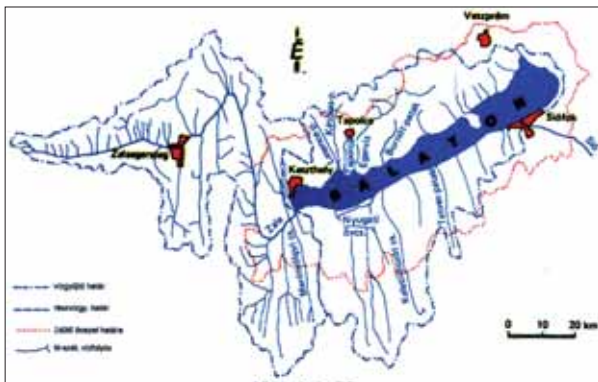


A Balaton és a Keszthelyi-öböl vízháztartásának hidrometeorológiai vonatkozásai

Bevezetés

A Balaton Közép-Európa legnagyobb tava, területe 589 km², a tavat körülvevő nádas kiterjedése 2005-ben 1209 ha volt (Szeglet, 2006). A Keszthelyi-öböl területe 45 km². A tó jelenlegi hosszúsága 76,5 km, átlagos szélessége 7,5 km. Mélysége 75 cm-es síófoki vízállásnál 3,36 m. A Balaton fő táplálója a Zala folyó, mely Fenékpusztánál éri el a tavat, ezen kívül még 30 állandó és 20 időszakos vízfolyás szállít vizet a Balatonba. A teljes vízgyűjtőterület nagysága 5775,5 km² (1. ábra.). A tó felesleges vízkészletét a Sió csatornán vezetik le.



1. ábra A Balaton vízgyűjtője

Keszthely a tó nyugati medencéjének észak-nyugati partszakaszán terül el. A város, mely méréseink helyszíne a Balaton és a Keszthelyi-hegység által határolt szegletben található. A hegység árnyékoló hatása a város és az öböl éghajlati adottságaiban is megmutatkozik mind a párolgás, mind a csapadék alakulásában.

A Balaton-kutatás jelentősége

A tó közel 600 km²-nyi területével messze elmarad a kelet-európai, afrikai, ázsiai tavak méretétől, és a tófelszín Magyarország területének is alig több mint fél százaléka, mégis a Balaton európai hírnevű természeti kincsünk, országunk egyik legvonzóbb, egyben talán legszebb tája is. Eötvös Károly az Utazás a Balaton körül című munkájában elsőként jósolta meg a tó későbbi sorsát: „A Balaton ábránd költészet, hagyomány, édes-dús mesék gyűjteménye, különös magyar emberek ősi fészke, büszkeség a múltból és a ragyogó reménység jövője.”

Az eredetileg lefolyástalan tó vízmennyiségét a mesterséges vízleeresztés kivételével meteorológiai és geomorfológiai viszonyok határozzák meg. A történelmi adatok tanúsága szerint a tó vízszintje természetes körülmények között erősen ingadozott. Varga (2003) által bemutatott adatok alapján a mai átlagos vízszintnél 4–6 m-rel mag-

sabb vízszint is előfordult, de aszályos években a vízszint a jelenlegi szabályozási szintnél akár a 2 m-rel is alacsonyabb volt. A XVIII. századtól kezdve az emberi beavatkozás hol a természetesnél magasabb, hol alacsonyabb vízszint kialakítását célozta. 1863-ban üzembe helyezték Siófokon az első zsilipet, biztosítva ezzel a kívánatosnál nagyobb mennyiségű víz elvezetését. A Balaton vízjárására a szabályozást követően kisebb mértékben ugyan, de jellemző maradt az ingadozás.

A tó vízkészletének természetes változékonyságát döntő mértékben a vízgyűjtőre hulló csapadék által közvetlenül, vagy közvetve a tóba jutó vízmennyiség, illetve az időjárás függvényében eltérő mértékű párolgás határozza meg. A Balaton vízmennyiségét fogyasztó párolgás számos hidrológiai és meteorológiai folyamat meghatározó eleme, a tó környezetében a 2000–2004 között bekövetkezett vízszint-problémák egyik lehetséges előidézője. A tetemes mennyiségű hőlekötéssel és jelentékeny vízgőzkibocsátással járó párolgás közvetlenül befolyásolja a parti sávban a meteorológiai elemek alakulását, ezáltal a parti üdülő-övezet mikroklímáját. A párolgás pontos ismerete segítséget nyújthat gyakorlati kérdések megválaszolásához is, pl. hogyan hat a párolgás a tó vízszintjének ingadozására, mennyi idő alatt cserélődik ki a tó teljes vízkészlete, stb. (Antal, 1963).

A Balaton párolgása

A Balaton párolgásának becslésére a múltban számos módszer dolgoztak ki, a párolgással kapcsolatban sokféle adatot közöltek. A 20. század elején, a Balaton párolgására vonatkozó megfigyelések kezdetén a Balaton évi párolgására Lóczy 1500 mm-es értéket közölt egyetemi előadásaiban (Béll és Takács, 1974), míg azok, akik Wild-evaporiméterrel mért adatokkal is kiegészítették számításaikat, a párolgás évi összegét 1500–1700 mm-re becsülték. Kemenessy (1930) ennél is magasabbnak, közel 2500 mm-re tette a tó vízvesztését. Hasonlóan nagy vízvesztést becsült Havalda (1930) parti párolgásmérő állomások és úszó párolgásmérők adatait is tekintetbe véve, és megállapította, hogy a tó átlagos párolgása 2000 mm körüli. Néhány évtized múlva Szesztay (1962) az 1921–1958 közötti időszakra átlagosan évi 870 mm-es párolgást határozott meg, melyet vízháztartási módszerrel közelített. Az utóbbi szerző 1962-ben a Dalton-képlet Meyer-féle változatával a korábbihoz nagyon közeli, 893 mm-es párolgást kapott.

