

(72) **MENYHÁRT L.¹, ANDA A.²**
„Zajos” albedómérések a Balatonon
„Noisy” albedo measurements at the lake Balaton

menyhart-l@georgikon.hu

¹Pannon Egyetem Georgikon Kar Gazdaságmódszertani Tanszék, tanársegéd

²Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia És Vízgazdálkodás Tanszék, egyetemi tanár

A klimatológiai modellek egyik fontos bemenő paramétere a felszíni albedó. Ennek köszönhetően a tengerek és óceánok albedója széleskörben kutatott, jól publikált. Ezzel szemben a szárazföldi vizek albedójára vonatkozóan jóval kevesebb vizsgálatot találunk, holott a hóháztartás és ezen keresztül az élővilág szempontjából ez szintén egy nagyon fontos mennyiség. Ezt a hiányt szeretnénk pótolni kutatásunkkal, melyben a Balaton albedójának a többi meteorológiai és vízminőségi paramétertől való függését vizsgáljuk. Célunk a Balaton albedójának minél pontosabb meghatározása, a meteorológiai állomásokon általánosan mért mennyiségek alapján.

A vizsgálat alapját jelentő mérések 2007 óta folynak a Keszthelyi-öbölben és Siófok közelében. A mérések nem folyamatosak, elsősorban júliustól októberig történtek. A műszereket a Balatoni Integrációs Kht üzemelteti és az adatokat kutatás céljából a rendelkezésünkre bocsátotta.

Az adatok előzetes feldolgozása alapján kiderült, hogy a mérőkör által szolgáltatott adatok olyan mértékű mérési hibát tartalmaznak, aminek a korrigálása nélkül téves információhoz, következtetéshez jutunk. Mind a globálsugárzást, mind a reflexsugárzást mérő piranométerek jelére olyan offszet-értékek rakódtak, amelyeknek nagysága évente és piranométerenként változó, de piranométerenként az egyes években állandónak tekinthető. Ezeknek az offszet-értékeknek a meghatározására többféle módszerrel próbálkozunk, majd ezeket a módszereket összehasonlítjuk. Az első módszernek az alapja az a megfigyelésünk, hogy a globálsugárzást mérő piranométer éjszakai offszetje általában negatív, a reflexsugárzást mérő pozitív.

A másik módszer azon a megállapításon alapul, hogy a mérőkör offszetje felbontható a hőmérséklet-változásból származó; a hosszuhullámú veszteségből származó valamint az adatgyűjtő saját offszetjének összegére. Első lépésben a léghőmérséklet alapján kiválogatjuk azokat a rekordokat, ahol a hőmérsékletváltozásból származó veszteség nullának tekinthető. Második lépésben feltételezzük, hogy voltak olyan teljesen bolrult éjszakák, amikor a hosszuhullámú veszteség is nulla volt, ekkor a globálsugárzás esetén az éjszakai értékeknek maximuma van. Ugyanez a hosszuhullámú veszteség a reflexsugárzásmérő esetén akkor tekinthető nullának, ha a léghőmérséklet és a vízhőmérséklet közel azonos.

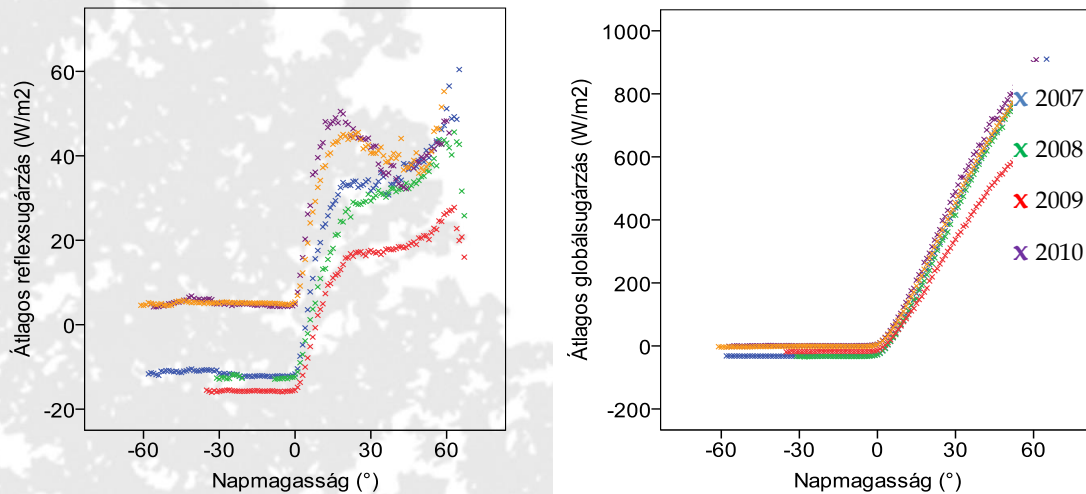
Az így meghatározott offszetértékeket kivonjuk a mért adatokból és utána számoljuk az albedót.

