

L É G K Ö R

61. évfolyam

2016. 2. szám





Az Országos Meteorológiai Szolgálat Marcell György Főobszervatóriumának 2016. június 2-án felavatott új észlelő-kertje (Budapest-Pestszentlőrinc Főállomás), az Ambrózy Pál Meteorológiai Tanösvény, a *mérőkert-múzeum*mal (bal oldalon). Hátul baloldalt a szondázó ballonok megtöltésére használt torony („a hangár”) és a hidrogéntároló látható. Középen van az új meteorológiai állomás és a *sugárzási mérőállvány*. A *légkörfizikai mérőtorny* jobb oldalon hátul, az *innovációs műszerkert* jobb oldalon helyezkedik el (Varga Bálint felvétele).

Az új objektum átadásáról szóló összefoglaló lapunk 80. oldalán olvasható.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárás események leírásának közzétevése. A lap elfogad publikálásra szakmai úti beszámolót, időjárás 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 semmilyen 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 ábraaláírásokat. 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 hivatkozás legyen. Az egyéb közlemények, szakmai beszámolók esetében is kérjük lehetőség szerint angol cím és összefoglaló megadását.

LÉGKÖR

61. évfolyam
2016. 2. szám

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:
3000.- Ft
Megrendelhető az OMSZ
Pénzügyi és Számviteli Osztályán
1525 Budapest Pf. 38.
E-mail: legkor@met.hu

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT
ÉS A MAGYAR METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG
SZAKMAI TÁJÉKOZTATÓJA

TARTALOM

CÍMLAPON

PCS.2000-24 típusú Doppler SODAR (METEK GmbH) a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Observatóriuma területén	45
Szerzőink figyelmébe	46

TANULMÁNYOK

Tar Károly, Bíróné Kircsi Andrea és Tóth Tamás: A szélenergia kutatása a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén (1980–2014)	48
Varga Andrea, Vass Attila és Kádár Péter: Napelemes vizsgálatok az Óbudai Egyetemen	64
Kassai-Szoó Dominika: Városi napenergia potenciál becslés	76
Hágen András: A házi szélkerekek és miniturbinák energiatermelése, valamint hasznosításuk a jövőben	78

KRÓNIKA

Aigner Szilárd 1946–2016	75
Horváth Gyula: A Marcell György Főobszervatórium felújított Műszerkertje és az Ambrózy Pál Meteorológiai Tanösvény felavatása	80
Jankó Ferenc: Éghajlatingadozás és éghajlatváltozás: adalékok Réthly Antal hagyatékából	81
Hoffmann Lilla: A 2016 tavaszának időjárása	86

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE

PCS.2000-24 type Doppler SODAR (METEK GmbH) in Agrometeorological Observatory of University of Debrecen	45
Instructions to the authors of LÉGKÖR	46

STUDIES

Károly Tar, Andrea Bíróné Kircsi and Tóth Tamás: Research of the Wind Energy in Department of Meteorology of University of Debrecen (1980-2014)	48
Andrea Varga, Attila Vass and Péter Kádár: Examinations with Solar Cells on the Óbuda University	64
Dominika Kassai-Szoó: Solar Energy Potential on Urban Level	76
András Hágen: Energy Production and Utilization of the Home Wind Turbines and Mini Turbines	78

CHRONICLE

Szilárd Aigner 1946–2016	75
Gyula Horváth: The Opening 'Marcell György' Main Observatory's Renewed Instrument Garden and 'Ambrózy Pál' Meteorological Study Path	80
Ferenc Jankó: Climate Fluctuation and Climate Change: Data from Antal Réthly's Inheritance	81
Lilla Hoffmann: Weather of Spring of 2016	86

A SZÉLENERGIA KUTATÁSA A DEBRECENI EGYETEM METEOROLÓGIAI TANSZÉKÉN (1980-2014)

RESEARCH OF THE WIND ENERGY IN DEPARTMENT OF METEOROLOGY OF UNIVERSITY OF DEBRECEN (1980-2014)

Tar Károly^{1,2}, Bíróné Kircsi Andrea³, Tóth Tamás²

¹Nyíregyházi Főiskola Turizmus és Földrajztudományi Intézet, tarko47@gmail.com

²Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék, tamas.toth1@gmail.com

³Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel utca 1., kircsi.a@met.hu

Összefoglalás. A tanszék széklímával, szélenergiával kapcsolatos kutatásainak elsődleges célja olyan statisztikai módszerek és modellek kidolgozása, amelyek növelik a szélenergia felhasználásának hatékonyságát. A legtöbb tanulmányunk a hazai szélenergia hasznosítás klimatológiai aspektusait érinti, elemezve általában a szél irányának, sebességének és energiájának statisztikai tulajdonságait és a köztük lévő kapcsolatot. Vizsgáltuk a hasznosítás fontos társadalmi tényezőit is. A tanulmányban a csaknem 35 éves kutatás legfontosabb eredményeit foglaltuk össze.

Abstract. The aim of our research is to work out those statistical methods and models which enables the increase of efficiency of wind energy utilization. Most of our studies respect the climatological aspect of utilization, analyzing the statistical characteristics of direction, speed and energy of the wind and their relations in Hungary. The important social factors of utilization were also investigated. The most important results of almost 35-year research are summarized in the following paper.

Bevezetés. Magyarországon a megújuló energiák elméleti potenciálját összehasonlítva a szélenergia jelentős pozíciót foglal el: a szélenergia potenciál 75 m magasságban, 75 m rotor átmérővel 56,85 TWh (204,7 PJ/év) energia termelését tenné lehetővé, az évi szélteljesítmény így 6489 MW (Hunyár et al., 2006). Más becslések szerint hazánk teljes kihasználható szélpotenciálja 532,8 PJ/év (MTA Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság, 2006). Jelenleg Magyarországon 329,325 MW a telepített szélenergia kapacitás, összesen 173 szélenergiaerőmű működik 39 helyszínen (www.mszt.hu). Ezeknek közel 90%-a az ország ÉNy-i területén található. A szélenergiából termelt villamos energia folyamatosan növekedett az épülő erőmű kapacitásoknak köszönhetően. 2011-2014 között nem épültek új szélenergiaerőművek, így az ezekben az években termelt villamos energia mennyisége a szélpotenciál évről évre történő változását tükrözi. 2012 igen jó széljárású év volt, megközelítette a 750 GWh-t a szélből termelt elektromos áram mennyisége. 2013-ban 173 hazai szélenergiaerőmű 693 GWh áramot adott hálózatra, mely a hazai villamos energiarendszer bruttó termelésének közel 3%-át jelenti. A magyarországi szélenergia felhasználásának jelenlegi helyzetéről és jövőbeli lehetőségeiről részletesebben olvashatunk ebben a számban Tóth Péter és Bíróné Kircsi Andrea cikkében, valamint Tar (2012), Tar és Tömöri (2013) tanulmányaiban.

A tanszék kutatási témái, eredményei. A 2016-ban 65 éves Debreceni Meteorológiai Tanszék széklímával, szélenergiával kapcsolatos kutatásainak az elsődleges célja olyan statisztikai módszerek, modellek kidolgozása, amelyek növelik a szélenergia felhasználásának hatékonyságát. Az első tanszéki széklimatológiai cikk 1980-ban jelent meg (Tar, 1980), egy nagyobb lélegzetű össze-

foglaló munka pedig 1991-ben (Tar, 1991a). Azóta megtörtént a 35 évet átfogó kutatásnak a hazai szélenergia hasznosítás klimatológiai aspektusaira vonatkozó rövid (Szegei és Bíróné Kircsi, 2012) és részletes (Tar, 2013b, 2014b) összefoglalása. Ebben a cikkben ezt bővítjük ki a nagytérségű vizsgálatok és a térbeli modellek bevonásával, valamint a szélenergia hasznosítás társadalmi vonatkozásainak vizsgálatával kapott általunk legfontosabbnak tartott eredmények, és a hozzájuk vezető módszerek összefoglalásával.

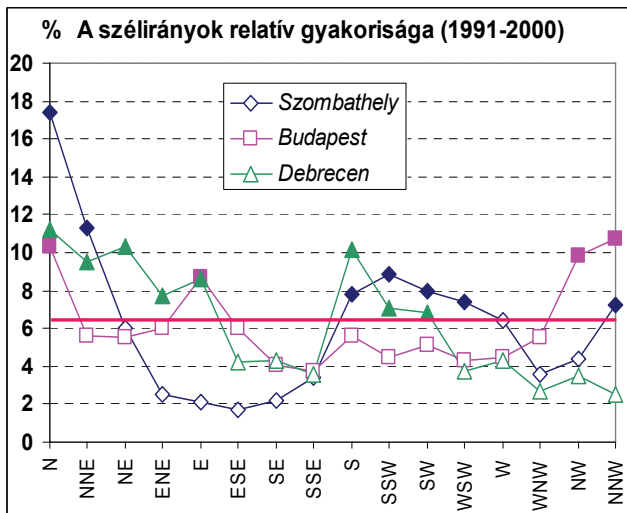
Magyarország széklímája: a hazai szélenergia hasznosítás klimatológiai aspektusai. A legtöbb tanulmányunk a szél mindhárom jellemzőjének – irányának, sebességének és energiájának – statisztikai tulajdonságait és a köztük lévő kapcsolatot taglalja. A vizsgálatokhoz szükséges adatbázist részben az OMSZ bocsátotta rendelkezésünkre, részben egy mindenki számára hozzáférhető honlapról töltöttük le, és vannak saját szélméréseink is. A különböző meteorológiai állomások adatait orográfiai (sík vidék, nem sík vidék) és időjárási helyzetek szerinti (makro-szinoptikus helyzetek vagy helyzetcsoportok, front típusok) részszármazonként is vizsgáltuk. Megkíséreltük a hazai szélmérőnek az éghajlatváltozással kapcsolatos módosulásának statisztikai detektálását is.

A szélirányok energetikai paraméterei. Esősorban a szélirányok gyakoriságának és váltakozásának energetikai vonatkozásait vizsgáltuk. Bevezettük a jellemző szélirányok fogalmát (Tar, 1991ab, Tar és Verdes, 2003). Azokat a szélirányokat tekintjük az adott helyen valamilyen időszakban (pl. hónap, évszak, év) vagy időjárási helyzetben (pl. a Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek) jellemzőnek, amelyek gyakorisága a valószínűségek egyenlőségére vonatkozó statisztikai próba szerint szig-

nifikánsan különbözik a többitől. Az 1. ábrán a jellemző szélirányokhoz a kitöltött jelölők tartoznak, a kritikus relatív gyakoriság kb. 6,5%. Megállapítottuk, hogy a jellemző irányok egyben a legtöbb energiát szállító szélirányok is. A legnagyobb energiátartalmút energetikailag uralkodó széliránynak neveztük el. A szélirányok által szállított energia függ az évszaktól, az időjárás helyzetétől és az orografikus környezettől. Ezt igazolják a jellemző szélirányokra vonatkozó vizsgálataink is. Ezek energiátartalma nyáron kisebb a síkvidéki állomásokon, nagyobb a nem síkvidéki állomásokon, mint télen. Egy jellemző szélirány évi és téli átlagban kb. négyszer annyi energiát szállít, mint egy nem jellemző szélirány, nyáron pedig kb. ötször annyit. A szélirány megváltozását, mint valószínűségi változót vizsgáltuk az óránkénti széladatok alapján. A vizsgálat módszere az, hogy az óránkénti szélsébségekből elemi eseményeket konstruálunk. Egy adott időszak vagy makroszinoptikus részhalmoz egy napjának t. órájában megfigyelt szélirányt összehasonlítjuk az előző, (t-1). órai széliránnyal. Ha ezek egyformák

instabilitási index növekszik, akkor a napi átlagos potenciális szélergia mennyisége – vagyis az óránkénti szélsébség köbök átlaga – csökken (Tar, 2004b, 2013a).

Öt meteorológiai állomás (Békéscsaba, Budapest, Debrecen, Szeged és Szombathely) 5 évi (1991–95) óránkénti szélirány- és szélsébség-regisztrátumai alapján elvégezve az elemzéseket megállapítottuk, hogy évszakos és éves felbontásban mindig szignifikánsak a lineáris korrelációk. Makroszinoptikus csoportosításban az anticiklon centrum helyzetben négy állomáson a két változó korrelálatlannak mutatkozott. A korrelációs és a regressziós együtthatók előjele mindenhol negatív, azaz nagyobb (több) napi irányváltozáshoz kevesebb napi potenciális szélergia tartozik, ahogyan azt feltételeztük (1. táblázat). A regressziós együttható azt is mutatja, hogy a napi potenciális szélteljesítmény mennyire érzékeny a szélirány megváltozására. Azért, hogy ez az érzékenység összehasonlítható legyen, azaz az energia mennyiségétől ne függjön, a regressziós együttható értékeit az adott részhalmoz (évszak, év, helyzet, helyzetcsoport) egy órá-



1. ábra: A kitöltött jelölők a jellemző szélirányokat mutatják.