Antal (1963) a Penman-féle energiaháztartási módszer hazai viszonyokra módosított változatával – 1901–1950 közötti időszakra – 904 mm-es évi átlagos párolgást számított. Béll és Takács (1974) utólagos megállapítása szerint

az Antal-formulával számított havi összegek évi menete megegyezett a Meyer-képlettel meghatározott párolgás évi változásával.

1971-ben az Országos Vízügyi Hivatal megbízására elkezdődött a Balaton sugárzás-, hő-, és vízháztartási rendszerének részletesebb feltárása. A méréseket ekkor már különböző típusú párolgásmérő kádakkal és úszó párolgásmérőkkel végezték. Ezen mérések alapján módosították a korábban a párolgás számítására alkalmazott Meyer-formulát. Az idézett összefüggésen nyugvó formulával kapott párolgás sokévi átlagos összege 860 mm (Antal – Baranyi – Kozmáné, 1977).

Célkitűzések

Kutatásaink célkitűzéseként arra a kérdésre kerestünk választ, hogy a tó vízmérlegét befolyásoló meteorológiai tényezők közül az elmúlt évtizedekben változott-e a Balaton térségében csapadék mennyisége, időbeli eloszlása, valamint hogyan alakult a tó felszínéről eltávozó víz mennyisége, a párolgás.

A megfigyelést a Balaton teljes felszínre vonatkozó hosszabb párolgási idősor figyelembe vétele mellett kiegészítettük a keszthelyi meteorológiai adatok alapján, a Keszthelyi-öböl párolgás viszonyainak rövidebb idősor alapján történő elemzésével (1992–2004), melyben nagyobb hangsúlyt helyeztünk a különböző párolgás-számítási módszerek összehasonlító vizsgálatára.

Megfigyeléseink a tófelszín és a légköri folyamatok kapcsolatának kutatására irányultak, ezért nem szerepelt a célok között a tó teljes vízmérlegének elkészítése. Az általunk vizsgált természetes vízkészlet-változás figyelmen kívül hagyja a leeresztett víz mennyiségét és csak a tófelszínre hulló csapadék, a hozzáfolyás és a párolgás alakulását vizsgálja. A Balaton esetében a lefolyó vízmennyiség mesterségesen szabályozott, ezért ha az éghajlati elemeknek a tó vízgazdálkodásában betöltött szerepét vizsgáljuk pontosabb eredményekhez juthatunk az általunk is alkalmazott módszer segítségével.

A kutatásaink anyaga, módszerei

Adatbázis

A hosszabb távú, 1921-től 2004-ig terjedő, a Balaton teljes felszínére vonatkozó párolgási, csapadék és hozzáfolyás idősort a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság Balatoni Kirendeltsége, valamint a VITUKI Kht. bocsátotta rendelkezésünkre. Ez az adatsor tartalmazza a Balaton teljes felszínéről elpárolgott víz mennyiségét,

a tófelszínre számított csapadék-, valamint hozzáfolyás adatokat havi bontásban. A tófelszínre hulló csapadék számításának alapja a poligon-módszer, melyhez jelenleg 12 csapadékmérő állomás adatait használják, a tó párolgását a síófoki és a keszthelyi meteorológiai állomás adatai alapján számítják (1. táblázat)(Fejér -Kravinszkaja, 2004).

Állomásszám	Állomás	Súlyszám	Tórész
1.	Keszthely	0,33	
2.	Fenekpuszta	0,29	
3.	Balatonyörök	0,28	Keszthelyi-medence
4.	Balatonkeresztúr	0,10	
4.	Balatonkeresztúr	0,17	
3.	Balatonyörök	0,5	Szigligeti-medence
5.	Balatonboglár	0,33	
5.	Balatonboglár	0,40	
6.	Balatonszemes	0,21	
7.	Balatonakali	0,19	Szemesi-medence
8.	Tihany	0,20	
8.	Tihany	0,18	
9.	Siófok	0,17	
10.	Balatonszabadi	0,20	Siófoki-medence
11.	Balatonkenese	0,20	
12.	Alsóórs	0,25	

1. táblázat: A négy tórész és a hozzájuk tartozó csapadékmérő állomások a súlyszámokkal

A különböző párolgás-számítási formulák teszteléséhez a szükséges meteorológiai adatokat a Pannon Egyetem Georgikon Karának Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszéke által működtetett, az Országos Meteorológiai Szolgálat által fenntartott, korábban MILOS 500-as, 2001 óta QLC-50-típusú automaták rögzítették.

A párolgás-számítás során felhasználtuk a napi középhőmérséklet, a relatív légnedvességből származtatott telítési valamint tényleges gőznyomás adatokat, napi átlagos szélsőértékeket.

