

KARSTVÍZFORGALOM ÉS KARSTVÍZHÁZTARTÁS A DUNÁNTÚLON

DR. LÁNG SÁNDOR

Bevezető

Karsztvízforgalom címszón a karsztterületekről, a karsztból a nem karsztos területre jutó természetes utánpótlódású vízmennyiséget értjük, hozzávéve ehhez az itt-ott, a társadalom gazdasági tevékenysége (bányák víztelenítése, ipari és ivóvízellátás biztosítása) révén a karszt mélyebb részeiből, főleg az ún. „statikus” karsztvízkészletekből¹ kiemelt vízmennyiségeket. Nálunk a Közép-Dunántúlon a bauxitbányászat és a szénbányászat termel ki nagyobb mennyiségű karsztvizet — járulékosan —, több esetben már komplex rendeltetéssel.

A karsztvízháztartás fogalmát pedig átvesszük a víz természeti körforgalmából a karsztra érvényes szakasz mennyiségi jellemzésére. Eszerint

$$Cs = P + L \text{ (ill. B)}$$

ennek megfelelően a Bakonyban pl. (mm-ben kifejezve)

$$680 = 490 + 190 \quad \text{és a Mecsekben}$$

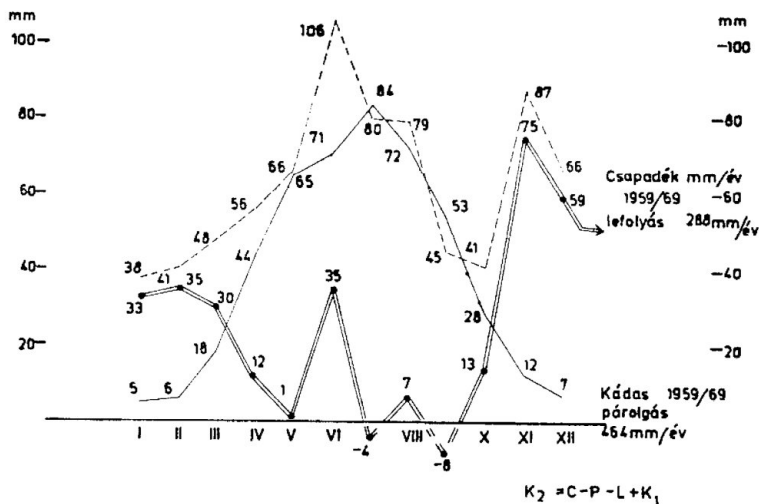
$$700 = 500 + 200, \quad \text{ahol}$$

Cs = csapadék (évi átlag), P = elpárolgás és L = B a lefolyás, ill. beszivárgás.

A vízháztartási egyenletet azonban két körülmény, igen kis mértékben, módosíthatja. a) Egyes víznyelők közvetítésével nem karsztos területek nyerhetnek lefolyást a karszt felé és keveredhetnek a karsztos kőzetben a csapadék beszivárgásából származó cirkuláló karsztvízhez (JAKUCS L. szerint a mészkőhegységi „A” típusú karsztvízhez a vizet át nem eresztő nem karsztos térszín „B” típusú karsztvíze keveredik hozzá). b) A karsztot idegen kőzet (pl. lösz) vékony takarója fedi be, ez részben elvezeti a csapadékot a karsztról (a domborzati feltételek szerint), részben jobban elősegíti a párolgást, mivel akadályozza a karsztba való gyors beszivárgást.

Mindezek a körülmények változatos módon és arányokban jelentkeznek a dunántúli karsztjainkon és általában az összes hazai karsztvidékeken. Ilyen szempontból a karsztvidékeink zömét jelentő *Dunántúli-középhegység* azon az alapon jelent egy fő típust, hogy ott nagy térfogatúak és elég nagy mélységűek, 1000 m-ig vagy még lejjebb is nyúlnak az ún. mélykarsztok, *igen sok* „statikus” karsztvízkészlettel, ez a langyos karsztvíz jellemzi. De rendelkeznek a csapadékvíz körforgalmával kapcsolatos, *jelentős dinamikus karsztvízkészlettel* is, és ennek megfelelően magaskarszt-részletekkel, hideg karsztvízzel.

¹ A „statikus” karsztvíz fogalma a régi értelmezés szerint, mint pl. ez a főkarsztvízszint alatt a régebbi geológiai korokban felhalmozódott és teljesen mozdulatlan víztömeg lenne (ilyen pl. a „triászvíz”), a tritiumos karsztvíz kormeghatározás eredményei alapján már nem tartható fenn. Eszerint pl. a „legöregebb” karsztvíztömegek nálunk mintegy 15—20 ezer éve szivárogtak be.



3. ábra. A bükki karszt vízháztartása Hármaskútnál, 1959–1969

PE = evapotranspiráció

Fig. 3. Water budget of the karst region of the Bükk Mountains at Hármaskút, between 1959–1969

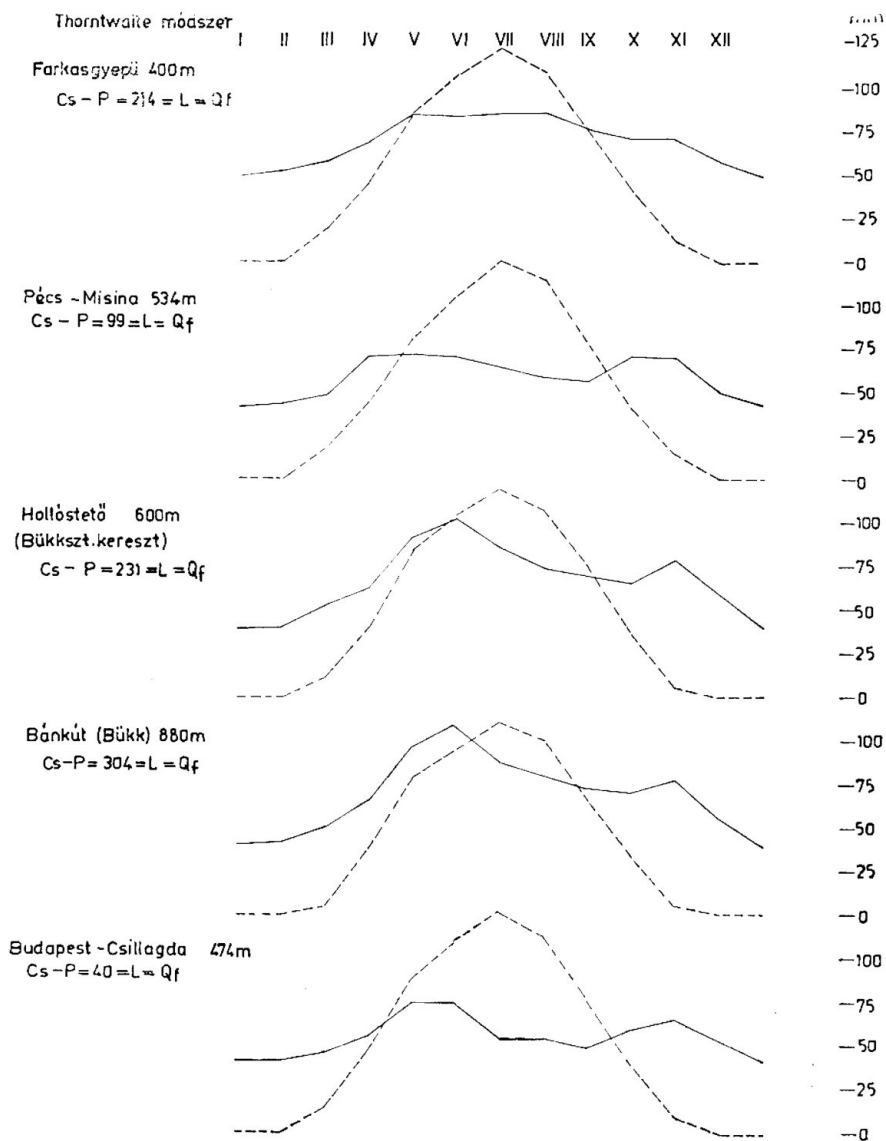
PE = evapotranspiration

tekintettel a karszt *visszatartó* hatására a beszívárgott vízre. Ezenkívül a karszt-hoz csatlakozó visszafolyások — a víznyelőkön át — nálunk mintegy *fele annyi* fajlagos lefolyást jelentenek, mint maga a lefolyástalan karszt, a Bükk-fensíkon, 700–900 m-en pedig csak harmad annyit (LÁNG S. 1966).

