

A CSAPADÉK SZEKULÁRIS VÁLTOZÁSAI ÉS A TALAJVÍZJÁRÁS TRENDJE

RÉTHÁTI LÁSZLÓ*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1973. szept. 14-én]

A komparatív idősorok alapján zavartalan vízjárásúnak tekinthető alföldi figyelőkutak adatai szerint 1939 és 1972 között az évi átlagos vízállások emelkedő tendenciát mutatnak, a kutak egymáshoz viszonyított vízállásainak szórása pedig folyamatosan csökken. Ez a jelenség nem magyarázható a csapadékösszeg ugyanezen időszakokra számított trendjével, mert erre negatív érték adódik. A folyamatos emelkedés oka az, hogy az 1939/71. évi csapadékatlagok jelentősen meghaladják az 1841/938. éveket (különösen a vizsgált szempontból mértékadó téli hónapokban), ami azt jelenti, hogy a vizsgált 33 év csapadéka a dinamikus egyensúlyi szinthez tartozó érték fölött volt. A többlet nagyobb akkumulációs készségük (jobb „emlékezőképességük”) miatt a mélyebben mozgó talajvizek fokozottabb mértékben hasznosítják.

I. Bevezetés

A rendszeresen észlelt figyelőkutak idősorának növekedése a talajvízjárás törvényszerűségeinek egyre több részletre kiterjedő kutatását teszi lehetővé. Különösen értékes azon néhány kút adatsora, amelyet közel 40 éve folyamatosan észlelnek. A talajvíz három jellegzetes, jól definiálható periodikus ingadozása közül a múltban — hosszú ideig — csak a napi és évi ingadozás tanulmányozására volt lehetőség. Mivel a több évtizedes változások értékelése szempontjából minden naptári vagy hidrológiai év *egyetlen* adatnak számít (így tudjuk ui. az éves ingadozás hatását kiszűrni), legalább 30—40 éves észlelés szükséges ahhoz, hogy a matematikai statisztika módszereit is felhasználhassuk.

A kérdés vizsgálata igen időszerű. Még frissen él mindenki emlékezetében, mennyi kárt okoztak — mind a mezőgazdaságban, mind az iparban — az 1966., 67. és 70. évi magas talajvízállások, az 1966. évi belvízi elöntések, illetve a Duna 1965-ös, valamint a Tisza és a Szamos 1970-es árvizei. Nem kisebbek azok a károk sem, amelyeket az aszályos nyarak csapadékhánya és mély talajvízállása okozott (pl. 1949- és 1950-ben, vagy az 1860-as években, amikor a Fertő-tó a vízutánpótlódás hiányának következtében kiszáradt).

A két szélsőséges helyzet elleni védekezéssel kapcsolatos igények adnak különös jelentőséget azoknak a kutatásoknak, amelyek a több évtizedes vál-

* Dr. Rétháti László. 1092 Budapest, Ráday u. 43.

tozások hidrológiai törvényszerűségeinek feltárására irányulnak. A kérdés vizsgálatára alkalmas módszerek két nagy csoportba sorolhatók, aszerint, hogy az idősorokat

- a) valamely erre alkalmas matematikai eljárással (pl. periódusvizsgálattal) *önmagukban*, vagy
- b) *más hatásokkal* összefüggésbe hozva elemezzük.

A következőkben ismertetett anyag az utóbbi módszert követi, a külső hatások közül a talajvízjárás fő szabályozóját, a csapadékot emelve ki független változóként.

2. A vizsgálatra alkalmas kutak kiválasztása

Az előzőekben vázolt feladat megoldására csak a folyamatos, hosszú és homogén idősorral rendelkező kutak felelnek meg. Kijelölésük során a legnagyobb nehézséget annak bizonyítása okozza, hogy vízjárásukat kizárólag a meteorológiai elemek (csapadék és párolgás), illetve a felszín alatti el- és hozzáfolyás szabályozza. Ennek igazolására egyik lehetőségünk az, hogy az idősor egyöntetűségét — homogenitását — valamely erre alkalmas *matematikai* módszerrel (pl. a hazai hidrológiai gyakorlatban használatos Szmirnov-féle eljárással) vizsgáljuk meg. Ez az út azonban — jelenleg legalábbis — nem járható, mert az erre irányuló vizsgálatok szerint [6]

a) az elemek függetlensége a kutak többségénél nincs biztosítva (ezzel a homogenitásvizsgálat egyik alapfeltevése nem teljesül);

b) az idősor rövidegsége miatt a számítás pontatlan;

c) nem különíthetők el a „zavartalan” vízjárásúaktól azok a kutak, amelyek idősora önmagában homogén ugyan, de a szélső értékek valamelyike nem felel meg a tényleges értékek;

d) a vizsgálat előfeltételül megkövetelt függetlenség csak folyamatosan észlelő kutakra számítható, így az időszakosan (pl. 1944/45-ben) szüneteltetett kutakra a homogenitásvizsgálat — szigorúan véve — el sem végezhető.

A felsorolt hiányosságok mindegyikét kiküszöbölhetjük, ha a kutakat *komparatív idősorok* alapján értékeljük [4]. Ezt az idősort úgy kapjuk meg, hogy képezzük minden egyes naptári évre a vizsgált kút relatív — az LNV- és LKV-hez viszonyított — évi KÖV-ének a kutak ugyanezen időpontra számított átlagaitól (KÖV_{ká}) való előjeles eltérését:

$$100 \frac{\text{LKV} - \text{KÖV}_k}{\text{LKV} - \text{LNV}} - \text{KÖV}_{k\acute{a}}$$

Ez a módszer azzal a további előnnyel jár, hogy a) megadja azt az időpontot, amikor a hidrológiai tényezők megváltoztak, és b) kimutatja a folyamatosan működő esetleges természetes hatásokat is.