A telítési párányomás kiszámítására az (1) képletet használtuk, ahol t_k a napi középhőmérséklet, e a természetes logaritmus alapja (Goudrian, 1977).

$$E = 6,1078 * e^{\frac{17,269 * t_k}{t_k + 237}} \quad (\text{hPa}) \quad (1)$$

A tényleges párányomást a (2) összefüggés alapján kaptuk meg, ahol U a relatív légnedvesség %-ban és E a telítési párányomás értéke.

$$e = (U E) / 100 \quad (\text{hPa}) \quad (2)$$

Párolgás-számítási módszerek, formulák

A Balaton párolgásának vizsgálatára irányuló kutatások kezdetén a tó párolgását a Meyer formulával számították 1921-től egészen 1974-ig.

$$P = 11(E - e)(1 + 0,2v) \quad (3)$$

ahol

E – a levegő telítési párányomása a havi közepes vízhőmérsékletre számolva (Hgmm)

e – a levegő tényleges párányomásának havi átlaga (Hgmm)

v – a havi közepes szélsősebesség (m/s)

Az OMSZ és a VITUKI 1958–1963 között végzett, majd 1971–1974 között folytatott és lezárt közös kutatása eredményeként a Balaton párolgásának meghatározására új formulát határoztak meg, amelynek alakja a következő:

$$P = n(E - e)(0,33 + 0,1v) \quad (4)$$

ahol

E – a levegő telítési párányomása a havi közepes vízhőmérsékletre számolva (Hgmm)

e – a levegő tényleges párányomásának havi átlaga (Hgmm)

v – a havi közepes szélsősebesség (m/s)

n – a hónap napjainak száma

Ez utóbbi összefüggést a párolgás számítására 1975–1985 között használták.

A VITUKI és az OMSZ-KMI a korábban használt párolgászámítási formulát felülvizsgálta és az alapösszefüggést meghagyva, a benne szereplő konstansokat változtatták meg. Az új (3) összefüggést 1986-tól egészen napjainkig változatlan formában alkalmazzák a tó párolgásának számítására. (VITUKI jelentés, 1986)

$$P_b = a(E - e)(0,59 + 0,013v) \quad (5)$$

ahol

E: a napi középhőmérsékletre tartozó telítési párányomás (hPa)

e: a napi átlagos párányomás (hPa)

v: szélsősebesség napi átlaga (m/s)

a: konstans, értékei: márc: 0,7; áprilisban: 0,8; októberben: 1,3; novemberben: 1,4

-dec; jan; febr; máj; júni; júli; auguszt; szept hónapokban: 1

A Keszthelyi-öböl párolgásának számításához felhasználtuk az Antal formulát:

$$PET = 0,9(E - e)^{0,7}(1 + \alpha T)^{4,8} \quad (6)$$

ahol

E: a napi középhőmérsékletre tartozó telítési párányomás (hPa)

e: a napi átlagos párányomás (hPa)

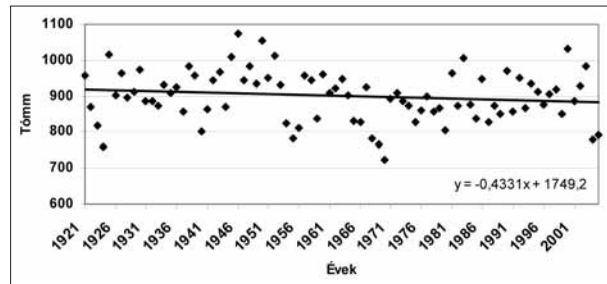
α : a levegő hőtágulási együtthatója ($1/273K^{-1}$)

T: a napi középhőmérséklet ($^{\circ}C$).

Eredmények

A párolgás alakulása a Balaton teljes felszínén 1921–2004 között

A Balaton felszínéről elpárolgó vízmennyiség éves összegeit a 2. ábra szemlélteti. Elemzéseinket a kapott grafikonokra fektetett, lineáris regressziós egyenesek ill. az azokat leíró egyenletek alapján végeztük.



2. ábra A Balaton éves párolgása 1921–2004 között

Az adott időszakban a tófelszín párolgása átlagosan 899 tómm* volt. Az idősor statisztikai elemzése során az éves párolgás maximális értéke 1946-ban 1073 tómm volt. 1000 tómm feletti éves párolgást a vizsgált időszakban mindössze 7 alkalommal rögzítettek, míg a tó párolgása még kevesebbszer, összesen 5 évben alakult 800 tómm alatt. A legkisebb éves párolgás 1970-ben, 723 tómm volt.

A párolgási sor mediánja 903 tómm. Az alsó kvartilis értéke 858 tómm, a felső kvartilis ugyanakkor 947 tómm volt, vagyis a jövőben is várhatóan 25% annak a valószínűsége, hogy a tó éves párolgása 858 tómm alatt ill. 947 tómm felett legyen.

Az idősor vizsgálata során csökkenő tendenciával találkozunk, ennek egy évre vonatkoztatott mértéke 0,43 tómm-nek adódott. Az egész évet figyelembe véve a változás statisztikai vizsgálataink alapján nem volt szignifikáns, azonban az egyes hónapok adatsorainak elemzése során jelentős változásokat tapasztaltunk.

