

## A FOTOSZINTETIKUSAN AKTÍV SUGÁRZÁS HAZAI VIZSGÁLATAI

## PAR INVESTIGATIONS IN HUNGARY

Major György

major.gy@met.hu

**Összefoglalás.** Ebben a dolgozatban felidézzük azokat a munkákat, amelyeket magyar szakemberek végeztek, illetve végeznek a fotoszintetikusán aktív sugárzás mérésével és számításával kapcsolatban, valamint beszámolunk egy mérésről, amellyel a fotoszintetikusán aktív spektrumtartományban leérkező energia és a teljes napsugárzási spektrumban leérkező energia arányát állapítjuk meg.

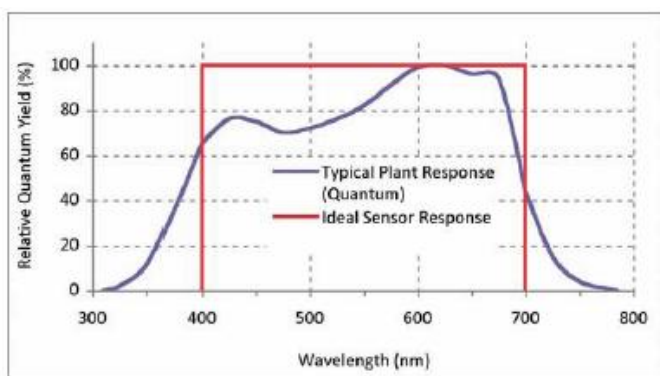
**Abstract.** In this paper the works are referred which have been or are made by Hungarian experts in the field of measurement or calculation of the photosynthetically active radiation. A measurement is also reported that aims the determination of the ratio of the solar flux incoming in the spectral interval of photosynthetically active radiation to the total solar flux.

## Bevezetés

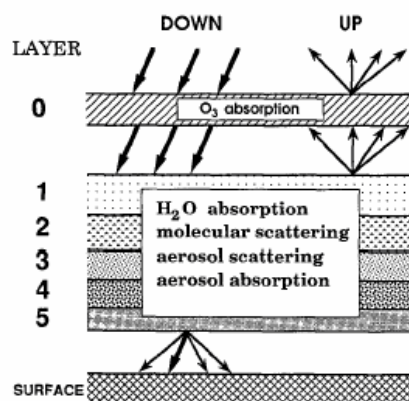
Földünkön a mozgások (beleértve az élővilág működését is) döntő többségének energiája végső soron a Nap sugárzásából származik. A napsugárzási energia hasznosításának egyik legfontosabb módja a növények által végzett fotoszintézis. A fotoszintézishez a növények nem használják a napsugárzás teljes hullámhossztartományát, hanem annak csak egy részét. Ebben az írásban az erre a spektrumtartományra vonatkozó mérések és számítások azon eredményeiről igyekszünk képet adni, amelyek magyar szakemberek munkáiból származ-

lógiban rövidhullámú sugárzásnak) a Nap irányára merőleges felületen felfogott sugárzási teljesítmény áramsűrűsége. Pillanatnyi értékének szokásos mértékegysége:  $W/m^2$ .

- *Diffúz (szórt) sugárzás:* A légkörön keresztül a vízszintes síkra a felső féltérből, kizárva belőle a Nap térszögét, érkező rövidhullámú sugárzás áramsűrűsége. Ezt is  $W/m^2$ -ben mérjük.
- *Globálsugárzás:* A vízszintes síkra a teljes felső féltérből érkező rövidhullámú sugárzás áramsűrűsége. (A direkt sugárzás függőleges összetevőjének és a



1. ábra. A fotoszintetikusán aktív sugárzás értelmezése. Kék görbe: a fotoszintézis általi fotonhasznosulás, piros vonalak: a fotoszintetikusán aktív sugárzás elvi definíciója



2. ábra. A Pinker-László modellszámításokban használt légoszlop rétegződés.

nak. Noha törekszünk a teljességre, nem biztos, hogy sikerült minden idevágó munkáról tudomást szerezni, a nem említettekért elnézést kérünk az érintettektől.

Szükségesnek tartjuk a későbbiekben szereplő fogalmak meghatározását felidézni az esetleges félreértések elkerülése végett.

— *Direkt* (kevésbé használt magyar nevén *közvetlen*) *sugárzás:* A Nap térszögéből, a 0,29 – 4 mikrométeres spektrumtartományban (ezt nevezzük a meteoro-

diffúz sugárzásnak az összege, tehát mértékegysége azonos az előzőkével.)

