

CORRECTION OF GLOBAL AND REFLEX RADIATION VALUES MEASURED ABOVE THE LAKE BALATON

BALATON FELETT MÉRT GLOBÁL- ÉS REFLEXUGÁRZÁS ÉRTÉKEK KORREKCIÓJA

László MENYHÁRT*, Angéla ANDA

Department of Meteorology and Water Management, University of Pannonia, Georgikon Faculty, Festetics u. 7, H-8360 Keszthely, Hungary *e-mail:menyhart-l@georgikon.hu, Tel: +36-30-6287520

ABSTRACT

Albedo measurements have been carried out since 2007 above the Lake Balaton near Keszthely and Siófok. It turned out that a systematic offset error was superposed to both the global and the reflex radiation. The value of this systematic error was approximately constant per pyranometer within a year but on the other hand it varied from year to year and from pyranometer to pyranometer. In this paper the values of this systematic errors were determined with two different methods. The difference between the values measured at night-time and the intrinsic thermal offset error of pyranometers were examined with both methods. The base of the first method is the empirical observation, that the values measured at night-time by a global radiometer are typically negative whereas by a reflex radiometer are typically positive. The substance of the second method is utilizing the air temperature measured within 1 as well as 5 hours before the radiation measuring to select the fully overcast nights, when the thermal offset error of the global radiometer is zero. In addition, the cases where the thermal offset error of the reflex radiometer is zero were selected on the basis of the difference between water and air temperature. When the thermal offset error is zero the measured value is equal to the systematic error. Comparing the results of the two methods showed that the systematic error of the global radiometer were determined with uncertainty of 1 Wm^{-2} , whereas that of the reflex radiometer with uncertainty of 2 Wm^{-2} . The calibration constants were recalculated from the values being in the calibration reports taking the systematic errors into account.

Keywords: albedometer, data correction, pyranometer, thermal offset

ÖSSZEFOGLALÁS

A Balaton felett Keszthely és Siófok közelében 2007 óta folyik albedómérés. Az adatok feldolgozása közben derült ki, hogy mind a globál-, mind a reflexugárzást mérő piranométerek adataira olyan szisztematikus offszet-érték rakódott, aminek az értéke egy éven belül piranométerenként állandónak tekinthető, egyébként pedig

évenként és piranométerenként változó. Dolgozatunkban ezeknek a szisztematikus hibáknak az értékét határoztuk meg kétféle módszerrel. Mindkét módszernél azt vizsgáltuk, hogy az éjszaka mért értékek mennyire térnek el a piranométer mérési elvéből következő termikus offszettől. Az egyik módszer lényege az a tapasztalati megfigyelés, hogy a globálsugárzásmérő éjszaka jellemzően negatív, a reflexsugárzásmérő pedig jellemzően pozitív értékeket mér. Referenciamérésekkel határoztuk meg az előjel szerinti eloszlást, és ez alapján a szisztematikus hiba értékét. A másik módszernél a mérést megelőző 1, illetve 5 órában mért léghőmérséklet értékek alapján próbáltuk megkeresni a teljesen borult éjszakákat, amikor a globálsugárzásmérő termikus offszetje nulla. Továbbá a víz- és léghőmérséklet különbsége alapján próbáltuk kiválogatni azokat a rekordokat, amikor reflexsugárzásmérő termikus offszetje nulla. Ekkor a mért érték egyenlő a szisztematikus hibával. A két módszer eredményeit összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a globálsugárzásmérők szisztematikus hibáját 1 Wm^{-2} , a reflexsugárzásmérőkét pedig 2 Wm^{-2} pontossággal sikerült meghatározni. A kalibrálási jegyzőkönyvek adataiból a szisztematikus hibák figyelembevételével újra meghatároztuk a kalibrálási állandókat.

Kulcsszavak: albedométer, adatkorrekció, piranométer, termikus offszet

DETAILED ABSTRACT / RÉSZLETES ÖSSZEFOGLALÁS

Accurate water surface albedo measurements are crucial to the research of evaporation and heat balance and to the meteorological models. Last albedo measurements of the Lake Balaton were performed in the early seventies. Recent measurements have been carried out since 2007 above the Lake Balaton near Keszthely and Siofok with Kipp&Zonen CMP3 pyranometers as part of the LIFE Project of The Lake Balaton Development Council. It turned out that a systematic offset error was superposed to both the global and the reflex radiation. The value of this systematic error was approximately constant per pyranometer within a year but on the other hand it varied from year to year and from pyranometer to pyranometer (figure 1). In this paper the values of these systematic errors were determined with two different methods. The difference between the values measured at night-time below solar elevation of -10° and the intrinsic thermal offset error of pyranometers were examined with both methods. The night thermal offset error is proportional to the difference between the fourth power of the dome and detector temperatures. This offset is caused partly by the long-wave radiation loss (offset type A) and partly by the ambient temperature change (offset type B).

The base of the first method is an empirical observation connecting to an other research where albedo measurements were carried out above maize canopy with Kipp&Zonen CMP6 pyranometers in 2010 and 2011 in summer. The observation is that the values measured at night-time by a global radiometer are typically negative whereas by a reflex radiometer are typically positive (Table 1). The negative night values of global radiometer is well-known whereas the positive values of the reflex radiometer follow from the fact that this device faces towards the warmer surface instead of the cooler sky. It is supposed that different pyranometers measure values with the same sign under identical weather conditions. It is also supposed that the distribution of the night values above the water is the same than above the shore. It

is proved by the comparison of the results of the measurements carried out with the same instrument above the water and above the shore (Table 2). On the basis of these assumptions the systematic error was determined as follows. In case of global radiation the highest of the values with at least 1% relative frequency was considered as systematic error (Table 3). In case of reflex radiation the lowest of the values with at least 1% relative frequency was considered as systematic error (Table 4).