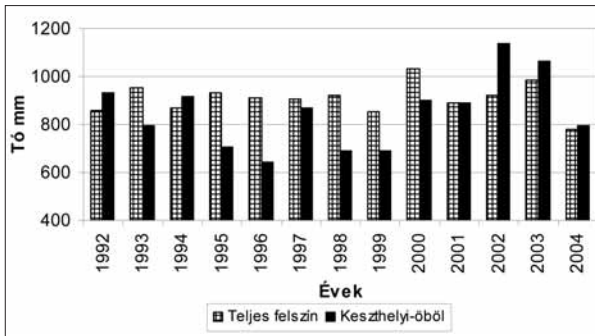
A Balaton párolgása jelentősen csökkent az intenzív párolgású időszakban. Április és szeptember között május kivételével minden hónapban szignifikáns volt a vízvesztés csökkenése. A tó párolgása az ősz második felében, valamint a téli hónapokban szignifikánsan növekedett. A téli hónapok vízvesztése azonban messze elmaradt a nyári párolgás-értékektől, így az évi vízforgalom szempontjából kevésbé jelentős.

A tó párolgás-számításának módszertana a mérések kezdete óta többször is változott, ezért az általunk elemzett adatsor nem tekinthető homogénnek, így messzemenő következtetések levonására nem vállalkoztunk.

A párolgás alakulása a Keszthelyi-öbölben 1992–2004

A Keszthelyi-öböl párolgását az 1992–2004-es időszakra számoltuk, mely időszak alatt a tó jelentős vízszintváltozásokat mutatott. A Keszthelyi-öböl 1992–2004 közötti evaporációját az ugyanerre az időszakra vonatkozó teljes tófelszínre meghatározott párolgással együtt ábráztam (3. ábra). Mindkét vízvesztés számítás azonos módon, a Balaton-formula (5) alkalmazásával történt.

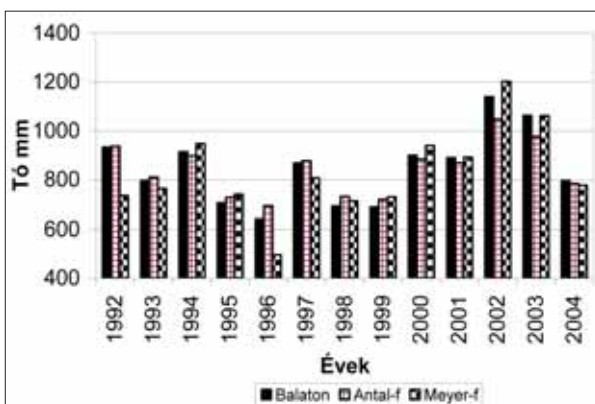
A teljes tófelszínre vonatkozó 1992–2004 évek közti evaporáció átlaga 907 tómm volt, amely statisztikai vizsgálat alapján a hosszú idősoros párolgáslalag 5%-os szignifikancia szint mellett egyezőnek tekinthető. Ugyanezen időszakban a Keszthelyi-öbölből elpárolgott



3. ábra A Balaton teljes felszín és a Keszthelyi-öböl párolgása 1992–2004 között

víz mennyiség területi átlaga 848 tómm, ami évi átlagban 59 tómm-rel kevesebb párolgási veszteséget jelentett. Az öbölnek a teljes tófelszín evaporációjához képest jelentősen kevesebb vízvesztése azonban a vizsgált 13 évből csak nyolc esetben realizálódott, akkor viszont jelentősen kevesebb volt. 5 évben magasabb volt a Keszthelyi-öböl párolgása, mint a teljes tófelszín vízvesztése. Ennek a változatosságnak, és az átlagosan 60 tómm-rel alacsonyabb vízvesztésének oka valószínűleg a Keszthelyi-öböl földrajzi fekvéséből fakadó sajátos mikro- ill. mezoklíma alakulásával hozható kapcsolatba. Az északon elhelyezkedő Keszthelyi hegység szél-árnyékolása biztosan nem marad hatástalan az öböl párolgásában.

A Keszthelyi-öböl párolgásának számítása során az Antal-, a Balaton-, valamint a Meyer-formulát is alkalmaztuk (4. ábra). Az Antal-formulával számolt éves párolgás átlaga az adott időszakban 842 tómm volt, ami a Balaton-formula alkalmazása során kapott párolgási értékekkel egyezően tekinthető. A Keszthelyi-öböl párolgásának számítása során a korábbi eredmények figyelembevételével kielégítő eredményeket kaptam a Meyer-formula segítségével is. A vizsgált időszakban a párolgás éves átlaga 831 tómm volt.



4. ábra A Keszthelyi-öbölre vonatkozó párolgás-értékek összehasonlítása 1992–2004 között

A Balaton-, és az Antal-formula alkalmazása során kapott eredményekről elmondható, hogy a köztük lévő különbségek nem jelentősek, az átlagos eltérésük 1% alatt maradt. A Balaton-formulával számolt értékek potenciális párolgású években, mint 2002–2003, jelentő-

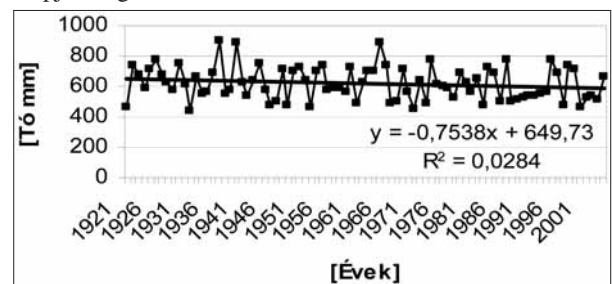
sen felülmúlták az Antal-formulával számolt értékeket, míg alacsony párolgású időszakban az értékük alacsonyabb volt. Ez az eltérés egyrészt azzal magyarázható, hogy 2002-ben és 2003-ban a Balaton térségében a korábbiakhoz képest jelentősen nőtt a nagy nyári viharok száma, másrészt, hogy a Balaton párolgás empirikus formulája figyelembe veszi a szelet, mint a párolgás intenzitását meghatározó tényezőt, az Antal-formulánál ez az egyenletben nem szerepel. Ez utóbbi feltevést támasztja alá, hogy a Meyer-formulával számolt párolgásértékek is a Balaton-formula értékeihez állnak közelebb.