- *Fotoszintetikusán aktív sugárzás (PAR):* a vízszintes síkra a felső féltérből a 0,4 – 0,7 mikrométer (400 – 700 nanométer) spektrumtartományban érkező fotonok (sugárzási kvantumok) számának áramsűrűsége. Mértékegysége:  $\mu mol/(m^2 \cdot sec)$ ,  
 $1 \text{ mol} = 6 \cdot 10^{23} = 1 \text{ Einstein}$ .

— A fotoszintetikusan aktív sugárzás energiája, *PAR<sub>e</sub>*: A vízszintes síkra a felső féltérből, a 0,4 – 0,7 mikrométer spektrumtartományban érkező sugárzási teljesítmény áramsűrűsége. Mértékegységként a W/m<sup>2</sup>-t használjuk.

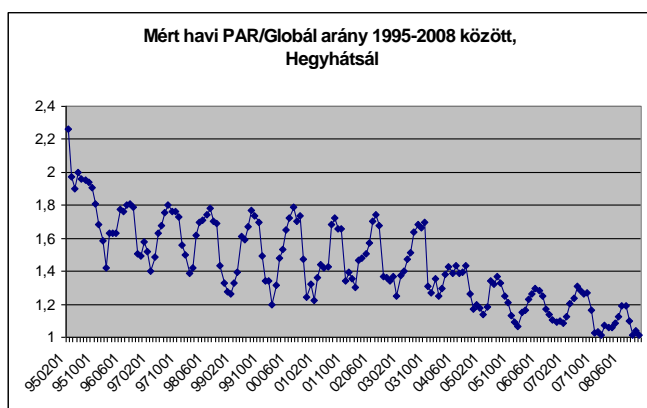
Az 1. ábra (LI-COR, 2009) szolgál magyarázattal a fotoszintetikusan aktív sugárzás kialakított fogalmára. A kép vonal egy növényekre jellemző görbe arról, hogy a hullámhossz függvényében a fotoszintézis milyen arányban hasznosítja a fotonokat. Száz százalékban hasznosulnak a 615 nm közeli fotonok, a 400 nm-nél rövidebb és a 700 nm-nél hosszabb hullámúak pedig igen kis mértékben. Ez a tipikus görbe kissé eltér az egyes növényekétől és azok is egymástól, ezért általánosításképpen a „négyzetesített” piros egyenesek alkotják a fotoszintetikusan aktív sugárzás fo-

cikkben Тооминг és Гуляев 1967-ben megjelent könyvében közölt (a 380 – 710 nm tartományra vonatkozó) képletet használt:

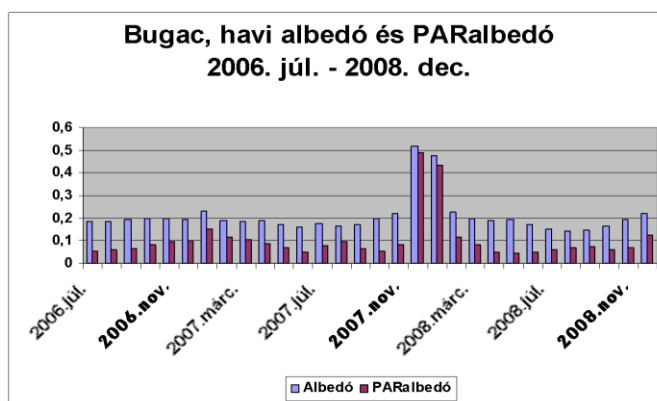
$$PAR_e = 0,42 DIR_v + 0,60 DIF,$$

Ahol *DIR<sub>v</sub>*: a vízszintes síkra jutó direkt sugárzás  
*DIF*: a diffúz sugárzás.

A cikk írásakor elérhető volt számos hazai állomásra a napfénytartam adatokból számított globálsugárzás 50 éves adatsora minden hónapra. Az április – szeptember közötti hónapokra empirikus formulával a globálsugárzást felbontotta direkt és diffúz összetevőkre, így ki tudta számítani a *PAR<sub>e</sub>*-e havi értékeit a tenyészidőszakra és a nyári féltre, amelyekből országos térképeket szerkesztett.



