

LÉGKÖR

60. évfolyam

2015. 4. szám



DR. SZAKÁCS GYÖRGYNÉ ÉLETFA KITÜNTETÉSE MS. AMÁLIA SZAKÁCS RECEIVED 'TREE OF LIFE' AWARD

Életfa Emlékplakett Arany fokozata kitüntetést adományozott **dr. Szakács Györgyné Farkas Amáliának**, a Szolgálat nyugalmazott munkatársának, az Országos Meteorológiai Szolgálat éghajlati kutatásaiban, valamint az adatfeldolgozás és tájékoztatás területén 35 éven keresztül végzett szorgalmas, magas színvonalú munkájáért és eredményes vezetői tevékenységéért *Fazekas Sándor* földművelésügyi miniszter 2015. október 23-án.



Farkas Amália 1925. augusztus 5-én született Budapesten. Érettségi után a Pázmány Péter Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karának matematika-fizika szakára vették fel. Végbizonyítványát 1949-ben kapta meg, mennyiségtan-természettan szakos szakvizsgázott tanárjelöltként. Egyetemi évei alatt a matematika és a fizika mellett meteorológiát is tanult. Még tanulmányai közben, 1945. szeptember 10-én kezdte meg – ahogy ő fogalmazott „szolgálatát” – az akkori Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézetnél, a Meteorológiai Szolgálat elődjénél. Kisebítő laborasszisztens, később tudományos segédmunkatárs, majd tudományos munkatárs a Tájékoztató és Adatfeldolgozó Osztályon (melynek később helyettes vezetője lett). Éveken át vezette a „Meteorológiai mezők statisztikai szerkezetének vizsgálata a hálózat

állomásainak racionális elhelyezése céljából” KMI kutatási témacsoportot. E témakörrel kapcsolatban számos tudományos dolgozata jelent meg és előadásokat tartott nemzetközi szimpóziumokon. Munkájának, valamint emberi hozzáállásának elismeréseképpen 1970-ben elnyerte a *Munka Érdemrend Ezüst Fokozatát*. Operatív beosztásával járó teendői mellett rendszeresen tartott referátumokat különféle klimatológiai kutatásairól, melyek az időjárási események, éghajlati hatások széles skáláját ölelték fel. Évtizedeken át tagja volt a *LÉGKÖR Szerkesztőbizottságának*.

Vezetői mindvégig a lehető legnagyobb elismeréssel szóltak róla. „*Lelkiismeretes, alapos, jó vezető; az Intézet vezetésében ideális munkatárs*” – írták minősítésében – „*a csapadékhálózatnak és a csapadék adatok feldolgozásának egyik legjobb ismerője.*” „*Munkaköre ellátásában a precizitás a legjellemzőbb tulajdonsága, ezen kívül a gondosság és előrelátás jellemzi. Munkatársaival való viszonya közvetlensége, élénksége miatt igen jó, az osztály valamennyi tagjával jó, szinte baráti viszonyban van, közöttük nincs soha semmi ellentét. Munkatársait szívesen támogatja tanácsaival, a fiatalokat szívesen tanítja a feladatok elvégzésére. Fejlett szociális érzékkel rendelkezik.*” 1971. január 1-én *Czelnai Rudolf* igazgató kinevezte főosztályvezetővé: megbízta az Adatközpont vezetésével. 1973. május 1-től a Központi Meteorológiai Intézet igazgató-helyettese, 1980. szeptember 30-i nyugdíjba vonulásáig.

A Magyar Meteorológiai Társaság 1979-ben *Steiner Lajos emlékéremmel* tüntette ki, 2015 óta a Társaság *Tiszteleti Tagja*. Ma is aktívan részt vesz a meghirdetett rendezvényeken, tagtársaival tartja a kapcsolatot. Követendő életút van mögötte – az új generációk számára mintául szolgálhat az Ő szorgalma, becsületes munkavégzése és az ahhoz való emberi hozzáállása.

Kitüntetéséhez szívből gratulálunk!

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárási események leírásának közzlése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárási eseményt bemutató fényképet, könyvismertetést is.

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzőkkel nem közöljük. Közlésre szánt anyagokat kizárólag elektronikus formában fogadunk el. Az anyagokat a legkor@met.hu címre kérjük beküldeni Word-fájlban. A beküldött szöveg ne tartalmazzon semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük beküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az ábraalíráásokat. A közlésre szánt táblázatokat akár Word-, akár Excel-fájlban szintén egyenként kérjük megadni. Amennyiben a szerzőnek egyéni elképzelése van a nyomtatásra kerülő közlemény felépítéséről, akkor szívesen fogadunk PDF-fájlt is, de csak PDF-fájllal nem foglalkozunk.

A közlésre szánt szöveg tartalmazza a magyar és angol címet, a szerző nevét, munkahelyét, levelezési és villanypostacímét. Irodalomjegyzéket kérünk csatolni a *Tanulmányok* rovatba szánt szakmai cikkhez. Az irodalomjegyzékben csak a szövegben szereplő hivatkozások legyenek. Az egyéb közlemények, szakmai beszámolók esetében is kérjük lehetőség szerint angol cím és összefoglaló megadását.

Felelős szerkesztő:
Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

Szerkesztőbizottság:
Bartholy Judit
Bihari Zita
Haszpra László
Hunkár Márta
Tóth Róbert főszerkesztő-helyettes

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Radics Kornélia
az OMSZ elnöke

Készült:
HM Zrínyi NKft.
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Dr. Bozsonyi Károly
ügyvezető igazgató

Évi előfizetési díja:
2100.-Ft + 5% ÁFA

2205.- Ft
Megrendelhető az OMSZ
Pénzügyi és Számviteli Osztályán
1525 Budapest Pf. 38.
E-mail: legkor@met.hu

TARTALOM

CÍMLAPON

Jóbai Zsolt: Halo a sípálya fölött	153
Dr. Szakács Györgyné Életfa kitüntetése	154
Szerzőink figyelmébe	154
Elhunyt Szentimrey Béláné	156
Elhunyt Szeibert Tivadarné	156
Weidinger Tamás: Matyasovszky István halálára	156

TANULMÁNYOK

Horváth Miklós, Csoknyai Tamás és Szánthó Zoltán: A meteorológiai mérések szerepe az épületgépészetben	157
Illy Tamás és Szépszó Gabriella: Szélenergia becslések regionális éghajlati modellek eredményei alapján	162
Péliné Németh Csilla, Bartholy Judit, Pongrácz Rita és Radics Kornélia: Széladatok homogenizálása és korrekciója	167
Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: Piranométer szintezési hibájának hatása a mért globálisugárzás értékekre	173
Kádár Péter: Szélenergetikai vizsgálatok az Óbudai Egyetemen	177
Lázár István: Székelyföldi meteorológiai állomások szélirányainak vizsgálata	189

KRÓNIKA

Dunkel Zoltán: Kislexikon	166
Marton Annamária és Hoffmann Lilla: 2015 őszeének időjárása	192
A 60. évfolyam (2015) szerzői	194
Dunkel Zoltán: Történelmi arcképek – Béll Béla	195

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE

Zsolt Jóbai: Halo phenomenon above a ski slope	153
Ms. Amália Szakács Received 'Tree of Life' Award	154
Instructions to authors of LÉGKÖR	154
Ms. Márta Szentimrey passed away	156
Ms. Erzsébet Szeibert passed away	156
Tamás Weidinger: In Memoriam István Matyasovszky	156

STUDIES

Miklós Horváth, Tamás Csoknyai and Zoltán Szánthó: Importance of Meteorological Measurements in Building Engineering	157
Tamás Illy and Gabriella Szépszó: Assessment of Future Wind Conditions over Hungary using Regional Climate Models	162
Csilla Péli-Németh, Judit Bartholy, Rita Pongrácz and Kornélia Radics: Homogenization and Correction of Hungarian Daily Wind Speed Data	167
László Menyhárt, Angéla Anda and Zoltán Nagy: Implications of the Levelling Error of Pyranometer on the Measured Values of Global Radiation	173
Péter Kádár: Wind Energetic Examinations at 'Óbuda' University	177
István Lázár: Investigation on Wind Directions in Székelyföld's Weather Stations	189

CHRONICLE

Zoltán Dunkel: Pocket Encyclopaedia	166
Annamária Marton and Lilla Hoffmann: Weather of Autumn 2015	192
Authors of Volume 60 (2015)	194
Zoltán Dunkel: Historical Portraits – Béla Béll	195

ELHUNYT SZENTIMREY BÉLÁNÉ Dánfi Márta

Budapest, 1932. augusztus 10. – Budapest, 2015. november 2.



A Szilágyi Erzsébet Gimnáziumban érettségizett 1951-ben. Bedolgozóként kezdett dolgozni a fővárosi Gyöngyömbgyárnál 1955-ben. Később a Budapest-Vidéki-Postaigazgatóság Pestmegyei Hírlaphivatalánál helyezkedett el számadás-ellenőrként. Az OMSZ-ba 1969. szeptember 5-én lépett be, ahol 1987. augusztus 11-i nyugdíjazásáig ügyintéző, technikus előadó és műszaki ügyintéző munkaköröket töltött be. A Technikai alapismeretek tanfolyamot 1971/73-ban jeles eredménnyel végezte el. Közel két évtizedet dolgozott a Hálózati Osztályon, amelynek elnevezése időnként változott, de az elhelyezés ugyanaz maradt a Kitaibel Pál utcában a 2. emeleten. Intézte az akkor elég nagy – 100 fő feletti – vidéki hálózat adminisztrációs munkáit. Aktívan részt vett az évente kétszer megrendezett állomásvezető értekezletek szervezésében, lebonyolításában. A Léggörben az „Észlelőink írták” rovatot szerkesztette. Segítette a fősztályvezető, osztályvezető és hálózati ellenőrök munkáját. Kitűnő kapcsolatokat ápolta a vidéki főállomások vezetőivel, hivatásos és társadalmi észlelőkkel. Egy akkori vidéki Állomásvezető Kolléga ezt írta a munkájáról: „Márta, soha meg nem ismételtető csapat voltatok. Amikor nyugdíjba ment, akkor volt egy olyan nagyon erős érzésem, hogy valami lezárult és soha többet nem lesz még hasonló sem. Amíg élek, mindig szeretettel fogok Mártára (másod Anyámra) gondolni. Mindig úgy lesz előttem, mint egy életszerető, emberszerető és ismerő lény, aki mindent tudott a Dolgozókról, Rólunk”. Nyugodjon békében!

SZEIBERT TIVADARNÉ Benyó Erzsébet

Budapest, 1947. január 17. – Budapest, 2015. december 12.



Közgazdasági Technikumban érettségizett. Első munkahelye a 3. sz. KÖV forgalmi osztályán volt. 1965-től a Budapesti Bútoripari Vállalat raktári adminisztrátoraként dolgozott, majd a Szék és Kárpitosipari Vállalatnál pénzügyi előadó munkakör látott el. Innen lépett be az OMSZ-ba 1980. június 17-én. Mindvégig a pénzügyi-számviteli területen dolgozott, gazdasági ügyintézőként. Feladatai közé tartozott az átvett pénzeszközök nyilvántartása, külföldi kiküldetésekkel kapcsolatos ügyintézés, a lakásépítési alaphoz kötődő nyilvántartások, valamint a munkába járással kapcsolatos költségek elszámolása. Munkáját nagy hozzáértéssel, az elszámoló munkatársak iránti szeretettel, segítőkészséggel látta el. Kormánytisztviselői jogviszonya alól 2007. június 22-i hatállyal felmentést kapott nyugdíjjogosultsága miatt, de továbbra is bejárt, vállalkozóként látta el feladatát egészen 2014-ig. Akkor vonult végérvényesen nyugállományba, főállásban foglalkozhatott unokáival, akikre mindig nagyon büszke volt. Emlékét szeretettel őrizzük.

MATYASOVSZKY ISTVÁN HALÁLÁRA Weidinger Tamás

ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A, weidi@caesar.elte.hu



Mindnyájunkat megdöbbentett a hír, hogy Matyasovszky István örökre becsukta maga mögött a Meteorológiai Tanszék aajtáját. 2015 karácsony másnapján váratlanul hagyott itt bennünket, családját, barátait, kollégáit, diákjait. Egy héttel azelőtt a Tanszék karácsonyi ünnepségen még azzal köszönt el tőlünk, hogy az elkövetkező időszak a pihenés és a családé lesz. A sors azonban kegyetlenül közbeszólt. Nehéz búcsúzni az egyetemi ismerőstől, majd a későbbi kollégától és barátától, akivel az ELTE Meteorológiai Tanszékén több mint másfél évtizedig egy szobában dolgoztunk még a Múzeum körúton és a Ludovika téren. Szerettem vele beszélgetni, néha ironizálni. Jó volt hallani tömör, mindig pontos véleményét a világról. Most búcsúzni kell, de az emlékek, a gondolatai, az írásai velünk maradnak.

Matyasovszky István 1960-ban született, Budapestben érettségizett, és 1984-ben szerzett oklevelet az ELTE meteorológus szakán. Ez volt a második „új meteorológus évfolyam”: az akkori fiatalok, a mai meteorológia derékhadja. Kezdetektől fogva a statisztikus klimatológia érdekelte. Gulyás Ottó tanítványa volt. A tőle kapott matematikai egzaktitást ötvözte a meteorológiai ismeretanyaggal. Mindig jól definiált éghajlati-statisztikai kérdéseket tett fel, s ezekre egzakt válaszokat adott. Ezt a szemléletmódot honosította meg oktatói munkájában is. Pontosan, világosan beszélt, jól felépített tananyagot adott át. Egyetlen munkahelye volt, az ELTE Meteorológiai Tanszéke. Itt oktatott először tanársegédként, majd adjunktusként, s másfél évtizede mint egyetemi docens. Nemzedékek figyelmét irányította rá a statisztikus klimatológia és az éghajlatlan jelentőségére. Statisztikus klimatológia könyve mindmáig alapműnek számít. Fő kutatási területe a meteorológiai idősorok szerkezetének, spektrális tulajdonságainak elemzése, az éghajlat-ingadozások és -változások detektálása és becslése, a jövőbeni globális éghajlatváltozás lokális hatásainak vizsgálata, az extrémek statisztikája. Egyetemi doktori értekezését 1986-ban védte meg, az MTA doktora fokozatot 2014-ben szerezte meg. Ez foglalja keretbe munkásságát. Részletesen elemezte a közép-angliai hőmérséklet idősor statisztikai szerkezetét. Ezt a témát – ami első nemzetközi publikációját jelentette – még Rákóczi Ferenc professzortól kapta. Közel három évet töltött az Egyesült Államokban, a Nebraskai Egyetemen Bogárdi István professzornál a kilencvenes évek első felében. A globális éghajlatváltozás regionális hatásainak félempirikus lelkálzásával foglalkozott. Fontos cikkeket publikáltak rangos nemzetközi folyóiratokban, amelyekre máig hivatkoznak. Megbecsült kutató lett kinti lehetőségekkel, de számára a legtermészetesebb módon itthon folytatta szakmai munkásságát. Mindig az új statisztikai módszerek alkalmazását kereste. Az utóbbi években sokat foglalkozott clusterkezési problémákkal, pollen-idősorok elemzésével, s legutóbb a töréspontok detektálásával. Rangos publikációinak száma másfélszáz feletti. Az Időjárás című folyóiratban 18 cikke jelent meg, külföldi szakfolyóiratokban több mint ötven, ezek közül egyedül a Theoretical and Applied Climatology-ban 14. Az egyik legtöbbet idézett hazai klimatológus. Tudományos munkásságát számos díjjal ismerték el (1992 MMT Róna Zsigmond díj, 1996-1997 Szádeczky-Kardoss Elemér Díj, 1998 Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, 2005 Pro Meteorológia Emlékplakett). Mindig pontos, szerény, csendes ember, jó kolléga volt, aki nem tudott megbékélni a logikátlansággal, az ésszerűtlenséggel. Halálával lezárult egy fejezet a hazai statisztikus klimatológia történetében. Másoknak kell folytatni az idősorok elemzését, a statisztikus klimatológia oktatását, az elkezdett diákköri dolgozatok, diplomamunkák és doktori témák vezetését. A feladat nem egyszerű, de van mire építkezni: Matyasovszky István szakmai hagyatékára, emberi tulajdonságaira, nemzetközi szintű kutatási eredményeire, tankönyveire, jegyzeteire.

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 tájolásra 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.

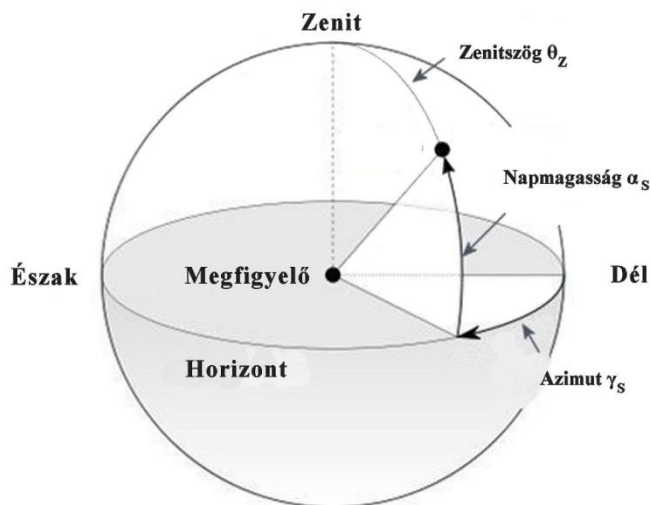
Mind a passzív, mind az aktív napenergia-hasznosítás esetén belátható, hogy a napenergia-hozam meghatározása mind az épület, vagy berendezés tervezésénél, mind pedig üzemelésénél fontos. Általánosan elmondható azonban, hogy a tervezéshez nem állnak rendelkezésre megfelelő adatok, így nincsen általánosan 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-

ző 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):

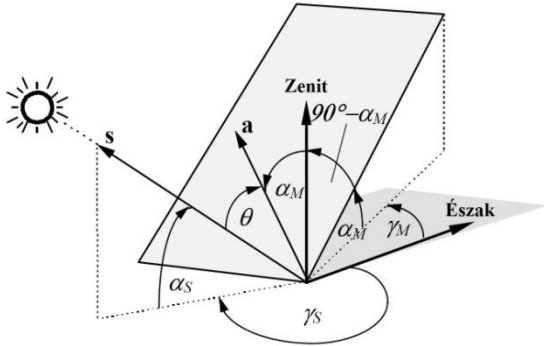
$$G_0 = G_{sc} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{n}{365} \cdot 360\right)\right] \cdot \cos \theta_z \quad (7)$$

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 globálisugrás a földrajzi szélesség, a dátum és az idő alapján számolható. Ezekből a 2. *egyenlet* segítségével számítható a vízszintes felületre érkező globálisugrás, 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 globálisugrás 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 globálisugrás 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 globálisugrás 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 globálisugrás napi mennyisége a vizsgált „ i ”-ik napon [kWh/(m²nap)], G'_{0i} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugrás 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 globálisugrás „ h ”-ik hónapra vonatkoztatott átlagos napi mennyisége [kWh/(m²nap)], H'_{0i} a csillagászatilag lehetséges, dőlésszögű és tájolással rendelkező felületre beérkező globálisugrás 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 megpörköldik 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 változékonny 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.

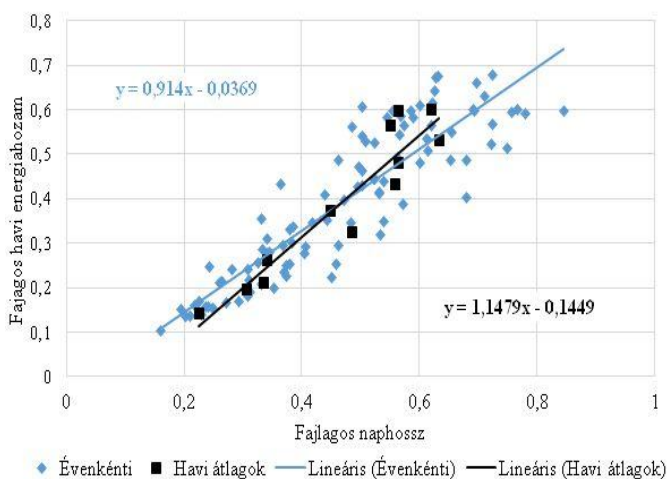
- az üveggömb teljesítménye az időjárás sajátosságainak függvényében romolhat (pl.: pára, dér), amely megfelelő felügyelet nélkül a napos órák számának alulméréséhez vezet.

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

SZÉLENERGIA BECSLÉSEK REGIONÁLIS ÉGHAJLATI MODELLEK EREDMÉNYEI ALAPJÁN

ASSESSMENT OF FUTURE WIND CONDITIONS OVER HUNGARY USING REGIONAL CLIMATE MODELS

Illy Tamás, Szépszó Gabriella

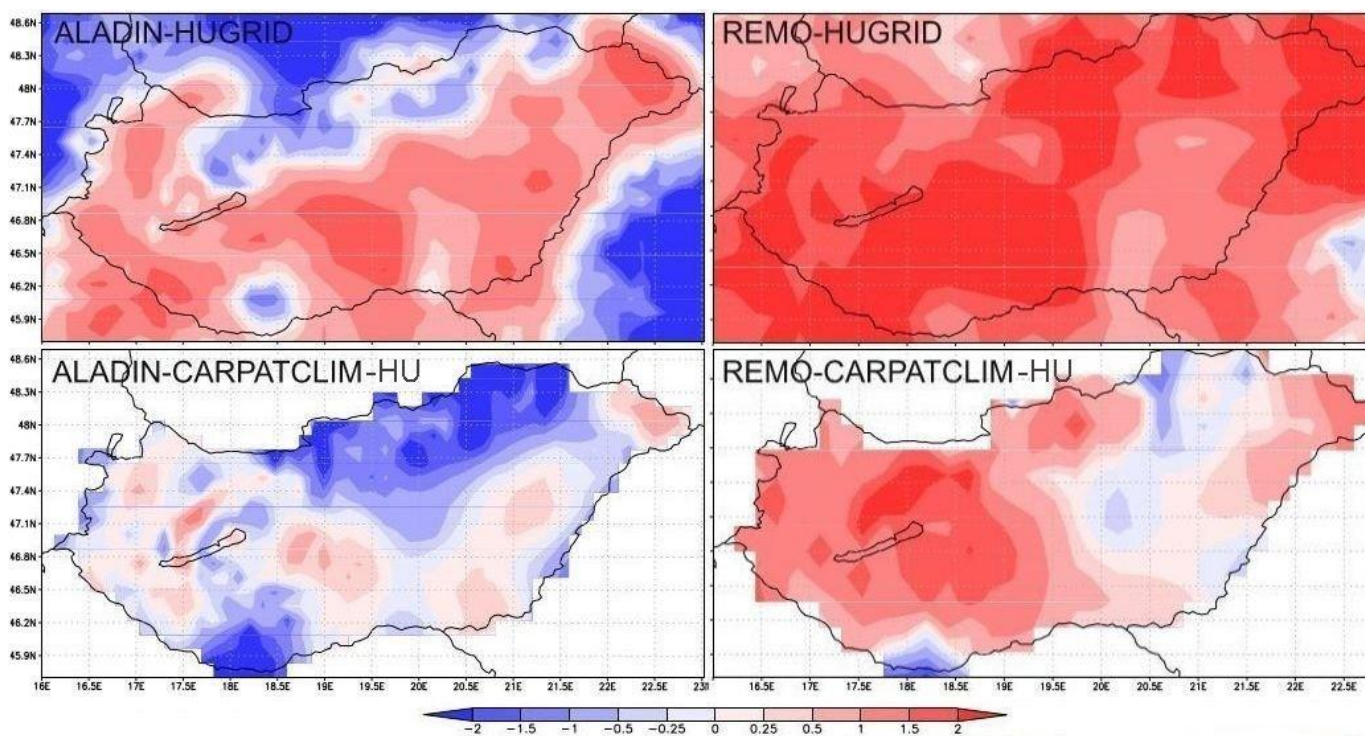
Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1., illy.t@met.hu, szepszo.g@met.hu

Összefoglalás. Az éghajlati rendszer viselkedése és jövőbeli fejlődése numerikus modellek segítségével írható le. Az éghajlati modellek eredményeinek megfelelő értelmezéséhez elengedhetetlen a szimulációk bizonytalanságainak számszerűsítése. Ez az ensemble módszer, azaz több globális és regionális klímamodell, valamint kibocsátási forgatókönyv alkalmazásával tehető meg. Jelen tanulmányban a magyarországi szélviszonyok jövőbeli változását vizsgáljuk az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott két regionális klímamodell, az ALADIN-Climate és a REMO eredményei alapján. Az elemzés során a 10- és a 100-méteres szélsébséget, valamint a 100 méterre vonatkozó potenciális széleenergiát és teljesítményt vizsgáltuk. A modellek eredményeit két (a HUGRID és a CARPATCLIM-HU) rácsponti megfigyelési adatbázissal vetettük össze az 1961–1990 referencia-időszakra; a jövőben várható változásokat pedig 2021–2050-re és 2071–2100-ra számszerűsítettük.

Abstract. The climate system and its future behaviour can be described with numerical models. For correct interpretation of climate change estimates, it is indispensable to consider their uncertainties. This can be quantified by the ensemble method when using multiple regional climate models to downscale a number of global climate scenarios. In our study, the future change of wind conditions over Hungary is investigated based on the results of two regional climate models (RCM), ALADIN-Climate and REMO applied at Hungarian Meteorological Service. The evaluation was focussing on wind-related parameters: 10- and 100-meter wind speed, wind energy potential and power at 100 meters. The RCM results were validated for 1961–1990 using two gridded observation datasets (HUGRID and CARPATCLIM-HU) as reference. Future climate change was evaluated for 2021–2050 and 2071–2100 with respect to 1961–1990.

Bevezetés. Magyarország szélklimatológiai jellemzőinek minél pontosabb ismerete és e jellemzők lehetséges jövőbeli alakulásának vizsgálata kulcsfontosságú a szél energiájának hatékony felhasználásához. A múltira vonatkozóan a különböző mérési adatbázisokból előállított, rácshálózatra interpolált (esetleg homogenizált) adatso-

rok segítségével vizsgálhatjuk és elemezhetjük a Kárpát-medencében uralkodó szélviszonyokat. Magától értetődő módon a jövőre vonatkozóan nem rendelkezünk mérési adatokkal, ráadásul a változó klíma a szélviszonyokra is hatással lehet, ezért mindenképp érdemes foglalkozni a szélklíma jövőbeli állapotát leíró mennyiségek megbecs-



1. ábra: A modellszimulációk 100 m-es szélsébségének átlagos évi eltérése a két mérési adatbázistól, ms^{-1}

lésével. A becslések alapját a regionális éghajlati modellek szimulációs eredményei képezik, melyek ma már igen finom (akár 10 km-es) térbeli felbontással állnak rendelkezésünkre, ezzel részletes információt szolgáltatva egy-egy régió klímájának várható alakulásáról. Ahhoz azonban, hogy a klímamodellek becsléseit érdemben ki tudjuk értékelni, fontos, hogy tisztában legyünk azok bizonytalanságaival és validációval győződünk meg pontosságukról. A cikk célja, hogy két Magyarországon alkalmazott regionális klímamodell, illetve két, méréseken alapuló adatbázis felhasználásával képet alkossunk a modellek minőségéről hazánk szélenergetikai szempontból releváns paramétereinek vizsgálatáról illetve ezek lehetséges jövőbeli alakulásáról a XXI. század végéig.

