KARSZTFEJLŐDÉS VII.
Szombathely, 2002. pp. 105-128.

AZ AGGTELEKI – KARSZTVIDÉK NAGYOBB FORRÁSAINAK KIÜRÜLÉSI VISZONYAI

MAUCHA LÁSZLÓ

VITUKI RT. Hidrológiai Intézete
1095. Budapest, Kvassay Jenő-út 1. maucha@vituki.hu

Abstract: It was a suprise even among professionals when five successive exponential sections representing the emptying phases of aquifer were detected by F. Cser (1978) in the 1970 year's decreasing discharge series of Nagytohonya spring situated in Aggtelek karst, Hungary. The subsequent perception of causes provided a deeper insight into the structural setting up of the Triassic limestone karst and into the mechanism of its hydrological functioning. To explain this strange phenomenon a new theoretical karst model was created. According to the new model the five reservoirs – in the sequence of emptying – are the following: the main cave corridor, the side branches of the cave, the principal fault-line system dividing the aquifer into rock-blocks, the secondary faults inside the blocks, and finally the porosity of blocks. When a flood occurs int he main cave-corridor it dams back the outflow of side-corridors similarly to a flood in case of a surface river system. The multiple porosity of the aquifer (i.e. the exponencial sections during the emptying process) could be demonstrated in the observation series of all the greater karst springs. It is very probable that the phenomenon exist in case of other Triassic karst areas having similar climatic conditions and altitude.

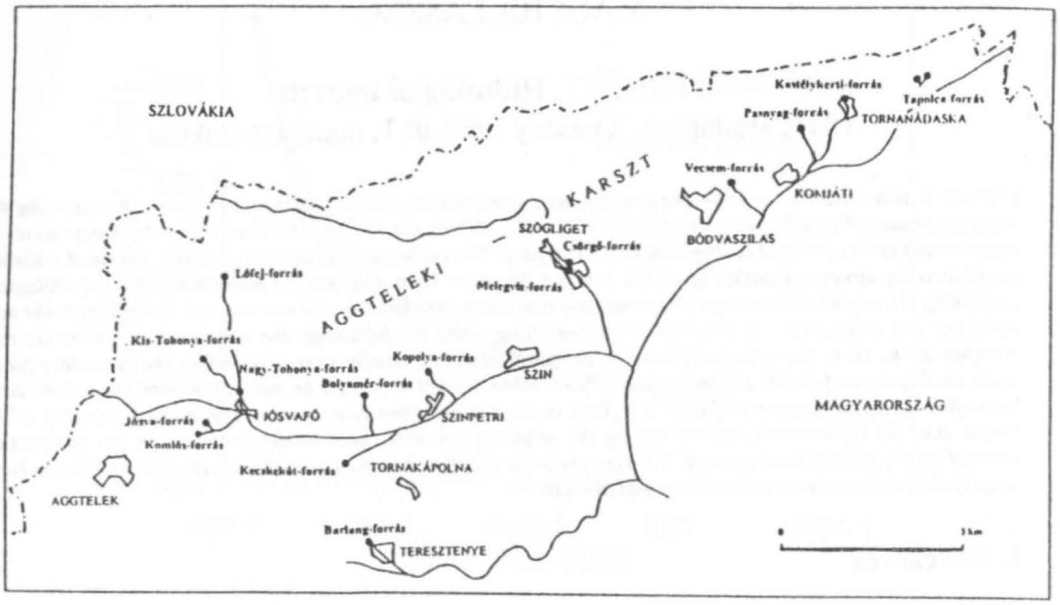
1. Bevezetés

Az Aggteleki-karsztvidéken fakadó karsztforrások mintegy 30 évre terjedő folyamatos vízhozam regisztrálása tette lehetővé a hegység nagyobb forrásainak kiürülési vizsgálatát (*1. ábra*). E tanulmányban arra a kérdésre keressük a választ, hogy a vizsgált területen általános jelenség-e a források több szakaszban történő egyre lassúbb kiürülése, amelyet korábban csak két jósvafői forrásnál tanulmányoztunk? Amennyiben a jelenség minden forrásnál kimutatható, úgy az a kérdés is felmerül, hogy a kiürülési viszonyok különbségei tükrözik-e az egyes források jelenlegi hidrogeológiai állapotát?

A hidrológiában *ZUNINI, MAILET* és *DE MARCHI* állapították meg először, hogy a felszíni medencék kiürülése e^x-függvény szerint változik. Karsztos területeken a források kiürülése is hasonló függvénnyel írható le. E témakörben *BOULLIN, O.* et. al (1973) mutatta be érdemi eredményeit. Az un. „*Vaucluse-modell*" alapján *KOVÁCS GY.* (1979) arra a következtetésre jutott, hogy a karbonátos kőzetekben kettős porozitás van. A karsztforrásoknál megfigyelt jelentős áradások, valamint a kisvízi tartós alaphozam jelenségét ugyanis nem lehetett másképpen megmagyarázni. Az említett szerzők kimutatták, hogy az áradások apadási időszakában a fenti folyamat a

$$Q = Q_1 * e^{-k_1 t} + Q_2 * e^{-k_2 t}$$

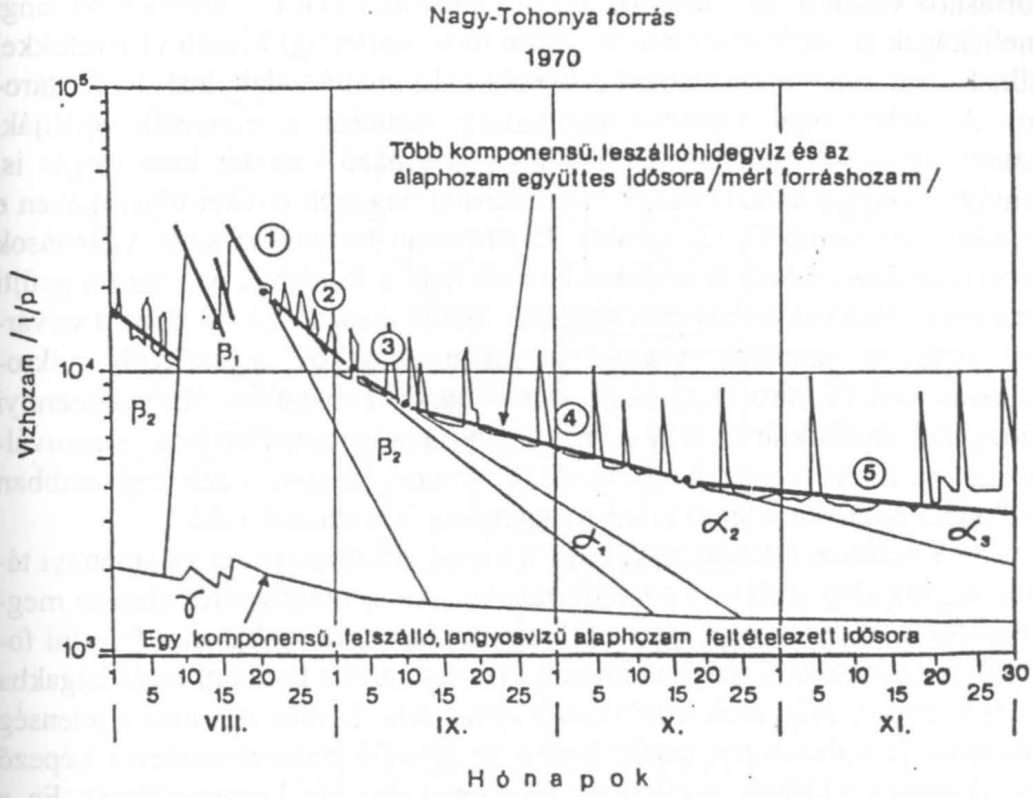
exponenciális függvények összegével írható le, ahol a kitevőben lévő k_1 és k_2 jelölések a kiürülés különböző meredekségét jelölő időállandók értékei.



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

2. A korábbi megfigyelések eredménye és értékelése

A jósvafői Nagy-Tohonya-forrás 1970 évi vízhozam idősorának kiürülési vizsgálata alapján *CSER F.* (1978) figyelte meg először, hogy a vízhozam változások logaritmikus léptékű ábrázolása esetén öt oldalú poligon alakjában jelennek meg a forráshozam exponenciális kiürülési egyenesei (*2. ábra*), vagyis a korábban feltételezett kettős porozítás nem ad számot a karszt valóságos hidraulikai viszonyairól. Az új megfigyelés alapján *CSER F.* feltételezte, hogy az egyenes szakaszok öt különböző porozítású karsztos tároló egymás után történő kiürülésének felelnek meg. Matematikai modellt dolgozott ki a jelenség leírására, de nem adott egyértelmű választ arra vonatkozóan, hogy miért létezik öt független tároló a karsztban, milyen a tárolók relatív helyzete, és miért alakulnak ki töréspontok a folyamatot leíró poligon oldalak között. Később kitűnt (*MAUCHA L.* 1998), hogy nagyon száraz években a forrás mélységi eredetű langyosvízű összetevőjének hatodik kiürülési egyenese is láthatóvá válik a kiürülési sorozat végén.



2. ábra: Az öt lépcsős és szakaszosan lassuló kiürülés megfigyelése a Nagy-Tohonya-forrás 1970 évi vízhozam idősorában

Fig. 2. Five step emptying of the aquifer, slower and slower by sections. Nagytohonya spring, 1970.