3. ábra A Hegyhátsálon működött *PAR* műszer öregedési folyamata



4. ábra *PAR* albedó és albedó értékek menete

galmának spektrális jellemzőit. Ez a matematikailag jól definiált spektrális érzékenység sem a növényekre nem tökéletesen jellemző, sem ennek pontosan megfelelő mérőműszer nem készíthető. Ennek ellenére az egyre nagyobb számú mezőgazdasági, erdészeti, biológiai stb. terepkísérletek mérési programjaiban egyre többször kerülnek alkalmazásra a számos gyártó által forgalmazott *PAR* és *PAR<sub>e</sub>* műszerek. Ezek egy részének egymással, valamint megfelelő pontosságú spektrométerrel történő összehasonlító/ellenőrző mérésére került sor 2002-ben Kanadában (BSRN, 2005). Az eredmények mutatják, hogy a *PAR* méréseket szolgáló műszerek a hagyományos meteorológiai sugárzási műszereknél jóval olcsóbb áruknak megfelelően alacsonyabb szinten teljesítenek. A 2005-re tervezett, teljes részvételi körű és hosszabb üzemelési jellemzőket szolgáló mérési program (értesülésünk szerint) nem valósult meg a kanadai kísérleti állomáson, mivel a munkát végző szakember magasabb vezetői pozícióba került.

**Írott beszámoló**

Tudomásunk szerint hazánkban elsőként Felméry László tanár úr kezdett a fotoszintetikusan aktív sugárzással foglalkozni. Eredményeit teljességükben az IDŐJÁRÁS-ban (Felméry, 1974) megjelent cikkéből ismerhetjük meg. A

Jelentős agrometeorológiai kutató méréseket végzett 1982-ben és 1983-ban Hunkár Márta. Keszthelyen 7 szintben mérte kelet-nyugat irányítású sorokból álló kukoricaállományban a *PAR* profilokat több alkalommal a tenyészidőszak alatt. Eredményeiről egy IDŐJÁRÁS cikkben (Hunkár 1984a), valamint teljességükben egyetemi doktori disszertációjában (Hunkár 1984b) számolt be. Ez utóbbi műben ismerteti a *PAR* mérések fiziológiai és technikai alapjait, megadja a mérések körülményeinek meteorológiai jellemzőit és a kukorica állomány aktuális paramétereit. A *PAR* méréseiből kapott állománybeli profilok jól egyeznek a levélfelület index alapján számított profilokkal

Egy évtizednyi időt dolgozott az Országos Meteorológiai Szolgálatnál László István, majd az Egyesült Államokban folytatta az itthon megkezdett sugárzási témájú munkásságát, így hazai eredmények is tekinthetjük publikációit. A Pinker és Laszlo (1992) cikkben a fotoszintetikusan aktív sugárzás műholdas mérésekből leszarmaztatott, az egész Földre vonatkozó eloszlását villantják fel. Műholdak adataiból öt spektrális sávban (200-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-4000 nm) sugárzásátviteli számítással (a vertikális rétegződést a 2. ábra mutatja) meghatározzák a felszínre leérkező napsugárzást. A második, harmadik és negyedik spektrális sáv összevonásával megkapják a *PAR<sub>e</sub>*

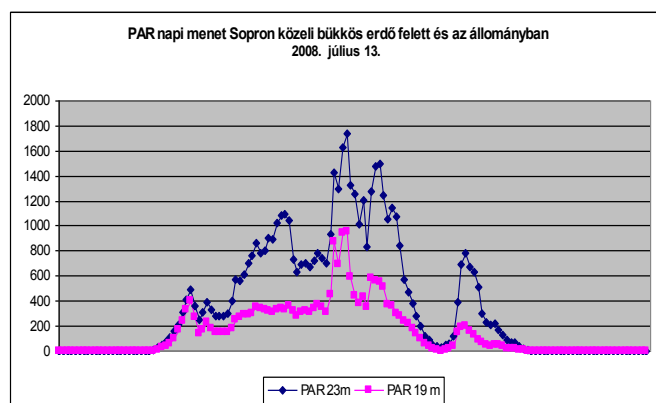
értéket. Sok részeredmény mellett bemutatják az 1983. július hónapra szerkesztett, 2,5 földrajzi fok felbontású globális térképet.

### Terepi mérések

Az országban hosszabbtávú terepi mérésenként gyűjtnek/gyűjtöttek PAR, illetve PARE adatokat a következő helyeken:

- Hegyhátsál, 1995-től (Haszpra László, Barcza Zoltán, Gelybó Györgyi)
- Bugac, 2002-től 2010-ig (Horváth László, Pintér Krisztina, Nagy Zoltán)
- Sopron környéki bükkös erdő, 2006-tól (Vig Péter és munkatársai).