Bevezetés

A vízfelszín albedója kiemelt fontossággal bír vizeink hóháztartása és ezen keresztül azok élővilága szempontjából. Az egyre kisebb felbontású meteorológiai modellek szintén egyre pontosabb albedóértékeket igényelnek (Vörös *et al.*, 2010). Legnagyobb hazai tavunk, a Balaton albedójára vonatkozó kutatásokat utoljára az 1970-es évek első felében végeztek (Weingartner, 1964, Dávid, 1972, Dávid *et al.*, 1974, Dávid és Kozma, 1976). Az utóbbi évtizedek mérés- és műszertechnikai fejlődése lehetővé tette lényegesen nagyobb pontosságú, térben és időben finomabb felbontású mérések elvégzését. 2007 júliusától kezdődően a Balatoni Integrációs Kht a Balaton két pontján, a Keszthelyi-öbölben és Siófok közelében működtet egy-egy hidrometeorológiai mérőoszlopot, amely 5 percnként méri a szélirányt, szélsébséget, léghőmérsékletet, relatív páratartalmat, valamint az albedó számításához szükséges globál- és reflexsugárzást. A korábbi mérésekhez képest a jelen kutatás újdonsága, hogy a mérések a parttól 1 km-nél nagyobb távolságban, pontosabb műszerekkel, kisebb időbeli felbontással több éven át tartanak.

Az adatok előzetes feldolgozása közben kiderült, hogy mind a globálsugárzást, mind a reflexsugárzást mérő piranométerek jelére olyan szisztematikus hiba értékek rakódtak, amelyeknek nagysága évente és piranométerenként változó, de piranométerenként az egyes években állandónak tekinthető (1. ábra). Ennek a hibának a forrása bizonytalan, az erősítőben és az adatgyűjtőben az adatok offszetje egyaránt 0-ra volt állítva, esetleg kontakthiba jöhet szóba. 2010 tavaszán a mérőkör kisebb átalakításon esett át, ami kizárólag a vezetékeket érintette.

Jelen tanulmányunkban a szisztematikus hibák értékét próbáljuk meghatározni, majd a sugárzásadatokat ezek alapján korrigálni és alkalmassá tenni a további feldolgozásra.



1. ábra: A készthelyi reflex- és globálsugárzásmérők szisztematikus hibája évenként. (A 2010-es reflexsugárzásadatok eltérésében más tényező is szerepet játszik.)

Anyag és módszer

A globálsugárzás és a reflexsugárzás mérése Kipp & Zonen CMP3 piranométerrel történt, amelynek spektrális tartománya 310 nm és 2800 nm közé esik. A piranométerek egy lineáris erősítőn keresztül kapcsolódtak az adatgyűjtőre, amely 5 percenként rögzítette az adatokat. A mérőoszlopokat a téli időszakra kivették a vízből, a nyári időszakban évente változó, de mindig több hónapos időtartamban végeztek méréseket.

