

A BESZIVÁRGÁS VÁLTOZÁSÁNAK ÉGHAJLATI OKAI A DUNÁNTÚLI-KÖZÉPHEGYSÉGBEN

FOGARASI SÁNDOR

Észak-Dunántúli Vízmű Részvénytársaság, Tatabánya, pf., 117. 2801.
Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék,
Szeged, pf., 653. 6701. fogarass@sol.cc.u-szeged.hu

Abstract: The investigation was inspired by the very low value of the infiltration in the Transdanubian Mountains in 2000. The first aim was to determine whether this phenomena is unicle or occur a few times in the last five decades. The second aim was to find a characteristic change ("climate change") in the climatic parametres of the infiltration in this region. So the study investigated the change of the infiltration and the change of its parametres too, and it tried to find connection between them in the period between 1950 and 2000. The work investigated the regional ang orographical differences of these parametres too.

Bevezetés

A munka alapötletét a Dunántúli-középhegység főkarsztvíz- tárolójának 2000. évre kiszámított, rendkívül alacsony beszivárgási értéke adta. Az tény, hogy a beszivárgás területi rendszere átrendeződött a térségben az elmúlt évtizedek során (FOGARASI S. 2000). A kérdés tehát, hogy a teljes tároló-rendszerbe beszivárgott víz mennyiségében az elmúlt 50 évben törtétek-e változások, és ha igen, ezek milyen irányúak voltak, mennyire bizonyultak szignifikánsnak.

A dolgozat a beszivárgást, illetve a beszivárgás szempontjából fontos paramétereket elsősorban időben vizsgálta; összességében, de a területi, orográfiai különbségekre is igyekezett tekintettel lenni. Időben az 1950-es évektől tekinti végig a beszivárgás, illetve egyes paramétereinek változását, részletesebben az 1990-es éveket elemzi.

A dolgozat a beszivárgást Maucha László éghajlat kapcsolati módszerével (MAUCHA L. 1990) számolta ki, 23 éghajlati állomásra, illetve a hozzájuk rendelt, összesen 1497,2 km²-es beszivárgási felületre. Azért ez a módszer került felhasználásra, mert a beszivárgás-számítási módszerek (BÖCKER T. 1974, KESSLER H. 1954, CSEPREGI A. 1985) közül a kidolgozás helyszíne, Aggtelek mellett a Tettye-forrásnál, illetve a Dunántúli-középhegység karsztkútjaiban (LORBERER Á. et al. 1986) is a legnagyobb egyezést mutatta a tényleges beszivárgással.

A beszivárgás és fontosabb paraméterei

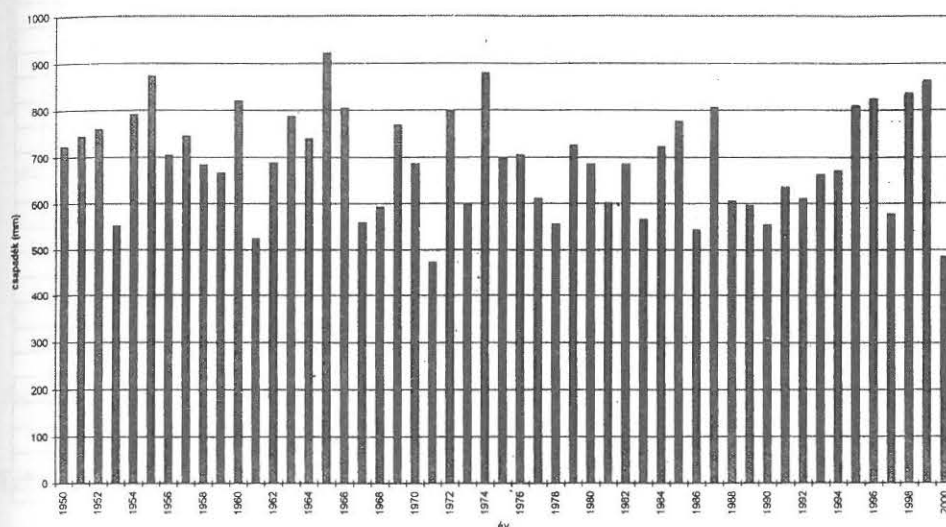
A beszivárgás alapvetően a csapadéktól függ. Nem mindegy azonban, hogy melyik évszakban hullik a csapadék (JUHÁSZ J. 1987). A vegetációs periódusban egyrészt a magas hőmérséklet, másrészt a növényi szervezetek jelenléte miatt nagy az evapotranszspiráció és így a tényleges beszivárgás csak töredéke a lehullott csapadéknak.