Ha az ET értékét más módon határozzuk meg, az eredmény mégis közel ugyanaz, mint a párolgásmérő kádakkal, és a vízháztartási egyenletben is ugyanazok a problémák jelentkeznek. Ez a helyzet pl. a *Thorntwaite*-módszer alkalmazásakor (4. ábra). Az utóbbi esetben pl. — a 4. ábra szerint — a pécsi Misina-tető karsztján is, vagy a Budai-hegységben is, <100 mm marad a lefolyásra és a beszívárgásra, vagyis fele annyi sem, mint a valójában beszívárgó átlag. Az utóbbi értéke ugyanis saját adatok szerint 27–28%, míg KESSLER H. régebbi adatai szerint >30%. A fenti átlagokhoz képest azonban elég nagyok az *ingadozás* értékei; *minél magasabb* a karszt és *minél leszállóbb jellegű a karszt vize, annál inkább*. Az 5. ábrán tanulmányozhatók 1893–1969 között a pécsi Tettye-forráson — az átlagos havi és évi vízhozamokon, csapadék és fajlagos lefolyásadatokon kívül — egyes szélsőséges vízjárású évek havi és évi vízhozamai is, mutatván a 100 körüli ingadozási számokat.

A karsztos beszívárgás meghatározása, noha látszólag a könnyebb, mégis a nehezebbik, mert közvetlenül nem lehetséges, csak közvetve, amennyiben a beszívárgott víz a karsztfelszín alól vissza is kerül a felszínre. Ez pedig e formában a karsztforrások és a karsztfolyók vízhozam-mérésével azonos, azonban az esetleges közbülső veszteségek nem vehetők figyelembe (pl. átszívárgás az előtér mellékközetébe, de a hozzászívárgás sem). Az utóbbiak hatása azonban lényegtelen.

A beszívárgási arány (%) az említett mért vízhozamok és az átlagos évi csapadék hányadosa. A csapadék mennyisége szerintünk az egész karsztterületre, tehát a hegység alacsony karsztos területekre is vonatkozik, szemben a korábbi kutatók gyakorlatával.



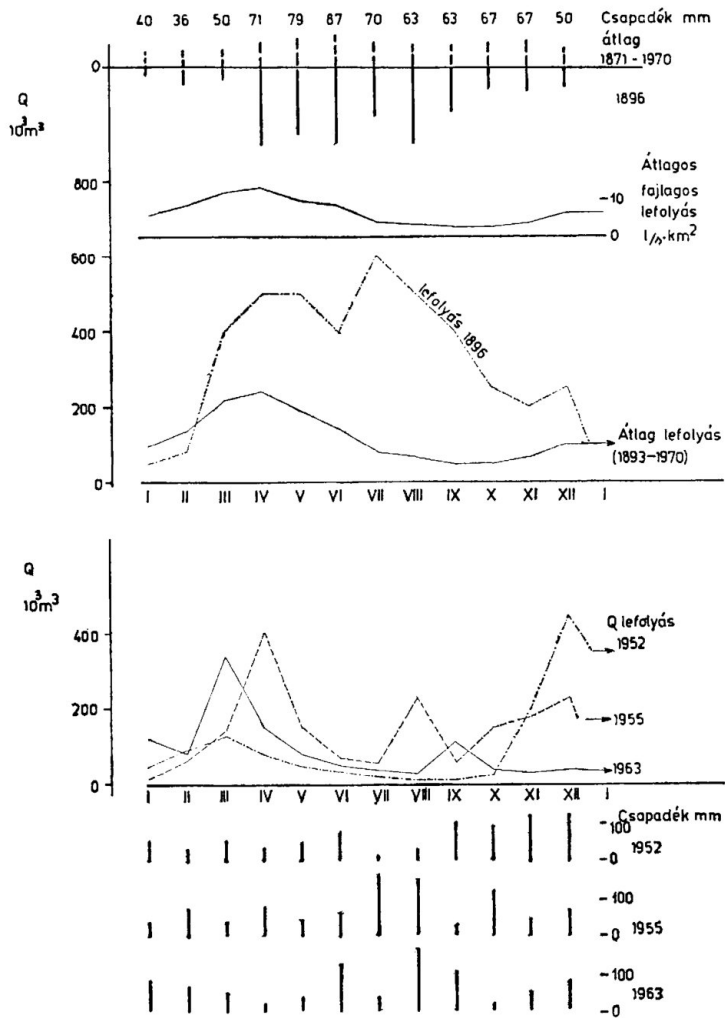
4. ábra. Csapadék és potenciális evapotranspiráció hazai karsztokon 1901–1950, mm

Cs = csapadék, P = párolgás, L = Q_f = lefolyás

Fig. 4. Precipitation and potential evapotranspiration between 1901–1950 in the Hungarian Karst regions, mm

Cs = precipitation; P = transpiration; L = Q_f = runoff

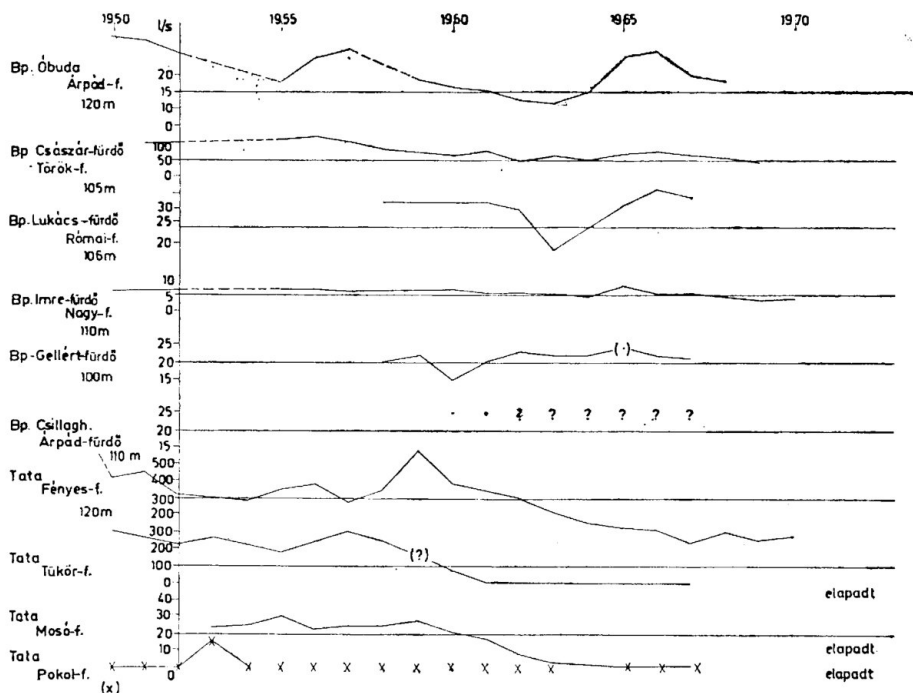
A karsztos beszívargás meghatározásának közvetett módszerét, a nagyobb karsztforrások vízhozamméréseinek eredményeit a Dunántúli-középhegységben a Budapest–Tata közötti területen a 6., az Északi-Bakonyban a 7., a Keleti-Bakonyban a 8–9., a Balaton-felvidéken a 10. és a Keszthely–Tapol-



5. ábra. A pécsi Tettye-forrás vízhozamai, Pécs csapadéka (1896, 1952, 1955, 1963)
Fig. 5. Discharge of the Tettye-spring Pécs and precipitation at Pécs in 1896, 1952, 1955, 1963

ca közti területen a 11. ábra szemlélteti, végül a mecsekiet a 12. ábra. Láthatjuk ezeken az évi átlagokat $1/s$ értékekkel.

Míthogy a források vízhozamának évi átlagát általában egy-egy havi mérésadatból számítottuk, várható, hogy az évi átlagok mintegy 5–10%-kal magasabbak a valóságnál. Mégis jól elfogadható értékek egy-egy kisebb terület víz-háztartásának meghatározása szempontjából, mert kiegyenlítik a nem karsztos előtérbe való átszivárgás tételeit. Ilyen terület lehet pl. a Középhegység peremi süllyedékek látkosorúja a Sárréteknél, a Tapolcai- és a Marcal-medencében, az Általér mentén és máshol, továbbá egy-két esetleg számításba nem vett kis forrás is.



6. ábra. A Budapest—Tata közti karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s
Fig. 6. Annual average discharge of Karst-springs between Budapest and Tata, l/s

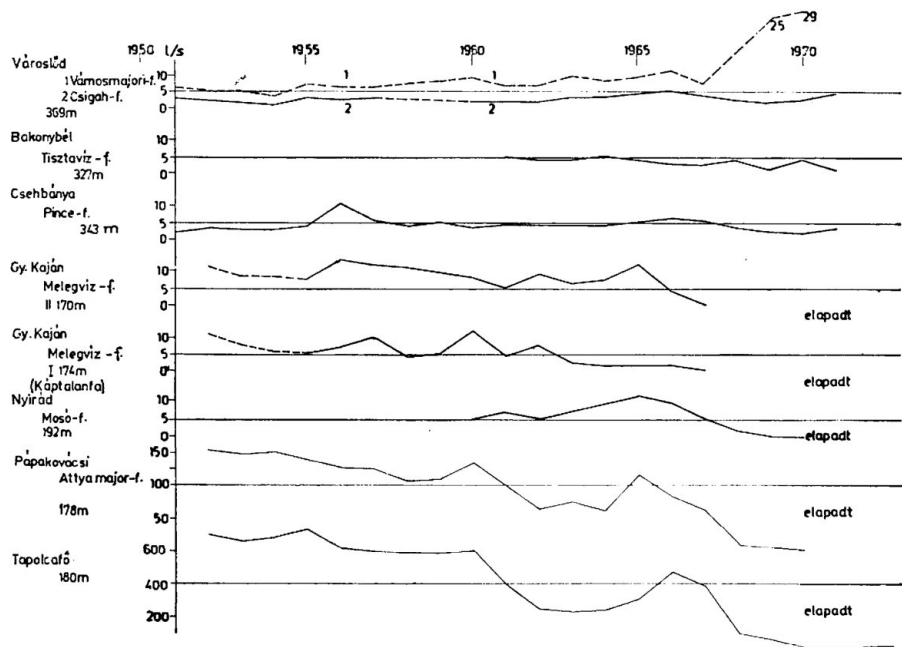
Ezért az általunk a 6—12. ábrán szemléltetett karsztforrás vízhozam adatok együttes összege igen jól egyezik a számított beszívárgási adatokkal.