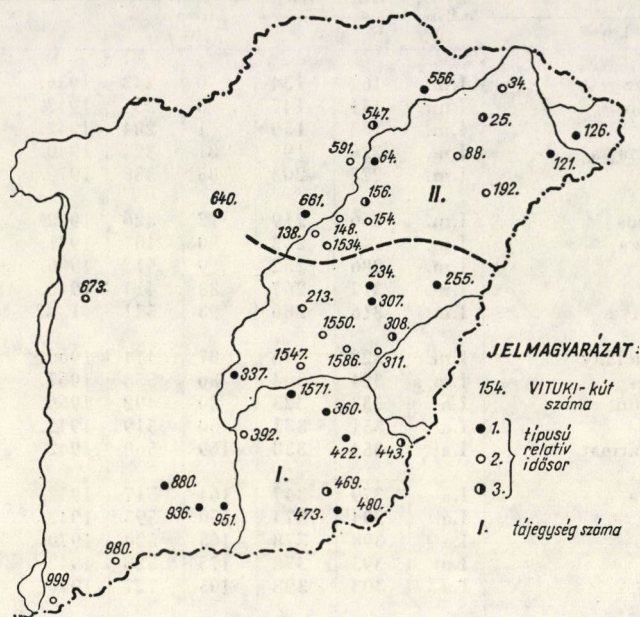
I. táblázat

A vizsgálatba bevont VITUKI-kutak jellemző adatai

A kút		Táj- egység, mélység	1939/72. 6. KÖV		LNV	LKV	LNV	LKV	Idősor típusa
sz.	helye		perem	terep					
		alatt							
951.	Szatymaz	I.m.	162	134	0	243	1956.	1950.	1
469.	Tótkomlós	I.m.	171	147	3	251	1942.	1952.	3
936.	Csorva	I.m.	183	150	1	284	1942.	49, 50.	1*
880.	Kiskunmajsa	I.m.	226	195	81	324	1940.	1949.	1*
443.	Gyula	I.m.	223	203	85	358	1970.	1935.	3
980.	Bácsalmás	I.m.	266	219	12	326	1942.	1950.	2e
337.	Cibakháza	I.m.	243	233	80	407	1941.	1936.	1*
1571.	Szarvas	I.m.	286	252	9	512	1966.	1936.	1.
255.	Tépe	I.m.	317	267	88	417	1940.	1950.	1.
1586.	Dévaványa	I.m.	316	286	93	571	41, 42	1935.	2e
234.	Püspökladány	I.m.	323	293	87	474	1966.	1952.	1
213.	Kenderes	I.m, a	324	304	86	558	1967.	1938.	2e
311.	Szeghalom	I.a	333	323	80	492	1966.	1935.	2s
307.	Szerep	I.a	351	331	60	519	1942.	1952.	1*
308.	Füzesgyarmat	I.a	354	338	169	568	1942.	1936.	3
480.	Battonya	I.a	379	347	164	517	1942.	1950.	1
1547.	Mezőtúr	I.a	394	374	150	595	1942.	1939.	2s, e
360.	Kondoros	I.a	398	378	165	520	1970.	38, 39	1
422.	Csorvás	I.a	393	378	175	523	1942.	1936.	1
1550.	Túrkeve	I.a	403	398	195	727	1940.	1935.	2e
392.	Szentes	I.a	438	423	285	557	57, 70	1934.	2e
473.	Mezőhegyes	I.a	515	456	154	703	1942.	1950.	1
999.	Hercegszántó	I.a	579	559	291	670	1942.	1950.	2s
673.	Ócsa	II.m.	66	43	+10	117	1941.	1950.	2s
591.	Nemesbikk	II.m.	163	158	43	223	1940.	1949.	2s
154.	Balmazújváros	II.m.	184	164	25	369	1970.	1949.	2s, e
25.	Demecser	II.m.	206	186	35	278	1967.	1948.	3
88.	Nyíregyháza	II.m.	231	206	106	321	1942.	1964.	2s, e
1534.	Tiszaörs	II.m.	253	213	108	417	1971.	1935.	2e
661.	Poroszló	II.m.	241	216	13	384	1953.	1938.	1
148.	Egyek	II.m.	238	228	+10	457	1966.	1935.	2e
640.	Tarnaméra	II.m.	284	254	53	400	1966.	1949.	3
34.	Kisvárdá	II.a.	278	256	134	365	1940.	1947.	2s
64.	Újtikos	II.a.	297	262	36	401	1971.	1950.	1
192.	Nyíradony	II.a.	297	275	163	388	1941.	1949.	2s
547.	Taktaharkány	II.a.	343	308	87	427	1953.	1949.	3
126.	Fehérgyarmat	II.a.	365	338	85	537	1970.	1950.	1
121.	Kocsord	II.a.	387	341	109	480	1966.	1939.	1
156.	Újszentmargitta	II.a.	478	443	318	602	1967.	1949.	3
138.	Tiszaszöllős	II.a.	508	488	224	646	1971.	1939.	2e
556.	Viss	II.a.	511	508	352	660	1967.	1950.	1*

* közelítően elfogadható besorolás.

A vizsgálat céljaira 41 VITUKI-kút idősora látszott alkalmasnak. Helyüket az I. ábra, jellemző adataikat az I. táblázat tünteti fel. Többségük a Tiszán-túlra esik, mert a megfigyelőhálózat gyakorlatilag csak 1953/54-től terjed ki az ország teljes területére.

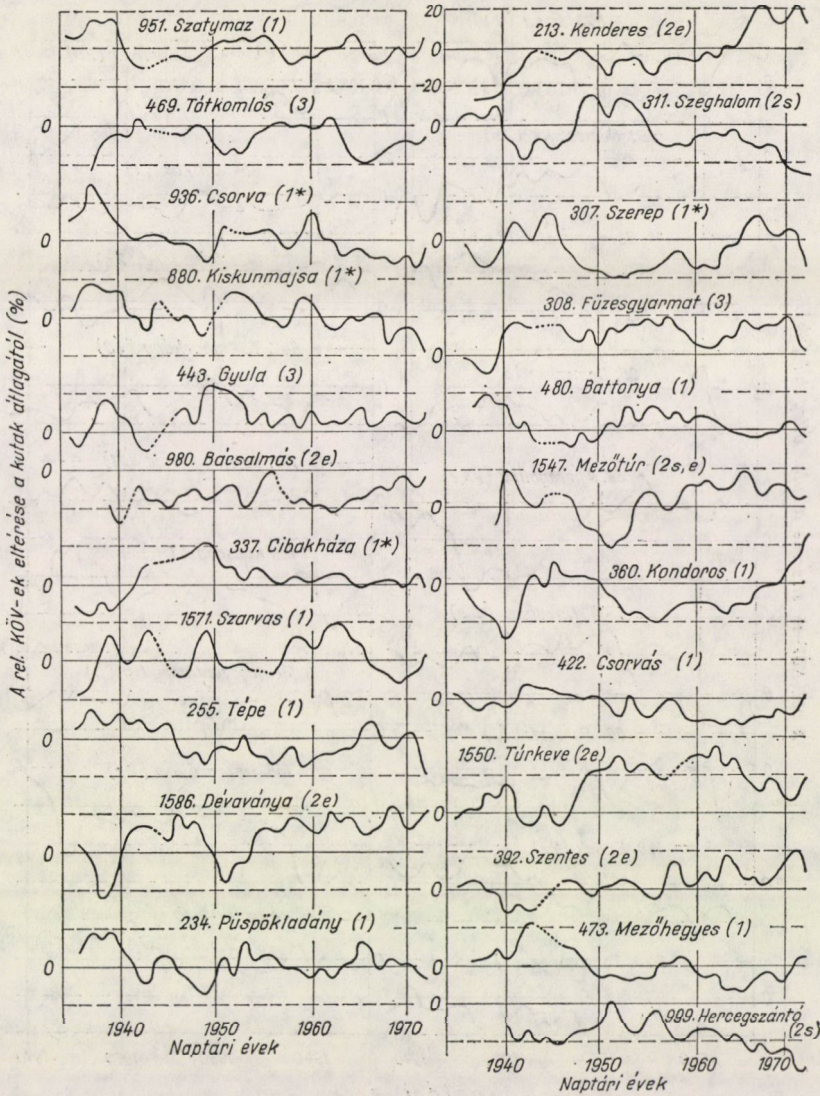


I. ábra. A vizsgálatba bevont megfigyelőkutak helye és relatív idősoruk jellege

A kutak viszonylag nagy száma lehetővé teszi a zavartalanság vizsgálatának pontosabbá tételét, éspedig azáltal, hogy a kutakat földrajzi fekvésük, valamint 1939/72. évi átlagos vízállásuk ($\overline{KÖV}$ -ük) szerint négy csoportba soroljuk. Az I. tájegységbe eső 23 kút $\overline{KÖV}$ -einek mediánja 304 cm, a II. tájegységbe eső 18 kúté 255 cm. Ezzel a bontással minden naptári évre négy-négy átlagos relatív $\overline{KÖV}$ számítható. Az egyes kutakat tájegységük és $\overline{KÖV}$ -ük alapján e kategóriák valamelyikébe sorolva meghatározhatók a keresett komparatív idősorok (2. és 3. ábra). Jellegük szerint ezek három csoportba sorolhatók:

- a „0”-tengely körül ingadozó idősorok (jelük: 1),
- olyan idősorok, amelyek részben vagy a teljes intervallumban emelkedő (2e) ill. süllyedő (2s) egyenessel egyenlíthetők ki, végül
- olyan idősorok, amelyek vízszintes — de a zérustól különböző — tengely körül ingadoznak (3).

