

A METEOROLÓGIAI MÉRÉSEK SZEREPE AZ ÉPÜLETGÉPÉSZETBEN

IMPORTANCE OF METEOROLOGICAL MEASUREMENTS IN BUILDING ENGINEERING

Horváth Miklós, Csoknyai Tamás, Szánthó Zoltán

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, 1111 Budapest, Bertalan Lajos u 4-6. D épület 1. emelet, horvath@epgep.bme.hu, csoknyait@mail.bme.hu, szantho@egt.bme.hu

Összefoglalás. A cikkben déli tájolású 45°-os dőlésszögű felületen mért globálsugárzás adatokat vetünk össze napfénytartam adatokkal. A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a 45°-os felületen mért globálsugárzás adatok és a mért napfénytartamok közel lineáris korrelációt mutatnak. Ez az eredmény kezdeti lépése egy hosszabb kutatásnak, melynek alapvető célja a tájolással és dőlésszöggel rendelkező felületekre érkező sugárzás becslése. Jellemzően sugárzást csupán vízszintes felületen mérnek, azonban a gyakorlatban legtöbbször tájolással és dőlésszöggel rendelkező felületekre érkező sugárzási adatra van szükség. A további vizsgálatok célja tehát a különböző felületekre érkező sugárzás meghatározása, melynek alapvető feltétele a globálsugárzás felbontása direkt, diffúz és visszavert sugárzásra. A sugárzáskomponensek ismeretében lehetőség lenne napelemek, napkollektorok várható termelésének meghatározására, automatizált árnyékoló szerkezetek mozgatójának meghatározására.

Abstract. In this paper a method is introduced in order to determine and evaluate a correlation between the measured sunshine duration and the measured incoming solar radiation on a south-facing surface with a tilt angle of 45°. It was proven that there is a closely linear correlation between the measured values. This result is the first step in a longer term research, thus in the practice it can be used only in special cases as the solar radiation data on a tilted and oriented surface is rarely available. Usually the solar radiation on a horizontal plane is registered, thus the relationship between the horizontal and the tilted and oriented plane is required to be examined. A follow-up research shall be carried out in order to determine the ratio of the global radiation components (direct, diffuse and reflected) for any tilt angle and orientation, because these components are important operating parameters for solar collectors, photovoltaic cells, moveable shadings and passive solar systems.

A napsugárzásból származó energiahozam jelentősége az épületgépészetben. „Új épületek esetén szükséges a szoláris energiahozam becslése, azonban ennek meghatározására jelenleg csak közelítő számítások állnak rendelkezésre. Hazánkban a beérkező szoláris energia mennyiségének meghatározása az MSZ 04-140-es szabványcsalád alapján történik. Sajnálatos módon ezek a szabványok már közel 35 évesek, és a számítás során több, ma már nem feltétlenül megengedhető elnagyolást tesznek. A szabványok egyik legnagyobb hibája, hogy a szoláris energiahozamot csak statikus módon lehet meghatározni. Mindössze 8 féle tájolóásra és 2 féle dőlésszögre lehet méretezési adatokat találni bennük, így nem felelnek meg a mai kor követelményeinek, ugyanis ez a statikus tervezési módszer nem elégséges a kis energiaszükségletű, akár közel nulla energiaigényű épületek tervezésénél, ahol a tervezés során sokszor figyelembe veendő az instacioner folyamatok. Ezekben ugyanis megnő a nyereségáramok jelentősége a hőburok hőellenállásának növekedésével. Mindenképpen dinamikus, részletesebb számítási módszerre van szükség.” (Horváth, 2014)