A terepi méréseket meg kell különböztetnünk az obszervatóriumi mérésektől. Az obszervatóriumokban naponta többször ellenőrzik (!) a mérőműszerek állapotát és az adatgyűjtés menetét, erre az ellenőrzésre a terepen csak hetente vagy még ritkábban kerül sor. A sugárzási érzékelőket beborító por, hó, víz, stb befolyásolja a mérési eredményt, ezért a hibát okozó leülepedett borítást sűrűn el



5. ábra. Egy példa a PAR erdőbe történő behatolására

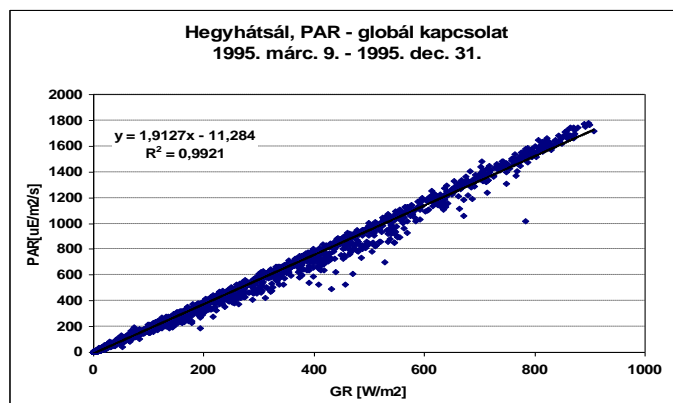
kell(ene) távolítani. Az évenkénti hitelesítés (3. ábra) biztosítja, hogy a műszerek „öregedését” figyelembe tudjuk venni, ezáltal a sugárzási és a többi gyűjtött adat a nyomon követni kívánt természeti folyamatokról ad számot, azaz a mérő rendszer saját változásai nem jelennek meg az adatsorban.

A Hegyhátsálon végzett mérések igen fontos tanulsága vonható le a 3. ábra alapján. A PAR/globál adatok aránya mutatja, hogyan változott az összhang közöttük az 1995-2008 közötti 14 év során. Elvileg mind a két mérőműszer érzékenysége változhatott, és együttesen hozhatták létre az arány eltolódását, az utólagos ellenőrzés azonban azt mutatja, hogy a globálsugárzást mérő piranométer stabilnak tekinthető, tehát a PAR műszer veszített az érzékenységből, több hullámban és fokozatosan. (Az ábrán megmutatkozó évi menetek a kétféle érzékelő különböző kompenzálatlan hőmérsékletfüggését és a direkt sugárzás beesési szögére vonatkozó különböző érzékenységet sejtetik.) A nem nagymértékű, fokozatos öregedés észrevehető évenkénti hitelesítés nélkül is, ha az adatsorokat évente (vagy sűrűb-

ben) feldolgozzuk, vagy legalább ábrán idősróként megjelenítjük, az ekkor megjelenő indokolatlan trendek a mérőrendszer torzítására utalnak.

A Bugacon kilenc éven át végzett mérések között volt PAR mérés és a felszín által visszavert PAR mérés, valamint PARE és visszavert PARE mérés. Ezek, együtt a globálsugárzást és a visszavert globálsugárzást mérő piranométerekkel, olyan mérőegyüttest alkottak, amely mind a lefelé, mind a felfelé menő, egymással szoros kapcsolatban lévő sugárzási összetevőket három értéként szolgáltatva, így ezek összehasonlításával megmutatkozott volna, ha valamelyik sugárzásmérő öregszik, vagy meghibásodik.

A visszavert PAR és PAR adatokból PARalbedo számolható. Interneten a „PARalbedo” szóra és a „PARalbedo” kifejezésre rákeresve megállapítható, hogy ilyen tárgyú cikk kevés jelenik meg, ezért ez a mérési adatsor különlegességnek tekinthető, érdemes volna ezt kihasználni. Az idevágó cikkek a PARalbedo-t a levélfelület indexszel, a zöldtömeggel és a vízstresszel kapcsolták össze. A 4. ábrán bemutatjuk a PARalbedo havi értékeinek két és fél-



6. ábra. PAR – globál kapcsolat 10 perces értékekből

évnvi idősrót. Érdemes figyelni rá, hogy ezen időszakban a teljes napspektrumra vonatkozó albedo maximális és minimális értékeinek aránya 3,5 körüli, ugyanez a PARalbedo esetében 10,5, azaz a PARalbedo érzékenyebb jellemzője a felszín tulajdonságainak.