A sugárzásmérők szisztematikus hibáját az éjszakai adatok elemzésével határoztuk meg. A továbbiakban a -10° -nál kisebb napmagasság mellett mért értékeket tekintjük éjszakai adatnak. A termoelektromos elven működő piranométerek éjszaka a nulla helyett rendszerint valamilyen negatív, ún. termikus offszet értéket mérnek a mérési elvükből következően. Ha a piranométer burájának a hőmérséklete alacsonyabb, mint a szenzoré, akkor a sugárzási energiacsere következtében a szenzor hőmérséklete csökken és ez negatív sugárzásértékként jelenik meg a kimeneten (Bush et al., 2000, Ji és Tsay, 2000). Derült időben az égbolt effektív hőmérséklete akár 50°C -kal is alacsonyabb lehet a felszín hőmérsékleténél, amelynek következtében a búra hőmérséklete a sugárzási energiacsere során csökken. A külső léghőmérséklet változása szintén módosíthatja a búra hőmérsékletét, amit a szenzor hőmérséklete csak bizonyos időközönként követ. Az előbbit A típusú, az utóbbit B típusú offszetnek nevezzük. A búra és a szenzor közötti hőmérséklet különbség - és ezáltal a termikus offszet abszolút értéke - annál nagyobb, minél kisebb közöttük a hővezetés. A termikus offszet nemcsak éjszaka, hanem nappal is csökkenti a mért sugárzásértékeket. Pontos meghatározására többféle módszert is kidolgoztak, ezek mindegyike további műszerek bevonását is igényli (Reda et al., 2005, Lester és Myers, 2006, Ji,

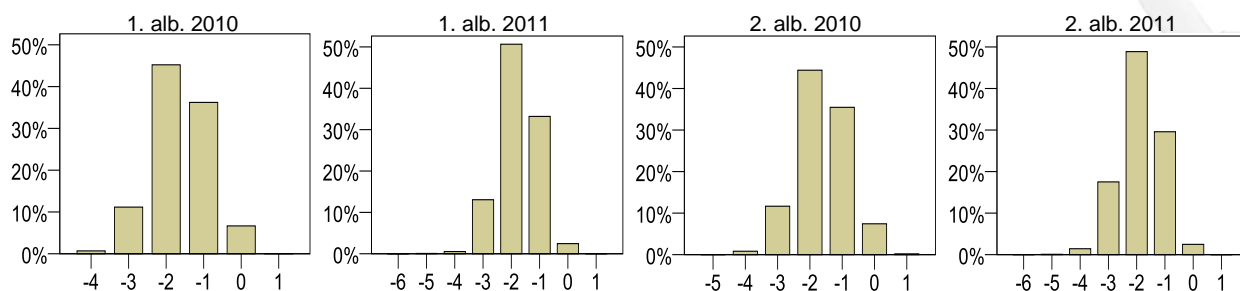
LIV.

GEORGIKON NAPOK

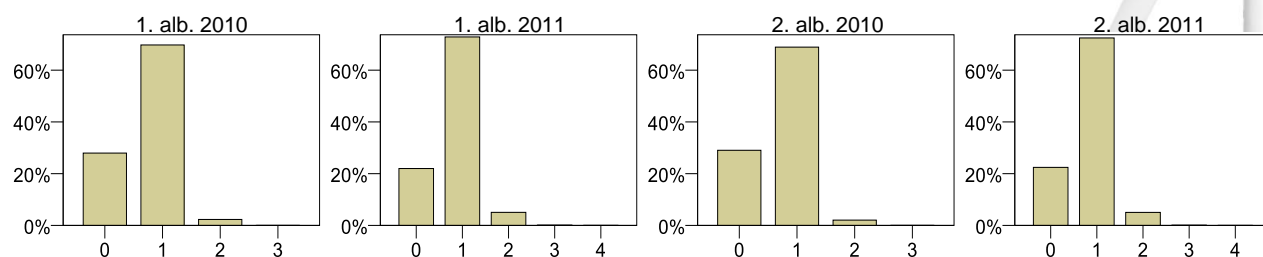
54th Georgikon Scientific Conference

2007). Feltételezzük, hogy a piranométerek által éjszaka mért értékek a termikus offszet és a szisztematikus hiba összegeként állnak elő. Ezért mindkét módszer esetén az éjszakai termikus offszet értékeket vizsgáltuk.