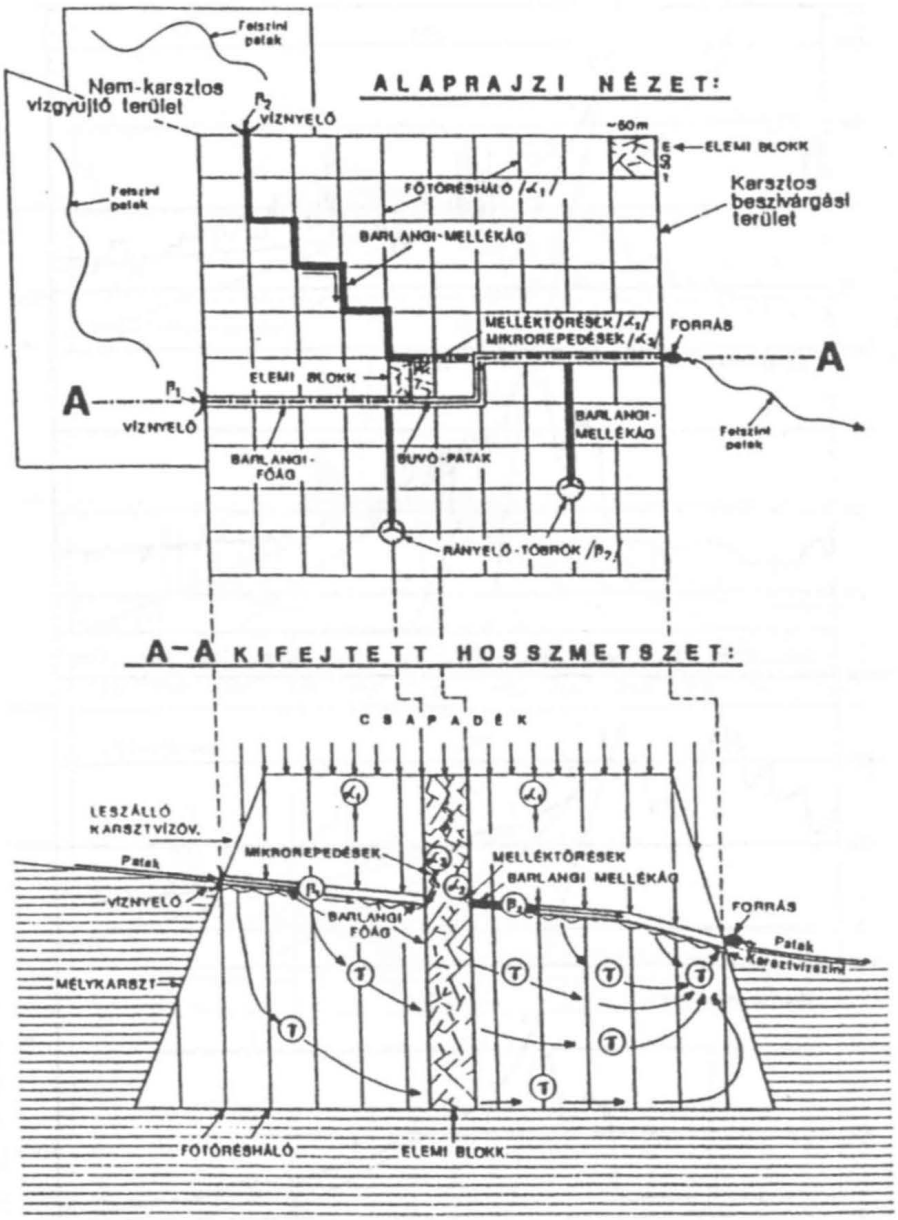
A felvetett kérdésekre később adtunk választ. (*IZÁPY G. - MAUCHA L.* 1993, 1994). E tanulmányban bemutatjuk a fenti jelenség értelmezésére kialakított új fizikai karsztmodellt (*3. ábra*). E modell értelmében a hat eltérő meredekségű exponenciális kiürülési egyenes kialakulása a karszt alábbi szerkezeti felépítésével és hidrológiai működésével magyarázható.

A barlangtérképek tanúsága szerint az Aggteleki-hegység középső triász korú karsztos kőzete közel függőleges törések mentén mintegy 50x50 m-es elemi blokkokra tagolódik (*3. ábra*). A valóságban a blokkok alakja nem ennyire szabályos, mint amit az ábra bemutat és a törések helyenként átlós irányúak is lehetnek, de a középső triász mészkő mechanikai tulajdonságai következtében töredezik szét közel ilyen méretű elemi-blokkokra. E blokkok közötti törések összességét főtörés-hálónak nevezzük. E hálózatnak kitüntetett hidrológiai szerepe van, mert e törések mentén történik a karsztos beszivárgás és ténylegesen a karsztvízszint is ebben a törés hálóban létezik és ingadozik. Triász mészkőben ez a litoklázis háló képezi a barlangok kialakulását elősegítő tektonikus preformációt is. Ennek következtében patakos-barlangok főágának kialakulása során a főtörés-rendszer egyik litoklázis-sora a legnagyobb nyelők vízszállítása következtében kitágul és a

forráshoz vezeti a nem karsztos felszíni lefolyás vizeit (1. tároló).A barlangi mellékágak (a legfejlettebbtől az éppen most születőig) kisebb víznyelőkkel állnak kapcsolatban és szintén a főtörés-háló mentén alakulnak ki (2. tároló). A barlang-ágak vizeinek utánpótlását nemcsak a víznyelők táplálják, hanem az azokat átmetsző főtörésekből származó karsztos beszivárgás is, amelynek vize a karsztvízszint minimálisnál nagyobb értékei időszakában e rendszerben tárolódik (3. tároló). E tárolóban történő vízszint változások piezometrikus eredetű áradásokat hoznak létre a forrásnál. és e tároló gyűjti az elemi - blokkok belsejében kialakult mellék-hasadékok (4. tároló) szivárgó vizét is, amelyek viszont az elemi blokkok legszűkebb mikrorepedéseinek (5. tároló) szivárgó vizeit fogadják magukba. Ha valamennyi hidegvizű tároló kiürült, úgy a hegylábnál fakadó karsztforrások hozamváltozásában a mélykarsztból (6. tároló) származó langyos vizek leglassabban csökkenő hozamot jelentő kiürülési egyenese is láthatóvá válik.

Korábban feltételeztük, hogy a karszt kiürülése során valamennyi tároló egyidejűleg táplálja a karsztforrásokat. Az új megfigyelés alapján megállapítható, hogy ez nem így van. Nagy áradások időszakában a felszíni folyókhoz hasonlóan a főágban áramló víz visszatölt a barlangi mellékágakba és nem engedi meg azok kifolyását a forrás felé. Sorban ugyanez a jelenség játszódik le valamennyi tároló között az állandó hozamösszetevőt képező mélykarsztos kiürülés kivételével (*2. ábra*, alsó víz hozam-idősor). Ez a jelenség - melyet kizárási-effektusnak hívunk - hozza létre a töréspontokat az exponenciális kiürülési egyenesek között (lásd a Nagy-Tohonya-forrás kiürülési töréspontjait a *2, 5. ábrán*), mert az egyre szűkebb keresztmetszetű tárolók visszaduzzasztott vizeinek belépése a megelőző kiürülési szakasz folyamatába ugrásszerűen történik. A tárolók kiürülése tehát csak egymás után, lépcsőzetesen jöhet létre a csökkenő tágasságú járatrendszerek sorrendjében, mert a törésrendszerekben sokkal élesebben játszódik le a visszaduzzasztás jelensége, mint a felszíni folyókban, ahol oldalirányú kiöntésre is lehetőség van. Fentiekből következik, hogy nemcsak klimatikus-, szivornya és geofizikai-hatás vesz részt a forráshozam ingadozás kialakításában, hanem az elvileg mozdulatlan töréshálózat tágassági viszonyainak hierarchiája is tükröződik a hozam változásban.

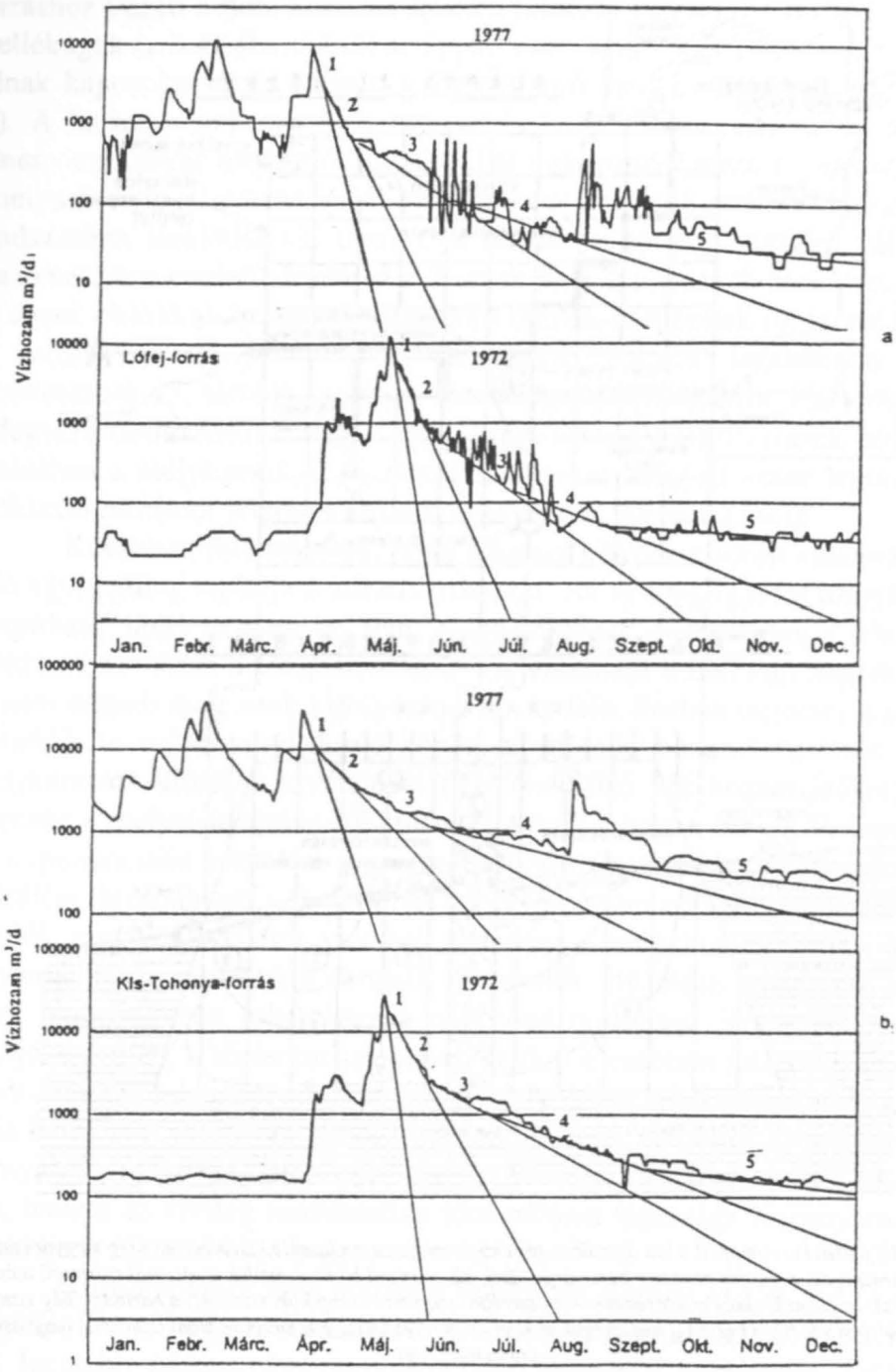
E problémakör igen részletes vizsgálata alapján *MAUCHA G* (1993) megállapította, hogy a lépcsőzetes kiürülési folyamat matematikai leírásához legalább három-négy exponenciális függvény összegzése szükséges. Ennél több függvény alkalmazása esetén a paraméterek meghatározhatósága romlik, de ez a körülmény nem zárja ki, hogy ennél több felszínalatti tároló vegyen részt a forráshozam csökkenés alakításában.