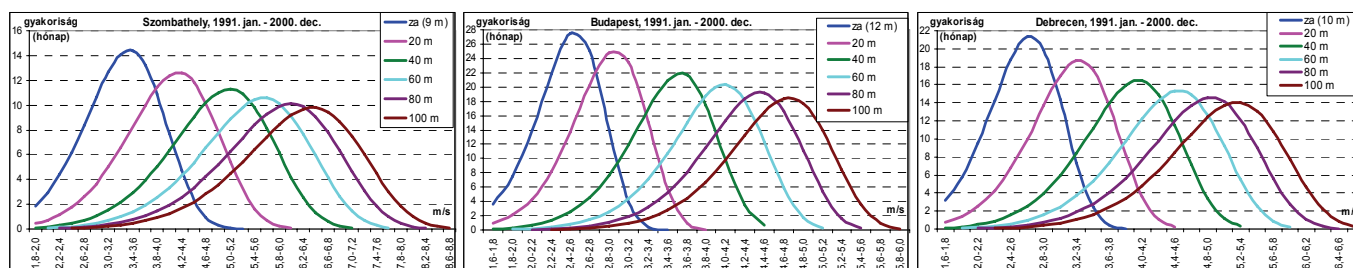
(azaz a fokokban kifejezett különbségük kisebb, mint $360/16=22,5$), akkor a t. órát az irányváltozás szempontjából *stabil időpontnak* nevezzük. Ellenkező esetben a t. óra *instabil időpont*. Egységnyi időszaknak egy napot tekintünk, így a szélirányváltozás szempontjából alapparaméter az *instabil időpontok napi száma*, ami a fentiek szerint 0 és 24 közé esik. Ezekből meghatározható az adott időszakban az *instabil időpontok átlagos napi száma* és az ún. *instabilitási index*. Ez utóbbi nem más, mint az időszak instabil időpontjainak és összes időpontjainak hányadosa. Az instabilitási indexek azt mutatják, hogy hazánkban általában nagyobb a szélirányok megmaradásra való hajlama, mint a változó hajlam (Tar, 1991ab, Tar és Szegedi, 2003, Tar et al., 2003, Tar et al., 2005). Energetikai paramétereinket pedig az alábbiak szerint származtatjuk. Mivel a potenciális fajlagos szélteljesítmény a szélsébség köbével arányos, a napi szélergia jellemzésére az *óránkénti szélsébség köbök átlagát* használtuk. Ez tehát a nap egy órájára átlagosan eső fajlagos szélteljesítménnyel arányos mennyiség. Az volt a sejtésünk, hogy ha a napi szélirányváltozások száma, azaz az

1. táblázat: Az év egy órájára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítménnyel arányos mennyiség ($\langle v^3 \rangle$), az instabilitási index (I_i), az átlagos napi szélirányváltozás ($\langle I_n \rangle$) értékei, valamint a napi fajlagos szélteljesítmény és az instabilitási index közötti lineáris korreláció és regresszió paraméterei (r_{iv} : korrelációs együttható, b_{iv} : regressziós együttható, s_{iv} : érzékenységi paraméter).

meteorológiai állomás	$\langle v^3 \rangle$	I_i	$\langle I_n \rangle$	lin. regr., korr.		
				r_{iv}	b_{iv}	s_{iv}
év						
Debrecen	53,7	0,44	10,5	-0,920	-6,1	11,3
Békéscsaba	57,1	0,46	11,0	-0,853	-8,6	15,0
Szeged	74,0	0,42	10,0	-0,796	-9,6	12,9
Budapest	37,8	0,45	10,8	-0,913	-3,5	9,3
Szombathely	141,1	0,47	11,2	-0,651	-43,5	30,8

jára átlagosan jutó energia mennyiségének arányában (%-ban) fejeztük ki, amit érzékenységi paraméternek neveztünk el. Az érzékenységi paraméter makroszinoptikus csoportosításban jóval tágabb határok között változik, mint az évszakos, éves felbontásban. A legérzékenyebb évszak az ősz, aztán a másik átmeneti évszak, a tavasz, majd a nyár és a tél következik. Az éves érzékenység a két középsőhöz, a tavaszihoz és a nyárihoz áll közel. Az állomások érzékenységi sorrendje pedig a következő: Szombathely, Békéscsaba, Debrecen, Budapest, Szeged.

A szélsébség energetikai célú vizsgálata. Részletesen vizsgáltuk a különböző (óránkénti, napi, havi, éves) szélsébség idősorok statisztikai paramétereinek évszaktól, időjárás és orográfiai helyzettől, valamint a felszín feletti magasságtól való függését. Ha az adatbázis mérete lehetővé tette, akkor a feltételezhető éghajlatváltozásnak a magyarországi szélmezőre gyakorolt hatását is megpróbáltuk kimutatni (Tar, 1998ab, Tar et al., 2001ab, 2002). Energetikai szempontból a szélsébség magassággal való változását leíró paraméterek kitüntetett jelentőséggel



2. ábra: A havi átlagos szélességek Weibull-eloszlással előállított eloszlása az 1991-2000. időszakban az egyes állomásokon az anemométer magasságában (z_a) és további 5 szintben három állomáson.

bírnak. 13 hazai meteorológiai állomás adatainak (1968–72) vizsgálata azt mutatta, hogy az anemométerek magasságából 10, 20 és 30 m-re a

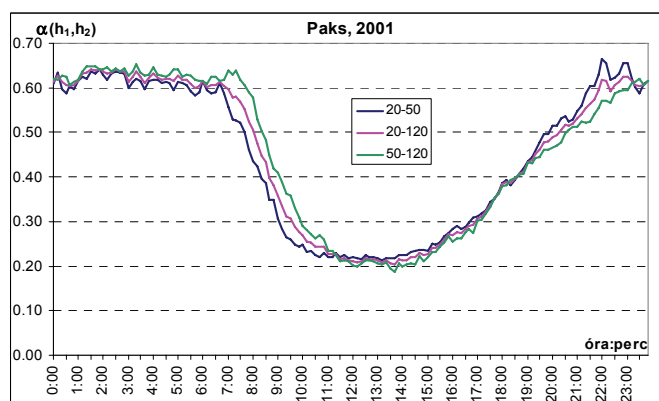
$$v_h = v_{10} [0,233 + 0,656 \cdot \lg(h + 4,75)] \quad (1)$$

ún. WMO-s összefüggéssel (amelyben a h az anemométer magasságát, a v_h az ottani, a v_{10} pedig a 10 m-es napi átlagos szélességet jelenti) transzformált napi átlagos szélességek eloszlása leggyakrabban a négyzetgyökös normál, a lognormál és a Weibull-eloszlással közelíthető. Arányuknak évszakos és időjárási helyzetektől függő változása van. A Weibull-eloszlás tehát – amire a legtöbb szélenergetikai modell épül – nem kizárólagos, sőt nem is olyan gyakori, mint ahogyan ez várható volt. Esetünkben viszonylag homogén áramlás, tehát nagyobb magasságokban és bizonyos makroszinoptikus helyzetekben válik gyakoribbá (Tar, 1991a). Elemeztük a havi átlagos szélesség idősorát is az 1991-2000 időszakban hét magyarországi meteorológiai megfigyelő állomáson (Tar, 2008b). Itt is különböző elméleti eloszlásokkal közelítettük a mért havi átlagos szélességek empirikus eloszlását, kimutattuk néhány eloszlás orográfától független voltát. A paraméterek becslése után a χ^2 -próbaival elvégeztük az illeszkedésvizsgálatokat 0,05 szignifikancia szinten. Ennek eredménye, hogy a paraméterek meghatározásának nehézsége miatt célszerű a négyzetgyökös normál eloszlást választani a havi mért átlagos szélességek gyakorisági eloszlásának leírására az anemométer magasságában. Ha viszont ebből kiindulva ettől eltérő magasságokban akarjuk megadni az eloszlásokat, akkor a Weibull-eloszlás tulajdonságait kell kihasználni. Ezek ugyanis lehetővé te-

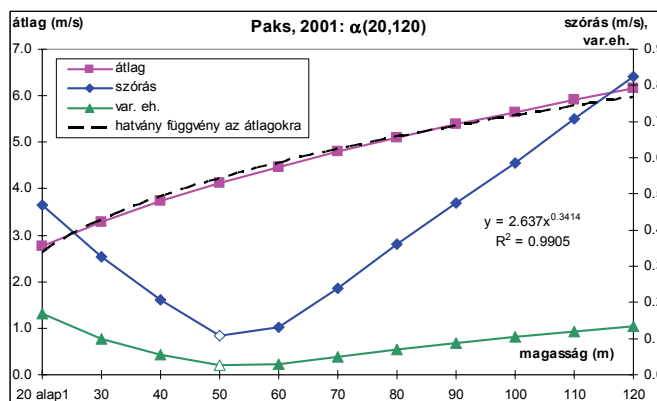
szik, hogy az eloszlás paramétereit (c : skála-faktor, k : alaktényező) a mérési szintre vonatkozó értékekből más magasságokra is kiszámoljuk. A Weibull-eloszlás Debrecen esetében 0,10, a többi állomáson 0,05 szignifikancia szinten bizonyult jó közelítésnek, így ezzel az eloszlással előállítottuk a havi átlagos szélességek eloszlását és alapstatisztikai paramétereit az anemométer magasságától különböző szintekben is. A 2. ábra illusztrálja az eredményeket három, közelítőleg ugyanazon a földrajzi szélességen lévő állomáson. Ha nem állnak rendelkezésünkre a Weibull-eloszlás paramétereit, akkor a mérési magasságtól különböző szinteken a szélesség értékét a

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (2)$$

ún. Hellman-összefüggéssel becsüljük, ami az elméleti logaritmusos szélprofil törvény egyszerűsített, gyakorlatban alkalmazott változata. Az α kitevő értéke elsősorban a felszín érdességének függvénye. Egyszerűségének köszönhetően a (2) összefüggést használjuk az energetikai célú szélmérések során is a talaj közelében mért szélességnek a szélturbina tengely magasságára történő konvertálásakor. A kitevő értéke azonban – mint ahogyan az a magyarországi szélenergia potenciált felmérő kutatások alapján is bebizonyosodott – számos légköri tényező befolyásolásának eredője. Ezek egyike a levegő egyensúlyi helyzete. Emiatt a becslés hibája növekszik talaj közeli inverzió, vagy erősen stabil állapotok fennállása esetén, különösen éjszaka. Energetikai szempontból is fontos, hogy a szélesség, így a szélenergia is a légkör különböző rétegeiben különböző napi menet szerint



3. ábra: A 10 percnként számolt Hellman-kitevők évi átlagának napi menete Pakson.



4. ábra: Az évi átlagos szélesség, a szórás és a variációs együttható különböző magasságokban 20 m-ből számolva az $\alpha(20,120)$ átlagos kitevővel.

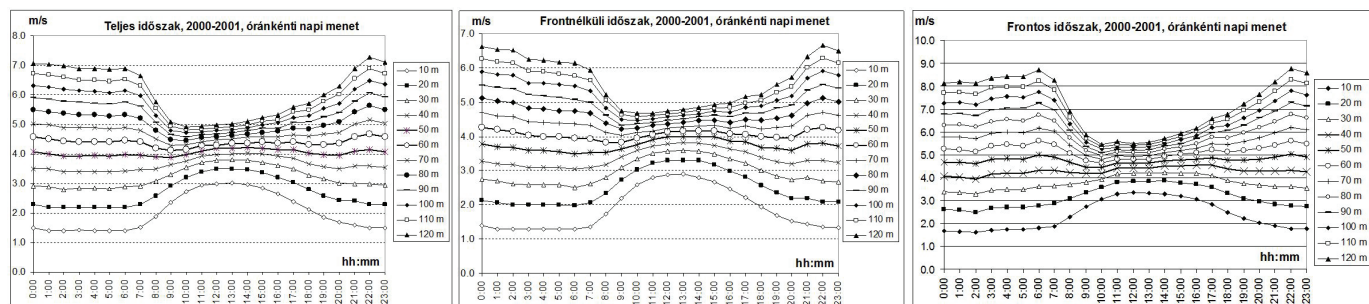
változik. A Hellmann-kitevő napi menetének vizsgálata tehát a szélesebb napi menetnek a mérési szinttől különböző magasságokban történő becslése szempontjából elengedhetetlen. A hőmérséklet nappali menetével való kapcsolata miatt feltételezhető, hogy a kitevő napi menetének tulajdonságai az időjárási helyzeteknek is függvényei. Ez tehát évszakos, vagy a különböző áramlási helyzetekből adódó sajátosságokat jelent. Feltételezésünk szerint a két réteg határán létezik egy ún. *inflexiós magasság*, ahol a szélesebb és a szélenergia napi menete véletlenszerű (Tar, 2004d, Kircsi és Tar, 2008, Tar et al., 2008). Ebben a magasságban tehát a szélenergia egész

2. táblázat: A szeles napok havi számának alapstatisztikái az 1971. január – 2000. december időszakban.

	1971.01.-2000.12.						
	Debrecen	Szeged	Budapest	Pécs	Keszthely	Szombathely	Kékestető
hónap	360	360	360	360	336	360	360
szeles	4466	4647	4667	4673	2777	4824	7213
valószínűség	0,408	0,424	0,426	0,426	0,270	0,440	0,658
átlag	12,4	12,9	13,0	13,0	8,3	13,4	20,0
szórás	5,09	4,83	5,26	5,50	4,73	5,19	4,93
medián	12	13	13	13	8	13	21
max.	26	27	27	28	24	30	31
min.	0	2	1	0	0	2	6
ingás	26	25	26	28	24	28	26
≥20(%)	10,3	7,8	11,1	13,9	1,7	13,1	57,8
≤10(%)	35,8	34,7	34,7	33,9	64,4	30,0	4,4

nap nagyjából egyformának tekinthető, azaz az ide telepített szélérőmű működése kevesebb feladatot jelent a villamos energetikai rendszerirányítás számára. Az ebben a szintben kitermelhető szélenergia viszont lényegesen kevesebb, mint a tőle nagyobb magasságokban. Az inflexiós magasság létezését a paksi meteorológiai torony 2000–2001 évi szélesebb mérései alapján bizonyítjuk. Itt három szinten: 20, 50 és 120 m-en rögzítik a 10 perces átlagos szélesebbégeket. Vizsgálatainkat elvégeztük Puskás-féle front-tipizálás (Puskás és Tar, 2010) alapján frontos (218) és front nélküli (513) napokra is. A α kitevő meghatározásához (2) szerint két különböző, h_1 és h_2 magasság v_1 és v_2 szélesebbégeire van szükség. A paksi három szintből háromféleképpen kiválasztott szélesebbégekből 10 percenként meghatározott α érték 2001. évi átlagának napi menetét a 3. ábra mutatja. A legvastagabb légréteget (20–120 m) átfogó értékek a másik kettő átlagnak tekinthetők, a továbbiakban ezt használtuk, jele $\alpha(20,120)$. Elsőként meghatároztuk az $\alpha(20,120)$ óránkénti átlagait, majd az óránkénti szélesebbégeket különböző magasságokban a 20 m-es mérésekből, ezekből pedig az évi átlagokat, a szórásokat és a variációs együtthatókat. Ezeket mutatja az 4. ábra. Látható, hogy az átlag körüli ingadozás mérőszámai, a szórás és a variációs