Épületgépészeti szempontból fontos tehát a Nappól származó energiahozam minél pontosabb előrejelzése. Épületek esetében lehet beszélni passzív és aktív napenergia hasznosításról. A passzív napenergia-hasznosítással az épületek fűtési energiaigényét lehet csökkenteni, illetve előrelátó tervezés esetén a nyári sugárzási nyereség minimalizálására is lehetőség van. Mindkét esetben fontos a megfelelő pontosságú, előretékintő tervezés, amely megfelelő méretezési értékek nélkül lehetetlen, tehát szükséges a jelenlegi méretezési eljárás módosítása, pontosítása. Aktív napenergia hasznosításról beszélhetünk napelemek és napkollektorok esetén. E berendezések tervezésénél alapvető szerepet kap a várható termelt hő- és villamos energia becslése, amelyhez elengedhetetlen a várható napenergia-hozam becslése. Az

aktív napenergia-hasznosító berendezéseknél nemcsak a tervezésnél, hanem üzem közben is fontos az aktuálisan beérkező energia mennyiségének meghatározása.

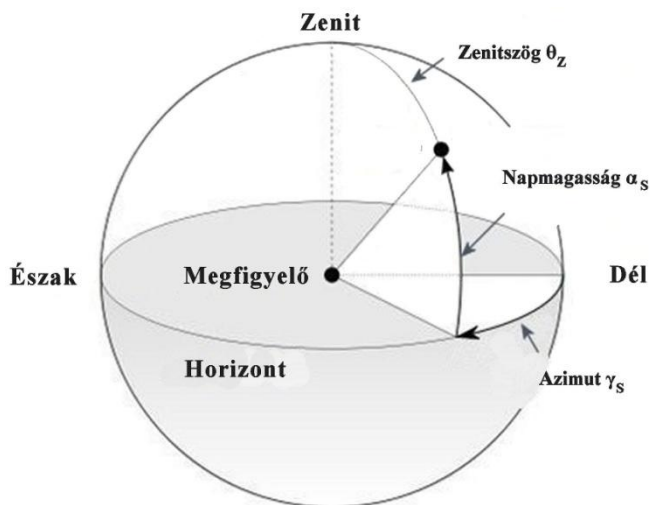
Mind a passzív, mind az aktív napenergia-hasznosítás esetén belátható, hogy a napenergia-hozam meghatározása mind az épület, vagy berendezés tervezésénél, mind pedig üzemelésénél fontos. Általánosan elmondható azonban, hogy a tervezéshez nem állnak rendelkezésre megfelelő adatok, így nincsen általánosan elfogadott méretezési eljárás sem. A cikkben egy olyan, a napenergia-hozam becslésére alkalmas módszer kerül bemutatásra és elemzésre, amely két általánosan mért mennyiségen alapul. A két szükséges érték a vízszintes felületre érkező globálsugárzás intenzitása és a napi napfénytartam. E két mennyiség ismeretében már becsülhető a vízszintes felületre érkező sugárzás várható értéke. A módszer alkalmazásához e mért mennyiségeken kívül azonban szükséges még a vízszintes felületre érkező csillagászatilag lehetséges globálsugárzás meghatározása is; ez azonban a nap-pálya geometriájából és a Nap sugárzási karakterisztikájából tisztán elméleti úton meghatározható. A cikkben a vízszintes felületre vonatkozó, illetve ennek némi módosításával 45°-os dőlésszögű, déli tájolású felületre vonatkozó módszert mutatjuk be.

Vízszintes felületre érkező sugárzás és napfénytartam korrelációja – szakirodalmi áttekintés. A vízszintes felületre érkező sugárzás meghatározására napjainkig számos publikáció született. Az egyik legelterjedtebb módszer az úgynevezett K_T módszer, melyben az atmoszféra csökkentő hatásának figyelembevételére az úgynevezett égbolt tisztasági tényező szolgál. E faktor értelmezését az *I. egyenlet* írja le (Liu and Jordan, 1960):

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad (1)$$

ahol K_T a globálsugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező [kWh/kWh], H adott vízszintes felületre beérke-

zó globálsugárzás havi átlaga egy napra vonatkoztatva [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{nap})$], H_0 a csillagászatilag lehetséges, vízszintes felületre beérkező globálsugárzás havi átlaga egy napra vonatkoztatva [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{nap})$].