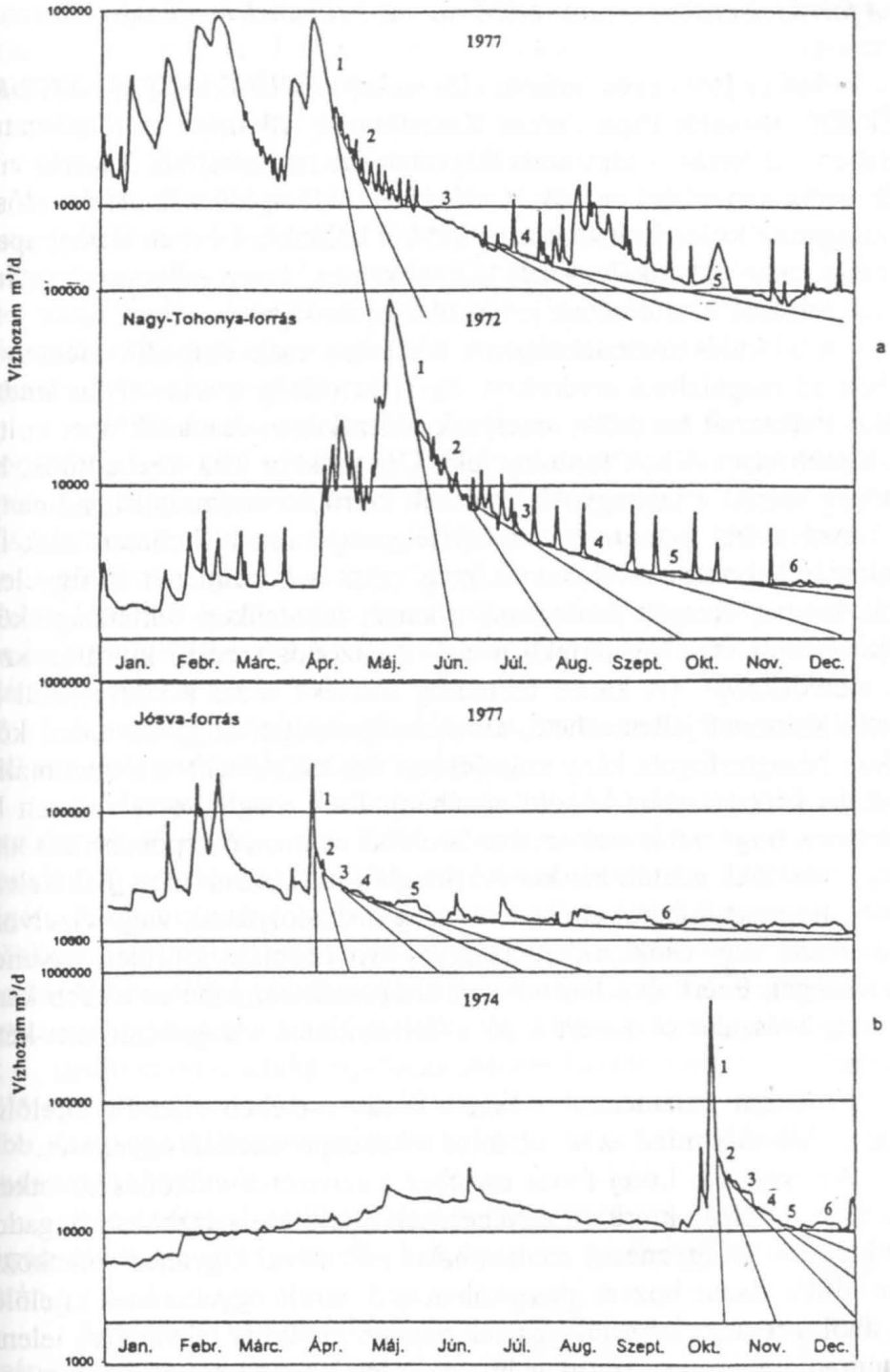
3. ábra: Új fizikai karsztmodell a hat lépcsőben történő és szakaszosan lassuló kiürülési jelenség magyarázatára. Jelmagyarázat: α1. a főtörés-rendszer beszivárgó vizei, α2. az elemi blokkok mellék-töréseiből származó utánpótlás vizei, α3. az elemi blokkok mikrorepedés-rendszeréből származó utánpótlás vizei, β1. a barlangi főág víznyelőjén befolyó vizek, β2. a barlangi mellékágak víznyelőin befolyó vizek, γ. a mélykarsztból feláramló langyosvíz utánpótlás vizei

Fig. 3. New theoretical model to explain the six-step emptying process of karst aquifer

Legend: α1. infiltrated water from the principal fault-line system, α2. water from the secondary faults, inside the rock-blocks, α3. water from the porosity of blocks, β1. surface water arriving through the swallow-hole of the main cave-corridor, β2. water coming through the swallow-hole of a side branch of the cave, γ. upstreaming lepid water from the deep karst



4. ábra: A Lófej- és Kis-Tohonya-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 4. Emptying lines in the discharge graphs of Lófej and Kis-Tohonya springs



5. ábra: A Nagy-Tohonya- és a Jósva-forrás exponciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 5. Emptying lines in the discharge graphs of Nagy-Tohonya- and Jósva springs

2.1. A források exponenciális kiürülési egyeneseinek meghatározása

1964 és 1993 évek közötti időszakban a *MŰEGYETEM - VITUKI* és az *ÉVIZIG* Jósvafői Papp Ferenc Karsztkutató Állomása mérőhálózatának keretében 12 forrás vízhozamát folyamatosan regisztráltuk, 3 forrás vízhozamát pedig naponként mértük (*I. táblázat*). A fenti időszak mérési idősorából válogattuk ki forrásonként azt a két-két különböző évben történt apadási időszakot, amelyet alkalmasnak találtunk arra, hogy jellemezni tudjuk a vizsgált források kiürülésének jellemző tulajdonságait.

A kiürülés meredekségének kimérése csak csapadék-mentes időszakban ad megbízható eredményt. Ezért lehetőség szerint olyan áradások apadási szakaszait kerestük, amelynek időszakában csapadék nem volt, ill. csak kisebb csapadékok fordultak elő. Ugyanakkor arra törekedtünk, hogy lehetőség szerint a legnagyobb áradások kiürülési szakaszait tanulmányozzuk, mivel a fent bemutatott modell jelenségei maradéktalanul csak ilyen hidrológiai helyzetben valósulnak meg. Azt a körülményt is figyelembe vettük, hogy a vizsgált forrásoknál a karszt mindenkori telítettsége következtében évről évre kismértékben eltér az azonos eredetű kiürülési szakaszok meredeksége. (A karszt telítettség mértéke azzal a közvetlenül nem mérhető számmal jellemezhető, amely megmutatja, hogy az elemi kőzetblokkok hézagtérfogata hány százalékban van vízzel telítve a maximális és minimális karsztvízszint közötti zónában). Ez a megfontolás vezetett bennünket arra, hogy a források azonos tárolóból származó exponenciális kiürülési egyeneseinek adatait két-két évi átlagból határozzuk meg. Feltételeztük ugyanis, hogy az átlagtól eltérő telítettség hozzáfolyással, vagy vízelvonással növelheti, vagy csökkentheti az egyes exponenciális kiürülési egyenesek meredekségét. Ezért ahol lehetett - az átlagosnál nagyobb és kisebb karsztelítettség időszakából kerestük ki a forrásonként vizsgálandó két-két év áradásait.

Csaknem valamennyi vizsgált forrás esetében sikerült kijelölni a vízhozam kiürülés mind az öt, ill. mind a hat exponenciális egyenesét:

Az aggteleki Lófej-forrás esetében a szivornya-működés következtében a 3. és 4. tároló kiürülési egyenesének kijelölése a vízhozam ingadozásokat kiegyenlítő egyenesek mentén halad (*4/a ábra)* Ugyanez vonatkozik a 100 m^3/d-nál kisebb hozam időszakában az 5. tároló egyenesének kijelölésére is, ahol a regisztráló szalag-cserék nagyon kis hibái felnagyítva jelennek meg a diagramon a logaritmikus hozamlépték következtében. A kiegyenlítő egyenes itt is a gyengén csökkenő valóságos vízhozam idősort közelíti.

A jósvafői Kis-Tohonya-forrás esetében (*4/b ábra*) a 2. 3. 4. és az 5. tároló kiürülésének időszakában kisebb csapadékok beszivárgása csekély

vízhozam ingadozásokat okozott a forráshozam változásban. Ezeken a szakaszokon a kiürülési-idősort a minimumokat alulról érintő exponenciális egyenesekkel közelítettük meg. 1972 év során található egy ugrásszerű minimum-csúcs, amely mérési, vagy adatfeldolgozási hibának tekinthető, ezért azt a 4. tároló kiürülési egyenese átmetszi.