A beszivárgáshoz szükséges vízmennyiség felhalmozódásának ideális időszaka a tél, amikor nincs növényborítás és alacsony a hőmérséklet. (Természetesen ez a vízmennyiség gyakran lehullása után 1-2 hónappal szivárog csak be, a talaj felengedése, illetve a hótakaró elolvadása esetén.) A folyamat hidrogeológiai sajátossága, hogy ez a tavaszi beszivárgás akkor a leghatékonyabb, ha a megelőző őszön a kőzet már átnedvesedett, így tehát az egész téli félév kitüntetett szerepet kap a beszivárgásban. Más éghajlati elemek is szerepet kapnak a folyamatban (elsősorban a hőmérséklet az evapotranszspiráció miatt, de például az extrém nagy csapadékok is, a lefolyás növekedése révén), - ezt azonban csak néhány esetben látszott szükségesnek figyelembe venni (pl. a 2000. évben, a rendhagyóan magas hőmérsékleti értékek miatt).

Az éghajlati paraméterek mellett a hidrogeológiai tényezők is szerepet kapnak a beszivárgás alakulásában. Ennek elsősorban az az oka, hogy nagyobb karsztos kőzettömegek 1-2 év alatt ürülnek csak le. Így csapadékos éveket követően előfordulhat, hogy a pórusokban jelen lévő víz nem tud a fő repedésekbe, áramlási pályákra kiürülni, azok túltelítettsége miatt. Így átlagnál nagyobb évi csapadék esetén sincs nagy mennyiségű beszivárgás, mert a karsztvízszint-változások szempontjából a vízmennyiség realizálódása részben átcsúszik a következő évre; a tényleges beszivárgás, ami az egységes víztestbe jutást jelenti, megkésik. Amennyiben viszont a kőzet erősen leürült állapotban van, a kevesebb évi csapadék is gyorsabban, nagyobb arányban éri el a víznívót. Még érdekesebb a csapadékos és száraz évek kombinációja. Így a kőzet „tárolási kapacitása” is fontos feltétele a beszivárgásnak; utóbbi hullámozása több, egymás után csapadékos vagy éppen száraz év esetén is előfordul, és a csapadékmennyiségnek csak részben feleltethető meg. A karsztok kettős porozitása tehát egyfajta belső, kőzetszerkezetből eredő „játékos”, hullámozást ad a beszivárgás időbeni változásának. Következésképpen a beszivárgás nem feleltethető meg teljes mértékben a csapadékmennyiségeknek, attól időnként nagyobb mértékben is eltérhet. Az, hogy ez a módosító hatás milyen irányú, a megelőző 1-2 év és a tárgyév csapadékának az átlaghoz, illetve egymáshoz képesti viszonyától függ.

Csapadék

A területarányos csapadék átlaga a Dunántúli-középhegység karsztos beszivárgási területén 691,3 mm-nek bizonyult a vizsgált időszakban. Csapadékos periódusnak nevezhetjük csaknem az egész 1950-es évtizedet, az 1960-as évek középső 5 évét; amelynek kifutása volt az 1970-es évek első felére is, és – megszorítással – az 1990-es évek utolsó kétharmadát (1. ábra).



1. ábra A területarányos évi csapadék alakulása a Dunántúli-középhegység karsztos beszivárgási területén 1950-2000 között

Fig 1 Change of the annual precipitation, proportionate to the area on the infiltration area of the Transdanubian Mountains between 1950 and 2000