1. táblázat: A vizsgált modellszimulációk főbb jellemzői (Horányi et al., 2010)

	ALADIN-Climate 4.5	REMO 5.0
Időszak	1961–2100	1951–2100
Horizontális térbeli felbontás	10 km	25 km
Vertikális szintek száma	31	20
Határfeltételek	ARPEGE-Climate	ECHAM5/MPI-OM
Projekciós forgatókönyv	A1B	A1B

2. táblázat: A 100 m-es szélesség és a potenciális teljesítmény eltérései a mérési adatbázisoktól

Modell/Referencia	Szélesség	Potenciális teljesítmény
ALADIN/HUGRID	0,7 ms ⁻¹ (16%)	68 kW (48%)
ALADIN/CARPATCLIM-HU	-0,6 ms ⁻¹ (-11%)	-59 kW (-27%)
REMO/HUGRID	1,9 ms ⁻¹ (42%)	219 kW (155%)
REMO/CARPATCLIM-HU	0,7 ms ⁻¹ (13%)	105 kW (49%)

3. táblázat: A 100 m-es szélesség és a potenciális teljesítmény átlagos évi megváltozásai

Modell	Időszak	Szélesség	Potenciális teljesítmény
ALADIN	2021–2050	0,03 ms ⁻¹ (0,6%)	4 kW (2,6%)
ALADIN	2071–2100	0,05 ms ⁻¹ (1%)	5 kW (3,3%)
REMO	2021–2050	0,06 ms ⁻¹ (1%)	9 kW (3%)
REMO	2071–2100	-0,1 ms ⁻¹ (-1,7%)	-17 kW (-5,4%)

Módszertan. A vizsgálatok elvégzéséhez két regionális éghajlati modell, az ALADIN-Climate (4.5 verzió, Csima és Horányi 2008) és a REMO (5.0 verzió, Szépszó és Horányi, 2008) szimulációs eredményeit, továbbá a HUGRID és a CARPATCLIM-HU mérési adatbázisokat használtuk fel. A HUGRID adatbázist óránkénti magyarországi szélesség-mérések térbeli interpolációjával állították elő, a meteorológiai célra kifejlesztett MISH (Szentimrey és Bihari, 2005) interpolációs szoftvert alkalmazva. A CARPATCLIM-HU adatbázis (Lakatos et al., 2013) napi 3 homogenizált szélesség-mérés felhasználásával készült, s az interpoláció során nemcsak a magyarországi, hanem a szomszédos országok adatait is felhasználták. Mindkét modellnél azon kísérletek eredményeit tekintettük, amelyekhez az oldalsó határfeltételeket globális klímamodellek szolgáltatották. A szimulációk legfontosabb jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze. A vizsgált szélklimatológiai paraméterek a felszíni (10 m-es) szélesség, a 100 m-es szélesség, a 100 m-es energiasűrűség és a 100 m-es potenciális teljesítmény voltak. A 10 m-es szélesség értékeit közvetlenül a modellfuttatások eredményei, illetve a mérési adatbázisokból származó eredmények adták, a 100 m-es szélességet, energiasűrűséget és potenciális teljesítményt pedig a felszíni szélességből származtattuk. Ennek során először a 10 m-es szélességből a logaritmikus és a hatványkitevős szélprofilok ötvözetéből alkotott szélprofil (Szentimrey et al., 2006) segítségével előállítottuk a 100 m-es szint szélességét, majd ezen adatok segítségével kiszámítottuk a 100 m-es energiasűrűséget. A potenciális teljesítményt a hazánkban jelenleg legelterjedtebb Gamesa G90 típusú szél-turbina teljesítménygörbéje (mely megadja a turbina által leadott teljesítményt a rotor magasságában fújó szélesség függvényében) alapján számoltuk ki a 100 m-es szélességből. A magassági információk származtatását részletesen Illy (2014) diplomamunkája írja le.

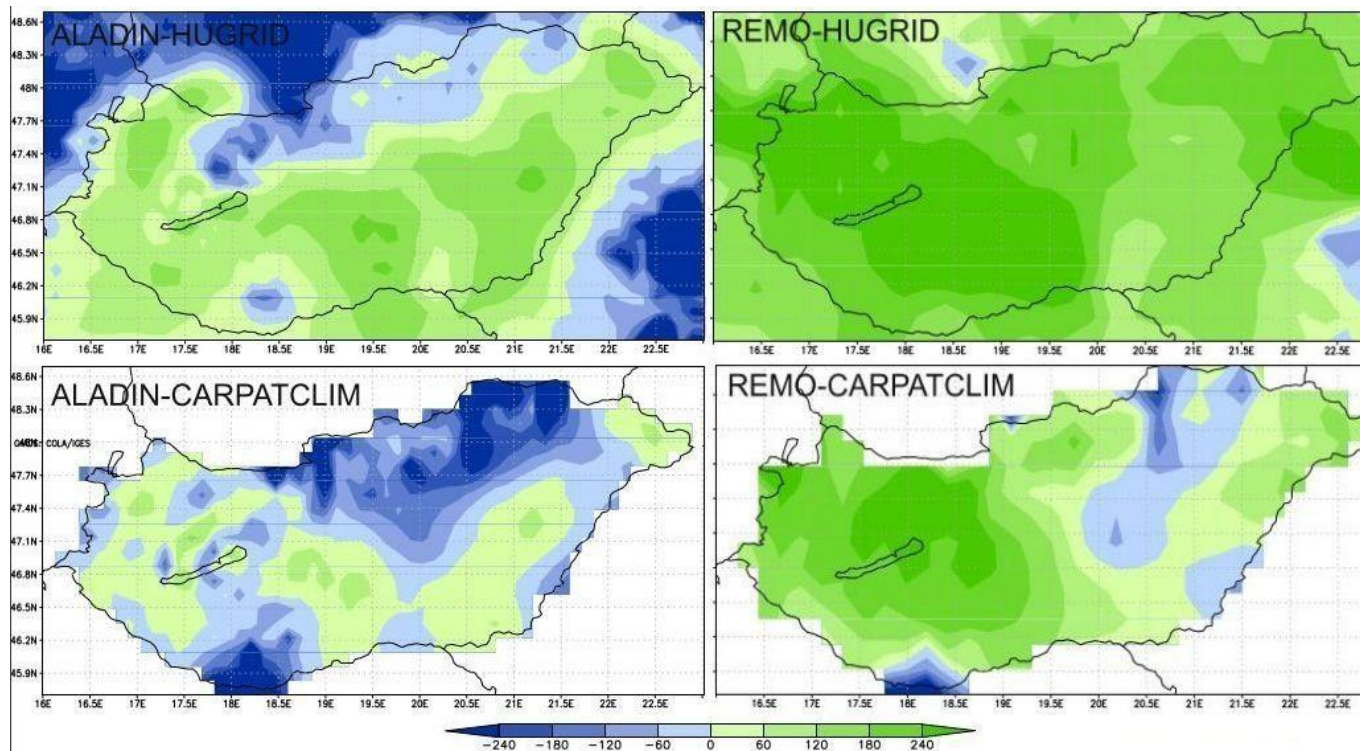
Az előbbieken említett szélparamétereket három éghajlati normálidőszakra vonatkozóan vizsgáltuk. Az 1961–1990-es időszakot tekintettük referencia-időszaknak a modellszimulációk validációja során, így erre vonatkozóan a két mérési (HUGRID, CARPATCLIM-HU) adatsor és a két regionális modellszimuláció (ALADIN, REMO) adataiból egyaránt előállítottuk az összes vizsgált paraméter havi, évszakos és évi átlagait. Ezek után megvizsgáltuk, hogy a modellszimulációk eredményeiből számolt átlagértékek mekkora eltérést mutatnak a mérési adatbázisokból számoltakkal. A két jövőbeli, 2021–2050-es és 2071–2100-as időszakra vonatkozóan is ugyanezen átlagokat állítottuk elő, de csak a modellszimulációk eredményei alapján, és megvizsgáltuk, hogy az ALADIN és a REMO modellek jövőre vonatkozó projekciói mekkora és milyen irányú eltéréseket adtak a saját 1961–1990-es időszakra vonatkozó átlagértékeikhez képest.

Validációs eredmények. A modelleredmények validációja során tehát megvizsgáltuk, hogy a két alkalmazott regionális modell szimulációi milyen pontossággal képesek visszaadni 1961–1990-es időszak mérések alapján leírt éghajlati jellemzőit. Meg kell jegyeznünk, hogy a két

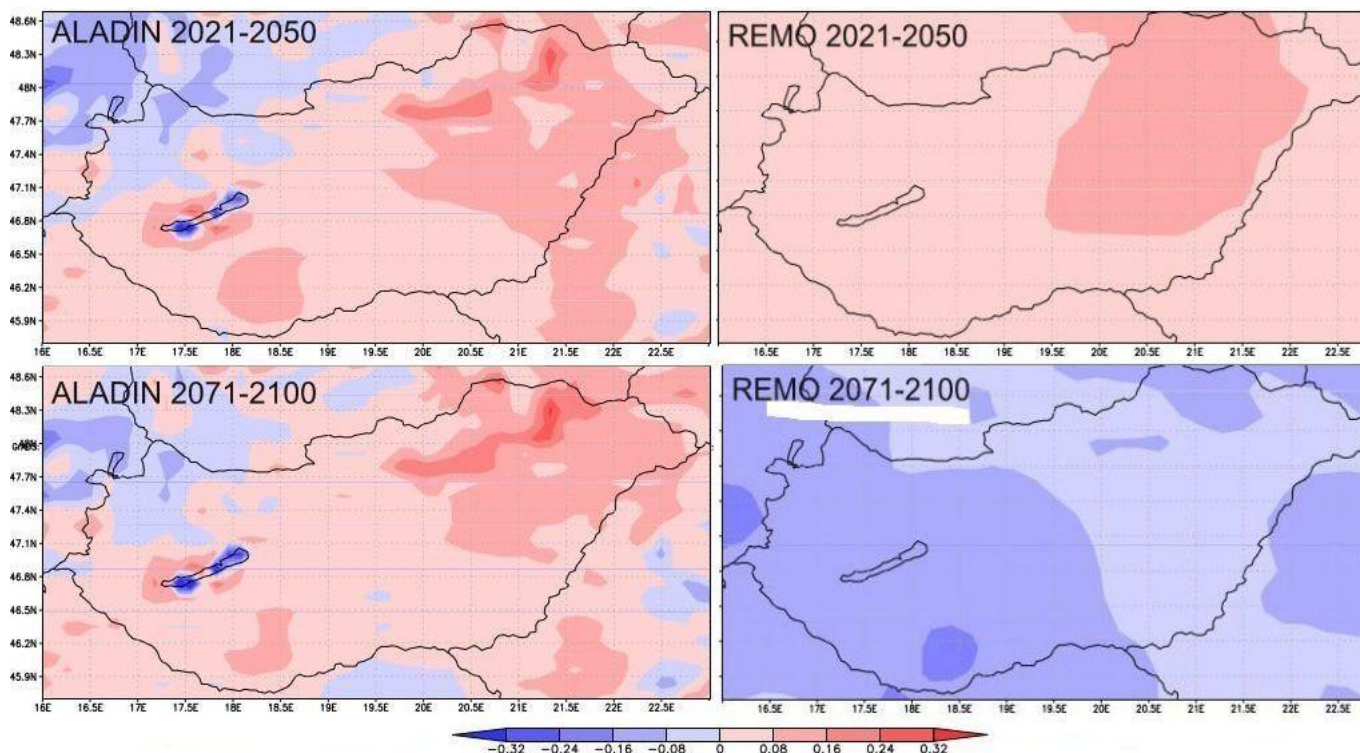
megfigyelési adatbázist eltérő módszerrel állították elő (például a CARPATCLIM-HU adatai homogenizáltak, a HUGRID adatai viszont nyers adatsorok alapján készültek) így a referencia-adatbázisok különbségei megjelentek a validációs eredményekben is. A két meghatározó elem, a 100 m-es szélsősebesség és a 100 m-es potenciális teljesítmény éves validációs ábráin ez jól látható (1. és 2. ábra). A modellek eredményei és a mérési adatok közti eltérések Magyarország területére vonatkozó átlagolásával megad-

tuk a két elem átlagos éves eltéréseit számszerűen és relatív formában is (2. táblázat).

Az ALADIN szimuláció a HUGRID adatbázishoz képest jellemzően felülbecsülte a felszíni szélsősebességet az ország területén éves és évszakos szinten egyaránt, mintegy $0,4 \text{ ms}^{-1}$ -mal (17%-kal; Illy, 2014). Kivételt képeztek ez alól a magasabban fekvő területek, pl. a Dunántúli-középhegység, az Északi-középhegység és a Mecsek,



2. ábra: A modellszimulációk 100 m-es potenciális teljesítményének átlagos évi eltérése a két mérési adatbázistól, kW



3. ábra: A modellszimulációk 100 m-es szélsősebességének átlagos éves megváltozása a két projekciós időszakban az 1961–1990-es időszakhoz képest, ms^{-1}

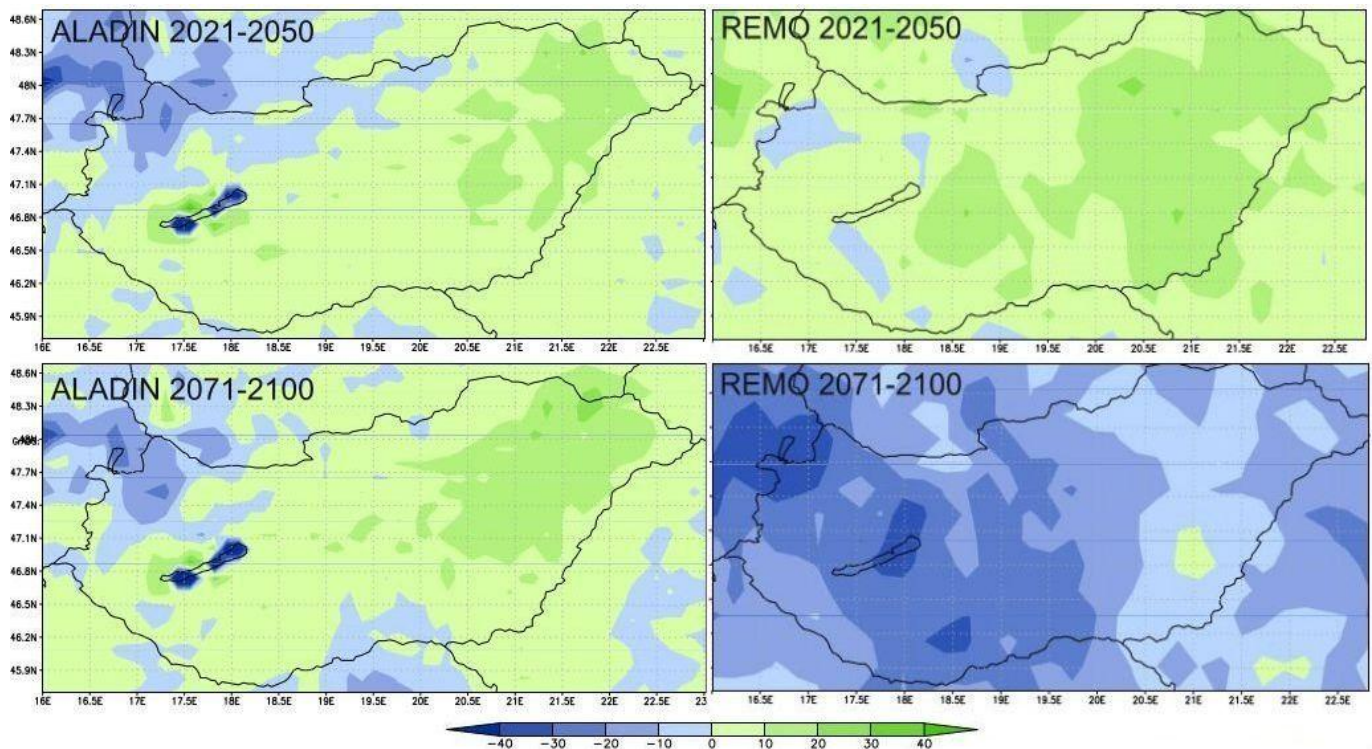
ahol a modellszimuláció kisebb szélsőérték értéket adott a HUGRID mérési adatbázisnál. A felülbecslés területi maximumai a Duna-Tisza-köze és a Tiszántúl középső illetve déli területeire estek. Ez a felülbecslés megjelent az összes többi vizsgált elem validációjánál is, hiszen a magassági szélsőérték, az energiasűrűség és a potenciális teljesítmény előállításánál is a felszíni szélsőértéket használtuk fel a számítások elvégzéséhez. Az eltérések relatív mértéke 100 m-es szinten általában nagyobb, mint a 10 m-es szinten, az átlagos eltérések az energiasűrűség és a potenciális teljesítmény validációjánál esetenként lokálisan igen magas értékeket (100%-nál magasabb relatív eltéréseket) adtak. A 100 m-es szélsőérték esetében a mérésektől vett átlagos éves eltérés Magyarországra $0,7 \text{ ms}^{-1}$ (16%) körüli, a potenciális teljesítmény esetében pedig 68 kW (48%) körüli értéket adott.

Az ALADIN szimulációját a CARPATCLIM-HU adataival összehasonlítva jobb egyezést kaptunk, mint a HUGRID-del, ám ebben az esetben többnyire a modell alulbecslését tapasztaltuk. Az átlagos eltérések ennek megfelelően alacsonyabbak lettek, a 100 m-es szélsőérték esetében $-0,6 \text{ ms}^{-1}$ (-11%), a potenciális teljesítmény esetében pedig -59 kW (-27%). A legerősebb alulbecslést a nyári évszakra kaptuk. A legnagyobb negatív eltérések itt is a hegyvidéki területekre estek, de ezek az alulbecslések jóval erőteljesebbek, mint amiket a HUGRID validáció során kaptunk. A téli évszak az egyetlen, amikor a CARPATCLIM-HU validációs eredményei szerint a modell a méréseknél nagyobb szélsőértéket szimulált. A felülbecslés maximumai a Balaton térségére és az ország keleti régiójára estek.

A REMO modellszimuláció esetében általánosságban jóval nagyobbak voltak a mérési adatbázisoktól való eltérések, mint az ALADIN-nál, de durvább térbeli felbontásánál fogva sem a magasabban fekvő területek, sem a Balaton nem tűntek ki a különbségmezőkben. A HUGRID mérési adatokkal összehasonlítva a REMO szimuláció mind a négy évszakra túlbecsülte az összes vizsgált paramétert (Illy, 2014). A felülbecslés a nyári évszakban lett a leghatározottabb, télen és tavasszal pedig valamelyest gyengébb. Az eltérés maximumai leginkább az ország középső illetve nyugati részére estek. Éves szinten az átlagos eltérés a 100 m-es szélsőértékre vonatkozóan $1,9 \text{ ms}^{-1}$ -os (42%) a potenciális teljesítményre vonatkozóan 219 kW-os (155%) értéket adott, vagyis a REMO modelleredményekből számolt éves potenciális teljesítménye több mint kétszeresen meghaladta a HUGRID adataiból számoltakat.

A REMO szimulációja a CARPATCLIM-HU mérési adatai szerint is túlbecsülte a paramétereket, de az eltérések összességében kisebbek, mint a HUGRID adataival végzett validációnál, a 100 m-es szélsőérték esetében éves átlagban $0,7 \text{ ms}^{-1}$ -ot (13%), a potenciális teljesítmény esetében 105 kW-ot (49%) adva. A felülbecslés maximuma a nyári évszakra, területi eloszlását tekintve pedig a nyugati országrészre esett (1. és 2. ábra).

Projekciós eredmények. A 2021–2050-es projekciós időszakokra éves átlagban a két modellszimuláció hasonló eredményt adott (3. és 4. ábra). Évesen az ALADIN és a REMO is mind a felszíni, mind a 100 m-es szélsőérték csekély növekedését szimulálta, ám a növekedés évi átlagos értéke igen kicsi, $0,1 \text{ ms}^{-1}$ alatti érték, így a változás szignifikanciája kérdéses. Az energiasűrűség és a potenci-



4. ábra: A modellszimulációk 100 m-es potenciális teljesítményének átlagos évi megváltozása a két projekciós időszakban az 1961–1990-es időszakhoz képest, kW

ális teljesítmény a szélsébség harmadik hatványával arányos, ezért a megváltozásuk is valamivel nagyobb, 3% körüli értéknek adódott. A növekedés maximuma mindkét modellszimulációban Magyarország keleti részére esik, és az ALADIN esetében ismét megjelent egy erős lokális minimum a Balaton közelében (azaz a környezetétől eltérően a tó felett a szélsébség csökkenését valószínűsíti a projekció; ezt célszerű lenne finomfelbontású felszíni modellek alkalmazásával is megvizsgálni).

A különböző paraméterek megváltozását évszakos szinten vizsgálva a két modell már kevésbé mutat egységes képet. Az ALADIN a vizsgált változók téli csökkenését és nyári növekedését szimulálta, míg a REMO ennek pontosan az ellenkezőjét, vagyis téli növekedést és nyári csökkenést. Az ALADIN esetében a meghatározó inkább a nyári növekedés, a REMO esetében pedig inkább a nyári csökkenés volt. Az őszi és a tavaszi évszakra vonatkozó változások hasonlítanak a két modell projekciójában.

A 2071–2100-as időszakra vonatkozóan a két modellszimuláció alapvetően eltérő tendenciákat mutatott már az évi átlagokat tekintve is (3. és 4. ábra). Az ALADIN projekciójában a vizsgált szélparaméterek éves szinten jelentősen nem változnak meg a 2021–2050-es állapothoz képest, a REMO ellenben azok csökkenését jelzi. Utóbbi változást egyrészt már a 2021–2050-es időszakra is jelzett nyári csökkenés erősödése, másrészt a 2071–2100-as időszakban megjelenő őszi csökkenés okozza, amik együttesen elnyomják a többi évszakban várható enyhe növekvő tendenciát. A változások évi átlagos értékei ennek ellenére ebben az időszakban sem sokkal magasabbak, a legnagyobb évi megváltozást a potenciális teljesítmény esetében kaptuk, ami az ALADIN projekciója szerint 3%, a REMO projekciója szerint -5% körüli érték (a 100 m-es szélsébség és a potenciális teljesítmény átlagos éves megváltozásait a 3. táblázatban foglaltuk össze).

Összefoglalás. Bemutattuk az elvégzett szélenergetikai vizsgálatok eredményét két meghatározó szélparaméter elemzésén keresztül. A modellszimulációk validálása során egyrészt láthattuk, hogy milyen nagyságrendűek az

eltérések az egyes modelleredmények és a különböző mérési adatbázisok között, másrészt meggyőződhetünk róla, hogy a más-más módon előállított mérési adatbázisok is észlelhetően eltérnek egymástól. A két regionális modell projekciós eredményei szerint a XXI. században a vizsgált szélparaméterek jelentős változása nem várható, a vizsgálataink során kapott legnagyobb relatív megváltozások is 6% alattiak voltak. A jövőben várható változások alaposabb feltérképezéséhez érdemes lenne több modellt bevonni a vizsgálatokba, valamint a magassági paraméterek kiszámításához a statisztikai szélprofil-illesztés helyett a modellek dinamikai úton számolt magassági szélsébség értékeit alkalmazni.

Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben bemutatott vizsgálatok elvégzése a 4.2.2/A számú TÁMOP pályázat támogatásával valósultak meg.

Irodalom

- Csima, G. and Horányi, A., 2008: Validation of the ALADIN-Climate regional climate model at the Hungarian Meteorological Service. *Időjárás* 112, 155–177.
- Horányi, A., Bartholy, J., Krüzselyi, I., Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabó, P., Szépszó, G. és Torma, Cs., 2010: A hazai regionális klímamodellek eredményeinek együttes kiértékelése. 36. *Meteorológiai Tudományos Napok. Beszámolókötet* 113–129.
- Illy, T., 2014: Szélenergia becslések regionális éghajlati modellek alapján. *Diplomamunka*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, pp 77.
- Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z. and Szalai, S., 2013: Creation of a homogenized climate database for the Carpathian region by applying the MASH procedure and the preliminary analysis of the data. *Időjárás* 117, 143–158.
- Szentimrey, T., Bihari, Z. és Birszki, B., 2006: Széltérkép fejlesztés állomások adataiból, statisztikai klimatológiai eljárással. Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei. *Beszámolókötet* 71–81.
- Szentimrey, T. and Bihari, Z., 2005: Manual of homogenization software MISHv1.01. *Hungarian Meteorological Service*.
- Szépszó, G. and Horányi, A., 2008: Transient simulation of the REMO regional climate model and its evaluation over Hungary. *Időjárás* 112, 203–231.

KISLEXIKON

POCKET ENCYCLOPAEDIA

Dunkel Zoltán

Magyar Meteorológiai Társaság, H-1525 Budapest, Pf. 38, dunkel.z@met.hu

ÁDOB <gör.> *Állástalan Diplomások Országos Bizottsága* a harmincas években, hazánkban működött szervezet, amelynek célja az egyetemekről és főiskolákról kikerültek részére megfelelő alkalmazás biztosítása volt. (Dunkel Zoltán: *Történelmi arcképek*–Béll Béla)

meteorográf <gör.> meteorológiai elemek egyidejű automatikus regisztrálására szolgáló mechanikus szerkezetű, több időjárási elem változását követő íróműszer, önrő műszer.. Az eszközben egy óraszerkezet íróhengert forgat körbe, amelyre a meteorológiai elemek (általános gyakorlat szerint légnyomás, hőmérséklet, légnedvesség) értékeit mérő műszerek változásait, az érzékelők jeleit az írókarok segítségével közös lapon rögzíti a szerkezet. Technikailag különböző gráfok kombinációja. A rádiószondák használata előtt a felső légkör rendszeres kutatásának eszköze. A ~ot hidrogénnel töltött ballonra kötötték. A regisztrátumot csak utólag lehetett kiértékelni, a visszaküldés után. Hazánkban 1913 és 1949 között 415 ballonszondát bocsátottak fel, amelyeknek némelyike elérte a 15 km-es magasságot is. (Dunkel Zoltán: *Történelmi arcképek* – Béll Béla)

folytatás a 173. oldalon.

SZÉLADATOK HOMOGENIZÁLÁSA ÉS KORREKCIÓJA HOMOGENIZATION AND CORRECTION OF HUNGARIAN DAILY WIND SPEED DATA

Péliné Németh Csilla¹, Bartholy Judit², Pongrácz Rita², Radics Kornélia³

¹MH Geoinformációs Szolgálat, 1024 Budapest, Szilágyi Erzsébet fasor 7–9., pelinenemeth.csilla@mhtehi.gov.hu,

²ELTE Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A., bartholy@caesar.elte.hu, pongrazc.rita@gmail.com,

³Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., radics.k@met.hu

Összefoglalás. A hosszú távú megfigyelések különböző inhomogenitásokat foglalnak magukba, amelyek okai lehetnek a használt műszerek, a mérési módszerek, a környezet vagy az állomás helyének a változása. Emiatt 19 magyar állomás napi szélsősebesség és szélleőkés adatai minőség ellenőrzését és homogenizálását végeztük el abból a célból, hogy a megvizsgáljuk a hazai adatbázisban (1972–2012) kimutatható szélklíma trendek, változékonyságok, gyakoriságok és szélsőségek megbízhatóságát. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál kifejlesztett MASH (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*) módszert alkalmaztuk a 19 magyar állomás napi szélsősebesség és szélleőkés adatainak vizsgálatára. A vizsgálatok eredményei alapján a lehetséges környezetbarát szélenergia erőforrás mértéke Magyarországon megbecsülhető. További vizsgálatok tudnak majd választ adni arra, hogy ezek a megújuló energiaforrások nőttek vagy csökkentek a közelmúltban.

Abstract. Long term observations involve inhomogeneities due to changes in instrumentation, measuring methods and surroundings of stations or moving into a new location. Therefore quality control and homogenizing of available daily wind speed and wind gust data sets (1975–2012) were completed in order to assess Hungarian wind climate trends, variability, frequency and intensity of extreme wind events reliably. The MASH (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*) procedure developed at Hungarian Meteorological Service was applied to homogenize 19 Hungarian stations' daily wind speed and wind gust data sets. Based on the results it is possible to estimate the environmentally friendly, available wind energy resources in Hungary. Further analysis of the series can answer whether this renewable energy resource has increased or decreased in the recent past.

Bevezetés. Az ELTE Meteorológiai Tanszékén évek óta folynak szélklimatológiai kutatások. A jövőre vonatkozó helyes következtetések megalkotásához kiemelt fontossággal bír a hazai szélklíma jelenlegi állapotának ismerete, valamint annak megismerése, hogy a globális éghajlatváltozás milyen hatással van a szélmezőben jelentkező regionális változásokra (átlagok és szélsőértékek elmozdulása). A szélklíma paramétereinek és változásainak ismerete elősegíti a regionális környezeti hatások felmérését, a változó klímához történő alkalmazkodást, továbbá hozzájárul a rendelkezésre álló szélenergia-készletek pontosabb felméréséhez, becsléséhez.

Egy éghajlati hosszúságú mérési idősor homogénnek tekinthető, amennyiben változékonysága kizárólag az időjárás és az éghajlat változékonyságából adódik. Azonban a hosszú mérési adatsorok mindig tartalmaznak inhomogenitásokat, a mérési környezet, módszerek, mérőeszközök és mérési magasságok változása, az állomások költözése, automatizálása következtében. Az idősorok homogenitását negatívan befolyásoló tényezők miatt az adatsorok vizsgálati eredményei hibákat tartalmazhatnak, illetve az idősorokban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek.

A fenti problémák kiküszöbölése érdekében elvégeztük az Országos Meteorológiai Szolgálat által fejlesztett, MASH v3.03 (*Szentimrey*, 1999) programcsomag segítségével a hazai szinoptikus mérőhálózat szélsősebesség (1975–2012) és szélleőkés (1975–2013) adatainak homogenizálását, a hibás adatok kiszűrését, illetve az adathiányok pótlását. A homogenizáció validálását követően a homogenizált adatsorokból kiszámítottuk az átlagok és a

szélsőértékek tendenciáit, illetve az általunk definiált szélindexeket az extrém szélviszonyok várható értékeinek elemzése céljából.