A jósvafői Nagy-Tohonya-forrás kiürülési szakaszait is (*5/a ábra*) a szivornyás forrásokra elmondott szempontok szerint határoztuk meg. A több szakaszos kiürülés jelenségét és töréspontjait legélesebben ennél a forrásnál lehet megfigyelni. Az 1972 évi november-decemberi vízhozam változások időszakában kijelöltük a mélykarsztos eredetű langyos-vizű 6. tároló exponenciális kiürülési egyenesét is.

A Jósva-forrás esetében (*5/b ábra*) az 1-5 tároló kiürülése sokkal gyorsabb, mint a többi forrásnál. Az 1977 évi idősor második felében kijelöltük a 6. tároló egyenesét is 10.000 m^3/d-nál tartósan nagyobb vízhozam időszakában. A szokatlanul nagy alaphozam oka az a körülmény, hogy a karszt-területek legnagyobb hegylábi forrásai nemcsak a saját vízgyűjtő területük vizeiből táplálkoznak, hanem összegyűjtik más, magasabban fakadó források vízgyűjtője alól a mélykarsztba beszivárgott és ott felmelegedett, feláramló vizeket is.

A jósvafői Komlós-forrás kiürülési szakaszait a fent közölt szerkesztési elvek alapján jelöltük ki (*6/a ábra*).

A teresztenyei Barlang-forrásnak (*6/b ábra*) több kimutatott forrásközeli víznyelője van, ezért a forráshozam idősorában élesebben jelennek meg a víznyelős áradások, mint a többi forrásnál. 1989. év november végén, december elején a forráshozam az 5. tároló kiürülési egyenese alá csökkent, mert ebben az évben - az igen száraz nyolcvanas évek végén - a forrás valószínűleg kiapadás előtti állapotba került (a Kis-Tohonya-forrásnál ugyanis korábban már megfigyeltük, hogy 1990-ben a teljes kiapadás előtt az 5. tároló exponenciális egyenese mentén haladó vízhozam idősor legörbülő alakot vett fel). Az 5. tároló kiürülési egyenesének kijelölésénél a kisebb csapadékok beszivárgása által megnövelt hozam-idősor csökkenési tendenciáját követtük.

A tornakápolnai Kecskekút-forrás (*7/b ábra*) esetében is az előbbi forrásnál közölt elvet követtük a 4. és az 5. tároló egyenesének kijelölése során.

A szinpetri Bolyamér-forrás (*7/a ábra*) kiürülési poligonjának kijelölésénél csak az 1-4 tároló kiürülési egyeneseit lehetett meghatározni, mivel kis hozam időszakában az 5. tároló egyenese nem húzható meg. Ennek oka a vízhozam regisztráló műszer nagyfokú érzéketlensége a kis hozam válto-

zások követésére, ugyanis ezen a szakaszon esés nélküli vízhozam-idősort találtunk.

A szinpetri Kopolya-forrás (*8/a ábra*) kiürülési viszonyainak meghatározását csak az 1979. évi diagramon található szalag-csere hatás kisebb pontatlansága zavarta meg az 5. tároló egyenesének kijelölésekor.

A szögligeti Csörgő-forrás (*8/b ábra*) kiürülési egyeneseinek kijelölése során megállapítottuk, hogy a teresztenyei Barlang-forráshoz hasonlóan itt is kis víznyelős áradások sokasága jelenik meg a vízhozam idősorban, mert ennek a forrásnak is vannak nemkarsztos vízgyűjtőről táplálkozó víznyelői. A naponkénti hozammérés észlelői hibája valószínűleg itt is ingadozóbbá tette a hozam-változásokat, mint a regisztrált forrásoknál. Ezért a kijelölt 3, 4. és az 5. tároló exponenciális egyeneseivel több helyen átmetszettük a forráshozamban található változásokat.

A szögligeti Melegvíz-forrásról (*9/a ábra*) már korábban is feltételeztük, hogy nem önálló forrás, hanem a Csörgő-forrás mélységi langyosvizű hozam összetevőjének elkülönült forrásszája, hiszen az előbbi forrás fakadási helyének közelében található. Ezért a forrásnak áradása nincs, vízhozama igen gyengén ingadozik, de a fő forrás áradásának tetőzésekor kis növekedést mutat. Apadása csak a 6. tárolóból származó kiürülési egyenessel jellemezhető, mivel annak meredeksége megegyezik a Jósva- és a Nagy-Tohonya-forrás 6. kiürülési egyenesének lejtésével.

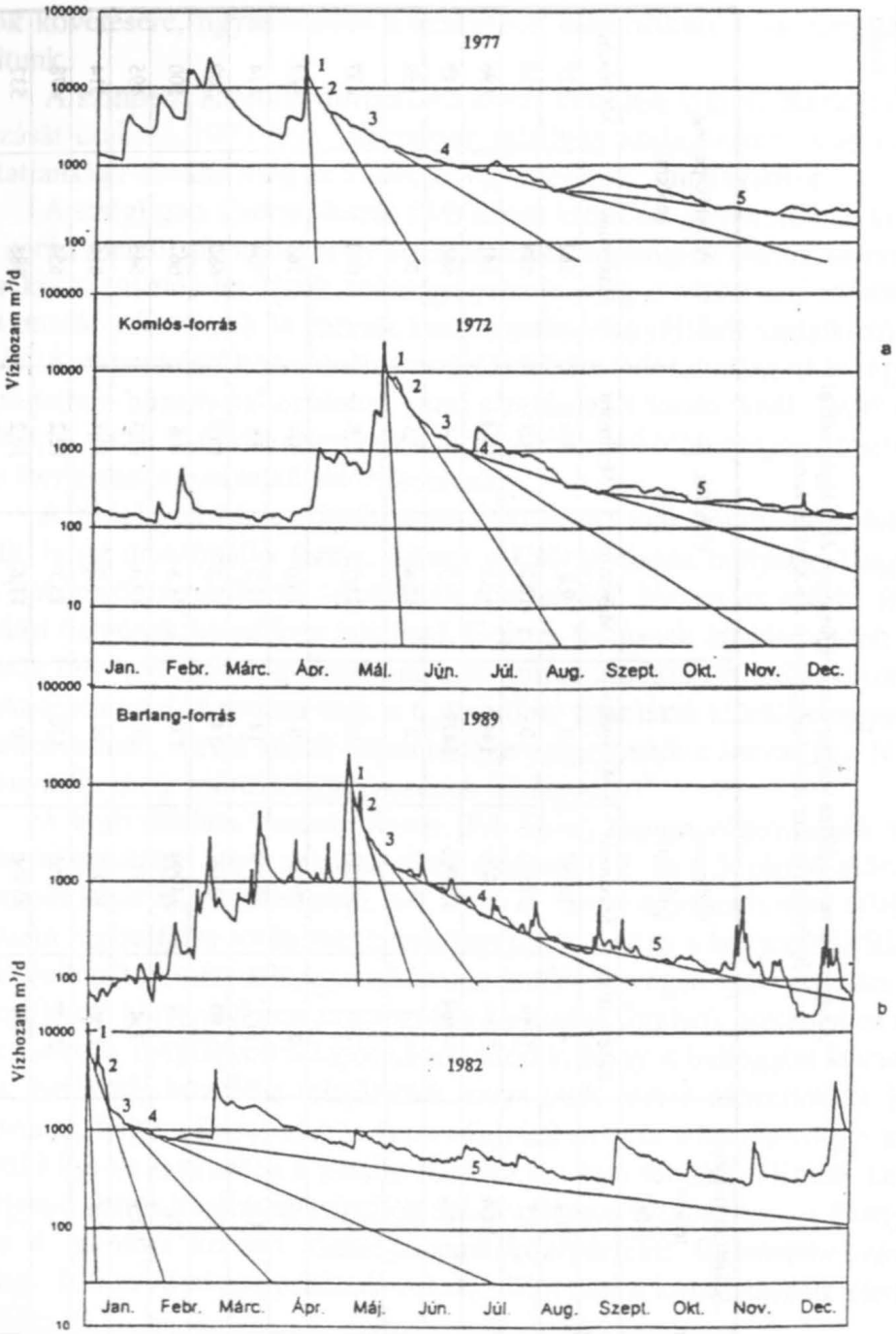
A bódvaszilasi Vecsem-forrás (*9/b ábra*) hozam-változásának vizsgálata megmutatta, hogy apadása során csak az 1, 2. és a 3. tároló kiürülési egyenesét lehet megszerkeszteni, a 4. és az 5. tároló egyenesét nem találtuk. A hozam regisztrálás során már kezdetben feltűnt, hogy a hegylábnál fakadó forrás bukógáton mért átlagos vízhozama áradások végén igen gyorsan nullára csökken. Ugyanakkor a szomszédos alsóhegyi források esetében ez nem fordult elő. A megfigyelt állapot abból adódik, hogy a bukógátat közvetlenül a forrásszáj közelébe telepítették, mert csak kisvíz időszakában lehet észrevenni, hogy a forrás alaphozama a kijelölt hely és a bódva-völgyi műút közötti 1 km-es szakaszon a patakmederben lép ki a felszínre. Ennek következtében a forrás korábban számított sokévi átlagos vízhozama – a Pasnyag-forrás 4. tárolója kezdeti vízhozamának középértékét figyelembe véve - mintegy 500 m^3/d-al nagyobbnak vehető, mint ami a kimutatásban szerepel (*I. táblázat*).

A komjáti Pasnyag-forrás (*10/a ábra*), valamint a tornanádaskai Kastélykerti-forrás (*10/b ábra*) kiürülési poligonját a korábban bemutatott elvek alapján jelöltük ki.