Vig Péter és kollégái erdőállomány komplex energia-gazdálkodását vizsgálják. Ennek részeként mérnek PAR értékeket az erdő felett (23 m), a lombkorona záródásának szintjén (19 m) és az aljnövényzet szintjén (2 m). Az 5. ábra egy napi menetet mutat a felső két szintben mért adatokból. Itt jegyezzük meg, hogy bármely növényállományban mérendő PAR profil meghatározásához minden szintben ugyanolyan gyártmányú műszert kell használnunk, mivel a különböző gyártók műszereinek spektrális érzékenysége kissé eltér egymástól, ezért az állományon belül a sugárzás spektrális összetételének változásával kombinálna az eltérő gyártmányú műszerek különböző spektrális érzékenysége, ami megzavarná a különböző szintekben mért adatok összehasonlíthatóságát.

### A PAR és a globálisugárzás kapcsolata

A 6. ábrán csaknem egyéves, 10 percenként mért, összetartozó PAR és globálisugárzás értékeket látunk a Hegyhátsálon végzett mérések kezdeti időszakából, amikor a PAR műszer még nem veszített az érzékenységéből. A 7. ábrán egy teljes évből származnak a félóránként Bugacon mért adatok. (Az ábra bal alsó sarkában látható „kampó” arra utal, hogy néhány napon át a globálisugárzásmérő horizontot határoló lemeze megtartotta a havat, így a műszer látótere beszűkült, a PAR műszernél ilyen lemez nincs, róla a hó lecsúszhatott.)

Mindkét ábra, valamint az 1. Táblázat érzékelteti a szoros kapcsolatot a két mennyiség között, amit számszerűen kifejez a magas korrelációs együttható érték.

Év	PAR-globál korreláció	PARe/Globál arány %
2003	0,995	46
2004	0,996	45
2005	1,000	44
2006	0,976	44
2007	0,997	44
2008	0,998	44
2009	0,998	44
2010	0,997	43

1.táblázat Bugacon mért adatokból a PAR és globál korreláció (félórás értékekből) valamint a PARe/globál arány, éves összegekből

Arra is gondolhatnánk, hogy ilyen szoros kapcsolat esetén felesleges két külön műszert üzemeltetni, az értékek elég pontosan egymásba átszámíthatók. Utalunk azonban arra, hogy biztonsági okokból egymáshoz nagyon hasonló vagy azonos érzékelőkből hármat alkalmazva megelőzhetjük vagy korrigálhatjuk adatsoraink hibáit, hiszen annak a valószínűsége, hogy három műszer egyszerre hibásodjon meg vagy egyformán öregedjen, az nagyon kicsi. Ha csak egy globál és egy PAR műszert üzemeltetünk, a biztonság nem éri el a műszerhármasét, de még ekkor is jóval nagyobb, mintha csak egyetlen napsugárzás mérővel dolgoznánk.

Tudjuk, hogy a PAR műszerek a globálisugárzás spektrumának csak egy részére érzékenyek. Mi a magyarázata annak, hogy egy teljes év során (amelyben van alacsony és magas napállás, derült és borult idő stb) az adatpárok pontsora ennyire egy egyenes közelében helyezkedik el? Legtermészetesebb magyarázat az, hogy a felszínre leérkező napsugárzásban a különböző hullámhosszakon leérkező energia arányát leíró függvény nem változik. A spektrométerek megadják a hullámhossz szerinti energia-eloszlást. Az Országos Meteorológiai Szolgálat úrkutatói támogatásból 1990-ben egy LI-COR 1800 spektrométerhez jutott. Ez a műszer 300 nm-től 1100 nm-ig 1 nm felbontással méri a sugárzási energia hullámhossz szerinti eloszlását. A 8. ábrán egy derült és

egy borult időben rögzített spektrumot láthatunk. Az arányokat jobban mutatja a 9. ábra, amelyen az előző két görbe maximumát egységnyinek vettük. Ebben az esetben a két görbe nagyon közel áll egymáshoz, noha az is kitűnik, hogy borult esetben a rövidebb hullámhosszak viszonylag több energiát szállítanak.