A 6—11. és a 12. ábra egybevetéséből különben kiviláglik, hogy a Bakony karsztforrásai mindinkább a bányászattal járó és a vízellátást célzó vízkiszivattyúzás hatása alatt állnak és egyre több karsztforrás elapad. Ilyen helyeken az elapadt források vizének pótlására a vízellátás zavartalanlansága érdekében karsztaknákából szivattyúzzák ki a vizet, amikor már nem egy esetben a „statikus” főkarsztvíz készlethez nyúlnak.

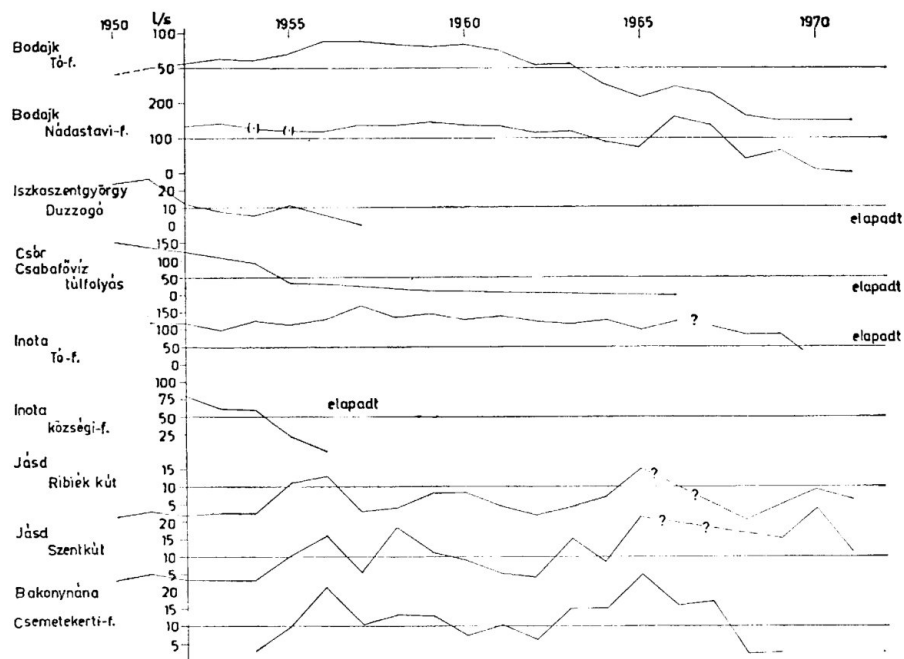
Ennek következménye, hogy beáll az egész Dunántúli-középhegységre kiterjedő karsztvízszint-süllyedés, amint arra a VITUKI Karsztvíz osztályának 1970 óta évente megjelenő karsztvízszint térképei is utalnak. Az 1971. évi VIKÖZ évkönyv adatai szerint pl. már a Hévízi-tó is e hatás alatt áll; ezt a körülményt saját vizsgálataim is megerősítik (11. ábra).

A mecseki karszton ilyen nagy mértékű antropogén beavatkozás nincs, mesterséges víztermelés — nagy karsztaknak segítségével — a tetteit kivéve nem történik, ezért ott — a középhegységekhez képest — még a természetes állapotok uralkodnak.

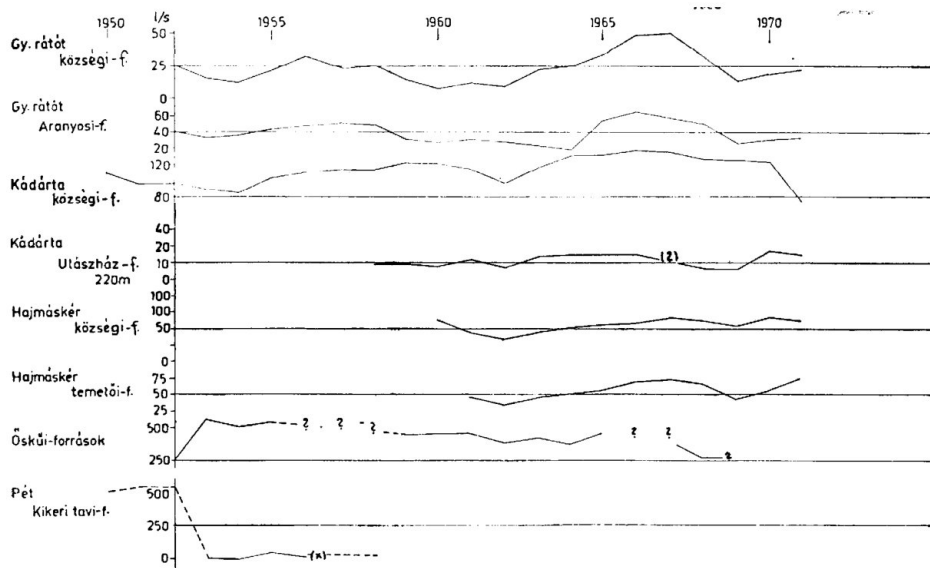
A Mecsekben — főleg Pécs felett — ugyanis nincs lényegesen nagy mennyiségű „statikus” karsztvíz, és a kicsiny karszterületek miatt a dinamikus karsztvíz mennyisége is csekély. Ennélfogva az esetleges működő karsztaknak is csak dinamikus karsztvízkészlet hatékonyabb kiemeléséhez nyújthatnak segítséget.



7. ábra. Az észak-bakonyi karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s
Fig. 7. Annual average discharge of Karst-springs in the northern Bakony Mountains, l/s



8. ábra. A kelet-bakonyi karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s I.
Fig. 8. Annual average discharge of Karst-springs in the eastern Bakony Mountains l/s I.

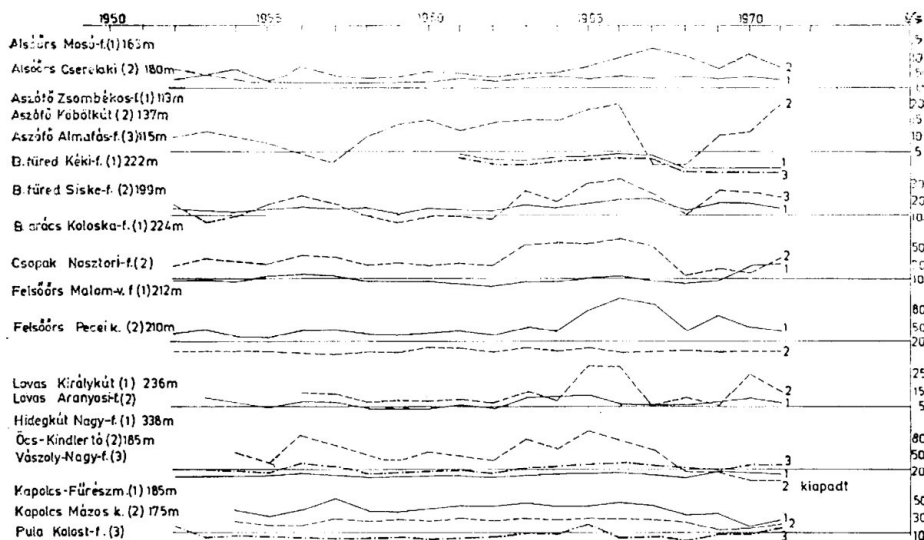


9. ábra. A kelet-bakonyi karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s II.

X = túlfolyás

Fig. 9. Annual average discharge of Karst-springs in the eastern Bakony Mountains l/s II.

X = overflow



10. ábra. A balatonfelvidéki karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s

Fig. 10. Annual average discharge of Karst-springs in the Balaton Uplands (Bakony Mountains) l/s

A 12—13—14. ábra segítségével nemcsak a mecseki karsztforrások egyes sajátosságait ismerhetjük meg, hanem több általános vonatkozású fontos ismeret birtokába is juthatunk.

Eszerint pl. sekély karszton csak az állandó regisztrálású (műszeres) forrás-vízi hozammérések a bizonyosak. Minél nagyobb a források ingadozási száma (vagyis a legnagyobb és a lehető legkisebb vízhozamok aránya), az időszakos (pl. havonkénti) vízhozammérések annál megbízhatóbbak. Csak a pontos vízhozam adatok vezetnek a vízháztartás szabatos ismeretéhez. Utóbbihoz azonban egyenrangúan fontos kellék a vízgyűjtőterület pontos ismerete (ennek határait a karszton elég nehéz kijelölni), továbbá a lehullott csapadékmennyiség kimerítő pontosságú ismerete is. Nem ártana ezenkívül a csapadék formáját, továbbá intenzitását (esőnél) is meghatározni, valamint a hóolvadás menetét.