együttható 50 méteren határozott minimumot mutatnak. Feltevésünk szerint itt van tehát az inflexiós magasság. Vizsgálatainkat elvégeztük a Puskás-féle front-tipizálás szerinti frontos és front nélküli napok megkülönböztetésével két éves adatbázison is, ugyancsak az $\alpha(20,120)$ kitevőt használva (Tar és Puskás, 2010a). Az óránkénti átlagos szélesebbégek napi menetét különböző magasságokban az 5. ábra mutatja. Az ábra alapján nagy valószínűséggel állíthatjuk, hogy 50–60 m-en létezik az időjárási helyzetektől független inflexiós magasság, amely fölött a szélesebb napi maximuma késő délutáni, esti órákban áll be. Magyarországon a szélenergia döntő hányadát a ritkán előforduló nagyobb szélesebbégek adják. Vizsgálatainkba ezért bevontuk a 10 ms^{-1} -nál nagyobb maximális szélesebbéggel bíró napok, az ún. *szeles napok* havi számát is. Feltártuk ennek részletes statisztikai szerkezetét és a szélenergetikai paraméterekkel való kapcsolatát abból a célból, hogy a szélenergia előzetes becslésére egy könnyen hozzáférhető paramétert kapjunk (Tar 2006ab, Tar et al., 2008ab). A szeles napok havi adatsorai és a szélesebbégek óránkénti értékei Debrecen, Szeged, Budapest-Pestszentlőrinc, Pécs, Keszthely, Szombathely és Kékestető állomásokon az 1971. január–2000. december időszakban homogénnek vehetők. Ezeket az adatokat dolgoztuk fel. A szeles napok alapstatisztikáit a 2. táblázat tartalmazza. A szeles napok bekövetkezésének valószínűsége Keszthely kivételével meglepően nagy, ami a szélenergia mennyisége szempontjából megnyugtató. Valódi orográfiai különbséget a 2/3 fölötti gyakoriságok esetében sikerült kimutatni szintén csak Keszthely kivételével, ugyanis a havi 20-nál több szeles nap előfordulásának gyakorisága nagyobb a hegyes és nem síkvidéki állomásokon, mint az alföldieken. A széljárás tehát Keszthelyen a legkiegyenlítettebb, aminek okaként az itt kialakuló termikus, azaz a vízparti szél valószínűsíthetjük. Az éves menetet áprilisi maximum, júliusi másod-maximum és nyár végi, ősz eleji minimum jellemzi Kékestető kivételével. Itt a maximum decemberre esik. Kékestető kivételével a szokásos 0,05 szignifikancia szinten a szeles napok havi számának empirikus eloszlása a gamma-eloszlással jól közelíthető. Kékestetőn a Poisson-eloszlás bizonyult ilyennek. A magyarországi szélmező és a nagytérségű légnyomási mező sztochasztikus kapcsolatának számszerű jellemzésére is a havonkénti szeles napok számát és a különböző cirkulációs (NAOI, zonális: ZI, meridionális: MI és ciklonossági: CI) indexek havi értékeit használtuk az 1970–2003. időszakban három, Péczely ill. Köppen szerint különböző éghajlati körzetben lévő meteorológiai állomás (Szombathely, Szeged és Debrecen) esetében (Molnár és Tar, 2003, Tar, 2004a; 2007). A lineáris korrelációs és regressziós analízis eredménye szerint nagy biztonsággal állíthatjuk, hogy a légnyomási mező vizsgált indexei közül a legnagyobb hatást elsősorban a ciklonossági, majd az Észak Atlanti Oszcillációs Index (NAOI) fejt ki a kárpát-medencei szélmező kialakításában. A CI prioritására utal az is, hogy mindhárom állomáson mindhárom esetben ennél az indexnél található a legnagyobb abszolút értékű korrelációs együtthatók. A 10 ms^{-1} -nál nagyobb maximális sebességű napok havi átlagos száma Debrecenben a legérzékenyebb, Szombathe-



5. ábra: Az óránkénti átlagos szélesebségek napi menetének modellezett értékei különböző magasságokban a vizsgált időszakban, Pakson

lyen pedig a legkevésbé érzékeny a CI havi átlagának megváltozására. Ha nincs (ciklonális vagy anticiklonális) örvénylés ($CI=0$), akkor a 10 ms^{-1} -nál nagyobb maximális átlagsebességű napok átlagos száma független a földrajzi helyzettől, az orográfától és az éghajlati körzettől. A regressziós modellel a ciklonossági index havi értékeiből a 10 ms^{-1} -nál nagyobb maximális szélesebségű napok havi számának csak az évi átlagát sikerült jól becsülni. A Magyarországon működő szélerőműveknek az egyik közös tulajdonsága, hogy az indító sebességük (v_i) $3\text{--}4 \text{ ms}^{-1}$ körül van. A szélerőművek ún. teljesítménygörbéje szerint, ha a szélesebség (v) eléri, vagy meghaladja a v_i sebességet, akkor elkezdődik az elektromos áram termelése, aminek mennyisége a névleges teljesítményt leadó sebességig (v_n) arányos a szélesebség köbével. A v_n sebesség $12\text{--}14 \text{ ms}^{-1}$ a hazai szélerőműveknél. Innentől az ún. leállási sebességig ($v_{ki}=25 \text{ ms}^{-1}$) a névleges teljesítményen működik a szélerőmű, a v_{ki} sebességnél azonban biztonsági okokból leáll. A folyamatosan üzemelő szélerőművek szempontjából tehát a következő három sebesség-tartomány statisztikai értékelése elengedhetetlen:

szélesebség kategória	működési mód
$v \geq v_i$	a szélerőmű működik, áramot termel,
$v_i \leq v < v_n$	a szélerőmű működik, a sebességgel együtt növekvő áramot termel
$v_n \leq v < v_{ki}$	a szélerőmű szabályozottan a maximális (névleges) teljesítményen működik.

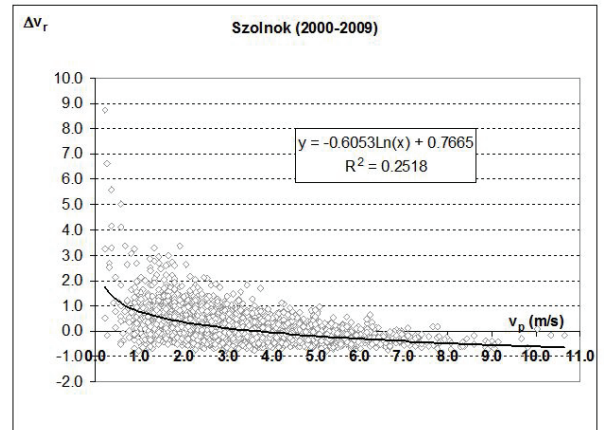
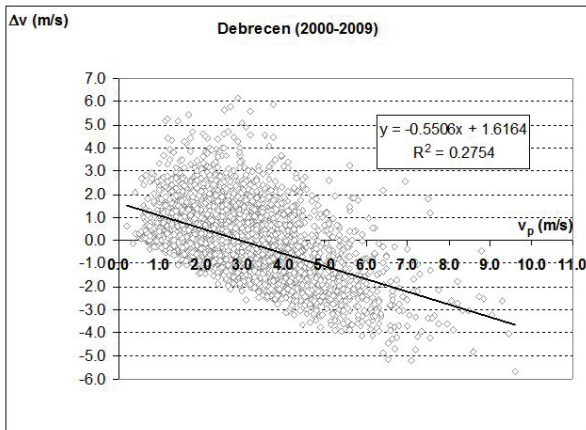
A $v \geq v_i$ egyenlőtlenséget tehát tekinthetjük a szélerőmű működésének *szélklimatológiai* feltételeként. Ha ugyanis ez teljesül, akkor Magyarországon a szélklimatológiai adottságok miatt a következő esetek lehetségesek: a szélerőmű működik, áramot termel; vagy kis valószínűséggel a szélerőmű szabályozott üzemmódban működik; vagy nagyon kis valószínűséggel áll. A folyamatos áramtermelés szempontjából fontos kérdés a következő: van-e a működéshez szükséges szélklimatológiai feltétel teljesülésében időbeli, orográfiai eltolódás Magyarország területén különböző magasságokban? Erre próbálunk választ adni hét magyarországi meteorológiai állomás (Kékestető, Szombathely, Keszthely, Pécs, Budapest, Szeged, Debrecen) 1991–2000 időszakban megfigyelt óránkénti szélesebségei alapján (Tar et al., 2011). Az előzőekben már utaltunk rá, hogy a kb. 60 m-t meghaladó magasságokban a szélesebség napi menete fordítottja az ez alatti magasságokban megfigyeltnek, 13–14 óra körüli minimummal. A magassági transzformációhoz most is a (2)

összefüggést használtuk. Mivel nem állt rendelkezésünkre az α napi menete, így a Weibull-eloszlás előbb részletezett alkalmazásánál kapott egyik paraméter értékét használtuk, mint átlagos kitevőt (Kékestető 0,26, Szombathely 0,26, Keszthely 0,32, Pécs 0,27, Budapest, 0,28, Szeged 0,26, Debrecen 0,27). Így viszont nem kapjuk vissza a 60 m fölötti szintek szélesebségének napi menetét, ezért vizsgálatainkat csak 10, 30 és 60 m-en végeztük el. A 3 ms^{-1} -nál nagyobb sebességű szelek átlagos valószínűségét és a szélerőművek ebből számolt átlagos üzemóráját a vizsgált időszakban a síkvidéki, a nem síkvidéki és a hegyvidéki állomásokon az 3. táblázat mutatja. Vizsgálataink további legfontosabb eredményei a következők: A 3 ms^{-1} -nál nagyobb óránkénti szélesebségek valószínűségének napi menetében nincs orográfiai elkülönülés, a maximum mindenhol 13–14 óra körül fordul elő. Az időben folytonosan változó valószínűségek napi menete szerint a nap folyamán a 17–18 óráig növekvő villamos áram termeléssel lehet számolni. Azon intervallumoknak átlagos hosszának sorrendjében, amelyek minden órájában nagyobb a szélesebség, mint 3 ms^{-1} , nincs orográfiai elkülönülés és magasságbeli különbség. Azoknak az intervallumoknak a havi átlagos hossza, amelyek minden órájában 3 ms^{-1} -nál nagyobb az óránkénti szélesebség, 38 és 69 közötti %-ban határozza meg a havi átlagos fajlagos széltejesítményt. A nem síkvidéki állomásokon (hegység, dombosság) a havi átlagos széltejesítmény érzékenyebben reagál ezen intervallumok átlagos hosszának megváltozására, mint a síkvidéki állomásokon.

A szélerőműveket működtetők egyik nehezen megoldható problémája az ún. „menetrend” elkészítése, ami a következő napon megtermelt áram rövid időszakokra eső mennyiségének becslését jelenti. Ez egy igen komoly feladat a szélesebség pl. óránkénti előrejelzésének nagy bizonytalansága miatt. A menetrend elkészítéséhez kívánunk segítséget adni a most bemutatandó statisztikai módszerrel (Tar és Puskás, 2010bc, Tar, 2014ab, Puskás et al., 2014). Modellünk alkalmas arra, hogy bizonyos időszakokban (pl. évszak, év) és a különböző időjárási helyzetek (makroszinoptikus helyzetek vagy fronttípusok) átmenetei esetében megmondjuk a napi átlagos szélesebség és vele együtt az átlagos szélenergia *következő napra történő* csökkenésének vagy növekedésének valószínűségét. Ennek alapján pedig a „mai nap” átlagos szélesebségéből megbecsülhető a „következő nap” átlagos szélesebsége, ami támpontot adhat a szélerőművek üzemeltetőinek a kötelező menetrend elkészítéséhez. Elemzéseink célja természetesen az is, hogy hozzájá-

raljunk hazánk szélklimájának minél pontosabb feltárásához, elsősorban a szélergia további kihasználásának ösztönzése céljából. Módszerünket hat alföldi meteorológiai állomás esetében mutatjuk be (Tar, 2014a). Ezek növekvő földrajzi hosszúság szerint rendezve: Kecskemét, Szeged, Szolnok, Békéscsaba, Debrecen és Nyíregyháza-Napkor. Az adatbázist ezen állomások 2000–2009 időszakra vonatkozó napi átlagos szélességei képezik, amelyeket a már említett szabadon hozzáférhető honlapról (www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html) töltöttük le. A kiválasztott meteorológiai állomásokon az anemo-méterek nem egyforma magasságban működnek,

tudjuk felhasználni, így az idősorok tovább rövidülnek. Az egymás után következő napok átlagos szélességei közötti kapcsolat feltárásához a hiányzó adatok miatt nem használhatjuk az autokorrelációs-autoregressziós elemzést. Ehelyett a lineáris korrelációt és regressziót alkalmazzuk a napi átlagos szélességek adatsorainak szomszédos v_p (mai nap) és v_n (következő nap) elemeire. Ennek eredményét a 4. táblázat mutatja. A korrelációs és a regressziós együttható egyenlősége az adatsorok definíciójából adódik. A minták nagy elemszáma miatt az ide vonatkozó próbák elvégzése nélkül is feltételezhetjük, hogy a táblázatbeli lineáris korrelációs együtthatók szig-



6. ábra: A két legszorosabb sztochasztikus kapcsolat esete: a mai nap átlagos szélessége (v_p) és a következő napra történő abszolút változás (Δv) közötti lineáris regresszió Debrecenben, valamint a mai nap átlagos szélessége és a következő napra történő relatív változás (Δv_r) közötti logaritmikus regresszió Szolnokon.

sőt Szegeden, Békéscsabán és Nyíregyházán a vizsgált időszakban műszeráthelyezés történt, ennek során megváltozott a szélmérés magassága is. Ezért az idősorok homogenizálása és az eredmények összehasonlíthatósága miatt a napi átlagos szélességeket minden állomáson 10 m-re transzformáltuk. Ehhez a paraméter nélküli (1) összefüggést használtuk fel. Több számítás is bizonyítja ugyanis, hogy ezzel ugyanolyan eredményeket kapunk, mint a (2) összefüggéssel $\alpha=0,25$ esetében. Módszerünk legfontosabb eleme az egymás után következő napok átlagos szélességének összehasonlítása. Az idősorok azonban mind a hat állomáson hiányosak. Ez módszerünk alkalmazhatósága szempontjából azt jelenti, hogy a hiányzó nap előtti és utáni nap átlagos szélességét sem

nifikánsan különböznek nullától. Az átlagos szélesség napról napra történő abszolút megváltozását a következő nap és a mai nap átlagos szélességének különbségével (ms⁻¹) jellemezzük, azaz

$$\Delta v = v_n - v_p \tag{3}$$

a relatív változást pedig a

$$\Delta v_r = \frac{v_n - v_p}{v_p} \tag{4}$$

mennyiséggel.