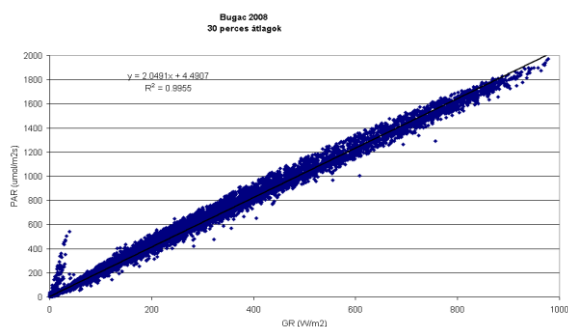
Egy-egy spektrométeres görbe mintegy 1 percnyi időszakot rögzít a széles határok között változó sugárzási viszonyokból. Átfogó képhez hosszabb időtartamon át folyamatosan végzett mérésekre van szükség. A globálisugárzás spektrumának megismerése céljából az 1960-as és 70-es években a Föld több helyén végeztek méréseket Schott üvegszűrő búrával ellátott piranométerekkel. Budapesten is került sor ilyen adatgyűjtésre az 1976-os évben. A meteorológiában az elvágó típusú üvegszűrők használata terjedt el, amely szűrők a napspektrumnak a névleges hullámhosszuknál rövidebb tartományra eső részét teljesen elnyelik, a hosszabb hullámokat pedig átengedik (lásd 10. ábra), tehát a spektrumot két részre vágják. Az ábra a 2010. szeptember 21-én Budapesten végzett mérésekből készült, amelyeket a LI-COR 1800 spektrométerrel végeztünk Varga-Fogarasi Szilvia segítségével, több szűrőbúra átbecsátásának ellenőrzésére, az ábra egy példa közülük. Az átbecsátást elvben úgy kellene mérni, hogy mérjük a búrára érkező napsugárzás spektrumát és ugyanakkor a búra által átbecsátott sugárzás spektrumát. Mivel csak egy spektrométerünk van, ezért a az átbecsátott spektrum mérése előtt is és utána is mérünk egy beérkező spektrumot, a kettőből számolt átbecsátási függvények (mindkettő látszik a mintaábrán) átlagolandók.

A mérési gyakorlatban a globálisugárzás spektrumát néhány darab különböző színes üvegbúrával ellátott piranométerrel mérték, nagyon sok műszer párhuzamos járatása igen nehézkes lett volna. Így a spektrumot néhány tartományra osztva lehetett meghatározni, szemben a spektrométer 1 nm-es felbontásával, viszont az üvegbúrás mérés több éven át folyamatosan szolgáltatott adatokat. A Washingtonban működő Smithsonian Intézet munkatársai (Goldberg és Klein) közel egy évtizeden át gyűjtöttek adatokat a hazai állomás mellett a trópusi és az északi-sarki övezetből is. Az ő általuk publikált adatokból és a budapesti mérésekből megállapíthattuk (Major, 1983), hogy a globálisugárzás spektrumának havi és évi értékei térben és időben nagyon kis mértékben változnak, lényegében a globálisugárzás spektruma állandónak tekinthető, tehát az élővilág élettani folyamataiban lejátszódó változások nem magyarázhatók a napsugárzás spektrális összetételének változásával, ugyanakkor igazolódik annak magyarázata, hogy a PAR és a globálisugárzás kapcsolata igen szoros.

## A PARE és a globálsugárzás kapcsolata

Az előző rész alapján következik, hogy a felszínen mérhető napsugárzás energiájában a fotoszintetikusan aktív spektrumtartományra jutó rész aránya havi és évi összegek tekintetében állandónak tekinthető a Földön térben is és időben is. Újabb publikációk is ezt támasztják alá (Tsubo and Walker, 2005). Mekkora ez az arány?

A Felméry tanár úr által használt képletből kiszámíthatjuk a hazai részarányt, ha figyelembe vesszük, hogy éves értékben Magyarországon a globálsugárzásnak a fele direkt, a másik fele diffúz sugárzás formájában érkezik felszínre (Major, Farkasné, ..., 1985). Eszerint:



7. ábra. PAR – global kapcsolat félórás értékekből. A bal alsó sarokban látszik, hogy a hó megmaradt néhány napig a globálsugárzást mérő műszeren.

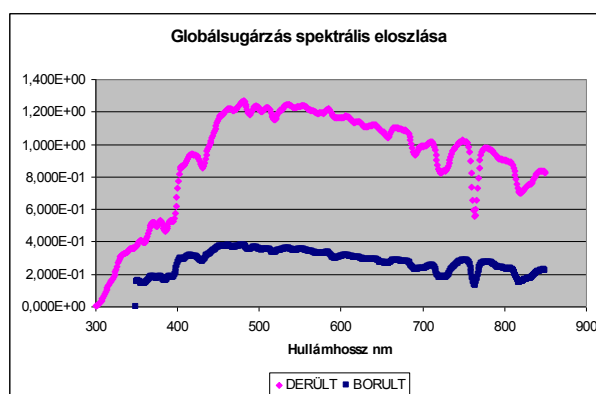
$$PARE/G = 0,42 \times 0,5 + 0,6 \times 0,5 = 0,51$$

azaz 51 %, ez szélesebb spektrumsávra (380 –710 nm) vonatkozik.