A Meyer-formulát az előbb említett képletekkel összehasonlítva elmondható, hogy a segítségével számolt éves párolgásösszegek jól követték a korábban kapott eredményeket, az évi átlagos eltérés ebben az esetben is 1% alatt maradt. Egyes években azonban a formula segítségével számolt párolgás eltérései a másik két formulához viszonyítva jelentősek voltak, 1996-ban például az Antal-formula segítségével kapott értéknél közel 30%-kal, a Balaton-formula eredményeinél 24%-kal volt kisebb a számolt éves párolgás.

Gyakorlati jelentősége az Antal-formula alkalmazhatóságának lehet, mivel a Meyer-képlettel való számításhoz hasonló bemenő paraméterek szükségesek, mint a jelenleg is használt Balaton formulához, az Antal-formulában viszont nem szerepel hatótényezőként a szél, így abban az esetben, ha nincs az adott területre, vagy időszakra vonatkozó széladatunk, az Antal-formulával megfelelően pontos párolgásértékek számíthatók.

A csapadék alakulása a Balaton teljes felszínén

A Balaton felszínére hulló csapadék közvetlen bevételi tagként szerepel a vízmérlegben, így alakulása alapvetően meghatározza a vízháztartási egyenlet bevételi oldalát. A csapadék alakulásának vizsgálatát is az 1921–2004 közötti időszakra vetítve vizsgáltuk. A tófelszínre hulló csapadék számítását az 1. táblázatban bemutatott súlyszámok alapján végeztük.



5. ábra A Balaton teljes felszínére hulló csapadék éves összegei 1921–2004 között

A tófelszínre hulló csapadék sokéves átlaga 618 tómm volt, de az 5. ábrán látszik, hogy az egyes értékek átlaguktól való eltérése jelentős volt, a 109 tómm-t is meghaladta. Az évek 25%-ában mértek 532 tómm-nél kevesebb éves csapadékot a tófelszínre vonatkozóan, és ugyancsak 25% azoknak az eseteknek a gyakorisága, mikor a csapadék meghaladta a 705 tómm-t. A trendvonalat leíró egyenes

egyenlete negatív előjelű. Megállapítható, hogy a trend egy évre jutó csökkenése 0,75 tómm, ami 84 év alatt: 63 tómm csökkenést jelentene, a trendvizsgálat szerint a csapadék viszonylatában. A csapadék csökkenése azonban statisztikai vizsgálatok alapján nem volt szignifikáns. Megvizsgáltuk az egyes hónapok csapadékoságának változásait is és azt tapasztaltuk, hogy június, július, november december, január hónapokban minimálisan, de növekedett a lehullott csapadék mennyisége a trend alapján. A csapadék növekedése azonban egyik hónapban sem volt szignifikáns. Az év többi hónapjában eltérő mértékben ugyan, de csökkenő volt a csapadék trendje. Márciusban, májusban és októberben értéke egy évre vonatkoztatva ugyan meghaladta a 0,15 tómm-t, a csapadék csökkenése egyedül májusban volt statisztikailag is igazolható.

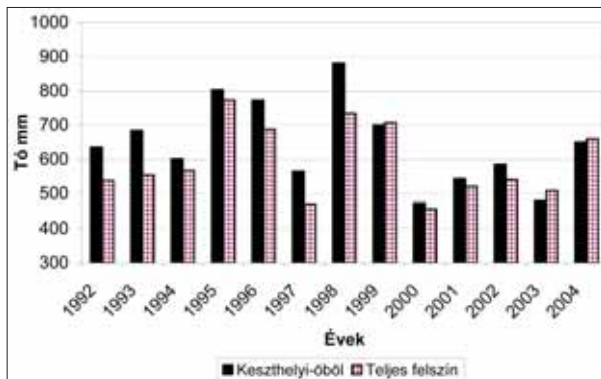
Csapadék	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Havi átlag	34	33	38	48	61	67	61	64	56	49	57	45
Havi maximum	88	99	160	115	135	145	144	170	142	150	174	115
Havi minimum	2	4	4	9	0	9	10	6	5	0	6	6

2. táblázat A Balaton felszínére hulló csapadék jellemző havi értékei (1921–2004) az 1. táblázatban felsorolt állomások mérései alapján

A csapadék alakulása a Keszthelyi-öbölben 1992–2004 között

Az adott időszakban, 1992 és 2004 között a Keszthelyi-öböl térségében működő 4 csapadékmérő állomás (Keszthely, Balatongyörök, Fenékpusztá, Balatonkeresztúr) által regisztrált éves csapadékadatokat vizsgáltuk és ezen adatokból számoltuk az öböl felszínre hulló csapadék mennyiségét. Az időszak csapadékátlagja Keszthelyen 617 mm, az öböl felszínén 644 tómm. A teljes tófelszín azonos időintervallumra vonatkoztatott adataival összehasonlítva látható, hogy jelentős eltérés nem mutatkozik a csapadék-átlagok tekintetében (6. ábra), de az egyes évek csapadékviszonyai eltérőek.

