

**A CSAPADÉK-HATÁS MECHANIZMUSA  
AZ AGGTELEKI-KARSZTVIDÉKEN FAKADÓ FORRÁSOK  
NAPI HOZAMÁNAK KIALAKULÁSÁBAN**

MAUCHA LÁSZLÓ – NÉMETH ZOLTÁN

VITUKI Kht.1095. Budapest, Kvassay Jenő út 1.  
maucha@vituki.hu nzp@vipmail.hu

*Abstract: An attempt has been made at simulating, starting from the rainfall data and in the knowledge of the infiltration-, saturation, and depletion conditions, by means of the rainfall-impact indicator values, the one year discharge time series of on the monitored karst springs at Jóasvafő. The study was aimed at gaining more detailed information the rainfall-impact mechanism. Comparison of the recorded and simulated time series has revealed that the water content of two rainfalls (of snowmelt) of over 40 mm within twenty days is superimposed on each other. In the winter half year both rainfall groups, while in the summer of the network of fine fissures is essential. Thus for more accurate simulation, estimation of the daily rainfall-impact indicator values is alone in adequate. By identify the above super-saturation conditions the superimposement of the water content of major rainfall groups must also be taken into account therefrom that. It is concluded there from that there exist the possibility of simulating the annual discharge time series of any karst spring over an unregistered period of time, providing that the discharge has been registered earlier at last for one year.*

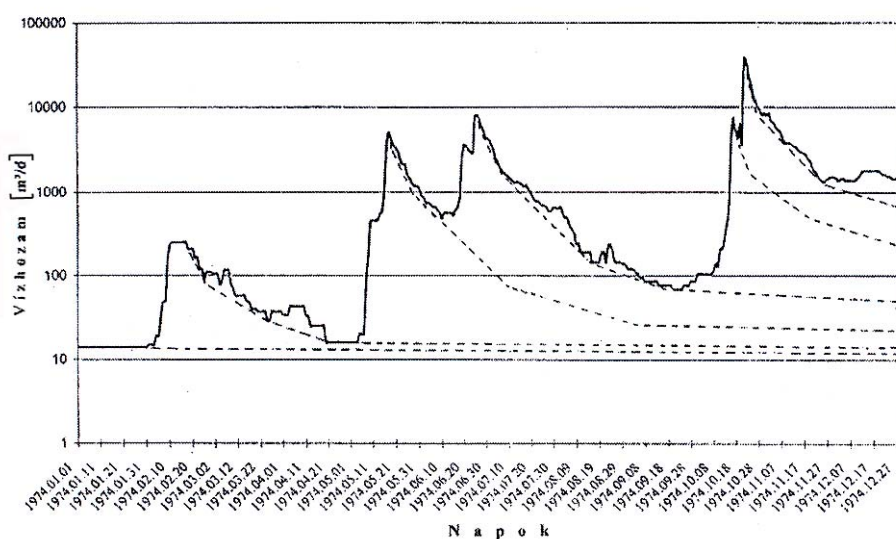
## **I. Bevezetés**

A csapadék-hatás a karsztforrások vízhozam-változásában az utánpótlást és a legnagyobb ingadozást létrehozó természeti-tényező, mégis sokáig nem ismertük, hogy milyen a csapadék-hatás valódi mechanizmusa a napi átlagos vízhozam kialakításában. 1965-ben kezdődött el a Jósvafői Kutató Állomás környékén fakadó források folyamatos vízhozam regisztrálása. 1972-ben az áradások vízhozam-idősorának több évi vizsgálata után világossá vált, hogy egy-egy, még azonos víztartalmú csapadék-sorozat hatására is nagyon különböző nagyságú áradások jöhetnek létre.

A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy az áradások időtartama felfutástól-lecsengésig átlagosan mintegy két hónap. E megfigyelés nyomán vált ismeretessé, hogy bármely nap átlagos vízhozama az alaphozamon felül az előtte lévő két hónapban lehullott csapadékok által okozott és különböző mértékben lecsengett árhullámok egymásra halmozódásából tevődik össze (1. ábra).

Korábbi vizsgálatok nyomán akkor már ismert volt, hogy a lehullott csapadékösszegek különböző hónapokban eltérő százalékban szivárognak be a karsztba. A beszivárgás mértéke az évszakok változásának megfelelően a vegetáció változó vízigényétől és a párolgás nagyságától is függ

(KESSLER 1954, KESSLER 1956). Sejthető volt az is, hogy a beszivárgás mértékét ezen kívül a karszt mindenkori telítettsége is befolyásolja. Csak később értettük meg, hogy még egy további tényező is szerepet játszik a napi forrás-hozam kialakításában. Ez a hatás pedig az a folyamat, melynek során minden egyes árhullám esetében a tetőzés időpontja és a vizsgált nap közötti időkülönbség, valamint a tanulmányozott forrás kiürülési üteme határozza meg, hogy a maximális hozam-érték a vizsgált napig annak hány százalékára csökken.



l. ábra: A napi vízhozam kialakulása az alaphozam és az áradások egymásra halmozódásával a jósvafői Kis-Tohonya-forrás 1974.évi vízhozam-idősorában  
 Fig. 1: Daily flow as superimposition of the base flow and the spates as revealed in the 1974 discharge time series of the Kis-Tohonya Spring at Jósvafő

## 2. Az 1972. évi vizsgálatok eredménye

1972-ben a már hét éve folyamatosan regisztrált Nagy-Tohonya-forrás vízhozamváltozásaiban szerepet játszó csapadék-hatás mechanizmusát szerttük volna megismerni. Egy-egy vizsgált nap átlagos vízhozamának nagyságát a bevezetőben leírt hatótényezők vizsgálata alapján kívántuk meghatározni.