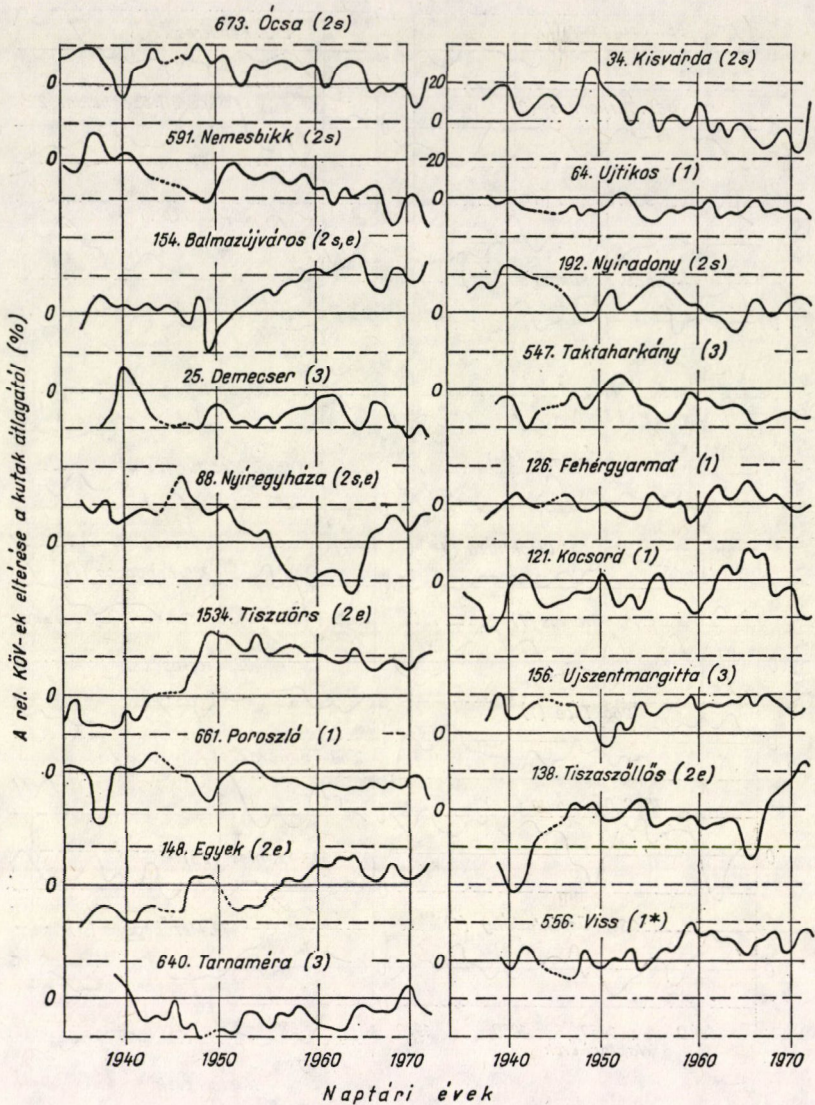
Vannak olyan kutak is, amelyekben a vízszint folyamatos süllyedése és emelkedése egyaránt megfigyelhető (2s,e vagy 2e,s típus). Így pl. az 1547. sz. mezőtúri kút idősorában 1940 és 1952, illetve 1952 és 1965 között jelölhetők ki ilyen szakaszok (a 2. ábra szerint az utóbbi években már valószínűleg új hidrológiai egyensúly alakult ki).



2. ábra. A vizsgált kutak relatív idősorai (I. tájegység)

Az egyes típusok tájegységek szerinti megoszlása a következő:

Tájegység	típusú idősor		
	1.	2.	3.
I.	12	8	3
II.	5	9	4
Össz.	17	17	7

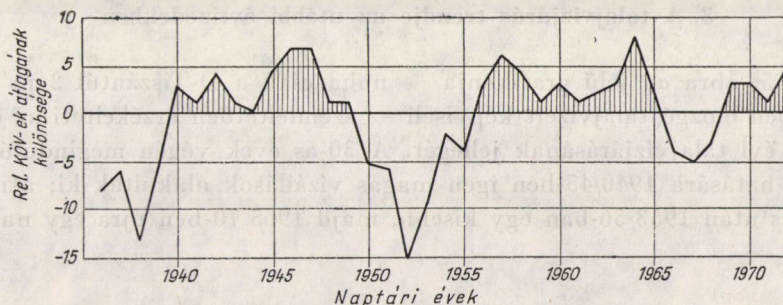


3. ábra. A vizsgált kutak relatív idősorai (II. tájegység)

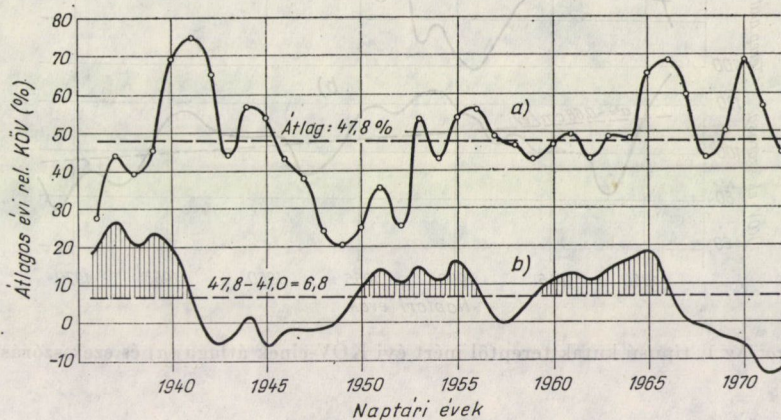
Ezek szerint a zavartalan vízjárásúnak minősíthető kutak arányszáma mindössze 41,5%, annak ellenére, hogy öt kútra (az I. táblázatban, valamint a 2. és 3. ábrán *-gal jelzettek) ez a minősítés csak közelítően helytálló. Ez a jelenség világszerte megfigyelhető; amint azt az UNESCO kiadványa [1] megállapítja, ma már alig van a világon zavaró hatásoktól mentes megfigyelőkút.

Térjünk vissza a kutaknak földrajzi fekvésük és KÖV-ük mélysége szerinti csoportosítására. A 4. ábra szerint az I. és II. tájegység átlagos évi relatív

KÖV-eiből képzett különbség periodikus jellegű változással jellemezhető. Az 1940/49., 1956/65. és az 1969/72. évi időszakban az I., a többi időszakban a II. tájegységen alakultak ki magasabb vízállások; az eltérés igen jelentős, maximuma +8 és -15%. Az 5. ábra az I. tájegység magas és alacsony vízállású kútjainak évi átlagos relatív KÖV-eiből képzett különbség idősorát mutatja be (b), összehasonlítva ezt a magasan mozgó talajvizek átlagára rajzolt idősorral (a). Az ábrából a következőket állapíthatjuk meg.



4. ábra. Az I. és II. tájegység átlagos évi relatív KÖV-einek különbsége (az 1., 2. és 3. típusú kutak alapján)



5. ábra. Az I. tájegység magasan mozgó talajvizeinek átlagos évi relatív KÖV-e (a), valamint a magasan és mélyen mozgó talajvizek évi relatív KÖV-einek különbsége (b)

1. A magas (tetőző) vízállásokat megelőző időszakban a magas, ezt követően a mély fekvésű talajvizek relatív KÖV-ei nagyobbak.

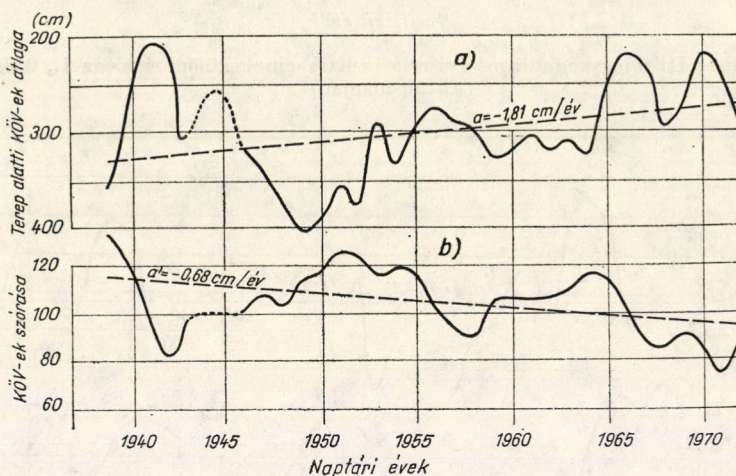
2. A magasan mozgó talajvizek (KÖV-ük átlaga 218 cm) átlagos relatív vízállása az 1936/72. évi időszakban 47,8–41,0 = 6,8%-kal nagyobb, mint az alacsonyan mozgóaké (KÖV-ük átlaga 378 cm). Ebből arra következtethet-

tünk, hogy utóbbiak sűrűségfüggvényének (gyakorisági eloszlásának) aszimmetriája nagyobb, mint az előbbieké.

A két ábra nemcsak azt bizonyítja, hogy a homogenitásvizsgálatot mindig a tájegység és mélység szerinti csoportosítás alapján kell elvégezni, hanem azt is, hogy az ebből fakadó különbségeket a vízjárás több évtizedes alakulásának elemzésekor sem szabad figyelmen kívül hagynunk.

3. A talajvízjárás trendje az utóbbi évtizedekben

Az 5. ábra *a)* jelű grafikonja — noha csak a D-Tiszántúl 2 m körüli mélységben mozgó talajvizet képviseli — szemléltetően érzékelteti az ország 1936/72. évi talajvízjárásának jellegét. A 30-as évek végén meginduló nagy esőzések hatására 1940/45-ben igen magas vízállások alakultak ki; átmeneti visszaesés után 1953/56-ban egy kisebb, majd 1965/70-ben újra egy nagyobb



6. ábra. Az I. típusú kutak tereptől mért évi KÖV-einek átlaga (*a*) és ezek szórása (*b*)

hullám jelentkezett. Azt is megfigyelhetjük az ábrán, hogy az évi átlagos relatív KÖV-ek képzeletbeli kiegyenlítő vonala emelkedő tendenciát mutat.