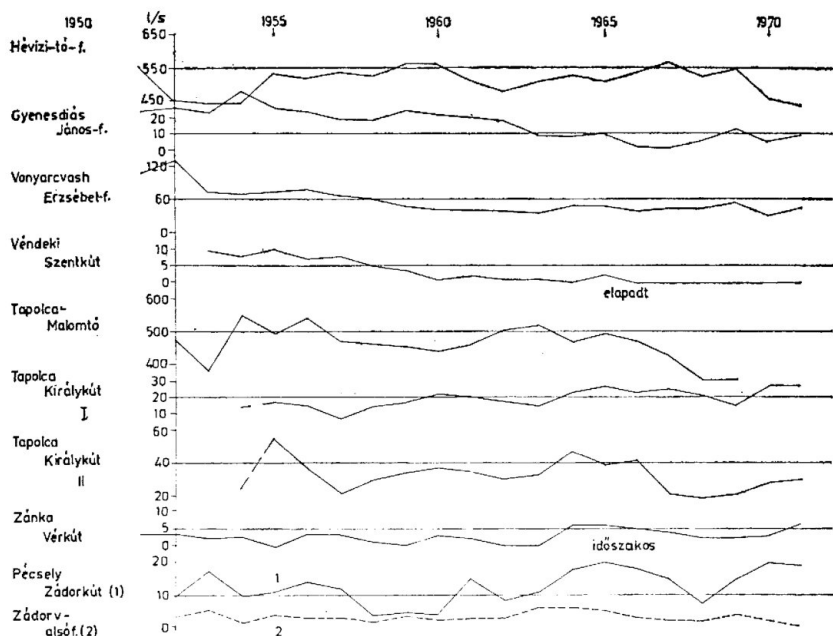
A fenti kívánalmak közül a vízgyűjtő területek pontos körülhatárolása, továbbá a csapadékmennyiség ma már eléggé jól ismert a Ny-mecseki karszton, ezenkívül a karsztforrások, közöttük főleg a pécsi Tettye-forrás vízjárása, a vízjárások szélsőségei és a vízhozamok is (RÓNAKI L., 1972., továbbá saját kutatások. L. az ábrákat, főként a 14. ábrát!).

Az említett pontos és részletes eredmények birtokában állapítható pl. meg, hogy — országos szinten is — a KESSLER H. (1954) által meghatározott átlagos beszivárgási százalékok a magyar karsztos területeken mintegy 6—8%-kal magasabbak a valóságnál.

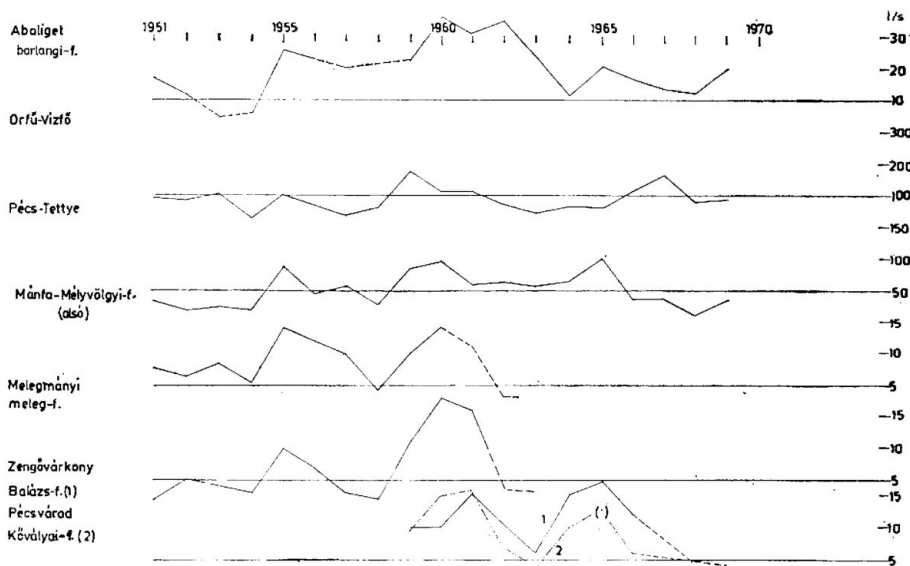
A karsztforrások ugyanis nem adnak — a karsztra hullott csapadékhhoz képest — annyi vizet, mint amennyi a kb. 35%-os Kessler-féle beszivárgási százaléknak megfelelne. Emellett a 14. ábra adatai szerint még az is megállapítható, hogy a nyári félév csapadékfeleslege a mecseki magaskarszton aránylag nagyobb valószínűséggel érvényesül, mint a bakonyi mélykarszt karsztaknáiban, ill. a mélykarszt forrásainak tevékenységében (6. és 11. ábra). A nyári félév csapadékfeleslegeinek nagyobb valószínűségi értékeihez azután még magasabb intenzitásbeli értékek is járulnak. A 14. ábrán szereplő adatok közül pl. csak hét olyan évet találhatunk, amikor az átlagon felüli évi vízhozam a Tettye-forráson téli eredetű volt, viszont további 26 év csapadéka mutatkozott vegyes eredetűnek, vagyis ilyenkor a nyári félév bővebb csapadéka is beleszólt az átlagosnál magasabb vízhozamok alakulásába, míg a többi 44 év az átlagosnál kisebb vízhozammal mutatkozott 1893—1969 között.

Az említettek arra is utalnak, hogy a mecseki karsztok vízjárásában eléggé figyelemre méltóan — mintegy 10% valószínűséggel — mutatható ki a tisztán mediterrán jellegű éghajlati hatás és ennél még jobban lehetne kielemezni a részlegest, a többi hazai karsztterülethez képest.

A csapadék (eső) intenzitásának fontosságát azért emeltük ki, mert a nagy intenzitású és eléggé nagy mennyiségű eső (kb. 10 mm/10 perc vagy még több) gyorsan áthatol a vékonyabb-vastagabb növénytakarón egészen a karsztig és nagyobb hányada szivároghat be, mint a lassú esővel nehezebben mozgó víz. Ezáltal 1. főleg a nyári félév egy-egy bő esője is belejut a karsztba és érvényesül az erősebb beszivárgás és lefolyás, a nagyobb forráshozam révén. 2. Ugyanezen hatás miatt lecsökken a jelentősége a messzebb eső megelőző hónapokénak is, mert a nagy és bő esők hatása az eső után 1—2 napra már jelentkezhet, de egy-egy hóvégi nagy eső, sőt, nagyméretű, rendkívüli hóolvadás hatása még a következő hónap elején vagy első felében is erősen érezhető. 3. Az 50—100 mm/1—2 óra intenzitású nagy felhőszakadások, melyeknek valószínűsége az érintett karsztokon 3—5 év, heveségükben felülmúlhatják a karszt víz-



11. ábra. A Keszthely—Tapolca közti karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s
Fig. 11. Annual average discharge of Karst-springs between Keszthely and Tapolca, l/s



12. ábra. A mecseki karsztforrások évi átlagos vízhozama, l/s
Fig. 12. Annual average discharge of the Karst-springs in the Mecsek Mountains, l/s

áteresztő képességét. Ilyenkor a víznyelőkön át folyik a karszt belsejébe a víz, — amint már ezt is többször megfigyelhettük —, míg a karszt legkülső, csak néhány száz m-es határzónájából a felszínen is lefolyó víz a nemkarsztos előtér felé is távozhat, esetleg azonban az említett határvonal batúktaptúrás víznyelőibe is bejuthat.

A Tettye részletesebb vízhozamadatai alapján pl. kidolgozható lenne az ún. sekélykarszthatás, ezzel pl. meg lehetne adni a karszton a hirtelen jelentkező bő esők átfutási idejét, sőt, még a vízhozam-előrejelzés kérdéseire is ki lehetne térni a csapadék és a vízgyűjtő adatai alapján.

A karsztos vízgyűjtők vagy más hasonló területegységek (pl. a mi esetünkben az Északi-, a Keleti-, a Déli-Bakony, a Vértes, a Gerecse-Pilis és a Budai-hegység, végül a Mecsek) csapadékának meghatározásához szükséges a havi és az évi átlagok hosszú idejű és homogén sorozata, minél több csapadékmérő-állomás eredményeinek felhasználásával.