1. ábra: A napmagasság és azimut értelmezése (Wikipédia, 2014)

A globálsugárzásra vonatkozó égbolt tisztasági tényező meghatározható a mért napos órák száma alapján az úgynevezett Ångström konstansok segítségével. Ennek a módszernek a lényege, hogy egy adott területen mérik a vízszintes felületre érkező globálsugárzás értékét és a napos órák számát, majd a mért adatok alapján a 2. egyenlet segítségével az Ångström konstansok értéke meghatározható (Salimal and Chavula, 2012). Az egyenlet a $\frac{\bar{H}}{H_0}$ fajlagos energiahozam és a $\frac{\sigma}{N}$ fajlagos naphossz között teremt kapcsolatot:

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \cdot \frac{\sigma}{N} \quad (2)$$

ahol \bar{H} a vízszintes felületre beérkező globálsugárzás havi átlaga egy napra vonatkoztatva [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{nap})$], H_0 a csillagászatilag lehetséges, vízszintes felületre beérkező globálsugárzás havi átlaga egy napra vonatkoztatva [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{nap})$], σ a napos órák [óra/nap], N a napkeltétől napnyugtáig tartó időtartam hossza [óra/nap], a, b az Ångström konstansok.

Az egyenlet alkalmazásához azonban szükséges a csillagászatilag lehetséges globálsugárzás intenzitásának meghatározása, illetve a napok hosszának a számítása is. A számított és mért értékek alapján diagramot lehet készíteni, azon az egyes pontokat fel kell venni. A felvett pontokra egyenest kell illeszteni, így a konstansok az illesztett egyenes egyenletéből egyszerűen kiolvashatók. A csillagászatilag lehetséges globálsugárzás a következőképpen került meghatározásra. Első lépésként a Nap pályáját szükséges leírni, melyet a deklinációval, a napmagassággal és az azimut értékkel lehet jellemezni. Ezen értékeket a 3–5. egyenletek írják le. A nappal hossza a 6. egyenlet alapján számítható (Cooper, 1969; Duffie and Beckman, 2013). A napmagasság és azimut értelmezését az 1. ábra szemlélteti. A napmagasság tehát a horizont

síkja és a Nap égbolton elfoglalt helye közötti szögkülönbség, az azimut pedig a déli irány és a Nap helyzete közötti szögkülönbség.

A napmagasság és azimut értékek számításához szükséges a deklináció meghatározása. A deklináció éves periódussal ismétlődik, a Föld Nap körüli pályája és az egyenlítő által meghatározott síkok eltéréseiből adódik, a 3. egyenlet (Cooper, 1969) alapján számítható:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{284+n}{360} \cdot 2\pi\right) \quad (3)$$

ahol δ a nap deklinációja [$^\circ$], n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1], A napmagasság értéke a 4. egyenletből határozható meg (Duffie and Beckman, 2013.).

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi \quad (4)$$

ahol α_s a napmagasság [$^\circ$], δ a nap deklinációja [$^\circ$], ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$], ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [$^\circ$].

Az azimut értéke az 5. egyenletből számítható, az 5.a–5.e egyenletek segítségével (Duffie and Beckman, 2013).

$$\gamma_s = C_1 \cdot C_2 \cdot \gamma'_s + C_3 \cdot \left(\frac{1-C_1 \cdot C_2}{2}\right) \cdot 180 \quad (5)$$

$$\sin \gamma'_s = \frac{\sin \omega \cdot \cos \delta}{\cos \alpha_s} \quad (5.a)$$

$$C_1 = \begin{cases} 1, & \text{ha } |\omega| < \omega_{ew} \\ -1, & \text{ha } |\omega| > \omega_{ew} \end{cases} \quad (5.b)$$

$$\cos \omega_{ew} = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (5.c)$$

$$C_2 = \begin{cases} 1, & \text{ha } \phi \cdot (\phi - \delta) \geq 0 \\ -1, & \text{ha } \phi \cdot (\phi - \delta) < 0 \end{cases} \quad (5.d)$$

$$C_3 = \begin{cases} 1, & \text{ha } \omega \geq 0 \\ -1, & \text{ha } \omega < 0 \end{cases} \quad (5.e)$$

ahol γ_s az azimut [$^\circ$], δ a nap deklinációja [$^\circ$], α_s a napmagasság [$^\circ$], ω a nap óraszöge, 1 óra = 15° [$^\circ$], ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$].