Ismeretes, hogy a reanalízis adatsorokat nemzetközileg és a hazai regionális klímamodellezés esetében is széleskörűen alkalmazzák a klímamodellek kontrol futtatásaihoz, valamint validációjához. Elvégeztük a homogenizált mérési adatsorok és más (homogén) szélmezőkből meghatározott paraméterek, szélsőértékek térbeli és időbeli tendenciáinak az összehasonlítását, mellyel becsülhetővé vált a különböző adatsorok (ERA Interim, CarpatClim) megbízhatósága.

Adatsorok homogenizálása. Egy éghajlati vizsgálatokra is alkalmas, megbízható adatbázis létrehozása érdekében elvégeztük a hazai szinoptikus mérőhálózat napi szélsősebesség és szélleőkés adatainak homogenizálását, a hibás adatok kiszűrését, illetve az adathiányok pótlását. Az adatsorok tartalmi ellenőrzése során a legnagyobb átlagos és maximális szélsősebességi értékek meteorológiai megalapozottságát minden esetben megvizsgáltuk, szükség esetén javítottuk. Nagy figyelmet fordítottunk az állomások metaadataira. Az időszak folyamán több állomást más helyszínre költöztettek, illetve esetenként új állomásokat is telepítettek. A közvetlen és távoli környezet és a mérési magasság időközbeni megváltozása nehezítette a homogén adatbázis létrehozását (*Péliné*, 2012).

Az adatsorok homogenizálása a MASH alkalmazással történt, mely egy relatív homogenizációs teszt eljárás (*Szentimrey*, 2011). A módszer matematikai alapokon nyugszik, lehetőséget ad az állomások metaadatainak felhasználására, pl.: az állomások költözésének időpontjának megadására, az idősorok elemzése, valamint a tö-

réspontok keresése során. A MASH automatizált alkalmazás alapelve, hogy nem feltételezi a referencia idősor homogenitását. A vizsgált és a referencia idősorok szerepe a futás során változik, felcserélődik. A vizsgált meteorológiai elem tulajdonságaitól függően alkalmaztunk additív (például: hőmérséklet), valamint multiplikatív (például: csapadék vagy szélesség) modellt.

1. táblázat: Homogenizáláshoz felhasznált hazai szinoptikus állomások rögzített metaadatai (2012-es állapot)

N°	WMO	Állomás	Szélesség	Hosszúság	Magasság, [m]	Mérőműszer magassága [m]	Adathiány [%]
1	12772	Miskolc	20,77	48,10	232,8	16,25	0
2	12805	Sopron	16,60	47,68	233,8	18,40	< 0,1
3	12812	Szombathely	16,65	47,20	201,1	10,56	< 0,1
4	12822	Győr	17,67	47,71	116,7	11,16	0
5	12843	Budapest	19,18	47,43	139,1	14,68	< 0,1
6	12851	Kékestető	20,02	47,87	1011,3	25,07	< 0,1
7	12860	Szolnok	20,13	47,16	90,0	10,40	< 0,1
8	12882	Debrecen	21,61	47,49	107,6	10,23	0,1
9	12892	Nyíregyháza	21,89	47,96	142,1	15,98	0,2
10	12910	Szentgotthárd	16,31	46,91	311,7	16,61	0,1
11	12915	Zalaegerszeg	16,81	46,93	240,1	10,40	3,3
12	12925	Nagykanizsa	16,97	46,46	139,8	13,69	0,1
13	12935	Siófok	18,04	46,91	108,2	15,10	0
14	12942	Pécs	18,23	46,01	202,8	10,55	0
15	12950	Paks	18,85	46,57	97,2	9,80	11,4
16	12960	Baja	19,02	46,18	113,0	10,30	0,1
17	12970	Kecskemét	19,75	46,91	114,0	10,40	0,4
18	12982	Szeged	20,09	46,26	81,8	12,25	< 0,1
19	12992	Békéscsaba	21,11	46,68	86,2	6,50	< 0,1

A napi szélességeket minden esetben legalább nyolc darab órás adatból számítottuk ki. Az állomások ismert metaadatait az 1. táblázat foglalja össze.

A homogenizálásra kiválasztott állomások többségéről 1975. január 1-jétől 2013. december 31-ig áll rendelkezésre szélesség mérési adat. Kivételt képez ez alól Paks, ahol a mérés 1979. május 1-jén indult meg. Továbbá Zalaegerszeg, ahol több mint egy évnnyi adatmennyiség hiányzik az 1993–1994. években, valamint a katonai repülőtéri meteorológiai mérőrendszer (MAWOS) tartós meghibásodása miatt 50 nap adathiány mutatkozik Kecskeméten 2009-ben.

Az észlelt és a homogenizált évi átlagos szélességet együttesen ábrázoltuk a vizsgált állomásokra az 1. ábrán. A diagramok jobb felső sarkába írt szám a MASH szoftver által detektált töréspontok száma. A töréspontok többsége megfeleltethető a feljegyzett metaadatok (függőleges vonalak az ábrán) valamelyikének, ugyanakkor a szükséges idősor-módosítások nem határozhatók meg pusztán ezen metaadatokból (Menne et al., 2005).

Több esetben (pl.: Miskolc, Szolnok, Siófok) az idősorok a vizsgált időszak elején módosultak. A miskolci mérőállomás új helyszínre költöztetésével 1990-ben a mért szélesség értéke hirtelen megnövekedett. A legjelentősebb dokumentált változásnak az automatizálás folyamata tekinthető, mellyel mind a szélmérő típusa (Fuess, Vaisala), mind a mérés módszere megváltozott. Ezen túlmenően a modernizáció gyakran a mérési magasságok megváltozásával is együtt járt. Például: Miskolc és Szolnok állomások 1997-ben, Siófok 1995-ben lett automatizálva. Miskolcon a mérőműszer magassága a standard 10 méterről 16,25 méterre változott, Siófokon 1995 óta 15,10 méteren mérnek. Szolnokon már az automatizálást követően két alkalommal is változott a szélmérő típusa, 2004-ben és 2011-ben.

Néhány állomáson, pl.: Szombathely és Sopron, a homogenizálás folyamata relatíve kisebb módosításokkal járt. Az automatizálást mindkét állomáson 1995-ben végezték, de egyéb befolyásoló tényezők is hatással voltak az idősorok homogenizására. Ilyen hatás volt például a szombathelyi állomás, nevezetesen annak költözése 2002-ben a szenzor magasságának változtatása nélkül, illetve Sopron kétszeri áttelepítése 2003 és 2005 években, amikor a szélmérő telepítési magassága 15,64 méterről 18,40 méterre változott.

A homogenizálás validációjára bevezetett mérőszámok, például a relatív becsült inhomogenitás (REI) és a relatív idősor-módosítás (RMS), definíció szerint arányosak a standard fluktuációval (Szentimrey, 2011).

Egy idősor fluktuációja

$$x(t)(> 0) \quad y(t)(> 0) \quad (t = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$F(x) = \left(\prod_{t=1}^n \max \left(\frac{x(t)}{y(t)}, \frac{y(t)}{x(t)} \right) \right)^{\frac{1}{n}}$$

Egy idősor standard fluktuációja

$$SF(x) = \left(\prod_{t=1}^n \max \left(\frac{x(t)}{\bar{x}_G}, \frac{\bar{x}_G}{x(t)} \right) \right)^{\frac{1}{n}},$$

ahol G geometriai közép

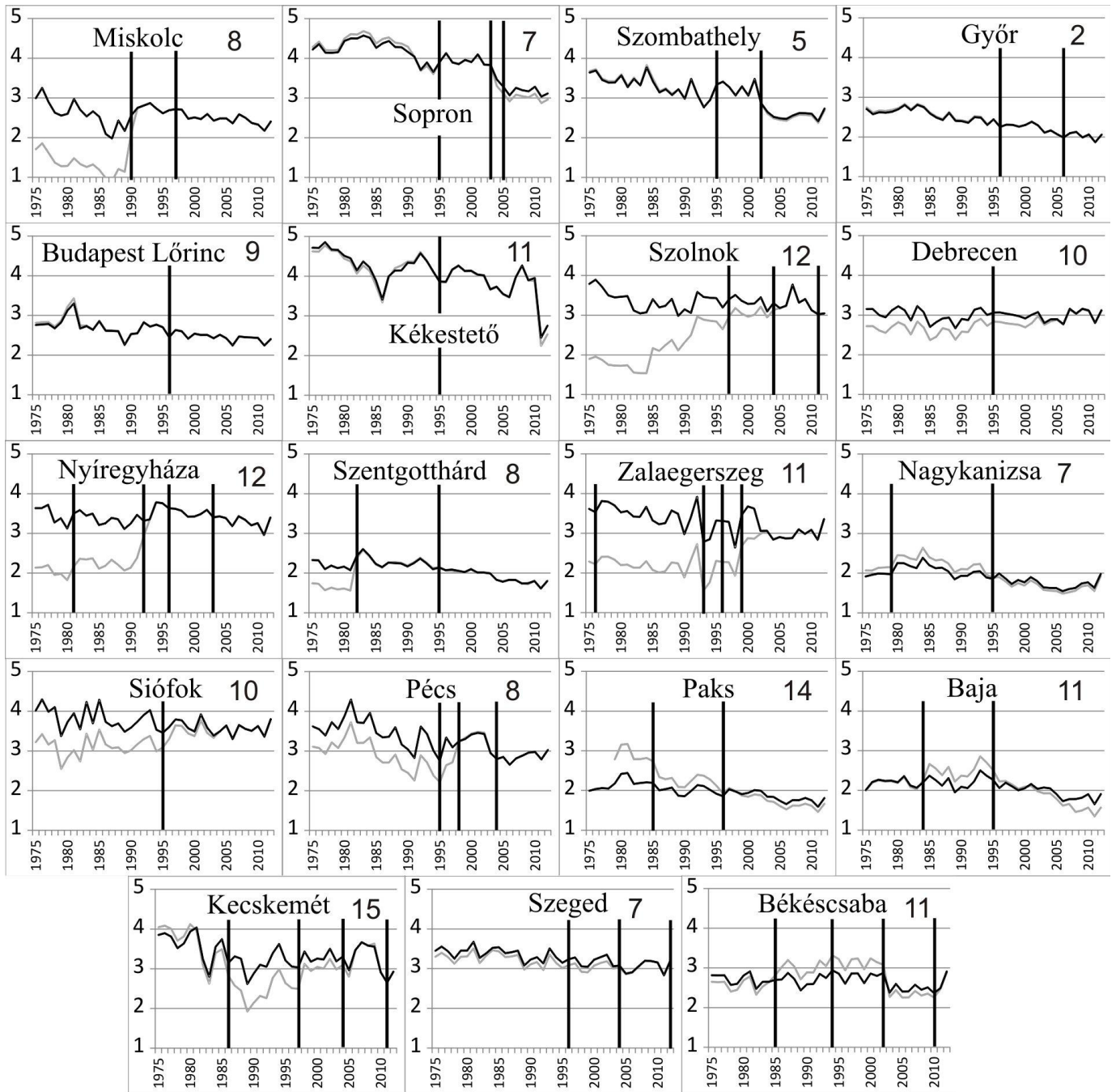
Relatívbecsült inhomogenitás (REI):

$$SF(\widehat{IH}^*) \approx SF(X_0^*)^{REI}$$

Relatív idősor-módosítás (RMS):

$$SF(X_0^*, X_H^*) \approx SF(X_0^*)^{RMS}$$

A homogenizálási eljárás alkalmazását követően a napi szélesség eloszlás megváltozott az eredetihez képest. A 2. ábra három kiválasztott állomás szélességének relatív gyakoriságát hasonlítja össze. A relatív becsült inhomogenitás (REI) és a relatív idősor-módosítás (RMS) Zalaegerszegen (11. állomás) volt a legnagyobb, Szombathelyen (3. állomás) a legkisebb, melyet az eloszlásfüggvények megváltozásának mértéke is jól jellemez. Zalaegerszegen a nagyobb szélességek irányába tolódott el az eloszlás az adatok módosítását követően.



1. ábra: Évi átlagos szélesség [ms-1] homogenizálás előtt (szürke) és után (fekete). A függőleges vonalak azokat az éveket jelzik, melyekben a homogenitást befolyásoló, a Nemzeti Éghajlati Adatbázisban dokumentált metaadat szerepel 1975 és 2012 között. Az évi töréspontok detektált száma a diagramok jobb felső sarkában van feltüntetve

Ismeretes, hogy a szélesség évi természetes változékonysága kisebb, mint más meteorológiai elemé, pl.: maximum hőmérséklet, napfénytartam. A napi szélesség havi REI értékeinek évi menete kis amplitúdóval változik az év során. A relatív becsült inhomogenitás időfüggését vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy állomási átlagai tavasszal (0,46) és nyáron (0,55) kicsit magasabbak, mint télen (0,39), illetve ősszel (0,44). A relatív idősor-módosítás havi átlagos értékei a zivataros hónapokban voltak nagyobbak, amikor a szélesség természetes változékonysága nagyobb.

A 3. ábrán a napi átlagos szélesség 90%-os percentilis értékei lineáris trend együtthatóinak értékeit ábrázoltuk néhány kiválasztott állomásra. Látható, hogy az idősorok-

ban rejlő inhomogenitások akár ellentétes irányú, hamis trendeket is eredményezhetnek (Péliné, 2014). Az egyes évek havi percentilis értékeire illesztett lineáris egyenes meredekségét statisztikai próbával (t-próba, $p = 0,05$ elfogadási szinttel) vizsgáltuk, a szignifikáns változásokat “*” karakter jelöli.

Az ábra jobb felső részén csökkenő tendencia figyelhető meg a teljes időszak (1975–2012) homogenizált adatsorainak trendjeiben, a szolnoki (zöld) és debreceni (lila) növekvő változások a homogenizálással jórészt eltűntek. Az automatizálás után (1997–2012) a detektált havi trendek előjele Győrött (kék) és Budapesten (piros) változatlan maradt, ellenben a Szolnok (zöld), Debrecen (lila) és Kecskemét (világoskék)

2. táblázat: Az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) részére átadott hazai szinoptikus állomások adatainak évenkénti megoszlása, mely az ERA Interim reanalízis adatbázis egyik adatforrása. Az alsó sorban az adott évben átadásra került állomások száma található

WMO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012			
12772																																				
12805																																				
12812																																				
12815																																				
12822																																				
12825																																				
12830																																				
12843																																				
12851																																				
12860																																				
12882																																				
12892																																				
12910																																				
12915																																				
12920																																				
12922																																				
12925																																				
12930																																				
12932																																				
12935																																				
12942																																				
12950																																				
12960																																				
12970																																				
12982																																				
12992																																				
Összes állomás	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	23	23	22	22	21	18	21	18	7	7	7	7	7	7	7	16	16	7	5	5	5	14	13			

állomáson megfigyelhető növekedések többsége az adatsorok inhomogenitásai miatti hamis trendek voltak.

ERA Interim reanalízis adatsorok. Szélklimatológiai vizsgálatainkhoz a globális reanalízis adatbázist (ERA Interim) is alkalmaztuk, melyet az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) állított elő kutatók, klímamodellizők részére. Az adatsorok a meteorológiában elterjedt szabványos bináris formátumokban (GRIB és netCDF) állnak rendelkezésre 128 földfelszíni és magaslégköri paraméterre a teljes Földet, illetve a definiált területet lefedő rácshálózati pontokra (*Berrisford*, 2009; *Dee*, 2011). A Kárpát-medence területére (45–49,5°É és 15–24°K) a finom (fél fokos) felbontású ERA Interim reanalízis adatbázis netCDF formátumú (u, v) szélkomponens mezőinek (1979–2012) feldolgozását végezzük el. Magyarország területére 43 rácspont esik.

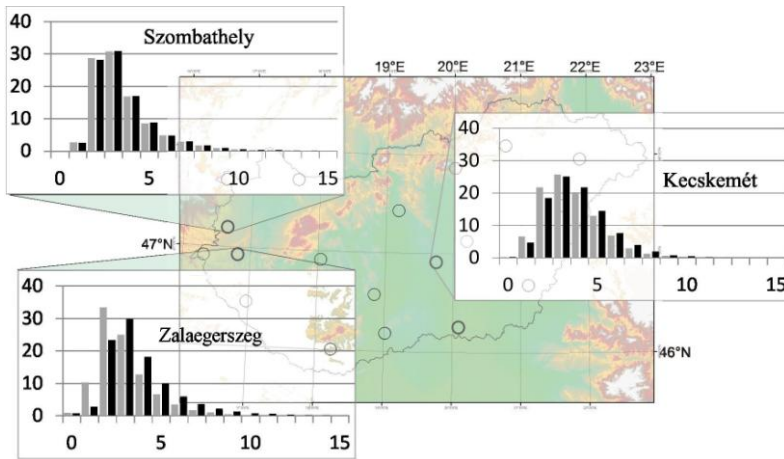
A MASH 3.03 szoftver segítségével ellenőriztük Kárpát-medence területére az ERA Interim reanalízis adatbázis 190 rácspontjában 1979–2012 közötti időszakra rendelkezésre álló 10 méterre számított átlagos napi szélsőérték idősorok homogenitását.

A vizsgálat eredménye egyértelműen bizonyította, hogy a rácstra interpolált adatsorok homogének. Az idősorok

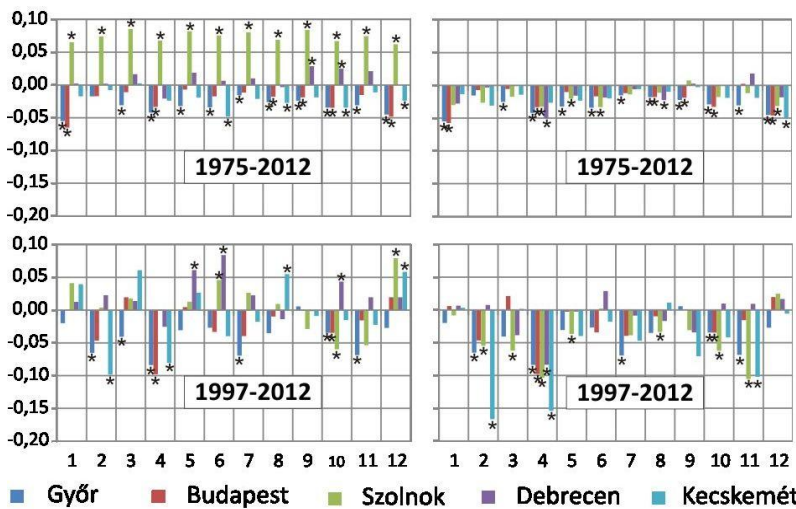
inhomogenitásának jellemzésére alkalmazott teszt statisztikák, homogenizálás előtti (TSB) és homogenizálás utáni (TSA) értékei gyakorlatilag nem változtak, a rácspontok 72%-ában a kritikus (20,57; szignifikancia szint: 0,05) érték alatt maradtak. Az évi relatív becslés inhomogenitás (REI) és az évi relatív idősor-módosítás (RMS) értékei mindössze a rácspontok 15%-ában vesznek fel nullától eltérő értéket (rácsponti átlagok: REI=0,02, RMS=0,04).

A rácstra interpolált homogén reanalízis adatsorok elemzése során szembesültünk alkalmazásuk korlátaival. A vizsgált rácsponti adatsorok alkalmazhatóságát csökkenti, hogy kevésbé adják vissza a hazánk tájegységeire jellemző szélsőértékeket, valamint minimálisak az egyes rácspontok közti eltérések. Mindezen problémáknak több valószínűsíthető oka van.

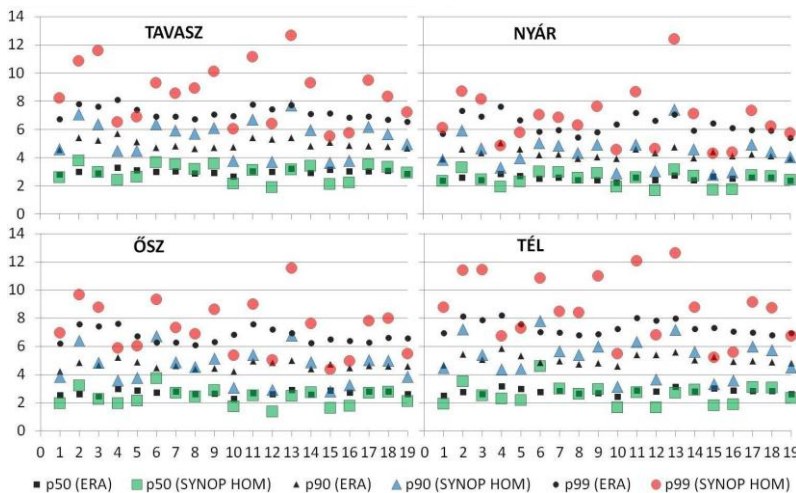
(1) A reanalízis adatbázis alapvetően kevés számú földfelszíni állomás mérési adatai figyelembevételével készült. A 2. táblázat foglalja össze, hogy adott évben mely hazai szinoptikus állomás kódolt formátumban rendelkezésre álló adatait adta át Magyarország az Európai Középtávú Meteorológiai Előrejelző Központ (ECMWF) részére. Jól megfigyelhető, hogy az átadott állomások



2. ábra: A napi szélesség [ms⁻¹] relatív gyakorisága [%] három kiválasztott állomáson homogenizálás előtt (szürke) és azt követően (fekete).



3. ábra: A napi átlagos szélesség 90%-os percentilis értékeinek lineáris trend együtthatói 1975–2012 (fent) és 1997–2012 (lent) időszakokra, Győr, Budapest, Szolnok, Debrecen, Kecskemét állomások idősorából számítva homogenizálás előtt (bal oldal) és után (jobb oldal). A szignifikáns változásokat „*” jelöli.



4. ábra: A vizsgált 19 állomás homogenizált adatsorából (színes) és az ERA Interim rácsponti adatokból (fekete) számított évszakos percentilisek (zöld – 50%, kék – 90%, piros – 99%) [ms⁻¹] 1979–2012 között

adatainak évenkénti megoszlása erősen változik az aktuális adatpolitika függvényében. Csupán öt állomás – Miskolc (12772), Budapest (12843), Debrecen (12882), Pécs (12942), Szeged (12982) – került megosztásra a kezdetektől fogva, 1979-től napjainkig. A szél – mely térben erősen változó meteorológiai elem – esetében e kevés számú állomás kis térbeli reprezentatívással bír, mely relatíve nagy interpolációs hibát eredményezhet. Ellenpéldaként megemlíthető a légnyomás, melynek becslése (interpolációja) 5–7 állomás figyelembevételével is eredményes lehet hazánk területére, hiszen az állomások térbeli reprezentatívása légnyomás tekintetében jóval nagyobb a szélhez viszonyítva.

(2) A mérési adatok interpolációját nem előzi meg az idősorok homogenizálása, így a prediktor adatok inhomogenitásai tovább csökkenthetik a reanalízis adatok megbízhatóságát.

(3) A meteorológiai elemek rácsra történő interpolációjánál nemcsak térben (térinformatikai probléma), hanem térben és időben is szükséges interpolálni, mellyel az éghajlati ismereteinket is hasznosítva határozzuk meg a rácsponti idősorokat. A reanalízis során adatasszimilációs problémát oldanak meg variációs analízis segítségével, feltételezve, hogy ahol rendelkezésre áll háttérmező, ami megegyezik az analízis mezővel. Ez a feltételezés azonban matematikailag téves, további hibaforrást jelent.

Elvégeztük a homogenizált mérési és reanalízis idősorok átlagos és szélsőértékeinek vizsgálatát, összehasonlítását az állomásokhoz legközelebbi rácspontokban. Az évi percentilis értékeket tekintve a medián esetében a 19 rácspont átlagos hibája +11% volt, mely tág határok közt mozgott (-24% és +64%). A magasabb percentilis esetében (90% és 99%) általában a reanalízis értékek alulbecslik a mérési adatokból számított értékeket, kivéve Győr (4), Budapest (5), Szentgotthárd (10), Nagykanizsa (12), Paks (15) és Baja (16) közelében, ahol a mért szélességek jelentősen alacsonyabbak a rácsponti értékeknél. Az ERA Interim rácspontok átlagos hibája a 90%-os percentilisre 2,5% (az egyes rácspontokban -31% és +53% között), a 99%-os percentilisre -7,5% (-39% és +40%) volt. A 4. ábrán a különböző évszakos percentilis értékek láthatók. Jól megfigyelhető, hogy a teljes vizsgált időszakban az ERA Interim adatbázis kialakításában számításba vett öt mérőállomás – Miskolc (1), Budapest (5), Debrecen (8), Pécs (14), Szeged (18) – percentilis értékeinek eltérése a rácspontban számított értékektől általában kisebb, mint a többi állomáson.

Összefoglalás. A fentiek alapján megállapítható, hogy megbízható, klimatológiai hosszúságú rácsponi adatsorok kialakításához elengedhetetlen a meteorológiai paraméterek mérési adatsorainak minőségellenőrzése, homogenizálása, illetve az éghajlati változók matematikailag helyes módszerekkel végzett térbeli és időbeli interpolációja.

Jó példa erre a CARPATCLIM (Szalai et al., 2014) projekt eredményeként előálló adatbázis, melynek kialakítása során 18 meteorológiai változó homogenizálását, továbbá 10 km-es rácsra történő interpolálását végezték el 9 ország részvételével, a határ menti állomások adatainak harmonizálásával. A CARPATCLIM széladatok előállításánál a fent említett problémákat ugyan elkerülték (minőségellenőrzés, homogenizálás, matematikailag korrekt módszerek alkalmazása), azonban több állomás esetében a napi szélességadatok kiszámításánál csupán három adat állt rendelkezésre, mely esetenként szintén negatív hatással van a rácsponi sorokra.

Kutatásaink során elemeztük a RegCM regionális klíma-modell referencia időszakokra (1961–1990), közeljövőre (2021–2050) és a század végére (2071–2100) vonatkozó modellfuttatások talajszél-előrejelzéseit. Megállapítottuk, hogy a referencia időszakra a modell erősen felülbecsli a szélességet Magyarország területére, melynek hibakorrekciója szükséges a változó klimatikus viszonyokkal együtt módosuló szélklimatológiai paraméterek megbízható becslése érdekében. A referencia időszakra rendelkezésre álló ERA40 reanalízis adatbázis ismert hiányosságai miatt a korrekciót a CARPATCLIM adatbázis alapján tervezzük elvégezni, mellyel az idősorok eloszlásfüggvénye valóságghűbben leírható.

Összességében megállapítható, hogy szélklimatológiai vizsgálatokhoz, illetve a megújuló energiaforrások potenciáljainak megbízható becslése érdekében törekedni kell az ellenőrzött, homogenizált adatsorok alkalmazására.