A vízjárás sajátosságainak közelebbi megismerése céljából számítsuk ki minden naptári évre az I. és II. tájegység zavartalan vízjárású kútjainak terep alatti KÖV-eiből képzett átlagokat. Az 5a) ábrával összhangban azt figyelhetjük meg, hogy az így definiált vízállás *emelkedő trendet* mutat (6a ábra); a kiegyenlítő egyenes iránytangense

$$a = -1,81 \text{ cm/év.}$$

Ez azt jelenti, hogy a vizsgált kutak vízszintje 33 év alatt átlagosan közel 60 cm-t emelkedett. (A negatív előjel arra utal, hogy a peremtől vett leolvasásokról van szó).

A 6b ábra szerint a kutak évi KÖV-einek *szórása csökkenő tendenciát mutat*; a kiegyenlítő egyenes iránytangense

$$a' = -0,68 \text{ cm/év,}$$

a szórás 33 év alatt tehát mintegy 17%-kal csökkent. Ez arra utal, hogy a víz-állásokat az elmúlt évtizedekben *nemcsak folyamatos emelkedés, hanem fokozatos kiegyenlítődés* (a klasszikus értelemben vett *regresszió*) is jellemzi.

II. táblázat

A talajvízjárás 1939/72. évi trendje és a kutak néhány jellemző vizsgálása

Kút sz.	1939/72. évi KÖV (terep a.) cm	Mért	Szám.	a cm/év
		1939. évi KÖV (terep alatt, cm)		
64.	277	287	306	-1,75
121.	341	435	383	-2,60
255.	267	267	271	-0,26
422.	378	446	383	-0,27
473.	456	529	463	-0,44
480.	347	377	375	-1,61
556.	508	560	561	-3,03
126.	338	396	387	-2,82
234.	293	307	322	-1,80
337.	236	332	245	-0,53
360.	378	504	426	-2,90
661.	216	224	217	-0,06
880.	191	183	187	0,25
936.	150	142	147	0,17
307.	331	459	375	-2,69
951.	133	120	147	-0,83
1571.	252	254	272	-1,19
469.	147	176	155	-0,48
443.	203	215	222	-1,09
308.	338	484	376	-2,21
25.	186	186	183	0,20
640.	254	216	273	-1,15
547.	308	333	326	-1,04
156.	443	452	480	-2,23

A trendszámítást a zavartalan vízjárású kutak mindegyikére külön-külön elvégezve a II. táblázatban feltüntetett értékeket kapjuk. Eszerint $a +0,25$ és $-3,03$ között változik, három kútra pozitív, 21 kútra negatív előjelű. (A táblázatban a 3. típusú idősorral jellemzett kutak is szerepelnek, a szélső értékek valamelyikében rejlő hiba ugyanis már a szóbanforgó év KÖV-ét is alig módosítja, a trend számításakor meg éppen elhanyagolható.)

Ezzel elérkeztünk a tanulmányban kitűzött célhoz: rendelkezésünkre állnak a zavaró hatásoktól mentes kutak 1939/72. évi trendjei. A következőkben azt kell megvizsgálnunk, *milyen tényezők irányítják a több évtizedes vízjárás alakulását.*

Első lépésként szerkesszük meg a térképen az azonos trend-értékeket összekötő izometrikus vonalakat (7. ábra). Azt tapasztaljuk, hogy a területi megoszlás eléggé szeszélyes (egymás közelébe esik pl. a $-3,03$ és a $+0,20$ -as, a $-0,06$ és a $-2,23$ -as érték), annak ellenére, hogy bizonyos tendenciákat megfigyelhetünk.

Térjünk most vissza az 5. ábrára. A „magas” vízállásokra szerkesztett *a*) jelű grafikon fokozatos emelkedést mutat, a magas és mély vízállások különbségének vonala — szemmel láthatóan — csökkenő tendenciáról tanúskodik. Ha mindezen felül részletesebben elemezzük a II. táblázat adatait is, nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy *a talajvízjárás trendje a 30-as évek végén kialakult vízállások függvénye.* Ezt számszerűen is igazolhatjuk, ha az évi KÖV-ek trendjét (*a*) a KÖV-ek kiegyenlítő egyenesén leolvasott 1939. évi KÖV függvényében felrakjuk (8. ábra). A 422. és 473. sz. kút kiejtésével számított regressziós egyenes egyenlete:

$$a = -0,01066 \text{ KÖV}_{39} + 1,73,$$

a korrelációs együttható pedig $r = 0,878$, ami igen szoros összefüggésre utal.

A 8. ábrán csak azok a kutak szerepelnek, amelyek közelében csapadékmérő állomás is van. A többi kutat bekapcsolva r 0,876-ra, illetve — ha az 1939. évi KÖV *tényleges* értékével számolunk — 0,867-re adódik. Az összefüggés természetéből adódik, hogy független változó-nak a KÖV-et választva a kapcsolat szorossága valamelyest csökken ($r = 0,829$).

Az eredmény tökéletesen megmagyarázza a talajvízjárásnak az előzőekben megállapított sajátosságait. A mélyebb víztükrű kutakban az emelkedés üteme gyorsabb volt, a magasabb víztükrűekben lassúbb, a felszín közelében pedig kismértékű csökkenés tapasztalható. Mindezek következménye az, hogy a vízállások átlaga emelkedik, az egyes kutak közötti különbség (a szórás) viszont fokozatosan csökken.

4. A csapadék és a talajvíz trendje közötti kapcsolat

A hidrológiai törvényszerűségek ismeretében kézenfekvőnek látszik az a feltételezés, hogy a talajvízjárás trendje és a csapadékmennyiség változásának tendenciája között határozott kapcsolatnak kell fennállnia.

Első feladatunk ezzel kapcsolatban megkeresni az 1. és 3. típusú időszorral rendelkező kutakhoz legközelebb eső *csapadékmérő állomásokat.* Meteorológiai hálózatunk viszonylagos sűrűségének köszönhetjük, hogy a 24 kút közül 14-nél

ugyanazon, 5-nél valamely közeli helységben találhatunk mérőállomást (az utóbbi öt kút és a közeli mérőállomások a következők: 64. sz. — Polgár, 255. sz. — Derecske, 951. sz. — Sándorfalva, 308. sz. — Szeghalom, 25. sz. — Gégény). Az idősorok viszonylag folyamatosak, kivéve a 469. és 156. sz. kút közelében fekvő állomásokét.

A következőkben ismertetett számítások az I—XII., VIII—IV., X—III. és XI—II. havi csapadékösszegek 1939/71. évi trendjére vonatkoznak. Ezt a bontást az indokolja, hogy az egyes hónapok csapadécai *különböző súllyal* vesznek részt a talajvíz táplálásában, tehát a vízjárás szabályozásában. (Az ezt kifejező — tíz alföldi, 1936/63. évi idősoruk alapján zavartalannak minősülő kútból számított — ún. havi hatástényezőket a III. táblázat tünteti fel.)

III. táblázat

A csapadék havi hatástényezői (ω) tíz alföldi kút adataiból számítva [Rétháti, 5]

Hónap	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
ω	0,247	0,128	0,211	0,125	-0,003	0,042

Hónap	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
ω	0,035	0,150	0,060	0,197	0,211	0,171

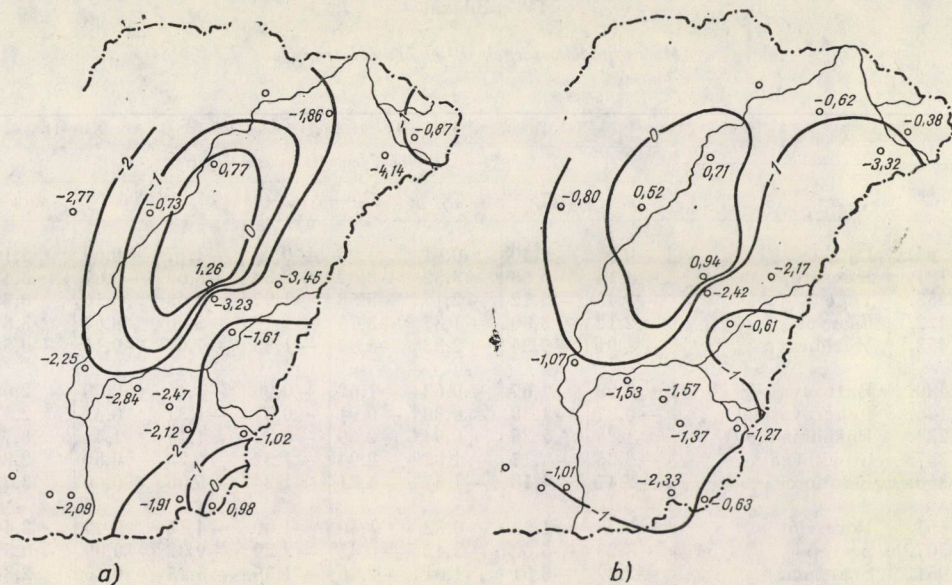
A számítások végeredményét (az átlagos csapadékmennyiségeket és a trendet) a IV. táblázat, az a -értékek területi megoszlását a 9. és 10. ábra tünteti fel. Ezekből az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