The substance of the second method is selecting the measurements in case of which the thermal offset error was zero. During fully overcast nights the longwave radiation loss of the global radiometer is about zero. Similarly, when the temperature of the water is equal to that of the dome of the pyranometer the longwave radiation loss of the reflex radiometer is about zero. If there is no incoming airmass with different temperature the offset type B is also around zero. For determining the systematic error of the global radiation firstly the measurements were selected before which within 1 hour the temperature change was smaller than 0.1°C (Table 5). From them the highest value with at least 1% relative frequency was considered as the systematic error (Table 6). In the case of reflex radiation the measurements were selected before which within 1 hour the temperature change was smaller than 0.1°C and the difference of the water and air temperature was lower than 1°C (Table 5). The mean of these values was considered as the systematic error (Table 6). This method was also performed with a stricter condition referring to 5 hours before the measurements (Table 6).

Comparing the results of the different methods indicates that there is no significant difference between them. Using of the first, simpler method is appropriate instead of the second one. The uncertainty of the systematic error of the global radiometer is about 1 Wm^{-2} , whereas that of the reflex radiometer is about 2 Wm^{-2} .

The calibration constants were recalculated from the values being in the calibration reports taking the systematic errors into account. The corrected daytime irradiance values were determined from the measured values with the Eq. 1 linear formula (Table 7), where ΔI is the systematic error and α is the calibration constant. The standard deviations of the calibration constants (Table 8) showed that the global radiometer of Siofok is the most reliable whereas the reflex radiometer of Siofok is the least reliable.

Monthly albedo values calculated for August showed that the correction resulted in remarkable variation (Table 9).

Bevezetés / Introduction

A Balaton párolgása és élővilága szempontjából rendkívül fontos a tó hőháztartása. Ennek legjelentősebb bevételi tagja a Napból érkező rövidhullámú sugárzás. Mivel a vízfelület által elnyelt sugárzási energia közvetlenül nem mérhető, helyette a felületre érkező és onnan visszavert sugárzási teljesítményt mérjük, és ezek hányadosaként számoljuk a felület rövidhullámú albedóját. A magyarországi meteorológiai előrejelzésben használt egyre kisebb térbeli felbontású modelleknek szintén fontos paramétere az albedó (Vörös et al., 2010).

A Balaton felszínének albedójára vonatkozó méréseket utoljára az 1970-es évek első felében végeztek (Weingartner 1964, Dávid 1972, Dávid et al. 1974, Dávid és Kozma 1976). Az utóbbi évtizedek műszaki és informatikai fejlődésének köszönhetően napjainkban jóval pontosabb és nagyobb felbontású albedóméréseket végezhetünk, amik a fent említett alkalmazások miatt szükségesek is. Kutatásunkkal ennek az igénynek a kielégítéséhez szeretnénk hozzájárulni.

A Balatoni Integrációs Kht által működtetett albedométerek a Keszthelyi-öbölben és Siófok mellett, a parttól távol, 2007 óta végeznek globál- és reflexsugárzás méréseket. Az eddigi adatok feldolgozása közben figyeltünk fel arra, hogy mind a globál-, mind a reflexsugárzást mérő piranométerek adataira olyan szisztematikus offszet-értékek rakódtak, amelyek korrigálása nélkül hamis albedóértéket kapunk. Ez különösen szembeűnő alacsony napállás esetén. Az offszet-értékek forrása bizonytalan, az erősítőben és az adatgyűjtőben ez az érték 0-ra volt állítva. Az eltolódást okozhatta esetleg kontakthiba. Ami az adatokból kiderűlt: egy éven belül mind a 4 piranométernél az eltolódás állandónak tekinthető, egyébként pedig évenként és piranométerenként változó. A 2010-es mérési szezon előtt a mérőkörben kisebb átalakítás történt, ami kizárólag a piranométerek és az adatgyűjtők közötti vezetékeket érintette.