Irodalom

- Berrisford, P., Dee, D. P., Fielding, K., Fuentes, M., Kallberg, P., Kobayashi, S. and Uppala, S. M., 2009: The ERA-Interim Archive. ERA Report Series No. 1. ECMWF. Reading, UK.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., H'olm, E. V., Isaksen, I., Kallberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J.-J., Park, B.-K., Peubey, C., De Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J.-N. and Vitart, F., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137, 566.
- Menne, M.J. and Williams Jr., C.N., 2005: Detection of undocumented change points using multiple test statistics and composite reference series. *J. Climate* 18, 4271–4286.
- Péliné, N. Cs., Radics K. és Bartholy J., 2012: Reanalízis idősorok szélklimatológiai vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények Különszám. www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2012_cikkek/25_Peline_N_Csilla-Radics_Kornelia-Bartholy_Judit.pdf (2014.03.02.)
- Péliné, N. Cs., Bartholy, J. and Pongrácz, R., 2014: Homogenization of Hungarian daily wind speed data series. *Időjárás* 118, 119–132.
- Szalai S., Bihari Z., Lakatos M., Szentimrey T., 2014: The CARPATCLIM (Climate of Carpathian Region) project, 8th Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases. Budapest, Hungary, Abstract book, pp. 41
- Szentimrey T., 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary. WMO, WCDMP-No. 41, 27–46.
- Szentimrey T., 2011: Manual of homogenization software MASHv3.03. *Hungarian Meteorological Service*, Budapest. pp. 64

KISLEXIKON

POCKET ENCYCLOPAEDIA

folytatás a 166. oldalról.

piranométer <gör.>, *pyranometer*, *solarimeter*, a sík egyik oldaláról, a teljes féltérből beérkező napsugárzás, rövidhullámú sugárzás mérésére szolgáló műszer. A műszer érzékelőjének mechanikus védelmét, s egyúttal a spektrális elválasztást szolgálja az érzékelő fölé helyezett üvegbúra. A műszerben érzékelőként valamikor bimetállt, manapság termooszlopot, fotódiódát vagy fotóvoltaikus elemet, napelemet használnak. (Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: *Piranométer színtezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre*)

pirgeométer < gör.>, *pyrgeometer*, a talajközeli hosszuhullámú sugárzást egyenleg, a légköri visszasugárzás és a felszín közeli légréteg hőmérsékletén lévő felületből kilépő sugárzás közötti különbség mérésére szolgáló műszer. ~rel csak éjszaka, amikor nincs rövidhullámú sugárzás és szélcsendben, amikor a konvektív energiaátadás kicsi, lehet mérni. (Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: *Piranométer színtezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre*)

pirheliométer < gör.>, *pyrheliometer*, a direkt, a közvetlenül a Napból érkező sugárzás mérésére szolgáló műszer. A direkt sugárzást a szórt (*diffúz*, *égbolti*) sugárzástól egy megfelelően szűk, a Napra irányított cső (*tubus*) segítségével lehet elkülöníteni. (Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: *Piranométer színtezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre*)

pirradiométer < gör.> a sík egyik oldaláról, a teljes féltérből beérkező teljes (= *direkt* + *diffúz*) sugárzás mérésére szolgáló műszer. Felépítése hasonló a → *piranométer*hez. A műszer érzékelőjének mechanikus védelmére csak olyan anyag alkalmas, amely mind a rövidhullámú, mind a hosszuhullámú sugárzást maradéktalanul átengedi. (Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: *Piranométer színtezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre*)

PIRANOMÉTER SZINTEZÉSI HIBÁJÁNAK HATÁSA A MÉRT GLOBÁLSUGÁRZÁS ÉRTÉKEKRE

IMPLICATIONS OF THE LEVELING ERROR OF PYRANOMETER ON THE MEASURED VALUES OF GLOBAL RADIATION

Menyhárt László¹, Anda Angéla¹, Nagy Zoltán²

¹Pannon Egyetem Georgikon Kar, Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék, 8360 Keszthely, Festetics u. 7.,
menyhart-l@georgikon.hu, anda-a@georgikon.hu

²Országos Meteorológiai Szolgálat, Léggörfizikai és Méréstechnikai Osztály, 1181 Budapest, Gilice tér 39., nagy.z@met.hu

Összefoglaló. A piranométer szintezési hibájának a következményeit vizsgáltuk. Éves, havi, napi és 10 perces globálsugárzás összegek esetében meghatároztuk a néhány fokos kibillenés által okozott relatív hibát. A vízszintes és a ferde felületre érkező globálsugárzást egyaránt a direkt-, diffúz- és reflexsugárzásból állítottuk elő. Ezeket a komponenseket gondosan beállított, folyamatosan felügyelt műszerekkel mértük. 2°-os kibillenés délre az éves összegben 1,4%-os relatív hibát eredményezett. A novemberi, decemberi és januári havi összeg hibája meghaladta a 3%-ot. Derült, téli napokon a napi összeg hibája 9% körül volt. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a megbízható globálsugárzás adatok érdekében szükséges egy olyan módszer kifejlesztése, amellyel az esetleges szintezési hiba utólag is kimutatható.

Abstract. Implications of the leveling error of the pyranometer were investigated. Relative error caused by inclination of a few degrees was calculated for the annual, monthly, daily and 10-minute global radiation. Global irradiance incident on both the horizontal and the tilted surface was calculated from the direct beam, diffuse and the ground-reflected irradiance. These components were measured by accurately leveled and regularly supervised instruments. A tilt as small as 2° towards the South caused 1,4% relative error of the annual sum. The same tilt resulted in relative error of over 3% in the monthly sum of November, December and January. Even larger error, about 9% was found in the daily sum on clear sky days in winter. These results show that in order to obtain reliable values it is necessary to develop a method with which the accidental tilt error can be detected after the measurement.

Bevezetés. Az utóbbi évtizedekben folyamatosan nőtt az igény a nagy pontosságú globálsugárzás adatok iránt. A meteorológiai és klíma modellek, a napkollektoros és fotoelektromos rendszerek tervezése, a szoláris építészeti egyaránt megbízható, nagy térbeli és időbeli felbontású globálsugárzás adatokat igényel. Ehhez igazodva a sugármérő eszközök is jelentős fejlődésen mentek keresztül. A meteorológiai állomások közül egyre több helyen van globálsugárzás mérés és általánossá vált a piranométerek ipari célokra történő felhasználása is. Mindezek ellenére más meteorológiai paraméterrel összevetve a napsugárzás mérése van a legtöbb hibalehetőségnek kitéve (Moradi, 2009). Ezek a hibák két nagy csoportba sorolhatók: a mérőeszköz felépítéséből, a mérés elvéből következő pontatlanságok, illetve a mérőeszköz nem megfelelő elhelyezéséből, működtetéséből származó hibák (Younes et al., 2005). Az első csoportba tartozik a piranométer koszinuszhibája, azimuthibája, a szenzor érzékenységének hőmérsékletfüggése, hullámhosszfüggése, stabilitás és linearitás hibája valamint a termoelemes piranométerek esetén a hosszú hullámú veszteségből származó offszethiba. A második csoportba tartozik a piranométer nem megfelelő vízszintezése, a horizontkorlátozás, a bűrára kerülő por, hó, vízcseppek, madárürülék. Továbbá idetartozik a kábelek mechanikai terheléséből (piezoelektromosság) származó és a mérőberendezés körüli elektromos tér okozta hiba is. Az elmúlt években számos olyan eljárást publikáltak, amely alkalmas a globálsugárzás idősorok mérés utáni ellenőrzésére (Geiger et al., 2002, Muneer és Fairouz, 2002, Younes et al., 2005, Shi et al., 2008, Moradi, 2009, Tang et al., 2010, Journée és Bertrand, 2011, Mirás et al., 2012). Ezek a módszerek egy alsó és egy felső küszöbértéket határoznak meg minden egyes méréshez, és hibásnak tekintik azokat az értékeket, amelyek nem esnek a két küszöbérték közé. Így kiszűrjük a kiugróan alacsony

vagy magas értékeket, de nem foglalkoznak azzal, hogy a küszöbértékek közé eső adat is lehet hibával terhelt.

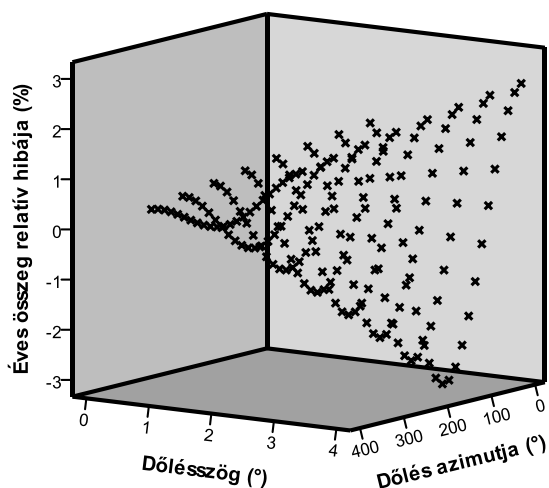
Szintezési hiba korrekciójára dolgoztak ki módszert Bacher et al. (2013). A derült égbolthoz tartozó globálsugárzást egy modellel becsüli, majd ez alapján kvantilis regresszió segítségével korrigálja az adatokat a dőlést jellemző szögek meghatározása nélkül.

E tanulmányban azt vizsgáljuk, hogy egy néhány fokos szintezési hiba milyen mértékben módosítja a globálsugárzás évi összegének, havi összegének, napi összegének és a 10 perces átlagának a mért értékét. 5°-os dőlés már szabad szemmel is egyértelműen látható, ezért vizsgálatainkat az ennél kisebb dőlésszögekre korlátoztuk. A gyártók a piranométerek pontos vízszintezése érdekében vízmértéket, ún. libellát építenek a műszer házára. Gondos beállítás esetén a szenzor síkja és a vízszintes által bezárt szög a piranométer típusától függően 0,1° vagy 1° alá szorítható. Ha a vízszintezés nem volt pontos, vagy az állvány a mérés ideje alatt megbillent, a libelláról csak a dőlés tényét tudjuk leolvasni, a mértékét nem. Mivel ilyen esetekben sem a dőlés iránya, sem a nagysága, sem ezeknek az időbeli változása nem ismert, utólagos korrekcióra nincs lehetőség. A műszer gondos telepítése esetén is előfordulhat, hogy a műszer később megbillen, különösen olyan automata állomásokon, ahol a műszer több évre „magára hagyva” végzi a méréseket.

A globálsugárzás mérés szintezési hibája fokozottan jelentkezik a víz fölötti, mozgó hajóról vagy bójáról történő mérések esetén. Periodikus mozgást végző piranométerrel mért sugárzásadatok korrekciós lehetőségével foglalkozott Long et al., (2010) és Boers et al., (1998). Katsaros és DeVault (1986) elméleti számítások alapján vizsgálta, hogy mekkora hibát okoz, ha folyamatosan dőlöngél, illetve ha fixen, de ferdén van rögzítve a piranométer. Számításaiban a vízszintes felületre vonatkoztatott direkt/globál arányt 0,7-nek tekintette. Dolgo-

zatunk újdonsága abban áll, hogy ezt az arányt nem becsültük, hanem mért adatokkal dolgoztunk.

A vízszintes és a kibillentett piranométerre eső globálisugárzás. A piranométer kibillenéséből származó hiba függ a nap helyzetétől, a piranométer dőlésétől és a direkt-sugárzás/globálisugárzás aránytól. Ha ezeket a paramétereket megfelelően kis értékkel változtatva szeretnénk méréseket végezni, az rendkívül hosszantartó és költséges volna. Ezért nem kibillentett sugármérőkkel dolgoztunk, hanem a szabvány szerint mért direkt-, diffúz- és reflexsugárzásból állítottuk elő a ferde piranométerre eső globálisugárzás értékét. A vizsgálatainkhoz felhasznált mérések 2011. január 1. és december 31. között, az Országos Meteorológiai Szolgálat pestszentlőrinci obszervatóriumában (47°25'45"É és 19°10'56"K) történtek. A diffúz- és reflexsugárzást Kipp&Zonen CM11 piranométer, a direkt-sugárzást Kipp&Zonen CH1 pirheliométer mérte. A méréseket gondosan beállított műszerekkel, folyamatos felügyelet mellett végezték. A mintavételezés 2 másodpercenként történt, ezeknek a 10 perces átlaga került az adatgyűjtőre. A napkoordinátákat a 10 perces intervallum közepéhez számítottuk a *Reda és Andreas* (2004) tanulmányában leírt algoritmus szerint.



1. ábra: Globálisugárzás évi összegének relatív hibája a piranométer dőlésének nagysága és iránya (azimut) függvényében.

A piranométer egy félgömbnyi, 2π szteradián nagyságú térszögből érkező rövidhullámú sugárzás intenzitását méri. Vízszintes piranométer esetén ez a direkt-sugárzás függőleges komponensének és a diffúz sugárzásnak az összege. Ha a műszert kibillentjük, akkor a direkt-sugárzásnak a kibillentett felületre merőleges összetevőjével kell számolnunk. A ferde piranométer kevesebbet lát az égboltból, ezért a diffúz sugárzásból is kevesebbet mér. Ugyanakkor a felszínről visszaverődő reflexsugárzás egy része többletként jelenik meg a mérésben. Vizsgálatainkban olyan esetekre szorítottunk, ahol a dőlés kismértékű, 5°-nál kisebb, ezért számításainkban a diffúz és reflexsugárzást egyaránt izotrópnak tekintettük. A használt egyenletek:

$$G_H = B \cdot \sin\varphi + D \tag{1}$$

$$G_f = B_f + D_f + R_f \tag{2}$$

ahol G_H a vízszintes felületre érkező globálisugárzás; B a mért direkt-sugárzás; φ a napmagasság; D a mért diffúz sugárzás; G_f a ferde felületre érkező globálisugárzás; B_f a direkt-sugárzás ferde felületre eső komponense; D_f a ferde felületre érkező diffúz sugárzás és R_f a ferde felületre érkező reflexsugárzás. A (2) egyenlet jobb oldala így számolható (*Iqbal*, 1983):

$$B_f = B[\sin\varphi \cdot \cos s + \cos\varphi \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \sin s] \tag{3}$$

$$D_f = D \cdot \frac{1 + \cos s}{2} \tag{4}$$

$$R_f = R \cdot \frac{1 - \cos s}{2} \tag{5}$$

ahol s a ferde síknak a vízszintessel bezárt szöge; α a Nap azimutja; γ mutatja, hogy merre dől a piranométer ($\gamma=0$ esetén délre dől és nyugatra nő az azimuthoz hasonlóan); R a mért reflexsugárzás. A (4) és (5) egyenletekből jól látható, hogy ha kicsi a dőlésszög (s), akkor $D_f \approx D$ és $R_f \approx 0$. Vagyis a dőlés miatti változás lényegében a direkt komponenshez köthető. Mivel a vízszintes felületre számított és mért globálisugárzás között előfordul kismértékű eltérés, ezért használtuk vízszintes esetben is a számított értéket a mért érték helyett. A mérés relatív hibáját az

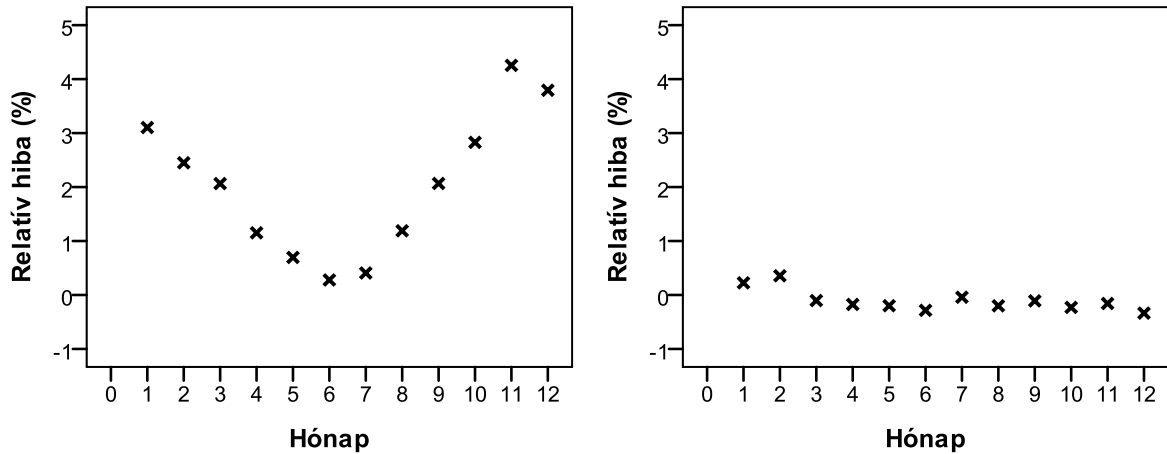
$$E = \frac{G_f - G_H}{G_H} \tag{6}$$

összefüggéssel határoztuk meg. Ha a mért értékek közül valamelyik negatív volt (horizont körüli mérések), akkor azt 0 értékkel helyettesítettük, illetve a (2) egyenletben a B_f direkt komponenset csak akkor vettük figyelembe, ha az pozitív. Ugyanis előfordulhat, hogy pl. a nyugatra döntött piranométer esetén napkelte körüli mérésnél a (3) egyenlet alapján B_f értéke negatívnak adódik. γ értékét 0°–345° között 15°-onként, s értékét 0°–4,5° között 0,5°-onként változtattuk. Ezekkel a szögekkel minden rekord esetén kiszámoltuk a globálisugárzás értéket, majd ezek évi összegének, havi összegének, napi összegének és a 10 perces átlagnak számítottuk a relatív hibáját. A piranométer dőlését egész évben állandónak tekintettük.

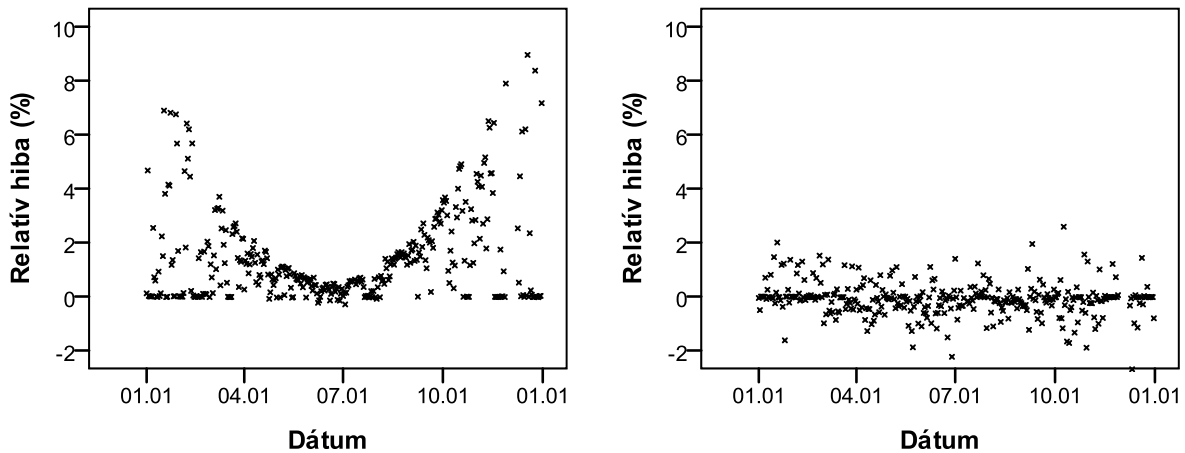
Eredmények. A globálisugárzás évi összegének a hibáját mutatja az 1. ábra. A vizsgált dőléstartományban adott irányú dőlés esetén a hiba közel egyenesen arányos a dőlésszöggel. Adott nagyságú dőlés esetén pedig függ a dőlés irányát megadó szög koszinuszától, de azzal nem egyenesen arányos. Amikor északra ($\gamma = 180^\circ$) dől a piranométer, akkor nagyobb az évi összeg csökkenése, mint az a növekedés, amit ugyanilyen mértékű délre ($\gamma = 0^\circ$) dőlés esetén tapasztalunk. Ennek megfelelően a relatív hiba nagyságát a következő egyenlettel becsülhetjük:

$$E_{\text{év}} = s(-0,00023 + 0,0070 \cos\gamma) \tag{7}$$

ahol $E_{\text{év}}$ a globálisugárzás évi összegének relatív hibája, s a dőlésszög fokban mérve, γ pedig a dőlés azimutja. Az illeszkedést jellemző $R^2 = 0,994$ érték rendkívül jó illeszkedésről tanúskodik. Ha a piranométer északra dől, akkor a dőlésszög 1°-os növekedése -0,0068 többlethibát jelent. Ez az érték délre dőlés esetén 0,0065. Legkisebb a hiba a K-Ny irányú dőlés esetén, ekkor 1 fokos dőlésszög -0,0002 relatív hibát eredményez.



2. ábra: A globálsugárzás havi összegének relatív hibája 2°-os délre (a), illetve nyugatra (b) dőlés esetén



3. ábra: A globálsugárzás napi összegének relatív hibája 2°-os délre (a), illetve nyugatra (b) dőlés esetén

A havi összeg, a napi összeg és a 10 perces átlag relatív hibáját 2°-os kibillenés esetén mutatjuk be, ami nem ritka a mérések során. Déli irányba történő kibillenés esetén a legkisebb hibát a júniusi összegben, a legnagyobbat a novemberiben figyeltük meg (2a. ábra). Nyári hónapokban a relatív hiba 1% alatti, a téli időszakban 2,5–4% közötti érték. Minél kisebb a napsugaraknak a vízszintes-szel bezárt szöge, annál nagyobb mértékben torzítja a kibillenés a globálsugárzás mért értékét. Ez okozza a nagyobb relatív hibát a téli időszakban mind a havi, mind a napi összegben.

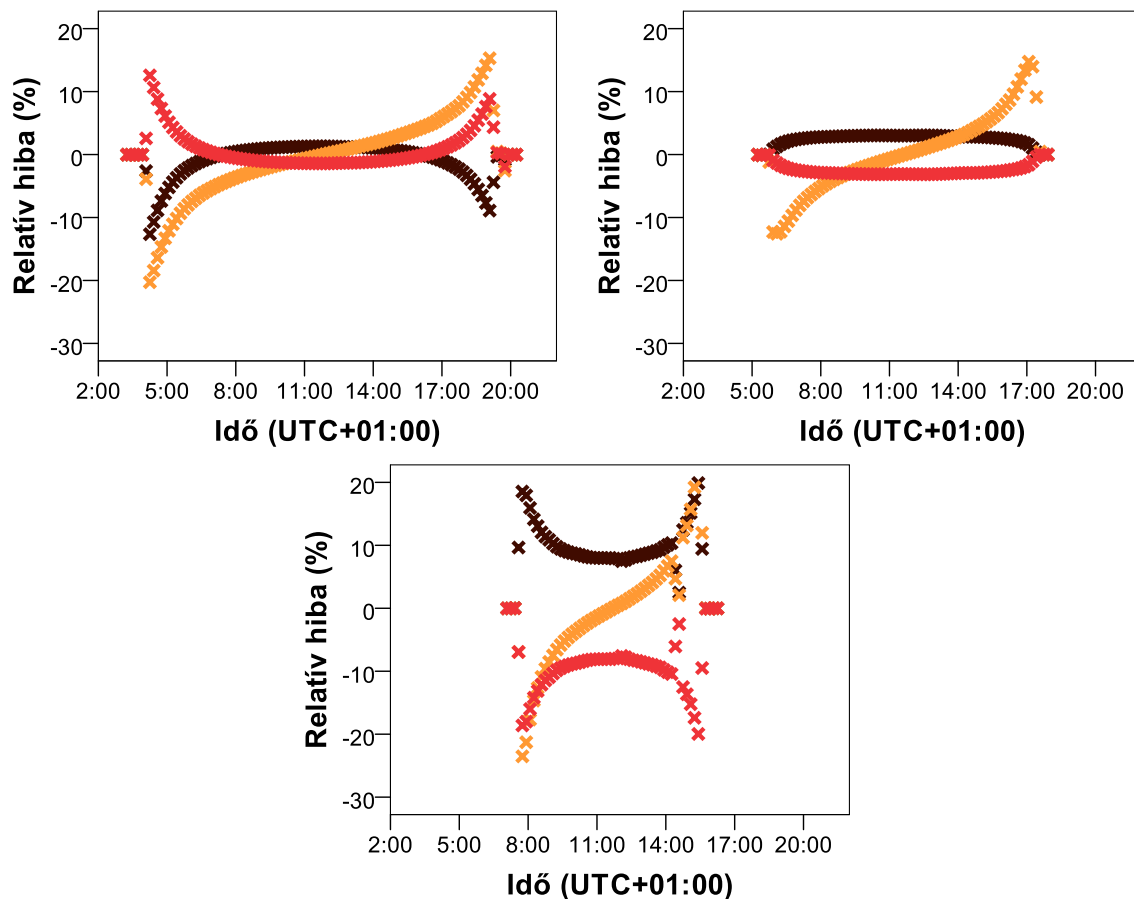
A napi összeg hibájának jellegzetes évi menete van (3. ábra). A 0 körüli relatív hiba azokhoz a napokhoz tartozik, amikor egész nap felhős volt az égbolt, a direkt sugárzás nulla, vagy elhanyagolható mennyiségű volt. Az ábrázolt pontok felső burkológörbéje kirajzolja a teljesen derült napok esetén megfigyelhető relatív hibát (3a. ábra). Ennek értéke 9% fölött van a téli napforduló környékén, míg 0,6% körül a nyári napforduló környékén.

Az évi, a havi és a napi összegben egyaránt É-D irányú kibillenésnél találtuk a legnagyobb abszolút értékű hibát. K-Ny irányú dőlés esetén a délelőtti és a délutáni ellentétes előjelű hiba gyakorlatilag kioltja egymást, ha az égbolt borultsága napközben számottevően nem változott (2b., 3b. ábra). Napi összeget tekintve Ny irányú dőlés esetén a legnagyobb pozitív előjelű hibákat azokon a napokon találjuk, amikor délután volt derült az égbolt,

délelőtt pedig borult. A fordított helyzet pedig a legnagyobb abszolút értékű, negatív előjelű hibát eredményezi. Ezekben az esetekben kb. 2% hibát okoz a 2°-os K-Ny irányú kibillenés.

A globálsugárzás 10 perces átlagának napi menetét vizsgálva a piranométer dőlése mellett a Napnak az égbolton leírt pályája is jelentősen befolyásolja a megfigyelt hibát. Ennek szemléltetésére a 3 legkülönbözőbb esetet mutatjuk be. Egy-egy teljesen derült napot kerestünk a nyári és téli napforduló, valamint a napéjegyenlőségek környékéről (4a., b. és c. ábra). A többi nappal megfigyelhető hibagörbék átmenetet képeznek e szélsőértékek között. A téli napforduló környékén 2°-os É-D irányú dőlés az egész nap folyamán 8%-nál nagyobb hibát eredményez (4c. ábra), de alacsony napállásnál ennek értéke 20% körüli. 30° feletti napmagasságnál viszont 2°-os kibillenés 2%-nál kisebb relatív hibát eredményez függetlenül attól, hogy milyen irányba dőlt meg a piranométer.

Összegzés. A piranométer kismértékű, szabad szemmel nem megfigyelhető, 2°-os megbillenése is jelentős, 1–8%-os hibát okozhat a globálsugárzás napi összegében. Havi összeget tekintve ez a hiba a dőlés nagyságától és irányától függően 0,5–4% közötti, évi összeg esetén pedig 0,1–2%. Legnagyobb hiba a globálsugárzás pillanatnyi értékében jelenik meg alacsony napállásnál. A piranométerek osztályozására vonatkozó ISO-9060 szabvány szerint a globálsugárzás napi összegének a bizonyta-



4. ábra: A globálisugrászás 10 perces átlagának relatív hibája 2° -os dőlés esetén a nyári napforduló környékén (a), az őszi napéjegyenlőség környékén (b) és a nyári napforduló környékén (c) dőlés azimutja $\times \rightarrow 0^\circ$ (délre), $\times \rightarrow 90^\circ$ (nyugatra), $\times \rightarrow 180^\circ$ (északra)

lansága nem haladhatja meg a 2%-ot a referencia piranométer, az 5%-ot az első osztályú és a 10%-ot a másodosztályú piranométer esetén (ISO, 1990). Vizsgálataink azt mutatják, hogy 1° -os kibillenés már nagyobb hibát okoz, mint a referencia piranométernél megengedett érték. $2,5^\circ$ -os kibillenés pedig a másodosztályú piranométernél megengedettnél is nagyobb hibát eredményez. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy szükség van egy olyan módszer kifejlesztésére, amivel az adatsorból utólag ellenőrizhető, hogy megfelelő volt-e a piranométer vízszintezése.

Irodalom

- Bacher, P., Madsen, H., Perers, B. and Nielsen, H., A., 2013: A non-parametric method for correction of global radiation observations. *Solar Energy* 88, 13–22.
- Boers, R., Mitchell, R.M. and Krummel, P.B., 1998: Correction of aircraft pyranometer measurements for diffuse radiance and alignment errors. *Journal of Geophysical Research* 103(D13), 16753–16758.
- Geiger, M., Diabate, L., Menard, L. and Wald, L., 2002: A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation. *Solar Energy* 73(6), 475–80.
- ISO, 1990: Solar Energy – Specification and Classification of Instruments for Measuring Hemispherical Solar and Direct Solar Radiation. *International Organization for Standardization*, ISO-9060.
- Iqbal, M., 1983: An introduction to solar radiation. *Academic Press*, New York, (11), 303–334.
- Journée, M. and Bertrand, C., 2011: Quality control of solar radiation data within the RMIB solar measurements network. *Solar Energy* 85, 72–86.
- Katsaros, K. B. and DeVault, J. E., 1986: On irradiance measurement errors at sea due to tilt of pyranometers. *Journal of atmospheric and oceanic technology* 3, 740–745.
- Long, C.N., Bucholtz, A., Jonsson, H., Schmid, B., Vogelmann, A. and Wood, J., 2010: A Method of Correcting for Tilt from Horizontal on Downwelling Shortwave Irradiance Measurements on Moving Platforms. *The Open Atmospheric Science Journal* 4, 78–87.
- Miras-Avalos, J. M., Rodriguez-Gomez, B. A., Meizoso-Lopez, M. C., Sande-Fouz, P., Gonzalez-Garcia, M. A. and Paz-Gonzalez, A., 2012: Data quality assesment and monthly stability of ground solar radiation in Galicia (NW Spain). *Solar Energy* 86, 3499–3511.
- Moradi, I., 2009: Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Energy* 34, 1–6.
- Muneer, T. and Fairouz, F., 2002: Quality control of solar radiation and sunshine measurements—lessons learnt from processing worldwide databases. *Building Services Engineering Research and Technology* 23(3), 151–66.
- Reda, I. and Andreas, A., 2004: Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications, *Solar Energy*. 76(5), 577–589.
- Shi, G.Y., Hayasaka, T., Ohmura, A., Chen, Z.H., Wang, B., Zhao, J.Q., Che, H.Z. and Xu, L., 2008: Data quality assessment and the long-term trend of ground solar radiation in China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47, 1006–1016.
- Tang, W., Yang, K., He, J. and Qin, J., 2010: Quality control and estimation of global solar radiation in China. *Solar Energy* 84, 466–475.
- Younes, S., Claywell, R. and Muneer, T., 2005: Quality control of solar radiation data: present status and proposed new approaches. *Energy* 30, 1533–1549.