A csapadékhatás-mutató érték kiszámításához szükséges képletet az alábbiak szerint határoztuk meg:

$$Cs_{hm} = \sum_{i=1}^n Cs_i B_i T_i K_i \text{ [mm]}$$

ahol  $Cs_{hm}$  : az egymás után következő napok csapadékhatás-mutató értéke [mm],

$Cs$  : a kijelölt csapadék-csoportok összege [mm],

$B$  : a sokévi átlagos havi beszivárgási-százalék értéke [%],

$T$  : a karszttelítettség sokévi havi átlagtól való eltérése [%],

$K$  : kiürülési tényező, amely megmutatja, hogy a csapadék-csoport által keltett árhullám vízhozama a tetőzéstől a vizsgált napig annak hány százalékára csökken [%].

A csapadékhatás-mutató értékek kiszámítását az alábbi módon végeztük el:

1. A vizsgált nap előtti két hónap során a legtöbb esetben 3-8 napos időjárási frontokkal érkező csapadékok több napos sorozatát csapadék-csoportoknak neveztük el. 3 mm-nél kisebb, — egy, vagy több napos — csapadékösszegeket nem vettünk figyelembe. (Az egy napos „*csoportokat*” a nyári időszakban gyakran 3-mm-nél nagyobb összegű záporosók okozták). Önálló csapadék-csoportnak tekintettük azokat a sorozatokat, amelyek között legalább 2 nap, vagy annál hosszabb szünet volt. Az egyes csapadék-csoportok összegét és hatás-napját minden esetben a legnagyobb csapadék napjára vonatkoztattuk. A téli félévekben a negatív átlaghőmérsékletű napokon hulló csapadékot (havazás) zérus értéknek vettük fel. Ezzel szemben a téli időszakban — nullánál nagyobb napi átlaghőmérséklet esetén — csapadéknak tekintettük a hóolvadást is, ha a napi hó-vastagság és hó-víztartalom mérés figyelembe vételével a hó víztartalma egyik napról a másikra csökkent. Hó-víztartalom mérés hiánya esetén a hó vastagság csökkenését cm-ként 1 mm-es csapadéknak becsültük. A hóolvadási adatokat önállóan, vagy az aznapi eső mennyiségével összeadva vettük számításba. Elkészítettük a fenti módon meghatározott csapadék-csoportok táblázatát (*I. táblázat*).

2. A vizsgált két hónapi időszakra az egyes csapadék-csoportok összegét a havi beszivárgási százalék értékének megfelelő tizedes tört értékével szoroztuk meg. A fenti időszakban a havi beszivárgási százalék adatait Kessler Hubert havi beszivárgási görbéje alapján vettük figyelembe (*KESSLER 1956*).

I. táblázat

Table 1.

A vizsgált csapadék-csoportok beszivárgással, karsztelítettséggel és szuper-telítettségi korrekcióval módosított értékei  
 Data of the rainfall-groups considered, modified with the infiltration and karst saturation percentages, further with the super-saturation correction factors

	Nap	1976		1977											
		11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Eredeti csapadék-csoport értékek [mm]			61,0						23,4						
							5,1			61,0			15,5		
	5.														
		7,0	23,7												
							49,8			82,0		4,8			
	10.			68,8	75,9								7,8		
						10,7			21,1		63,2				
	15.							29,7						10,1	
		37,8													
												31,0			
	20.								21,9		21,7				
					38,5									9,0	
		4,9													
	25.										8,3			9,6	
								10,6		12,9					
										6,1					
			23,5												
30.						40,8									
Beszivárgási-százalékkal módosított értékek [mm]			40,9						5,6						
							6,1			4,9			0,9		
	5.														
		1,2	15,8												
							59,8			6,6		0,8			
	10.												2,6		
				23,3	110,1										
						10,0									
									5,1		5,1				
	15.							9,8					0,6		
		6,4													
												5,0			

Nap	1976					1977								
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.							7,2			1,7				
				55,8									0,5	
25.	0,8													
						12,7		3,1	0,7				0,6	
			8,0							0,5				
30.					37,9									
		61,4						11,2						
						11,3				9,6			1,5	
5.														
	1,7	23,7												
							111,2		13,2		1,5			
10.				185,0								4,6		
		37,0												
					17,7			10,2	9,9					
15.							19,1						1,0	
	9,1													
										9,3				
20.							14,0			3,3				
				93,7										
													0,8	
25.	1,1													
									1,4				1,0	
						23,6		6,2						
										1,0				
30.			12,7											
					67,1									
		61,4												
							11,3						1,5	
5.														
	1,7	23,7												
10.							190,1		82,0		1,5			
				185,0									4,6	
		37,0												

Szuper telítettségi korrekciós értékek  
[mm]

Nap	1976					1977								
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
					17,7			10,2		20,9				
15.							19,1						1,0	
	9,1													
											9,3			
20.							14,0			3,3				
				278,7										
													0,8	
25.	1,1													
													1,0	
						23,6		6,2						
										1,0				
30.			12,7											
					67,1									

Megjegyzés:

**190,1** = szuper telítettségi korrekciós értékek [mm]

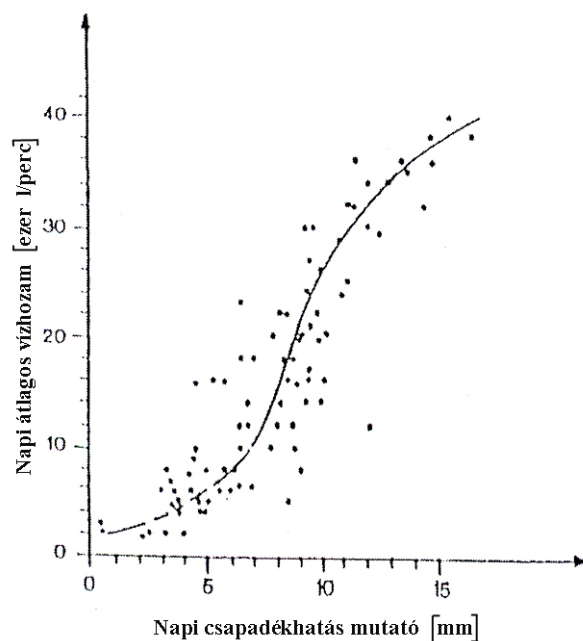
Notice:

**190,1** = Super-saturation correction factors [mm]

3. A karszttelítettségi tényezőt minden egyes csapadék-csoport esetében a megelőző 8 hónap csapadékösszege és az ugyanerre az időszakra eső sokévi átlagos csapadékösszeg százalékos eltéréséből kalkuláltuk. A százalékos eltérésnek megfelelő tizedes törttel szorozva minden egyes csapadék-csoport összegét megnöveltük, vagy csökkentettük — attól függően, hogy az adott 8 hónap folyamán milyen volt a csapadékosság mértéke. A nyolc hónapos időszak figyelembe vételére azért került sor, mert Kessler Hubert az akkor ismert egyetlen létező beszivárgás-számítási módszerében szintén a 8 téli hónap alapján (a tárgyévi első négyhavi csapadékösszeg felhasználásával és az azt megelőző év utolsó négyhavi csapadékösszegének korrekcióba vételével) számította ki az évi beszivárgási százalék értékét.

4. A legnehezebb feladat a kiürülési-tényező minden egyes csapadék-csoporthoz tartozó értékének meghatározása volt. A csapadékhatás-mutató értékeinek kiszámítása során az árvíz-keltő csapadék-csoportokkal helyettesítettük a forrás áradásait. Alapul véve a Nagy-Tohonya-forrás vízhozamának 1970. évi őszi kiürülési szakaszát; az árvíz csúcsok és a vizsgált nap közötti időtartam meghatározása után, a kiürülési görbén kijelöltük a vizsgált csapadékcsoport által keltett (becsült) maximális vízhozam értékét. Ezt követően megnéztük, hogy a vizsgált napig terjedő időtartam végéig hány százalékra csökkent a forrás csapadék-csoporttal helyettesített vízhozama. Ennek a százalék-értéknek megfelelő tizedes törttel szoroztuk meg a vizsgált csapadék-csoportok összegét.

1972-ben számítógép még nem állt rendelkezésünkre a csapadékhatás-mutató idősorok kiszámítására. Ezért ezt az összetett számítást akkor nem tudtuk minden napra, — egy, vagy több év időtartamra — elvégezni; mert minden egyes nap előtti két hónapra vonatkozóan 2-7 előzetes áradás három tényezővel javított értékeit kellett volna összegezni. A vizsgálatot leegyszerűsítve ezért a Nagy-Tohonya-forrás 1965-1969. évi, öt éves mérési időszakára olyan módon végeztük el, hogy március elejétől október végéig csak 80 különböző időpontra határoztuk meg a mért napi hozamok és a fenti módon számított csapadék-hatásmutatók értékpárjait. Csak a nyári hónapokra tudtuk elvégezni a számítást, mert a vizsgált időszakra vonatkozóan akkor még nem állt rendelkezésünkre a Jósmafői Kutató Állomáson mért hó-adatok rendezett gyűjteménye sem.



2. ábra: Kapcsolat a napi átlagos vízhozam és a napi csapadékhatás-mutató értékek között a Jósmafőn mért csapadék összegek és a Nagy-Tohonya-forrás 1965-1969-évi napi átlagos vízhozam adatainak feldolgozásával  
 Fig. 2: Correlation between the daily average discharge and the daily rainfall-impact indicator values demonstrated by processing the rain data of the Jósmafő gauge and the 1965-1969 daily average discharge data of the Nagy-Tohonya Spring

A kapott eredményt a 2. ábrán tüntettük fel (MAUCHA 1998). Jól látható, hogy a mért vízhozam és a napi csapadékhatás-mutató értékek közötti kapcsolat 25.000 l/min nagyságú forráshozamig parabolikus jellegű összefüggést mutatott. Az ennél nagyobb forráshozam értéknél a kapott össze-

függés görbéje azért csökken le a nagyobb hatásmutató értékek irányába, mivel az áradásokat okozó nagyobb csapadékok egy része felszíni lefolyás következtében már nem jut el a forráshoz.

A kapott összefüggés elvileg lehetővé teszi, hogy a Nagy-Tohonya-forrás bármely évének napi átlagos vízhozam-idősorát a napi csapadék hatásmutató értékek kiszámításával és a kapott kapcsolat segítségével állítsuk elő. Erre azonban 1972-ben számítógép hiányában még szintén nem volt lehetőség. Ezen kívül a téli adatok hiányában és a csapadék-hatás mechanizmusát befolyásoló tényezőknek csak részleges ismeretében valószínűleg csak közelítő hozam-idősorokat kaptunk volna eredményül.