A változásokra vonatkozó legfontosabb eredményeink a következők: A pozitív (abszolút vagy relatív) változások gyakorisága 3,0–5,2%-kal meghaladja a negatív változásokét. Annak valószínűsége, hogy a napi átlagos szélesség növekedjen a következő napon ($\Delta v > 0$) lényegesen nagyobb abban az esetben, ha a mai nap átlagos szélessége kisebb, mint az időszak átlagos szélessége. A következő napi csökkenés valószínűsége között viszont mindössze 16–25% a különbség az átlagos érték két ol-

3. táblázat: A 3 ms⁻¹-nél nagyobb szelek átlagos valószínűsége ($p_3(h)$) az állomások orográfiai csoportosításában az évenkénti átlagos üzemórával (1991–2000)

	10 m		30 m		60 m	
	éves $p_3(h)$	üzemóra (%)	éves $p_3(h)$	üzemóra (%)	éves $p_3(h)$	üzemóra (%)
Debrecen	0,396	40	0,509	51	0,644	64
Szeged	0,463	46	0,609	61	0,719	72
Budapest	0,262	26	0,446	45	0,564	56
Szombathely	0,434	43	0,560	56	0,671	67
Keszthely	0,155	16	0,272	27	0,387	39
Pécs	0,425	43	0,566	57	0,688	69
Kékestető	0,534	53	0,696	70	0,748	75

4. táblázat: A mai nap (v_p) és a következő nap (v_n) átlagos szélessége közötti lineáris korrelációs együttható ($r(v_p, v_n)$) és regressziós egyenes paramétereinek ($b(v_p, v_n)$, $a(v_p, v_n)$) értékei.

	Kecskemét	Szeged	Szolnok	Békéscsaba	Debrecen	Nyíregyháza
$r(v_p, v_n)$	0,508	0,468	0,485	0,546	0,449	0,473
$b(v_p, v_n)$	0,508	0,468	0,485	0,546	0,449	0,472
$a(v_p, v_n)$	1,619	1,648	1,682	1,055	1,616	1,567

dalán, az ennél nagyobb mai napi átlagos szélesebségek javára. Megvizsgáltuk a változásoknak a mai nap átlagos szélesebségével való kapcsolatát is. Az abszolút változások esetében legszorosabb összefüggésnek a lineáris regresszió, a relatív változások esetében pedig a logaritmus regresszió bizonyult. A 6. ábrán a legszorosabb kapcsolatokat ábrázoltuk. Bizonyítható, hogy a regressziós egyenes zérushelye minden esetben az időszak átlagsebességénél van. Az eloszlások vizsgálata azt mutatja, hogy a Δv módusza a 0 és -1 ms^{-1} , a Δv_r módusza ($\langle \Delta v_r \rangle$) pedig a (0, -0,2) intervallumba esik mindegyik állomáson. Előbbit $-0,5 \text{ ms}^{-1}$ -nak, utóbbit $-0,1$ -nek vettük. A Δv_r állomásonként változó átlagos értékei ($[\Delta v_r]$) és móduszai ($\langle \Delta v_r \rangle = -0,1$) alapján becsléseket végeztünk a következő nap átlagos szélesebségére, vagyis „visszaállítottuk” az eredeti adatsorokat. Meghatároztuk a becsült adatsorok átlagát és szórását és az eredeti idősorokkal való összehasonlítással a becslések hibáit is. A móduszról történő becslés lényegesen jobb eredményt ad, mint az átlagokból történő, ennek ugyanis átlagos relatív hibája $-2,5$ és $2,6\%$ közé esik. Hasonló következtetésekre jutunk, amikor vizsgálatainkat az ország egészére vagy csak a Dunántúlra, valamint különböző időjárás helyzetekre (makroszinoptikus és front-típusok) végeztük el. A szélérőmű működésének helyéhez legközelebbi állomásra vonatkozó vizsgálatok eredményeiből meg tudjuk mondani, hogy mekkora valószínűséggel növekszik vagy csökken a következő napi átlagos szélesebség, vele együtt a potenciális szélenergia is. Ha pedig a mai nap átlagos szélesebségére már van valamilyen sejtése, becslése, akkor a szélérőművet üzemeltető is tud kalkulálni a következő nap várható átlagos szélesebségére. Az időjárás helyzetről pedig az OMSZ honlapján tájékozódhat.

Módszerek a potenciális szélteljesítmény becslésére. Az energiatartalom tehát a szélmező egyik fontos strukturális eleme, amellyel kapcsolatos alapvető kérdés a mennyisége. A potenciális szélenergia a szélmező egyéb karakterisztikáinak függvénye, így mennyisége az évszakoknak, időjárás helyzeteknek megfelelően is változik. Ebből következően az éghajlatváltozásra is reagál, ennek vizsgálata a jövőbeli felhasználás szempontjából bír fontossággal (Tar et al., 2000, 2002). A szélmező energiatartalmának becslésére több módszer létezik. A következőkben két, általunk kidolgozott statisztikai modellt mutatunk be, amelyek egy napokból álló időszak átlagos, ill. egy nap összes szélenergia potenciáljának meghatározására alkalmasak (Tar et al., 2000, 2001abc, Tar és Kircsi, 2001ab, Tar, 2004c, Tar, 2006c, Tar et al., 2007, Tar, 2008a, Tar és Szegedi, 2009, Tar, 2010, Tar és Szegedi, 2011). A potenciális szélenergiát általában a fajlagos szélteljesítménnyel jellemezzük, ami egységnyi függőleges felületen egységnyi idő alatt áthaladó levegő tömegének mozgási energiája. Kiszámítása egy adott időpontban a

$$P_f = \frac{\rho}{2} v^3 \quad (5)$$

összefüggés alapján történik, mértékegysége Wm^{-2} , v a szélesebség, ρ a levegő sűrűsége. Egy hosszabb időszak fajlagos szélteljesítményének meghatározására két lehetőség adódik: a fenti összefüggésben az időszak átlagse-

bességét írjuk a v helyébe, vagy az időszak egyes (diszkrét) időpontjaiban meghatározott értékeket összegezzük. Logikus, hogy a második lehetőség áll közelebb a valósághoz. Ekkor viszont az összeg értékének az időszak mérési időpontjainak számától való függése jelent problémát. Az összegnek a mérési időpontok számától való függése az átlagolással csökkenthető, de nem küszöbölhető ki teljesen. A napi átlagos fajlagos szélteljesítmény – ami tulajdonképpen egy mérési időpontra átlagosan jutót jelent – értéke sem független a figyelembe vett időpontok számától, sőt attól is függ, milyen időpontokat használunk. E függőség kiküszöbölésére létezik elvi megoldás: a szélesebség-köbök napi menetét megadó függvény görbe alatti területét kell meghatározni és ezt $q/2$ -vel megszorozva megkapjuk a napi összes fajlagos szélteljesítmény pontos értékét. Ezt természetesen numerikus integrálással tudjuk csak elvégezni, hiszen a függvény egy napon általában nem adható meg analitikusan. Egy (nem feltétlenül egymás után következő) naptári napokból álló időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény (P_{fmd}) meghatározását azonban már megkísérelhetjük egy alkalmasan választott közelítő függvény segítségével. A P_{fmd} definíciója a következő: a szélesebség köbök mérési időpontonkénti (óránkénti vagy 10 perces) átlagának napi menetét közelítő függvény görbe alatti területe szorozva a levegő sűrűségének felével. A P_{fmd} tulajdonságai tehát a vele arányos, a szélesebség köbök pl. óránkénti átlagára illesztett folytonos függvény görbe alatti területén (T_{ga}) keresztül vizsgálhatók. A közelítő függvény legyen egy trigonometrikus polinomokból álló Fourier-sor első két eleme, azaz

$$f_2(x) = a_0 + \sum_{m=1}^2 \left(a_m \cos \frac{2\pi mx}{N} + b_m \sin \frac{2\pi mx}{N} \right) \quad (6)$$

ahol N a napi mérési időpontok száma, $x=0, 1, 2, \dots, N-1$. Az illesztés jószágának mérésére az ún. reziduális szórásnégyzet szolgál:

$$s_m^2 = s_{m-1}^2 - 0,5A_m^2 \quad (7)$$

ahol $s_0^2 = s_n^2$, azaz a szórásnégyzet,

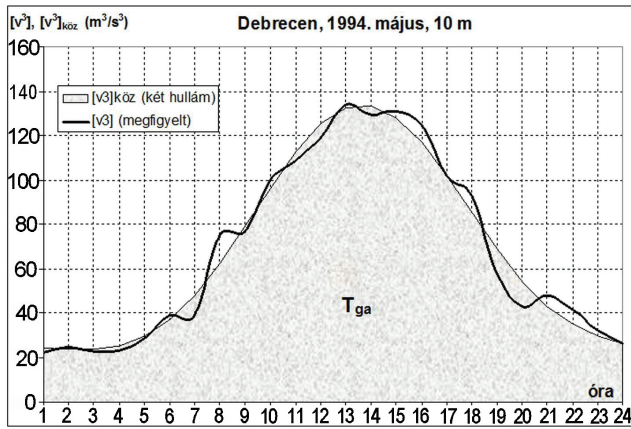
$$A_m = (a_m^2 + b_m^2)^{1/2} \quad (8)$$

vagyis az m . hullám amplitúdója. Látható azonban, hogy az s_m^2 függ az adatok nagyságától, azaz nem alkalmas esetünkben az összehasonlításra. Erre a közelítés relatív mértékét definiál

$$s_{0m} = \frac{s_0^2 - s_m^2}{s_0^2} \quad (9)$$

paramétert használtuk, amely már az értékektől függetlennek tekinthető, nem függ tehát a szélesebségek nagyságától, így az anemométer magassága szerint sem kell korrigálni. Az s_m^2 értékei a közelítő polinomok számának növekedtével nyilvánvalóan csökkennek. Tegyük fel, hogy ez nem így van, ekkor $s_m^2 \approx s_0^2$, azaz $s_{0m} \approx 0$. Ha viszont az s_m^2 -vel való közelítés „teljesen tökéletes”, akkor $s_m^2 \approx 0$, azaz $s_{0m} \approx 1$. A közelítő függvény illeszkedése tehát annál jobb, minél közelebb áll az s_{0m} az 1-hez.

A (8) függvény primitív függvénye a következő:



7. ábra: A mért szélesség köbök átlagának ([v3]) napi menetére illesztett közelítő függvény ([v3]köz) és ennek görbe alatti területe (T_{ga}).

$$F_2(x) = a_0x + \sum_{m=1}^2 \left(\frac{a_m}{\alpha_m} \sin \alpha_m x - \frac{b_m}{\alpha_m} \cos \alpha_m x \right) \quad (10)$$

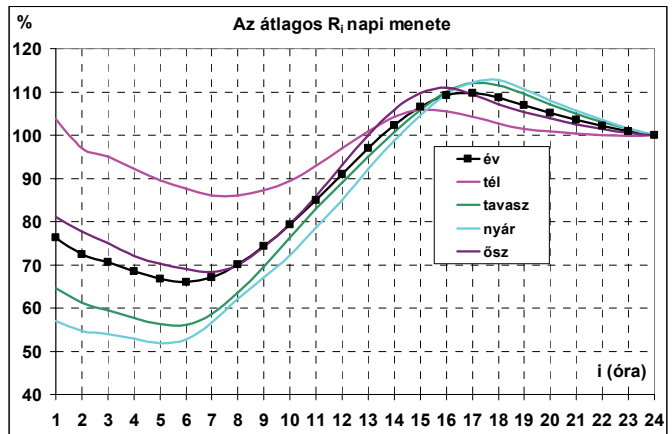
ahol $\alpha_m = \frac{2\pi m}{N}$. Ha az a_m és b_m együtthatók meghatározásához a szélesség köbök mérési időpontokénti átlagának idősorát használjuk, akkor az időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény:

$$P_{find} = \frac{e}{2} [F_2(N - 1) - F_2(0)],$$

ahol tehát

$$T_{ga} = F_2(N - 1) - F_2(0) \quad (11)$$

a görbe alatti terület (7. ábra). A leírt módszer tehát alkalmas a havi, az évszakos és az éves, valamint a különböző időjárási helyzetek napi átlagos szélteljesítményének meghatározására óránkénti szélesség adatok felhasználásával. Ha az α Hellmann-kitevő átlagos napi menete ismert, akkor előállítható az óránkénti szélességek napi menete magasabb szinteken is, így a módszer itt is alkalmazható. A paksi tízperces (N=144) 50 m-es toronymérések segítségével megmutattuk, hogy a módszerünkkel valóban kiküszöbölhető a mérési időpontok számától való függés. Először kiszámoltuk az óránkénti szélesség átlagokat (N=24), majd a görbe alatti területet mindkét esetben havonta a 2000 és 2001-es évekre. Egy eset kivételével (2000. július) a tíz perces adatok alapján számolt görbe alatti területek mindössze 1–7%-kal, átlagosan csak 3,2%-kal nagyobbak, mint az óránkénti adatokból számoltak. A görbe alatti területet előállíthatjuk bizonyos napszakokra is, a nappali (6–20) és az éjszakai (21–5) órákra. Így vizsgálhatjuk a szélpotenciál napszakos megoszlását, és ha az α Hellmann-kitevő átlagos napi menete ismert, akkor akár különböző magasságokban is. A paksi adatok erre lehetőséget adnak, az eredményeket az 5. táblázat mutatja a teljes időszakra és a Puskás-féle tipizálás szerinti frontos és frontnélküli napokra. A nappali potenciális szélteljesítmény a táblázat szerint csak kb. 30 m-ig – az inflexiós magasság alatt – nagyobb, vagy egyenlő, mint az éjszakai. Utóbbi 50 m-en több mint másfélszerese, 60–70 m-en már kb. kétszerese az előbbinek mindhárom időszakban. Az éjszaka/nappal arány egyébként minden magasságban a fron-



8. ábra: A relatív csúszó átlag középértékeinek napi menete (Debrecen, 1988–1997).

tos időszakban a legnagyobb, 120 m-en már több, mint négyszeres. Ugyanakkor a táblázat megfelelő oszlopait összehasonlítva megállapítható, hogy a frontnélküli napokon a teljes napi szélenergiának 3–5%-kal nagyobb része esik a nappali időszakra.