A Keszthelyi-öbölre hulló csapadék mennyisége néhány kivételtől eltekintve több mint a tó teljes felszínére számított érték. A Keszthelyi-öböl térsége csapadékosabb, mint a tó többi része. Ezen eltérés az öböl helyzetével magyarázható, ugyanis a Balaton négy nagy medencéje közül a



6. ábra A Balaton és a Keszthelyi-öböl csapadékviszonyainak összehasonlítása

legnyugatibb, ezért mind az atlanti, mind a mediterrán hatás jobban érvényesül ebben a térségben, és ez tükröződik a csapadék alakulásában is. 1998-ban hullott a legtöbb csapadék, mikor is az éves csapadékösszeg 881 tómm volt. A legkevesebb csapadék – mióta Keszthelyen rendszeresen meteorológiai méréseket folytatnak – 2000-ben hullott, mindössze 373 mm. Ekkor az öböl felszínén a csapadék mennyisége 474 tómm volt.

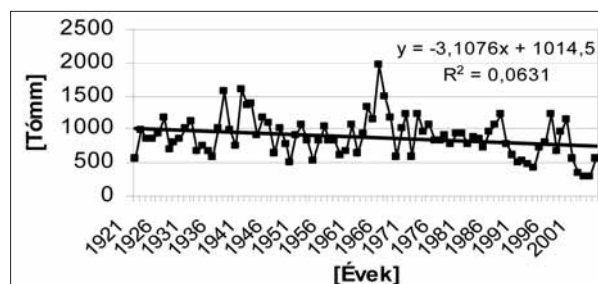
A hozzáfolyás alakulása a Balaton teljes felszínére vonatkoztatva 1921–2004 között

A vízmérleg bevételi oldalának alakításában a Balaton esetén jelentősebb szerepe van a vízgyűjtőről történő hozzáfolyásnak, mint a közvetlen csapadékbevételnek, köszönhetően annak, hogy a tó vízgyűjtőterülete közel tízszerese a vízfelszínnek, és ez jelentős vízbázisul szolgál. A teljes tófelszínre számított éves hozzáfolyás a lehullott csapadék mennyiségének függvénye, azonban a sokéves átlag (880 tómm) alapján meg-

állapítható, hogy a tó hozzáfolyásból származó vízbevétele másfélszerese a közvetlenül a tófelszínre hulló csapadéknak. Az éves hozzáfolyás mennyiségének változásában statisztikailag is igazolható módosulások mutathatók ki. Ennek oka, hogy a lefolyást nem csupán meteorológiai viszonyok befolyásolják, hanem a Balatonba jutó víz mennyiségét hidrológiai, geomorfológiai stb. viszonyok is döntően alakítják. A Balatonba érkező víz éves mennyiségei a 7. ábrán láthatóak.

A hozzáfolyás alakulása is, a csapadékhoz hasonlóan, csökkenő tendenciát mutatott. A változás mértéke 3,11 tómm volt évente, ami szignifikáns változást jelentett. A hozzáfolyás hosszú idősoros átlaga 880 tómm. A tó hozzáfolyásból származó vízbevétele 1965-ben volt a legjelentősebb, ekkor 1974 tómm víz érkezett a tóba a vízgyűjtőről.

A legkevesebb hozzáfolyást 2002-ben és 2003-ban mérték, 293 tómm-t. Látható, hogy a változás mértékét tekintve a hozzáfolyás esetében jelentősebb, mint a csapadék vizsgálata során kapott érték, hiszen akkor az átlagostól számított eltérés csupán 30% volt, és mértékét tekintve is csak 185 tómm-rel jelentett kevesebb vízbevételt. A hozzá-



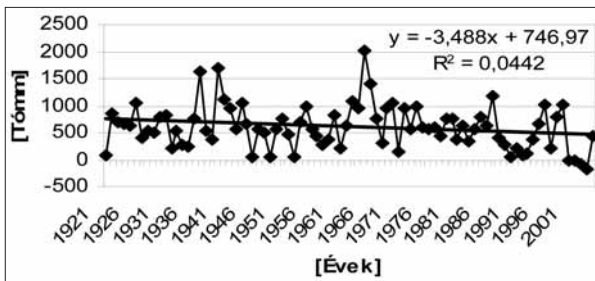
7. ábra A hozzáfolyás alakulása a tó felszínére vonatkoztatva 1921–2004 között

folyás esetében ez 67,3%-os hiányt jelentett, ami 587 tómm-rel kevesebb, mint a sokéves átlag, és ez már számottevő hatású az adott év vízgazdálkodására. Ebben az esetben is megvizsgáltuk az egyes hónapokban a vízgyűjtőről a tóba jutó víz mennyiségének alakulását és azt tapasztaltuk, hogy a hozzáfolyás trendje december és január kivételével minden hónapban csökken, februárban és júniusban szignifikánsan.