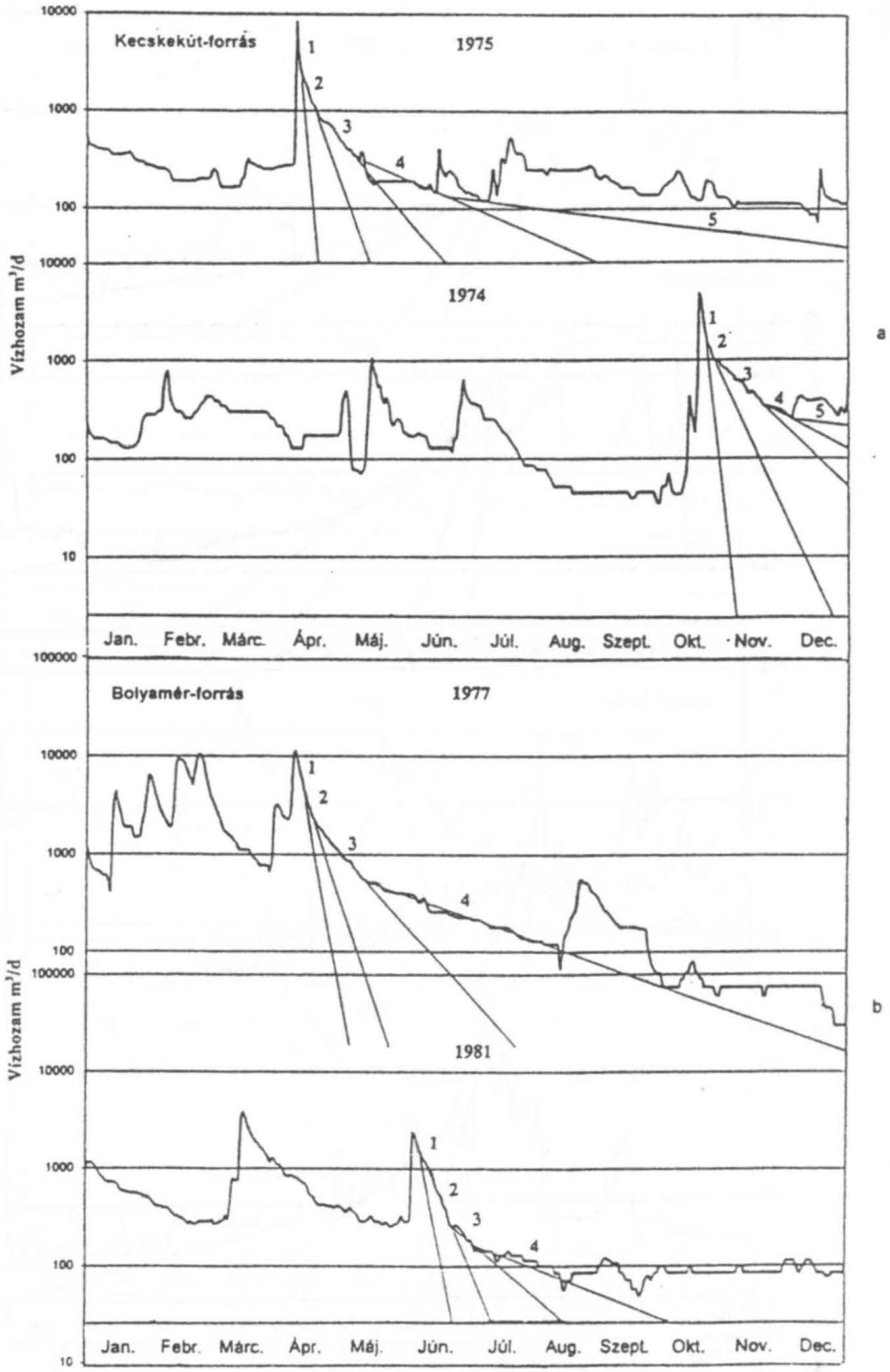
I. táblázat
Table I.

Az Aggteleki karsztvidéken vizsgált források fontosabb hidrológiai adatai
Hydrological data of studied springs in the Aggtelek karst

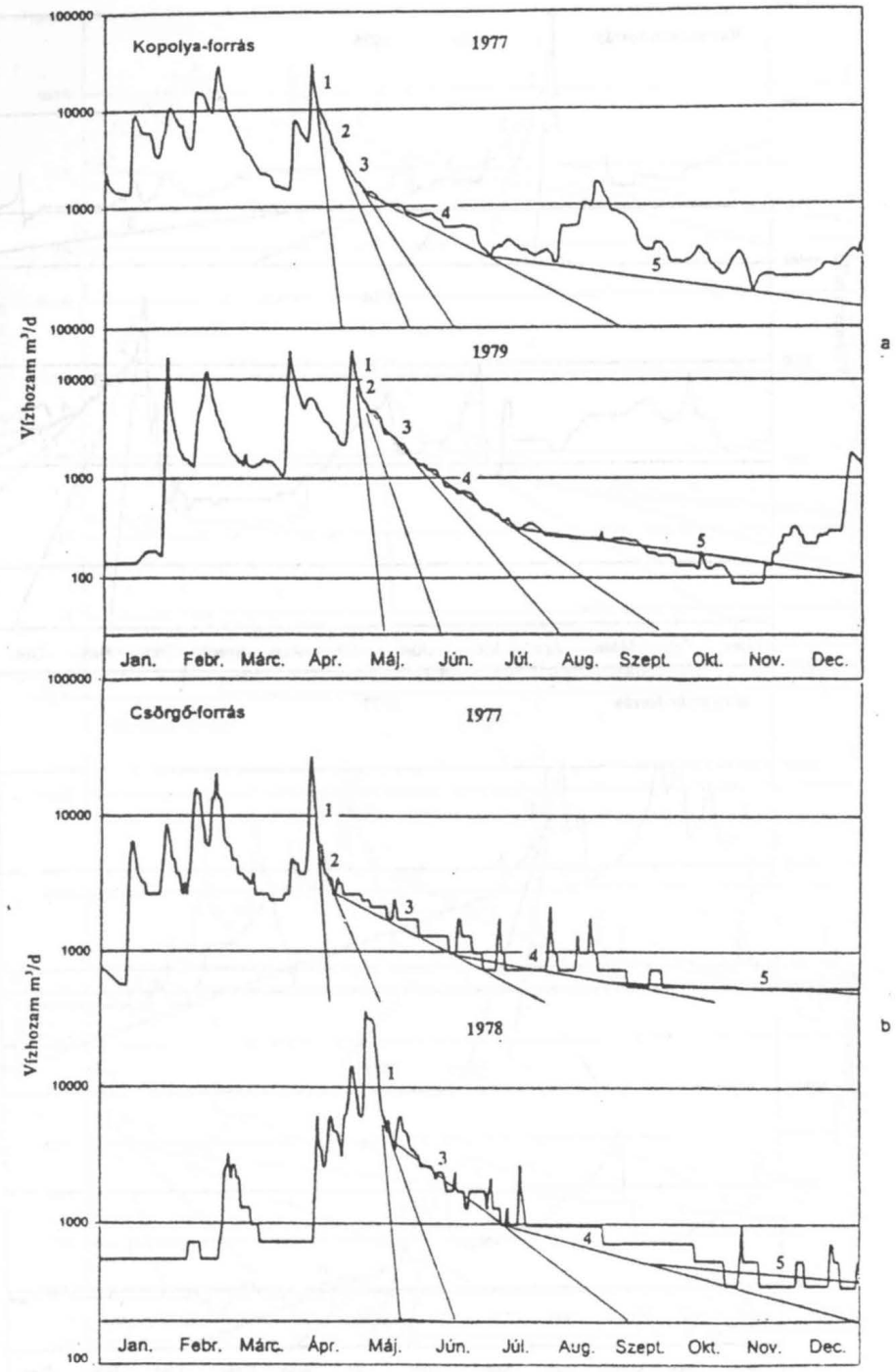
Forrás neve	Számított vízgyűjtő terület [km²]	Vízhozam [m³/nap]			Vízhőfok [°C]		Vezetőképesség [µS/cm]	
		Sokévi átlag	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Lófej-f.	1,2	487	16992	0	9,8	8,5	682	527
Kis-Tohonya-f.	3,7	1486	38390	0	10,2	8,9	688	455
Nagy-Tohonya-f.	24,4	9154	98500	1440	15,9	10,4	641	496
Jósva-f.	34,4	14364	576000	5472	14,3	9,4	648	348
Komlós-f.	2,5	914	27319	4	12,8	9,3	709	159
Teresztenyei Barlang-f.	2,2	734	20226	16	11,5	6,5	610	457
Kecskekút-f.	0,8	272	7603	0	10,6	8,4	768	364
Bolyamér-f.	1,6	515	19008	14	11,1	9,8	704	474
Kopolya-f.	3,4	1180	32292	14	11,2	10,0	680	500
Csörgő-f.	2,7	1129	34990	138	11,8	8,6	667	500
Melegvíz-f.	0,5	254	757	85	19,4	11,3	643	495
Vecsem-f.	4,8	2056	97997	11	12,2	10,4	616	514
Pasnyag-f.	5,3	2760	70560	130	15,1	12,2	654	478
Kastélykerti-f.	3,5	1447	47300	0	11,6	10,2	583	537
Tapolca-f.	1,2	601	7200	0	16,9	12,2	574	457