### **3. Az évi forráshozam-idősor szimulálása a napi csapadékhatás-mutató értékek felhasználásával**

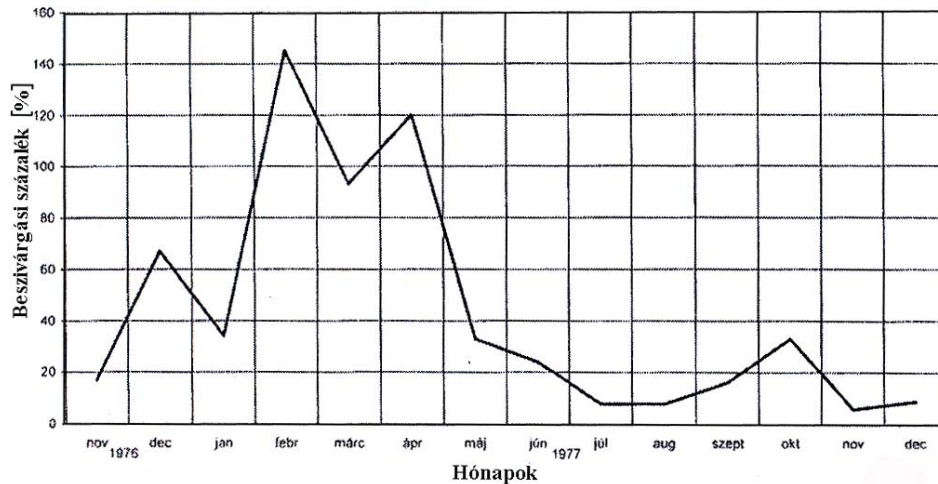
Ebben a tanulmányban — a felsorolt problémák következtében és a jelenlegi számítógépes programozási lehetőségek birtokában — kísérletet teszünk arra, hogy az alcímben közölt feladatot megoldjuk.

Tervbe vettük, hogy az 1972. évi elgondolásokat felülvizsgálva és a legújabb ismereteket ill. módszereket alkalmazva, a csapadékhatás-mutató értékek meghatározásával a jósmafői Kis-Tohonya-forrás 1977. évi vízhozam-idősorát fogjuk szimulálni. Azért esett választásunk erre a forrásra, mert nem szivornyás forrás és így a nem csapadék eredetű hozam-ingadozások sem zavarhatják a munka elvégzését, mint ahogy pl. a Nagy-Tohonya-forrás esetében ez előfordult. Másrészt 1977-ben a forrás vízhozam-idősorát folyamatosan regisztráltuk. Ezen kívül a vizsgálatra olyan évet választottunk ki, amelyben sok áradás volt. Fentiek következtében remélhető volt, hogy az első kísérlet eredménye alapján lehetőség lesz arra, hogy részletesebben megismerjük a csapadékhatás valódi mechanizmusát. Arra a kérdésre keressük tehát a választ, hogy az évi csapadékok hatására hogyan reagál a karszt a források vízhozam-változásának létrehozása során, vagyis milyen a csapadékhatás tényleges mechanizmusa?

A vizsgálatot az 1972. évben kialakított szempontok szerint, az előző fejezetben bemutatott képlet figyelembe vételével végeztük el. A munka elvégzéséhez szükséges adatokat a Kutató Állomás adatgyűjteményét és kutatási eredményeit tartalmazó VITUKI kiadványból vettük át (MAUCHA 1998). A csapadék-csoportokat is ugyanolyan módon jelöltük ki, mint korábban. Az 1977. évi csapadékhatás-mutató értékek meghatározásához azonban szükség volt az 1976. év utolsó két hónapjának csapadék, valamint a már említett kiegészítő meteorológiai adataira is (eső, hóvastagság, hóvíztartalom, napi átlagos léghőmérséklet, stb), mivel az 1977. évi első két



hónap minden egyes napjára vonatkozó csapadékhatás-mutató értékek létrehozásában az előző év két utolsó hónapjában lehullott csapadék-csoportok víztartalma is szerepet játszott.



3. ábra: A havi beszivárgási százalék változása a Kis-Tohonya-forrás vízgyűjtő területén (1976 nov. 1 - 1977 dec. 31)

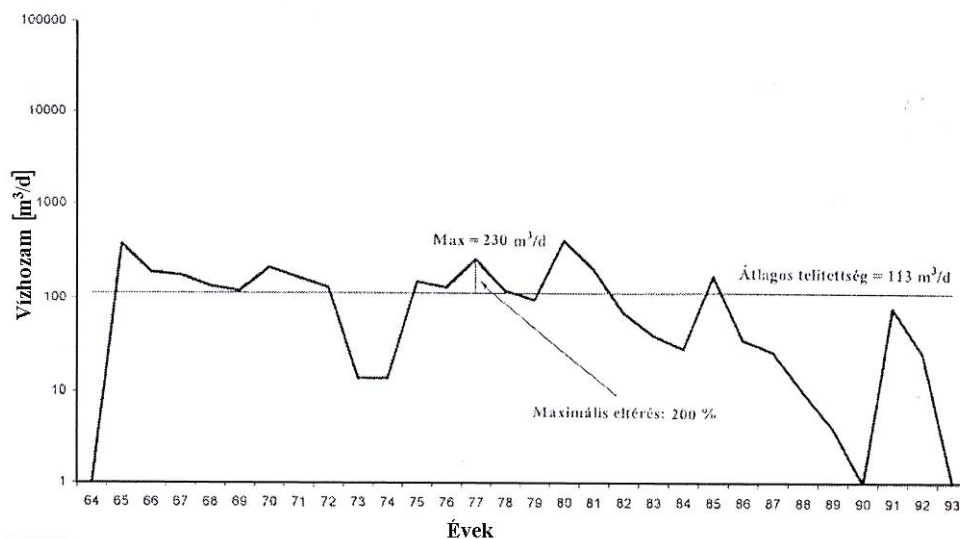
Fig. 3: Variation of the monthly infiltration percentage in the catchment area of the Kis-Tohonya Spring (1.11.1976 - 31.12.1977.)