Hét hazai meteorológiai állomás (Kékestető, Szombathely, Pécs, Budapest, Győr, Szeged, Debrecen) 10 évi (1991–2000), az anemométer magasságában mért óránkénti szélességei alapján a fenti módszerrel megvizsgáltuk azt is, hogy melyek azok a Puskás-féle front-típusok, amelyek a potenciális szélteljesítménynek a 10 éves időszakra vonatkozó átlagát markánsan befolyásolják. A front-típusok átlagsebességének minimuma Szombathely kivételével a közelítő okklúziós front-típusban van. A szélesség a síkvidéki állomásokon és Kékestetőn legérzékenyebben a közelítő és a tartózkodó hidegfront típusok megjelenésére reagál, Szombathelyen és Pécsen viszont a tartózkodó okklúziós front-típusra. Ugyanakkor bármilyen front megjelenése kb. 33–90%-kal növeli a szélenergiát a frontnélküli időszakhoz képest. A legkevésbé energikus front-típusok a közelítő okklúziós front és a közelítő melegfront. A legenergikusabb front-típusok pedig a következők: közelítő hidegfront, tartózkodó

5. táblázat: A nappali és az éjszakai órákra számított átlagos fajlagos szélteljesítmény az egész napi átlagos fajlagos szélteljesítmény %-ban (Paks, 2000–2001).

méter	teljes		frontos		frontnélküli	
	nappal	éjszaka	nappal	éjszaka	nappal	éjszaka
10	74,7	25,3	72,3	27,7	76,5	23,5
20	60,1	39,9	57,1	42,9	62,4	37,6
30	50,3	49,7	47,3	52,7	52,7	47,3
40	43,3	56,7	40,4	59,6	45,7	54,3
50	38,1	61,9	35,4	64,6	40,3	59,7
60	34,0	66,0	31,5	68,5	36,1	63,9
70	30,8	69,2	28,4	71,6	32,7	67,3
80	28,1	71,9	25,9	74,1	30,0	70,0
90	25,9	74,1	23,9	76,1	27,6	72,4
100	24,0	76,0	22,1	77,9	25,6	74,4
110	22,4	77,6	20,6	79,4	23,9	76,1
120	21,0	79,0	19,4	80,6	22,5	77,5

dó melegfront, tartózkodó okklúziós front és a közelítő meleg- és hidegfront.

A havi átlagos fajlagos szélteljesítménnyel arányos görbe alatti terület meghatározásához hosszú idejű szélsőesség mérésre, komoly számításokra van szükség. Az eddigi

6. táblázat: A havi átlagos fajlagos szélteljesítménnyel arányos mennyiség (T_{ga}) és a szeles napok havonkénti számának sztochasztikus kapcsolata: a korrelációs együttható (r), a regressziós együttható (b) és a regressziós konstans (a , $a\%$).

	Szombathely	Keszthely	Pécs	Budapest	Szeged	Debrecen	Kékestető
r	0,539	0,115	0,638	0,487	0,529	0,593	0,728
b	247,98	17,554	117,36	43,063	93,768	67,994	269,17
a	-10,784	668,58	241,49	423,72	618,82	405,58	-1388,4
$a\%$	-	-	15,0	45,4	34,5	32,4	-

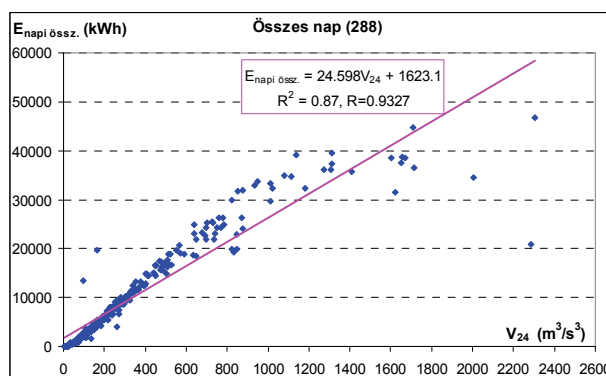
eredmények viszont lehetőséget adnak arra, hogy a T_{ga} havi értékeit kapcsolatba hozzuk egy másik, könnyen számolható, mérhető, megfigyelhető szélklimatológiai paraméterrel, pl. a szélirányok instabilitási indexének vagy a szélsőességek havi átlagával, vagy a szeles napok havi számával. A szignifikáns kapcsolatok lehetővé teszik a T_{ga} becslését, sőt előrejelzését is.

Hét hazai meteorológiai állomáson megvizsgáltuk a havi átlagos fajlagos szélteljesítménnyel arányos görbe alatti terület és az OMSZ időjárás-jelentéseiben közölt szeles napok havonkénti számának sztochasztikus kapcsolatát a lineáris korreláció és regresszió módszerével az 1991–2000 évtizedben. A korrelációs együtthatót (r), a regressziós együtthatót (b) és a regressziós konstans (a , $a\%$) az 6. táblázatban adjuk meg. A korrelációs együttható Keszthely kivételével mindenhol szignifikáns 0,05 szinten.

A szignifikáns kapcsolat Kékestetőn a legerősebb és Budapesten a leggyengébb. Az a regressziós konstans esetünkben a 0 szeles naphoz tartozó átlagos görbe alatti területet adja meg. A 0 szeles nap ugyan kívül esik a regresszió érvényességi tartományán Pécs és Keszthely kivételével, de az egyenletek csak Szombathely és Kékestető esetében adnak negatív T_{ga} értéket. Keszthelyen a kapcsolat nem értékelhető. A többi állomásra bevezettük az $a\%$ paramétert, ami azt mutatja meg, hogy az a hány százaléka az átlagnak. A táblázat szerint a havi átlagos szélteljesítménynek Budapesten 45%-a, Debrecenben és Szegeden több, mint 30%-a, Pécsen viszont csak 15%-a származik a 0 szeles nappal rendelkező hónapokból.

A b regressziós együttható megmutatja, hogy a szeles napok számának egy nappal való megváltozása mennyivel növeli a görbe alatti területet, vagyis a prediktandusz érzékenységét a prediktor változására. A 6. táblázat szerint így a T_{ga} , a havi átlagos fajlagos szélteljesítmény is a szoba jöhető állomások közül Kékestetőn a legérzékenyebb, Budapesten pedig a legkevésbé érzékeny a szeles napok számának változására. A szignifikáns korrelációk

esetében a regressziós egyenlet segítségével előállítottuk a T_{ga} modellezett idősorait, majd megállapítottuk a becslés hibáit. A relatív hiba átlaga és szórása Szombathelyen a legnagyobb és Kékestetőn a legkisebb, utóbbit a három síkvidéki állomás előzi meg. Levonható tehát az a követ-



9. ábra: Összefüggés a termelt villamosenergia és a szélsőesség köbök napi átlaga között (működő szélérőmű adatai, 2005.08.18.–2006.06.30., szabályozatlan és szabályozott üzemmód).

kezdetés, hogy a síkvidéki állomásokon és a bizonyos értelemben hasonlóan szabad horizonttal rendelkező hegyvidéki állomáson a regressziós modell jobb közelítést ad a fajlagos szélteljesítmény havi átlagos értékeire. Egy nap összes potenciális szélenergiáját az egyes időpontjainban mért szélsőességekből lehet meghatározni. A mért szélsőességek köbének összege azonban nyilvánvalóan függ a mérések számától. Ezt a függést kétféleképpen lehet csökkenteni: vagy a nap egy adott időpontjára átlagosan jutó vagy a relatív szélenergiát határozzuk meg. A csúszó átlagok módszerének (SLIDAV modell) lényege, hogy a nap egy órájára átlagosan eső (napi átlagos) potenciális szélenergiát a nap tetszőleges órájáig megmért szélsőességekből becsüljük. Egy nap i . órájában a P_i fajlagos szélteljesítmény

$$P_i = \frac{\rho}{2} v_i^3 \quad (12)$$

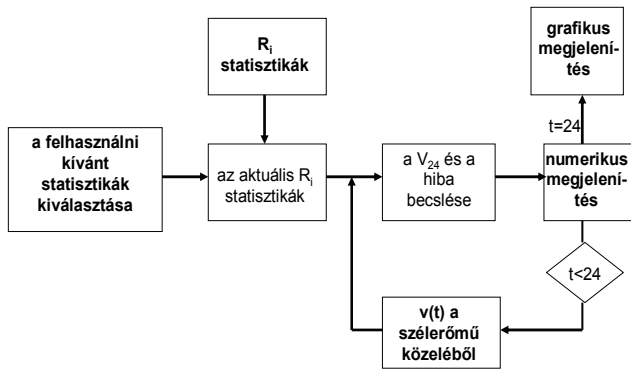
A szélsőesség óránkénti köbeit az adott napon összegezve tehát a napi összes fajlagos szélteljesítménnyel arányos mennyiséget kapunk. Ha ezt az összeget elosztjuk a megfigyelések számával, akkor az egy órára átlagosan jutó értéket kapjuk, ami feltételezhetően közelítőleg független az összeg tagjainak számától. Jelölje tehát v_i egy adott nap i . órájában ($i=1, 2, \dots, 24$) a szélsőesség értékét. A szélsőességek köbének csúszó átlagai (V_i) minden órában:

$$V_i = \overline{v_i^3} = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i v_j^3 \quad (13)$$

Nyilvánvaló, hogy V_{24} , az óránkénti szélsőesség köböknek az adott nap egy órájára eső átlaga („napi átlag”) lesz. A $R_i = \frac{V_i}{V_{24}}$ relatív csúszó átlag (%), a nap i . órájáig kumulált és átlagolt szélsőesség-köbök százalékát mutatja ugyanezen mennyiség napi átlagának.

A szélsőesség napi menetéből következik, hogy már napközben ($i < 24$) elérheti a 100%-ot, majd egy maximális értéket felvéve az $i=24$ órában definíció szerint ismét

100% lesz. Az R_i egyébként a nap i . órájáig számolt átlagos és a napi átlagos fajlagos szélteljesítmény aránya is. A kiválasztott időszakok (év, évszakok, helyzetcsoportok) minden napjára elkészítettük az R_i értékeit, majd óránként meghatároztuk ennek különböző statisztikai jellemzőit. Óránkénti közepes értékeinek évszakos és éves napi menetét a 8. ábra mutatja Debrecenben (1988–1997). A V_{24} becslését ezekből ($[R_i]$) és a módusz óránkénti értékeiből ($\langle R_i \rangle$) végeztük el. Az $\langle R_i \rangle$ óránkénti értékeit az R_i óránkénti gyakorisági eloszlásából határoztuk meg 10%-os osztályközöket használva. A legnagyobb gyakorisággal rendelkező intervallum középpontját tekintettük a módusznak, értéke az összes esetet figyelembe véve 5 és 145% között változik. Ha tehát egy hosszabb időszak óránkénti szélesebbeségeiből előállítottuk az R_i statisztikai karakterisztikáit, akkor az átlagokból és a móduszokból megpróbálkozhatunk a mérési időszakon kívüli napokra előállítani a V_{24} értékét. Többféle, aránypárokra alapuló becslési mód is létezik, de ezek közül leghatékonyabbnak az adott időpontbeli móduszból történő becslés bizonyult.

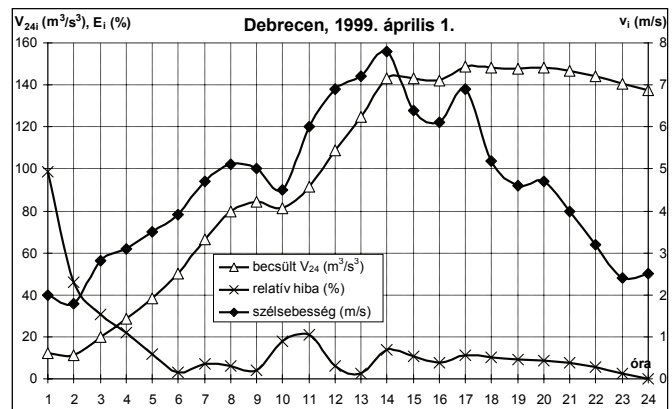


10. ábra: A V_{24} becslését folyamatosan végző szoftver (a SLIDAV modell) blokkdiagramja.

A csúszó átlagok módszere lehetőséget ad a napi átlagos szélteljesítménnyel arányos mennyiség, a szélesebbesség köbök napi átlagának (V_{24}) már a nap vége előtt 6–9 órával átlagosan 21%-os hibával történő becslésére (11. ábra). A legjobb becsléseket tavasszal és nyáron, valamint a Péczeley-féle ZE, az MN helyzetcsoportokban, ill. a ciklon-centrum helyzetben kapjuk. Az így kapott érték fontos információ lehet a szélturbina üzemtartójának: közelítőleg meghatározhatja az egész nap kitermelhető szélenergiát, eldöntheti, hogy érdemes-e egész nap működtetni a gépet, vagy leállíthatja a karbantartás elvégzésére. A megtermelt villamos energia és a V_{24} között ugyanis igen erős sztochasztikus kapcsolat mutatható ki, még akkor is, ha nem különítjük el a szabályozatlan és szabályozott üzemmódokat, ahogyan ezt a 9. ábrán láthatjuk. A V_{24} becsült értékéből a napi összes megtermelt villamos energia szintén megbecsülhető. Ebből következik, hogy modellünk „on-line” becslésre is alkalmas, ha a működő szél erőműhöz legközelebbi meteorológiai állomás hosszú idejű szél méréseiből rendelkezésünkre állnak az R_i statisztikái. A folyamatos szélesebbesség adatokat pedig a szél erőmű közvetlen közeléből (pl. a torony tetejéről)

kapjuk. Az R_i relatív szám, értékei függetlenek a szélmérés magasságától. A V_{24} becslését folyamatosan végző szoftver blokkdiagramja a 10. ábrán látható. A modell futtatás egy napi eredménye pedig a 11. ábrán.