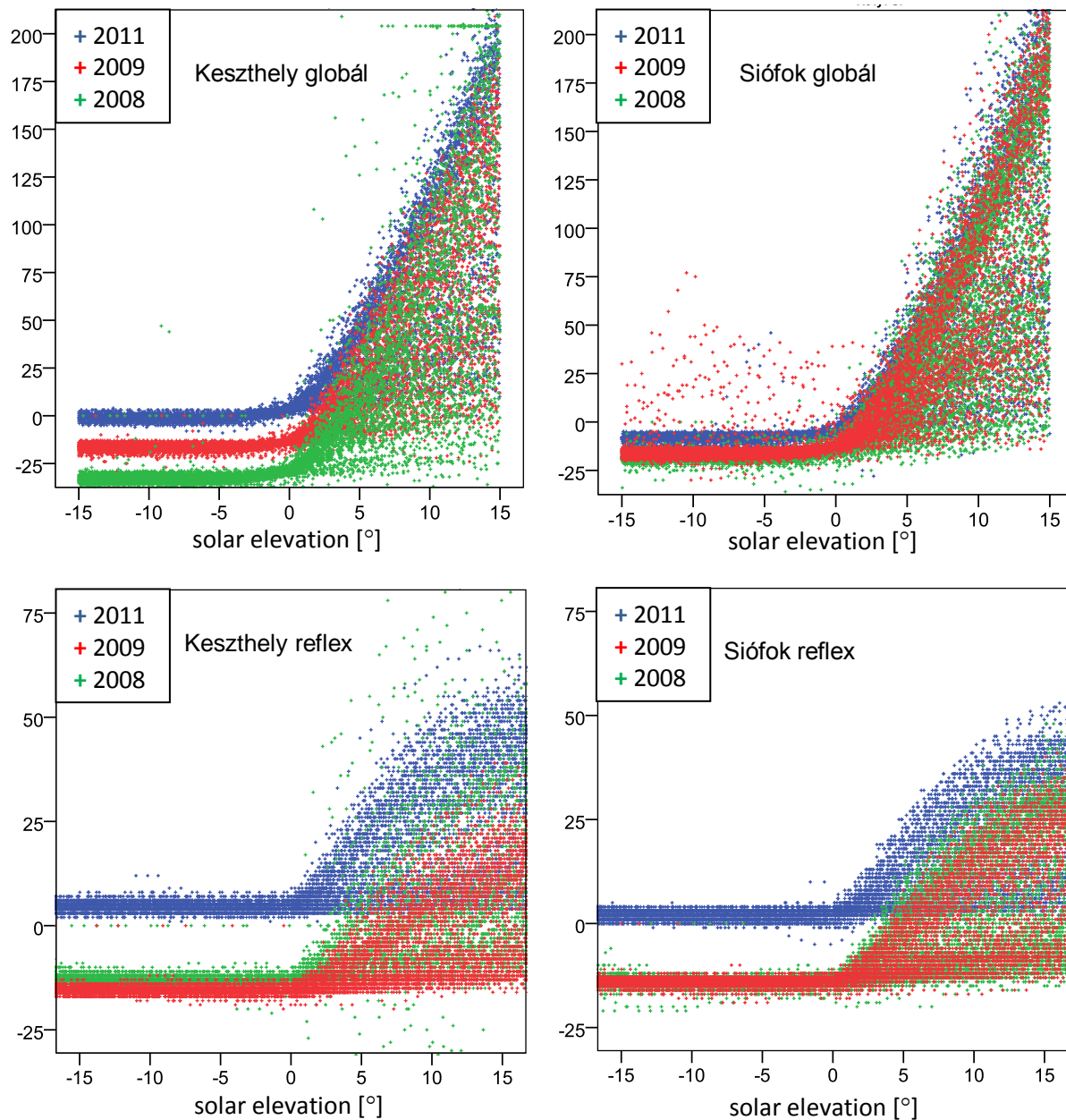
Az adatok nagy mennyiségére és a mérés egyedi voltára való tekintettel szeretnénk a szükséges korrekció mértékét meghatározni és a sugárzásadatokat az albedószámításra alkalmassá tenni. Jelen tanulmányban ennek a lehetőségeit vizsgáljuk. A továbbiakban az egyértelműség érdekében a keresett offszet értékeket szisztematikus hibának nevezzük.

Anyag és módszer a javasolható korrekciós eljárással / Material and Methods including process of data correction

A helyszín és az alapadatok

2007-ben a Balatoni Integrációs Kht. LIFE projectje keretében két hidrometeorológiai mérőoszlopot telepítettek a Balaton parttól távolabbi tó-testébe. Az egyiket Siófok közelében (földrajzi szélesség: 46°58.28'; földrajzi hosszúság: 18°03.67'), a másikat pedig a Keszthelyi-öbölbe, a Zala torkolatától néhány száz méterre (földrajzi szélesség: 46°44.01'; földrajzi hosszúság: 17°16.63'). A koordináták a 2007-es helyszín adatai. Minden évben a téli időszakra az oszlopokat kivették a vízből és a következő évben az iménti helyszín néhány 10 méteres körzetében helyezték vissza. A globálsugárzás és a reflexsugárzás mérése Kipp & Zonen CMP3 piranométerrel történt, aminek spektrális tartománya 310 nm és 2800 nm közé esik. A piranométerek jele egy lineáris erősítőn keresztül került az adatgyűjtőre. Az 1. ábrán jól látható, hogy mind a 4 piranométer esetén megfigyelhető az adatsorok évenként különböző mértékű eltolódása.

A gyártó ajánlása szerint kétévente kell az újrakalibrálást elvégezni. Ez először 2009-ben lett volna esedékes, de csak 2010-ben került rá sor. A piranométereket 2010-ben és 2011-ben az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) kalibrálta, a kalibrálási jegyzőkönyvek rendelkezésünkre álltak. A kalibrálás minden esetben párhuzamos méréssel történt, a kalibráló etalon Kipp&Zonen CM11 típusú használati etalonpiranométer volt Campbell Scientific CR1000 adatgyűjtővel. A hitelesítés így visszavezethető a WRR nemzetközi sugárzási skálához (WMO, 2008). Mindkét helyszínen történt vízhőmérséklet mérés a vízfelszín alatt kb. 90 cm mélységben, illetve léghőmérséklet mérés a víz fölött kb. 3 m magasságban.