A beszivárgási tényezőt az — 1972. évtől eltérően — nem Kessler Hubert havi beszivárgási-görbéje szerint vettük figyelembe, mivel Ő azt a görbét a mecseki Tettye-forrás 22 éves vízhozammérési eredményeinek és a Misina-tető csapadék-adatainak alapján szerkesztette meg. A korábitól eltérő eljárásra azért volt szükség, mivel a Kis-Tohonya-forrás 1977. évi hidrológiai adatait a csapadékhatás mechanizmusának vizsgálatára kívántuk felhasználni. Ehhez pedig az adott év helyi adataira volt szükség. A Kutató Állomás mérési eredményeit tartalmazó, már idézett könyvben rendelkezésünkre álltak a forrás havi átlagos vízhozamai, valamint a havi csapadékösszeg adatai is. Ezért az 1976. november 1. és 1977. december 31. napja közötti időszakban minden hónapra kiszámítottuk a beszivárgási százalék értékét (3. ábra, II. táblázat). A havi vízhozam összeg (a havi átlagos vízhozam szorozva a hónapban lévő napok számával) és a havi csapadékösszegek vízgyűjtő területtel szorzott értékeinek hányadosa 100-al szorozva ugyanis bármely mért forrás esetében megadják a havi beszivárgási százalék értékét (3. ábra). Ennek megfelelő tizedes törtekkel szoroztuk meg a kijelölt csapadék-csoport összegeket.

II. táblázat  
Table II.

A felhasznált havi beszivárgási- és karsztelítettségi tényezők értékei 1976 november 1-től 1977 december 31-ig  
Monthly infiltration and karstic saturation percentages over the 1<sup>st</sup> November, 1976-31<sup>st</sup> December, 1977 period

Évek:	1976		1977											
Hónapok:	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A havi beszivárgás [%]	17	67	34	145	93	120	33	24	8	8	16	33	6	9
A havi karsztelítettség százalékos eltérése a sokévi átlagtól [%]	142	150	159	168	177	186	195	200	200	195	186	177	168	159

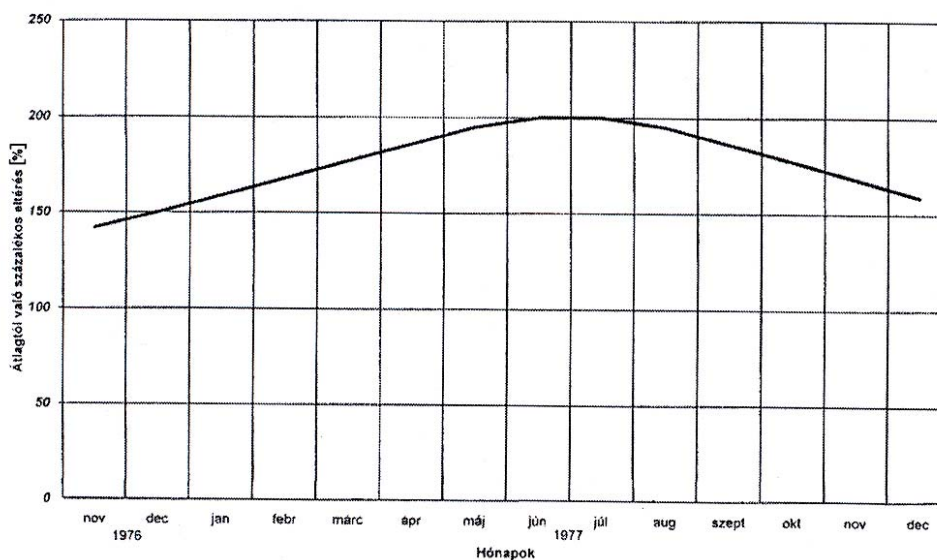


4. ábra: A karsztelítettség változásának átlagtól való eltérése a KisTohonya-forrás sokévi minimális vízhozamának időszora alapján.

Fig. 4: Differences from the mean of the variation of karst saturation, based on the long time series of lowest discharge of the Kis-Tohonya - Spring

A karsztelítettségi tényező meghatározása során is eltértünk az 1972 évi számítási-módszertől. Időközben ugyanis vizsgálataink feltárták a karsztelítettség jelenségének lényegét (MAUCHA 2005), vagyis azt a tényt, hogy a karsztos kőzet fő törés-hálózatának közbezárt blokkjaiban található szűk járatrendszerek vízzel való kitöltöttségének mértéke adja meg a min-

denkori karsztelítettség értékét. Mivel az új karsztmodell értelmében karsztforrások minimális vízhozama ezeknek a közbezárt blokkoknak a kiürüléséből származik (IZÁPY – MAUCHA 2003), ezért a Kis-Tohonya-forrás minimális vízhozamának 1964-1993. évi időszora (4. ábra) megmutatja, hogy 1977. évben az átlagosnál kétszer nagyobb volt a karszt maximális telítettsége, mint sokévi átlagban. A vizsgált 1976. év-végi és az 1977. évi telítettség hónapokra lebontott értékeit az 5. ábrán és a II. táblázatban mutatjuk be. Ilyen módon a havi karsztelítettség sokévi átlagtól való eltéréseinek százalékos értékeit tekintettük karsztelítettségi tényezőnek. E százalékok (II. táblázat) tizedes törttel kifejezett értékeivel szoroztuk meg a megfelelő hónapban talált, beszivárgott csapadék-csoport összegeket.