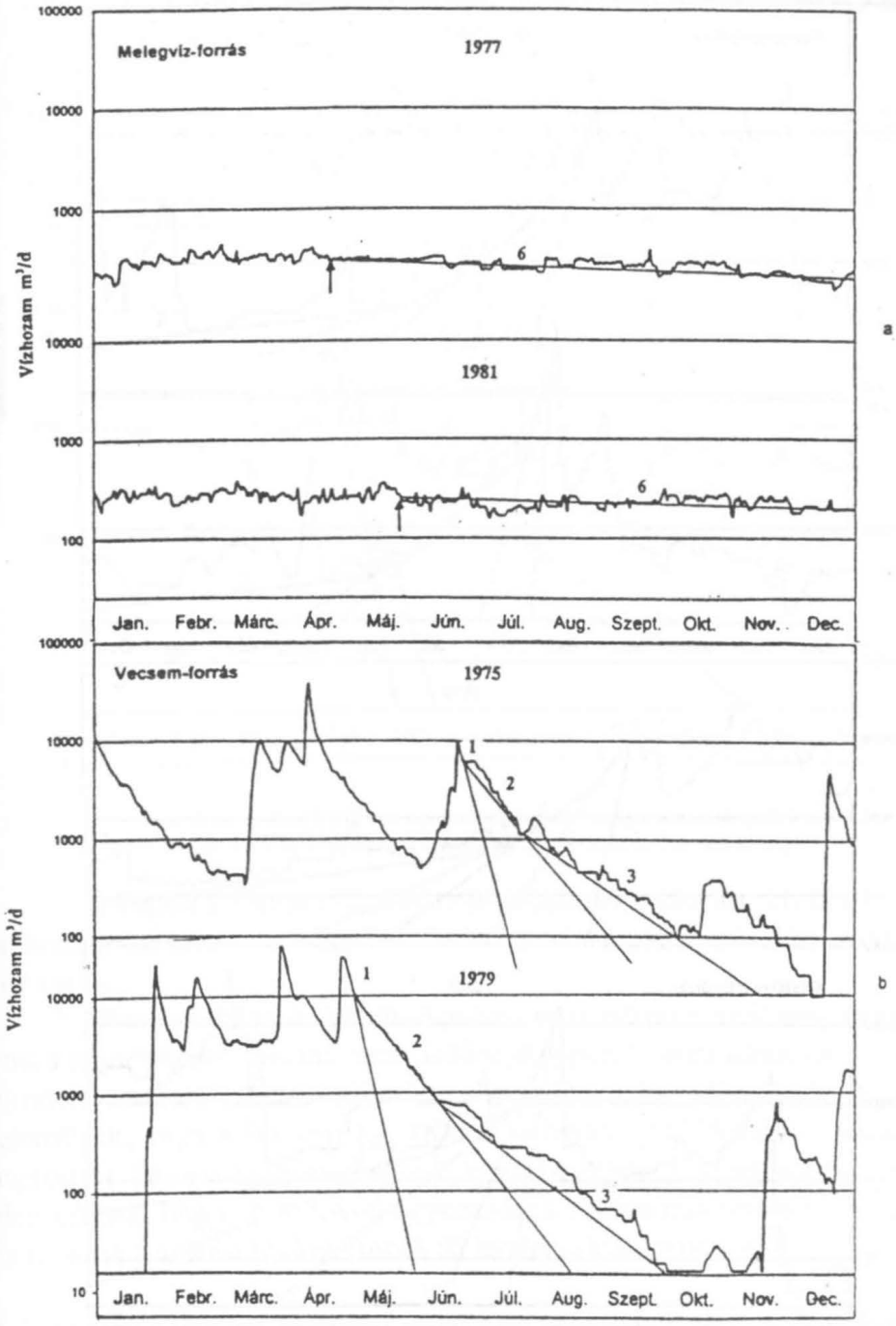
6. ábra: A Komlós- és a Barlang-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 6. Emptying lines in the discharge graphs of Komlós and Barlang springs



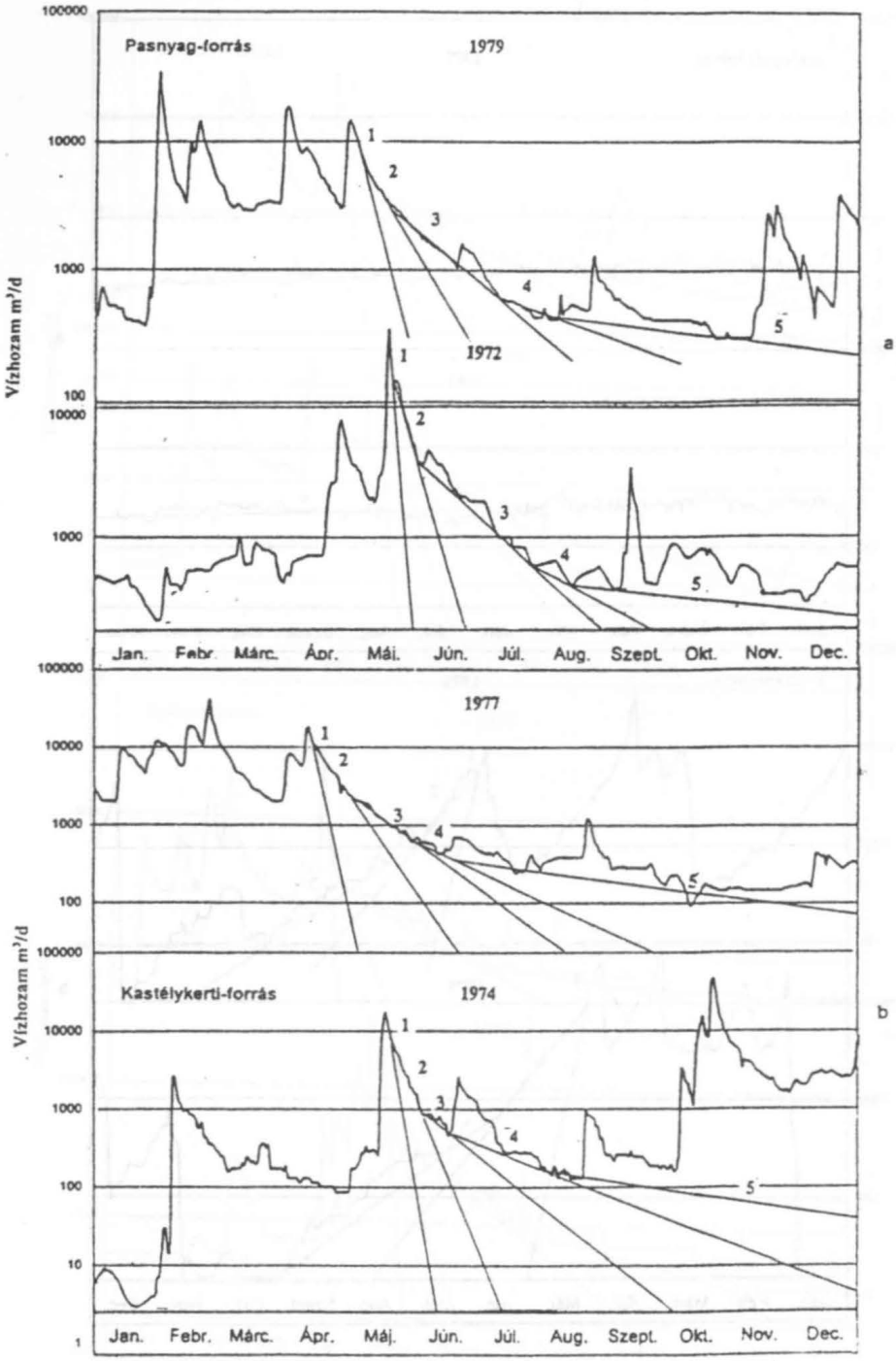
7. ábra: A Kecskekút- és a Bolyamér-forrás exponensiális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 7. Emptying lines in the discharge graphs of Kecskekút and Bolyamér springs



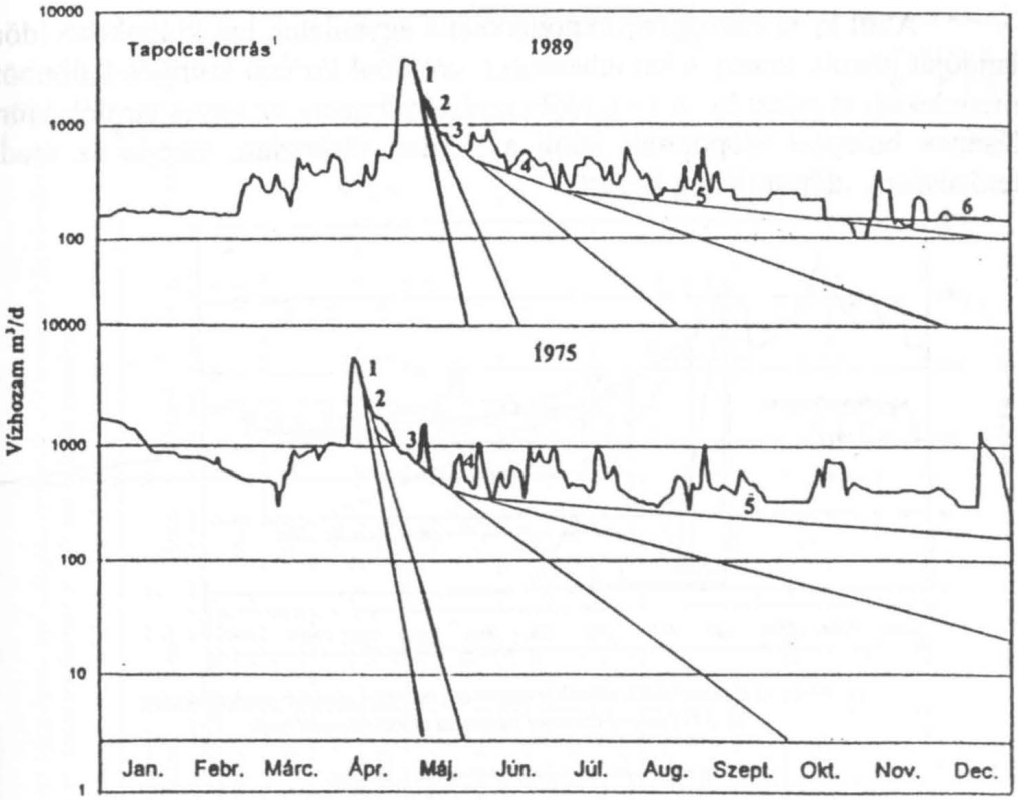
8. ábra: A Kopolya- és a Csörgő-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 8. Emptying lines in the discharge graphs of Kopolya and Csörgő springs



9. ábra: A Melegvíz- és a Vecsem-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 9. Emptying lines in the discharge graphs of Melegvíz and Vecsem springs



10. ábra: A Pasnyag- és a Kastélykerti-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 10. Emptying lines in the discharge of Pasnyag and Kastélykerti springs



11. ábra: A Tapolca-forrás exponenciális kiürülési egyeneseinek kijelölése
Fig. 11. Emptying lines in the discharghes graphs of Tapolca spring

A Tapolca-forrás (*11. ábra*) esetében az öt tárolón kívül az 1989-évi vízhozam-idősorban a hatodik tároló exponenciális kiürülési szakaszát is kijelöltük.