SZÉLENERGETIKAI VIZSGÁLATOK AZ ÓBUDAI EGYETEMEN

WIND ENERGETIC EXAMINATIONS AT ÓBUDA UNIVERSITY

Kádár Péter

Óbudai Egyetem KVK Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi u. 96/b, kadar.peter@kvk.uni-obuda.hu

Összefoglalás. Az Óbudai Egyetemen egy évtizede folynak széleenergetikai kutatások. Áttekintést adunk a szélturbina fejlesztéséről (2009), a széleenergia korrelációs elemzéseiről (2007), a kisléptékű szélturbina mérésekről (2011) és az épület szélklimájának feltérképezéséről (2012).

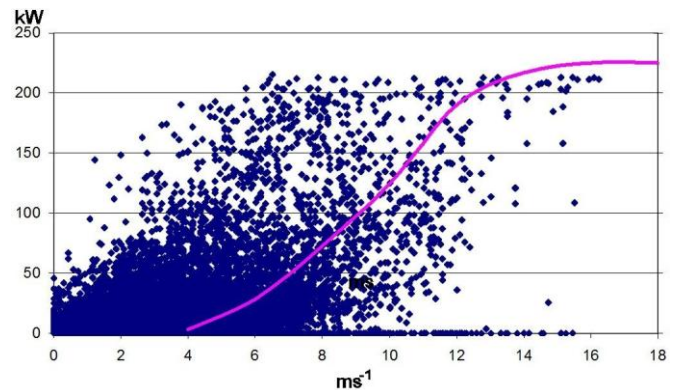
Abstracts. Wind energetic researches have been going on at University of Óbuda (Budapest, Hungary) for a decade. We give an overview on development of the wind turbine (2009), the correlation analyses of the wind power (2007), the small scale wind turbine measurements (2011) and mapping of the wind climate of the building (2012).

Billenő-lapátos VAWT. Az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Inté-

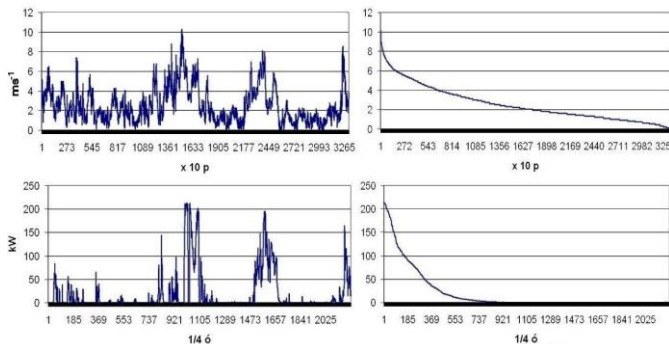
zői mérés korrelációjának vizsgálata – megtermelt energiamentiség alapján.



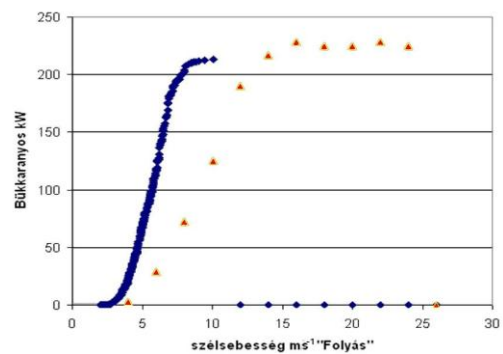
1. ábra: Dudás féle billenő-lapátos VAWT



2. ábra: Valós idejű adatok párosítása. A Bükkaranyosi szél erőmű kimenő teljesítményének és a folyási szélmérések kapcsolata, átszámítva rotormagasságra



3. ábra: Időfüggvényekből képzett eloszlásfüggvények tényleges mérési adatok alapján. Felül: szélsébség, eloszlás, Folyás; alul: termelés, eloszlás, Bükkaranyos, 2005.05.09–31.



4. ábra: A bükkaranyosi karakterisztika a folyásimérés alapján

zetével való együttműködés keretén belül Dudás Péter hallgató kifejlesztett egy újszerű függőleges tengelyű szélturbinát. (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine). Ennek lényege, hogy a függőleges tengelyen keresztül-fürt vízszintes tengelyre két lapát van rögzítve (1. ábra). A szélnyomás ezt megbillenti, minek hatására a függőlegeshez közelebb álló lapát nagyobb légellenállást fejt ki, mint a másik oldali lapát, így a két nyomatek nem egyenlő, a vízszintes tengely elfordul. Amikor a tengely átfordul, a másik lapát billen az előbbi pozícióba, a forgás folyamatos lesz. A kísérlet sikeres volt, bár energetikai méréseket a TDK munka keretében nem folytattunk.

Széljárások energetikai korrelációja. A számítás célja egy erőmű tényleges termelésének és a közeli meteoro-

A szél erőművek energia-termelésének vizsgálatok több időskála is elképzelhető:

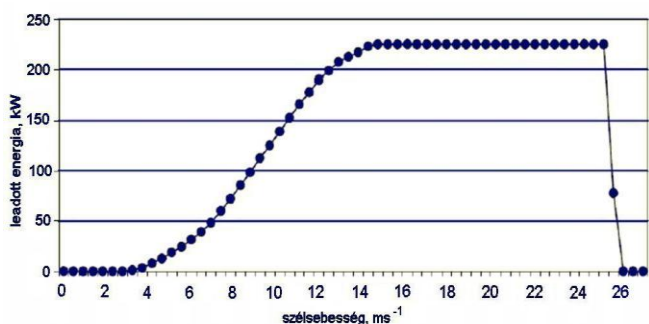
- az egyik a valós idő, amikor a pillanatnyi szélsébség ismeretében a pillanatnyi teljesítmény számítható, illetve mérések esetén a pillanatnyi szélsébséget a pillanatnyi teljesítményhez viszonyítjuk;
- a másik megközelítés, amikor nagyobb időtartam alatti energiatermelést nézünk, tehát az adott energiatermelés szélenergiából mennyi energiát vesz ki az erőmű. Ezt a megközelítést használják a megtérülés számításánál, amikor az évi megtermelt energiát becslik.

Pontos mérések esetén (egy helyen és időben történő) a szél erőművek karakterisztikáját pontosan kimérhetjük, a gyári karakterisztikával összevethetjük. A rendelkezésre

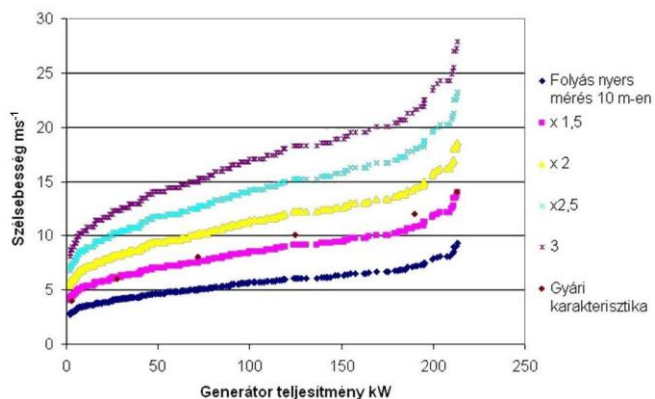
álló mérések (vagy becslések) sokszor nem teszik lehetővé, hogy a szélerőmű közvetlen közeléből származzanak a széladatok (2. ábra).

Minél pontosabban mérjük a szél pillanatnyi sebességét, annál inkább azt tapasztaljuk, hogy egy percen belül is igen nagy a szélsébség ingadozás, a turbulencia. Ez a turbulencia lokális, azaz a közelben ez hasonló energiataartással, de más lefolyással történik. Ezek szerint egy közeli szélsébségmérés nem azonos, de hasonló energiataartalmú szélsébség időbeli lefolyást mér. Ez ad alapot arra, hogy a toronytól több tíz km távolságban levő szélsébségméréseket is felhasználhatunk becslésre (különösen, ha azonos szélsébsátnáról van szó).

A számítás menete. Mint azt a 3. ábra is mutatja a valósidejű (pl. ¼, fél vagy 1 órás időtartamokra számított,



5. ábra: A Bükkaranyoson alkalmazott V27-es gép gyári karakterisztikája

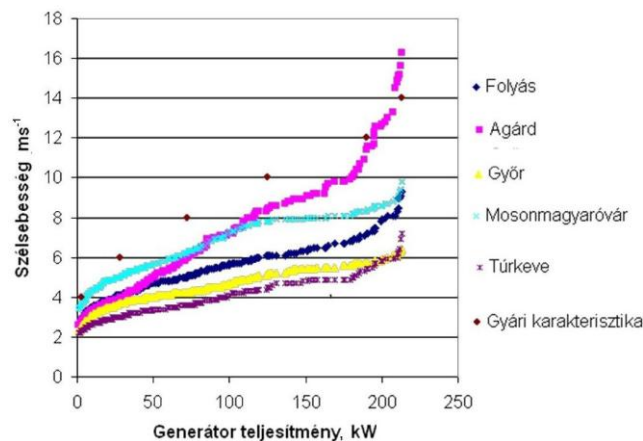


7. ábra: Átskálázási tényező meghatározása

szinkronba hozott átlagok) szélsébség és szélerőmű termelés közötti korreláció igen kicsi, gyakorlatilag függetlennek mondható a két fizikai folyamat. Az azonos helyen lévő ideális szélsébség és termelésmérés a generátor szélsébségmérés karakterisztikája szerint függ össze, és a szélsébség változás alapján szinkron fut. Könnyen belátható, hogy ha mindkét időfüggvényre elkészítjük az eloszlásfüggvényt egy kijelölt időtartamra, akkor az előbbi arányosság (generátor karakterisztika) továbbra is fennáll, azaz adott szélsébséghez mindig hozzárendelhető a generátor teljesítmény. A valóságban az előző, nem monoton függvényt apró „szletekre” szeljük, majd átszortozzuk a két, párhuzamos függvényt két immár monoton függvényre.

A 4. ábrán a bükkaranyosi erőmű 2005.05.09–31-i időszakra eső termelés eloszlásfüggvényének és az onnan mintegy 30 km-re DK-re levő (zömében ÉNy széljárás a jellemző) Folyás meteorológiai állomás 10 m magasságon mért pillanatnyi szélsébségek eloszlásfüggvényének korrelációját ábrázoltuk. A közös időalapot a negyedórás átlagteljesítményekből képzett félórás átlagok, illetve a 10 perces pillanatnyi értékekből képzett félórás átlagok jelentik. A sűrűpontozású (kék) vonal a mért karakterisztikát jelöli, míg a sárga jelek a gyári karakterisztikát mutatják. A két görbe jellegében megegyeznek.

Az 5. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy nagyobb időtartományban (pl. 2 hét), hasonló eredetű széljárásnak kitett helyről származó szélsébségméréssel a gyári karakterisztikával arányos karakterisztika rajzolódik ki.



6. ábra: Energetikai korrelációs távkarakterisztikák (helyi energiatermelés – távoli szélsébségmérés)



8. ábra: Elhelyezési opciók

Azt, hogy melyik a közeli, illetve hasonló széljárású hely, azt a 6. ábra illusztrálja. Érdekes, hogy jellegében mindegyik, azonos időszaktól származó szélsébségmérésre alapozott görbe közelíti a gyári karakterisztikához. Nem véletlen, hogy a légvonalban legközelebbi, azonos szélsébsátnában lévő mérés adja jellegében a gyári karakterisztikához legközelebbi görbét. Jelen esetben ez a folyási mérés. A bükkaranyosi erőmű és a szélsébségmérések elhelyezkedésének légvonalbeli távolságát az 1. táblázatban foglaljuk adjuk.

Továbbá meg kell határozni azt az átváltási számot, amely kapcsolatot teremt a Folyásnál 10 m-en mért szél és a bükkaranyosi, dombos vidéken, 33 m-es toronyma-

gasságban mért szélesség között. (Meg kell jegyeznünk, hogy a tengelymagasságra való átskálázás egy

$$u_z = u_m \left(\frac{z}{z_m}\right)^a, \text{ ms}^{-1},$$

1. táblázat: A bükkaranyosi erőmű és a szélmérések elhelyezkedésének légvonalbeli távolságát

Szélmérési hely	Bükkaranyostól mért távolság
Folyás	33 km
Agárd	187 km
Túrkeve	98 km
Mosonmagyaróvár	263 km
Győr	238 km

konvenció, ugyanis az adott szélerőmű rotorja 27 m átmérőjű, más erőműveknél már akár a 100 m-t is eléri a

képletet alkalmaztuk. Kitevőnek 0,445 adódik, ami nagyságrendileg megfelel az eddig alkalmazott kitevőnek.

Az eredmények értékelése. A fenti számítások jól példázák, hogy a termeléshez csak nagyon közel eső szélelőrejelzéssel lehet időben pontos termelési görbét becsülni, míg az energiatarományt akár távolabbi méréssel/beccsléssel is igen nagy biztonsággal meg lehet állapítani/beccsülni. Ez jelenti azt is, hogy a hónapos/éves energiamentiség becslések megbízhatóak. Ez fontos, mert az állami támogatás (KÁT v. hasonló) a termelt energiamentiséggel arányos, függetlenül annak időbeli lefolyásától.

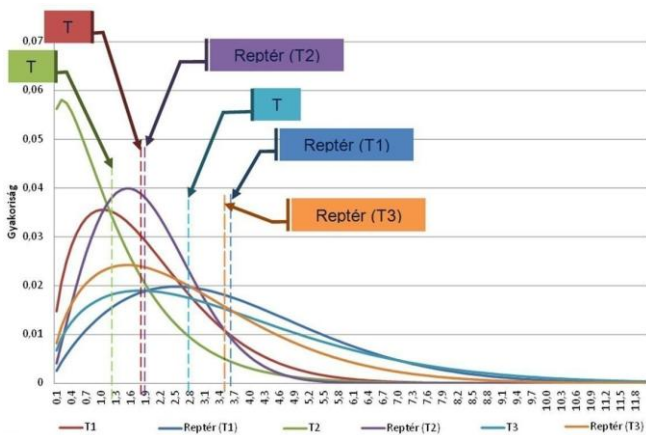
Kis szél turbinák összehasonlító vizsgálata. Feladatunk



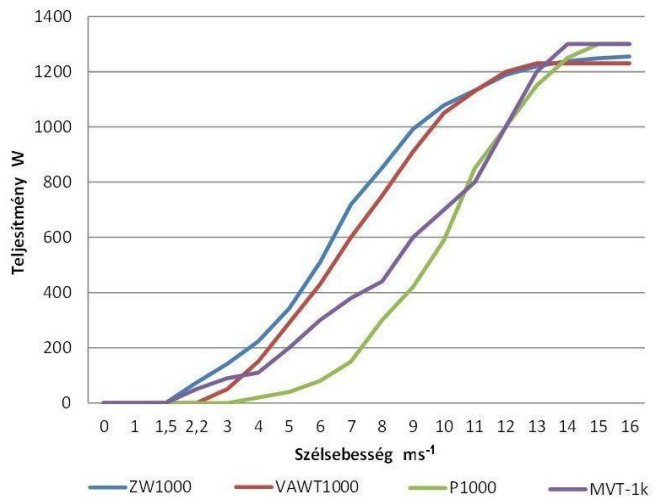
9. ábra: Unitek szélmérő



10. ábra: A telepített turbinák



11. ábra: A T1, T2, T3 és a reptéri szélesség-mérés eloszlásai



12. ábra: Alkalmazott szélerőmű karakterisztikák

rotorátmérő, ahol a lapát egészen különböző sebességű légtömegeken halad keresztül.) A modellezés jelenlegi szintjén megelégszünk lineáris, egy magasságra szóló összefüggéssel. A 7. ábrából kiolvasható, hogy a lineáris „átskálázási” tényező kb. 1,7. Ez az érték a legkisebb négyzetek módszerével tovább pontosítható.

A Hellmann-féle felskálázási tényezőt egy földrajzi ponton, vertikális irányban használják. Ehhez hasonlóan lehet egy távolabbi mérést az energiatermelő helyre és magasságára, a megtermelt energiamentiség alapján pontosan behangolni („átskálázni”). Jelen esetben a 33 m-es toronnyal, 10 méteren mért szélességgel (de egyéb felszíni jellemzőkkel nem számolva), a

- volt néhány kisléptékű szél turbin
- telepítési helyének kiválasztása,
- energia termelésének becslése és
- telepítése, valamint a performancia mérése.

A telepítési hely kiválasztása. Első lépésként (8. ábra) a telepítési helyet választottuk ki a Budapest Airport Zrt. telephelyén. Több hónapon keresztül végeztünk szélesség méréseket, bár az évi széljárás eltérhet az ebben a mérési periódusban tapasztaltaktól. Elemeztük az összefüggést (korrelációt) az aktuális mérési hely és az évtizedekre visszatekintő OMSZ mérési helyszín közötti széljárás között. Feltételezésünk, hogy, ha a referenciaméréshez képest jelentősen nagyobb szélességeket mé-

rünk, akkor ez egész évben nagyobb energiájú szélesebbeséget jelent. Mértük a szélirányt is, amit a kiértékelések során szintén ábrázoltunk, azonban (mivel nem szélfarm telepítése történt) további számításokat ezen adatokkal nem végeztünk.

Egy hónapos méréseket (9. ábra) végeztünk a

- T1 – 1-es terminál tetőn, 15 m magasságban,
- T2 – 2-es terminál teraszon, 10 m magasságban,
- K – Kazán épület tetején, 12 m magasságban,
- T3 – használaton kívüli radartornyon, 20 méteren és az
- OMSZ – referencia mérőhelyén, 10 m magasságban.

Kereskedelembe kapható berendezéseket telepítettünk (10. ábra):

- 600 W HAWT – ZW 600 vízszintes tengelyű turbina 3

2. táblázat: A Weibull-függvény paraméterei

Mérési hely	λ értékek	Átlagos szélesebbesség ms^{-1}
T1 helyszín	2,1027	1,877
T2 helyszín	1,3443	1,2
T3 helyszín	3,0873	2,756
BA Zrt. saját mérés	4,0263	3,6
BA Zrt. saját mérés	2,1594	1,9
BA Zrt. saját mérés	3,905	3,486

rotorlapáttal,

- 500W VAWT mágneses lebegtetésű kombinált Savonius–Darrieus PER 500 turbina,
- 1000W VAWT 5 lapátos „kanalas” turbina – Sollight 1000 és
- 600 W VAWT Darrieus turbina – SAWT P600.

Szél mérés és adatelemzés a Budapest Airport Zrt. telephelyén. Vizsgáltuk az éves

- átlag szélesebbeségeket,
- szélirány-függőséget, irány-gyakoriságot és az
- eloszlásokat.

A szélesebbesség gyakoriság igen jól jellemezhető Weibull-eloszlással, valamint megadtuk a jellemző paraméterek és az átlagos szélesebbesség kapcsolatát is. Ez alapján azt mondhatjuk, hogy a λ paraméter nagyobb értéke magasabb átlagos szélesebbeséget jelent. Az 2. táblázatban összefoglaltuk az egyes mérési helyekre kapott λ értékeket és az ebből számított átlagos szélesebbeséget. A 11. ábrában foglaltuk össze az egyes mérési helyekre kapott Weibull-görbéket és átlagos szélesebbeségeket. Az ábra alapján a vizsgált mérési helyek közül a T3 mérés helyszíne a legkedvezőbb szél erőmű telepítésére. A mérések alapján, az itteni szélesebbesség ugyan elmarad a reptéri OMSZ mérés helyén tapasztalhatótól, azonban a vizsgáltak közül ez a legkedvezőbb a szél erőmű telepítésre.

A várható villamosenergia termelés. A kutatás során cél volt, hogy különböző elvű berendezéseket hasonlítsunk össze a gyakorlatban. A következőkben bemutatjuk,

hogy a T1-en végzett mérési időszakban mennyi villamos energiát lehetett volna termelni, különböző típusú, 1 kW-os névleges teljesítményű szélturbinákkal. A

- ZW1000 (a méretek miatt telepítésre került ZW600)
- VAWT1000
- P1000 (a méretek miatt telepítésre került P600)
- MVT-1k adataival számoltunk.

A felsorolt szél erőművek karakterisztikáit a 12. ábra mutatja. Érdekes megemlíteni, hogy a P1000 és az MVT-1k kis szélesebbeségek esetén rosszabbul teljesít, ugyanakkor $13 ms^{-1}$ felett viszont nagyobb a kimenő teljesítményük, mint a ZW1000 és VAWT1000 típusoknak (13. és 14. ábra). Tekintettel arra, hogy a mérési adatok alapján ennél jellemzően kisebb szélesebbeségeket mértünk, várhatóan a ZW1000 és a VAWT1000 termelése lesz nagyobb.

Mivel a T1 mérési helyre vonatkozóan állt rendelkezésre a legtöbb adat, ezért a várható energiatermelés számítását erre a mérési pontra, valamint a reptéri adatokra végeztük el. E számításnak az elsődleges célja, hogy kiválasszuk, melyik szél erőmű típust érdemes telepíteni. A helyszín kiválasztásához ez az elemzés nem feltétlenül szükséges, ugyanis az eldönthető a szélesebbesség-gyakoriságok Weibull-eloszlása alapján.

Az energiatermelést a

$$E = \int_{t_1}^{t_2} v(t) * P(v) dt,$$

képlettel számítottuk, ahol E a t_1-t_2 időtartam alatt termelt energia, $v(t)$ a szélesebbesség az idő függvényében és $P(v)$ a szélturbina karakterisztika, a szélesebbesség függvényében. A 15. ábra alapján, a telepített (T1) mérés helyszínén a várható villamos energia termelés nagyon alacsony volt, a szél erőmű névleges teljesítményéhez viszonyított kihasználás a legjobban teljesítő ZW1000 esetén is csak 7% volt.

Az OMSZ/BA mérése a T1-nél sokkal kedvezőbb helyen van felállítva. A vizsgált időszakban a ZW1000 kihasználtsága itt majdnem elérte a 20%-ot, ami már jónak mondható. Mivel a T3-as mérés gyakorlatilag együtt fut az OMSZ/BA méréssel, és csak kicsit alacsonyabbak a mért szélesebbeségek, várhatóan a termelés közel azonos lesz az itt számítottal.

A szimulációs számítások alapján elsősorban a ZW1000, vagy a VAWT1000 szél erőmű típustól várunk sokat, de az MVT-1k sem teljesített sokkal rosszabbul, mint a VAWT1000. A P1000-es egyedül a nagyobb szélesebbeségek ($12 ms^{-1}$ felett) tartományában teljesíthet jól.

Alkalmazott műszerek. Az esetleg felhasznált kézi műszereken túl UNITEK szél mérőt használtunk. Percenkénti adatmentés történt a következő mennyiségekről:

- minimális sebesség,
- átlagsebesség (egy perc alatti 10 mérés alapján),
- maximális sebesség,
- szélirány (fok).

A 16. ábrán a mérőrendszer vázlatát, a 17. ábrán a tényleges megvalósítást látjuk. Mértük az akkumulátor feszültséget, a töltőáramokat. Ezen túl állandó 80 mA és 150 mA-es, 1 és 3,6 W-os terhelést is alkalmaztunk. Az akkumulátorokat a töltő és esetenként külső ellenállás védi. Az adatgyűjtést 1 perces átlagmérésekkel végeztük. A turbinák egybe vannak építve a generátorral, esetleges szabályozóval, a töltő szabályozza a külső ellenállást. A szélesség–turbina karakterisztika nem egyezik meg a szélesség–töltő karakterisztikájával. Mi az utóbbit vizsgáltuk, ugyanis a felhasználót ez érinti. A töltés to-

vábbá függ az akkumulátor állapotától is.

Az UNITEK áram és feszültségmérőt percenkénti adatmentésre használtuk 5 csatorna adatainál a
 – feszültség átlagérték (egy perc alatti 10 mérés alapján),
 – áram átlagérték (egy perc alatti 10 mérés alapján) mérésére.

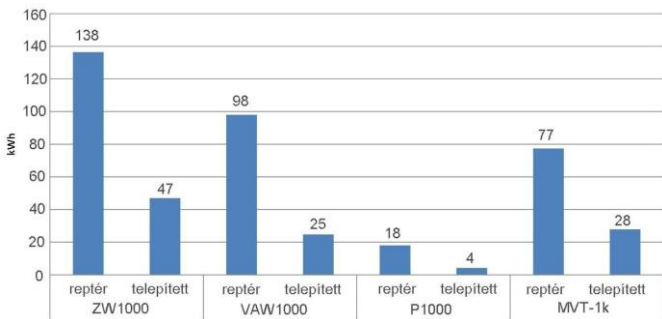
Karakterisztika mérés. A rövidtávú üzem kiértékelésére egy 80 perces szélvihart választottunk (2012.07.29. 20:00). Gyakorlatilag sem előtte (18. ábra), sem utána nem volt jelentős szél. A 19. ábrán a szélvihar alatt mért



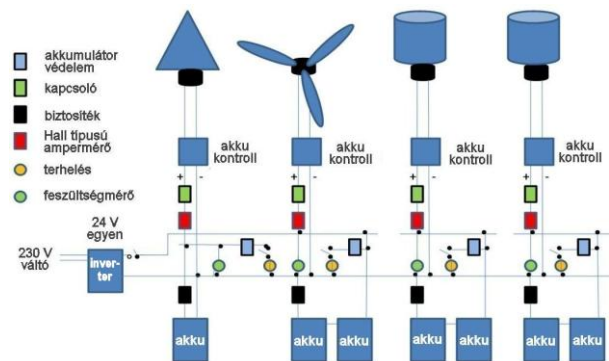
13. ábra: ZW600 és VAWT100



14. ábra: MVT-1k – PER 500 és a SAWT P600



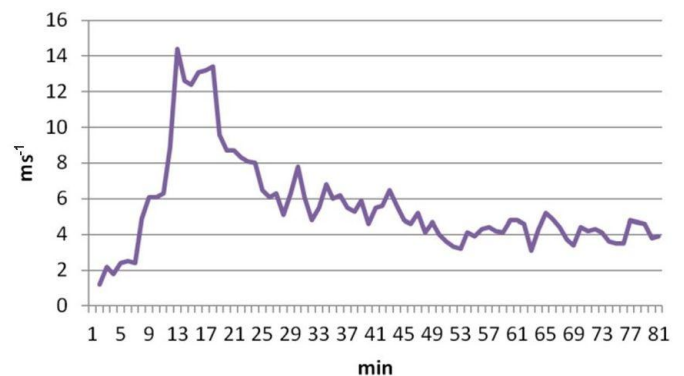
15. ábra: Energiatermelés számítás. Számított villamosenergia termelés október 11-től november 8-ig.



16. ábra: Mérési séma



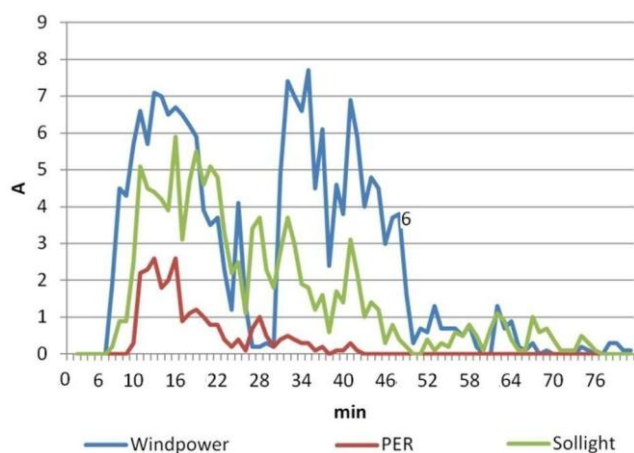
17. ábra: Mérési elrendezés



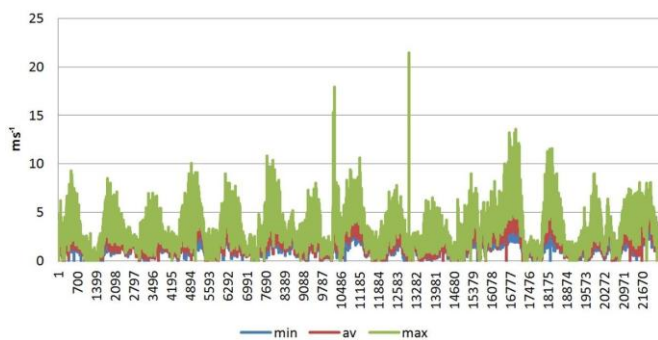
18. ábra: Szélesség átlag a vihar közben

töltési áramokat ábrázoltuk. Ez igazolja, hogy kb. 4 ms^{-1} sebességnél indul a PER turbina és 3 ms^{-1} -nál a Windpower és Sollight turbina. Az áramok perces átlagértékek, de nincs közvetett információnk, hogy ettől jelentősen eltérnének a minimum-maximum értékek. Transziens méréseket itt nem végeztünk. Meg kell jegyezni, hogy ezek az értékek nem a turbina, illetve a generátor által leadott áramok, hanem a töltőből kijövő áramok. Bár egy terhelő ellenállás volt beépítve, nem feltételezzük, hogy egyéb normál töltés közben a megtermelt energia nagy részét egy ellenálláson eldisszipálná a töltő, így a mért értékeket a rendszer aktuális termelésének tekintjük.