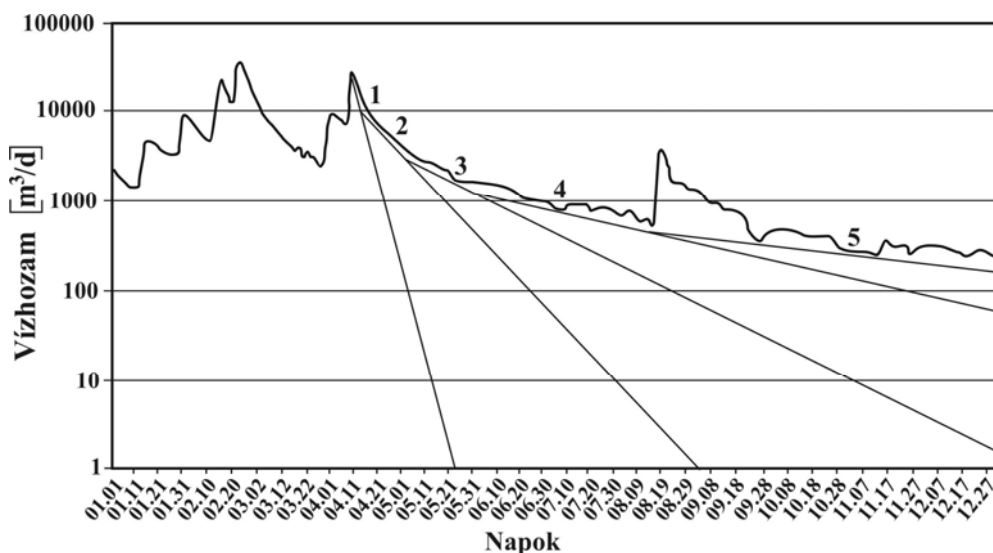


5. ábra: A karsztelítettség havonkénti változása a Kis-Tohonya-forrás vízgyűjtő területén (1976 nov. 1 – 1977 dec.31).

Fig. 5: Monthly variation of karst saturation in the of the catchment area of the Kis-Tohonya-Spring (1.11.1976. – 31.12.1977.)

Végül a Kis-Tohonya-forrás 1977. évre vonatkozó napi csapadékhatás-mutató értékeinek kiszámításához még szükség volt arra is, hogy meghatározzuk az egyes csapadék-csoport összegek által keltett áradások kiürülési tényezőjét is. A korábbi vizsgálattól eltérően a tényező meghatározására a Nagy-Tohonya-forrás kiürülése helyett most a Kis-Tohonya-forrás 1977. évi vízhozam idősorának április-december közötti kiürülési szakaszát vettük figyelembe (6. ábra). Az ábrán megszerkesztettük a töréspontokkal rendelkező kiürülési poligont (CSER 1978, IZÁPY-MAUCHA 1993, MAUCHA

1998, MAUCHA 2002). (A jobb áttekinthetőség érdekében a töréspontok után folytatódó egyeneseket is feltüntettük az ábrán, hiszen a töréspontoknál nem ér véget egy-egy rendszer teljes kiürülése). A kiürülési-poligon szakaszoként változó csökkenési trendje alapján állítottuk össze a *III. táblázatban* található adatsort. A számítógépes program elkészítése során az áradások tetőzése és a vizsgált nap között eltelt idő figyelembe vételével kerestük ki az eltelt időtartamhoz tartozó kiürülési-tényező értékeket, amelyek megmutatják, hogy a vizsgált napig a csapadék-csoportok hatás-napján keltett árhullám-maximumok vízhozama hány százaléka csökkent. A kapott százaléértékeknek megfelelő tizedes tört értékeivel szoroztuk meg a korábbi módosításokkal már korrigált csapadék-csoport értékeket a program elkészítése során.



6. ábra: A kiürülési tényező százalékos értékének meghatározásához szükséges kiürülési poligon a Kis-Tohonya-forrás 1977. évi vízhozam idősorában  
 Fig. 6: Depletion polygon needed for determining the percentage value of the depletion coefficient, identified on the 1977 discharge time series of the Kis-Tohonya-Spring

A fenti műveletek elvégzése után az 1977. év minden egyes napjára kiszámítottuk a csapadékhatás-mutató értékét. A számítást az 1972. évi képlet felhasználásával végeztük el. Ez annyit jelent, hogy napról-napra, — egy nappal eltolt előzetes kéthavi időszakra — meghatároztuk az árkeltő csapadék-csoportokkal szimulált áradások beszivárgási, karsztelítettségi és kiürülési tényezővel módosított értékeit, majd a kapott értékeket összegeztük.