1. A XI—II. havi csapadékösszegeket kivéve *a trend egyértelműen negatív*. Fajlagos értékével különösen kitűnik a téli (X—III. havi) csapadékösszeg: itt a csökkenés a vizsgált időszakban $33 \cdot 5,42/10 = 17,9\%$. Az évi csapadékösszeg csökkenése a Szarvas—Tépe—Kocsord vonal mentén a legnagyobb: 33 év alatt $94 \div 137$ mm (ebben a 10a ábra szerint elsősorban a téli csapadék trendje játszik közre).

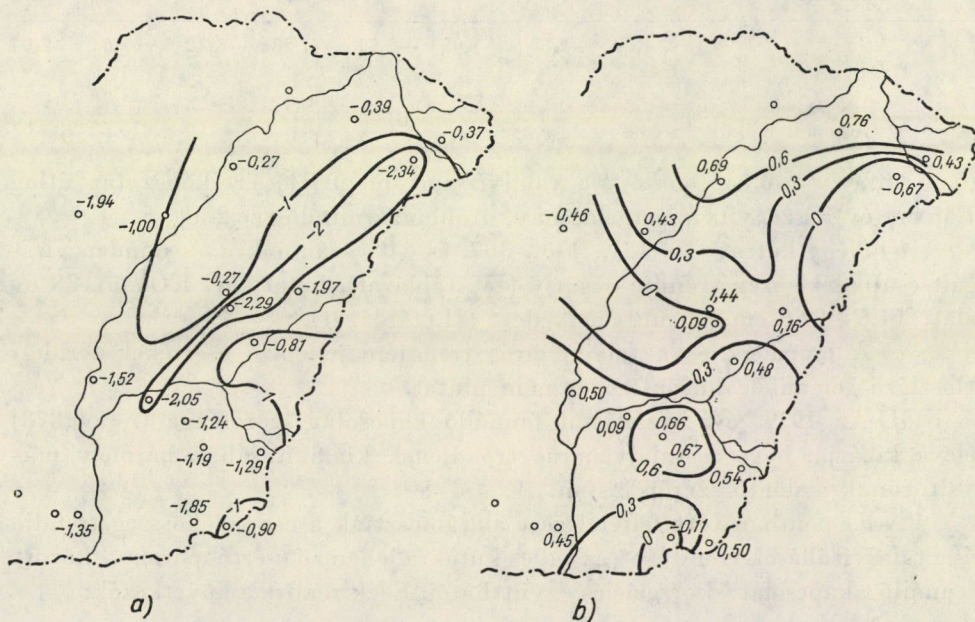
2. A változás tendenciájára jellemző a -értékek *területi eloszlása* igen szélsőséges, a magas- ill. mélypontok általában két-három, területileg távoleső helyen alakultak ki.

Már az eddigiekből is megállapítható, hogy *a talajvízszintek és a csapadék trendje között nincs összefüggés*; a következő körülmények utalnak erre.

a) A mértékadónak tartott VIII—IV. havi csapadékösszeg trendje negatív. A XI—II. havi összegre ugyan pozitív előjel adódott, de abszolút értéke



9. ábra. A csapadék 1939/71. évi trendjére (mm/év) szerkesztett izometrikus vonalak; a az I.—XII. havi, b a VIII.—IV. havi csapadékösszegre



10. ábra. A csapadék 1939/71. évi trendjére (mm/év) szerkesztett izometrikus vonalak; a a X.—III. havi, b a XI.—II. havi csapadékösszegre

IV. táblázat

A csapadékösszegek 1939/71. évi trendje

A kút		I.—XII.		VIII.—IV.		X.—III.		XI.—II.	
sz.	helye	havi csapadékösszegekre kapott							
		a	a/ \bar{C}_s *	a	a/ \bar{C}_s	a	a/ \bar{C}_s	a	a/ \bar{C}_s
64.	Újtikos	0,77	1,40	0,71	1,95	-0,27	-1,17	0,69	4,16
121.	Kocsord	-4,14	-6,63	-3,32	-8,02	-2,34	-8,68	-0,67	-3,47
255.	Tépe	-3,45	-5,72	-2,17	-5,58	-1,97	-7,63	0,16	0,86
422.	Csorvás	-2,12	-3,80	-1,37	-3,75	-1,19	-5,00	0,67	3,87
473.	Mezőhegyes	-1,91	-3,24	-2,33	-5,97	-1,85	-7,07	-0,11	-0,58
480.	Battonya	0,98	1,67	-0,63	-1,62	-0,90	-3,46	0,50	2,66
126.	Fehérgyarmat	-0,87	-1,38	-0,38	-0,91	-0,37	-1,31	0,43	2,11
234.	Püspökladány	1,26	2,36	0,94	2,69	-0,27	-1,19	1,44	8,78
337.	Cibakháza	-2,25	-4,17	-1,07	-2,94	-1,52	-6,28	0,50	2,89
360.	Kondoros	-2,47	-4,18	-1,57	-4,21	-1,24	-5,06	0,66	3,73
661.	Poroszló	-0,73	-1,28	0,52	1,40	-1,00	-4,15	0,43	2,44
307.	Szerep	-3,23	-5,62	-2,42	-6,45	-2,29	-9,32	-0,09	-0,51
951.	Szatymaz	-2,09	-3,61	-1,01	-2,56	-1,35	-5,15	0,45	2,34
1571.	Szarvas	-2,84	-4,91	-1,53	-4,02	-2,05	-7,98	0,09	0,49
443.	Gyula	-1,02	-1,72	-1,27	-3,28	-1,29	-4,85	0,54	2,84
308.	Füzesgyarmat	-1,61	-2,94	-0,61	-1,74	-0,81	-3,56	0,48	2,93
25.	Demecser	-1,86	-3,19	-0,62	-1,61	-0,39	-1,61	0,76	4,37
640.	Tarnaméra	-2,77	-4,89	-0,80	-2,19	-1,94	-8,00	-0,46	-2,60
—	Budapest					-1,87	-6,49	-0,41	-1,95
Átlag:**		-1,69	-2,88	-1,05	-2,71	-1,28	-5,42	0,36	2,07

* Ezrelékben

** Budapest nélkül

(0,36 mm/év = 0,036 cm/év) a talajvízszint megfelelő értékéhez (az átlag 1,46 cm/év) viszonyítva igen alacsony, utóbbinak mindössze 2,5%-a.

b) Négy kútra — a 121., 473., 307. és 640. számúakra — minden vizsgált csapadékösszeg trendje negatív (IV. táblázat), holott évi KÖV-ük 33 év alatt 14,5 ÷ 89,0 cm-rel megemelkedett (II. táblázat).

c) A csapadék és a talajvízjárás trendjére jellemző a -értékek területi eloszlása semmiféle hasonlóságot nem mutat.

d) Az 1939. évi vízállással fennálló kapcsolat szorossága ($r = 0,878$) eleve kizárja, hogy a talajvízjárás trendjének kialakításában bármely más változónak is döntő szerep jusson.

A d) pontban tett feltételezést alátámasztják a csapadékösszeg trendje és a talajvízállások trendje — az egyes kutakra jellemző a -értékpárok — között fennálló „kapcsolat” korrelációs együtthatói. Ezek rendre a következők:

Az I—XII. havi csapadékösszegekre $r = + 0,041$;

a VIII—IV. havi csapadékösszegekre $r = + 0,234$;

a X—III. havi csapadékösszegre $r = + 0,042$;

a XI—II. havi csapadékösszegre $r = + 0,144$.