A méréseket felhasználva kirajzoltuk a tapasztalati turbinák karakterisztikáit. Ezek közelítik a gyári formát, bár



19. ábra: Generátor áramok a vihar közben



21. ábra: 2 hetes széljárás, 2012. június 1–15.

csúcsteljesítményben messze elmaradnak attól. Jól látható, hogy $3\text{--}4 \text{ ms}^{-1}$ -nál indul a rendszer és $6\text{--}7 \text{ ms}^{-1}$ alatt érdemi termelés nem várható (25 kmh^{-1} !). E feletti szélsebességet városi környezetben viszont ritkán mérhetünk.

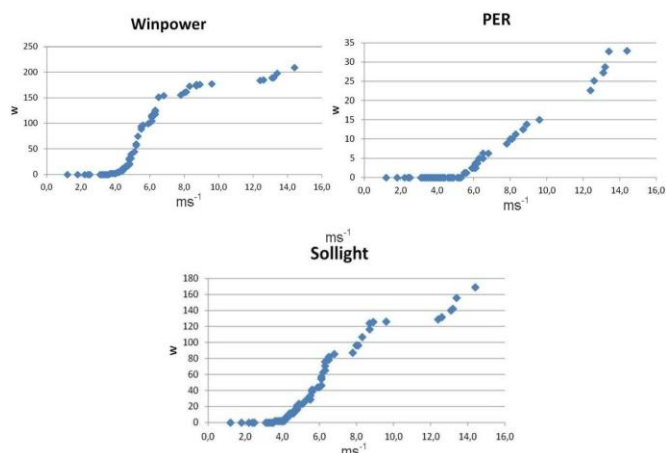
A mérések azt is is egyértelművé tették (20. ábra), hogy a legnagyobb energiatermelés (azonos szélviszonyok mellett) a Winpower (hagyományos kialakítású HAWT, 3 lapátos) géptől várható. A 2. helyen a Sollight (VAWT1000) gép áll. Ez a sorrend volt várható a bemutatott gépkarakterisztikák, és a villamosenergia-termelési szimuláció alapján.

Hosszabb távú mérés. A 21. ábrán 2 hét széljárását mutattuk be (minimum, átlag és maximum sebességek). Jól látható, hogy délben minden nap megerősödik a szél (ez a helyi lokális felmelegedésből adódik, míg az időjárási

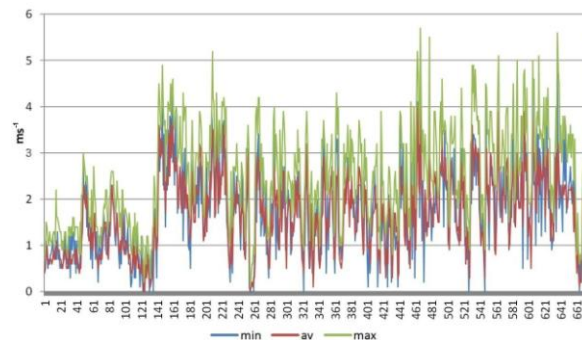
frontok ritkán alakítják (növelik) a „szokásos” sebességet. A 22. ábrán két nap széljárását nagyítottuk ki.

A rendszer normál üzemét mutatjuk be a 23., 24., 25. és 26. ábrán, az akkumulátor feszültségén és a töltőáram változásán keresztül. Jól látható, hogy jelentősebb szél esetén az akkumulátor töltődik, a feszültség átmenetileg megnövekedik, de utána is magasabb szinten marad. Amikor a töltés leáll, a műterhelés és az elektronika folyamatosan fogyasztja az akkumulátor energiáját, a feszültség csökken. Elegendő szél esetén a fel-le „szánkózás” hosszútávon fenntartható, a rendszer jól működik.

Más kérdés, hogy a megjártatott energia mennyisége messze elmarad a becsült mennyiségtől. Ez azt jelenti, hogy csak nagyon kicsi terhelést lehet biztonsággal a rendszerre kapcsolni.



20. ábra: Akkumulátor töltési karakterisztikák



22. ábra: 2 nap széljárása – min – átlag – max sebesség

A 26. ábrán mutatott esetben is működött a rendszer, attól eltekintve, hogy valamilyen oknál fogva akkutöltés nem volt. Az akkumulátor folyamatosan táplálta a terhelést, majd bekövetkezett a mélykisüléses akkumulátor katasztrófa, amely az akkumulátor tönkremeneteléhez vezetett.

Ez ellen a következőkkel lehetne védekezni:

- sok szél és ennek eredményeként folyamatos külső töltés (tartós szélcsend mindig lehet),
- pl. kiegészítő napelemmel lehet tölteni (nagy biztonsággal) naponta a rendszert,
- túlzott fogyasztás esetén le kell kapcsolni a fogyasztást,
- külső töltőt kapcsolunk a rendszerre.

Érdekes tapasztalat (27. ábra), hogy az akkumulátortöltés és a szélsebesség között hosszú távon egyelőre nem

sikerült szoros kapcsolatot kimutatni. Azaz, a rendszer nem töltött mindig, amikor azt elvártuk volna (habár az akku nem volt túltöltve, és volt szél is). Lehet, hogy ennek ellenére a töltő elektronika helyesen működött, de erről nincsen közelebbi információnk.

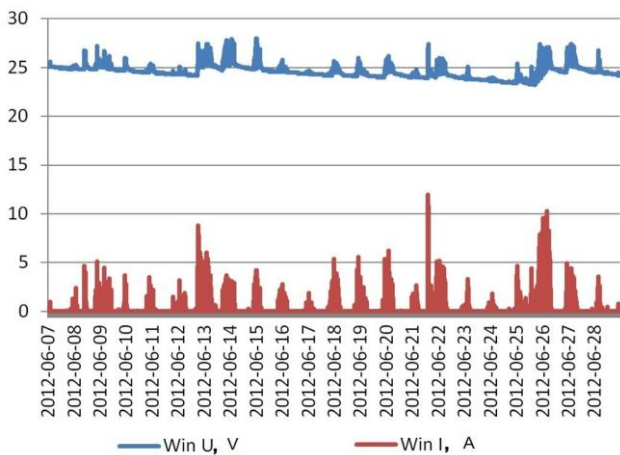
3. táblázat: Az elektronika terhelései

	Winpower 600	PER600	SOLLIGHT	SAWT
U, V	22,8±2,002	11,99±0,2002	22,8±2,002	22,7±2,002
I, mA	44,8±4,802	40,2±4,802	55±4,802	85±4,802

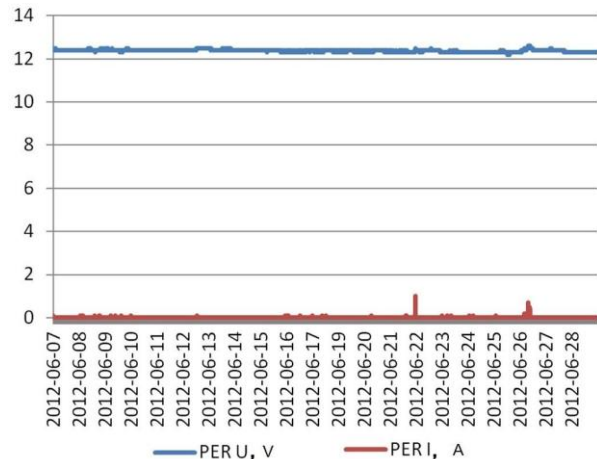
Terhelések. A rendszert feltöltött akkumulátorokkal helyeztük üzembe. Az akkumulátorok folyamatosan táplálják a szélturbinákhoz tartozó töltő berendezéseket, illetve esetenként további külső terhelést is kapcsolunk rájuk. A

Normál üzem. A 28., 29., 30. és 31. ábrán a szélturbina-akkumulátor rendszer normál, ideális üzemét látjuk. Amikor a szélviszonyok ezt lehetővé teszik, a töltő az akkumulátorba áramot táplál, aminek hatására a feszültség átmenetileg több V-tal megemelkedik. Szélcsendes időben a terhelések (az elektronika saját fogyasztása és a terhelés) egyenletesen csökkentik az akkumulátor feszültségét. Az újabb szeles periódusok „fel-fel tornásszák” a feszültséget.

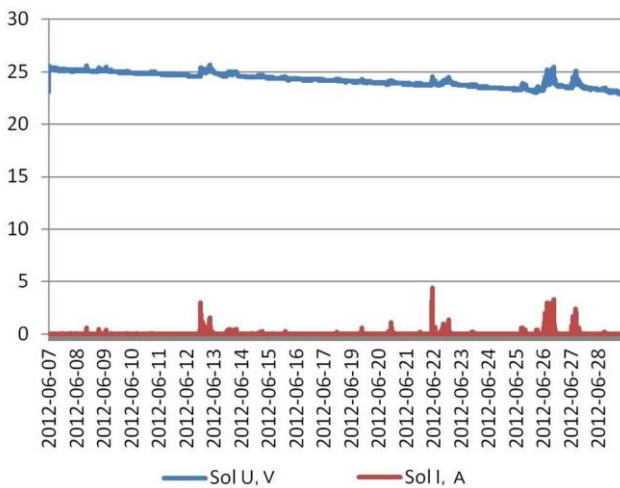
Energiamérleg. Fontos szempont a megtermelt energia-mennyiség elemzése. 10 napos időszak alatt vizsgáltuk a megtermelt és a külső fogyasztóba továbbított villamos energia mennyiségét. Az akkumulátor töltőáram és feszültség segítségével számítható a töltőből (nem a turbínából) az akkumulátorba áramló energia, ez 1,63 kWh



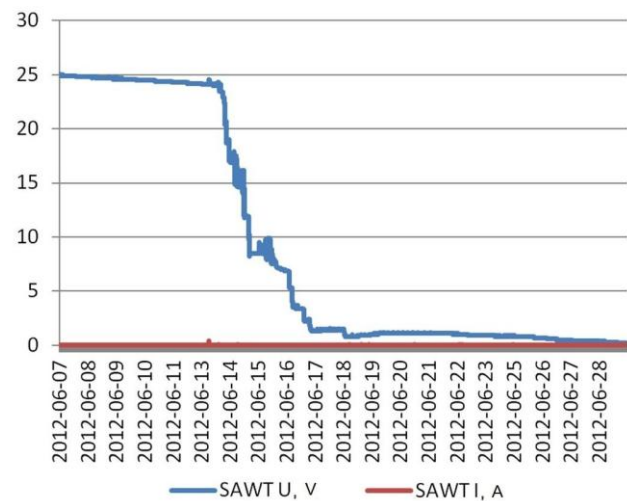
23. ábra: A WIN rendszer tartós üzeme



24. ábra: A PER rendszer tartós üzeme



25. ábra: A SOLLIGHT rendszer tartós üzeme



26. ábra: Az elégtelen töltésből adódó akkumulátor katasztrófa (mélykisülés)

mérést terhelés nélkül, kikötött lapátoknál végeztük. A helyiség hőmérséklete 29±0,8 °C volt (1,5 m magasságban). A terheléseket a 3. táblázat foglalja össze.

Külső terhelések (izzólámpa):

- a PER600 terhelő árama: 119,7±4,802 mA
11,68±0,2002 V akkufeszültség mellett,
- a többi készülék terhelő árama: 150,3±4,802 mA
22,9±2,002 V akkufeszültség mellett.

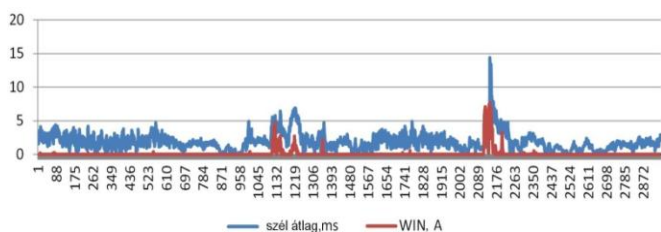
volt a vizsgált időszakban. A terhelés fogyasztása kb. 0,8 kWh, mindeközben az elektronika stand-by fogyasztása kb. 0,5 kWh.

Megállapítások.

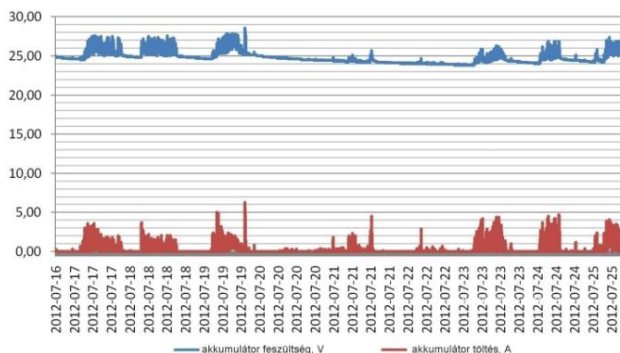
- Városi környezetben a „nagy szél” érzése még nem jelent energetikailag is jelentős szelet a kis szélturbinák számára. A kis szélturbinás termelés nem versenyképes a hálózatos energiával.

- Nehéz meghatározni a működő rendszerre kapcsolható terhelés nagyságát: ha túl nagy a terhelés, akkor hosszabb szélcsend esetén lemerül az akkumulátor. Kis terhelés esetén pedig a rendszer relatívan nagy költségu. Érdemes akkumulátor-védelmet telepíteni, amely vészjelzést ad, illetve a terhelést lekapcsolja alacsony töltöttségi szintnél. Egyes töltők (WinPower) ezt megoldják. Nem szabad megfélekedezni arról sem, hogy egy átlagos akkumulátor tárolási hatásfoka kb. 80%, vagyis a betáplálási és fogyasztási ciklusok alatt is fellép veszteség.
- Az akkumulátorok élettartama átlagosan 5 év, így a szigetüzemü megoldások több akkumulátor készletet is felhasználhatnak élettartamuk során.
- A hibrid rendszer (napelemek + szélturbina) segítik a nagyobb fogyasztás illesztését és folyamatos kiszolgálást.

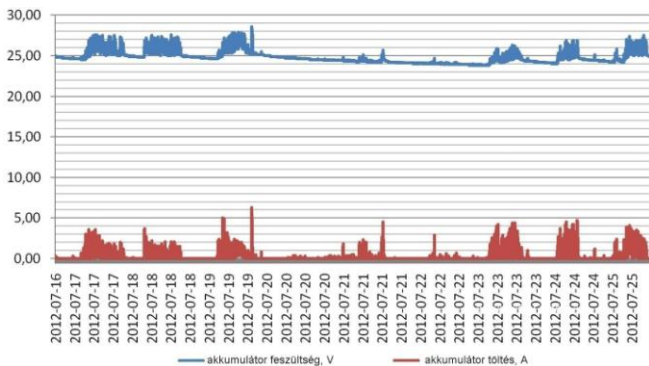
- A gyárilag megadott szélesség-teljesítmény karakterisztikák stacioner körülmények között valószínűleg igaznak bizonyulnak, de a volatilis, turbulens szél miatt állandóan szabályozgató rendszer messze nem hozza a becsült energiamennyiséget.
 - A töltő elektronikák közül kettő számítógépes adatkapcsolatra és adatgyűjtésre is alkalmas. Szoftver inkompatibilitások és a helyi disztribútorok gyenge támogatási performanciája miatt ezeket a lehetőségeket nem sikerült beüzemelnünk.
- Összegzés.**
- Számos kisléptékű szélturbina elérhető a kereskedelemben.
 - Különböféle „látványos” típusok is kaphatók, azonban ezek energiatermelésének egy részét „elviszi” a látvány.



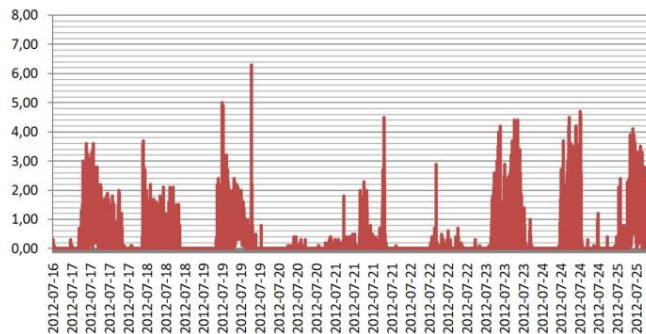
27. ábra: Szélesség és töltőáram közel szinkronban



28. ábra: A WinPower rendszer töltőárama és feszültsége



29. ábra: Akkumulátor mérési értékek

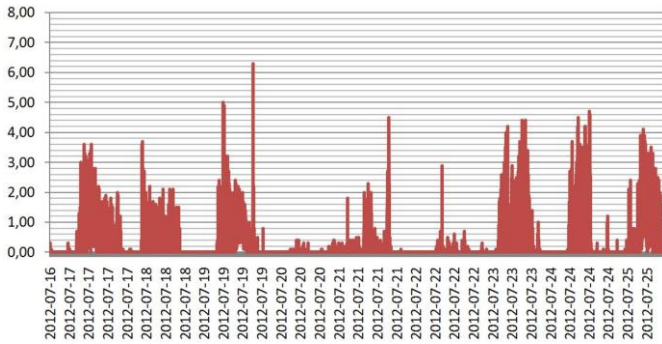


30. ábra: A WinPower rendszer töltőárama

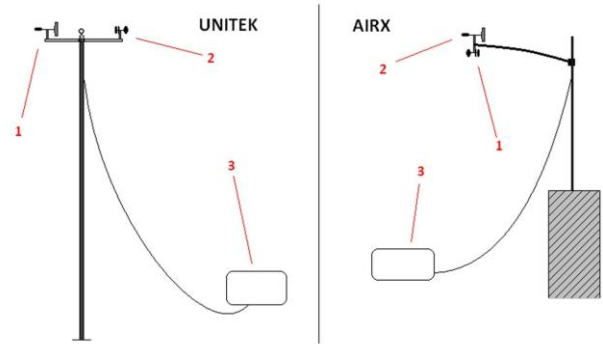
lását, védik az akkumulátort a mélykisüléstől.

- Sajnos nem teljesen ismert és nem kontrollálható az elektronikus töltők működése. Szerepük, hogy a változó intenzitású szél esetén, a változó frekvenciájú és feszültségű áramból közel azonos feszültségű és limitált töltőáramot hozzon létre. Képesek a turbinák “elektromos” fékezésére, illetve teljesen feltöltött akkumulátor esetén a felesleges energia eldisszipálására.
- Többször tapasztaltunk nehezen megmagyarázható eseteket, amikor nem túltöltött akkumulátor és jelentős szél esetén sem volt töltés.
- A töltők stand-by árama is hozzámérhető a fogyasztáshoz – kb. azonos nagyságrendű.
- Az 50–100 mA készenléti elektronika terhelés 1–2 Wattot jelent csak, de ez egy 100 Ah-s 24 V-os akkumulátort is lemerít kb. 1000 óra (40 nap) alatt.

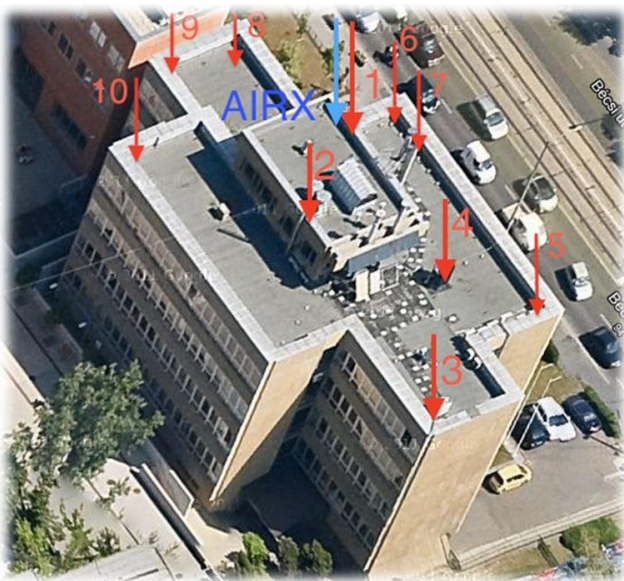
- Csodák itt sincsenek, adott energiájú szélből egyik módszerrel sem lehet „többet kivenni”.
- Ezeket a kisméretű szélturbinákat csak hálózattól távoli helyen (ahol nagyon költséges lenne a hálózat kiépítése) érdemes szigetüzemben üzemeltetni.
- A turbinák, illetve a turbinákkal felépített rendszerek sajnos messze kevesebbet termelnek az elvárásokhoz képest.
- A méréseink szerint a HAWT – WinPower turbina teljesített a legjobban.
- Hosszú távú mérésorozat eredményeként a szélárnyék-hatást (Wake effect) is ki lehet szűrni. Méréseinket ez nem befolyásolta jelentősen (pont a szélfelőli turbina termelte a legkevesebbet).
- A rendszer szűk keresztmetszetét képezi az energiátárolás, az akkumulátor.



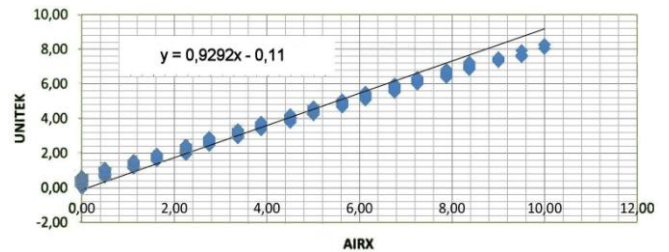
31. ábra: A WinPower rendszer feszültsége



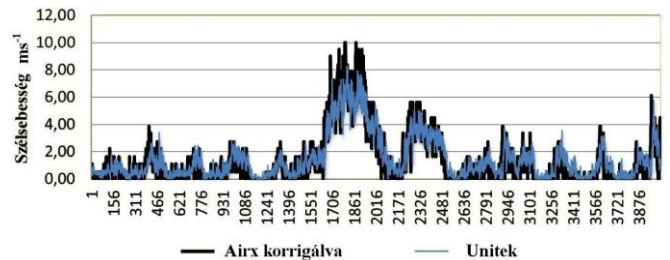
32. ábra: A két mérőeszköz



33. ábra: Szélsebesség mérők elhelyezkedése



34. ábra: Korreláció a referencia pontban



35. ábra: Együttfutás a referencia pontban

– A napelemes hibrid kiegészítés sokat segít az akkumulátor védelemben és a folyamatos energiatermelésben.

Méréseink szerint a kis léptékű szélturbina hálózati ellátás mellett nem versenyképes. Ennek oka, hogy a szoba jöhető urbanizált telepítési helyeken nincs számottevő szél.

Épület szélklimájának feltérképezése. Célul tűztük ki az Óbudai Egyetem Bécsi út 96/b alatt található épület szélklimájának feltérképezését.² A szélklíma felvételéhez mindig két pont szélviszonyait hasonlítottuk össze két anemométer segítségével. Ezek közül az egyik egy referencia pont, ahol az elhelyezésre került szélsebesség mérő helyzetét az egész mérés ideje alatt nem változtattuk. A másik műszer pozícióját időszakonként – általában kéthetente – változtattuk. A második lépésben az épület szélklimáját modelleztük a mért pontokra. A modellezés annyiban különbözik az előző módszertől, hogy három különböző irányú és négy különböző sebességű áramlásba helyeztük a modellünket.

Ezek az irányok a következők É-K (szemből), D-K (Balról), É-NY (Jobbról), a sebességek pedig 5–10–15–20 ms⁻¹. A számítógépes modellt összehasonlítottuk a saját mérésünkkel.

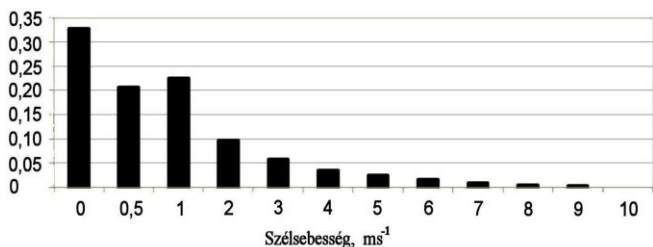
A műszerek részei:

- szélsebesség mérő
- szélirány mérő,
- adattároló.

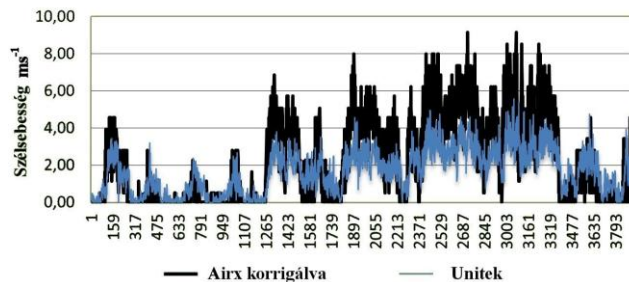
A 32. ábra a mérőberendezések elrendezését mutatja. Az UNITEK-et adott időszakokra telepítettük a 33. ábrán látható pozíciókba. Az AIRX szélmérőt a referencia-pontban használtuk. A szélirányt a műszerek vagy a fő és mellékirányokkal jellemzik vagy fokokban mérik.

A mérés ismertetése. A mérési időszak márciustól mintegy fél évig tartott. A 33. ábrán kék nyíllal jelöltük a referencia pontot, ahol az AIRX nevű szélsebesség mérőt helyeztük el. A piros színű nyilak a másik, UNITEK típusú anemométer pozícióit jelölik, melyet adott időszakokra (általában két hét) helyeztünk el a számozás sorrendjében.

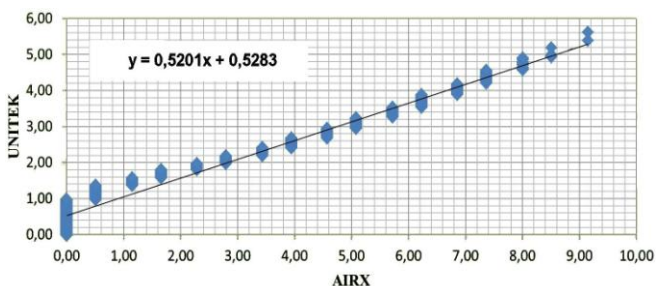
² Ress Imre és Nagypál Szilárd TDK munkája alapján, 2012.



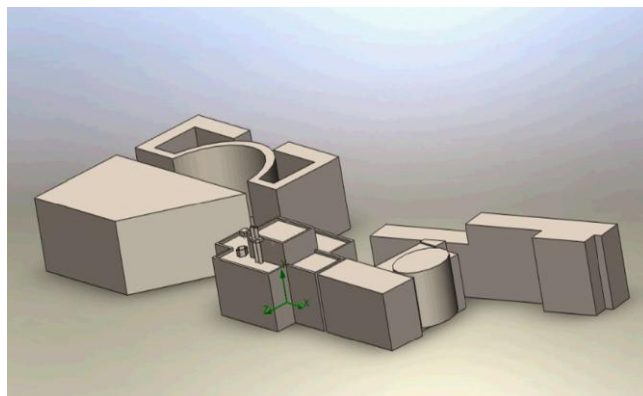
36. ábra: 14 napi szélsebesség mérések eloszlása



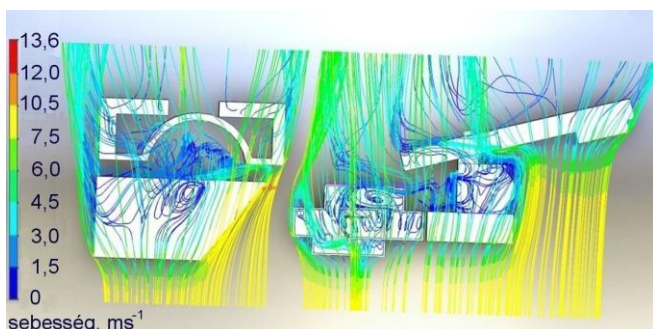
37. ábra: M3 együttfutás



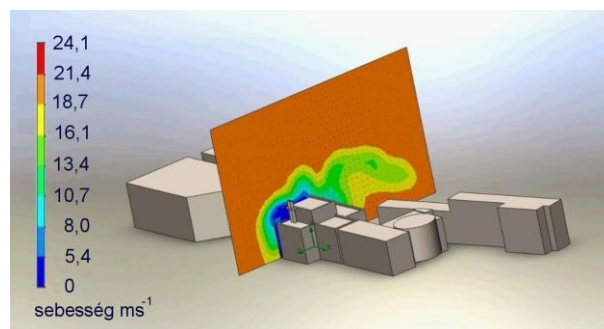
38. ábra: M3 korreláció



39. ábra: Az épület 3D-s modellje



40. ábra: Áramlási kép



41. ábra: Szélsebességek alakulása egy sík mentén

Mérési pontok nevei:

1. Referencia pont
2. Kis épület teteje, villámhárító
3. Vízartály
4. Napelem oktagon
5. Légkondicionáló kültéri egység
6. Észak-keleti sarok
7. Kémény
8. Átjáró Jobb sarok
9. Átjáró Bal sarok
10. Észak-nyugati sarok

Az 1. mérés során nem csupán a szélsebesség értékeire voltunk kíváncsiak, hanem megállapítottuk a két műszer együttfutását is.