Az évi csapadék a Dunántúli-középhegység területén az 1990-es években alapvetően növekedett, átlag feletti volt. Többször is bekövetkezett nagyon csapadékos évek korábban nem tapasztalt egymásra halmozódása. Ezeket azonban száraz periódusra emlékeztető visszaesések követték, így a korábbiakhoz hasonló csapadékos periódusról nem beszélhetünk, - annak ellenére, hogy az átlagosnál valóban csapadékosabb időszak volt. Tulajdonképpen egyszerre vannak jelen a csapadékosnak nevezhető 1950-60-as évek csapadék maximumai és az azt követő, mintegy 2 évtized mély minimumai. Ennek következménye a csapadékingadozást jelző diagram fokozott kilengése. Ezeket az ingadozásokat a tárolási kapacitás jelensége jelentősen felerősítheti, évről-évre drasztikusan változó beszivárgásokat eredményezve. (Erről később lesz szó.) Az évi csapadék növekedése a nagy visszaesések miatt nem mondható egyértelműnek. Mintha lenne egy ilyen tendencia, de inkább fokozódó labilitásnak nevezhető a változás.

1. táblázat
Table I.

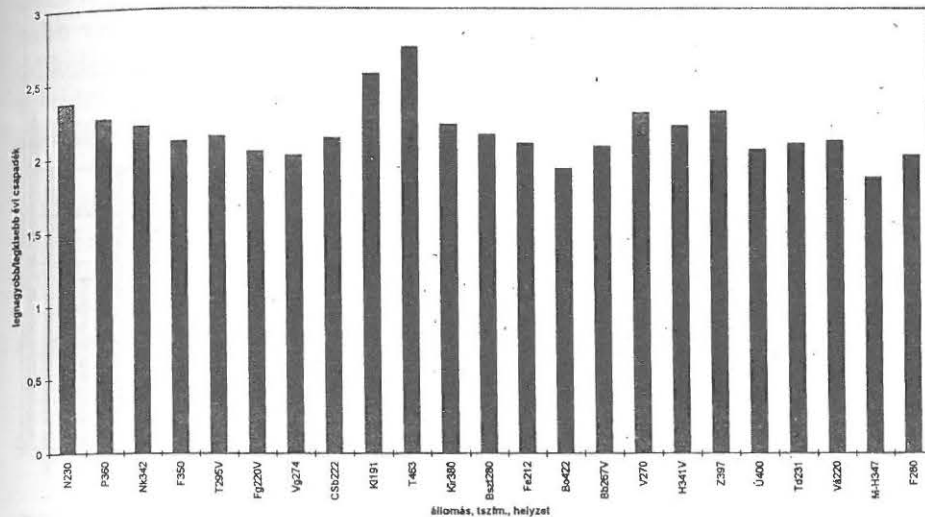
A 2., 4. és 6. ábrákon szereplő állomások adatai
Data of the meteorological stations in the 2, 4 and 6 figures

az állomás kódja	az állomás neve	az állomás tengerszint feletti magassága (m)	orográfiai helyzetre vonatkozó megjegyzés
N230	Nézsza	230	
P360	Pilisszentkereszt	360	
Nk342	Nagykovácsi	342	
F350	Budapest-Farkasrét	350	
T295V	Tardos	295	völgy
Fg220V	Tatabánya-Felsőgalla	220	völgy
Vg274	Várgesztes	274	
CSb222	Csákberény	222	
Ki91	Kincsesbánya	191	
T463	Tés	463	
Kir380	Királyszállás	380	
Bsz1280	Bakonyszentkirály	280	
Fe212	Fenyőfő	212	
Bo422	Borzavár	422	
Bb267V	Bakonybél	267	völgy
V270	Veszprém	270	
H341V	Herend	341	völgy
Z397	Zirc	397	
Ú400	Úrkút	400	
Td231	Taliándörög	231	
Vá220	Vállus	220	
M-H347	Mencshely/Hidegkút	347	
F280	Felsőörs	280	

Az 1990-es évek a Vértes-Gerecse térségében (elsősorban a délkeleti oldalakon), valamint a Déli-Bakonyban voltak különösen csapadékosak, másutt nem mondható rendkívülinek ez a növekedés.

Az éves csapadékértékek állomásonként évről évre csak kis mértékben szóródnak (2-2,7-szeres hányados az abszolút minimum és maximum között, 2. ábra). Nehéz az évi csapadék változékonyságában területi rendszert megállapítani. Úgy tűnik, hogy a változékonyság délnyugat felé, illetve a magasabb, kitettebb részek irányába mérséklődik, tehát a nagyobb csapadék-átlagú területeken stabilabb az évi csapadék összege. (A sokévi átlaghoz viszonyított érték az északkeleten lévő állomásokon – ide számítandó a Tési fennsík is – 0,6-1,4-szeres, míg délnyugaton 0,8-1,2-szeres érték között ingadozott az egyes években.)