A nappal hossza a 6. egyenlet alapján számítható (Duffie and Beckman, 2013):

$$N = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1}(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (6)$$

ahol N a nappal hossza [óra/nap], ϕ a földrajzi hely szélességi foka [$^\circ$] és δ a nap deklinációja [$^\circ$]

A csillagászatilag lehetséges, vízszintes felületre érkező globálsugárzás a 7. egyenlet alapján számítható (Duffie and Beckman, 2013):

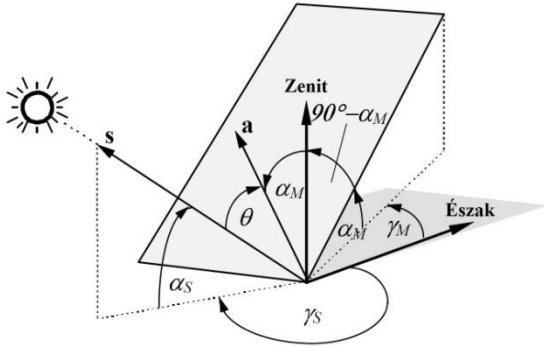
$$G_0 = G_{sc} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{n}{365} \cdot 360\right)\right] \cdot \cos \theta_z \quad (7)$$

ahol G_0 a csillagászatilag lehetséges, vízszintes felületre beérkező globálsugárzás intenzitása [kWm^{-2}], G_{sc} a szoláris konstans, értéke $1,367$ [kWm^{-2}], n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1], θ_z a zenitszög, értéke: $90^\circ - \alpha_s$ [$^\circ$].

Amennyiben az Ångström konstansok ismertek, az eddigiek alapján a vízszintes felületre érkező globálsugárzás meghatározható. A napos órák száma (napfénytartam) könnyen mérhető vagy hozzáférhető, a csillagászatilag

lehetséges globálisugárzás a földrajzi szélesség, a dátum és az idő alapján számolható. Ezekből a 2. egyenlet segítségével számítható a vízszintes felületre érkező globálisugárzás, melynek mérése igen költséges lenne.

Déli tájolású, 45°-os dőlésszögű felületre érkező sugárzás és napfénytartam adatok vizsgálata. A vizsgálatok elvégzése során az OMSZ által regisztrált napfénytartam adatokat használtuk. A 45°-os dőlésszögű, déli tájolású felületre érkező globálisugárzás mérési adatait a Naplopó Kft. biztosította (Naplopó, 2013).



2. ábra: Tetszőleges tájolású és dőlésszögű felület szögeinek értelmezése (Quasching and Hanitsch, 1995)

Az elvégzett elemzés során nem vízszintes felület sugárzás adatait dolgoztuk fel, így a 7. egyenlet módosítására volt szükség. Az egyenletben a θ_z zenitszög helyett a sík normálvektora és a napba mutató vektor közötti θ_z szöggeltérésre van szükség. Ez a szög a 8. egyenlet alapján számítható, az egyes szögek megértését a 2. ábra segíti. A számított szög figyelembevételével a csillagászatilag lehetséges globálisugárzás a 9. egyenlet alapján számítható (Duffie and Beckman, 2013).

$$\theta = \cos^{-1}(A - B + C + D + E) \quad (8)$$

ahol θ a vizsgált sík normálvektora és a Nap irányába mutató vektor közötti szögműködés [°]. A képlet tagjai,

$$A = \sin\delta \cdot \sin\Phi \cdot \cos\alpha_M$$

$$B = \sin\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\alpha_M \cdot \cos\gamma_M$$

$$C = \cos\delta \cdot \cos\Phi \cdot \cos\alpha_M \cdot \cos\omega$$

$$D = \cos\delta \cdot \sin\Phi \cdot \sin\alpha_M \cdot \cos\gamma_M \cdot \cos\omega$$

$$E = \cos\delta \cdot \sin\alpha_M \cdot \sin\gamma_M \cdot \sin\omega$$

ahol δ a nap deklinációja [°], Φ a földrajzi hely hosszúsági foka [°], ω nap óraszöge, 1 óra = 15° [°], α_M a felület dőlésszöge [°].

