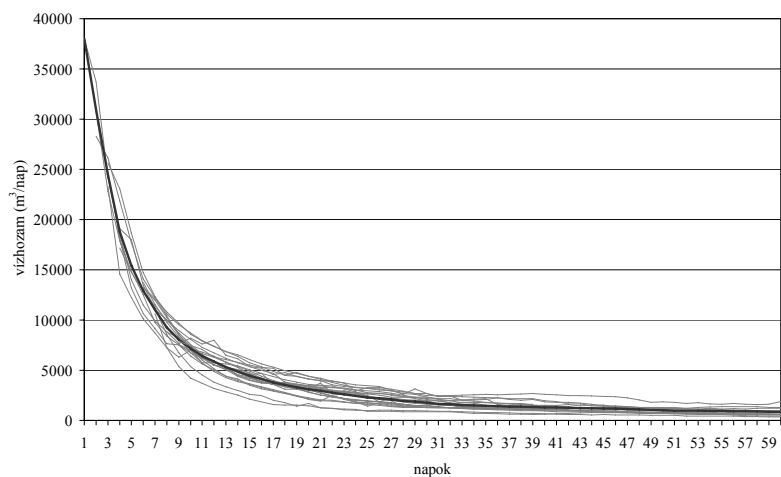


5. ábra: A források sokéves átlaggörbéjének létrehozása a Komlós-forrás három kiürülési görbéjének példáján

Fig. 5. Creation of the springs' several-year average curve, presented by three flow curves of Komlós spring

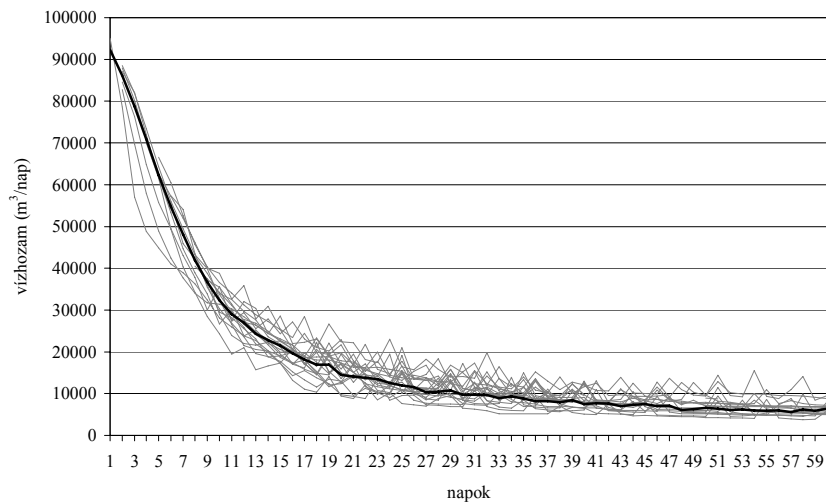
Az így előállított sokéves átlaggörbék természetes alapú logaritmusára érdemes regressziós egyeneseket fektetni az előzőekben részletesen leírt módszerrel, így megkaphatjuk a tároló-rendszerek sokéves

átlagának viselkedését, sajátosságait. Ennek szemléltetése történik a Kis-Tohonya (6. ábra) és az erős szivornya hatással rendelkező Nagy-Tohonya (7. ábra) esetében. Fontos megjegyezni, hogy a szivornya-tevékenységgel zavart források eredeti idősorának vizsgálatából nem lehetett megbízható eredményeket kapni. Erre a sokéves átlagok létrehozása kínált megoldást.



6. ábra: A Kis-Tohonya-forrás sokéves átlaggörbéje (vastag vonal) és az egyes évek (1970-1992) vízhozam idősorai

Fig. 6. Kis-Tohonya spring's several-year average curve (signed thick line) and water flow data series of years between 1970-1992



7. ábra: A Nagy-Tohonya-forrás sokéves átlaggörbéje (vastag vonal) és az egyes évek (1970-1992) vízhozam idősorai

Fig. 7. Nagy-Tohonya spring's several-year average curve (signed thick line) and water flow data series of years between 1970-1992

Az egyes források sokéves átlaggörbe-vizsgálatának összefoglaló eredményeit a II. táblázat tartalmazza a különböző tároló-rendszerek (regressziós egyenesekkel, valamint MAUCHA (2002) által empirikus úton meghatározott) átlagos kiürüléseinek idejével és az adott regressziós egyenesek meredekségével. (A meredekségi értékek a természetes alapú logaritmikus skálára fektetett egyenesekből származnak.)