III. táblázat  
Table III.

A különböző nagyságú áradást keltő csapadékok kiürülési tényezőinek százalékos értékei  
Five-day percentage of the depletion coefficient of rainfall groups of different magnitude

Kiürülés a vizsgált napig		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	nap
Áradást keltő csapadékok [mm]	Kiürülési poligon oldal száma	1		2			3					4			
	Nagyon nagy 80-100	100	46	30	26	15	11	9	8	7	6	5	5	4	%
	Kiürülési poligon oldal száma	2				3					4				
	Nagy 60-80	100	62	39	26	22	18	16	13	11	10	9	8	8	%
	Kiürülési poligon oldal száma	3						4							
	Közepes 40-60	100	74	61	53	42	37	33	30	28	26	24	23	21	%
	Kiürülési poligon oldal száma	4													
	Kicsi 20-40	100	82	70	68	63	59	56	52	49	45	42	39	26	%
	Kiürülési poligon oldal száma	5													
	Nagyon kicsi 0-20	100	96	94	92	88	84	82	80	76	74	72	70	68	%

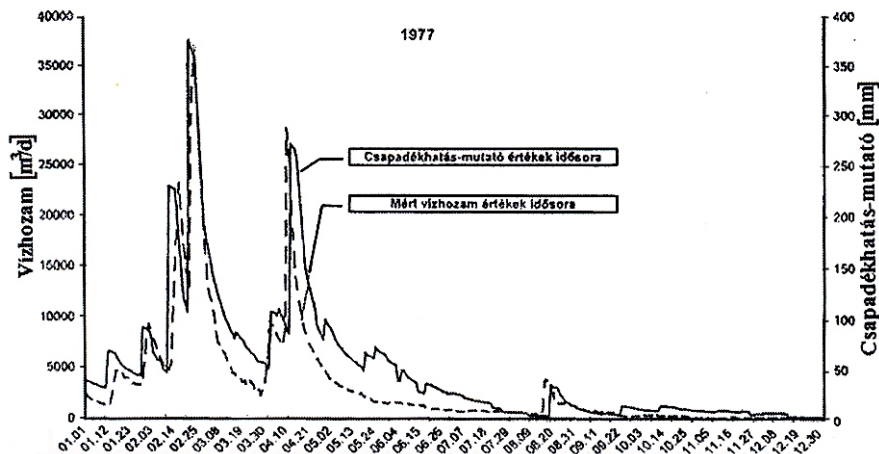
Ezután a csapadékhatás-mutató értékek idősorát összehasonlítottuk a Kis-Tohonya-forrás 1977 évi mért vízhozam-idősorával. Ahhoz nagyon hasonló görbét nyertünk, de a szimulált-idősor az év első négy hónapjában és augusztus hónapban is jóval kisebb amplitúdójú áradásokat mutatott, mint a ténylegesen megvalósult forráshozam-idősor.

Az eredeti csapadék-csoport összegek alapján megállapítottuk, hogy három rendkívül csapadékos időszak esetében alakult ki a fenti eltérés a valóságtól. Ennek a ténynek a felismerése nyomán arra lehetett következtetni, hogy 20 napon belül egymásra következő — legalább két, 40 mm-t megközelítő, vagy annál nagyobb csapadékösszeg esetén — a második csoport-hoz hozzá kell adni az előző csapadék-csoport hasonló értékét és még a kisebb csoportok összegét is. Erre azért van szükség, mert ha az előző csapadék-csoportok telítik a karszt szűkebb érhálózatát, akkor a második nagyobb csapadék-csoport víztartalma veszteség nélkül képes eljutni a forráshoz. A téli félévben, illetve az augusztusi időszakban azt a lényeges különbséget mutattuk ki, hogy az első esetben a még eleve telített karsztban az első csapadék-csoport okoz még áradást is a telítésen kívül, a második, azaz a nyári időszakban az első csapadék-csoportok viszont csak telítik a karsztot a nagyon nagy felszíni párolgás következtében. Fentiek miatt tehát csak akkor kaptunk helyes szimulációs idősort, ha a kora tavaszi időszakban a második csapadék-csoport-hoz hozzáadott csapadék-csoport értékeket megtartjuk, nyáron pedig ugyanezeket az értékeket zérusnak tekintjük.

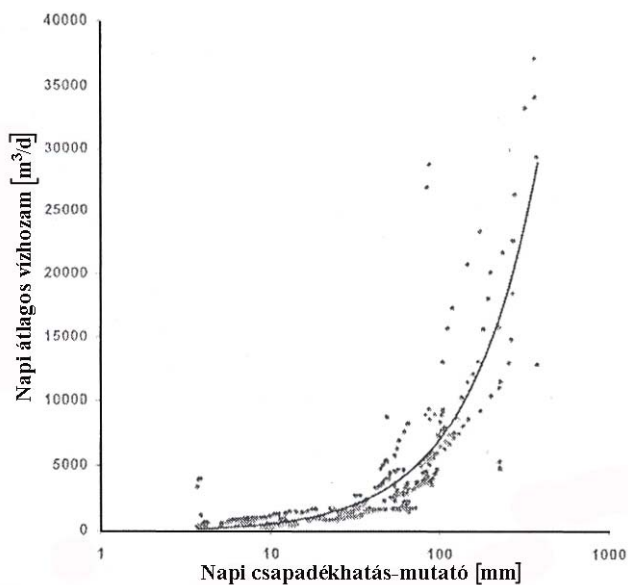
Végeredményben tehát arra az új eredményre jutottunk, hogy csapadékhatás valódi mechanizmusának felismerése után igen jól lehet szimulálni a valóságos forráshozam idősort (7. ábra). Az 1972-ben közölt képlet önmagában tehát nem elegendő a jelenség pontos leírásához, vagyis a fenti módon korrekciókat kell alkalmazni (I. táblázat). Az 1977 évben talált szuper-telített karszt állapot időszakában; február 21-én, április 9-én és augusztus 14-én lehullott csapadék-csoport-hoz kellett hozzáadni a megelőző 20 napon át lehullott és eredetileg 40 mm-nél nagyobb csapadék-csoportok módosított értékeit. Ilyen szuper-telített állapot leírását egy alkalommal megtalálhatjuk az irodalomban is (JAKUCS 1956).