γ_M a felület tájolása (a modellben a déli tájoláshoz van viszonyítva) [°],

$$G'_0 = G_{SC} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{n}{365} \cdot 360\right) \right] \cdot \cos\theta \quad (9)$$

ahol G'_0 a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugárzás intenzitása [kW/m²], G_{SC} a szoláris konstans, értéke 1,367 [kWm⁻²], n a vizsgált nap sorszáma, január 1. = 1 [1], θ a vizsgált sík normálvektora és a Nap irányába mutató vektor közötti szögműködés [°].

Az egyes sugárzási értékeket 15 perces bontásban meghatároztuk meg. A H_i mért és a H_{0i} számított sugárzásintenzitás értékeket az egyes napokra összegezve megkaphatók a napi sugárzási energiahozamok. Az összegzés a 10. egyenlet alapján történt, ahol az i index az egyes napokra, a j index pedig az egyes napokon belüli 15 perces időintervallumokra vonatkozik. A napi átlagértékből 11. egyenlet szerint számítható az egyes hónapokra vonatkozó átlagos napi energiahozam értéke. Az egyenletben az i index a hónap egyes napjaira vonatkozik, míg a h index a hónap számát jelöli. Az egyenletek alapján minden hónapra meghatározható egy jellemző napi átlagos energiahozam, amellyel az adott hónap jellemezhető. Az adatok elemzését a 10. és 11. egyenletek szerint számított értékekkel végeztük el.

$$H'_{0i} = \frac{15}{60} \cdot \sum G'_{0j} \quad (10)$$

ahol H'_{0i} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugárzás napi mennyisége a vizsgált „i”-ik napon [kWh/(m²nap)], G'_{0i} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugárzás intenzitása az adott nap „j”-ik időpontjában [kW/m²]

$$\bar{H}'_{0h} = \frac{\sum H'_{0i}}{D} \quad (11)$$

ahol \bar{H}'_{0h} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugárzás „h”-ik hónapra vonatkoztatott átlagos napi mennyisége [kWh/(m²nap)], H'_{0i} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugárzás napi mennyisége a vizsgált „i”-ik napon [kWh/(m²nap)], D a hónapban lévő napok száma [1].

Az adatszolgáltatás keretében kapott napfénytartam adatokat az OMSZ a mérések 19. század végi megkezdése óta ugyanazzal a technikával regisztrálta¹:

„A megfigyelő hálózatában már a kezdetektől a Campbell–Stokes rendszerű napfénytartam mérő használatos, mely a napsugárzás hőhatását használja ki. A műszer lényegében egy fémállványra szerelt, 96 mm átmérőjű üveggömb, amely a napsugarakat gyűjtőlencseként egy ún. napszalagra irányítja. Az óráskálával rendelkező napszalagot az üveggömb gyűjtőtávolságában elhelyezkedő gömbhéj alakú mélyedésben kell elhelyezni. Ahová az összegyűjtött napsugarak esnek, a papír megpörkölődik vagy kiég. A Nap, amint az égbolton látszólagos mozgása közben tovább halad, pályájának ívét, a sugárzás erőssége szerint erősebben, vagy gyengébben a szalagra égeti. A nappálya évszakonként változó magasságú ívének megfelelően 3 féle napszalag használatos: nyári, téli és tavaszi-őszi. A szalagot minden este cserélni kell. A napi napfénytartamot a napszalagokon lévő égetési nyomok összegzése útján nyerjük tized óra pontossággal.” (OMSZ, 2014). A 3. ábra egy, a napfénytartam mérésére alkalmazott Campbell–Stokes rendszerű napfénytartam