A sokévi átlagok tekintetében közismert a csapadékmagasság eloszlása a térségben, amely nagy vonalakban az orográfiai vonalakat követi, illetve északkelet felől dél nyugati irányba emelkedik. A vizsgálat alapján az éves csapadék változékonysága is hasonló eloszlást mutat, csak ellenkező irányultsággal: az évi csapadék növekedésével csökken.



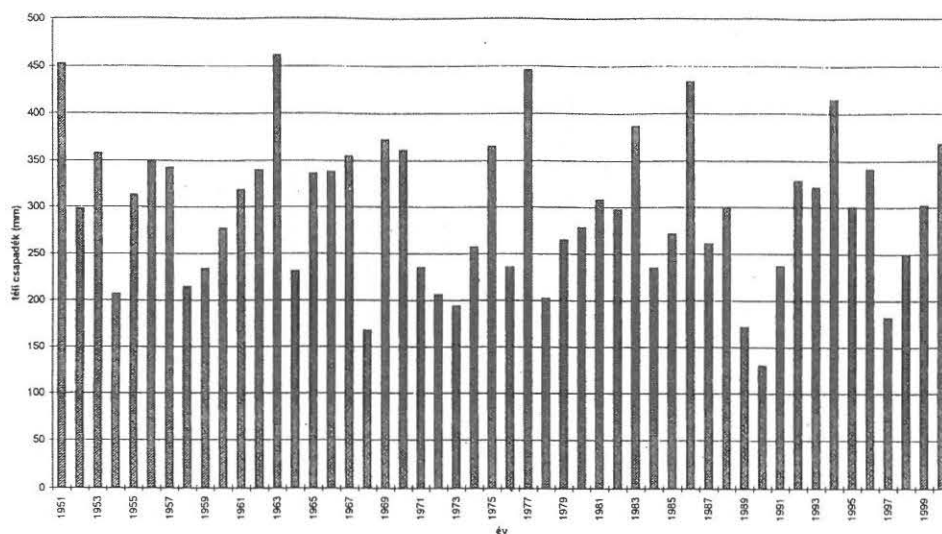
2. ábra Az éves csapadék változékonysága a Dunántúli-középhegység egyes mérőállomásain 1950 és 2000 között

Fig. 2 Variability of the annual precipitation in the Transdanubian Mountains by stations, between 1950 and 2000