Jól látszik, hogy a Nagy-Tohonya-, illetőleg a Lófej-forrás járatrendszereinek kiürülése a leglassúbb, ami egyértelműen a kisebb járatszélességű dolomitos tároló-rendszerből következik. A tárolók vízhozam idősoraira illesztett egyenesek meredeksége ebből következően a legkisebb. A Kis-Tohonya-forrás esetében is hasonló következtetések vonhatók le. A Jósva-forrás esetén megállapítható, hogy a mészköves környezetben lévő tárolók leürülése rendkívül gyors, ami a meredekségi értékek nagyságán is megmutatkozik. A 2-3. tárolóra vonatkozóan szintén nagyon gyors apadást lehet tapasztalni, de a meredekségi értékek már nem annyira térnek el a többi forrásétól, sőt a 3. tároló esetén a legkisebb ez az érték. Ez a megfigyelés alátámasztani látszik azt a feltételezést, hogy az 1-2. tároló áramló vize nem duzzasztja vissza a kisebb járatokat teljes mértékben, ezért azok apadásával egyidejűleg a kövekezők is elkezdnek kiürülni.

II. táblázat

Table II.:

A sokéves átlag kiürülési görbére fektetett regressziós egyenesekből kapott eredmények és MAUCHA L. (2002) illesztési módszeréből leolvasott kiürülési időközök

Results of fitting regression lines onto several-year average curve and results of Maucha's method

	tárolók	regressziós egyenesek illesztésének módszerével meghatározott		empirikus úton meghatározott
		napok	meredekség	napok
Kis-Tohonya-forrás	1. tároló	1-5	-0,24	1-4
	2. tároló	6-17	-0,10	5-23
	3. tároló	18-33	-0,06	24-56
Komlós-forrás	1. tároló	1-2	-0,57	1-2
	2. tároló	3-11	-0,12	3-12
	3. tároló	12-42	-0,06	13-43
Jósva-forrás	1. tároló	1-3	-0,95	1-2
	2. tároló	4-5	-0,24	3-6
	3. tároló	6-16	-0,03	7-18
Lófej-forrás	1. tároló	1-4	-0,30	1-5
	2. tároló	5-13	-0,13	6-17
	3. tároló	14-37	-0,07	18-61
Nagy-Tohonya-forrás	1. tároló	1-10	-0,12	1-11
	2. tároló	11-18	-0,07	12-31
	3. tároló	19-57	-0,05	32-78

Összehasonlítva a két módszerből kapott eredményeket, az tapasztalható, hogy az eddig ismert vizsgálathoz képest a regressziós egyenesek illesztésének matematikai módszerével kapott eredmények néhány helyen eltérést mutatnak. A különbségek elsősorban a 3. tárolóra vonatkozó időhosszakban jelennek meg. A Kis-Tohonya- és a Lófej-forrás esetén a regressziós egyenek alkalmazásával kapott értékek hozzávetőleg fele ideig tartó kiürüléseket adtak az empirikus úton meghatározottaknak. A Nagy-Tohonya-forrás vizsgálatából származó különbségek mutatkoznak legnagyobbak, mert a 2. és 3. tárolóra a regressziós egyenesekből becsült kiürülési értékek 11 illetve 10 nappal rövidebbek. A Jósva-, és a Komlós-forrás vizsgálati eredményei mindkét esetben nagyon jó egyezést mutatnak.