László Istvánék cikkük egy ábráján bemutatták a „konverziós faktort”, amellyel a globálsugárzásból a PARE érték kiszámítható, pontosabban ennek a faktornak a légszlop különböző tulajdonságaitól való függését. Az előzőekben idézettektől eltérően ők elég széleskörű változékonyságot találtak (42 – 66 %), igaz, hogy az 50 %-nál nagyobb értékek kizárólag borult esetekre vonatkoznak. Ez a széles, modellszámításokból származó, változékonysági tartomány túlzottnak tűnik a mérési eredményekhez viszonyítva (pl. Tsubo and Walker, 2005, akik szerint 42 és 50 % közötti havi és évi értékek a relevánsak a Föld 17 különböző pontjáról publikált mérések alapján. Saját méréseik egyes órákra a nagyon borult időkben 60 %-ot is adnak, miközben a jellemző éves átlagot 48 %-ban határozzák meg a Dél-Afrikai Köztársaságra).

A Bugacon végzett mérésekből a 8 teljes évet jellemzi az 1. Táblázat. Minden mérésorban vannak hiányok, ráadásul a hiányok nem egyszerre jelentkeznek a három összevetendő műszer adataiban. A táblázat a hiányok kiszűrése után maradt adatsorokból készült, az értékek jellemzők az évre, a hiányok nem voltak hosszúak, de a táblázat értékeit torzították volna.

Mivel a PAR és PARE műszerek abszolút hiteles standardokra való visszavezetése előttünk nem ismert, ezért a táblázat adatsorainak stabilitása ellenére üvegbúrás mérésekkel is meghatároztuk a Gspektr/G arányt. Erre 2010. szeptember 22-én 10 és 12 óra között került sor, derült időben, 63 és 67 % közötti relatív globálsugárzás (a technikai irodalomban angolul: clearness index) estén, 500, 539, 614, 645 és 700 nm névleges elvágó hullámhosszú Schott szűrőbúrát használva, Kipp&Zonen piranométerekkel. Az egyik piranométer minden leolvasáskor a globálsugárzást adta (háttér adat, amely lehetővé tette, hogy figyelembe vegyük a sugárzás erősségének változását), a másikat arra használtuk, hogy sorban a nagyobb

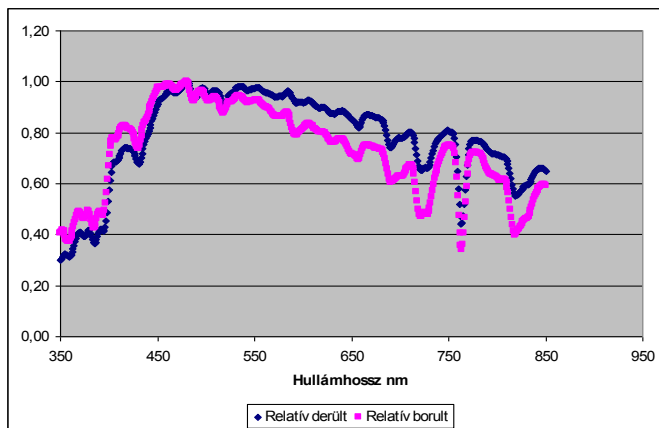


8. ábra. LI-COR 1800 spektrométerrel mért napsugárzás spektrum derült és borult esetben

bik üvegbúra nélküli, majd pedig az egyes színes búrákkal mért jelet rögzítsük, legalább hatszoros ismétlésben. A jeleket mérő piranométer nulla pontjának helyzetét (emelkedését és süllyedését) is ellenőriztük levegőhőmérsékleten tartott fém-edénnyel takarva el a napsugárzást. Az előző napon, derült időben (65 és 68 % közötti relatív globál) a színes üvegbúrák átérésztését megmérve a LI-COR spektrométerrel (0,906 és 0,915 közötti értékek adódtak, 0,912-t alkalmaztunk a számításoknál). A szűrőbúrák átbecsátását ismerve a piranométer hitelesítése nélkül megkaphatók a Gspektr/G arányok, ahol Gspektr az egyes hullámhosszakhoz tartozó, elvágott spektrumú globálsugárzás. Ezek az arányok a hullámhosszak iménti sorrendjében: 0,790, 0,753, 0,633, 0,594 és 0,524 az ismétlések átlagaiként. A szűrő átbecsátások friss mérése (az üveg öregszik, a gyári érték nem mindig megbízható) és a nullapont eltolódások figyelembevétele miatt úgy véljük, hogy az általunk kapott arányok pontosabbak, mint amelyek általában a szakirodalomban megjelennek. Mivel 400 nm-es szűrőbúránk nem volt, ezért a többi hullámhosszhoz tartozó arányt a hullámhossz függvényében ábrázolva extrapoláltunk 400 nm-re, így kaptuk azt, hogy a PARE/G arány 41,5 %. Felhasználva számos LI-COR -ral mért spektrumból a fotoszintetikusan aktív tartomány felbontását a szűrőbúráink névleges hullámhosszai szerinti részekre, a következő PARE/G

arányokat kaptuk: 38,9 %, 43,5 %, 40,9 % és 42,9 %, ezek átlaga 41,8 %.