A Balaton természetes vízkészlet-változása 1921–2004 között

A természetes vízkészlet-változás a csapadék és hozzáfolyás adatok egyesített értékének, valamint a számolt párolgásnak a különbsége. Az így kapott eredményekből látszik, hogy a tó vízkészletével való gazdálkodás mennyire lehetett, lehet sikeres. Azokban az években ugyanis, ahol a hozzáfolyás majdnem teljes egészében képes fedezni a párolgás során létrejövő vízvesztéséget, ott a csapadék plusz bevételként jelentkezik. Ezzel a vízmennyiséggel lehet gazdálkodni, azt leereszteni, kiemelni úgy, hogy annak nem lesz maradandó hatása a tó vízforgalmi egyensúlyára.

Az 1921–2004 közötti időszakra vonatkozó évi természetes vízkészlet-változás a 8. ábrán látható. Az évek jelentős részében a csapadék és hozzáfolyás egyesített mennyisége fedezi a párolgás veszteségét. Az idősor átlaga: 598 tómm, ami sokéves csapadékátlaggal egyezőnek tekinthető.



8. ábra A Balaton természetes vízkészlet-változásának alakulása 1921–2004 között

A természetes vízkészlet-változás esetén tapasztalt csökkenés 5%-os szinten nem szignifikáns, de a 8. ábrán látható, hogy a tó természetes vízkészlete átlagosan 3,49 tómm-rel csökken évente. Az adatsorban szintén felfedezhetők érdekes információk, melyek kapcsolódnak az elmúlt időszak alacsony vízállásainak kialakulásához. A természetes vízkészlet-változás maximuma 1965-ben 2031 tómm volt. A mutató értéke a múltban ugyan többször is közelített a nullához, de egészen 2000-ig nem érte el azt. 2000 és 2003 között egymást követő négy évben természetes körülményekből fakadó vízhiány jelentkezett a Balatonnál. 2003-ban a csapadék és a hozzáfolyás együttes mennyisége 180 tómm-rel elmaradt a felszín párolgásából adódó vízvesztésétől. Az összegzett vízhiány ezekben az években (2000–2003) 307 tómm volt.

Következtetések

A Balaton vízháztartási mérlegének egyik fontos bevételi tagja a csapadék. Az adatsorok elemzése során egyértelművé vált számunkra, hogy a csapadék éves mennyiségének csökkenése hosszabb távon nem kimutatható. A vizsgálatok során azonban kiderült, hogy az utóbbi évek száraz periódusa nem egyedülálló a tó korábbi életét figyelembe véve. A vizsgált adatsor alapján a teljes tófelszínre és a Keszthelyi-öbölre számolt csapadékmennyiség közti különbség évi átlagban megközelítette a 60 mm-t.

A csapadékból adódó magasabb vízbevétel az alacsonyabb évi párolgással együtt a Keszthelyi-öböl vízháztartása a víz minősége szempontjából mindenképpen pozitív hatásának értékelendő.

A hozzáfolyás csökkenése statisztikai vizsgálatok eredményei alapján is kimutatható. A Balaton vízháztartásának változását jelentős mértékben a hozzáfolyás csökkenése okozta, és erre vezethető vissza a 2000–2004 közötti alacsony vízállású időszak is. A trend alapján a jövőben is jelentős vízbevétel csökkenéssel számolhatunk a hozzáfolyás módosulása miatt.

A párolgási sor esetében is minimálisan, de csökkenő tendenciával talákoztunk, ami statisztikailag nem volt kimutatható. A Keszthelyi-öböl párolgásának intenzitása a vizsgált időszak adatai alapján elmaradt a teljes felszín párolgásától, de ez a különbség nem minden évben realizálódott.

A csapadék mennyiségének alakulását figyelembe véve kijelenthetjük, hogy a lehulló csapadék a korábbiakban sem fedezte a tó párolgás következtében létrejövő vízvesztését, azonban a hozzáfolyással együtt a tó teljes vízbevétele az évek jelentős részben nagyobb, mint a párolgásból adódó vízvesztése.

A párolgászámítási formulák vizsgálata alapján kijelenthető, hogy a Balaton-formula érzékenyebb a környezeti tényezők változására, mint az Antal-formula, mivel magas potenciális párolgású időszakban akár jelentősen is magasabb párolgást számolhatunk vele, míg az érték alacsony potenciális párolgású időszakban kisebb. A számolt párolgásértékek eltérése minimális volt, ezért indokolt esetben az Antal-formula is alkalmazható a tó párolgásának számítására.

A vizsgálataink egyik alapkérdésére, hogy van-e a klímaváltozásnak kimutatható hatása a Balaton térségében, nem kaptam egyértelmű választ. Annyi azonban bizonyos, hogy gyakrabban jelentkeznek a tó térségében is a szélsőséges időjárási helyzetek, melyek előre nem látható problémákat okoznak jelentősen nehezítve a vízgazdálkodás tervezését a tó vízgyűjtőjén.

Köszönetnyilvánítás: Köszönet a Közép-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság Balatoni Kirendeltségének, valamint a VITUKI Kht-nek a szükséges adatokért és szakmai támogatásért.