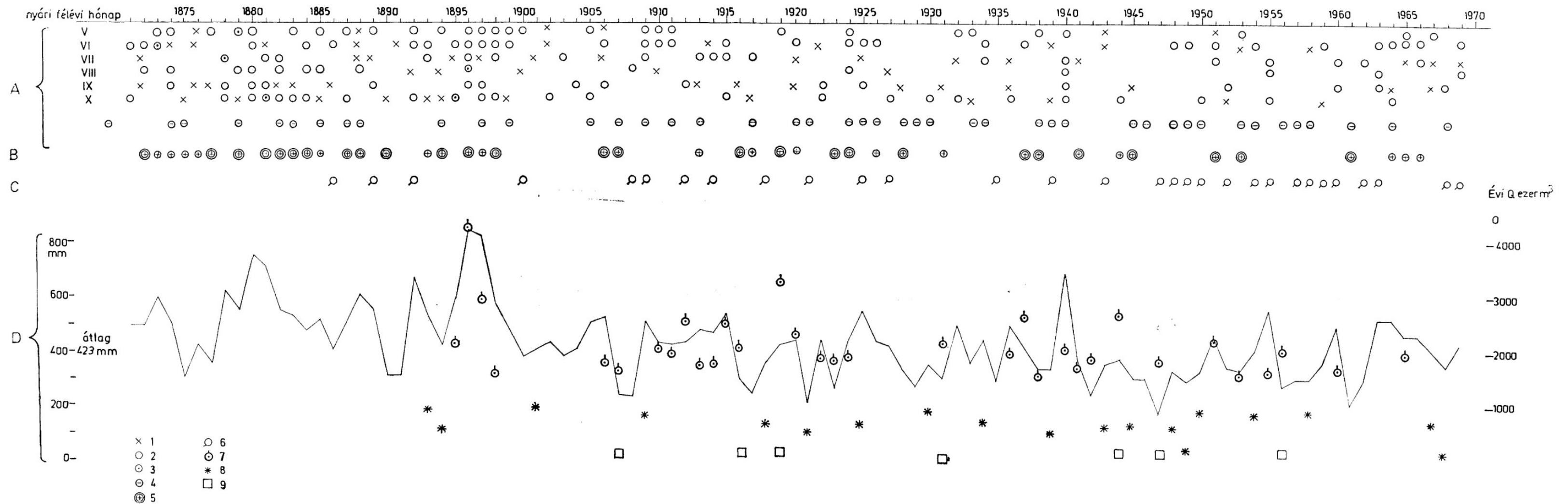
Nem elég a kiválasztott terület legmagasabb pontjának csapadékát ismerni, hanem a peremi, a határon fekvő állomások adatainak beszámítása is szükséges. Pl. a Keleti-Bakony karsztjának átlagos csapadékát nemcsak Lókút és Tés, hanem ezenkívül Veszprém, Öskü és Várpalota csapadékadatainak felhasználásával kell meghatározni, mivel Veszprém—Hajmáskér—Öskü—Várpalota vonalán is van karszt, de jóval kevesebb csapadékkal és beszivárgással, mint a Bakony tetején. (Főleg ez okozhatja az eltérést KESSLER adatai és saját adataim között.)

A Mecsekben ilyen problémák nem merülnek fel, mivel nincsenek nagy eltérések a karsztvidékek és a Mecsek körüli nem karsztos előtér csapadékviszonyai között.

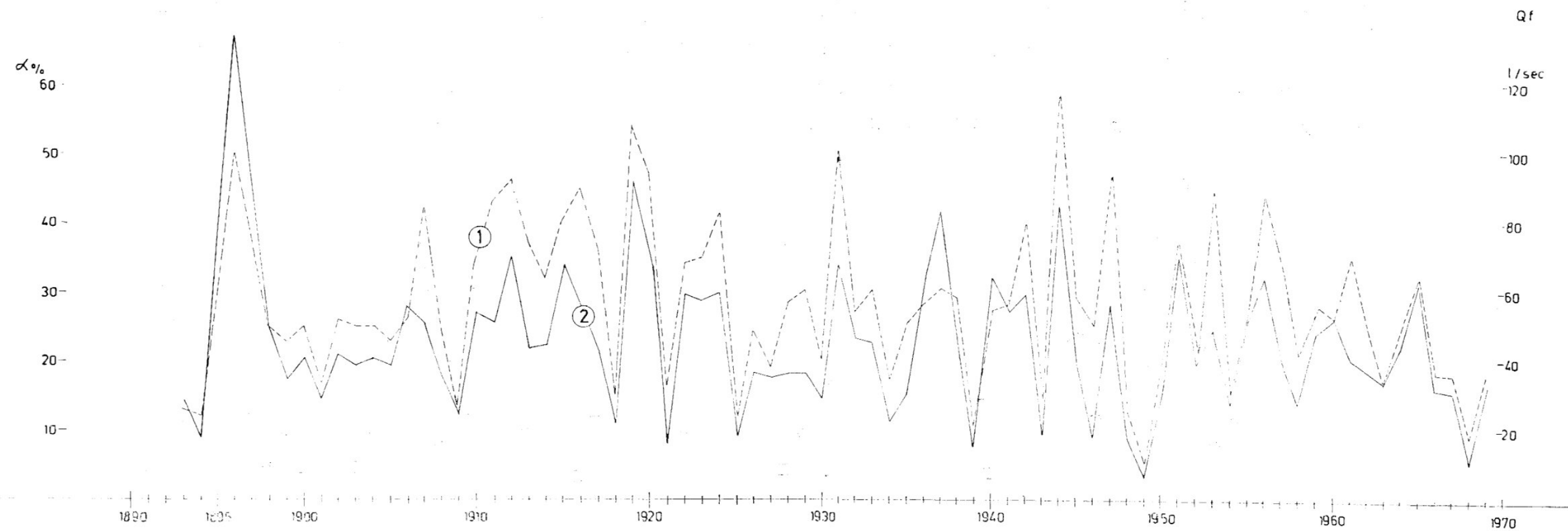
A borsodi Bükkre és az Aggteleki-karsztra nézve még 1966-ban közöltünk egyes karsztos vízgyűjtőkre vonatkozó vízháztartási egyenleteket. Eszerint pl. a Garadna vízgyűjtőjén ($F = 20 \text{ km}^2$) 10 éves periódusban 43%-os a lefolyás aránya, a Szinván 28%-os, a Jósván még kevesebb: alig több mint 20%. A rövid, mindössze 10 éves észleléssorozatokat természetesen a megfelelő eltérések és hibák terhelhetik a valósághoz képest.

A magyarországi karsztforrások vízjárása és vízhozamai alapján általában még azt is megjegyezhetjük, hogy mennél magasabb a karszt, azaz minél jobban domborodik ki a sekélykarszt jelleg, annál nagyobb a nyári záporok és általában a nagyobb esők azonnali befolyása és halványul el kissé a hosszas őszi esők hatása (közelebbről a naptári évet megelőző négy hónap hatása, amely KESSLER számításainak egyik alapja). Mélykarszton fordított a helyzet. Mindezek a hegységi éghajlaton mutatkozó törvényszerűségek következményei, ami szerint a hegység lejtőin felfelé, különösen a luv oldalon csökken a hőmérséklet és növekszik a csapadék, a megfelelő magassági gradiensek szerint. Ezenkívül a nyári csapadék hangsúlyozódását még a kontinentális éghajlat hatása is fokozza.

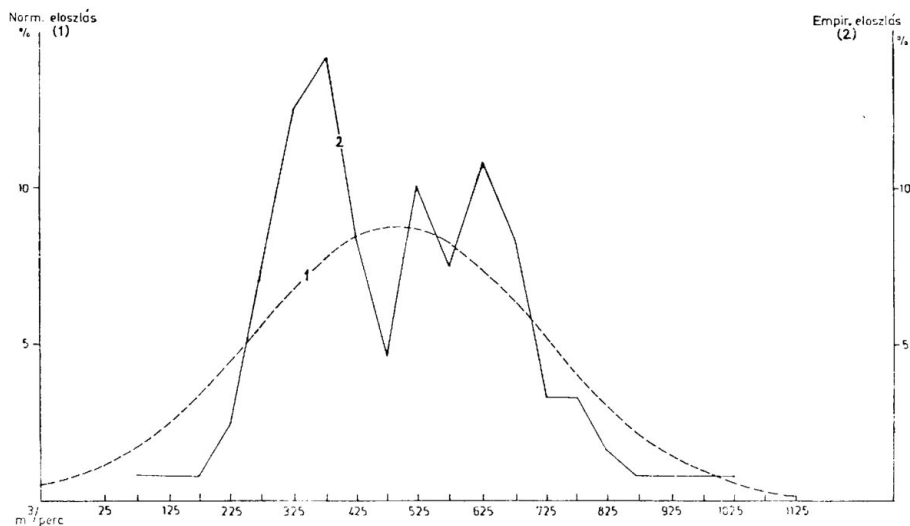
A karsztos beszivárgás természetes menete — amint sok példán már láthatuk — nagyon változatos, úgyszólván nincs is két egyforma év a folyamatok végbemenetelét illetően. Vannak azonban egyforma vagy közel eső eredmények és ezek alapján is végrehajtható bizonyos tipizálás. A vízhozammérések, továbbá a számított eredmények alapján pl. meghatároztuk a dunántúli-középhegységi karszt beszivárgásainak *normális* és *empirikus eloszlását* százalékban az 1851—1970. évi szakaszra (15. ábra). Az ábrázolás és a normális eloszlás kiszámítása a Goulden-függvény segítségével történik. A függvénygörbe csúcsának