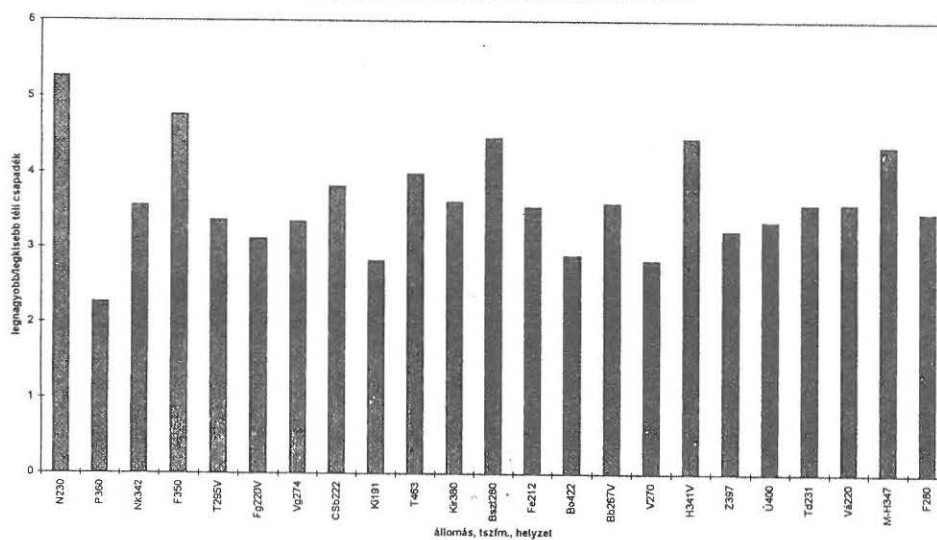
Téli csapadék

Sokévi, területarányos átlaga 292,8 mm-nek adódott. Időbeni változása az évi csapadékhhoz hasonló eloszlást mutat, de több különbség is megfigyelhető (3. ábra). Az 1950-es évek első kétharmadának csapadékos teleit néhány nagyon száraz követte. Az 1960-as évtized átlag feletti értékei felülmúlják az előbb említett periódusét, de nincsen kifutásuk az 1970-es évek elejére, mert ekkor a vizsgált időszak második legszárazabb telei figyelhetők meg. Az 1970-es és 1980-as évek sokat emlegetett aszálya a téli csapadék esetében mutatható ki leginkább. Az 1990-es évek elejétől a téli csapadéknak az évi csapadéknál határozottabb és tartósabb növekedése figyelhető meg.

Az 1990-es évek eleje óta általában csapadékosak a telek. A csapadékos telek eddig még nem tapasztalt halmozódása figyelhető meg, átmeneti visszaesésekkel, melyek azonban nem jelentősek. Így az a furcsa helyzet állt elő, hogy míg a csapadék nem, a téli csapadék egyértelműen növekedett, ami szinte sugallja a mediterrán jelleg erősödését a Dunántúli-középhegység csapadékjárásában.



3. ábra A területarányos téli csapadék alakulása a Dunántúli-középhegység területén 1951 és 2000 között
 Fig. 3 Change of the winter halfyear precipitation, proportionate to the area, on the infiltration area of the Transdanubian Mountains between 1951 and 2000



4. ábra A téli csapadék változékonysága a Dunántúli-középhegység egyes mérőállomásain 1951 és 2000 között
 Fig. 4 Variability of the winter halfyear precipitation in the Transdanubian Mountains by stations between 1951 and 2000

A téli csapadék azonban területenként különböző mértékben haladta meg az átlagot. Mindenütt megfigyelhető növekedése az 1980/90-es évek fordulóján tapasztalt, rendkívül alacsony értékeket követően, azonban az

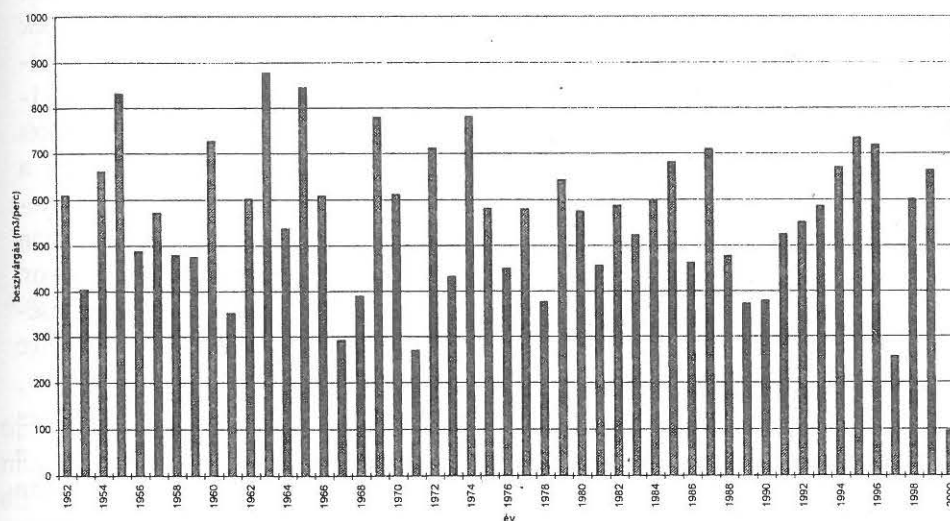
észak-keleti területeken ez kisebb mértékű, és így az 1990-es évek téli csapadéka is csak kis mértékben haladja meg az átlagot. Egyértelműen csapadékosabb viszont a Gerecse, a Vértes és a Tési fennsík állomásain, különösen a délkeleti oldalakon, a Magas-Bakony környékén, de leginkább a Balatonfelvidéken, a Keszthelyi-hegységben és a Déli-Bakony déli peremén. Az anomáliák területi eloszlása szintén a mediterrán jelleg erősödését húzza alá.