Az első módszer alapja egy szárazföldi mérésorozathoz kapcsolódó megfigyelés. A keszthelyi Agrometeorológiai Állomáson 2010-ben és 2011-ben két különböző kukoricaállomány felett végeztünk albedóméréseket júniustól szeptemberig egy-egy nagy pontosságú Kipp&Zonen CMA6 típusú albedométerrel. Megfigyeléseink szerint éjszaka a globálsugárzásmérők jellemzően nulla vagy negatív, a reflexsugárzásmérők jellemzően nulla vagy pozitív értékeket mértek (2. és 3. ábra). Az eloszlás ugyan évenként különböző, de a globálsugárzásmérő esetén a nulla a legnagyobb, reflexsugárzásmérő esetén pedig a nulla a legkisebb olyan érték, aminek a relatív gyakorisága szignifikánsan különbözött nullától.

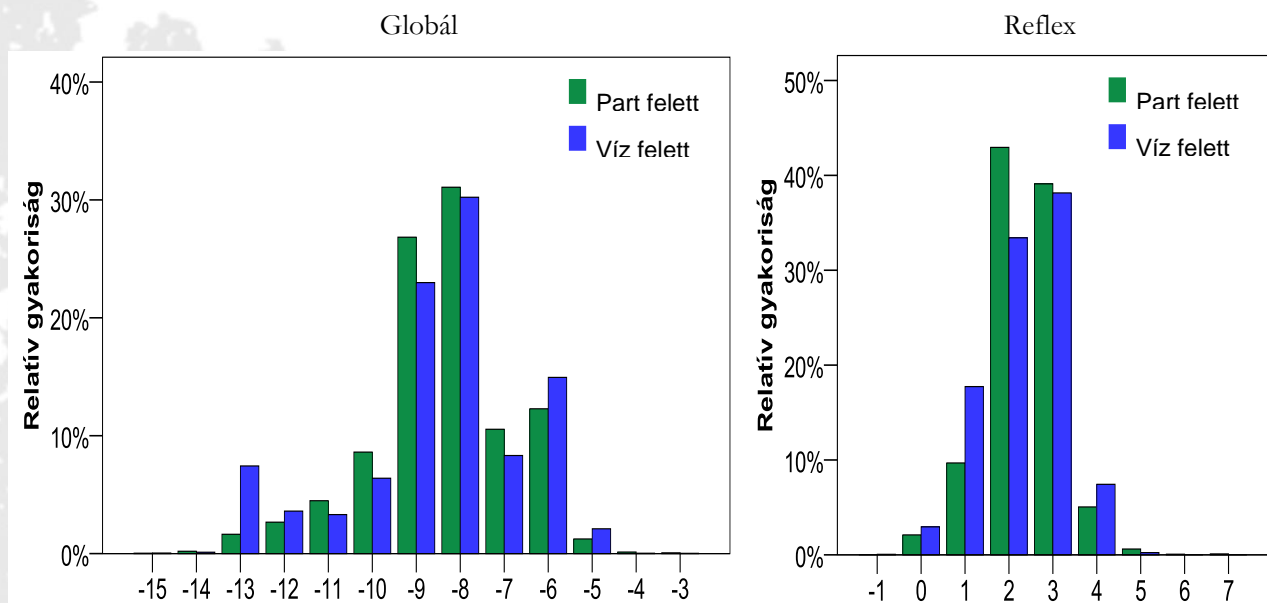


2. ábra: Kukoricaállomány felett mért éjszakai globálsugárzás értékek eloszlása évenként és albedométerenként



3. ábra: Kukoricaállomány felett mért éjszakai reflexsugárzás értékek eloszlása évenként és albedométerenként