14. ábra. Az árvizek elemzése és a vegyes (téli és nyári) árvizek aránya a Tettyén
 Fig. 14. Analysis of floods and ratio of mixed floods (both winter and summer) on the Tettye river
 A : 1 — precipitation slightly above the average; 2 — ≥ 100 mm of precipitation; 3 — ≥ 200 mm precipitation; 4 — < 300 mm precipitation. B : 5 — ≥ 300 mm precipitation. C : 6 — < 200 mm precipitation. D : 7 — annual discharge above the average; 8 — annual discharge below average 9 — winter discharge



13. ábra. A pécsi Tettye-forrás vízhozama
 1 — lefolyástényező, ill. beszivárgás, %; 2 — vízhozam Q_f l/s
 Fig. 13. Discharge of the Tettye-spring, Pécs
 1 — runoff coefficient and % of infiltration; 2 — discharge Q_f l/s



15. ábra. A Dunántúli-középhegység karszt beszivárgásának normális és empirikus eloszlása
1 — normális eloszlás, %; 2 — empirikus eloszlás, %

Fig. 15. Normal and empirical ratio of distribution of infiltration in the Transdanubian Karst
1 — normal ratio %; 2 — empirical ratio %

értéke — $492 \text{ m}^3/\text{perc}$ — $>80\%$ értékű, ill. valószínűségű, a szórás 4 feletti. Ennek megfelelően $<10\%$ valószínűséggel $100 \text{ m}^3/\text{perc}$ alatti és ugyanolyan mértékben $1000 \text{ m}^3/\text{perc}$ feletti, tehát katasztrofálisan száraz, ill. igen nedves évvel járó beszivárgás is előfordulhat.

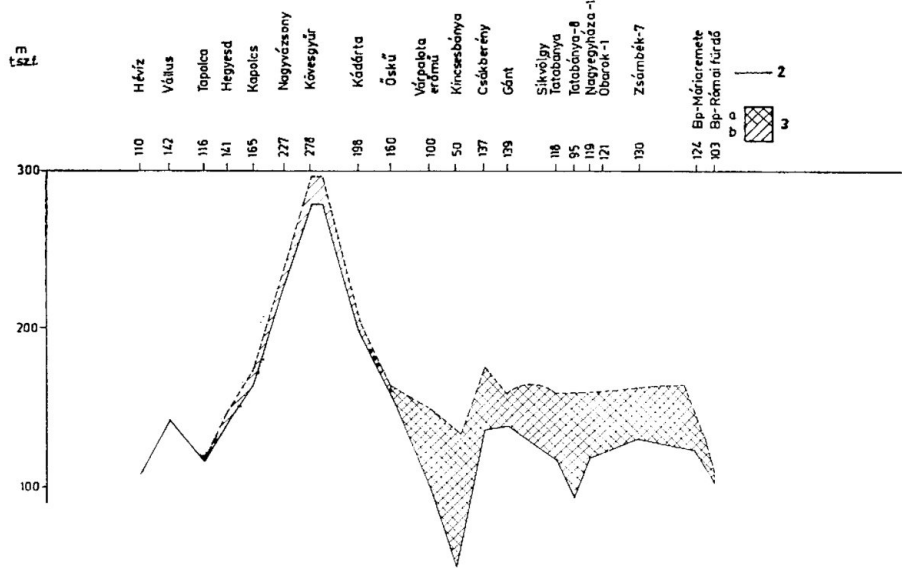
A karsztvízforgalom alakulása

A vízforgalom kérdésével kapcsolatban előbb a Dunántúli-középhegység általános karsztvízszint-süllyedését tekintjük át. Ennek mértéke átlagosan $25\text{—}26 \text{ m}$, de egyes kisebb foltokon $50\text{—}100 \text{ m}$ -es nagyságú azokban a depressziós tölcsekreben, amelyeket a nagymértékű vízkiszivattyúzás révén egyes bauxit- és szénbánya körzetekben alakítottak ki (16—17. ábra).

Legerősebb a süllyedés a Dunazug-hegységben, ahol a karsztvíz hidroizohipszák ma már függetlenek a külső domborzattól és pl. a Mezőföld felől Dorog és Tatabánya felé, tehát a leszívás irányába lejtnek.

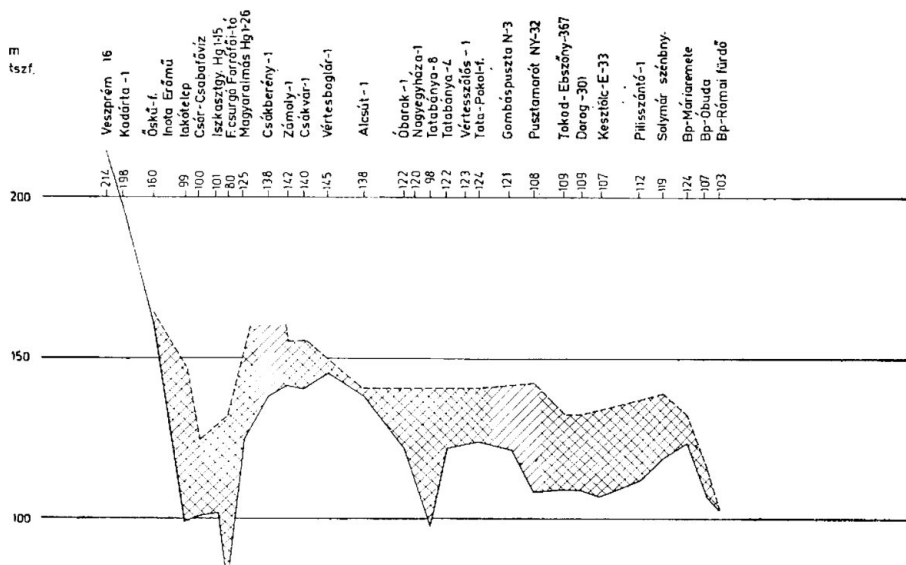
Tekintettel az átlagos $25\text{—}26 \text{ m}$ -es karsztvízszint-süllyedésre és a mintegy 4 km^3 leszivattyúzott karsztvízre, a megfelelő területen az átlagos üregesedés értéke kb. $1,60\%$. A kiemelt összes karsztvíz mennyiségét a 18. ábrán tüntettük fel, a végösszegek meghatározhatók, feltéve, hogy kellő hitelességgel mérték fel az illetékesek a kérdéses karsztvízmennyiségeket.

Amint a 19. ábra is mutatja, a bányák karsztvízkiemelése különösen az utóbbi két évtizedben gyorsult meg, erre vall a 2 jelzésű görbe elég merész és folyamatosan felfelé való ívelése. Ezzel szemben a beszivárgás — a száraz és a nedves évek sorozatában — hullámszerűen változik. 1971 a fordulat éve, amennyiben ez időtől kezdve az átlagos beszivárgás értéke alatta marad a karsztvíz-kiemelésnek. A különbség a „statikus” karsztvízkészletet csökkenti.



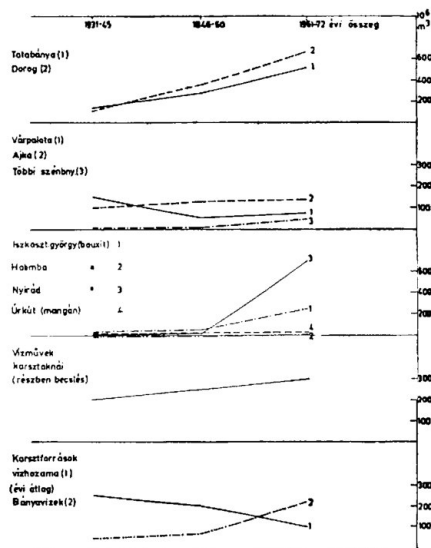
16. ábra. Karsztvízszint-süllyedés a Dunántúli-középhegységben I.
1 = karsztvízszint 1947/1948; 2 = karsztvízszint 1972; 3 = karsztvízszint-süllyedés 1948—1972 között, m; a = mért, b = elméleti

Fig. 16. Lowering of the karst water-table in the Transdanubian Mountains I.
1 = karst water-table 1947/1948; 2 = karst water-table 1972; 3 = lowering of karst water-table between 1948—1972, m; a = registered; b = theoretical

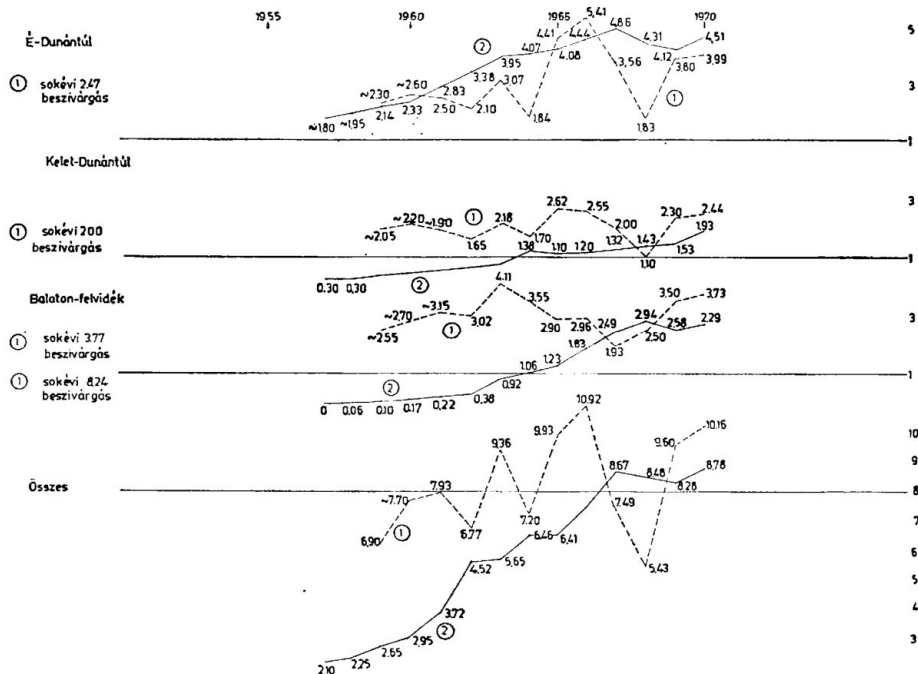


17. ábra. Karsztvízszint-süllyedés a Dunántúli-középhegységben II.
Jelmagyarázatot I. a 16. ábránál!