A téli csapadék az éves csapadéknál jóval változókéonyabb elem, a vizsgált időszakban az abszolút maximum és minimum hányadosa állomásonként 2-5-szörös értékek között ingadozott (4. ábra). A változókéonyosság eloszlása hasonló volt az évi csapadékhoz, de talán karakterisztikusabb annál.

A beszivárgás alakulása

Éves átlaga a vizsgált időszakban 195,4 mm-nek ($554,3 \text{ m}^3/\text{perc}$ vagy $9,5 \text{ m}^3/\text{secundum}$) adódott.

Miután több paraméter kombinációja, így értékei sem feleltethetők meg egyértelműen ezekkel (5. ábra). Az évi, illetve téli csapadéknál már megfigyelt három, átlag feletti értékeket felmutató periódus itt is megtalálható, de eltérő mértékben emelkednek ki, illetve nem olyan folyamatosak. Utóbbi oka a már említett „tárolási kapacitás”.



5. ábra A beszivárgás alakulása a Dunántúli-középhegység területén 1952 és 2000 között
Fig. 5 Change of the infiltration in the Transdanubian Mountains between 1952 and 2000

A már említett három, tartósan magas beszivárgást produkáló időszak: az 1950-es évek első fele, az 1960-as évek középső 5 éve, amely bizonyos mértékig átnyúlt az 1970-es évek elejére is és az 1990-es évek. A legtartósabbnak az utóbbi tűnik, azonban korábban nem tapasztalt minimumok ékelődnek be a nagy beszivárgást reprezentáló évek közé.

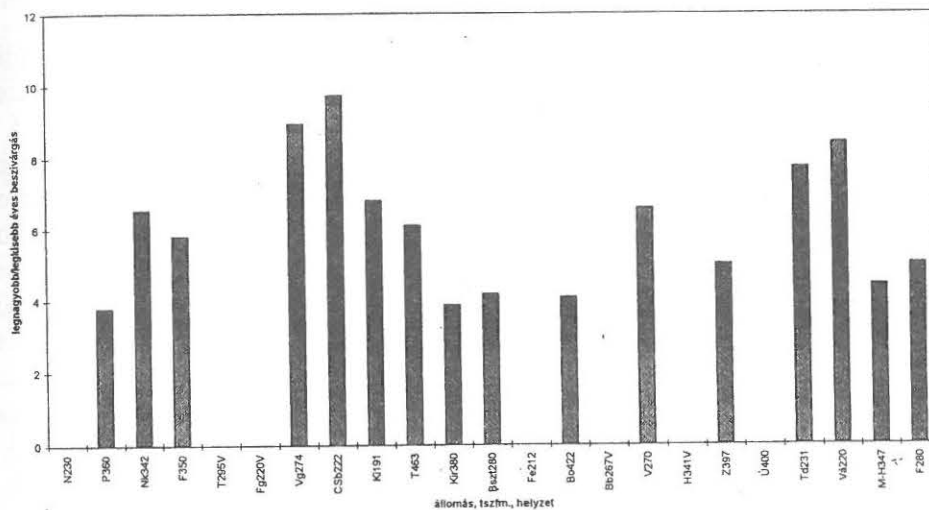
Az 1950-es éveknél nagyobb beszivárgás valósult meg az 1960-as években. Ennek oka elsősorban a csapadékosabb telekben keresendő. Az 1970-es évek első felének nagy értékei viszont egyrészt a néhány valóban csapadékosabb évnek köszönhetők (a teleknek semmiképpen sem), de komoly szerepet játszik kialakulásukban, hogy ezekben az években száraz évek váltakoztak csapadékosakkal. A száraz években leürültek a karsztos kőzetek, így a néhány csapadékos év beszivárgott vízmennyisége nagyobb arányban ért le még a tárgyévben a főkarsztvíz zónájába, ellensúlyozva a nagyon száraz telek kedvezőtlen hatását. Ugyanez a jelenség magyarázza az 1980-as évek közepének néhány nagy beszivárgását.

Az 1990-es évek folyamatosan növekvő, majd 1-1 évre váratlanul, nagymértékben visszaeső beszivárgása összetett okokban rejlik.