Nagytérségű szélklimatológiai vizsgálatok. A szélenergia jövőbeli fejlődéséhez nélkülözhetetlenül szükség van a szél energiájának térben és időben történő rendelkezésre állásának vizsgálatára, illetve a szélenergia potenciál olyan jellegzetességeinek ismeretére, amelyek a szél erőművek villamosenergia-rendszerbe történő illesztését segíthetik anélkül, hogy az ellátás biztonságát fenyegetnék. A légmozgás tulajdonságainak alakulását a NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) reanalízis projekt (Kalnay et al., 1996) 1956–2005 közötti 50 év hosszú északi negyedgömbre vonatkozó meridionális és zonális szélvektorok napi adatsora alapján vizsgáltuk, melyet kiegészítettünk a 2006-os mérési sorral. (Kircsi, 2008). A kutatás során arra törekedtünk, hogy a Magyarországon rendelkezésre álló szélenergia-potenciál jellegzetességeit

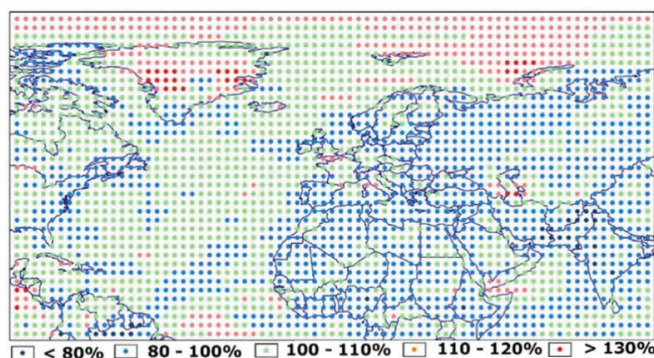


11. ábra: A SLIDAV modell futtatásának eredménye egy kiválasztott napon.

az északi negyedgömb más térségeinek szélviszonyaival összehasonlítva mutassuk be, ehhez különböző kontinensen és klímaövből elhelyezkedő 8 minta-régiót elemeztünk részletesen. A napi u és v szélvektorokat évenként a Climate Research Unit (CRU) adatbázisából töltöttük le. Adataink a nyugati és keleti hosszúság -90° és 90° közötti, illetve az Északi-sark és az Egyenlítő közötti területre, összesen 2701 gridre vonatkoztak, így hazánk kívül a teljes európai kontinens és tágabb környezetének szélklimája összefüggéseiben áttekinthető. Az u és v szélvektorok ún. 995 szigma szintre vonatkoznak, mely szint domborzatkövető, azaz az orográfiai viszonyoktól függetlenül a talaj felszíne felett kb. 80 m magasság szélviszonyairól tájékoztat. A modell horizontális felbontása T62, azaz $2,5^\circ$ meridionális és zonális irányban. A szélklimatológiai elemzéshez a (u, v) szélvektor komponensekből vektorszámítás szabályai szerint számított szélesebbesség adatokat használtuk fel. A napi adatsorokból állítottunk elő havi, évszakos, évi és sokévi átlagokat, melyeket felhasználva számítottunk különböző időskálán értelmezett szélindexeket. A szélindex (%) minden esetben úgy állítható elő, hogy az adott időpontban megfigyelt értéket egy

sokévi átlaghoz viszonyítjuk. A 12. ábrán a 2006 évi szélindexet mutatjuk be, amely az 1956–2005 közötti 50 évi átlaghoz viszonyítva mutatja be a 2006. évi szélesebbeség területi eloszlását.

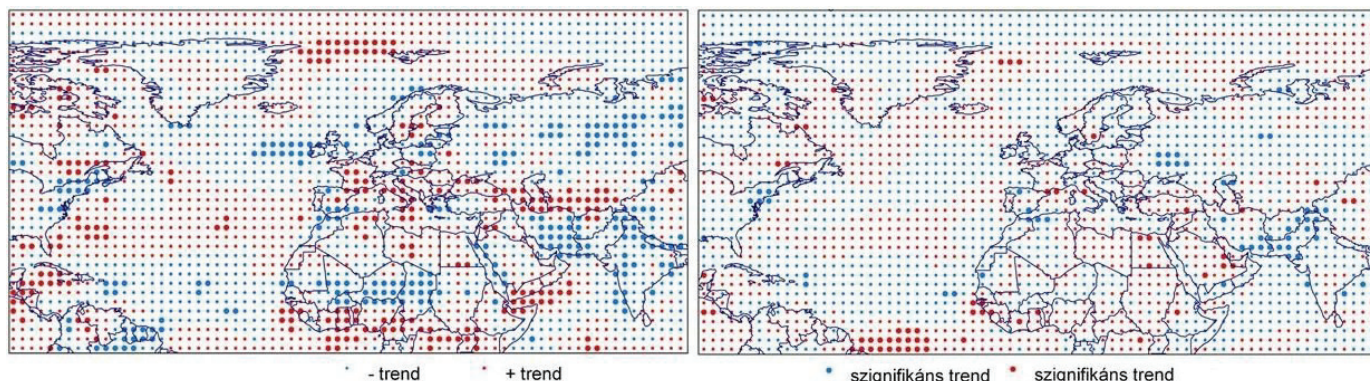
Az 1956–2005 közötti 50 év idősorának vizsgálatához regresszió-analízist végeztünk. Az idősorra illesztett lineáris trend-egyenes meredekségének (b) nullától való eltérését t -próbára visszavezetett vizsgálattal ellenőriztük. Az északi negyed gömb mind a 2701 gridjének időbeli változékonyságának jellemzéséhez használtuk a variációs együtthatót, amely a minta szórását a minta átlagához viszonyítva jellemzi. Megállapítottuk, hogy az északi negyed gömbön nem található tartósan egyirányú változás a szélesebbeség évi átlagaiban. Az 50-es évek vége és a 90-es évek erősebb szelekkel volt jellemezhető, míg általában a 70-es évek voltak a legkevésbé szelesek. A '70-es éveket követő évtizedekben általában a mérsékelt és poláris öv óceáni területei felett erősödött a szél sebessége. A szélesebbeség változásának iránya és nagysága erősen függ a választott térség földrajzi helyzetétől és a vizsgált időszak hosszától (13. ábra). Megállapított-



12. ábra: A szélindex (%) területi eloszlása a 2006 évben.

40%-ban térnek el a Nyugat-Magyarországot lefedő gridben. A napi szélesebbeség átlagok statisztikailag télen és nyáron nagyobb, míg tavasszal és ősszel, kisebb hibával becsülhetők.

A mért szélesebbeség tulajdonságainak változása a magassággal. Az OMSZ vezetésével zajlott magyarországi szélenergia-potenciált felmérő kutatás keretében SODAR-ral történtek három helyszínen (Budapest, Paks,



13. ábra: Az évi átlagos szélesebbeség változásának iránya:

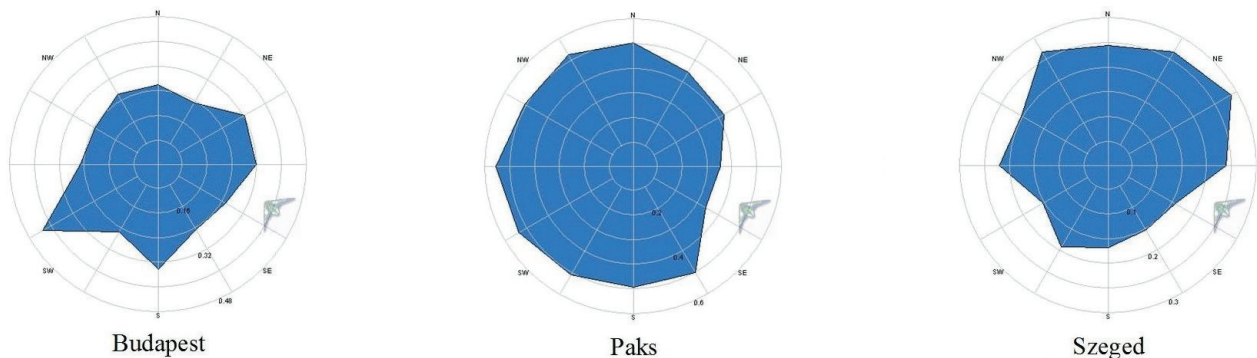
a) 1986–2005 között és b) 1996–2005 között NCEP/NCAR reanalízis alapján

tuk, hogy a mérsékelt éghajlati öv ideális terület a szél energiájának hasznosítására, mert a szélesebbeség évek közötti és éven belüli változékonysága itt a legkisebb. Hazánkban évről évre statisztikailag sokkal pontatlanabban lehet becsülni az évi átlagos szélesebbeséget, a légmozgások energiatartalmát, illetve a technikailag kinyerhető hozamokat, mint Dániában, vagy az Ibériai-félszigeten. Ez azt jelenti, hogy hazánkban az 1 éves energetikai szélmérések információtartalma valójában túlságosan kevés annak megítélésére, hogy a tervezett szélenergia mennyi villamos energiát fog évről évre termelni. Az éves szélindex szórása Magyarországon keleti irányban növekszik, így az évi átlagos szélterhelés statisztikailag nagyobb hibával becsülhető hazánk keleti területein. Magyarországon egy éven belül, a havi szélesebbeség változása mérsékelt, mint Dániában, azaz a rendszerirányítónak kisebb havi különbségekre kell számítani. Az extrém szeles hónapok nálunk kevésbé kiugróak a sokévi átlagokhoz viszonyítva. Magyarországi szélviszonyok között egy szélenergia hasznosító berendezés a téli félévben több mint kétszer-háromszor több villamos energiát termelhet, mint nyáron. A hónapokon belüli napi szélesebbeségek az 50 évi napi átlagtól mintegy

Szeged) expedíciós szélmérések. Magyarországon a 2003–2004 évi SODAR mérések adatait felhasználva arra a kérdésre kerestük a választ, hogy hogyan változnak a magassággal a szél tulajdonságai, milyen tényezők befolyásolják a szélprofilok irányfüggését az adott megfigyelőhelyeken, illetve hogyan változik a szélesebbeség napi menete különböző magasságban, összefüggésben a magyar villamosenergia-rendszer átlagos terhelésével. Magyarországon 120 m magasságig a leggyakoribb északnyugati szélirányú szelek rendelkeznek a legnagyobb energiatartalommal. Ezen túl a déli, míg az Alföld déli részén az északkeleti szélirányok energiatartalma számottevő. A szélesebbeség gyakorisági eloszlásának közelítésére a gyakorlatban elterjedt a Weibull-eloszlást használják. Ennek 'c' skála és 'k' alakparaméterei a rendelkezésre álló adatbázisból számíthatóak átlag és szórás ismeretében minden magassági szinten. A Weibull-eloszlás 'k' alakparaméterének magassággal történő változására Justus (1985) lineáris összefüggést alkalmazott, míg Wieringa (1986) feltételezte, hogy a 60–80 m magasságban lévő szélnyírási zónáig 'k' értéke növekszik, majd egyre nagyobb magasságban csökken. Budapesten mintegy 180 m magasságig a Weibull-eloszlás $k=2,1$

alakparaméterrel számolva pontosnak adódott. Nagyobb magasságokban a 'k' alakparaméter értéke csökkent. Szegeden és Pakson a talajhoz közeli rétegben 'k' értéke növekedett, maximumát 60 m-nél vette fel, másodlagos maximumát 90 m magasságban tapasztaltuk. Értéke ezt követően általában csökkent. Paks esetén a hatványkitevős szélprofil összefüggés írta le szinte minden magasságban a legjobban a szélesség magasság szerinti változását, a többi mérőhelyen csak a talaj közelében. Budapesten 60 m, Szegeden 75 m magasság felett a logaritmusos szélprofil összefüggés bizonyult jobb közelítésnek. Az átlagos szélprofil ismeretében meghatároztuk szélirány szektoronként a z_0 érdességi magasságot, illetve a hatványkitevős összefüggés alfa paraméterét, amely a mérőhelyet övező területek érdességének függvényében irányonként is változott (14. ábra). Elemeztük a szélesség napi menetét különböző magasságokban a magyar villamosenergia-rendszer (VER) terhelés napi menetének függvényében. A 3 expedíciós SODAR mérés helyszínén általában csak a talajhoz legközelebbi, 30 és 45 m magasságban mutattunk ki szignifikáns pozitív kapcsolatot, azaz ebben a magasságban a szél sebessége akkor növekedett, amikor a fogyasztói igények is növekedtek. 60–105 m között egyáltalán nincs kimutatható összefüggés. Egyedül

desség által befolyásolt területi képének modellezéséhez egy norvég fejlesztésű szélpark tervező programot, a *WindSim* modellt adaptáltuk. A programcsomag alapját a *PHOENICS* program adja, amely egy 3D Reynolds átlagolású Navier-Stokes egyenlet megoldó alkalmazás (Castro et al., 2003; Lopez et al., 2007). A tömeg-, momentum- és energiacsere leíró nem-lineáris mozgásegyenleteket a program iterációval közelíti. A moduláris felépítésű modell egy mérési szint szélirány és szélesség eloszlásából kiindulva 200 m magasságig képes szélesség eloszlást szimulálni. A *WindSim* modell adaptációja során két magyarországi helyszínen végeztünk vizsgálatokat. Egyrészt a Hernád-völgyben, ahol Hidasnémeti közelében felállított mérőtorony adataiból kiindulva készítettük el a domborzat által meghatározott szélesség eloszlás térképet 50 m, 80 m és 110 m magasságban (15. ábra). Másrészt Debrecen északi részén SODAR mérések adataiból kiindulva modelleztük a szélesség érdesség által befolyásolt területi képét. A Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Observatóriumában 2012 májusában üzemeltünk be egy német gyártmányú (METEK GmbH) PCS.2000-24 típusú Doppler SODAR-t (16. ábra), amely 10–390 m magasság között képes nagy részletességgel a szél tulajdonságait monitorozni.



14. ábra: A hatványkitevő átlagos értéke szélirányonként Budapesten Pakson és Szegeden 2003–2004-ben expedíciós SODAR mérések alapján

Szegeden volt 120 m felett a negatív kapcsolat szignifikáns. Nagyobb magasságokban tehát a szél általában akkor fúj, amikor nincs jelentős fogyasztói igény. A szélből termelt áram tárolása kulcsfontosságú a villamos energia-rendszer működése szempontjából (Kircsi, 2008).