Az r -értékek arra utalnak, hogy a *kapcsolat igen laza*, nem szólva arról, hogy az összefüggést a *feltételezett ellentétes előjel jellemzi*. (A pozitív előjel ui. azt jelenti, hogy a csapadékösszeg növekedésével nő a peremtől mért vízállás, vagyis a talajvízszint süllyed.)

Ezek után egyetlen lehetőségünk van az 1939/72. évi általános vízállás-emelkedés okának felderítésére, nevezetesen a csapadék-akkumuláció elemzése, a csapadékösszegek láncszerű vizsgálata.

5. A csapadék átlagértékeinek és anomáliáinak évszázados alakulása

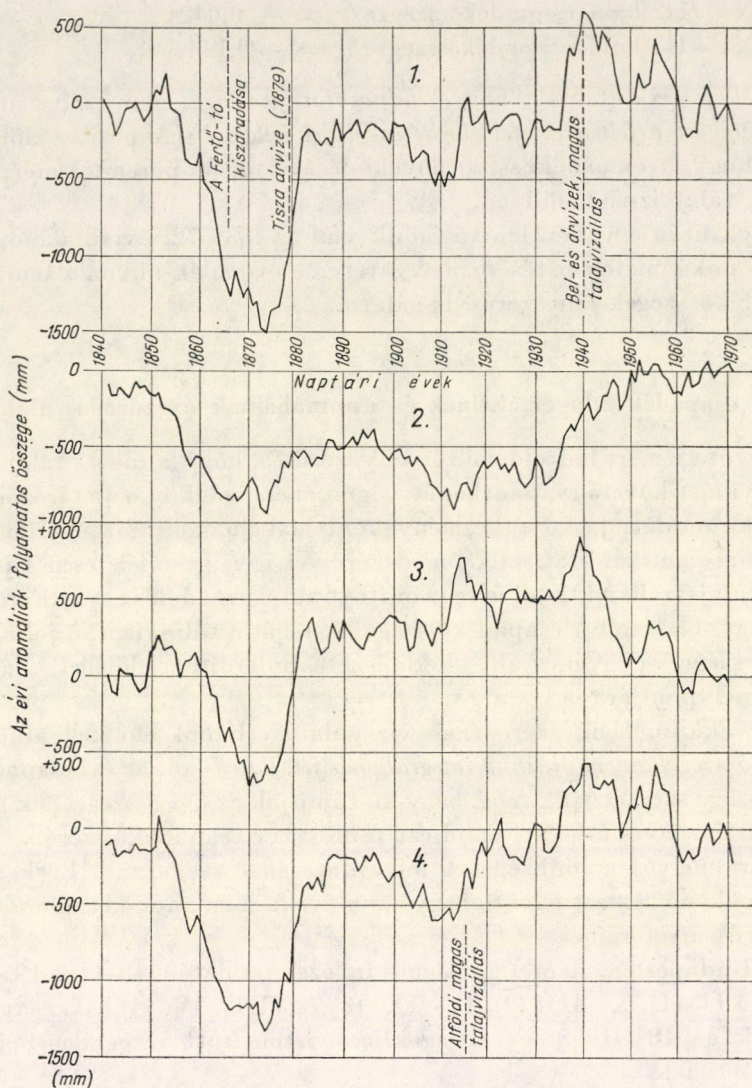
Régóta ismert hidrológiai törvényszerűség, hogy a magas talajvízállások több, egymást követő csapadékos év végén, a csapadék okozta tározódás folyamatos akkumulációja következményeként alakulnak ki. Ezt a jelenséget ma már a matematikai statisztika módszereivel igen szemléletesen tudjuk igazolni: a talajvízállások 1 ÷ 2 évre számított autokorrelációs együtthatója lényegesen nagyobb, mint a csapadékösszegeké, tehát a talajvíznek „jobb az emlékezőképessége”. (Ugyanez áll — természetesen fordított előjellel — a talajvízállások mélypontjára is.)

Az akkumuláció szerepének vizsgálata céljából elő kell állítanunk a *csapadékösszegek anomáliáinak integrálgörbáját*. Ezt — pl. az évi csapadékösszegekre — úgy szerkesztjük meg, hogy kiszámítjuk az évi összegeknek a vizsgált időszakra érvényes átlagát, majd ezt minden év csapadékösszegéből levonva, az előjelre helyes különbségeket folyamatosan összegezzük. Ezek szerint a görbe emelkedő ága azt jelenti, hogy azon években az anomália állandóan pozitív volt, és megfordítva.

A Budapesten, a Meteorológiai Intézet területén 1841 és 1971 között mért I—XII. (1), X—III. (2), IV—IX. (3) és VIII—IV. (4) havi csapadékösszegeknek az 1841/1969. évi átlagokhoz viszonyított integrálgörbáját a 11. ábra tünteti fel.

Az évi csapadékokban 1853 és 1883 között igen nagy amplitúdójú félhullám alakult ki; ide esik a 60-as évek rendkívüli csapadékszegény időszaka, valamint a Duna (1876) és a Tisza (1879) nagy árvize. Innen kezdve a csapadék 20 éven keresztül az átlag körül ingadozik, majd átmeneti csökkenés után 1913 ÷ 1916 között ismét csapadékos időszak következik. Jól kirajzolódik az ábrán a 40-es és 50-es évek elején, illetve a 60-as évek végén kialakult nedves időszak, amely igen súlyos bel- és árvízi károkat okozott az országban.

A téli félév csapadékösszegeire rajzolt integrálgörbe elég jól kiegyenlíthető egy viszonylag szabályos hullámvonallal. A grafikon szerint az 1932-ben elkezdődött — és kisebb-nagyobb megszakításoktól eltekintve eléggé folyama-



11. ábra. A Budapesten 1841 és 1971 között mért I.—XII. (1), X.—III. (2), IV.—IX. (3) és VIII.—IV. (4) havi csapadékösszegek anomáliáinak integrálgörbéje (az 1841/1969. évi átlaghoz viszonyítva)

tos — növekedés intenzitása az utóbbi években csökkenni látszik. A nyári félév integrálgörbéje 1883-tól 1939-ig egyre fokozódó mértékben emelkedik, innen kezdve — éles ellentétben a téli csapadékok vonalával — rohamosan süllyed.

A talajvízjárás szempontjából — jóllehet az egyes hónapok csapadécai nincsenek súlyozva (vö. a III. táblázattal) — a 4. jelű görbe a mértékadó.

Ezen is jól megfigyelhetők a talajvízállásoknak 1936-tól kialakult magas-ill. mélypontjai, és megbízhatóan következtethetünk azokra az időszakokra is, amelyekről nincsenek rendszeres észlelési adataink.

Érdekes eredményt kapunk, ha a csapadékanomáliákat havi bontásban vizsgáljuk (12. ábra). Vannak naptári hónapok (mint a február, március, április, a november — és jó közelítéssel — a szeptember ill. október), amelyeknek idősora *egyetlen nagy hullámmal jellemezhető*. Ugyanezek a hónapok azok, amelyekre a *legnagyobb amplitúdókat* kapjuk:

februárra	422 mm-t,	szeptemberre	586 mm-t,
márciusra	464 mm-t,	októberre	600 mm-t,
áprilisa	754 mm-t,	novemberre	606 mm-t.