1. ábra A -15° és 15° napmagasság között mért globál- és reflexugárzás nyers értékei

Figure 1 Raw values of global and reflex radiation measured at solar elevation between -15° and 15°

A sugázmérés hibái és korrekciójuk

Feltételezéseink szerint a szisztematikus hibát kontakthiba és az erősítők esetleges elállítódása okozhatta. Ezért a mért értékekből a következő lineáris formula segítségével állítjuk elő a korrigált értékeket:

$$I = \alpha \cdot (I_m - \Delta I) \quad (1)$$

ahol I a korrigált irradiancia, I_m a mért irradiancia, ΔI a szisztematikus hiba, α pedig a kalibrálási jegyzőkönyv segítségével megállapított kalibrálási együttható. Ennek a felbontásnak az az alapja, hogy a hivatalos kalibrálási eljárás során nem vizsgálták a

nullaszint eltolódását, csak a kalibrálandó és az etalon műszerek által mért értékek arányát.

A korrekciós eljárás menete: először ΔI értékét határoztuk meg minden év és minden piranométer esetén. Ezt követően a kalibrálási jegyzőkönyvben szereplő, a kalibrálandó piranométer által mért adatokat csökkentettük a megfelelő ΔI -vel, és az (1) egyenlet átrendezésével kapott

$$\alpha = \frac{I_{\text{etalon}}}{I_m - \Delta I} \quad (2)$$

összefüggés alapján meghatározott α értékeket átlagoltuk. Így jutottunk a korrekciós egyenletben szereplő α paraméterhez.

A szisztematikus hibát kétféle módszerrel vizsgáltuk. Mindkét módszer esetén az éjszakai értékek alapján határoztuk meg ΔI -t. A globál- és reflexsugárzás napi menetét vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy -10° napmagasság alatt már biztosan nincs trendszerű változás az idősorban, vagyis ilyenkor már a szórt sugárzás is nullának tekinthető. Ezért a továbbiakban éjszakai értékek alatt mindig a -10° napmagasság alatt mért értékeket értjük.

Mindkét módszer közös alapja, hogy az éjszaka mért sugárzásérték a piranométer mérési elvéből következő termikus offszet (zéró offszet) és a mérőkör által keltett szisztematikus hiba összegeként áll elő. A termoelektromos elven működő piranométerek termikus offszetje régóta ismert jelenség, de a méréseknél történő figyelembevétel csak az utóbbi 15 évben kezdődött (Bush et al. 2000, Reda et al. 2005, Lester and Myers 2006, Ji 2007). A piranométerek üvegbúrájának feladata, hogy kiszűrje a napsugárzás hosszuhullámú komponensét, mechanikai védelmet nyújtson a szenornak és megakadályozza a szenzor és a piranométer környezete közötti hőáramlást. Ugyanakkor megváltoztatja a szenzor és a környezete közötti sugárzási egyensúlyt. Amikor a szenzor, az üvegbúra és a környezet (égbolt) között egyaránt beáll a sugárzási egyensúly, akkor a teljes égboltról érkező rövidhullámú irradiancia, azaz a globálsugárzás Fairall et al. (1998) és Ji és Tsay (2000) nyomán a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$S = \beta \Delta V + \varepsilon_d (\sigma T_s^4 - \sigma T_d^4) + \tau (\sigma T_s^4 - L) \quad (3)$$

Itt S jelöli a globálsugárzást, β a piranométerre jellemző állandó, ΔV a termooszlop kivezetései között mért feszültség, ε_d a búra abszorpcióképessége, σ a Stefan-Boltzmann állandó, T_s és T_d a szenzor, illetve a búra hőmérséklete, τ a búra áteresztőképessége és L az égboltról érkező hosszuhullámú irradiancia. A jobb oldalon lévő első tag a piranométer által mért érték, a második tag a szenzor és a búra hőmérsékletkülönbségéből származó sugárzási energiacsere jellemzője, a harmadik pedig a piranométerre érkező hosszuhullámú sugárzás hatása. Utóbbi két tag összegét nevezzük termikus offszetnek. Ideális esetben ez 0 lenne, ekkor a műszer pontosan a globálsugárzást mérné. Felfelé néző piranométer esetén azonban ez nagyon ritkán fordul elő. A műszer búrája sugárzási energiacsere folytat az égbolttal, aminek hőmérséklete derült idő esetén akár 50°C -kal is alacsonyabb lehet a felszíni hőmérsékletnél. Ennek következtében a búra hőszugárzással energiát veszít, hőmérséklete a műszer többi részéhez képest csökken. Hasonlóan, a búra és a szenzor közötti sugárzási energia csere miatt a szenzor hőmérséklete is csökken. Ezt nevezik A típusú offszetnek. Általában kisebb mértékű, de azért figyelemreméltó a B típusú offszet, amikor a külső léghőmérséklet változása növeli vagy csökkenti a búra hőmérsékletét és ezt csak késve követi a szenzor hőmérséklete. A szenzor és a búra közötti hőmérsékletkülönbség annál nagyobb, minél kisebb közöttük a hővezetés. $T_d < T_s$ miatt a (3) egyenlet jobb oldalán a második tag pozitív lesz. A