Fig. 17. Lowering of the karst water-table in the Transdanubian Mountains II.
For legend see fig. 16



18. ábra. Kiemelt összes karsztvíz és a források vízhozama, mill. m³
Fig. 18. Total volume of karst water removed and discharge of springs mill. m³



19. ábra. Évenkénti átlagos beszivárgás és a bányák karsztvíztermelése a Dunántúlon
Fig. 19. Annual average infiltration and karst water removal of mines in Transdanubia

Ezek szerint a karsztvízszint süllyedése úgy megy végbe, hogy kiszivattyúzzák — egyes helyeken — a „statikus” karsztvíz szintje alatt a mélykarsztvizet, a hiány pótlására oda áramlik a magasabb helyzetű dinamikus és „statikus” karsztvíz.

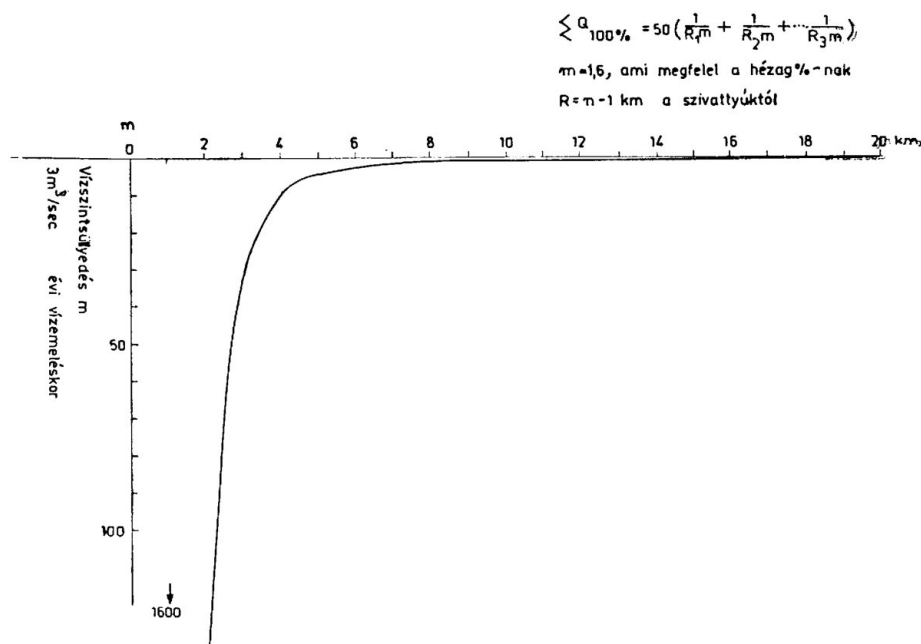
Az ilyen módon forgalomba kerülő karsztvíz kúpszerű, parabolikus felületen áramlik, ez a kivett víz mennyiségének megfelelően mélyül. A folyamatos vízszintsüllyedés mértékét azonban a kőzetminőség, a repedezettség, a tektonikai szerkezet, a terepszint helyzete és még esetleges egyéb körülmények befolyásolják. A vízszintsüllyedés átlagos mértéke a különböző távolságokban az alábbi módon fejezhető ki:

$$\Sigma Q_{100\%} = 50 \left(\frac{1}{R_1^m} + \frac{1}{R_2^m} + \dots + \frac{1}{R_n^m} \right), \quad \text{ahol}$$

$m = 1,6$, amely megfelel az átlagos hézagterefogat százalékának
 $R = n - 1$ km, a szivattyúktól mért távolság, km.

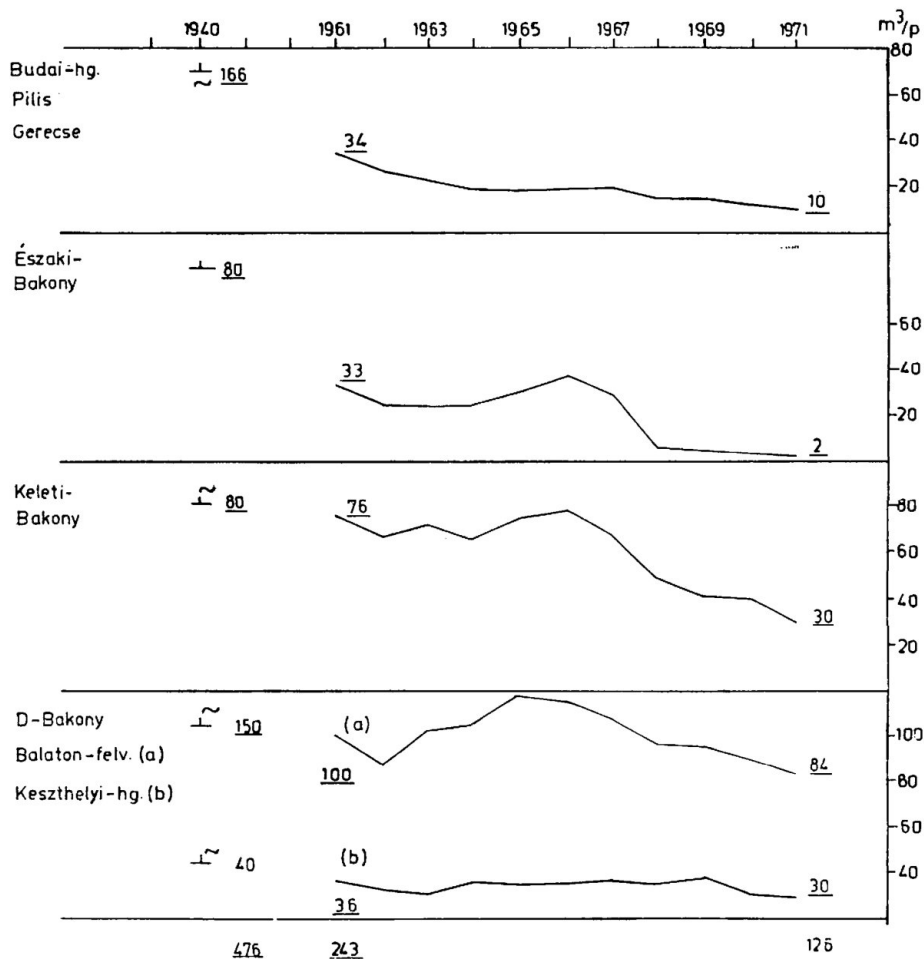
A fenti formula a nagyobb távolságokra (≥ 2 km) alkalmazható (20. ábra).

Mivel a mély depressziós tölcsekbe, a szivattyúkhöz és általában az egykor uralkodó karsztvízszint alá a frissen beszivárgott dinamikus karsztvíz is többé-kevésbé oda áramlik, a „statikus” karsztvízszint olyan helyeken is az erózióbázis nivója alá kerülhet, ahol korábban állandó jellegű, vaocluse-típusú karsztforrások is voltak. Az ilyen helyeken eleinte csökkent a karsztforrások vízhozama, majd el is apadt, mert az állandó karsztvízövezet már a terepszint, vagyis az erózióbázis nivója alatt helyezkedik el.