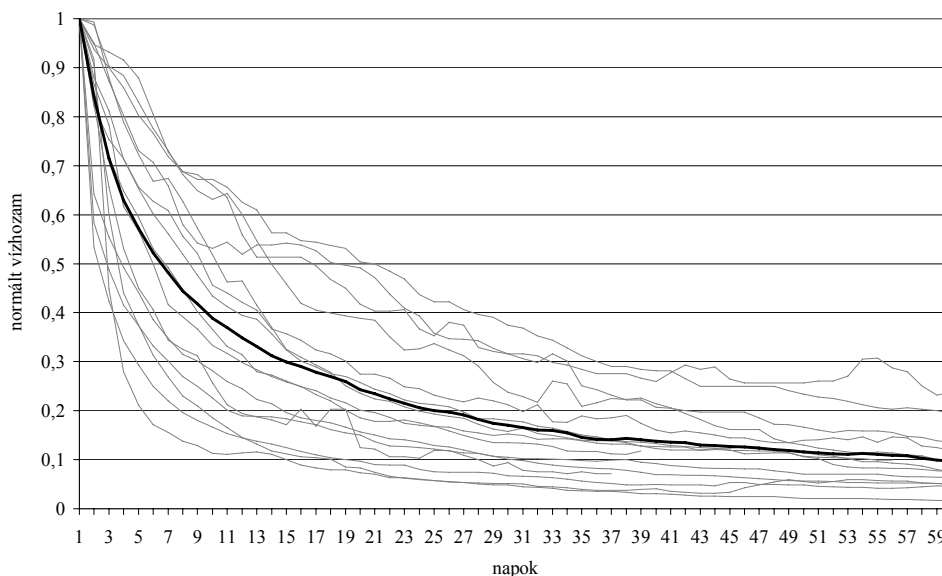
Összegezve az elméleti megfontolások, illetve az empirikus megfigyelésekből származó következtetések viszonylag jó hasonlóságot mutatnak az absztrakt matematikai számításokkal a sokéves kiürülések átlagának tekintetében. Az eltérések abból is származhatnak, hogy míg *MAUCHA* (2002) forrásonként összesen egy-egy vízhozam idősoron határozta meg a tárolók leürülésének időhosszát, a jelen tanulmányban számos görbének az átlagát használtuk fel e célra.

A karszt telítettség vizsgálata

A leürülési görbék összehasonlításánál felmerült, hogy a telítettség, vagyis a vizsgált időszakot megelőző évek csapadékossága miként befolyásolja a görbe alakját. A különböző leürülési idősorok és a sokéves átlaggörbe ábrázolásánál is kitűntek az egyes kiürülések közti különbségek, de ez még egyértelműbbé vált az adatok normálásával. A normálás az egyes vízhozam idősorok minden egyes tagjának az idősor kezdő, maximális vízhozamával való leosztását jelenti, ami által kimutatható a leürülések sebességének meredekségbeli különbsége, az apadás gyorsasága. Az így kapott grafikonok tükrözik a karszt mindenkori telítettségi állapotát, vagyis azt, hogy az elemi blokkokat milyen százalékban tölti ki víz. A nullát gyorsabban megközelítő idősorokra kisebb, míg a kevésbé meredek idősorokra nagyobb telítettség jellemző. Ez a művelet azért volt szükséges, hogy az egyes évek karszt-telítettségének változása kimutathatóvá váljon, ugyanis a tároló-rendszerek ezen lényeges tulajdonsága közvetlenül nem mérhető, ezidáig számítás nem tárta fel.

Az öt forrás közül csak a Kis-Tohonya- és a Komlós-forrás normált leürülési görbéit állítottuk elő (*8. ábra*), ugyanis ezen forrásoknál a grafikonok jobban elkülönülnek egymástól és a területről megfelelő képet mutatnak, míg a Jósva-forrásnál a túl gyors apadás, a Nagy-Tohonya- és a

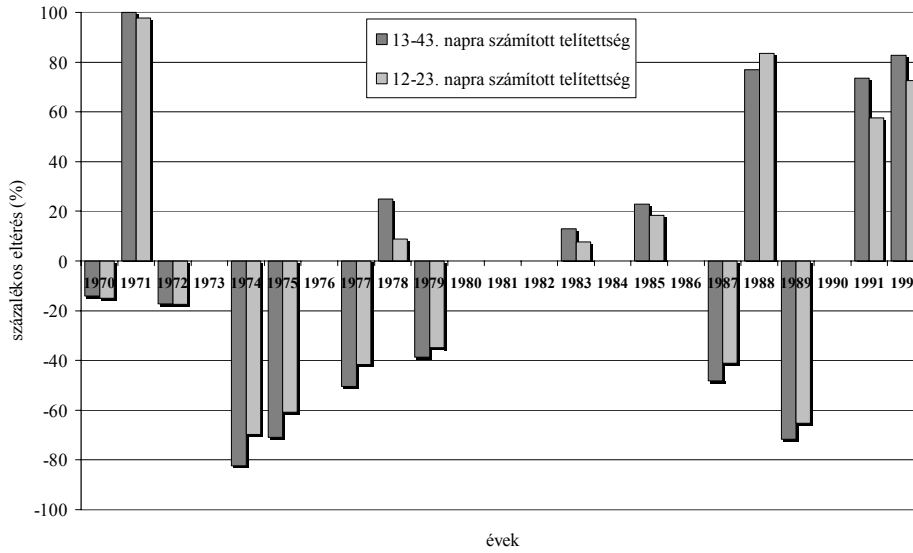
Lófej-forrásnál pedig a szivornya-hatás zavarná az eredmények megfelelő értelmezését.