Globálsugárzás esetén ez összhangban van a fentebb leírtakkal, reflexsugárzás esetén pedig azzal magyarázható, hogy a piranométer a hidegebb égbolt helyett a melegebb felszínnel van sugárzási kapcsolatban. A most bemutatott empirikus megfigyelésünket két feltételezéssel egészítettük ki. Az első, hogy az eltérő minőségű, termooszloppal működő piranométerek azonos meteorológiai körülmények között azonos előjelű, legfeljebb eltérő abszolút értékű termikus offszet értékeket mérnek. A második feltételezés, hogy a víz fölött és a part fölött mért éjszakai értékeknek megegyezik az eloszlása. Ezt igazolja az a 2011-es mérésorozat, amikor a siófoki műszerek tavasszal két hónapig szárazföld felett, az OMSZ siófoki obszervatóriumának kertjében végeztek méréseket (4. ábra). E két feltételezés alapján a piranométerek szisztematikus hibáját a következőképpen határoztuk meg. A globál- és reflexsugárzásnál egyaránt kiválogattuk azokat az értékeket, amelyeknek a relatív gyakorisága elérte az 1%-ot. Globálsugárzás esetén ezek közül a legnagyobbat, reflexsugárzás esetén pedig a legkisebbet tekintettük szisztematikus hibának.



4. ábra: 2011-ben a siófoki albedométer víz fölött és part fölött mért éjszakai értékeinek eloszlása

A második módszer esetén a víz- és léghőmérséklet értékek alapján igyekeztünk beazonosítani azokat a méréseket, ahol a termikus offszet nulla lehetett. Teljesen borult időben a felhőzet effektív hőmérséklete közel egyenlő a felszíni hőmérséklettel, ezért a hosszuhullámú veszteség miatt fellépő A típusú offszet nullának tekinthető, valamint az alsó légkör kisugárzás miatti lehülése is elhanyagolható. Ha nincs eltérő hőmérsékletű beáramló légtömeg, akkor a B típusú offszet is nullának tekinthető. Mivel az éjszakai felhőborítottságról nincsenek adataink, a borult éjszakákat közvetett úton, a hőmérséklet segítségével határoztuk meg. Globálsugárzás esetén először kiválogattuk azokat az adatokat, ahol a mérést megelőző 1 órában a hőingás nem volt nagyobb $0,1^{\circ}\text{C}$ -nál. Ez biztosítja, hogy a B típusú offszet értéke nulla körül legyen. Mivel az A típusú offszet teljesen borult időben közel nulla, egyébként pedig negatív, ezért megkerestük az előző lépésben kiválogatott, legalább 1% relatív gyakoriságú értékeknek a maximumát. Ezt tekintettük a szisztematikus hiba értékének. Reflaxsugárzás esetén az A típusú offszet megjelenését a víz és a piranométer közötti sugárzási energiacsere okozza.

Ennek a mértéke elhanyagolható akkor, ha a víz és a piranométer között nincs (vagy elhanyagolható) a hőmérsékletkülönbség. Éppen ezért először azokat a méréseket válogattuk ki, ahol a mérést megelőző 1 órában a vízhőmérséklet és a léghőmérséklet különbségének abszolút értéke végig 1°C alatt volt. Majd az így kiválogatott méréseket tovább szűrtük azzal a feltétellel, hogy a mérést megelőző 1 órában a levegő hőingása nem haladta meg a $0,1^{\circ}\text{C}$ -ot.

Ezzel biztosítjuk, hogy a B típusú offszet értéke is elhanyagolható legyen. Az így kiválogatott reflaxsugárzásértékek átlagát tekintettük a reflaxsugárzásmérők szisztematikus hibájának.

Bush és munkatársai Eppley típusú piranométer esetén vizsgálták, hogy a szenzor és a búra között mesterségesen létrehozott hőmérsékletkülönbség és az általa okozott termikus offszet mennyi idő alatt áll vissza nullára (*Bush et al., 2000*). Kísérleteik szerint azt követően, hogy magára hagyjuk a rendszert, ehhez kb. 5 órára van szükség. Ezért a második módszer számításait megismételtük szigorúbb, 5 órára vonatkozó feltétel mellett is. A fentebb leírt, a mérést megelőző 1 órára vonatkozó feltétel mellett megköveteltük, hogy a mérést megelőző 5 órában a levegő hőingása ne haladja meg az 1°C-ot, valamint reflexsugárzás esetén a víz- és léghőmérséklet különbségének abszolút értéke se haladja meg az 1°C-ot.