20. ábra. A kiszivattyúzott karsztvíz ($Q, m^3/év$) származása ($Q\%$ -ának megfelelő mennyiségben)

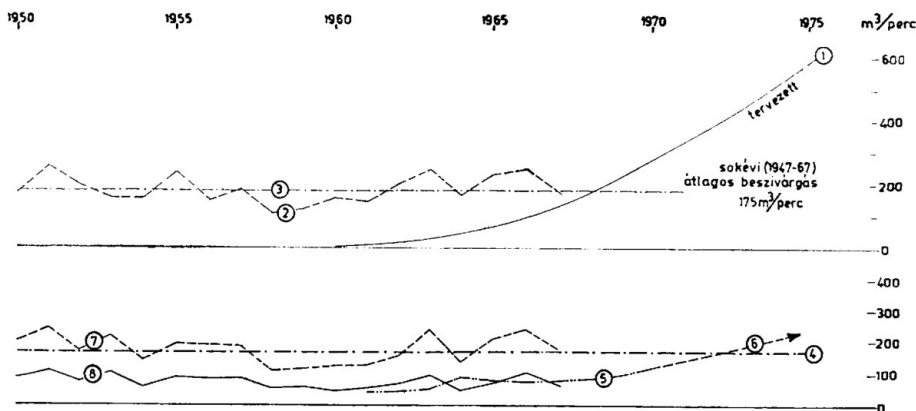
Fig. 20. Origin of karst water that has been pumped ($Q, m^3/year$)



21. ábra. Karsztforrások együttes évi vízhozamai tájanként, $m^3/perc$
 Fig. 21. Total discharge of karst springs on a regional basis m^3/min

Ennek megfelelően a Dunántúli-középhegységnek mintegy 70 nagy karsztforrása közül ma már 20–25 teljesen elapadt. Köztük pl. olyan nagy is, mint a Pápa melletti Tapolcafő, míg másik jó néhány közel van az elapadáshoz. Még olyan hírnevesek is, mint a Hévízi-tó forrása, igen erős hozamcsökkenésben vannak. Az összes karsztforrások vízhozamcsökkenését teljes áttekintésben a 21. ábra szemlélteti.

Szó van arról is, hogy — főleg a bauxitbányászat révén — a középhegységi beszivárgási átlagoknak egy évtizeden belül a többszörösét fogják bányavíz formájában kiemelni (22. ábra). Az ábrán különösen Nyírad karszvízkiemelése mutatkozik szembeszökően magasnak. Az itteni tervek, de az eredmények is mégiscsak megfontolásra adnak alkalmat. BÖCKER T.—SÁRVÁRY I. 1973. január 1-i helyzetre vonatkozó karsztvíztérképének adatai szerint pl. Nyírad bauxitbányáinak karsztvíztermelése 1972-ben $210 m^3/perc$ volt (azóta ez az eredmény



22. ábra. Tényleges (1970-ig), ill. tervezett karsztvízkiemelés Nyírád bauxitbányáiban, $m^3/perc$
 1 = nyírádi karsztvízkiemelés; 2 = utánpótlódó vízmennyiség a Balaton-felvidékről és a É-Bakonyból, 3 = átlagos beszivárgás az előző két területen, 4 = átlagos beszivárgás (1974–1967) a Vértesben és a K-Bakonyban, 5 = bányavíz kiemelés Iszkaszentgyörgyön és környékén; 6 = várható bányavíztermelés; 7 = beszivárgás a Vértesben és a K-Bakonyban, $m^3/perc$, 8 = beszivárgás a Vértesben, $m^3/perc$

Fig. 22. Actual (up till 1970) and planned removal of karst water from the bauxite-mine at Nyírád, m^3/min
 1 = removal of karst water at Nyírád; 2 = volume of water replacement from supplies in the Balaton Upland and northern Bakony; 3 = average rate of infiltration in these two areas; 4 = average infiltration between 1947–1967 in the Vértes and eastern Bakony Mountains; 5 = removal of minewater around Iszkaszentgyörgy; 6 = expected volume of mine-water removal; 7=infiltration in the Vértes and eastern Bakony Mountains m^3/min ; 8=infiltration in the Vértes Mountains m^3/min

kb. megkétszereződött). Ez így azt is jelenti, hogy már 1972-ben kb. kétszeres volt ott a víztermelés, mint a Nyírád környéki vízgyűjtőn az évi átlagos beszivárgás. Különben nem mutatkozna vészesen az apadás Hévízfürdő és Tapolca nagy karsztforrásain sem.

A középhegységi karsztvízforgalom eredményei alapján a következők állapíthatók meg:

1. Nem ismeri eléggé behatóan a bauxit- és a szénbányászat a középhegységi karsztvízháztartás normáit, sokévi átlagait, amely mintegy $500 m^3/perc$ (pontosan 492).

2. Sem a bányák víztelenítése, sem pedig a budapesti, balatoni, székesfehérvári, tatabányai stb. vízellátás érdekében nem szabad több karsztvizet kiemelni, mint amennyi a sokéves beszivárgás mennyisége. Csak ezáltal kerülhető el a budapesti, hévízfürdői stb. nevezetes és igen hasznos, gyógyászatilag és idegenforgalmilag is fontos karsztforrások vízének elapadása vagy teljes kiszáradása.

3. A népgazdasági érdekből folytatott bányászaton kívül ugyancsak más népgazdasági érdekek kívánják meg az optimális karsztvízháztartás fennmaradását a működő karsztforrások révén. Ilyen érdekű pl. az idegenforgalom, az egészségügy és a környezetvédelem is.

Javasoljuk ezért tehát, hogy készüljön olyan jellegű közgazdasági értékelés, amely mérlegeli és egyezteteti a véges időtartamú bányászat és a gyakorlatilag végtelen kihatású gyógyforrások és az egyéb karsztvíztípusok nagy jelentősége és értéke révén az idegenforgalom, a gyógyászat és a környezetvédelem érdekeit is, forint értékig terjedő részletezésben.

4. Fentiek alapján a Párt és kormány dolgoztassa ki — elvi, módszertani alapon is — a minden érdekelt fél igényeit kielégítő karsztvízkészlet-gazdálkodást.

5. Kívánatos — egyelőre — a mértéktelen karsztvízszintsüllyesztés leállítására a nagyon mélyművelésű bauxitbányászat fokozatos csökkentése révén, a bauxitot pótló másféle nyersanyagok (agyagfélések) bevezetésével. P. o. a Tóth K.-féle agyag-nyersanyagon alapuló, a mostani alumíniumgyártáshoz képest kevésbé energiaigényes alumínium előállítás révén (I. Természettud, Közl. 1974. évf., 6. szám.)

IRODALOM

- KESSLER H. 1959: Az országos forrásnyilvántartás.—VITUKI
LÁNG S. 1972: Karsztvízforgalom a Dunántúli-középhegységben. — Karszt- és Barlangkutatás VII. 61—91 p.
LÁNG S. 1966: A víz szerepéről hazánk természeti földrajzi környezetében. Földr. Közl. 14. (90.) évf. 1—30. p.
RÓNAKI L. 1972: A nyugat-mecseki karszt vízföldtani kutatásának újabb eredménye. — Az MTA Pécsi Csoportjának jubileumi évkönyve, Pécs. 121—146. p.
BÖCKER T.—SÁRVÁRY I. 1973: A Dunántúli-középhegység karsztvíz térképe 1973. I. 1. 1 : 200 000. — VITUKI.

KARST WATER CIRCULATION IN THE KARST REGION OF TRANSDANUBIA

S. Láng

Summary

The karstic regions of the Transdanubian Mountains and the Mecsek Mountains are mostly built of mesozoic, dominantly triassic limestones and dolomites. There are areas undergoing Karst formation in the Bakony, Vértes, Gerecse, Pilis and Buda Mountains. According to the research findings of the author in the Karst regions of the Transdanubian Mountains precipitation amounts to 680 mm, infiltration in the Karstic areas is 190 mm and the ratio of infiltration is 28% the volume of water that infiltrates can be expressed as 492 m³/sec. The exhumed Karstic areas that are no longer buried occupy an area of 1500 km².

Similar ratio of infiltration is characteristic of the karstic regions of the Mecsek Mountains in Southern Transdanubia where karstic areas occupy only 50 km², precipitation amounts to 700 mm, infiltration is 200 mm and the ratio of infiltration is 28%. These results are about 6—8% less than the former percentages given by KESSLER.

The volume of the above mentioned and quantitatively characterized natural karst water budget of the Transdanubian Mountains, has been significantly altered in the past decade due to industrial and mining activities in this region. The removal of karst water from the mines resulted in the artificial lowering of the karst water-table. The need for this undertaking is due to the fact that most of the bauxite and coal deposits were found below the former karst water-table, and the karst water had to be pumped out. Among the consequences of the artificial lowering of the karst water-table around the mining areas are the drying up of most of the natural karst springs of the region, and the volume of infiltrated karst water in the supplybase found below the Transdanubian Mountains has been greatly reduced as a result of human interference. The combined effect of these changes resulted in the lowering of the general karst water-table in the Transdanubian Mountains. Including the limestone areas covered by other rocks occupying several thousands of km²s the average lowering of the water table in the Transdanubian Karstic mountainous regions is about 25 m since 1945.

The effect of the lowering of the water-table in the above mentioned extensive areas is felt by a further reduction of surface waters since about 20 bigger karst springs (30%) have dried up.

Local shortage of water supply is overcome by a better distribution of the existing supplies, by the utilization of mine-waters. The removal of the static karst water amounted to 3 km³ in the past 25—30 years and some of this large volume of pumped water is utilized in the Balaton Uplands as a source of additional supply for the rapidly expanding tourist industry in the region. The need for more water is only one task to cope with, since the removal of sewage is also becoming a problem.