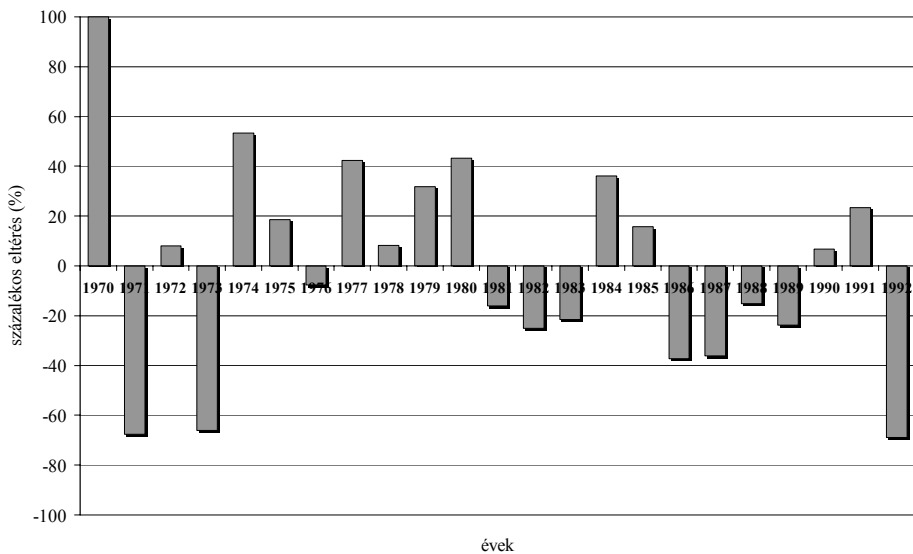
8. ábra: A Komlós-forrás normált kiürülési vízhozam idősorai (1970-1992)
 Fig. 8. Komlós spring's normalized water flow data series (1970-1992)

A normált idősorokból létrehozott átlaggörbe (8. ábra, vastag vonal) és az egyes normált görbék különbségét képeztük. Mivel a karszt telítettség az adott évet megelőző évek csapadékosságától függ és a 3. tárolóban (főtörés-rendszerben) mutatkozik meg a karszt telítettség változása (MAUCHA 2002), ezért az értékeket úgy kaptuk meg, hogy a kiürülési idősorok 3. tároló-rendszerre vonatkozó (az előzőekben meghatározott) szakaszának vízhozam átlagát vettük, és ebből kivontuk a sokéves normált görbék sokéves átlagának ugyanezen szakaszára vonatkozó középértékét. 1970-1992 közti minden egyes évre kiválasztott normált idősorok megnéztük az eltérését a normált görbék átlagától, végül a legnagyobb eltéréshez viszonyított százalékos arányokra számítottuk át (9. ábra). Az összehasonlíthatóság érdekében meghatároztuk a 3. tárolóra a két különböző módszerből kapott eredményeket. Az ábrákon az y tengely 0 pontja a normált görbék sokéves átlagát, a negatív tartomány a telítetlen éveket, a pozitív tartomány a telített éveket mutatja. A pontosabb értelmezés miatt kiszámítottuk az 1970-1992 között mért éves csapadék adatok átlagát is (625 mm) és minden egyes évben megvizsgáltuk az ettől való eltérést és az előzőekhez hasonlóan százalékos értékekre számítottuk át. A 10. ábrán látható, hogy a legnagyobb éves csapadék érték 1970-ben (949 mm) 100 %-

nak felel meg, a legkisebb összegeket pedig a következő évben, 1971-ben (406 mm), valamint 1973-ban (411 mm) és 1992-ben (402 mm) mérték.