A szélesség területi modellezése. Egy térség szélviszonyainak mezoskálájú feltárása lehet globális, illetve lokális megközelítésű. A térképezés indulhat numerikus időjárás előrejelző modellek reanalízis után származtatott globális adatbázisából. Ekkor a mezoskálájú széltérkép többlépcsős leskálázási folyamat után készül el (Szépszó et al., 2006). A helyi szélmérések ebben az esetben is nélkülözhetetlenek az ismeretlen szélklíma feltárásához. A helyszíni szélmérések adatait dinamikus vagy CFD modellek segítségével terjeszthetjük ki nagyobb térségre, ezáltal megrajzolhatjuk a felszíni elemek által befolyásolt szélmező földrajzi eloszlását. A szélpotenciál térképezése során egyaránt használunk globális és helyben előállított térinformatikai adatbázisokat, leginkább a domborzat, a felszínt borító érdességi elemek pontosabb leírásához. A szélesség a domborzat és ér-

A debreceni modellezett térképek SODAR adatokkal végzett verifikációja során megállapítottuk, hogy a legpontosabb szélesség eloszlás térképet 90–140 m magasságban készíthetjük a *WindSim* modell segítségével. 50–80 m között 5–15% relatív hibával felülbecsülünk, míg 150–200 m között kb. 5% nagyságrendben alulbecsüljük a szélesség értékét. Legjobb közelítést a valósághoz véleményünk szerint a 100–110 m magassági szintre készített térkép ad, amely valószínűleg annak köszönhető, hogy a szélpark tervező programot az ipari méretű szélturbinák jellemző tengelymagasságnak megfelelő szélviszonyok pontos modellezésére fejlesztették ki.

A szélenergia hasznosítás társadalmi vonatkozásai.

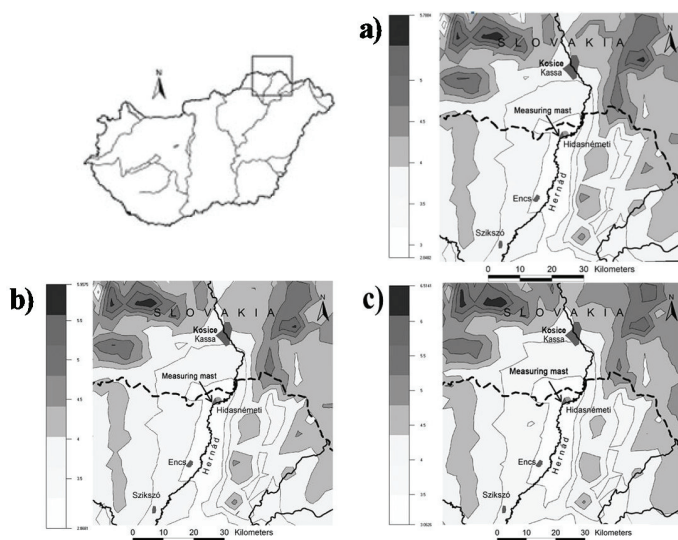
A kutatási terület általános bemutatása, alkalmazott módszerek.

A szélenergia hasznosításához kapcsolódó ismeretek vizsgálatának helyszíne a magyarországi Hernád-völgy Kékedtől Zsujtáig terjedő szakasza volt (17. ábra, 7. táblázat). Az érintett terület Magyarország egyik komoly gazdasági gondokkal és társadalmi problémákkal küzdő vidéke. A fálvak szinte mindegyike hátrányos helyzetű települé-

lés, a népesség előregedő korstruktúrával és magas munkanélküliségi rátával rendelkezik. A Hernád-völgyben élők szélenergiával kapcsolatos ismeretének felmérése kérdőíves attitűdvizsgálat keretében, véletlenszerű mintavétel alapján történt. Az egyes települések korcsoport és nem szerinti bontását figyelembe véve, a reprezentativitás biztosítása érdekében a lekérdezés a háztartások 10%-át érintette, ami összesen 1188 darab kérdőíves interjú felvételét jelentette (Tóth, 2013).

A szélenergia ismertsége a Hernád völgyében. A kérdőíves attitűdvizsgálat keretében arra kerestük a választ, hogy a lakosság milyen ismerettel rendelkezik a szélről, mint energiaforrásról. A válaszadók tényleges tudásának minél pontosabb feltárása érdekében a kérdés két részből állt. Egyfelől a megkérdezettek hallottak-e már a szélenergiáról, tehát magát a szót ismerik-e, másfelől a puszta fogalmon kívül rendelkeznek-e ezen túlmenően bármilyen információval. A válaszok hitelessége a szemlélyek önbevallásán alapult, az ismeretek konkrét ellen-

közösségi szintű szélenergetikai beruházások megvalósításához igen fontos a helyi szintű (lakossági, önkormányzati, és helyi vállalkozói) hozzájárulás, ami nemcsak pénzügyi, hanem szellemi és erkölcsi szintű is lehet (Mellár, 2009.) A vizsgált területen a megkérdezettek többsége elfogadhatónak és erkölcsileg támogathatónak tartja a szélerőművek és a kisebb teljesítményű szélgenerátorok, szélmotorok létesítését (18. ábra bal oldali térkép). A támogatás, illetve a tolerancia megléte azért fontos, mert ha az érintett közösség bármilyen energetikai projektet a környezetére, az életminőségére, vagy egészségére nézve károsnak ítél meg, akkor lakossági ellenállás keretében hátráltathatja, vagy meg is akadályozhatja a beruházás megvalósítását (Tóth et al., 2012b). A válaszadók a rendelkezésre álló ismereteik alapján hasonló arányban reálisnak tartják a szélerőgépek és a szélerőművek létesítését saját településükön, ha a tulajdonosi kör, kiváltképp a finanszírozási háttér rendelkezésre áll (18. ábra jobb oldali térkép).



15. ábra: A szélesebesség (ms^{-1}) modellezett térbeli eloszlása a Hernád-völgyben 50 (a), 80 (b) és 110 (c) méter magasságban



16. ábra: A Debreceni Egyetem Agrometeorológiai Observatóriumának műszerkertje

őrzése, felmérése nem történt meg, mivel az nem képezte a kutatás tárgyát. A lekérdezés során, valamint az adatfeldolgozása eredményeiből kitűnt, hogy az egyes településeken a válaszadók tényleges ismereteit a kérdés második felére vonatkozó válaszok képezik le. A Hernád-völgy 21 településén a megkérdezettek döntő hányada, több mint 80%-a hallott a szélenergiáról, azonban az ismeretek terén rendkívüli információhiány tapasztalható. Ez 30 településből mindössze 12-ben haladja meg a 20%-os arányt, tehát a megkérdezettek közel négyötöde számára a szélenergia hasznosítási módjai, eszközei, lehetőségei teljesen ismeretlenek. A szélenergiával kapcsolatos alacsony ismeretek nemcsak azért riasztóak, mert kevesen tudnak róla, hanem mert az önbevalláson nyugvó alapszintű – azaz bármilyen – információ még önmagában nem jelenti, hogy az elegendő lenne bármelyik hasznosítási mód átgondolt eldöntéséhez. A pozitív változások eléréséhez kiemelkedően fontos a társadalmi részvétel, amely azonban sokszor az érintettek alulinformáltsága miatt nem valósul meg (Tóth et al., 2012a). A

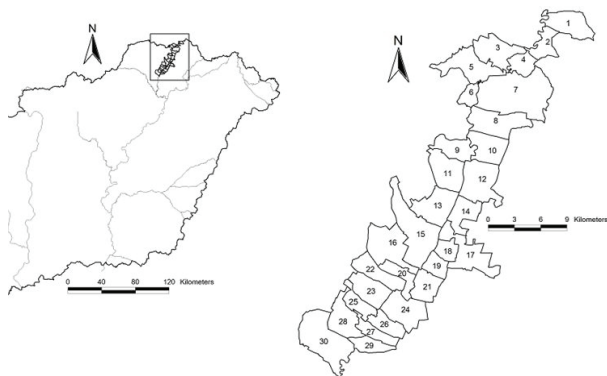
A rendelkezésre álló információ mennyisége és minősége rendkívül fontos. A fenti eredményekből kitűnik, hogy az egyes településeken jórészt nincsenek birtokában a megfelelő ismereteknek, és ily módon érdemben sokszor nem is tudhatnak a hasznosításból fakadó előnyökről és lehetőségekről. Azonban nemcsak a hiány lehet gátló tényező, hanem a kevés és olykor nem teljesen (korrekt) hiteles információ, amely az egyes kérdésekben félreértésekre adhat okot, így emiatt hiúsulhat meg egy fejlesztés vagy beruházás. A lakosság részéről eredményeket csak korrekt, hiteles és teljes körű tájékoztatással lehet elérni (Tóth és Kapocska, 2011). Nemcsak az információ áramlásban, hanem a szélenergetikai beruházások esetében is fontos szerep hárul a települések mindenkor vezetőire is, hiszen a beruházás megkezdésében, illetve kezdeményezésében az első és legfontosabb döntéseket nekik kell meghozniuk. A polgármesterek egy-egy projektípushoz való hozzáállása meghatározhatja a megvalósítás kimenetelét, ami végső soron az emberek jövőjére is hatással lehet (Tóth, 2011).

A tanszék kutatási projektjei és kapcsolatai. Négy fontos szélenergia kutatási projektet emelünk ki. A Meteorológiai Tanszék kutatói 2002–2005 között részt vettek abban az OMSZ által irányított, *Major György* akadémikus nevével fémjelzett kutatási konzorcium munkájában (NKFP-3A/0038/2002), melynek célja az volt, hogy feltérképezze Magyarország légköri eredetű megújuló energiaforrásainak (nap- és szélenergia) potenciálját annak érdekében, hogy ezen energiaforrások felhasználását elősegítse. 2009-ben Tar Károly témavezetésével induló OTKA pályázat keretében a Hernád-völgy nap-, szélenergia és biomassza potenciál meghatározását tűztük ki célul. A 3 éves kutatás során a szélklimatológiai mérésekhez egy 20 m magas szélmérő torony került fel-

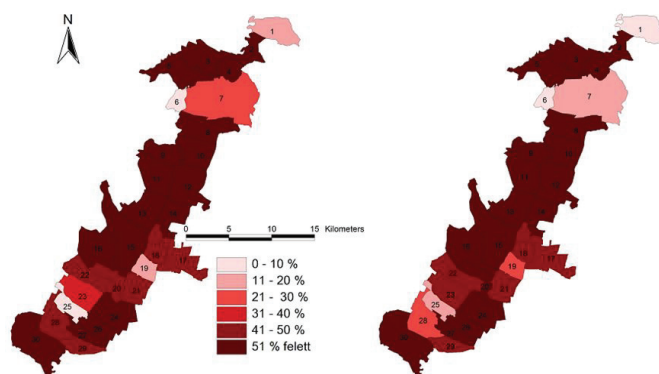
SODAR berendezés került beszerzésre, Nagyváradon (Oradea) és Biharfüreden (Stane de Vale) szónikus szél-méréseket végeztünk. A szélklimatológiai adatbázisok és a modellezési feladatok számítástechnikai igénye miatt a Meteorológiai Tanszék néhány munkatársa 2013. április 1. és 2014. október 31. között bekapcsolódott a Szuper-számítógép, a nemzeti virtuális laboratórium HPC-NVL (TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0010) projekt munkájába. Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával (DEnzero) című (TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041) projekt 2013. január 1. és 2014. december 31. között került megvalósításra, amelynek Éghajlat, városklíma munkacsoport feladatai között szélenergia potenciál vizsgálatok szerepelnek

7. táblázat: A vizsgált települések névjegyzéke.

1. Kéked	7. Gönc	13. Méra	19. Hernádbúd	25. Kiskinizs
2. Abaújvár	8. Göncruszka	14. Hernádcéce	20. Hernádszentandrás	26. Hernádkécs
3. Tornyosné-meti	9. Garadna	15. Encs	21. Pere	27. Nagykinizs
4. Zsujta	10. Vilmány	16. Forró	22. Ináncs	28. Halmaj
5. Hidasnémeti	11. Novajdrány	17. Abaújkér	23. Csobád	29. Szentistvánbaksa
6. Hernádszurdok	12. Vízoly	18. Gibárt	24. Felsődobsza	30. Aszaló



17. ábra: A vizsgált terület települései.



18. ábra. A szél erőművek elfogadottsága (balra) és megvalósíthatósága (jobbra) a Hernád-völgy vizsgált településein.

állításra Hidasnémeti határában. A Meteorológiai Tanszék 2012 áprilisáig egy 2 év időtartamú, részletes önálló szélmérési adatsort állított elő 2 magassági szinten, melynek elemzése mellett térképeztük a szélesebbég térbeli eloszlását. 2011 márciusa és 2012 decembere között került megvalósításra a REGENERG HURO projekt (HURO/0802/083_AF REGENERG), mely során a Nagyvárad Egyetemmel együttműködve a DE Földtudományi és Fizika Intézet munkatársai a megújuló energiaforrások (napenergia, szélenergia, biomassza, geotermikus energia) potenciáljának felmérését végezték Hajdú-Bihar és Bihar megyékben. A szélenergia munkaprogram keretében modern szélmonitorozó rendszerek kiépítésére törekedtünk a projekt vizsgálati területén, mind a magyar, mind a román oldalon. Debrecenben egy

Debrecenben a tetőszint-közeli magasságra. A mérés és modellezés célja, hogy megalapozzák a településeken vagy azok közelében létesítendő kis teljesítményű szélenergia-hasznosító berendezések telepítését. Igazi kihívás az épületek közötti szélesebbég eloszlásának a modellezése, amelyhez egy mikroskálájú modell, az *ENVImet* modell tesztelését végeztük városi mintaterületen.

A Meteorológiai Tanszék külföldi kapcsolatai leginkább közös kutatási programoknak köszönhetőek, így jó kapcsolat alakult ki a Nagyvárad Egyetem Elektromérnöki és Informatikatechnológiai Karával is. A Tanszéknek a 2012–13 tanévtől a Babes-Bolyai Tudományegyetem Földrajz Karával létesült hivatalos ERASMUS kapcsolata, amely a 2014–15 tanévtől az Erasmus+ programban is folytatódik. 2012 óta minden félévben mindkét parter ré-

széről megvalósult az oktatói csere, amely remélhetően a jövőben is folytatódni fog. Jelenlegi terveink között a 2012 óta folyó SODAR mérések folytatása, adatainak klimatológiai elemzése szerepel. Továbbá újabb kutatási pályázatokon, a gyakorlati élet szereplőivel kötött együttműködések létesítésén és fejlesztésén szeretnénk dolgozni. A célunk az, hogy ezen együttműködésekkel, kutatási pályázatokkal fejlesszük saját és hallgatóink tudását és ezzel hozzá tudjunk járulni a hazai klimatológiai kutatásokhoz, a kutatási eredményeink gyakorlati alkalmazásához.