Ezeknek a hónapoknak — éppen amplitúdóik nagysága miatt — még egy jellegzetes tulajdonságuk van, nevezetesen az, hogy *átlagértékeik a vizsgált 130 év alatt jelentősen változnak*. Így pl. a februári átlag

1841/1920-ra	30,7 mm,	1921/71-re	42,7 mm;
--------------	----------	------------	----------

a novemberi átlag

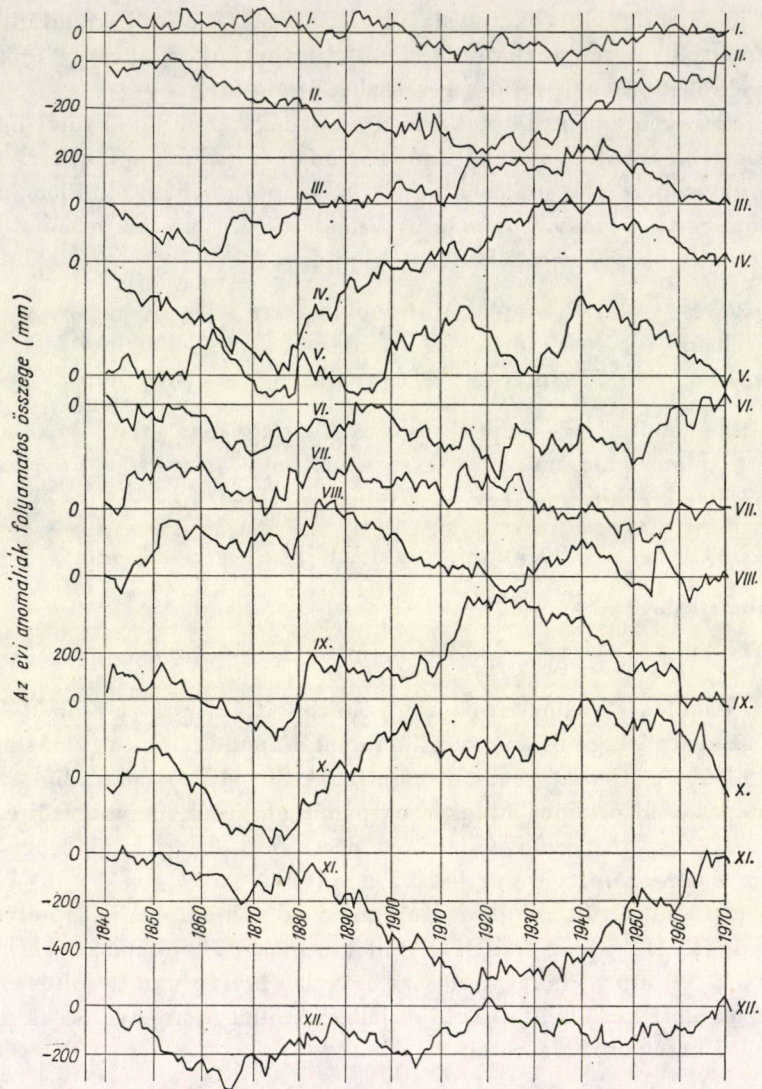
1841/1920-ra	51,4 mm,	1921/71-re	70,3 mm.
--------------	----------	------------	----------

A 12. ábra és a fenti szám adatok azt is bizonyítják, hogy a csapadékatlagok 130 évre számolt átlaga és az egyes hónapok csapadékainak egymáshoz viszonyított különbsége jelentősen változhatnak. A 30 ÷ 40 év adataiból számított átlagok csak közelítő képet adnak a csapadék abszolút nagyságáról és időbeli eloszlásáról. (Így pl. a novemberi és decemberi átlag különbsége 1920-ig +1,3 mm, innen számítva már +20,2 mm !)

Jól elkülöníthetők az ábra alapján azok a hónapok is, amelyek 1939 óta *emelkedő* (I., II., VI., XI. és XII.), illetve *süllyedő* tendenciát (III., IV., V., VIII., IX. és X.) mutatnak; mindössze egyetlen hónap van (a július), amelyet ezen időszak alatt két ellentétes előjel jellemez, illetve amelyet csak 1947-től lehet az első kategóriába sorolni.

6. A talajvízjárás értékelése a csapadékanomáliák tükrében

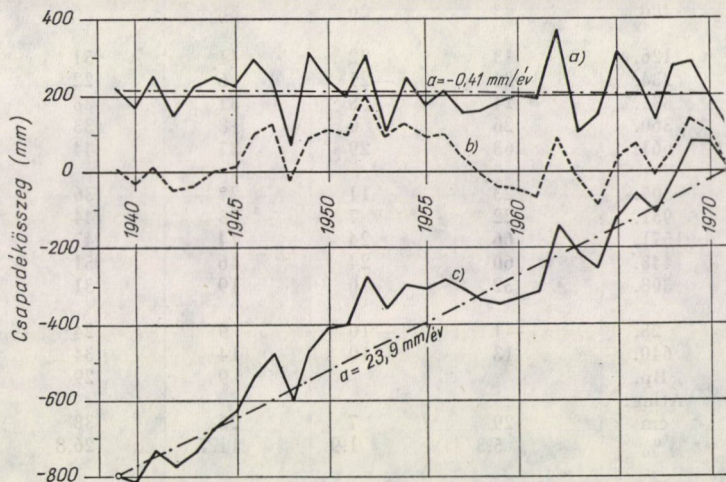
A 13. ábra a Meteorológiai Intézet területén mért XI ÷ II. havi csapadék-összegek idősorát tünteti fel. Az *a* jelű grafikon a csapadékösszegeknek az egyes naptári években mért abszolút nagyságát tünteti fel; a változás trendje 1939 és 1971 között *negatív* ($a = -0,41$ mm/év). A 33 éves átlag 210 mm, az erre vonatkoztatott anomáliák integrálgörbójét a *b* jelű grafikon ábrázolja. Ha az anomáliákat az 1841/1971. évi átlagokhoz (185 mm) viszonyítjuk, ezek integrálgörbéje a *c* jelű grafikonnak megfelelően alakul.



12. ábra. A Budapesten 1841 és 1971 között mért havi csapadékösszegek anomáliáinak integrálgörbéje (az 1841/1969. évi átlaghoz viszonyítva)

Azt már az előzőekben láttuk, hogy az abszolút értékek idősorának trendje nem hozható kapcsolatba a talajvízjárás trendjével. Ugyanezt elmondhatjuk a *b* jelű grafikonra is. Ez — mivel a vizsgált időszak átlagaira épült — zérusról indul és oda is fut be. Ez az idősor alig mond számunkra többet, mint az *a* jelű, és még a 40-es évek magas vízállásaira sem utal, mert nem érzékelteti a csapadéknak az ezen időszakot megelőző felfutását (vö. a 11. ábra 1., 2. és 4. j. görbéivel).

A három grafikon közül a *c* jelű az, amely az eddigi vizsgálatok során tapasztalt *ellentmondások okaira egyértelműen rámutat*. A görbe -788 mm-ről indul, ami azt jelenti, hogy 1841 és 1938 között a XI–II. havi csapadékösszeg 177 mm volt, az 1939 és 1971 között mért 210 mm-rel szemben. Ennek következményeképpen a 131 éves átlagból számított anomáliák integrálgörbéje jelentős mértékben emelkedik, évente mintegy 24 mm-rel. (Ez a nagyságrend már megfelel a kutakban észlelt trend nagyságrendjének.)



13. ábra. A Budapesten mért XI.–II. havi csapadékösszeg (a) és az 1939/71. (b) illetve az 1841/1971. évi (c) átlagokhoz viszonyított anomáliák integrálgörbéje

A *c* jelű grafikon alapján a talajvízszintek 1939 és 1972 között észlelt folyamatos emelkedése a következőképpen magyarázható.

Ha a hidrológiai természetes alrendszer állandó, a talajvíz szintje — a sokévi átlagot tekintve — egyensúlyban van. Azt a vízállást, amely a csapadék (infiltráció) és párolgás sokévi kiegyenlítődése folytán átlagként jelentkezik, *dinamikus egyensúlyi szintnek* nevezzük. Meghatározására Kovács [3] végzett eredményes, a gyakorlatban is jól használható kutatásokat; ezek szerint az egyensúlyi szint hazánkban -2 m körül alakul ki. (A sokévi $\overline{\text{KÖV}}$ kialakításában az el- és hozzáfolyás is szerepet kap, összegük előjelétől függően a $\overline{\text{KÖV}}$ lehet az így definiált dinamikus egyensúlyi szint alatt is és felett is.)

A következőkben tegyük fel, hogy a vízjárás kialakításában a XI–II. havi csapadékösszegnek van döntő szerepe. Ennek 1841/1971. évi átlaga Budapestre 185 mm. Mivel meglehetősen hosszú időszakról van szó, joggal feltételezhetjük, hogy ez az érték felel meg a dinamikus egyensúlyi szintnek. Ezzel szemben az 1939/71. évi átlag 210 mm volt, ami $13,5\%$ -os többletet jelent az 1841/1971. és $18,6\%$ -os többletet az 1841/1938. évi átlaghoz viszonyítva. Ez a körülmény

V. táblázat

Az 1939/71. és 1901/38. évi csapadékösszegek különbsége (mm)

Kút sz.	I.—XII.	VIII.—IV.	X.—III.	XI.—II.
	havi csapadékösszeg-különbség			
64.	—2	—7	7	25
121.	64	35	44	50
255.	—2	—28	5	27
422.	47	12	25	38
480.	43	20	38	50
126.	43	22	41	51
234.	—26	—21	6	22
337.	24	5	31	38
360.	26	0	18	33
661.	63	29	37	44
307.	23	11	27	36
951.	22	7	28	44
1571.	66	24	44	47
443.	60	24	46	51
308.	32	0	19	31
25.	—1	—10	9	24
640.	13	—10	14	34
Bp.			9	29
Átlag:				
cm	29	7	26	38
%	5,3	1,9	11,7	26,8

Megjegyzés. Az átlagban a budapesti értékek nem szerepelnek. A %-os érték az 1901/38 évi átlaghoz van viszonyítva.

meggyőzően igazolja, miért következett be folyamatos vízszintemelkedés, annak ellenére, hogy a csapadékösszegek trendje 1939/71-re negatív.