1990 a vizsgált időszak egyik legszárazabb éve volt, amelyet a legszárazabb téli félév előzött meg. Ez tekinthető a két évtizedes száraz időszak tetőzésének, következménye a leszálló övben tárolt vízmennyiség, a „tárolási kapacitás” erőteljes csökkenése volt. (A beszivárgás mégsem ekkor volt minimális, mert a leszálló karsztvíz-öv már korábban leürült, így a csapadék gyorsabban jelentkezett a támaszkodó karsztvíz-övben.) Az évi csapadék ugyan csak 1994-ben érte el az átlagot és csak utána haladta meg, a téli csapadék is csak 1992-ben érte el az átlagot; mégis, a beszivárgás már 1991-ben elérte az átlagot, a következő évben pedig meghaladta azt. Az első két évben tehát a „tárolási kapacitás”-nak (illetve annak hiányának), azaz a karsztos kőzetek korábbi leürülésének köszönhető a beszivárgás nagy mértéke. Ennek a hatásnak a kifulladásával magyarázható, hogy az 1993-as évben csak kissé emelkedett a beszivárgás. Utóbbi 1994-es megugrása a nagyon csapadékos 1993/94-es téllal magyarázható. A következő két év növekedésének oka az évi csapadékmennyiség további emelkedése volt (két, ennyire csapadékos év egymásra következésére korábban nem volt példa), illetve az, hogy a telek az átlagosnál változatlanul csapadékosabbak voltak. Az 1997-es év visszaesését mindhárom fontos paraméter összhatása okozta: a tárolókőzetek telítettek voltak és száraz tél után száraz év következett. Ezután két éven keresztül az átlagot jóval meghaladó éves csapadék volt (megismétlődött az 1995-96-os duplázódás), a téli csapadék pedig szintén jelentősen növekedett, a második évben már meghaladta az átlagot. A karsztok tehát ismét korábban nem tapasztalt mértékben telítődtek és a következő évben

(2000-ben) az évi csapadék a vizsgált időszak legszárazabb, 1971-es értékeit alig valamivel múlta felül. E két hatás ellensúlyozására nem volt elegendő az sem, hogy a megelőző tél az egyik legcsapadékosabb volt a vizsgált időszakban. A 2000. év beszivárgása példátlanul alacsony, értéke a negatív rekordnak számító 1997-esnek is csak 40%-a, és feltűnően nem illik bele az 50 éves adatsorba.

2000-ben tehát megisméltődött az 1997-ben egyszer már előfordult helyzet: korábban nem tapasztalt módon két, átlagnál jóval csapadékosabb évet nagyon száraz követett. A leszálló karsztvíz öv telítettsége és a szárazság együtt okozta tehát a szokatlanul csekély beszivárgást, amelyet a magas hőmérséklet is csökkentett. (Mintegy 25-30%-kal, és ez még nem is került beszámításra!)



6. ábra Az éves beszivárgás változékonysága a Dunántúli-középhegység egyes mérőállomásain 1952 és 2000 között
Fig. 6 Variability of the infiltration in the Transdanubian Mountains by stations between 1952 and 2000

Ha a beszivárgások változékonyságát vizsgáljuk, mindkét csapadék-típusnál jóval nagyobb eltéréseket tapasztalhatunk (a maximum és a minimum hányadosa több állomáson is 10-szeres, illetve 100-szoros nagyságrendű volt, 6. ábra). Ha a 10-szeres hányados alatt maradó állomásokat nézzük csak, akkor már egyértelműen magasabban fekvő, kitett, illetve a vizsgált terület délnyugati részén elhelyezkedő állomásokat találunk. Ez azt jelenti, hogy az eleve lényegesen nagyobb beszivárgási átlaggal rendelkező területek „kevésbé hajlamosak” szélsőséges beszivárgásokat produkálni, azaz a fent

említett jelenség bekövetkezése kevésbé valószínű. (Számos, a teljes vizsgált időszakon keresztül stabil beszivárgást produkáló állomás esett ki 2000-ben a már említett 10-es határból. Ez szintén a jelenség szokatlan jellegére utalhat.) Tehát beszivárgási szempontból ezek az állomások a többitől nagymértékben különböznek; sokkal inkább, mint az éves vagy a téli csapadék esetében. Az, hogy a beszivárgás ingadozása jóval nagyobb, mint a két vizsgált csapadék paraméteré, eredő voltával magyarázható: azzal, hogy több tényező egymásra halmozódásaként jön létre. Míután ezek a tényezők valamennyien változékonnyabbak az állomások egy csoportja esetében, a változékonnyabb alapadatok egymásra halmozódása lényegesen változékonnyabb eredőt hoz létre. Így csak azoknak az állomásoknak a beszivárgása ingadozik konszolidált határok között, melyeknél a kiinduló csapadéértékek is viszonylag stabilak.