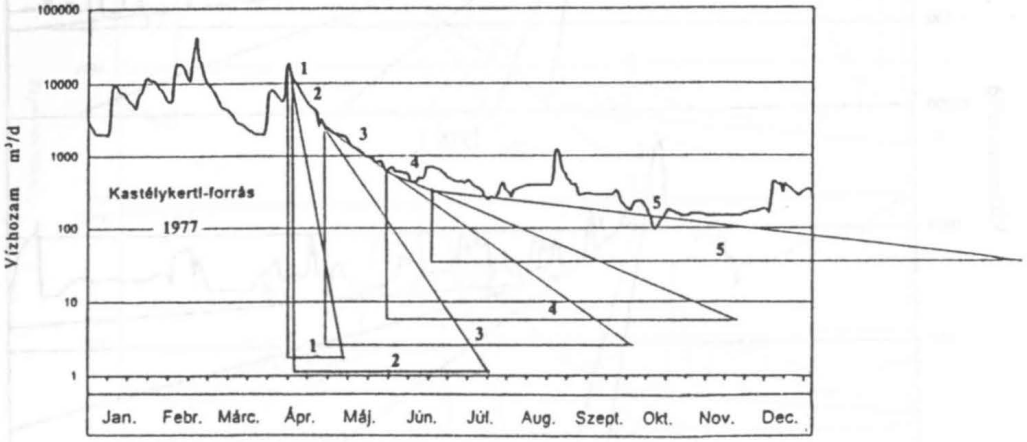
Mint láttuk, az 5. tároló exponenciális egyenesének megszerkesztése volt a legnehezebb feladat, mert szükségképpen hosszú időtartama alatt nem minden esetben lehetett elkerülni csapadékosabb időszakok, kiszáradási jelenségek, vagy a hozam regisztrálás technikai problémáiból adódó idősor ingadozás zavaró hatását. Fentiek következtében a szerkesztés során arra törekedtünk, hogy az 5. tároló egyenesének lejtése minden esetben az aktuális időszak hozam-csökkenésének fő tendenciáját fejezze ki.

2.2. Az exponenciális kiürülési egyenesek időállandóinak meghatározása

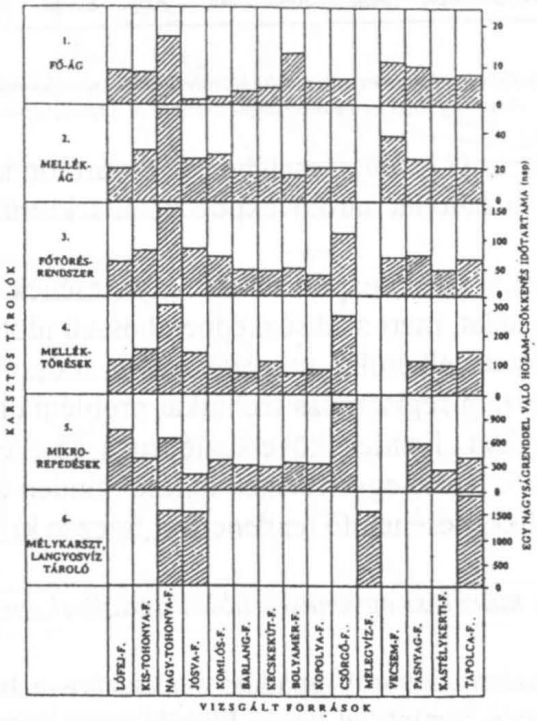
A forrásvízhozam idősorok apadási szakaszára a bevezetésben bemutatott exponenciális egyenlet hat tároló kiürülésének összegére is felírható az alábbiak szerint:

$$Q = \sum_{i=1}^{6} Q_{0i} * e^{-k_i(t-t_0)}$$

Ahol k_i az összegzett exponenciális egyenletek hat különböző időállandóját jelenti, amely a hat lehetséges tárolóból történő kiürülés különböző meredekségét fejezi ki. A t - t_0 időkülönbségek pedig az egyes tárolók kiürülésének belépési időpontjait jelöli a kezdeti vízhozam, vagyis az áradás tetőzésének időpontjához képest.



12. ábra: Az exponenciális kiürülési egyenesen meredekségének meghatározása
Fig. 12. Determination of steepness of exponencial lines



13. ábra: A vizsgált források kiürülési egyenesei meredekségének összehasonlítása
Fig 13. Comparing of exponential emptying lines steepness in case of studied springs

II.táblázat
Table II.

A vizsgált források exponenciális kiürülési egyenesei meredekségének értékei az egy nagyságrendnyi vízhozam csökkenés időtartamának figyelembevételével
Steepnes-values of exponential lines and times necessary to reduce the discharge with one order of magnitude

Vizsgált források	Vizsgált évek	1.		2.		3.		4.		5.		6.	
		Kimért	Átlag	Kimért	Átlag	Kimért	Átlag	Kimért	Átlag	Kimért	Átlag	Kimért	Átlag
		Időtartam (nap)											
Lófej-f.	1977 1972	9,6 6,5	8,1	18,4 17,3	18,0	56,0 52,2	54,1	113,9 98,9	106,4	785,1 770,9	778,0	-	-
Kis-Tohonya-f.	1977 1972	10,4 5,4	7,9	34,9 21,8	28,4	73,1 70,0	71,6	157,3 104,5	130,9	389,1 389,0	389,1	-	-
Nagy-Tohonya-f.	1977 1972	17,3 15,5	16,4	43,5 60,0	51,8	175,4 120,0	147,7	271,5 312,7	292,1	584,0 723,6	654,3	- 1505,5	1505,5
Jósva-f.	1977 1974	0,9 1,1	1,0	26,4 20,0	23,2	90,0 60,4	75,2	148,2 111,8	130,0	201,8 196,4	199,1	1456,4 1556,4	1506,4
Komlós-f.	1977 1972	2,4 1,8	2,1	20,4 26,9	23,7	65,8 56,4	61,1	130,1 114,9	122,5	342,2 392,7	367,5	-	-
Barlang-f.	1989 1982	4,2 2,7	3,5	16,3 16,0	16,2	31,7 49,0	40,4	91,1 142,9	117,0	238,2 364,5	301,4	-	-
Kecskekút-f.	1975 1974	3,1 5,5	4,3	15,8 20,5	18,2	38,0 48,2	43,1	116,7 96,4	106,6	351,8 283,6	317,7	-	-
Bolyamér-f.	1977 1981	8,5 17,1	12,8	14,9 16,7	15,8	39,3 48,2	43,8	127,3 108,7	118,0	- -	-	-	-
Kopolya-f.	1977 1979	4,2 4,9	4,6	16,7 20,0	18,4	29,6 37,3	33,5	87,8 68,9	78,4	332,7 311,5	322,1	-	-
Csörgő-f.	1977 1978	4,7 5,5	5,1	21,1 20,0	20,6	121,8 96,0	108,9	-	269,3	1483,6 670,5	1076,8	-	-
Melegvíz-f.	1977 1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1556,4 1553,3	1554,9
Vecsem-f.	1975 1979	10,9 10,5	10,7	37,8 36,4	37,1	68,4 61,8	65,1	-	-	-	-	-	-
Pasnyag-f.	1979 1972	16,2 3,6	9,9	36,0 16,0	26,0	72,7 70,0	71,4	86,9 121,8	104,4	215,5 557,3	598,9	-	-
Kastélykerti-f.	1977 1974	6,9 6,4	6,7	24,0 15,0	19,5	51,5 46,9	49,3	87,6 96,4	92,0	293,7 281,8	287,3	-	-
Tapolca-f.	1989 1975	10,5 5,1	7,8	20,4 18,7	19,6	59,1 60,1	59,6	124,2 165,5	144,9	374,2 609,1	491,7	1911,8	1911,8
Maximum: Minimum:	- - -	- - -	16,4 1,0 7,2	- - -	51,8 15,8 24,0	- - -	147,7 33,5 66,1		- - -	- - -	1076,8 199,1 458,3	- - -	1919,7 1505,5 1619,7

III. táblázat
Table III.

A vizsgált források exponenciális kiürülési egyeneseit leíró exponenciális függvények "k"- időállandói, mely értékek a kezdeti vízhozam "e"-ed részre való csökkenésének időtartamát mutatják meg
k-values of expoential equations giving the time-period (in days) necessary for the decrease to its 1/e part

Vizsgált források	1.	2.	3.	4.	5.	6.
	Időállandó (nap)					
Lófej-f.	2,20	4,89	14,71	28,92	211,48	-
Kis-Tohonya-f.	2,14	7,72	19,46	35,58	105,77	-
Nagy-Tohonya-f.	4,45	14,08	40,15	79,40	177,86	409,24
Jósva-f.	0,27	6,31	20,44	35,34	54,12	409,48
Komlós-f.	0,57	6,44	16,61	33,30	99,90	-
Barlang-f.	0,95	4,40	10,98	31,80	81,93	-
Kecskekút-f.	1,17	4,95	11,72	28,97	86,36	-
Bolyamér-f.	3,48	4,29	11,91	32,08	-	-
Kopolya-f.	1,25	5,00	9,11	21,31	87,56	-
Csörgő-f.	1,39	5,60	29,60	73,20	292,70	-
Melegvíz-f.	-	-	-	-	-	422,66
Vecsem-f.	2,90	10,08	17,70	-	-	-
Pasnyag-f.	2,69	7,07	19,41	28,38	162,80	-
Kastélykerti-f.	1,82	5,30	13,40	25,01	78,10	-
Tapolca-f.	2,12	5,33	16,20	39,39	133,66	519,68

A képletbe behelyettesíthető k_1 - k_6 időállandók értékét az alábbi módon kívánjuk előállítani. Megállapítjuk, hogy a kiürülési egyenesek mentén a vízhozam hány nap alatt csökken „*e*"-ed részére. Ezeket az értékeket tanulmányunkban két lépésben állítottuk elő. A forrás grafikonokon feltüntetett logaritmikus-léptékű nagyságrend-vonalak felhasználásával technikailag egyszerűbb volt először megszerkeszteni azokat az értékeket, amelyek megmutatják, hogy hány nap alatt csökken a forráshozam tized részére (*12.ábra*). Az időtartam meghatározás pontosítása érdekében a felhasznált diagramokon az adott lehetséges legkisebb értéket jelölő nagyságrendhez tartozó időtartamot mértük ki, majd a hasonló háromszögek elve alapján valamennyi kimért értéket átszámítottuk a keresett egy nagyságrendnyi hozam-csökkenéshez tartozó nap értékére. (Az abszcisszán a hónapok neve feletti beosztott vonal két tüskéje közötti időtartam 10 napot jelent)

A *II. táblázatban* feltüntettük valamennyi forrásnál talált kiürülési egyenesek két-két évi átlagértékeit és a források azonos eredetű kiürülési szakaszainak átlagos és szélső értékeit. A táblázat adatai alapján megállapítható, hogy az összes mért forrás tárolóinak 90 %-os kiürüléséhez mennyi idő szükséges. Ezekből az adatokból kiszámítható a tárolók teljes kiürülési idejének területi középértéke, amely az 1.- 6 tárolóban rendre 8 nap, 27 nap, 2,5 hónap, 7 hónap, 1,4 év és 4,9 év.