Hátravan még annak bizonyítása, hogy ez a tendencia az alföldi kutak környezetére is érvényes. Itt a korábbi átlagot 1901/38-ra tudjuk számítani, HAJÓSY [2] ismert adatai alapján. (Az idézett könyvben a csapadék korrigált értékei szerepelnek, amit a régi mérőműszerek hibái tettek szükségessé; megbízhatóságuk természetesen így is eléggé korlátozott.) A számítások eredményét az V. táblázat tünteti fel. Eszerint a két időszak csapadékátlagainak különbsége itt is mindenütt pozitív, kivéve az I÷XII. és VIII÷IV. havi csapadékösszegeket, ahol 4 ill. 5 esetben negatív érték adódott. A táblázat szerint a többlet — az átlagokat tekintve — különösen a X÷III. (11,7%) és a XI÷II. hónapokra (26,8%) jelentős. A budapesti adatokból arra következtethetünk, hogy a valóságban a különbség ennél is valamivel nagyobb, mert ott az 1841/1938. évi átlagok 3 mm-rel (X÷III. hó) ill. 4 mm-rel (XI÷II. hó) kisebbek voltak, mint az 1901/38. évek. Az előzőekben tett feltételezések helyességének további bizonyítéka, hogy a talajvízjárás trendje (a cm/év)

és az 1939/71. évi csapadéktöbblet közötti kapcsolatra adódó korrelációs együttható minden esetben negatív, nevezetesen

az I—XII. hónapokra	$r = -0,134;$
a VIII—IV. hónapokra	$r = -0,235;$
a X—III. hónapokra	$r = -0,171;$
a XI—II. hónapokra	$r = -0,174.$

A vizsgálatok alapján azt is le kell szögeznünk, hogy az 1939/72. évi átlagos vízállások magasabbak az egyensúlyi szintnél, így nem alkalmasak — többek között — arra, hogy ezekre támaszkodva a kutakat vízmélységük szerint kategorizáljuk, illetve minősítsük.

7. Következtetések

A komparatív idősorok alapján zavartalan vízjárásának minősíthető 24 alföldi megfigyelőkút adataiból megállapítható, hogy az 1939/72. évi időszakban az évi KÖV-ek emelkedő tendenciát mutatnak (az átlag 1,81 cm/év), az egyes kutak egymáshoz viszonyított vízállásainak szórása pedig folyamatosan csökken.

A számítások szerint a talajvíznek az időszak elején elfoglalt helyzete és a 33 évre számított átlagos évi emelkedése között igen szoros összefüggés van ($r = 0,878$), és pedig olyan értelemben, hogy a mély fekvésű talajvíz lényegesen nagyobb mértékben emelkedett meg, mint a felszínközeli.

A talajvízszintek általános emelkedése a csapadékösszeg ugyanezen időszakra számított trendjével nem magyarázható, mert

a) az I÷XII., VIII÷IV. és X÷III. havi csapadékösszeg trendje negatív (a XI÷II. havi összegé ugyan pozitív, de számértéke igen kicsi);

b) négy kútra mind a négy csapadék-kombináció trendje negatív, vízszintjük ugyanakkor 33 év alatt 14,5 ÷ 89,0 cm-t emelkedett;

c) a csapadék és a talajvízjárás trendjére jellemző a -értékek területi eloszlása semmiféle hasonlóságot nem mutat, másrészt

d) a közöttük felállított kapcsolat ok-okozati összefüggést még az előjelével sem igazol.

A tartós emelkedés valódi oka kizárólag a csapadék átlagértékeinek ill. anomáliáinak szekuláris változásában rejlik. Az 1841. évvel kezdődő budapesti észlelésekből számított átlagok, valamint az ezekhez viszonyított anomáliák integrálgörbéi azt bizonyítják, hogy 1939 és 1971 között a téli félév csapadékosabb, a nyári félév szárazabb, mint az ezt megelőző 98 év folyamán. Emelkedő tendenciát mutat az I., II., VI., VII., XI. és XII., süllyedőt a III., IV., V., VIII., IX. és X. hónap.

A vizsgált 33 év alatt jelentkező többlet azért idézett elő folyamatos vízszintemelkedést, mert a dinamikus egyensúlyi szinthez rendelt csapadéklaghoz képest is többletet jelentett. Mivel a fokozott késleltetés, a — vízjárás kiegyenlítettébb voltában is megmutatkozó — nagyobb „emlékezőképesség” miatt a mélyebben fekvő talajvizek akkumulációs készsége nagyobb, ezeknél az emelkedő irányzat nagyobb intenzitással jelentkezhet.

IRODALOM

1. BROWN et al.: Ground-water Studies. UNESCO, Paris 1972.
2. HAJÓSY F.: Magyarország csapadékvizszonyai, 1901—1940. Az Országos Meteorológiai Intézet kiadványa, Budapest 1952.
3. KOVÁCS Gy.: Talajvízáramlás hozamának meghatározása vízháztartási vizsgálatok alapján *Vízügyi Közlemények*, (1959), 3.
4. RÉTHÁTI L.: A talajvízjárást befolyásoló természetes és mesterséges tényezők változásának vizsgálata. *Hidrológiai Közöny*, (1965), 12.
5. RÉTHÁTI L.: A Tiszántúl csapadékvizszonyainak és talajvízjárásának korrelációja. *Hidrológiai Közöny*, (1968), 7.
6. RÉTHÁTI L.: Talajvíz-idősorok homogenitásvizsgálata. *Hidrológiai Közöny*, 1, (1974),.

Säkulare Änderungen der Niederschlagsmengen und Trend des Grundwasserspiegels. Nach den registrierten Angaben der Grundwasserbeobachtungsbrunnen in der großen ungarischen Tiefebene, deren Wasserspiegelgang aufgrund der komparativen Zeitreihen als ungestört angenommen werden kann, weisen die jährlichen durchschnittlichen Grundwasserstände zwischen den Jahren 1939 und 1972 eine steigende Tendenz auf und die Streuung der relativen Wasserstände der einzelnen Grundwasserbeobachtungsbrunnen nimmt dauernd ab. Diese Erscheinung kann nicht mit dem auf denselben Zeitraum ermittelten Trend der Niederschlagsmenge erklärt werden, da sich für diesen ein negativer Wert ergibt. Die Ursache des ständigen Grundwasseranstiegs ist, daß die durchschnittlichen Niederschlagsmengen von den Jahren 1939 bis 1971, jene der Jahre 1841 bis 1938 wesentlich überschreiten (besonders in den Wintermonaten, die im Zusammenhang mit den durchgeführten Untersuchungen maßgebend waren). Das bedeutet, daß die Niederschlagsmenge der untersuchten 33 Jahre den zum dynamischen Gleichgewichtsniveau gehörenden Wert überstieg. Der Überschuß wurde — durch das größere Akkumulationsvermögen — (oder die »Erinnerungsfähigkeit«) durch die sich tiefer bewegenden Grundwasser stärker ausgenutzt.

Secular Changes in the Amount of Rainfall and Trend of the Ground-Water Table Fluctuation. According to the registration data obtained by the observation wells in the Great Hungarian Plain whose water-level fluctuation, on the basis of the comparative time sequences, might be considered to be undisturbed, the annual mean stages show a rising tendency, and the scatter of the relative stages of the wells continuously decreases. This phenomenon cannot be motivated by the trend of the amount of the precipitation determined for the very same period, put because this one gave a negative value. The cause of the continuous rise is that the average annual amount of rainfalls in the years 1939 to 1971 significantly surpass those of the years 1841 to 1938 (especially in winter months those being of decisive importance from the viewpoint of the investigations in question), which means that the amount of rainfall in the 33 years investigated was above that associated with the dynamic equilibrium level. The surplus will be used up by the ground-waters, flowing in deeper strata due to their greater accumulating capacity (or “power of memory”).