¹Az Országos Meteorológiai Szolgálat 2013-ban kivonta a rendszerből az üveggömbös napfénytartam-mérőket. Néhány helyen azonban még folyik regisztrálás. Lásd: Tóth, R., 2014: A napfénytartam-mérő élt 160 évet. *Légkör* 59, 178–180.

tam-mérőt mutat be. Fontos megjegyezni azonban, hogy a Campbell–Stokes napfénytartam mérőnek négy fő hibája van, amelyek növelik az ezzel az eszközzel mért és rögzített adatok hibáját:

- a regisztráló papír túlégetése: erősen változékonnyá teszi az idő esetén a gyors változásokat nem képes követni, így felülbecsli a valódi napfénytartamot ebben az időszakban.
- a mérőműszer alsó mérési határa előírás szerint 120 Wm^{-2} sugárzásintenzitás, ami a regisztráló papírok különbözősége miatt nem minden esetben teljesül, így alul-, illetve felülmérés lehetséges.
- az adatok rögzítése manuálisan történik, mely magá-



3. ábra: Campbell–Stokes rendszerű napfénytartam mérő (OMSZ, 2014)

ban hordozza a hibás rögzítés lehetőségét.

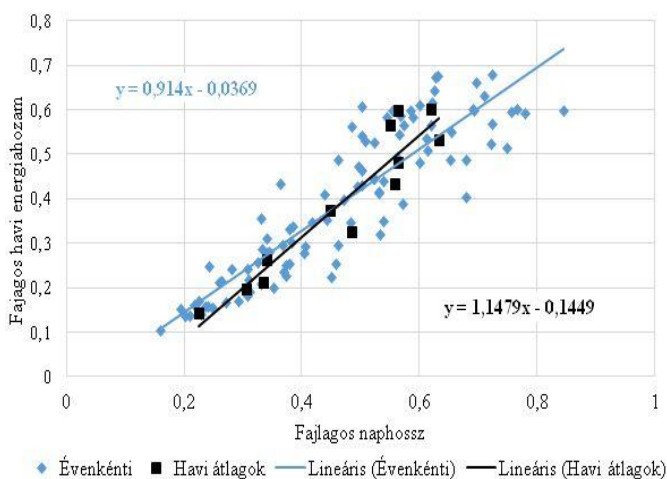
- az üveggömb teljesítménye az időjárás sajátosságainak függvényében romolhat (pl.: pára, dér), amely megfelelő felügyelet nélkül a napos órák számának alulméréséhez vezet.

A globálsugárzást a Naplopó Kft. egy déli tájolású, 45° -ban döntött felületen méri egy Kipp&Zonen gyártmányú, CM-5 típusú szellőztetett piranométerrel, amely 2%-os pontossággal méri a beérkező globálsugárzást. A mérőállomás földrajzi pozíciója: É: $47,55727^\circ$, K: $19,05033^\circ$, H: 12 m. A mérési adatok a 2004. január 10-e és 2012. április 5-e közötti időszakra álltak rendelkezésre.

A 9.–10. egyenletek alapján számított és a Naplopó Kft. által mért sugárzási értékeket a 2. egyenlet szerinti fajlagosítással a 4. ábra mutatja be. Az ábrán két különböző értelmezés szerint ábrázoltuk az egyes hónapokra vonatkozó fajlagos energiahozam napi értékeit a fajlagos naphosszhoz viszonyítva. Az „Évenkénti” adatsor esetén a mérési időtartamban az egyes hónapokra külön-külön meghatároztuk az értékeket, míg a „Havi átlagok” esetében minden hónapra vonatkozó érték az összes év adott hónapjára vonatkozó értékek átlagolásával került meghatározásra.