Eredmények

Az első módszerrel, valamint a második módszer mindkét feltételrendszerével meghatározott szisztematikus hiba értékek az *1. táblázatban* láthatók. Mivel vízhőmérséklet mérés csak 2010, 2011-ben, valamint 2008-ban Siófokon volt, ezért a reflexsugárzás szisztematikus hibáját a második módszerrel csak ezekben az években határoztuk meg. A második módszer alkalmazásakor az egyes szűrőfeltételeknek megfelelő mérések aránya évenként és műszerenként jelentősen eltért. (*2. táblázat*) A 2011-es keszthelyi adatsorban egy mérés sem felelt meg az 5 órás szűrőfeltételnek.

Hasonlítsuk össze a kétféle szűrőfeltétellel meghatározott értékeket (*1. táblázat*)! Globálsugárzás esetén mindössze három esetben találunk eltérést, ebből kétszer 1 W/m²-rel, egyszer pedig 2 W/m²-rel kaptunk kisebb értéket a szigorúbb feltétel mellett. Reflexsugárzás esetén ugyan arányaiban többször mutatkozott eltérés, de ez mindig 1 W/m² alatt maradt. Ez azt mutatja, hogy az egyórás és ötórás szűrőfeltétellel meghatározott szisztematikus hiba értékekben számottevő különbség nincs, elegendő az 1 órás feltétel használata. Ezt követően vessük össze az első és a második módszer eredményeit is! Globálsugárzás esetén a tíz szisztematikus hibából öt mindkét módszernél egyenlő, öt pedig a második módszer esetén kisebb. A 2007-es évtől eltekintve az eltérés nem haladja meg az 1 W/m²-t. Reflexsugárzás esetén viszont a hőmérsékletadatok felhasználásával kapott értékek minden esetben nagyobbak az első módszerrel meghatározottaknál. Az eltérés mértéke 0,8 – 2,4 W/m² között változik.

1. táblázat: A globálsugárzásmérő és a reflexsugárzásmérő szisztematikus hibáinak értéke az első és a második módszer szerint

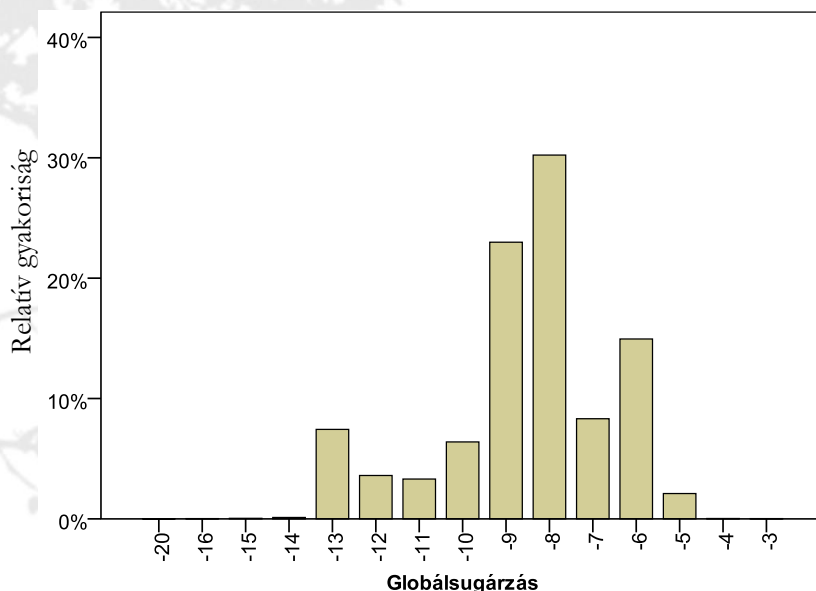
Módszer	Globálsugárzás			Reflexsugárzás			
	Első	Második (1 óra)	Második (5 óra)	Első	Második (1 óra)	Második (5 óra)	
Keszthely	2007	-26	-26	-28	-14	-	-
	2008	-29	-29	-29	-14	-	-
	2009	-13	-13	-13	-17	-	-
	2010	7	6	6	2	3,2	3
	2011	3	3	2	2	4,4	-
Siófok	2007	-14	-14	-14	-15	-	-
	2008	-14	-14	-14	-16	-14,6	-14,7
	2009	-13	-13	-14	-16	-	-
	2010	-5	-4	-4	0	0,8	0,8
	2011	-5	-5	-5	0	1,5	1,3