Végül a matematikai vizsgálatok céljára a *III. táblázatban* megadtuk az „*e*"-ed részre vonatkozó hozamcsökkenések időtartamát is napban, vagyis a *II táblázat* átlag értékei és a 10-es és az „e" értéke közötti osztó szám hányadosait számítottuk ki, ami az időállandók elméleti értékének felel meg.

A *II. táblázatban* a vizsgált források átlagértékeinek figyelembe vételével készült el a *13 ábra*, amelyen bemutatjuk, hogy a különböző tárolók kiürülésének meredeksége hogyan változik az egyes vizsgált források esetében.

3. Eredmények

A *3-10 ábra* figyelembe vételével megállapítjuk, hogy a középső triász mészkőben kialakult Aggteleki-karszton a nagyobb források apadási időszakában kivétel nélkül kimutatható a kiürülés exponenciális szakaszokból álló összetett jellege. Ez a tény arra mutat, hogy a Nagy-Tohonya-forrás vízhozam csökkenésében talált törvényszerűségen alapuló új fizikai karsztmodell jelenségei ténylegesen létező hidrológiai folyamatok. Valószínűnek tűnik, hogy más triász mészkőből felépült és hasonló klímájú közepes magasságú karsztterületen is lejátszódnak az Aggteleki-karszt forrásainak vízhozam változásában talált kiürülési törvényszerűségek.

A *13. ábrán* jó áttekintést kapunk a 15 vizsgált forrás hat különböző tárolójának kiürülési időtartamáról és annak eltéréseiről. Az ábra legfelső sorában a barlangi fő-ágak kiürülési értékeit ábrázoltuk Az alacsony oszlopok rövidebb-, a magas oszlopok hosszabb-időtartamú kiürülést jelentenek. A leggyorsabb kiürülés a Jósva-, a Komlós-, a teresztenyei Barlang-, ill. a Kecskekút-forrás vízrendszerében találhatók. A vizsgálat eredménye helyesen mutatja meg, hogy a legnagyobb méretű barlangi főágak a Baradla, a Béke-, ill. a Szabadság – barlangban alakultak ki. Új eredmény, hogy ide tartozik a Teresztenyei-barlang is. Kisebb tágasságú barlangi főágakat lehet feltételezni a közepes kiürülési időtartamok alapján a Kopolya-, Csörgő-Kastélykerti, Tapolca-, Kis-Tohonya-, és Lófej-forrásnál, melyek közül rövid szakaszon ismert a Kopolya- és a Csörgő-forrás barlangja, és a Vass Imre-barlang. Végül a leglassúbb kiürülést a Pasnyag-, valamint a Vecsem-, Bolyamér és a Nagy-Tohonya-forrás főágában, azaz a Meteor-, az Eötvös-, és Kossuth-barlangban találtuk. Ez utóbbi eredmények reálisnak mondhatók, ha figyelembe vesszük, hogy az Alsóhegy felszínén nemkarsztos vízgyűjtő terület nem tudott tartósan kialakulni. A Kossuth-barlangban pedig a nagyméretű főág akkor alakult ki, amikor a barlangot magában foglaló kőzet-blokk még nem emelkedett ki olyan mértékben, hogy a barlangi vízfolyás az alsó triász korú agyagpalás mészkő jelenlegi szűk járataiba kényszerüljön (lásd a mai szifonos végpontot).

Barlangi mellékágak tekintetében a Bolyamér-, Kecskekút-, és a teresztenyei-Barlang-forrásnál találtuk a leggyorsabb kiürülést. Közepesen gyors a kiürülés a Lófej-, Kopolya, Csörgő-, Kastélykerti-, és a Tapolca-forrás esetében. A viszonylag leglassúbb értékeket a Jósva-, Pasnyag-, Komlós-, Kis-Tohonya-, és a Nagy-Tohonya-forrás rendszerében találtuk. A nem várt eredmény az új karsztmodell leírásából következik Egyrészt figyelembe kell venni, hogy nemcsak a legnagyobb, hanem a legszűkebb barlangi mellékágak is részt vesznek a kiürülésben. Másrészt a hegység egyes kőzetblokkjainak kiemelkedése következtében az utóbb említett források rendszerében a kiürülés időtartamát az alsóbarlangokban kialakult fejletlen mellékágak szűkebb keresztmetszeti mérete szabja meg.

A 3. 4 és az 5. tárolóra, vagyis a főtörés-rendszerre, az elemi blokkok mellék-töréseire és a mikro-repedés rendszerre olyan eredményt kaptunk, hogy a leglassúbb kiürülés a Nagy-Tohonya- és a Csörgő-forrás rendszerében fordul elő. Ez az eredmény megerősíti azt a tényt, hogy e források vízgyűjtő-területén találhatók a legnagyobb dolomit előfordulások

4. Összegzés

Az Aggteleki-karsztvidéken fakadó Nagy-Tohonya-forrás 1970 évi apadási idősorában talált öt exponenciális szakaszban történő egyre lassúbb kiürülés jelenségének első megfigyelése (*CSER F. 1978)* meglepetést okozott a szakemberek körében. A jelenség okainak későbbi felismerése betekintést engedett a triász korú mészkő karszt valóságos szerkezeti felépítésébe és tényleges hidrológiai működésének mechanizmusába. Fény derült arra, hogy logaritmikus léptékű hozam-ábrázolás esetén az exponenciális egyenesekből álló öt oldalú kiürülési poligon csak úgy alakulhat ki, ha a karsztban a források utánpótlását szintén öt, csökkenő keresztmetszetű tároló kifolyása egymást kizáró módon hozza létre. Néhány hegylábnál fakadó forrásnál azt is megfigyeltük, hogy a hidegvizű tárolók kiürülésének végén megjelenik a langyos vizű 6. tároló, vagyis a mélykarszt kiürülésének egyenese is.

E különös jelenség vizsgálata új, fizikai karsztmodell kialakítására vezetett. E szerint a kimutatott öt tárolót a kiürülés sorrendjében a függőleges főtörés-hálózatban kialakult barlangi fő-ág, a fő-ág mellék-ágai, maga a főtörés-háló, valamint az azok által közbezárt elemi-kőzetblokkok melléktörései és mikro-repedezettsége képviselik. Kiderült, hogy a barlangi főágban történő áradás (a felszíni folyók áradásához hasonlóan) visszaduzzasztással gátolja a barlangi-mellékágak kifolyását. Ilyen kizárási effektus - a tágabbtól a szűkebb járatok felé haladás elve alapján. - az összes többi tároló között is létrejön.

A vizsgált karsztforrások vízhozamának sokévi regisztrálása és gépi adatfeldolgozása után most először nyílt lehetőség arra, hogy e tanulmányban ellenőrizzük a fenti jelenség érvényességét a hegység teljes területére. A több szakaszban történő kiürülést minden nagyobb karsztforrásnál megtaláltuk. Valószínű, hogy a jelenség más, hasonló klímájú és magasságú triászkarszton is kimutatható. A vizsgált források tárolóinak átlagos kiürülési időtartamát is meghatároztuk. Az azonos tárolók kiürülési időtartamát összehasonlítva arra az eredményre jutottunk, hogy e vizsgálatok segítségével megállapítható az egyes forrásokhoz tartozó barlangi főágak tágassági sorrendje és következtetni lehet a források vízgyűjtő területének mészköves, vagy részben dolomitos felépítésére is.

IRODALOM

BOULLIN, O.-FLANDRIN, J.-FORKASIEWICZ, J.-PALOC H.-POITRINAL, D.(1973): Contribution a la coanisance hidrodinamique d'un réservoir

aquifére calcaire d' aprés l'exemple fourni par la Fointaina de Vaucluse. - Texte présenté au 2 eme Coll. Int.sur les Eeaux Suteraines. Palerme. (Italie).
CSER F. (1978): The analitical Determination of stored Water of karstic Springs. - Nemzk. Karszthidr. Szimp. közl. Budapest. p. 129 - 140.
IZÁPY G.-MAUCHA L. (1993): The discharge-quality relationship interpreted for karst springs by a new karstmodel. - Bulletin de la Societé Geographique de Liege. p.53 - 60.
IZÁPY G.-MAUCHA L. (1994): Hydrochemistry of the karst springs in the Jósvafő region. Karst and Cave Research in Hungary. - Az 1992-évi jósvafői karszt-konf. közl. MKBT kiadv. Budapest. p. 91 - 100.
KOVÁCS GY. (1979): Töredezett repedéses kőzetek szivárgási tényezője és áteresztőképessége. - VITUKI Közl. 10. Budapest.
MAUCHA L. (1978): Jósvafő környéki karsztforrások kiürülési folyamatának vizsgálata. - Nemzk. Karszthidr. Szimp. közl. Budapest. p. 174 - 186.
MAUCHA L. (1998): Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai. - Könyv. VITUKI.RT. kiadv. az OTKA támogatásával, 417 p.
MAUCHA G. (1993): Szabadfelszínű nyílt karsztok kiürülési viszonyainak modellezése. – Szakdolgozat, Kézirat, ELTE Geofizikai Tanszékének könyvtára. Budapest.