A 7. ábrán a napi korrigált csapadékhatás-mutató értékek és a Kis-Tohonya-forrás mért vízhozam-idősorának közel párhuzamos futása arra mutat, hogy (minimális időcsúszások mellett) a szimuláció igen jól követi a mért vízhozam-idősor változását. A további kutatások során azonban a program elkészítésekor nagyobb gondot kell fordítani a kiürülési viszonyok jobb követésére, mivel májustól kezdve a kisebb csapadékok nem létező hatását is szimuláltuk, ugyanis a mért forráshozam idősorban ezek hatások

nem jelentek meg. Érdekes, hogy a mért vízhozam értékek és a csapadékhatás-mutató értékek között pontosan két nagyságrendnyi különbség alakult ki.



7. ábra: A Kis-Tohonya-forrás 1977. évi mért vízhozam időszora (szaggatott-vonal) és az ugyanerre az időszakra meghatározott csapadékhatás-mutató értékek kiszámítása alapján szimulált időszor (folyamatos-vonal) összehasonlítása  
 Fig. 7: The 1977 recorded discharge time series of the Kis-Tohonya-Spring (dashed line) compared with the simulated time series (continuous line) based on estimation of the rainfall-impact indicator values determined for the same period of time



8 ábra: Kapcsolat a Kis-Tohonya-forrás 1977. évi napi átlagos vízhozam értékei és az ugyanerre az évre meghatározott napi csapadékhatás-mutató értékek között.  
 Fig. 8: Correlation between the 1977 daily average discharges of the Kis-Tohonya-Spring and the daily rainfall-impact indicator values determined for the same year.

A csapadékhatás-mutató értékek és a Kis-Tohonya-forrás mért vízhozam értékei közötti, 1977. évi kapcsolat (8. ábra) hasonló az 1972. évben talált összefüggéshez, bár nem mutatja a nagy hozamnál ott megfigyelt felszíni lefolyás hatását. Segítségével lehetőség van arra, hogy csapadék-adatok alapján meghatározzuk bármely karsztforrás nem mért vízhozam-idősorát, ha korábban már legalább egy évig regisztrálták a forrás vízhozam változását.

#### 4. Eredmények

A tanulmányban kísérletet tettünk arra, hogy a csapadék-adatok, valamint a beszivárgási-, a karszttelítettségi- és a kiürülési viszonyok ismeretében a csapadékhatás-mutató értékekkel szimuláljuk az egyik mért jósvafői karsztforrás egy éves vízhozam-változását. A vizsgálat célja az volt, hogy a korábbiaknál részletesebben megismerjük a csapadék-hatás mechanizmusát. A szimulált- és a mért idősorok összehasonlítása során megállapítottuk, hogy a húsz napon belül lehullott két, 40 mm-nél nagyobb csapadékösszeg (vagy hóolvadás) víztartalma összeadódik. A téli félévben mindkét csapadékcsoport, a nyári félévben pedig csak a második csapadék-csoport hoz létre nagyobb áradást, mert a finom érhálózat előzetes nedvesítésére feltétlenül szükség van. Pontosabb szimuláció létrehozásához tehát nem elegendő a napi csapadékhatás-mutató értékek kiszámítása, hanem a fenti szuper-telített állapotok kijelölésével a nagy csapadék-csoportok víztartalmának összeadását is figyelembe kell venni.

Megállapítható tehát, hogy lehetőség van bármely karsztforrás nem mért időszakában az évi vízhozam idősor szimulálására, ha hozamát korábban már legalább egy évig folyamatosan regisztrálták.

#### IRODALOM

- CSER F.* (1978): The analytical Determination of stored Water of karstic springs. - Nemzetközi Karszthidrológiai Szimpózium Közleményei Budapest, MTESZ MKBT-MMT-MHT kiadása. Budapest. p.129-140.
- IZÁPY G.* - *MAUCHA L.* (1993): The discharge quality relationship interpreted for karst springs by a new karstmodel. - Bulletin de la Société Géographique de Liege. p.53-60.
- JAKUCS L.* (1956): A barlangi árvizekről. - Földrajzi Közlemények. 4. p. 361-402.



*KESSLER H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken. - *Vízügyi Közlemények*. XXIV. Budapest, p. 179-188.

*KESSLER H.* (1956): A karsztvidékek lefolyására és beszivárgására vonatkozó újabb vizsgálatok. - *VITUKI Beszámoló*. Budapest, p. 139-145.

*MAUCHA L.* (1998): Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai. 1958-1993. - *A VITUKI RT. Hidrológiai Intézet kiadványa*. Budapest, 414 p.

*MAUCHA L.* (2002): Az Aggteleki-karsztvidék nagyobb forrásainak kiürülési viszonyai. - *Karsztfelődés VII. BDDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely*, p. 105-128.

*MAUCHA L.* (2005): A karszttelítettség változásának vizsgálata az Aggteleki-karsztvidék évi minimális forráshozam értékei alapján. - *Karsztfelődés X. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely*, p. 61-76.