9. ábra: A sokévi normált átlagos kiürülési idősor és az adott évi idősor 3. tárolóhoz tartozó átlagértékének eltérése a maximális eltérés százalékában kifejezve a Komlós-forrás esetén
 Fig. 9. The annual normalized emptying data series and deviation of the 3rd drain system's average, expressed in percentage of the maximal deviation (based on data of Kis-Tohonya spring)



10. ábra: Évi csapadékösszegek a Jósvafői Papp Ferenc Kutatóállomáson 1970 és 1992 évek közötti időszakban, a legnagyobb csapadékmennyiség százalékában kifejezve
 Fig. 10. Annual precipitation at Papp Ferenc Research Station, Jósvafő, (between) 1970-1992

A 9. ábráról leolvasható a karszt telítettségének változása az 1970-1992 közötti években. A hosszan tartó, csapadékos évek után tartósan telített a karszt, viszont a csapadékmentes éveket követően, amikor gyakorlatilag a nyári hónapok teljesen szárazak, a karszt telítetlenné válik. A Kis-Tohonya- és a Komlós-forrás vizsgálata lényegében egyforma karszt-telítettségű eredményre vezetett kisebb helyi eltérésekkel, ami származhat beszivárgási, vagy egyéb, a források sajátosságainak különbségeiből is.

Megfigyelhető, hogy az 1970-es, legcsapadékosabb évet 1971-ben, a kis esőzések ellenére is rendkívül telített időszak követi. 1972-ben az 1971-es, rendkívül száraz év miatt a karszt az átlagnál telítetlenebb volt, később az 1973-as szárazság ezt a hatást még tovább fokozta. Ennek az lett a következménye, hogy az 1974-től tartó csapadékos időszak ellenére is csak öt évvel később, 1978-ra érte el és haladta meg a karszt telítettsége az átlagot, addig a legkisebb telítettségű értékek olvashatók le a 9. ábráról. Ez a karszt járatainak igen lassú, sokéves töltődését mutatja, mivel az elemi blokkok feltöltődése, illetve leürülése hosszú időt igényel.

Összefoglalás

Munkánkban az Aggteleki-karszt öt Jósvalfő környéki forrásának mintegy 20-30 évre kiterjedő napi átlagos vízhozam idősorait vizsgáltuk egyedi matematikai módszerrel, az S-Plus statisztikai programcsomag segítségével. A féllogaritmikus skálán ábrázolt vízhozam értékekre regressziós egyenesek illesztése történt - a legkisebb négyzetes eltérések elve alapján - és a program ábrázolta a pontról-pontra illesztett meredekséget és szórásnégyzetet. Trendszerű változásukból következtettünk az adott járatszélességű csatornák kiürülésére. A vizsgálat során az első 3 tárolórendszer kiürülési idejének elemzésével foglalkoztunk és meghatároztuk az öt vizsgált forrás esetében az apadási görbe töréspontjainak idejét. Ezáltal az idősort befolyásoló hatások összességére jellemző specifikus eredményeket kaptunk.

A zavaró hatások – elsősorban a szivornya-tevékenység – kiküszöbölése érdekében létrehoztuk az egyes források kiürülési görbéinek sokéves átlagát, amelyekre szintén alkalmaztuk a regressziós egyenesek illesztésének módszerét. Ebből a tárolórendszerek általános vízföldtani tulajdonságaira lehetett következtetni.

A karszt telítettség sokévi változásának kimutatása céljából kiszámítottuk a Kis-Tohonya- és a Komlós-forrás kiürülési vízhozam idősorainak normált értékeit, majd azok sokéves átlagát képeztük és vizsgáltuk az egyes évek idősorainak ettől mért átlagos eltérését.

Százalékosan kifejezhető, hogy a hosszan tartó, csapadékos évek után telített a karszt, viszont a csapadékmentes éveket követően, amikor gyakorlatilag a nyári hónapok teljesen szárazak, a karszt telítetlenné válik. Ez a karszt legkisebb járatrendszerének igen lassú, sokéves töltődését mutatja.

IRODALOM

MAUCHA L. (1998): Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai (1958-1993), A VITUKI Rt. Hidrológiai Intézete, Kiadv. az OTKA támogatásával

MAUCHA L. (2002): Az Aggteleki-karsztvidék nagyobb forrásainak kiürülési viszonyai. – Karsztfejlődés VII., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 105-128.