harmadik tag értéke közel 0, elhanyagolható (Ji and Tsay, 2000). Így a globálsugárzást mérő piranométerek általában kevesebbet mérnek a valódi értéknél, éjszaka pedig negatív értéket adnak. Ezek a negatív értékek erősen függenek a piranométer típusától, az általunk használt CMP3 esetén 0 és -10 Wm^{-2} között változik. Bush, et al. (2000) a piranométerbe épített termisztorok segítségével igazolta, hogy a termikus offszet egyenesen arányos a $T_d^4 - T_s^4$ kifejezéssel. A szakirodalomban ilyen jellegű offszet hiba meghatározására nem találtunk eljárást. Ezért kidolgoztunk kétféle módszert. Dolgozatunkban ezeket ismertetjük, illetve összehasonlítjuk az egyes módszerekkel kapott eredményeket. Az első módszerhez felhasználtuk egy másik, helyben (Keszthelyen) végzett sugárzásmérés eredményeit is. Ennek a kutatásnak a keretében az Agrometeorológiai Kutatóállomáson 2010 és 2011 nyarán 4-4 hónapos időtartamban kukoricaállomány felett mértünk albedót 2 darab Kipp&Zonen CMA 6 albedométer segítségével. A módszer alapja az a megfigyelésünk, hogy éjszaka a kukoricaállomány feletti globálsugárzást mérő piranométerek jellemzően 0 vagy negatív értékeket, míg a reflexsugárzást mérő műszerek kivétel nélkül pozitív vagy nulla értékeket mértek. Mivel a Balaton feletti mérések egész értékeket szolgáltatnak, ezért először a CMP6 piranométerek adatait is egészre kerekítettük, utána számoltuk ki az egyes értékek relatív gyakoriságát, amit összefoglalva mutat az 1. Táblázat. Jól látható, hogy amíg a reflexsugárzásnál nem volt negatív éjszakai érték, addig a globálsugárzás esetén az elhanyagolható mennyiségű pozitív érték mellett a 0 relatív gyakorisága 2-7.5% között mozgott. Ez ugyan jelentős ingadozás, de mindkét évben ez volt a legnagyobb érték, aminek a relatív gyakorisága szignifikánsan különbözik 0-tól. A globálsugárzásra kapott eredmények összhangban vannak a (3) egyenlet értelmezésénél elmondottakkal. A reflexsugárzás nem negatív éjszakai értékei is értelmezhetőek, hiszen a hideg égbolt helyett a lényegesen melegebb felszín vesz részt a sugárzási energiacsereben. Ha a piranométer vázának és a környező levegőnek a hőmérsékletét azonosnak tekintjük, akkor a léghőmérsékletnél magasabb felszíni hőmérséklet esetén a fent elmondottak alapján a burkolat hőmérséklete kis mértékben magasabb lehet a szenzorénál, és ez pozitív termál offszetet eredményez.

1. táblázat A kukorica állomány felett mért éjszakai sugárzásértékek előjel szerinti eloszlása éves és piranométerenkénti bontásban. Az adatok %-ban értendők.
Table 1 Distribution by sign of the radiation values measured at night-time above the maize stand per year and per pyranometer. Data are presented in percentage.

	Global 1		Global 2		Reflex 1		Reflex 2	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Positive	0.05	0.02	0.20	0.01	72.04	78.01	70.96	29.04
Zero	6.67	2.14	7.43	2.47	27.96	21.99	29.04	22.43
Negative	93.29	97.84	92.37	97.52	0.00	0.00	0.00	0.00

Ennél a módszernél (a továbbiakban előjelmódszer) feltételezzük, hogy a különböző érzékenységgű, de azonos mérési elven működő termoelektromos piranométerek azonos meteorológiai körülmények között azonos előjelű, csak nagyságban eltérő offszet jeleket mérnek. A másik feltételezés, hogy a víz felett és a parton az éjszakai zéró offszet értékek ugyanolyan eloszlást mutatnak. Ezt a feltételezést igazolja a víz fölött és a part fölött ugyanazzal a piranométerrel végzett mérések összehasonlítása.

2011-ben március 22. és május 23. között a siófoki albedométer a parton, az OMSZ siófoki obszervatóriumának kertjében volt felszerelve és füves terület fölött végzett méréseket. Az itt mért értékeket hasonlítottuk össze a július és november között a víz fölött mért értékekkel (2. Táblázat). Hogy a kiugró értékek torzító hatását kiküszöböljük, mindkét adathalmazon 5%-os trimmelést hajtottunk végre, azaz figyelmen kívül hagytuk az eloszlás alsó és felső 2.5%-ába eső értékeket. Az összehasonlításból látható, hogy az éjszakai értékek átlaga 2-3%-os eltérés mellett közel azonosnak tekinthető a két helyszínen.

2. táblázat A siófoki albedométer víz felett és a parton mért éjszakai sugárzás értékeinek (Wm^{-2}) összehasonlítása 2011-ben 5%-os trimmelés után.

Table 2 Comparison of radiation values (Wm^{-2}) measured by the albedometer of Siofok at night-time above the water and above the shore in 2011. They were trimmed at 5%.

	Global		Reflex	
	Mean	St dev	Mean	St dev
Above the shore (Mar-May)	-8.34	1.375	2.39	0.714
Above the water (Jul-Sep)	-8.5	1.806	2.31	0.855

A fenti feltételezések mellett a szisztematikus hibát a következőképpen határozzuk meg. Mindkét sugárzásmérő esetén elkészítjük a mért értékek hisztogramját. Reflexsugárzás esetén azt tekintjük nulla szintnek, ami a minimum 1% relatív gyakoriságú értékek között a legkisebb. Ezzel biztosítjuk, hogy a korrigált éjszakai értékek dominánsan 0 vagy pozitív értékek legyenek. A globálsugárzás esetén a legalább 1% relatív gyakoriságú értékek közül pedig a legnagyobbat tekintjük nulla szintnek. Ezzel biztosítjuk, hogy a korrigált éjszakai értékek dominánsan 0 vagy negatív értékek legyenek.