2. táblázat: A második módszer alkalmazásakor az 1 órás, illetve az 5 órás szűrőfeltételnek megfelelő mérések aránya

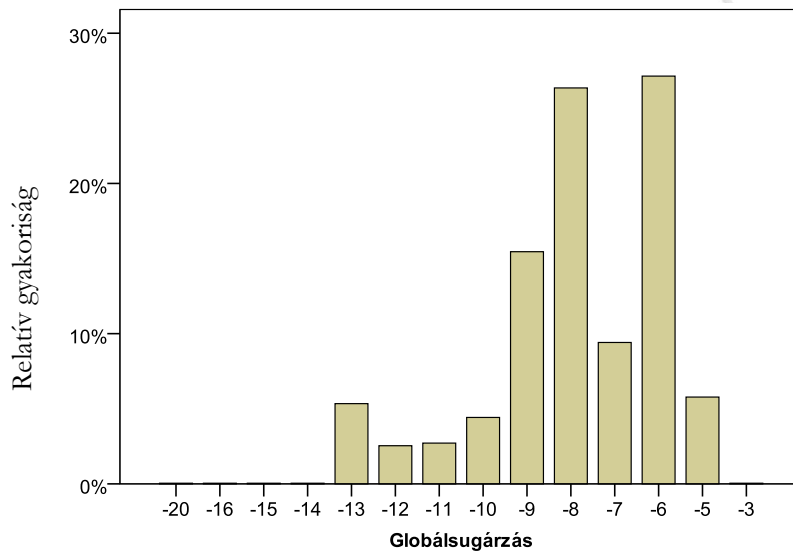
Szűrő feltétel		Globálsugárzás		Reflexsugárzás	
		1 órás	5 órás	1 órás	5 órás
Keszthely	2007	7,6 %	1,8 %	-	-
	2008	1,8 %	0,1 %	-	-
	2009	4,2 %	0,3 %	-	-
	2010	8,2 %	4,6 %	3,0 %	2,5 %
	2011	9,8 %	4,0 %	0,1 %	0,0 %
Siófok	2007	8,5 %	3,2 %	-	-
	2008	15,4 %	4,8 %	1,5 %	0,4 %
	2009	4,2 %	0,2 %	-	-
	2010	13,8 %	4,3 %	2,6 %	0,3 %
	2011	13,0 %	1,3 %	3,6 %	1,4 %

A második módszernél azt vártuk, hogy a hőmérsékletadatokat alapján történő szűrés után mind a globál-, mind a reflexsugárzás esetén egy konkrét érték fog dominálni, amit 0 szintnek tekinthetünk. Ezzel szemben ha megnézzük az összes éjszakai érték és az egy órás szűrőfeltételnek megfelelő éjszakai értékek eloszlását (5. és 6. ábra), akkor azt látjuk, hogy a szűréssel ugyan megváltoztak a relatív gyakoriságok, de igazából nem sikerült egy konkrét értéket kiválasztani. Hasonlót tapasztaltunk mind a globál-, mind a reflexsugárzás esetén a keszthelyi és siófoki műszerek esetén is. A lég- és vízhőmérsékletre vonatkozó szűrőfeltételek nem bizonyultak elegendőnek a pontosan nulla, csak a nulla közeli termikus offszet megkereséséhez.

Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a globálsugárzásmérők szisztematikus hibáját kb. 1 W/m^2 , míg a reflexsugárzásmérőkét kb. 2 W/m^2 pontossággal sikerült meghatározni. Mindkét esetben elegendő az egyszerűbb, hőmérsékletadatokat nem igénylő, első módszer használata.