A fenti ábrán mutatott adatsoroknál megfigyelhető, hogy a hosszabb időtartamra történő átlagolás esetén a pontok

közelebb kerültek egymáshoz. Az évenkénti adatsor esetén az adatsor korrelációja $89,8\%$ -ra adódott, míg a több adatra történő átlagolás esetén a korreláció értéke már $94,3\%$. A kapott korrelációs értékek alapján megállapítható, hogy a napos órák száma és a mért sugárzás között közel lineáris kapcsolat van, így ez a módszer alkalmazható lehet különböző helyszíneken mért sugárzásértékek és napfénytartamok alapján az energiagyűjtő felületek várható energiahozamának becslésére. A 45° -os tájolású felületekre kapott Ångström konstansok értékei a 2. egyenlet alapján (a, b) az évenkénti adatsor esetén $0,0369$ és $0,914$, míg a havi átlagolt adatok esetén $0,1449$ és $1,1479$. A módszer már alkalmazásra került egy 2014-



4. ábra: Fajlagos havi energiahozam (H/H_0) a fajlagos naphossz (σ/N) függvényében, napi értékekben

es diplomamunkában is (Horváth, 2014).

Összefoglalás. A cikkben bemutatásra került egy módszer, amelynek segítségével a mért napfénytartam ismeretében becsülhető a déli tájolású, 45° -os dőlésszögű felületek energiahozama. Ehhez hazai mérési adatsorok statisztikai elemzésével meghatároztuk a Magyarországon alkalmazható Ångström konstansok értékét. Megállapítottuk, hogy a napos órák száma és a várható energiahozam között a vizsgált dőlésszögű és tájolású felület esetén – ahogy vízszintes felületnél is –, közel lineáris kapcsolat van. A gyakorlatban csak vízszintes felületen mérik a globálsugárzást, így szükséges lenne olyan további vizsgálat elvégzése is, amelynek célja, hogy vízszintes felületen mért sugárzás és a napfénytartam adatok ismeretében a 45° -os vagy más dőlésszögű, déli, vagy egyéb tájolású felületre érkező sugárzás is becsülhető legyen.

Épületgépészeti és építészeti szempontból is fontos további kutatási terület a tetszőleges tájolású és dőlésszögű felületre érkező sugárzás meghatározása a vízszintes felületen mért sugárzás és napfénytartam adatok felhasználásával. Az előzőleg felvetett összefüggés keresésén túl szükséges lenne továbbá egy a tetszőleges felületre érkező sugárzás meghatározására alkalmas algoritmus kidolgozása is, amely képes az egyes sugárzási komponensek (direkt, diffúz és visszavert sugárzás) meghatározására, becslésére. A sugárzási komponensek ismerete

fontos bemenő paraméter a napelemek és napkollektorok, illetve mozgatható árnyékolók működése során.

Köszönetnyilvánítás. A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

Cooper, P. I., 1969: The absorption of radiation in solar stills. *Solar Energy* 12, 333–346.

Csoknyai, T. és Horváth, M., 2014: Globális sugárzás és napfénytartam mérési eredmények korreláció-analízise. *Környezettudatos energiatermelés-felhasználás III, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottsága*. Debrecen, ISBN 978-963-7064-31-9.

Duffie, J. A. and Beckman, W.A., 2013: *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 13-978-471-69867-8

Horváth, M., 2014: Üvegfelületeken beérkező sugárzási nyereség számítása. *Diplomamunka – Kézirat*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.

Liu, B.Y.H. and Jordan, R.C., 1960: The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy* 4 (3), 1–19.

Naplopó, 2013: <http://naplopo.hu/tudastar/napsugarzasi-adatok>
OMSZ, 2014: http://www.met.hu/eghajlat/eghajlati_adatsorok/bp/Navig/Index2.htm

Quasching, V. and Hanitsch R., 1995: Shade calculations in photovoltaic systems. Proc. ISES Solar World Conference. Harare, Zimbabwe. 1995. 09.11–15.

Salimal, G. and Chavula, G. M. S., 2012: Determining Angstrom constants for estimating solar radiation in Malawi. *International Journal of Geosciences*, 3, 391–397.

Wikipédia, 2014: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Azimuth-Altitude_schematic.svg



Az Országos Meteorológiai Szolgálat Meteorológiai Muzeális Szakgyűjteményében őrzött Casella és Fuess gyártmányú Campbell–Stokes típusú napfénytartam-mérők