Tehát azt mondhatjuk, hogy (nem nagyon) derült időben nálunk 42 % a PARE/G arány. Ez jó összhangban van az évi átlagos Bugacon mért 44 % aránnyal. Ezek az értékek a viszonylag friss irodalmi adatok tartományának alsó részébe esnek, de a fentebb elmondott okok miatt a sajátjainkat tekintjük pontosnak. Célszerű lenne kimérni az arány bozultságtól való függését, mert úgy véljük, hogy a László István féle függés is, a Tsubo-Walker féle, óra és napi érté-



9. ábra. Normált derült és borult spektrum, a maximum mindkét esetben egységnyi, a 481 illetve 480 nm hullámhosszhoz tartozik

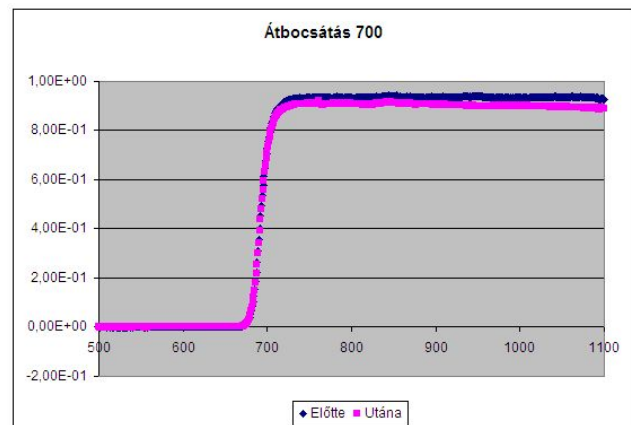
kekre adott függés is túlzott. A terepi mérések ezen függés meghatározására nem bizonyultak alkalmasnak, obszervatóriumi jellegű, szűrőbúrák mérések lennének a célnak megfelelő megbízhatóságúak.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti Haszpra Lászlót és Horváth Lászlót a terepi mérések adatainak átengedéséért, valamint Varga-Fogarasi Szilviát és Nagy Zoltánt a szűrőbúrák mérésekhez nyújtott segítségükért.

### Irodalom

- BSRN, 2005: Report on the eighth session of the Baseline Surface Radiation Network (BSRN) workshop and scientific review (Exeter, UK, 20-26 July, 2004) WCRP Informal Report No. 4/2005 ([www.gewex.org/bsrn.html](http://www.gewex.org/bsrn.html))
- Felméry L. 1974: A fotoszintézisben aktív sugárzás mennyisége a tenyészidőszakban. IDŐJÁRÁS, 78, 235-239.
- Hunkár M. 1984a: Egyszerű számítási módszer a fotoszintetikusan aktív sugárzás átlagos vertikális profiljának meghatározására kukorica állományban. IDŐJÁRÁS, 88, 139-144.
- Hunkár M. 1984b: A napsugárzás és a növényállományok viszo-



10. ábra. A 700 nm névleges hullámhosszúságú szűrőbúra LI-COR spektrométerrel mért átbocsátása, egyszer az előtte mért teljes spektrum, majd az utána mért teljes spektrum

- nya, különös tekintettel a fotoszintetikusan aktív sugárzás kukorica állományba történő behatolására és hasznosulására. Egyetemi doktori disszertáció, ELTE Meteorológia Tanszék LI-COR, 2009: Comparison of quantum sensors of different spectral sensitivities. Technical Note #126 ([www.licor.com](http://www.licor.com))
- Major G. 1983: On the spectral composition of global radiation. SOLAR ENERGY, 31, 73-78
- Major Gy, Farkasné Takács O., Nagy Z. és Rimócziné Paál A. 1985: A napenergia hasznosítás meteorológiai megalapozása Magyarországon. Építéstudományi Intézet, Budapest.
- Pinker R.T. és Laszlo I. 1992: Global distribution of photosynthetically active radiation as observed from satellites. JOURNAL OF CLIMATE, 5, 56-66.
- Tsubo, M. és Walker, S. 2005: Relationship between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa. THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY, 80, 17-25.