Műszerek közötti eltérés meghatározása. Sajnos nem létezik két tökéletesen egyforma műszer, így a rendelkezésünkre álló eszközök között is eltérést tapasztaltunk. Ezt az eltérést a következőképpen állapítottuk meg:

Amikor a szélsebességmérők által rögzített adatsorokat a számítógépre felvittük, egy közel 4000 soros táblázatot kaptunk. A sorokban szereplő értékeket összeadtuk külön-külön a két műszernél, ezáltal mintegy integráltuk a szélsebességek által képezett görbét. Így eredményként a következőket kaptuk AIRX-nél: 4198,3 és UNITEK-nél: 5706,8. A két szám hányadosa megmutatja, hogy mekkora az átlag (d) differencia a két műszer között:

$$d = 4198,3/5716,8 = 0,73567$$

Ha az UNITEK 10 ms⁻¹-os szelet mér, az AIRX mindössze ennek 73,56%-át, 7,35 ms⁻¹-ot. Ezt az eltérést figyelembe kellett vennünk, az AIRX méréseit korrigálnunk kellett (minden értéket 1,26-al szoroztunk), hogy az összehasonlítható lehessen a másik adatsorral. A két műszer által mért szélsebességek korrelációját és együttfutását a 34. és 35. ábrán látható.

Szélsebesség eloszlás diagram. A szélsebesség eloszlás diagramból leolvasható, hogy mennyi ideig fúj a szél,

mennyi ideig lehetett volna villamos energiát termelni. Adatok értelmezése: a lépcsőzetes görbe azt mutatja, hogy nem volt tartósan 3 ms^{-1} feletti szél, azaz jelentős áramtermelés nem volt lehetséges. Az eloszlás sűrűségfüggvénye mutatja, hogy az adott szélesség tartományban mennyi ideig fújt a szél. A 36. ábra a mérési időtartam szélesség eloszlás diagramját mutatja.

4. táblázat: Mérési eredmények

Mérés sor-száma	Mérés helye:	Függvény:	Arány szám:	Sor-rend
2	Kis épület teteje, vilámlámpa	$y = 0,934x - 0,16$	1,11	6
3	Víztartály	$y = 0,796x + 0,53$	0,76	9
4	Napelem oktagon	$y = 0,679x + 0,11$	0,91	8
5	Légekondicionáló kültéri egység	$y = 1,180x - 0,39$	1,39	4
6	Észak-keleti sarok	$y = 1,242x - 0,36$	1,56	2
7	Kémény	$y = 1,749x - 0,89$	2,44	1
8	Átjáró bal sarok	$y = 0,832x + 0,048$	0,97	7
9	Átjáró jobb sarok	$y = 0,900x - 0,27$	1,41	3
10	Észak-nyugati sarok	$y = 927x - 0,20$	1,21	5

Egy mérési hely – Víztartály. Az épület tetején található a tározós vízerőmű modell víztartálya. Ennek oldalához erősítettük szélességmérőnk, mely a referencia ponttól 32 méterre található, viszont itt már magasságbeli eltérések lépnek fel, ez a pont körülbelül 6 méterrel lejjebb található az előzőhöz képest. Feltételeztük, hogy itt egészen más értékeket fogunk kapni, és ezt mérésünk és a szimuláció is alátámasztotta.

A szél átlagsebességeinek viszonya az adatsorokat összegének hányadosával számítható:

$$\text{AIRX: } 8705,6$$

$$\text{UNITEK: } 6629,2$$

Melyből az arányszám: $6629,2/8705,6 = 0,76$, ami a legalacsonyabb az összes mérés közül, mivel a kis épület jelentős szélárnyékot képez ezen a helyen. A két anemométer valós időben gyakorlatilag egyáltalán nem korrelált ebben az időszakban. 0-tól $1,8 \text{ ms}^{-1}$ -ig az UNITEK mért magasabb értékeket, azonban $1,8 \text{ ms}^{-1}$ fölött ez megváltozott, sőt erősebb szélben akár 4 ms^{-1} -os különbség is előfordult az AIRX javára. Természetesen a szélesség átlag arányítás itt is értelmezhető (37. és 38. ábra).

Mérések összesítése. A tíz mérést elvégezve összesítettük az eredményeket, melyeket a 4. táblázat mutat.

A méréseink alapján szélturbinát a kémény tetejére érdemes telepíteni (7-es mérés). Ha ez kivitelezhetetlen, akkor javasoljuk az észak-keleti sarkot (6-os mérés).

Szimuláció. A szimuláció SolidWorks programban végeztük. „A SolidWorks gépészeti tervezést automatizáló szoftver egy olyan alakzat alapú parametrikus testmodellező eszköz, mely kihasználja a Windows könnyen kezelhető grafikus felhatalmált felhasználói felületének előnyeit. Teljesen asszociatív 3D testmodelleket alkothatnak kötöttségekkel vagy a nélkül, tervezési szándék automatikus vagy felhasználó által megadott kapcsolataival.”³ A SolidWorks megannyi képessége mellett áramlás szimulációra is alkalmas.

A szimuláció során a vizsgált épületet 3dimenzióban megrajzoltuk, majd egy szélsatornába helyeztük, ahol megfigyelhettük a szélviszonyok alakulását a szükséges pontokon.

A modellezés. A modellben az áramlás képét valószínűsíthetően leginkább befolyásoló épületeket kerültek megrajzolásra. A mérési helyeknek megfelelően itt is 10 darab mérési ponttal rendelkezünk melyek a 33. ábrán kerültek bemutatásra.

Az épületet három irányból fújtuk meg: É-K (szemből), D-K (Balról), É-NY (Jobbról) és 4 különböző sebességgel: 5, 10, 15 és 20 ms^{-1} -mal. Az épület szimulált sémája a 39. ábrán látható. A módszer a következő volt: a szimuláció alapján azonosítottuk a vizsgált helyen lévő áramlás színezését a bal felső sarokban lévő színskálával, amihez a pontos szélesség értékeket rendeltük. Leolvastuk a referenciapontnál szimulált szélességet és a mérési ponthoz tartozó értéket, majd ezekből számítottunk egy arányszámot. Ezzel az eljárással megkaptuk a két pont közötti összefüggést melynek segítségével össze tudjuk hasonlítani a két mérési helyet. Ha az arányszám 1 fölött van, akkor a referencia pontnál nagyobb szélességet jelent.

A szimulált áramlási képeken (40., 41. és 42. ábra) turbulenciákat is láthatunk, melyek hátrányosan érinthetnek egy telepítendő szélturbinát. Érdemes megfigyelni, hogy a szél sebessége már azelőtt lelassul, mielőtt elérné az épületeket (torló hatás). A programban kétféle szemléltetési módot lehetett beállítani. Az egyiknél egy áramlási képet kapunk, amin kivehetőek a turbulens áramlatok, valamint egyértelműek a szélirányok. A másik ábrázolásnál az áramlás egy metszetét láthatjuk, bemutatva az épületet körül vevő szél sebességét. Ez már kevésbé alkalmas a turbulens áramlások bemutatására és a szélirányokat egyáltalán nem prezentálja.

A szimuláció eredménye. Az 5. táblázatban feltüntetetésre kerültek a mérési és a szimulációs eredmények. Láthatjuk, hogy a szimulációban kapott eredmények is a kéményt hozták ki optimális telepítési helynek, megerősítve ezzel a mérésünket (M7). Ez az eredmény valószínűleg annak köszönhető, hogy ez a pont található a legmagasabban az összes többi közül, és nincs körülötte semmilyen szelet akadályozó objektum. Az alkalmatlanabb helyeknél már eltérést tapasztaltunk a mért- és a szimu-

³ Forrás: solidworks.hu

lált eredmények között. Az 5. táblázat a vizsgált helyszínek eredményeit mutatja rangsorolva.

A szimulációval létrehozott arányszámoknál jobban megfigyelhetőek a szélárnyékos helyek, mint a mérésnél. Például a víztartály értékeiből látható, hogy dél-keleti irányból érkező szél esetén az arányszám 1,13, ami érthető is, hiszen abból az irányból nem áll semmi a szél útjában. De ha ugyanezt az észak-keleti irányból vizsgáljuk, ahol a víztartály szélárnyékban van a kis épület miatt, az arányszám csak 0,55.

A kémény rendkívüli szélviszonyai itt is jól kivehetőek: az arányszáma sehol sem csökken 1,0 alá, vagyis mindhárom irányból és mindegyik sebességnél vizsgálva azt mondhatjuk, hogy a kémény a legideálisabb pozíció a szélturbina számára.

5. táblázat: A mérés és a szimuláció összehasonlítása.

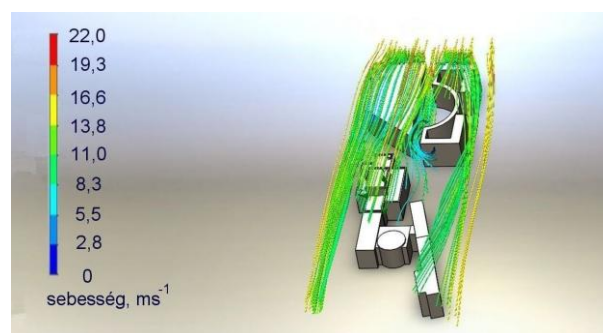
Mérés, legjobb három			Szimuláció, három legjobb		
1	M7	Kémény	1	M7	Kémény
2	M6	Észak-Keleti sarok	2	M6	Észak-Keleti sarok
3	M8	Északi átjáró jobb oldala	3	M3	Víztartály

Értékelés. Az eredményeket szemlélve láthatjuk, hogy a szimuláció és a mérés jól korrelál. A szélturbina optimális telepítési helye a kéménynél lenne, ezt mind a két mérési módszer alátámasztotta. A szimulációval létrehoztunk a széltérképhez nagyon hasonló „közel 3D-s” térképet, ami tájékoztatást ad az épületet körülvevő széljárásról. A szélturbinát nagy városokban nem gazdaságos működtetni, mert hiányzik a működtetéshez szükséges kellő szél erősség.

Összefoglalás. Az Óbudai Egyetem Villamosenergetikai Intézete alapvetően energetikai, energiatermelési szempontok alapján végez szélenergetikai kutatásokat. Ehhez a korlátozott idejű mérési lehetőségek miatt fejlesztünk ki egy olyan mérési eljárást, amellyel fel tudjuk használni a vizsgált helyszín néhány 10 km-es körzetében mért évtizedes adatsorokat. Ezt a módszert alkalmaztuk szélturbina elhelyezési, ill. termelésbecslési feladatban. A rövid idejű korrelációs mérésekkel egy módszert adtunk egy bonyolult épület szélklímájának feltérképezésre is, melyet szimulációval is verifikáltunk.

Irodalom

- Kádár, P., 2006: A szélmalomoktól a szélerőművekig. Új Mandátum Kiadó, Budapest. pp. 176
- Kádár, P., 2007: Evaluation of Correlation of the wind speed measurements and wind turbine characteristics. 8th Int. Symp. of Hung. Researchers on Computational Intelligence and Informatics, IEEE CINTI, 15.11.2007, Budapest (Hungary), 429–440.
- Kádár, P., 2010: Elfújta a szél... – A hazai szélerőművek támogatása. *Elektrotechnika* 9, 17–19.
- Kádár, P., 2011: Solutions for the large scale wind energy integration to the power system. *Elektroenergetika*, 6th Int. Sci. Symp. on Electrical Power Engineering, 21.09.2011, High Tatras (Slovakia)
- Kádár, P., 2012: Comparative Performance Analysis of Small Scale Wind Turbines. *J. of Engineering Science and Technology Review* 5, 42–47.



42 ábra: Szélsebességek fonalas megjelenítése

- Kádár, P., 2013: Experiences with Small Scale Wind Turbines. *ICCEP Conf. Proc.* Alghero (Italy) 11.06.2013, 1–6.
- Kádár, P., 2013: Mapping of wind climate in urban environment. *Int. Conf. on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13)*, Bilbao (Spain), 20.03.2013.13. *Renewable Energy and Power Quality Journal* 11, 1–4.
- Kádár, P., 2013: Large Scale Wind Turbines and their Application in Renewable Energy Systems. (eds: Kaplanis, S. and Kaplanis, E.). *Nova Science Publisher Inc.* New York, 405–452
- Kádár, P. and Nagy, L., 2012: Wind measurement analysis for deployment urban small scale wind turbine. 10th Int. Symp. on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2012.) Herlany (Slovakia), Submission 102.
- Krisztián Lamár, K. and Morva, Gy., 2013: Hardware and Software Functions of Standalone Field Data Acquisition Devices for the Low Voltage Power Distribution Grid. *Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering* 6, 22–27.
- Molnár, L. és Kádár, P., 2007: Hidrogén előállítás megújuló szélenergiával a közlekedésért. *Intelligens Energiarendszerek. Konferencia Előadókötet*, Budapest, 37–42.

SZÉKELYFÖLDI METEOROLÓGIAI ÁLLOMÁSOK SZÉLIRÁNYAINAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION ON WIND DIRECTIONS IN SZÉKELYFÖLD (TRANSYLVANIA, ROMANIA) WEATHER STATIONS

Lázár István

Debreceni Egyetem, Meteorológiai Tanszék, 4032, Debrecen, Egyetem tér 1., lazar.istvan@science.unideb.hu

Összefoglalás. Egy régió minden elemét meg kell vizsgálni ahhoz, hogy átfogó képet kapjunk a szélklimájáról. A Székelyföld (Erdély, Románia) 7 meteorológiai állomásán végzett szélirány-vizsgálat eredményeivel foglalkozik a közlemény. A vizsgált időszak a 2005 és 2012 közötti éveket öleli át. Különböző időszakok eltérő illesztésekkel kerültek összehasonlításra. A szélesség ismerete mellett fontos a szélirányok gyakoriságának és az energiatartalomnak az ismerete. A tanulmány az eloszlásokat és a szélirányok energiatartalmát mutatja be.

Abstract. To gain complex knowledge on wind climate of a region analysis of all elements of is needed. Results of examinations on wind direction distribution datasets of 7 weather stations in Székelyföld (Transylvania, Romania) are presented in this paper. The studied period is the interval between 2005 and 2012. Different periods with different fit are compared. Beside wind speeds it is important to know the frequencies and energy content of wind directions. Distributions and energy contents of wind directions are examined in the present study.

Bevezetés. Napjaink társadalmának egyik legfontosabb kérdése, hogy milyen energiahordozókkal helyettesítjük/pótoljuk a fosszilis tartalékok csökkenése okozta hiányt, valamint miként lehet mérsékelni az általuk okozott környezetszennyezést. A XX. század utolsó éveiben, mikor a megújuló energiaforrások kutatása meredeken növekvő pályát írt le; voltak olyan becslések, miszerint a fosszilis tartalékok kimerülése után azokat nagyrészt pótolhatjuk megújulókkal. A 2010-es évek első felében olyan prognózisok láttak napvilágot, amiben a „zöld” energiát már csak kiegészítő jelleggel említik (Lázár, 2011). A fajlagos energiaigény növekedésével egyre inkább problémát okoz a lakosság szükségletének kielégítése. A szolgáltatás folytonosságának mulasztása a fogyasztók elégedetlenségéhez vezet.

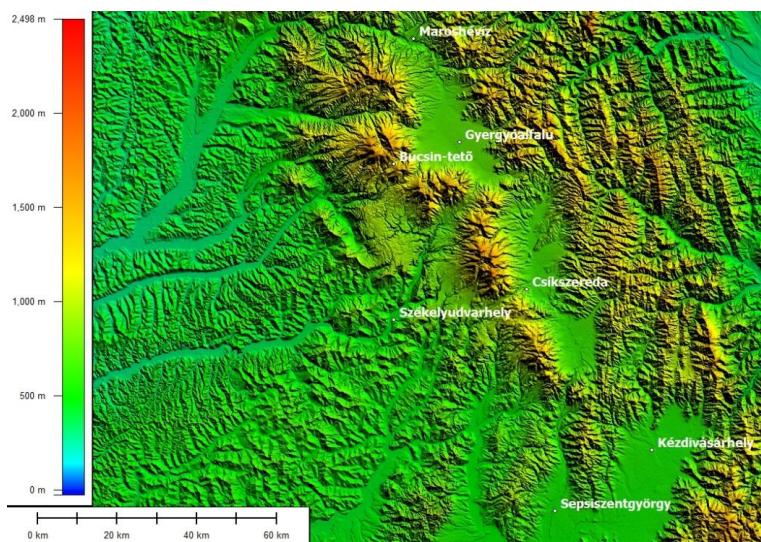
Anyag és módszer. Kutatásunk Románia geometriai központjától (Török, 2009) ÉK-re fekszik. Területi lehatárolása (1. ábra) az etnikai határokat követi (Vofkori, 1996). Orográfiai szempontból változatos felszín jellemzi: keletről a Keleti-Kárpátok központi csoportjának középső és keleti

vonulata, dél-keletről a Kárpát-kanyar határolja. A többi égtáj felől nem lehet egyértelmű természetföldrajzi határvonalat megállapítani, itt már csak az etnikai határokat lehet alkalmazni.

Szélklimatológiai adatbázisunkat a Román Meteorológiai Szolgálat (ANM) marosvásárhelyi központjától vásároltuk meg. Ezt követően az adatok digitalizálására került sor. Jelen dolgozatban 7 meteorológiai állomás (É→D):

Maroshévíz, Gyergyóalfalu, Bucsin-tető, Csíkszereda, Székelyudvarhely Kézdivásárhely és Sepsiszentgyörgy (1. táblázat) szélirány, napi átlag szélesség, napi maximum szélesség adatai kerültek feldolgozásra, 2006. január 1-től 2012. december 31-ig terjedő időintervallumban.

A Román Meteorológiai Szolgálat hálózatába tartozó minden meteorológiai állomáson a WMO-s szabványnak megfelelő körülmények között mérik és rögzítik a különböző éghajlati elemek változását, így a szélességet 10 méteres magasságban. Az illető állomásokon óránkénti mérések vannak. Eredményeinket a napi átlagos szélesség értékekből számoltuk.



1. ábra: A vizsgált terület

1. táblázat: A vizsgált meteorológiai állomások koordinátái és tengerszint feletti magasságuk.

Állomás	Északi szélesség	Keleti hosszúság	Tengerszint feletti magasság
Maroshévíz	46° 56'	25° 22'	687 m
Gyergyóalfalu	46° 42'	25° 31'	750 m
Bucsin-tető	46° 39'	25° 18'	1282 m
Csíkszereda	46° 22'	25° 44'	661 m
Székelyudvarhely	46° 18'	25° 18'	523 m
Kézdivásárhely	45° 59'	26° 8'	569 m
Sepsiszentgyörgy	45° 52'	25° 48'	523 m

Az adatok feldolgozását a *Mistaya Engineering Inc.* cég által fejlesztett (megújuló energetikai, de főként szélenergetikai felhasználásra) Windographer szoftverrel végeztük. A szoftver segítségével megrajzoltuk a gyakori szélirányokat. A megjelenített adatok értelmezésének

elősegítése érdekében az SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 3D domborzatmodell Székelyföldre vonatkozó adatait alkalmaztuk, melyet az NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) és a NASA által irányított nemzetközi konzorcium készített 2000 februárjában (*Farr et al., 2007*).

2. táblázat: A meteorológiai állomások szélirány relatív gyakorisága és az adott irány relatív energiataralma

irány	Bucsin-tető		Csíkszereda		Gyergyóalfalu		Kézdivásárhely	
	irány	energia	irány	energia	irány	energia	irány	energia
É	0,98	1,08	7,18	3,46	3,10	3,50	9,88	3,81
ÉÉK	0,74	1,65	3,85	7,81	0,58	0,51	4,80	6,16
ÉK	21,67	29,12	2,69	0,84	4,62	4,28	18,09	44,91
KÉK	3,11	1,72	2,55	1,04	4,62	7,12	4,08	6,50
K	1,80	1,35	5,19	2,24	7,98	4,46	2,02	1,60
KDK	0,49	0,28	2,22	0,70	4,30	5,17	0,24	0,34
DK	0,65	0,08	4,73	1,27	7,77	5,06	1,10	0,47
DDK	0,33	0,02	4,22	1,45	1,10	0,16	1,78	0,55
D	1,31	2,02	3,75	1,92	1,57	1,12	14,11	5,56
DDNy	1,39	0,29	12,65	22,01	0,58	0,61	2,16	0,48
DNy	35,73	33,27	13,35	16,95	10,66	8,45	8,21	5,85
NyDNy	8,75	7,72	15,80	20,68	4,99	4,88	5,04	4,21
Ny	11,20	10,73	5,93	6,33	24,30	35,32	13,44	17,47
NyÉNy	2,86	7,29	4,22	5,11	3,57	5,22	1,39	1,69
ÉNy	2,53	3,35	5,14	2,74	7,98	7,95	0,58	0,28
ÉÉNy	0,33	0,03	6,07	5,45	3,25	6,19	1,01	0,11

irány	Maroshévíz		Sepsiszentgyörgy		Székelyudvarhely	
	irány	energia	irány	energia	irány	energia
É	7,12	4,97	9,50	3,39	7,63	3,71
ÉÉK	4,27	3,48	4,63	7,52	20,50	14,66
ÉK	2,61	2,72	6,58	15,85	9,10	5,13
KÉK	2,32	0,64	5,84	8,50	1,76	1,96
K	8,59	4,10	9,59	11,22	2,35	4,52
KDK	11,81	9,40	3,24	1,92	4,75	11,65
DK	7,69	5,41	3,89	2,78	6,60	15,03
DDK	2,89	4,73	9,36	4,77	4,06	6,83
D	1,23	0,80	5,51	1,73	7,39	3,15
DDNy	1,42	0,89	2,22	1,73	3,96	2,09
DNy	2,61	10,68	2,22	1,32	2,20	1,19
NyDNy	4,17	3,94	2,18	1,96	2,35	1,71
Ny	13,95	22,34	11,35	16,15	4,60	6,16
NyÉNy	15,09	17,44	12,23	12,57	9,83	11,39
ÉNy	6,97	4,66	8,99	7,51	8,76	7,53
ÉÉNy	5,93	3,79	2,27	1,09	4,01	3,30

15,09 Leggyakoribb szélirány/legtöbb energiát tartalmazó irány

13,95 II. Leggyakoribb szélirány/II. legtöbb energiát tartalmazó irány

A völgyekben kialakult légkörzés nem zárt rendszer, ezért a völgyekben mozgó levegő folyamatosan cserélődik. A völgyi szél a völgy hosszanti tengelye mentén alakul ki, s biztosítja a lejtőszélbe bekapcsolódó légtömegek cseréjét (*Szász és Tőkei, 1997*).

Egy adott időpontban v sebességgel áramló légtömeg fajlagos széltejesítményét a

$$P_f = \frac{\rho}{2} v^3$$

összefüggéssel lehet meghatározni, ahol ρ a levegő sűrűsége. Ha ezt kgm^{-3} -ben fejezzük ki ($1,293 \text{ kgm}^{-3}$), akkor a P_f mértékegységeként Wm^{-2} adódik (*Tar, 2003*).

Eredmények. A Windographer szoftver segítségével elvégzett szélirány gyakorisági vizsgálatok és az SRTM domborzatmodell összehasonlításából egyértelműen leolvasható, hogy a lokális légmozgásokra nagy hatással van a völgyek iránya, a helyi domborzati viszonyok (*Lázár, 2012*).

Az 1. táblázatban kiemelve figyelhető meg a három leggyakoribb szélirány, illetve a legtöbb energiát tartalmazó irány szektor. Amint a táblázatból is kiolvasható, csak részben esik egybe a három leggyakoribb szélirány illetve a legnagyobb energiataralmat képviselő szektor.

Következtetések. A helyi szelek irányát és/vagy sebességét az orográfia markánsan befolyásolja (*Burján és Lázár, 2008*).

Hat meteorológiai állomás szélirány gyakorisága köthető egy vagy több pozitív vagy negatív felszíni formához:

- Maroshévíz – ÉNy-DK szélirány – Maros-folyó völgye (Maros-szoros),
- Bucsin-tető – NyDNy-KÉK – Kis-Küküllő völgye.

- Gyergyóalfalu – Ny – a Bucsin-tető irányából érkező légtömegek,
- Csíkszereda – DNy – a Tolvajos-tető irányából érkező légtömegek,
- Székelyudvarhely – ÉK – a Nagy-Küküllő völgye,
- Kézdivásárhely – ÉK – D – Ojtuzi-szoros (keleti légtömegek), valamint a Kárpátokon átbukó délies légtömegek.

A sepsiszentgyörgyi állomás egyedi eset, ahol csak részben érzékelhető a felszíni formák hatása. A szélirány gyakoriság egyik szektorban sem döntően kiemelkedő, ami az állomás jelenlegi helyzetéből fakad. Az idő múltával az állomást gyakorlatilag körbe építették (egy irányba nyitott – Olt ártér – kelet), aminek következménye horizontkorlátozás és szélárnyékolás (2. ábra).

Az említett állomások égtájak szerinti százalékos energiataralma (első három irány csökkenő sorrendben):

- Bucsin-tető – NyDNy, KÉK, DDNy,
- Csíkszereda – DDNy, NyDNy, NyDNy,
- Maroshévíz – Ny, NyÉNy, NyDNy
- Gyergyóalfalu – Ny, ÉÉNy, KÉK,
- Székelyudvarhely – KDK, ÉÉK, DDK,
- Kézdivásárhely – ÉÉK, KÉK, Ny.

Irodalom

- Burján, Zs. G. és Lázár, I., 2008: A szélenergia kihívásai napjainkban. Szélenergetikai mérések a Dregán és Jád vízválasztóján, In: *Collegium Geographicum*, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 117–134.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D. and Alsdorf, D., 2007: The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics* 45 (2): art. No.-RG2004. ISSN 8755-1209 doi: 10.1029/2005RG000183
- Lázár, I., 2011: A klímaváltozás hatása a megújuló energiaforrásokra, II. Környezet és Energia Konferencia, 2011. november 25-26., Debrecen. *Kézirat*.
- Lázár, I., 2012: Székelyföld helyi szélviszonyainak elemzése, In: *HUNGEO 2012*, Eszterházy Károly Főiskola, Eger, 203–209.
- Szász, G. és Tőkei, L.(szerk.), 1997: Meteorológia mezőgazdászoknak, kertészeknek, erdészeknek. *Mezőgazda kiadó*, Budapest
- Tar, K., 2003: Összefüggés a szél energiája és irányváltozása között, Környezetvédelmi mozaikok. *Tiszteletkötet dr. Kerényi Attila 60. születésnapjára*, Debrecen, 391–406.
- Török, G., 2009: A kis- és középvállalkozások (KKV) számának tér- és időbeni változása Romániában, In: *Collegium Geographicum*, Ábel Kiadó, Kolozsvár, 117–128.
- Vofkori, L., 1996: Erdély közigazgatási és etnikai földrajza, *Balaton Akadémia*, Vörösberény.