A második módszer lényege, hogy az adathalmazból megpróbáljuk kiválogatni azokat a méréseket, amikor nulla volt a termikus offszet. Ezért a továbbiakban ezt röviden zérómódszernek fogjuk nevezni. Globálsugárzás esetén ez a következő eljárással történik. Teljesen borult, felhős időben az égbolt hőmérséklete közel azonos a felszín hőmérsékletével. Ezért a hosszuhullámú veszteséggel (A típusú offszet) nem kell számolni. Szintén az erős felhőzet miatt az alsó légkör kisugárzás miatti lehülése is elhanyagolható. Ha nincs beáramló, eltérő hőmérsékletű légtömeg, akkor a B típusú offszet is nullának tekinthető. Elméletileg nagyon kicsi valószínűséggel kijöhet pozitív termikus offszet olyan esetben, amikor egy melegebb légáramlat okozta gyenge B típusú offszet dominál a nulla közeli A típusú offszeten. Első lépésben kiválogatjuk azokat a globálsugárzás adatokat, amiknél a mérést megelőző egy órában a hőingás nem volt nagyobb $0.1^{\circ}C$ -nál. Ezek közül figyelmen kívül hagyjuk a nagyon kis gyakoriságú (1-2 előfordulás) értékeket és a legalább 1% relatív gyakoriságú értékeknek megkeressük a maximumát. Ez lesz a szisztematikus hiba értéke. Itt azt feltételezzük, hogy volt olyan mérés, amikor az A és B típusú offszet egyidejűleg nulla volt, de nem volt, vagy elenyésző mértékben volt olyan, amikor az összegük pozitív lett volna.

Reflexsugárzás esetén az A típusú offszet nagyságát a víz és a piranométer közötti hőmérsékletkülönbség határozza meg. Ha ez a különbség tartósan nulla, akkor az A

típusú offszet elhanyagolható. Ezért első lépésben itt is azokat a rekordokat válogatjuk ki, ahol a mérést megelőző egy órában a hőingás nem volt nagyobb 0.1°C -nál. Majd ezeket tovább szűrjük azzal a feltétellel, hogy a mérést megelőző 1 órában a víz- és léghőmérséklet különbségének abszolút értéke végig 1°C alatt volt. Az így kiválogatott rekordok reflexsugárzás értékeinek átlaga lesz a szisztematikus hiba értéke. A vízhőmérséklet mérése az albedométerek alatt, a vízfelszín alatt 1 m mélységben történt. Az éjszakai órákban ezt egyenlőnek tekinthetjük a felszíni vízhőmérséklettel (Endrődi és Kissné, 1964).

Bush, et al. (2000) Eppley PSP piranométerrel végzett vizsgálatait azt mutatták, hogy a felmelegített vagy lehűtött, majd utána magára hagyott, fekete dobozba helyezett piranométer esetén a termikus offszet kb. 5 óra alatt állt vissza nullára. Ezért a vizsgálatokat elvégeztük szigorúbb, a mérést megelőző 5 órára vonatkozó feltétellel is. Itt a globálsugárzás esetén azokat a rekordokat használtuk fel, ahol a mérést megelőző egy órában a hőingás nem haladta meg a 0.1°C -ot, a mérést megelőző 5 órában pedig az 1°C -ot. Reflexsugárzás esetén pedig ezen felül megköveteltük, hogy a mérést megelőző 5 órában a víz- és léghőmérséklet különbsége se haladja meg az 1°C -ot.

Eredmények és tárgyalásuk / Results and discussions

A globál- és reflexsugárzásmérők éjszakai értékeit évenként kiértékeljük az előjel módszer segítségével (3. és 4. Táblázat).

3. táblázat A globálsugárzásnak az előjel módszerrel megállapított szisztematikus hibája, valamint az ennél kisebb; egyenlő és nagyobb értékek relatív gyakorisága
Table 3 Systematic error of global radiation determined by the sign method and the relative frequency of lower, equal to and higher values.

	Global	Systematic error (Wm^{-2})	Relative frequency (%)		
			< s. error	= s. error	> s. error
Keszthely	2007	-26	97.4	2.1	0.5
	2008	-29	96.7	2.1	1.2
	2009	-13	98.1	1.5	0.4
	2010	7	98.3	1.3	0.5
	2011	3	98.0	1.4	0.6
Siófok	2007	-14	94.4	5.4	0.2
	2008	-14	93.5	5.2	1.2
	2009	-13	94.4	2.7	2.9
	2010	-5	83.1	15.2	1.7
	2011	-5	97.5	2.1	0.4

4. táblázat A reflexsugárzásnak az előjel módszerrel megállapított szisztematikus hibája, valamint az ennél kisebb, egyenlő és nagyobb értékek relatív gyakorisága
 Table 4 Systematic error of reflex radiation determined by the sign method and the relative frequency of lower, equal to and higher values.