Varga Balázs
Pannon Egyetem Met. és Vízgazd. Tanszék
Keszthely

Irodalomjegyzék:

- Antal E. (1963):* A Balaton párolgása. Időjárás 67. évf. 290-297 pp.
- Antal E. - Baranyi S. - Kozmáné Tóth E. (1977):* A Balaton hőháztartása és párolgása. Hidrológiai Közöny, 4. sz.
- Béll B. - Takács L. (1974):* Balaton éghajlata. OMSZ hiv. kiadványa.
- Eötvös K. (1982):* Utazás a Balaton körül. Magvető Könyvkiadó. Budapest.
- Fejér V. - Kravinszkaja G. (2004):* A Balaton és a tórészek havi vízháztartási jellemzőinek meghatározása. Balatoni Vízügyi Kirendeltség hiv. kiadv.
- Goudrian J. (1977):* Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation monographs, Pudoc, Wageningen.

- Havaldá E. (1930):* A Balaton párolgása. Vízügyi Közlemények I. sz. 87. p.
- Kemenessy (1930):* A Balaton párolgása. Vízügyi Közlemények I. sz. 87. p.
- Szeglet P. (2006):* A balatoni nádasok tér- folyamat- és természetességi sajátosságai 2004-ben. Aktuális flóra- és vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII. Konferencia. Debrecen
- Szesztay K. (1962):* A Balaton vízháztartása In: A VITUKI „Tanulmányok és eredmények” sorozata 9. sz. 299. p.
- Varga Gy. (2003):* 2000-2003 között tapasztalt szélsőségek a Balaton vízháztartásában. Környezetvédelem 2004.
- VITUKI (1986):* A Balaton vízháztartási mérleg készítésének fejlesztése. Összefoglaló jelentés. A VITUKI Hivatalos Kiadványa.

EGY ÉV REPÜLÉSMETEOROLÓGIAI KÜLSZOLGÁLAT MÁLTÁN

A Máltai Meteorológiai Szolgálat 2005 végén közzétett állás hirdetésére jelentkeztem, amelyben repülésmeteorológiai tanácsadót kerestek a Málta Luqa-i repülőtérré. Az OMSZ vezetősége egy évre fizetés nélküli szabadságra engedett, így 2006. február 15-én álltam munkába. Málta Magyarországgal együtt vált az Európai Unió tagjává. Mivel a Brüsszeli adminisztrációnak sok szakfordítóra van szüksége, ezért néhány máltai meteorológus kolléga elhagyta a szolgálatot és szakfordítóként állt, így létszám hiány alakult ki. Máltán nincs meteorológusképzés, a jelenlegi szakemberek az Egyesült Királyságban végeztek tanfolyamot. Máltán két hivatalos nyelv van, az angol és a máltai, ez utóbbi igazi kuriózum, mivel az egyetlen olyan sémi nyelv, amelyet latin betűkkel írnak. A nyelv föníciai eredetű, arabos hangzású, nagyon sok angol, olasz és francia eredetű kifejezéssel.

Málta a Napóleoni háborúkat követően angol gyarmattá vált. Az angol kultúra és nyelv az elmúlt évszázadokban alapvetően befolyásolta a helyi viszonyokat. A függetlenség kivívásáig, a sziget stratégiai fekvésénél fogva vezető szerepet játszott a brit katonai politikában. A sziget repülőtere és kikötői a második világháború során is fontos szerephez jutottak. Churchill elsüllyeszthetetlen

csatahajóként aposztrofálta a szigetet. A háború után a sziget hősiesség helytállásáért megkapta a György keresztet, ami az ország piros és fehér színű zászlajára is rákerült. Mindez azt jelenti, hogy a repülésmeteorológiának nagy hagyományai vannak a szigetországban. Az előrejelzéseket a gyarmati hadsereg kivonulásáig angol meteorológusok látták el, csak ezt követően dolgozhattak a máltaiak előrejelzőként. Érdekesség, hogy a gyarmatosítás megszűnte óta én voltam az első külföldi meteorológus, aki Máltán előrejelzést készített.

Málta két nagyobb (Málta és Gozó) és két kisebb szigetből (Comino és Cominotto) áll. Az ország hozzávetőlegesen 44 km hosszú és 12 km széles, azaz kb. Budapest területével,

egyezik meg. A fő szigeten található a Luqa-i polgári repülőtér, valamint a jobbára használaton kívüli régi angol katonai repülőtér. Gozón helikopter leszállóhely üzemel. A szigetek között folyamatos hajóközlekedés van. A hagyományos repülésmeteorológiai előrejelzéseken (TAF, SIGMET) túl, a repülőtér üzemeltető egységeit is riasztani kellett különféle veszélyes időjárási jelenségek bekövetkezése előtt, például a hangárok és a kifutópályák között kialakuló felszíni turbulencia előtt is figyelmeztetnünk kellett. Az elmondottakon túl tengeri előrejelzéseket is kell készítenie az ügyeletes meteorológusnak. Ez egy számomra teljesen új szakterület volt, amellyel korábban még nem találkoztam. Meg kellett tanulnom a tengeri meteorológia angol szakkifejezéseit, tengeri hullám, irány és magasság előrejelzéseket kellett kiadnom, és meg kellett ismernem a különböző tengeri hullám fajtákat. Volt néhány olyan nagyon fontos speciális jelenség is, amely idehaza nem fordul elő, és amelyre figyelmeztető előrejelzést kellett kiadni. Tartósan viharos északkeleti szél esetén, a szél által hajtott magas hullámok Málta fő kikötőjénél átléphetik a szárazföld és a tenger határát, benyomulhatnak a sziget szárazföldi részére, elöntve a kikötői létesítményeket, nagy anyagi károkat okoz-



A máltai repülőtér egyik épülete, ahol a meteorológiai szolgálat is működik