2. ábra: A sepsiszentgyörgyi meteorológiai állomás műszerkertjének megosztott panorámaképe



2015 ŐSZÉNEK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF AUTUMN 2015 Marton Annamária, Hoffmann Lilla

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1525 Budapest, Pf. 38., *marton.a@met.hu; hoffmann.l@met.hu*

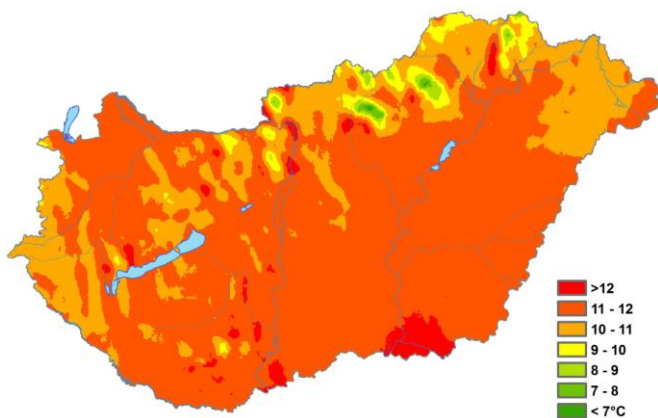
A 2015-ös őszi országos átlag melegebbnek bizonyult a megszokottnál. Az egyes hónapok azonban sem önmagukban, sem együtt nem végeztek igazán kiemelkedő helyen az 1901-től kezdődő rangsorban. A legjobban a szeptember szerepelt, az ideje volt a 17. legmelegebb szeptember, míg a teljes ősz a 25. helyen végzett. A 2015-ös őszi egyértelműen csapadékosabb volt az átlagnál, az ideje október volt a 8. legcsapadékosabb a mérések kezdete óta, míg a november a 23. legszárazabb, így az őszi hónapokat összesítve az ideje a 24. legcsapadékosabb volt. Az ország túlnyomó részén 11–12 °C között alakult az őszi átlaghőmérséklet (1. ábra). Az északi területeken és a nyugati határszélen jobbra 10–11 °C, míg a hegyvidékeken 7–10 °C volt a jellemző. Országos átlagban az ősz középhőmérséklete 11,2 °C-nak adódott; állomásaink közül évszakos átlagban a legmelegebb Pécs Egyetem TTK állomásunkon (12,9 °C), a leghidegebb pedig Kékestetőn (7,5 °C) volt. Az 1981–2010-es átlagnál magasabb évszakos értékek jellemezték az ideje őszt. A normált leginkább a hegyvidéki területeken és az ország keleti részén haladta meg a középhőmérséklet, itt helyenként előfordult 1,3 °C-os vagy ennél nagyobb anomália is. 2015 őszi a legtöbb csapadék, 250–300 mm a délnyugati országrészben hullott (2. ábra), ezen kívül a hegyvidéki területeken jelentkezett még magasabb csapadékösszeg (200–250 mm). A síkvidéki területeken jellemzően 150–200 mm hullott, csak foltokban volt ennél kisebb évszakos csapadékösszeg. A 2015-ös őszt az 1981–2010-es normálhoz viszonyítva szinte az ország egész területén csapadéktöbblet jellemezte, csupán a Kisalföldön volt olyan terület, ahol a lehullott mennyiség nem érte el a megszokott értéket. Az ország középső részén és az Északi-középhegységben voltak olyan területek, ahol a csapadék 160–180%-kal vagy ennél is nagyobb mértékben meghaladta a sokévi átlagot.

Szeptember. A hónap elején 4-éig az átlagosnál jóval magasabb hőmérsékleteket mértünk, melyet egy hetes hűvösebb időszak követett, majd 13 és 20-a között a megszokottnál ismét melegebb napok következtek. Szeptember 21–22-én az átlagnál egy kicsit hűvösebb, majd 25-ig melegebb volt, mint általában. A hónap végét erős lehülés jellemezte,

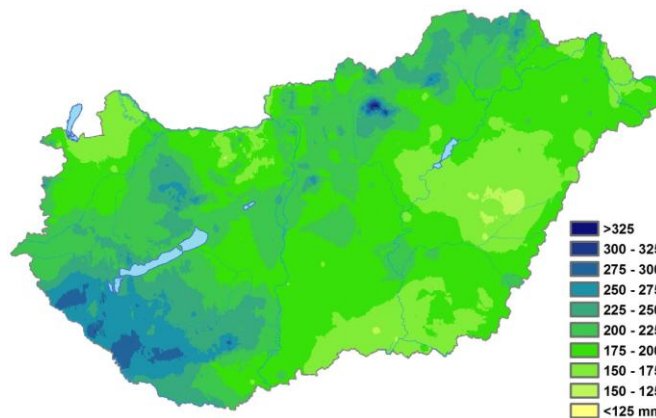
A csapadékos napok száma (napi csapadékösszeg, $r \geq 0,1$ mm) 10 volt, ami eggyel meghaladta a sokévi átlagot. A zivataros napok száma a sokévi átlagnak megfelelően alakult (normál: 1 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

128 mm, Bakonykoppány (Veszprém megye)



1. ábra: A 2015-es őszi középhőmérséklete (°C)



2. ábra: A 2015-es őszi csapadékösszege

melynek köszönhetően szeptember 30-a lett a hónap leghidegebb napja, 12 °C-nál alacsonyabb országos átlaghőmérséklettel, míg az országos átlaghőmérséklet szempontjából a legmelegebb nap a szeptember 1-je volt 25,7 °C-kal. Az ideje évben a legmagasabb szeptemberi hőmérséklet, a mérések kezdete óta a 4. legmagasabb érték, amit Magyarországon valaha mértek. Az ország túlnyomó részén 16–18 °C-os havi középhőmérsékletet regisztráltunk. A Tisza mentén és az Alföld délkeleti részén, igen nagy területen jelentkeztek 19–20 °C közötti értékek. Hűvösebb területek a magasabb hegységeinkben voltak. Az országos átlaghőmérséklet 17,2 °C volt, ami 1,4 °C-kal magasabb a sokévi átlagnál. Országos átlagban 10 nyári napot regisztráltunk (maximum, $t_x \geq 25$ °C), mely kettővel több a sokévi átlagnál. Hőségnapból ($t_x \geq 30$ °C) 4 jelentkezett, miközben a megszokott mennyiség mindössze 1 nap. A hónap során több napi állomási maximumhőmérsékleti rekord született: 1-jén Dombegyházon (36,9 °C), 2-án Tuzséron (36,0 °C), 17-én Szeged külterület állomáson (36,4 °C) és 18-án Körösszakálon (37,3 °C).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

37,3 °C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), szeptember 18.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

0,5 °C, Kakucs (Pest megye), szeptember 9.

Szeptemberben, országos átlagban 65,7 mm csapadék hullott, ami több mint 10 mm-rel meghaladja a sokévi átlagot (54,7 mm). A csapadék területi eloszlása nagyon változatos képet mutatott. Az ország északi és középső részein több csapadék hullott, mint az ilyenkor megszokott. Nagyobb területen mértük a szokásos mennyiség 160–200%-át, míg egyes részeken ezt is meghaladta a csapadék mennyisége. A csapadékösszegényebb részeken volt, ahol a sokévi átlagnak mindössze a 60–80%-a hullott le. 2015 szeptemberében a legcsapadékosabb nap 25-e volt, amikor országos átlagban több, mint 20 mm csapadék hullott, ezen kívül még 5 napon esett 5 mm-nél több eső, a hónap első felében 4-én, 5-én, a második felében 19-én, 24-én és 26-án.

A hónap legkisebb csapadékösszege:

26,0 mm, Sáp (Hajdú-Bihar megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

80,0 mm, Bakonykoppány (Veszprém megye), szeptember 25.

Október. Az átlagosnál jóval hűvösebben indult ez a hónap, majd 4–7. között a megszokottnál melegebb napok következtek. Október 4-e lett a hónap legmelegebb napja 16,1 °C-kal. 8-án lehülés kezdődött, melynek következtében 12-e lett a hónap leghidegebb napja 5,8 °C-os országos átlaghőmérséklettel, ami több mint 6 °C-kal kevesebb az ilyenkor jellemző normálértéknél. 12-től egy mediterrán ciklonnak köszönhetően gyorsan nőttek az országos napi átlaghőmérsékletek, majd egy újabb mediterrán ciklon melegfrontjának köszönhetően egészen október 19-ig a sokévi átlag felett alakult a hőmérséklet. 20-tól fokozatosan anticiklonális hatások váltak uralkodóvá hűvös, őszi esen kódos időt hozva, az átlaghőmérsékletek többnyire a sokévi átlag alatt vagy nem sokkal afelett alakultak. Az ország nagy részén 9–11 °C között alakult a havi középhőmérséklet, a hegyvidéki területeken volt néhány fokkal hidegebb. Az országos közép 9,9 °C volt. Átlagban 0,6 °C-kal volt hűvösebb az október a megszokottnál, jobbra mindenütt negatív anomália volt jellemző. A szokásos 1 nyári nap nem jelentkezett. Fagyos nap (minimum, $t_n \leq 0$ °C) csak 2 volt, ami fele a normálnak.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

27,1 °C, Kübekháza (Csongrád megye), október 4.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-3,7 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), október 28.

Csapadékos volt az október. Országos átlagban 108,2 mm hullott le. Délnyugaton volt a legtöbb csapadék, 150–200 mm, míg kelet felé haladva fokozatosan csökkent a mennyiség 60–80 mm-re. A kevésbé nedves területek közé tartozott Nógrád és Komárom-Esztergom megye (80–90 mm). Északkeleti elhelyezkedése ellenére nagyon csapadékos volt Borsod-Abaúj-Zemplén (100–150 mm). Az 1981–2010-es normál

időszak adatai alapján októberben 42,6 mm hullik le országos átlagban. Idén két és félszer ennyi csapadék volt. A legkisebb többlet a keleti határszáraz és északkeleten volt jellemző, de még itt is több hullott, mint a szokásos mennyiség 120%-a. Október 4-től 20-ig több mint két héten keresztül minden nap esett. Október közepén több napig mediterrán ciklonok uralták térségünk időjárását, melynek hatása jól tetten érhető a napi összegek alakulásában. Ezután egy nyugodtabb időszak következett, de a hónap vége felé többfelé előfordult csapadéknym, főként ködszítalásból. 12 csapadékos nap fordult elő országos átlagban. Ez néggyel több a sokévi átlagnál (normál: 8 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

171,2 mm, Nagyatád (Somogy megye)

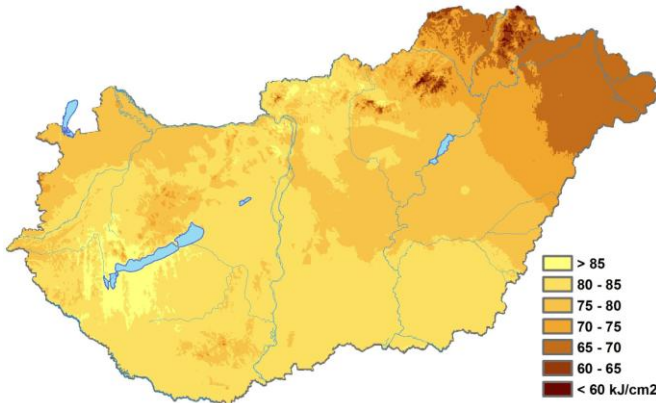
A hónap legkisebb csapadékösszege:

50,7 mm, Sáp (Hajdú-Bihar megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

69,4 mm, Diósjenő (Nógrád megye), október 16.

November. Az átlagosnál hűvösebben indult a november, de ezt követően 7–22. között a megszokottnál melegebb volt az idő. A hónap legmelegebb napjai 10–11., ekkor 13,6 °C volt az országos átlaghőmérséklet, ami 7–8 °C-kal melegebb az ilyenkor megszokottnál. 20-án gyorsított leűlés kezdődött, ami 25-ig tartott, így ez a nap lett a hónap lehidegebb napja 0 °C-os országos átlaghőmérséklettel. 28-ig az átlagosnál hűvösebb volt, majd a hónap utolsó két napján ismét a normálérték fölé emelkedett a hőmérséklet. Az ország területén a közép-



3. ábra: A 2015-es őszi globálisugárzás összege (kJcm²)

hőmérséklet zömmel 5–8 °C között alakult, néhány fokkal alacsonyabb értékeket regisztráltunk az északkeleti határszárazon, főként Szabolcs-Szatmár-Bereg és Borsod-Abaúj-Zemplén megyékben. A havi közép országos átlagban 6,5 °C volt. Pécs Egyetem TTK állomáson volt a legmelegebb (8,7 °C), míg a lehidegebbnek Zabar bizonyult (4,2 °C). Országos átlagban 1,8 °C-kal volt melegebb az 1981–2010-es normálértéknél. A magasabban fekvő területeken és a Dunántúlon általában nagyobb volt a pozitív anomália (2–4 °C), ezzel szemben a Tiszántúlon (0,5–1,5 °C) alacsonyabb értékek voltak jellemzőek. Idén novemberben

a megszokott téli nap (napi maximumhőmérséklet, azaz t_x ≤ 0 °C) nem jelentkezett (normál: 1 nap), fagyos napból is egyel kevesebb volt a megszokottnál (normál: 11 nap; 2015. november: 10 nap). A hónap során több napi állomási maximumhőmérsékleti rekord született: november 9. Sátorhelyen (23,8 °C), november 11. Nagykanizsán (23,6 °C), november 12. Bátán (22,7 °C).

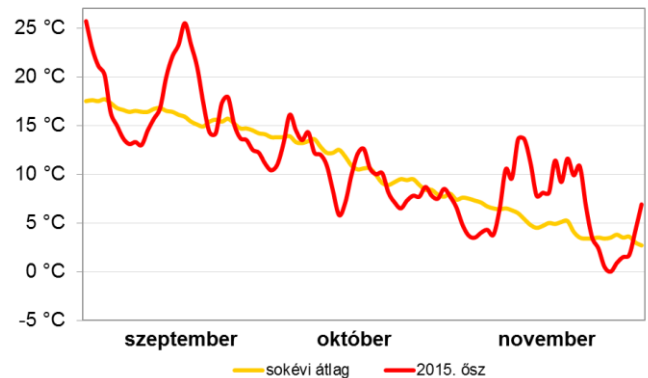
A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

23,8 °C, Sátorhely (Baranya megye), november 9.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-10,1 °C, Zabar (Nógrád megye), november 25.

Országos átlagban 27,6 mm hullott, ami 22,2 mm-rel kevesebb a novemberben megszokottnál, az 1981–2010-es normálnak mindössze 55,4%-a hullott le. Ez a november a 23. legszárazabb 1901 óta. A legtöbb csapadék, 50–70 mm, a keleti határszárazon volt jellemző, míg a legkevesebb, 0–20 mm, a Dunántúl északi részén esett. A sokévi átlagtól leginkább elmaradó értékek (5–20%) zömmel a Dunántúl északi részén csoportosulnak. A Dunántúl déli részén a megszokott mennyiség 20–50%-a, a Duna-Tisza közén 50–60%-a, míg a Tiszántúlon 80–120%-a volt jellemző. Ködös idő volt jellemző, sokfelé fordult elő ködszítalás. November 7–9. között záporos jellegű csapadék hullott, de országos átlagban egyik nap sem érte el az 1 mm-t. 15-én egy hidegfrontnak köszönhetően 2 mm-t meghaladó csapadék esett, majd 20–22. közötti három napban több, mint 15 mm csapadék hullott. Csapadékosan zárult a hónap, és 26-tól már többfelé előfordult eső helyett havas eső, hószál-



4. ábra: A 2015-ös őszi napi középhőmérsékleteinek eltérése a sokévi (1981-2010-es) átlagtól (°C)

lingózás, havazás. Novemberben 2-vel kevesebb csapadékos napot jegyeztünk a sokévi átlagnál (normál: 10; 2015. november: 8 nap).

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

82,5 mm, Tiszabecs (Nógrád megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

1,9 mm, Csepreg (Vas megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

26,5 mm, Bánokszentgyörgy (Zala megye), november 20.

2015. őszi időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJcm ²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos napok
	évszak összes	eltérés		évszak összes	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	
Szombathely	437	51	80	11,0	1,0	34,0	09.01	-2,8	11.23	195	126	16	8
Nagykanizsa	-	-	83	10,6	0,7	32,6	09.01	-4,8	11.02	228	112	21	0
Pér	-	-	-	11,1	-	32,8	09.01	-5,2	11.25	192	141	21	5
Siófok	-	-	81	12,2	0,9	33	09.01	-1,4	11.25	188	131	17	10
Pécs	476	27	83	12,1	1,0	34,2	09.17	-2,2	11.06	204	119	22	3
Budapest	450	27	77	11,7	0,8	33,5	09.01	-4,6	11.25	203	157	25	3
Miskolc	388	-9	70	11,2	1,5	34,9	09.01	-6,3	11.25	213	167	21	1
Kékestető	430	10	77	7,5	1,4	25,8	09.01	-6,8	11.24	306	164	30	23
Szolnok	413	-16	77	11,8	0,9	34,5	09.01	-3,9	11.03	164	135	22	7
Szeged	483	43	84	11,8	0,9	36,4	09.17	-3,7	11.05	147	123	21	3
Nyíregyháza	-	-	69	11,0	1,2	35,6	09.01	-6,2	11.25	162	127	27	6
Debrecen	407	-20	70	11,6	1,2	34,8	09.18	-3,4	11.03	156	123	28	0
Békéscsaba	-	-	82	11,5	0,8	35,3	09.18	-4,8	11.04	192	151	28	1

A 60. ÉVFOLYAM (2015) SZERZŐI AUTHORS OF VOLUME 60 (2015)

Bánki Mihály: Ha meghalunk	112	Péliné Németh Csilla, Bartholy Judit, Pongrácz Rita és Radics Kornélia: Széladatok homogenizálása és korrekciója	165
Brajnovits Brigitta: A szélenergia szerepe a jövő energiaellátásában és a meteorológiai előrejelzésekben	92	Puskás János, Kúti Zsuzsanna és Károssy Csaba: Visszatekintés a Magyar Meteorológiai Társaság Szombathelyi Területi Csoportjának 30 éves működésére	48
Csikós Nándor és Szilassi Péter: Szélérőmű-park kialakítására alkalmas terület kiválasztása geoinformatikai módszerekkel Csongrád megye példáján	98	Rácsi András: Eger Bükk-vidéki Csoport	41
Darányi Mariann és Leelőssy Ádám: Róna Zsigmond Ifjúsági Kör a Magyar Meteorológiai Társaságban	38	Sáhó Ágnes: Meteorológiai Világnap 2015, alkalmazkodjunk okosan! Éghajlati ismereteinket váltsuk tettekre	53
Dunkel Zoltán: Emlékkülés a Magyar Meteorológiai Társaság megalakulásának 90. évfordulóján	8	Szalai Sándor, Fülöp Andrea és Németh Ákos: Az Agro- és Biometeorológiai Szakosztály tevékenysége	24
Dunkel Zoltán: Kislexikon	166	Szász Gábor és Lázár István: MMT – Debreceni Csoport	43
Dunkel Zoltán: Mérföldkövek a Magyar Meteorológiai Társaság történetében	15	Szepesi Dezső és Ferenczi Zita: A Levegőkörnyezeti Szakosztály beszámolója	30
Dunkel Zoltán: Történelmi arcképek – Béll Béla	195	Szerkesztői üzenet (Címlapkép): MMT alapításának 90. évfordulójára rendezett rajzpályázat 3. helyezetteje	1
Dunkel Zoltán: Történelmi arcképek – Róna Zsigmond	151	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Barta Bertalanné dr. Kmetykó Katalin	7
Ferenczi Zita: „A titokzatos PM nyomában, avagy amit a PM-ről tudni lehet”	113	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Gajzágó László	7
Ferenczi Zita: Határon túli források hatása a hazai PM szennyezettségre	140	Szerkesztői üzenet: 50 éves a Horvát Meteorológiai Társaság	68
Fodor István: A Magyar Meteorológiai Társaság Pécsi Csoportja	42	Szerkesztői üzenet: A 60. évfolyam (2015) szerzői	194
Gulyás Ágnes és Makra László: MMT Szegedi Területi Csoport	45	Szerkesztői üzenet: A Meteorológiai Világnapon (március 23.) kitüntetettek csoportképe	2
Gyarmatiné Mészáros Erzsébet: Amit a PM₁₀ mérések mutatnak	129	Szerkesztői üzenet: Az óvodai rajzpályázat első, második és harmadik helyezett alkotása	63
Hartmann Bálint: Megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos hallgatói és oktatói kutatások a BME villamos energetika tanszékének villamos művek és környezet csoportjában	82	Szerkesztői üzenet: Dr. Szakács Györgyné Életfa kitüntetése	154
Horányi András, Ihász István és Radnóti Gábor: Elhunyt az MMT Tiszteleti Tagja, Jean-François Geleyn	6	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Böjti Béla	66
Horváth László: Mészáros Ernő 80	5	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Szeibert Tivadarné	156
Horváth Miklós, Csoknyai Tamás és Szánthó Zoltán: A meteorológiai mérések szerepe az épületgépészetben	156	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Szentimrey Béláné	156
Illy Tamás és Szépszó Gabriella: Szélenergia becslések regionális éghajlati modellek eredményei alapján	161	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Titkos Ervin	112
Imre Kornélia és Molnár Ágnes: A légköri víztartalom szerepe a PM₁₀ tömegkoncentráció meghatározásában	132	Szerkesztői üzenet: Elhunyt Ventura Eduárd	66
Jenki Szilvia (Címlapkép): Üllőképződés kezdetén	65	Szerkesztői üzenet: Kenderesy Kálmán Magyar Arany Érdemkereszt kitüntetése	110
Jóbai Zsolt (Címlapkép): Halo a sípálya fölött	153	Szerkesztői üzenet: Miniszteri elismerések	154
Kádár Péter: Szélenergetikai vizsgálatok az Óbudai Egyetemen	177	Szerkesztői üzenet: Németh Péter Magyar Arany Érdemkereszt kitüntetésben részesült	4
Kis-Kovács Gábor: PM emisszió a kibocsátási leltár tükrében	124	Tar Károly és Dobány Zoltán: Nyíregyházi Területi Csoport	37
Kolláth Kornél (Címlapkép): Füstös hajnal	109	Tóth Péter és Biróné Kircsi Andrea: A szélenergia hasznosítás legújabb eredményei	88
Lázár István: Székelyföldi meteorológiai állomások szélirányainak vizsgálata	189	Tóth Róbert: A házsongárdi temetőben	104
Major György: A Magyar Meteorológiai Társaság nemzetközi kapcsolatai 1925-2015	21	Útóné Visi Judit, Kiss Barbara és Kovács Enikő: A megújuló energiák magyarországi oktatási vonatkozásai, európai kitekintéssel	74
Marton Annamária és Hoffmann Lilla: 2015 őszeinek időjárása	192	Varga Judit: A PM₁₀ szabályozása	136
Marton Annamária és Kovács Tamás: A 2015-ös tavasz időjárása	106	Vincze Enikő: 2015 nyarának időjárása	149
Menyhárt László, Anda Angéla és Nagy Zoltán: Piranométer színtezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre	172	Vincze Enikő: A 2014. év időjárása	56
Mika János és Konkolyiné Bihari Zita: Az Éghajlati Szakosztály tevékenysége	26	Vincze Enikő: A 2014/15-ös tél időjárása	61
Németh Ákos: A Magyar Meteorológiai Társaság hírei	50	Wantuch Ferenc és Bottyán Zsolt: A Magyar Meteorológiai Társaság Repülésmeteorológiai Szakosztálya	36
Németh Ákos: Néhány szó a Légkördinamikai Szakosztályról	29	Wantuchné Dobi Ildikó és Major György: A Nap- és Szélenergia Szakosztály tevékenysége	33
Páldy Anna és Bobvos János: A légszennyezés egészségkárosító hatásának becslése	115	Wantuchné Dobi Ildikó: Meteorológiai információk szerepe a szél- és napenergia hasznosításban	72
		Wantuchné Dobi Ildikó: Nap- és szélenergia kutatás és oktatás konferencia	69
		Weidinger Tamás: Matyasovszky István halálára	156
		Zsikla Agota: A 2015. évi balatoni és velencei-tavi viharjelzési szezonról	145

TÖRTÉNELMI ARCKÉPEK HISTORICAL PORTRAITS

Dunkel Zoltán

Magyar Meteorológiai Társaság, 1525 Budapest Pf. 38., dunkel.z@met.hu

BÉLL BÉLA

Uraj, 1908. október 3. – Budapest, 1988. szeptember 24.

A Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, az Aerológiai Obszervatórium (később Központi Légműfizikai Intézet, majd Marczell György Főobszervatórium) első vezetője, az OMSZ tudományos tanácsadója, a Magyar Meteorológiai Társaság elnöke az akkori Gömör-Kishont vármegyei Urajon született. A Pázmány Péter Tudományegyetemen szerzett matematika-fizika szakos tanári oklevelet 1932-ben. A végzés után két évig díjtalan gyakornokként dolgozott az Egyetem *Eötvös Fizikai Intézetében*. Innen került át 1934-ben szintén díjtalan észlelőként a *Magyar Királyi Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézetbe*, az OMSZ jogelődjébe, ahol 5 éven át bentlakásos alkalmazottként naponta háromszor észlelt. Hamarosan ÁDOB gyakornok lett, ami szerény, 75 pengős havi díjazást jelentett. Anyagi nehézségein magánóraadással könnyített. 1936–1937-ben mint a *Collegium Hungaricum* ösztöndíjasa végzett tanulmányokat a berlini *Humboldt Egyetemen*, valamint a *lindenbergi* meteorológiai és a *potsdami* asztrofizikai obszervatóriumban. 1941-ben készült disszertációjára, – ami az első magyar aeroklimatológiai munka –, kapta meg a Pázmány Péter Tudományegyetemen doktori oklevelét. Az OMFI-ban előbb a Klimatológiai, majd az Aerológiai Osztály munkatársa volt. 1943-ban ő lett az Aerológiai Osztály vezetője, s egészen 1951-ig irányította az ott folyó tudományos munkát, 1951-től 1969-ig pedig az intézet igazgatóhelyettese, egyidejűleg 1953-tól a *pestszentlőrinci* aerológiai-légműfizikai obszervatórium vezetője volt. 1970 után az *Országos Meteorológiai Szolgálat* tudományos tanácsadója, 1974-es nyugdíjazásától haláláig a Szolgálat tudományos tanácsának elnöke volt. A Mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Főiskolán 1943-tól 1949-ig agrometeorológiát oktatott. A Budapesti Műszaki Egyetemen 1949-től 1952-ig tartott agrogeológiai előadásokat, 1952-től 1956-ig pedig az Eötvös Loránd Tudományegyetem oktatott aerológiát mint meghívott tanár. 1965 után a szegedi József Attila Tudományegyetemen is oktatott címzetes egyetemi tanárként. A 70-es években az ELTE-n tartott az általános cirkulációról speciális kollégiumot. A magyarországi aerológiai kutatások iskolateremtő alakja volt. Behatóan foglalkozott a Magyarország feletti magasabb, szabad légrétegek légműfizikai, éghajlati, különösen légáramlási folyamataival és sajátosságaival. A nevéhez fűződik az országos magaslégköri szélmérőhálózat megszervezése. Az 1930-as évektől maga is végzett ballonos és meteorográfus



szélméréseket, 1948-ban pedig ő indította el és rendszeresítette a rádiószondás méréseket. Jelentősek a légkörben tapasztalható vízszintes levegőáramlásra és az azt befolyásoló léghőmérsékleti advekcióna, a légkör függőleges irányú labilitására, légnomás, hőmérséklet és légnedvesség szerinti változékonyságára és szezonálisára, továbbá a troposzféra rétegzettségére, a sztratoszféra cirkulációs folyamataira vonatkozó kutatásai. Számottevő eredményeket ért el a termikus szél elméletének és a zivatar kialakulási folyamatainak vizsgálatával, de behatóan

foglalkozott felhőfizikával, a légkör radioaktivitásával, az ionoszféra kémiai sajátosságaival, valamint a napsugárzás fotokémiai mérésével és a látótávolság meghatározásának módszertanával. További jelentős eredményeket ért el a Kárpát-medence általános meteorológiai-klimatológiai leírásában, valamint az éghajlati viszonyok és a növénytermesztés kapcsolatát vizsgáló agrometeorológiában is. Az 1957/1958-as nemzetközi geofizikai év magyarországi tudományos programjainak egyik szervezője volt. Több egyetemi tankönyv és szakönyv fűződik a nevéhez.

Az MTA Tudományos Minősítő Bizottsága 1954-ben addigi tudományos tevékenysége elismeréséül, külön eljárás nélkül a fizikai tudományok (meteorológia) kandidátusává minősítette. A lokális hőmérsékletváltozás advektív komponense a Budapest fölötti szabad troposzférában (1967) című értekezésére 1968-ban megkapta a műszaki tudományok doktora címet. Két évtizeden át szerkesztőbizottsági tagja volt az *Időjárás* című szakfolyóiratnak. A Magyar Tudományos Akadémia 1970-ben levelező, 1982-ben pedig rendes tagjává választotta. Akadémikusként a Meteorológiai Tudományos Bizottság elnöke volt. 1964-től 1970-ig társelnöke, 1974-től 1980-ig elnöke volt a Magyar Meteorológiai Társaságnak, 1982-ben a Magyar Földrajzi Társaság tiszteleti tagjai sorába választották. Ugyancsak tiszteleti tagja volt a Szlovák Meteorológiai Társaságnak (SMÚ) és a Német Demokratikus Köztársaság Meteorológiai Társaságának, valamint közreműködött a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Szövetség (IUGG) magyar nemzeti bizottságának munkájában is.

Tudományos munkássága elismeréseként előbb 1952-ben, majd másodszor 1980-ban kapta meg a Magyar Meteorológiai Társaság Steiner Lajos-emlékermét, 1981-ben pedig MTESZ-díjat vehetett át. 1978-ban a Munka Érdemrend arany fokozatával tüntették ki.