Összegzés

1. Az elemzések alapján valószínűnek látszik, hogy a Dunántúli-középhegység karszterületein a beszivárgás és ennek éghajlati paraméterei valóban változtak. Az évi csapadék átlagosan növekedett, de jellemzőbb rá a bizonytalanság fokozódása. A téli csapadék egyértelműen növekedett. Utóbbi tény, a csapadék-anomáliák területi eloszlása (déli, délkeleti területek fokozott csapadéknövekedése), valamint más éghajlati paraméterek (pl. évi középhőmérséklet) alakulása a mediterrán jelleg erősödésére utalnak. Ez a beszivárgás szempontjából alapvetően kedvező, - azonban bizonyos meteorológiai jelenségek korábban nem tapasztalt időbeni egymásra következése, illetve egyidejű egymásra halmozódása a beszivárgás nagy mértékű éves ingadozásához vezethet, amit a vízgazdálkodásnak figyelembe kell vennie. (Például az újra induló források hozamát időlegesen - alacsonyabb szinteken fakadók - vagy tartósan - magasabb tengerszint feletti magasságban elhelyezkedők - erősen ingadozóvá teheti.)

A 2000-es év nagyon kis mértékű beszivárgása nem az eddig mért csapadék-értékek alapján lehetséges legrosszabb forgatókönyv, mert az átlagnál jóval magasabb téli csapadék ellensúlyozta valamennyire a szárazságot és a leszálló öv telítettségét. Az évi csapadék változékonyságának utóbbi években tapasztalt, nagy mértékű megnövekedése regionális jelenség és ilyen szempontból a vizsgált terület nincs is a legszélsőségesebbek között. Például Szegeden 1999-ben 783 mm volt az éves csapadék, - a Körösök mentén helyenként 1000 mm felett volt, - míg 2000-ben 212 mm. Ez utóbbi érték minden korábbi, Magyarországi rekordot megdöntött.

2. Az éves csapadék, a téli csapadék és a beszivárgás évről évre bekövetkező ingadozása a tengerszint feletti magassággal, illetve délnyugat felé is csök-

ken, tehát a nagyobb beszivárgással rendelkező területek stabilabban produkálják hozamukat. A változékonyság ilyen eltérése a hegylábi, illetve hegyvidéki állomások esetében megkérdőjelezi a hegylábi állomások adatainak extrapolációját a hegytetőn kialakuló beszivárgás számításánál. Utóbbi módszer ugyanis gyakran kényszerűség a terület vizsgálatánál a mérőállomások elhelyezkedése következtében. (Meg kell említeni, hogy ebben a problémában az OMSZ részéről az utóbbi években komoly előrelépések történtek. Kivételt képez a Gerecse és a Keszthelyi-hegység, ahol továbbra is csak hegylábi állomások mérnek.)

IRODALOM

- BÖCKER T.* (1974): Beszivárgás meghatározása karsztvidéken a negyedévi határ csapadék módszerével - VITUKI beszámoló
- CSEPREGI A.* (1985): A karsztos beszivárgás számítási módszereinek összehasonlítása a vízszintváltozások eredményeivel - Hidrológiai Közöny, 3., p. 130-133.
- FOGARASI S.* (2000): A karsztvíz beszivárgás mezőinek módosulásai a Dunántúli-középhegység területén – Karsztfejlődés V. BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely p. 195-209.
- JUHÁSZ J.* (1987): Hidrogeológia - Akadémiai Kiadó, Budapest.
- KESSLER H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség meghatározása karsztvidéken - Vízügyi Közlemények, Budapest, 2.
- LORBERER Á. et al.* (1986): A Dunántúli-középhegység karsztvíz-földtani és vízgazdálkodási helyzetfelmérése és döntéselőkészítő értékelése - VITUKI témajelentés, 7611/1/2.
- MAUCHA L.* (1990): A karsztos beszivárgás számítása - Hidrológiai Közöny, 70. p. 153-161.