	Reflex	Systematic error	Relative frequency (%)		
			< s. error	= s. error	> s. error
Keszthely	2007	-14	0.5	4.8	94.7
	2008	-14	0.9	8.4	90.7
	2009	-17	0.5	7.5	92.0
	2010	2	0.9	1.5	97.6
	2011	2	0.3	1.6	98.1
Siófok	2007	-15	1.3	10.0	88.7
	2008	-16	0.7	2.0	97.3
	2009	-16	0.1	2.3	97.6
	2010	0	1.2	11.6	87.2
	2011	0	0.1	3.0	97.0

A zérómódszer alkalmazásakor először kiválogattuk azokat a rekordokat, ahol a mérést megelőző 1 órában a hőingás nem volt nagyobb 0.1°C-nál. Ezekből határoztuk meg a globálsugárzásmérők szisztematikus hibáját. Majd ezt tovább szűrtük azzal a feltétellel, hogy a mérést megelőző 1 órában a víz- és léghőmérséklet különbségének abszolút értéke is végig 1°C alatt volt. Ezekből határoztuk meg a reflexsugárzásmérők szisztematikus hibáját. Ezt követően elvégeztük a vizsgálatot a szigorúbb szűrőfeltételekkel is. Globálsugárzás esetén a hőingás nem haladhatta meg a mérést megelőző 1 órában a 0.1°C, a mérést megelőző 5 órában pedig az 1°C-ot. Reflexsugárzás esetén pedig ezen felül a víz- és léghőmérséklet különbsége nem haladhatta meg a mérést megelőző 5 órában az 1°C-ot. Az egyes szűrések után megmaradt rekordok arányát mutatja az 5. táblázat.

5. táblázat A zérómódszernél felhasznált adatok aránya az adott évi összes éjszakai adathoz képest. Az adatok százalékban értendők.

Table 5 The ratio of the number of data used for the zero method to the number of total night data. Data are presented in percentage.

Filtering		Global radiation		Reflex radiation	
		1 hour	5 hours	1 hour	5 hours
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

2007-ben és 2009-ben egyik helyen sem, valamint 2008-ban Keszthelyen nem volt vízhőmérséklet mérés, ezért ott a második szűrést nem hajtottuk végre, és ezzel a módszerrel a reflexsugárzás szisztematikus hibáját sem számoltuk. Az első szűrés után megmaradt és legalább 1% relatív gyakoriságú globálsugárzás értékeknek megkerestük a maximumát. Ezeket tekintjük az egyes években a globálsugárzást mérő piranométer szisztematikus hibájának (6. táblázat). A második szűrés után megmaradt reflexsugárzás értékek átlagát pedig a reflexsugárzást mérő piranométer szisztematikus hibájának (6. Táblázat).

6. táblázat A globál- és reflexsugárzásnak a zérómódszerrel megállapított szisztematikus hibája, valamint a reflexsugárzásnál felhasznált adatok szórása.
Table 6 Systematic error of global and reflex radiation determined by the zero method as well as the standard deviation of values used for reflex radiation.

Filtering		Global radiation (Wm ⁻²)		Reflex radiation (Wm ⁻²)		St dev (reflex) (Wm ⁻²)	
		1 hour	5 hours	1 hour	5 hours	1 hour	5 hours
Keszthely	2007	-26	-28				
	2008	-29	-29				
	2009	-13	-13				
	2010	6	6	3.2	3	0.7	0.4
	2011	3	2	4.4	-	0.5	-
Siofok	2007	-14	-14				
	2008	-14	-14	-14.6	-14.7	0.6	0.9
	2009	-13	-14				
	2010	-4	-4	0.8	0.8	0.6	0.4
	2011	-5	-5	1.5	1.3	0.7	0.6

A továbbiakban összehasonlítottuk a háromféle módszerrel meghatározott értékeket. Globálsugárzás esetén a tíz szisztematikus hibából öt mindhárom módszernél egyenlő, öt pedig valamelyik zérómódszer esetén kisebb. A 2007-es évtől eltekintve az eltérés nem haladja meg az 1 Wm⁻²-t. Az összehasonlítás alapján kijelenthetjük, hogy a két módszer eredménye között lényeges különbség nincs, így a zérómódszer helyett az egyszerűbb, hőmérséklet adatokat nem igénylő, előjel módszer használata is elegendő.

Reflexsugárzás esetén az 1 órás és az 5 órás zérómódszer eredményei 0.2 Wm⁻²-nél nagyobb mértékben nem különböznek, lényegében egyenlőnek tekinthetők. Viszont ezek az értékek minden esetben nagyobbak az előjel módszerrel meghatározottaknál. Az eltérés mértéke 0.8 – 2.4 Wm⁻² között változik. Azt vártuk, hogy a második szűrés után egy konkrét érték fog dominálni, amit 0 szintnek tekinthetünk. Ezzel szemben a 6. táblázatban látható szórás értékek arról tanúskodnak, hogy sem az 1 órás, sem az 5 órás hőmérsékletvizsgálattal nem sikerült a reflexsugárzás értékeket egy konkrét értékre szűkíteni. A lég- és vízhőmérsékletre vonatkozó szűrőfeltételek nem bizonyultak elegendőnek a pontosan nulla, csak a nulla közeli termikus offszet megkereséséhez.

Összességében kijelenthetjük, hogy a globálsugárzásmérők szisztematikus hibáját kb. 1 Wm⁻², míg a reflexsugárzásmérőket kb. 2 Wm⁻² pontossággal sikerült meghatározni. Mindkét esetben elegendő az egyszerűbb előjel módszer használata.

A továbbiakban az előjelművel meghatározott szisztematikus hiba értékekkel dolgozunk tovább.