5. ábra: Az összes éjszakai globálsugárzásérték eloszlása (2011, siófoki műszer)



6. ábra: Azoknak az éjszakai globálsugárzásértékeknek az eloszlása, amelyeket megelőző 1 órában a levegő hőingása nem haladta meg a 0,1 °C-ot (2011, siófoki műszer)

Következtetések

A bemutatott módszerek alkalmasnak látszanak arra, hogy a Balaton fölötti globál- és reflexsugárzás adatok mérési pontatlanságát mérsékeljük. Az 1. táblázat alapján látható, hogy a siófoki műszereknél a szisztematikus hiba tulajdonképpen csak az átalakítás alkalmával változott meg, előtte és utána állandónak tekinthető. Nem ennyire egyértelmű a helyzet a keszthelyi műszereknél, de kijelenthetjük, hogy a mérőkör 2009 és 2010 közötti átépítése csökkentette a mérés bizonytalanságát, a szisztematikus hiba minden esetben lényegesen kisebb lett. Mivel az átépítés a vezetékeket és azok csatlakozó felületeit érintette, ez megerősíti azt a hipotézisünket, hogy a vizsgált szisztematikus hibát kontakthiba okozhatta.

Az így korrigált adatok azonban még mindig magukban hordozzák a termikus offszet okozta bizonytalanságot, ami viszont már nem akadályozza az egyes évek adatainak az összehasonlítását. Ennek ellenére a továbbiakban tervezzük ennek a figyelembevételét is.

A sugárzásmérés adatainak fenti korrekciója után azok további felhasználásának pontossága (modellezésben, albedó számításában) javítható. Az eljárás a későbbiekben főképpen a nem hálózatszerűen üzemeltetett sugárzásmérők esetén javasolható a mért adatok ellenőrzésére és szükség esetén korrekciójára.

Köszönetnyilvánítás:

Jelen publikáció a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0025 azonosító számú projekt támogatásával valósult meg. Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni a Balaton Fejlesztési Tanácsnak, hogy a LIFE BIR projekt adataihoz a hozzáférést biztosították.

Irodalomjegyzék

- BUSH, B.C., VALERO, F.P.J., SIMPSON, A.S., BIGNONEET, L. (2000) Characterization of thermal effects in pyranometers: a data correction algorithm for improved measurement of surface insolation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 17 (2), 165-175.
- DÁVID, A. (1972) Adalékok a tavak sugárzásháztartásához. *OMSZ beszámolók az 1973-ban végzett tudományos kutatásokról*, 130-137.
- DAVID, A., MAJOR, GY., TAKACS, O. (1974) Hazai allovizeink albedojanak vizsgálata. *Időjárás* 78, 46–50.
- DÁVID A., KOZMA F. (1976) A Balaton sugárzási rendszere. *OMSZ beszámolók az 1976-ban végzett tudományos kutatásokról*, 106-118
- JI, Q. AND TSAY, S.-C. (2000) On the dome effect of Eppley pyrgeometers and pyranometers. *Geophysical Research Letters*, 27, 971-974.
- JI, Q. (2007) A method to correct the thermal dome effect of pyranometers in selected historical solar irradiance measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 24, 529-536.
- LESTER, A. AND MYERS, D.R. (2006) A method for improving global pyranometer measurements by modeling responsivity functions. *Solar Energy* 80, 322-331.
- REDA, I., HICKLEY, J., LONG, C., MYERS, D., STOFFEL, T., WILCOX, S., MICHALSKY, J.J., DUTTON, E. G. AND NELSON, D. (2005) Using a blackbody to calculate net longwave responsivity of shortwave solar pyranometers to correct for their thermal offset error during outdoor calibration using the component sum method. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 22, 1531-1540.
- VÖRÖS, M., ISTVÁNOVICS V., WEIDINGER, T. (2010) Applicability of the FLake model to Lake Balaton. *Boreal Environment Research*, 15, 245-254
- WEINGARTNER, F. (1964) A vízfelszín albedójáról. *Időjárás*, 68, 237-239