Következő lépésben a 2010-es és 2011-es kalibrálási jegyzőkönyveket használtuk fel. A kalibrálandó piranométerek adataiból kivontuk az imént kiszámított szisztematikus hiba értékét, és a különbségeket hasonlítottuk össze a kalibráló piranométer adataival. A (2) egyenlet alapján a jegyzőkönyvek minden adatpárjához meghatároztunk egy alfát, és ezeknek az átlagát tekintettük kalibrálási együtthatónak. 2007 és 2009 között nem történt kalibrálás. Mivel a gyártó két évente javasolja a kalibrálást, a 2007-es és a 2008-as adatoknál elfogadtuk a piranométereken feltüntetett érzékenységet ($\alpha=1$), a 2009-es adatok esetén a 2010-es kalibrációval meghatározott α -t használtuk. Végül az (1) egyenlet felhasználásával minden globál- és reflexsugárzásadatot korrigáltunk a 7. táblázatban szereplő α és ΔI értékeknek megfelelően.

7. táblázat A globál- és reflexsugárzás korrekciójához felhasznált α és ΔI paraméterek értékei.

Table 7 Values of α and ΔI parameters used for correction of the global and reflex radiation

		Global		Reflex	
		α	$\Delta I(Wm^{-2})$	α	$\Delta I(Wm^{-2})$
Keszthely	2007	1	-26	1	-14
	2008	1	-29	1	-14
	2009	0.991	-13	0.984	-17
	2010	0.991	7	0.984	2
	2011	0.984	3	0.994	2
Siófok	2007	1	-14	1	-15
	2008	1	-14	1	-16
	2009	0.956	-13	1.031	-16
	2010	0.956	-5	1.031	0
	2011	0.960	-5	1.040	0

A rekordonként meghatározott α értékek szórása annál nagyobb, minél nagyobb a piranométer koszinusz-hibája, azimut-hibája és a linearitás-hibája. A 8. táblázatban látható szórásértékek azt mutatják, hogy legmegbízhatóbb a siófoki globálsugárzásmérő, legkevésbé megbízható pedig a siófoki reflexsugárzásmérő. A 2011-es szórásadatok azért nagyobbak, mert amíg 2010-ben másfél órán keresztül 2 percenkénti, addig 2011-ben 12 órán át 10 percenkénti mérésekkel történt a kalibráció.

A korrigált globál- és reflexsugárzás adatokból számolt albedó részletes vizsgálatát egy következő tanulmányban tervezzük megjelentetni. Az augusztus volt az egyetlen hónap, amikor mind az öt évben mindkét helyszínen folyamatos volt a mérés. Az augusztusi albedó értékek összevetéséből látható, hogy a korrekció jelentős, helyenként 60%-os mértékű változást eredményezett (9. Táblázat).

8. táblázat A kalibrálási jegyzőkönyvek alapján rekordonként meghatározott α értékek szórása

Table 8 Standard deviation of α values determined on the basis of the calibration report

	Global	Reflex
2010 Keszthely	0.003	0.004
2010 Siófok	0.002	0.006
2011 Keszthely	0.014	0.013
2011 Siófok	0.005	0.017

9. táblázat Augusztusi albedó értékek a nyers és a korrigált adatok alapján

Table 9 Albedo of August calculated from the raw and the corrected data

	Keszthely					Siófok				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
Raw	0.072	0.062	0.052	0.074	0.068	0.051	0.059	0.055	0.083	0.075
Corrected	0.094	0.082	0.088	0.071	0.065	0.076	0.084	0.088	0.089	0.080

Következtetések / Conclusions

A bemutatott módszerek alkalmasnak látszanak arra, hogy a Balaton fölötti globál- és reflexsugárzás adatok mérési pontatlanságát mérsékeljük. A 7. 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 eredményeinek kutatási célú felhasználása előtti alkalmazásra javasolható. Az így korrigált adatokkal nyert sugárzás adatok interpretálása közelebb vihet a valósághoz.

Köszönetnyilvánítás / Acknowledgements

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.

Felhasznált irodalom / References

- [1] 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.
- [2] Dávid, A. (1972) Adalékok a tavak sugározásháztartásához. OMSZ beszámolók az 1973-ban végzett tudományos kutatásokról, Budapest, 130-137.
- [3] Dávid, A., Major, Gy., Takács, O. (1974) Hazai állóvizeink albedójának vizsgálata. *Időjárás*, 78, 46–50.
- [4] Dávid A., Kozma F. (1976) A Balaton sugárzási rendszere. OMSZ beszámolók az 1976-ban végzett tudományos kutatásokról, 106-118.
- [5] Endrődi, G., Kissné Tóth E.(1964): A Balaton vízének hőmérséklete és a tó hőháztartása. *Időjárás*, 68, (4),.226-231.
- [6] Fairall, C. W., Pearson, P. O. G., Bradley, E. F., Payne, R.E. and Anderson, S. P. (1998) A new look at calibration and use of Eppley Precision Infrared Radiometers. Part I: theory and application. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15, 1229-1242.
- [7] Ji, Q. and Tsay, S.-C. (2000) On the dome effect of Eppley pyrgeometers and pyranometers. *Geophysical Research Letters*, 27, 971-974.
- [8] 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.
- [9] Lester, A. and Myers, D.R. (2006) A method for improving global pyranometer measurements by modeling responsivity functions. *Solar Energy*, 80, 322-331.
- [10] Reda, I., Hickey, 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.
- [11] Vörös, M., Istvánovics V., Weidinger, T. (2010) Applicability of the FLake model to Lake Balaton. *Boreal Environment Research*, 15, 245-254
- [12] Weingartner, F. (1964) A vízfelszín albedójáról. *Időjárás*, 68, 237-239
- [13] World Meteorological Organization (2008), *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8