Irodalom

- Castro, F.A., Palma, J. M. L. M. and Lopes, A.S., 2003: Simulation of the Askervein flow. Part 1: Reynolds averaged Navier-Stokes equations (k-epsilon turbulence model). *Boundary-layer Meteorology* 107, 501–530.
- Hunyár, M., Veszprémi, K. és Szépszó, G., 2006: Újdonságok Magyarország szélenergia potenciáljáról. In: *Dobi, I. (szerk): Magyarország szél- és napenergia kutatás eredményei. OMSZ, Budapest, 94–109.*
- Justus, C. G., 1985: Handbook of Applied Meteorology. *John Wiley and Sons.*
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, L. and Iredell, D., 1996: The NCEP/NCAR 40 reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437–471.
- Kircsi, A. és Tar, K., 2008: Profile-tests for utilizing wind energy. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4, 107–123.
- Kircsi, A., 2008: Climatological aspects of utilization of wind energy. *PhD thesis, University of Debrecen*, pp. 145
- Lopez, A.S., Palma, J.M.L.M. and Castro, F.A., 2007: Simulation of the askervein flow. Part 2: Large-eddy simulations. *Boundary-layer Meteorology* 125, 85–108. DOI: 10.1007/s10546-007-9195-4
- Mellár, T. 2009: A helyi gazdaságok fejlesztése és a tulajdonviszonyok. In: *Kiss, T. és Somogyvári, M. (szerk.) Via Futuri 2009 – Közösségi tulajdonú energiarendszerek. Megújuló Energia Klaszter Egyesület, Pécs, 81–85.*
- Molnár, J. és Tar, K., 2003: Modification of air pressure and wind patterns in the Carpathian Basin. *Acta Geographica ac Geologica et Meteorologica Debrecina* 36, 67–80.
- MTA Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság, 2006: Magyarország megújuló energetikai potenciálja. *Tanulmánykötet.*
- Puskás, J. és Tar, K., 2010: Időjárási frontok a Kárpát-medencében és használatuk az alkalmazott meteorológiában. In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, *Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza. 385–388.*
- Puskás, J., Tar, K., Szepesi, J. és Kovács, E., 2014: Statistical Investigation of Subalternation of the Daily Mean Wind Speed on the North-West Region of Carpathian Basin. In: *Kanakidou, M., Mihalopoulos, N. and Nastos, P. (eds): COMECAP 2014 e-book of proceedings* 3, 85–89. ISBN: 978-960-524-430-9
- Szegedi, S. és Bíróné Kircsi, A., 2012: Klimatológiai kutatások a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek – Meteorological Notes of Universities* 24, 93–98.
- Szépszó, G., Horányi, A., Kertész, S. és Lábó, E., 2006: Magyarország szélklimatológia előállítása globális mezők dinamikai leskalázásával. In: *Wantuchné Dobi, I. (szerk): Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei. OMSZ*
- Tar, K., 1980: A szélirány időbeli változékonyságának statisztikai vizsgálata. *Időjárás* 88, 151–159.
- Tar, K., 1991a: Magyarország szélklimájának komplex statisztikai elemzése. *Az Országos Meteorológiai Szolgálat Kiadományai* 124. pp. 67. ISBN 963 7702 393
- Tar, K., 1991b: The Concept and the Velocity- and Energy Distribution of Characteristic and Non-Characteristic Wind Directions. *The Int. Journal of Ambient Energy* 12, 95–100.
- Tar, K., 1998a: A magyarországi szélmező statisztikai jellemzői a globális felmelegedéssel összefüggésben. In: *Az éghajlatváltozás és következményei. Meteorológiai Tudományos Napok, 249–258.*
- Tar, K., 1998b: Alteration of the statistical structure of the wind field in Hungary in connection with the climatic change. In: 2nd European Conference on Applied Climatology, *Central Institute for Meteorology and Geodynamics, Nr. 19, (CD-ROM, ISSN 1016-6254), Vienna, Austria*
- Tar, K., Makra, L., Horváth, Sz., 2000: Some statistical characteristics of the wind energy in Hungary in connection with climatic change. In: 3rd European Conference on Applied Climatology (CD-ROM, ISBN 88-900502-0-9), Pisa, Italy
- Tar, K., Makra, L., Horváth, Sz. and Kircsi, A., 2001a: Temporal change of some statistical characteristics of wind speed in the Great Hungarian Plane. *Theoretical and Applied Climatology* 69, 69–79.
- Tar, K., Makra, L. and Kircsi, A., 2001b: Temporal change of some statistical characteristics of wind speed in Hungary. In: *India, M. B. and Bonillo, D. L. (eds.): Detecting and Modelling Regional Climate Change. Springer-Verlag, 251–262.*
- Tar, K. és Kircsi, A., 2001a: Kísérlet a szélenergia statisztikai becslésére. *Szélenergia konferencia, Gödöllő, 28–34.*
- Tar, K. és Kircsi, A., 2001b: Módszer a napi átlagos fajlagos szélteljesítmény meghatározására. In: *A légköri erőforrások hasznosításának meteorológiai alapjai. Meteorológiai Tudományos Napok, 129–137.*
- Tar, K., Kircsi, A. and Szegedi, S., 2001c: A possible statistical estimation of wind energy. *Proceedings of the European Wind Energy Conference, Copenhagen, Denmark, 886–889.*
- Tar, K., Kircsi, A. and Vágvolgyi, S., 2002: Temporal changes of wind energy in connection with the climatic change. *Proceedings of the Global Windpower Conference and Exhibition, Paris, France, CD-ROM.*
- Tar, K. and Szegedi S., 2003: Relationship between the stability of wind directions and mean wind velocity under various weather conditions. *Időjárás* 107, 213–224.
- Tar, K., Kircsi, A. and Vágvolgyi, S., 2003: Relationship between the energy and the change of direction of the wind. In: *Proceedings CD-ROM 2, European Wind Energy Conference and Exhibition, Madrid, Spain*
- Tar, K. and Verdes, E., 2003: Temporal change of some statistical characteristics of wind direction over Hungary. *Időjárás*, 107, 153–170
- Tar, K., 2004a: A magyarországi szélmező és a nagytérségű légnemzési mező kapcsolatának számszerű jellemzése. In: *A II. Magyar Földrajzi Konferencia absztrakt kötete, pp. 218*
- Tar, K., 2004b: A szélirányonkénti energetikai paraméterek időbeli és területi eltérése Magyarországon. *Földrajzi Értesítő, 54, 219–233.*
- Tar, K., 2004c: Becslési módszerek a magyarországi szélenergia potenciál meghatározására. *Magyar Energetika*, 12, 37–48.
- Tar, K., 2004d: Empirikus szélprofil törvények energetikai célú vizsgálata. In: *III. Természet-, műszaki- és gazdaságtudományok alkalmazása nemzetközi konferencia, Szombathely, CD-ROM.*
- Tar, K. Baros, Z. and Szegedi, S., 2005: Stability of wind direction under various weather conditions during the growing season. 17th International Congress of Biometeorology. *Deutscher Wetterdienst. Annalen der Meteorologie* 41, 86–89.

- Tar, K., 2006a: A szeles napok statisztikai szerkezete Magyarországon. In: Táj, környezet és társadalom. *Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére*. Szeged, 687–696.
- Tar, K., 2006b: A szeles napok statisztikai szerkezetének kapcsolata az időjárási helyzetekkel. In: Földrajzi tanulmányok dr. Lóki József tiszteletére. *Debrecen*, 210–221.
- Tar, K., 2006c: Módszer a szélenergia napi menetének jellemzésére. In: Magyarországi szél- és napenergia kutatás eredményei. *Országos Meteorológiai Szolgálat*, 54–70.
- Tar, K., 2007: A magyarországi szélmező és a nagytérségű légnemzési mező kapcsolatának számszerű jellemzése. In: Tanár úrnak tisztelettel. 56 tanulmány Dr. Korompai Gábor 70. születésnapjára. *Kossuth Egyetemi Kiadó*, Debrecen, 189–198.
- Tar, K., Maghiar, T., Bondor, K. and Szegedi, S., 2007: Statistical estimation of diurnal average potential windpower. In: Proceedings of the 9th International Conference on Engineering of Modern Electric System, *Oradea*, Romania, 86–90.
- Tar, K., 2008a: Energetic characterization of near surface windfield in Hungary. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 250–264. DOI: 10.1016/j.rser.2006.05.007
- Tar, K., 2008b: Some statistical characteristics of monthly average wind speed at various heights. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 1712–1724. DOI: 10.1016/j.rser.2007.01.14.
- Tar, K., Tóth T. és Rózsavölgyi, K., 2008a: A potenciális szélenergia mennyiségének összefüggése a szeles napok számával. In: IV. Magyar Földrajzi Konferencia, *Debrecen* 196–204. ISBN 978-06-6004-4
- Tar, K., Tóth, T. and Rózsavölgyi, K., 2008b: Connection between the potential wind energy and the windy days. *Acta Geographica Debrecina Landscape & Environment Series* 2(1), 6–24., <http://geo.science.unideb.hu/acta.html>
- Tar, K., Kircsi, A., Szegedi, S., Makra, L. and Puskás, J., 2008: Energetic wind profile examinations in Hungary. In: Proceedings of 9th Conference of meteorology, climatology and atmospheric physics, Thessaloniki, 781–788.
- Tar, K. and Szegedi, S., 2009: Alteration of potential wind energy with height and parts of the day. *Journal of Electrical and Electronics Engineering* 2, 206–210.
- Tar, K. és Puskás, J., 2010a: Fronts and winds in Hungary. In: 10th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, Patras, Greece, *Conference Proceedings*, 435–443. www.comecap10.upatras.gr
- Tar, K. és Puskás, J., 2010b: A napi átlagos szélesség megváltozásának kapcsolata az időjárási helyzetekkel. *Magyar Energetika* 17, 30–35.
- Tar, K. és Puskás, J., 2010c: A napi átlagos szélesség időbeli megváltozásának függése a frontos és front nélküli napok váltakozásától. In: VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. *Nyíregyházi Főiskola*, Nyíregyháza, 321–326.
- Tar, K., 2010: Becslési módszerek a magyarországi szélenergia-potenciál meghatározására. In: Földrajzi szemelvények határok nélkül. *MTA Pécs*, Budapest, *Safarik Egyetem*, Kassa 49–53.
- Tar, K., Farkas, I. és Rózsavölgyi, K., 2011: Climatic conditions for operation of wind turbines in Hungary. *Renewable Energy* 36, 510–518. DOI: 10.1016/j.renene.2010.06.034.
- Tar, K. és Szegedi, S., 2011: A statistical model for estimating electricity produced by wind energy. *Renewable Energy* 36, 823–828. DOI: 10.1016/j.renene.2010.06.032.
- Tar, K., 2012: A szélenergia magyarországi hasznosításának reális lehetőségei. *Magyar Energetika* 19, 2–6.
- Tar, K. és Tömöri, M., 2013: Realistic Potentials of Wind Energy Utilisation in Hungary. In: *Bokor, L., Csapó, J., Szelesi, T. and Wilhelm, Z. (eds.): Locality and the Energy Resources. Geographical Locality Studies* 1(1). *Frugeo Geography Research Initiative*, Shrewsbury. 150–165.
- Tar, K., 2013a: Energetic Parameters of the Wind Directions. In: *Bokor, L., Csapó, J., Szelesi, T. and Wilhelm, Z. (eds.): Locality and the Energy Resources. Geographical Locality Studies* 1(1). *Frugeo Geography Research Initiative*, Shrewsbury. 132–149.
- Tar, K., 2013b: Methods for investigating the statistical structure of the surface layer wind field – taking Hungary as an example. In: *Méndez-Vilas, A. (ed.): Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments. Formatex Research Center* 545–558. ISBN-13: 978-84-939843-7-3
- Tar, K., 2014a: A napi átlagos szélességek egymásra következtetésének statisztikai elemzése az Alföldön. In: Fazekas, I. és Szabó, V. (szerk.): *Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás. Meridián Alapítvány* 96–105. ISBN 978-963-7064-31-9
- Tar, K., 2014b: Statistical structure of the surface layer wind field in Hungary. Direction, speed and energy of the wind. *Lambert Academic Publishing*, pp. 88. ISBN: 978-3-8484-0139-0,
- Tóth, T., 2011 A megújuló energiaforrások hasznosításának feltételei a Hernád völgyében. In: *Frisnyák, S. és Gál, A. (szerk.): A magyarországi Hernád-völgy. Földrajzi tanulmányok*. Nyíregyháza–Szerencs 267–276.
- Tóth, T. és Kapocskai, L., 2011 A megújuló energiaforrások ismertségének és alkalmazásának jelenlegi helyzete a Hernád-völgy hátrányos helyzetű településein. In: *Szabó, V. és Fazekas, I. (szerk.): Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás*. Debrecen, 264–69.
- Tóth, T., Szalontai, L., Spéder, F. és Vass, R., 2012a A biomassza hasznosításának társadalmi megítélése a Hernád völgyében. – In: *Lázár I. (szerk.): A megújuló energiaforrások hasznosításának természeti, társadalmi és gazdasági lehetőségei a Hernád-völgyben. Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszék*, Debrecen 61–72.
- Tóth, T., Tar, K. és Kapocskai, L., 2012b: A szélenergia hasznosítás természeti háttere és társadalmi támogatottsága a Hernád-völgyében. In: *Társadalmi kihívások a XXI. század Kelet-Közép-Európájában. Nemzetközi földrajzi konferencia*, Beregszász. 190–198.
- Tóth, T., 2013 A megújuló energiaforrások társadalmi háttérvizsgálata a Hernád-völgy településein, különös tekintettel a dendromassza-alapú közösség hőenergia-termelésre. Doktori (PhD) értekezés. *DE. Debrecen*. pp. 163
- Wieringa, J., 1986: Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages. *Quart. Journal of Royal Met. Soc.* 112, 867–889.
- www.msztet.hu: a Magyar Szélenergia Társaság honlapja
www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html

NAPELEMES VIZSGÁLATOK AZ ÓBUDAI EGYETEMEN EXAMINATIONS WITH SOLAR CELLS IN ÓBUDA UNIVERSITY

Varga Andrea¹, Vass Attila², Kádár Péter³

¹Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatikai Doktori Iskola, ²Óbudai Egyetem Biztonságtechnikai Doktori Iskola,

³Óbudai Egyetem KVK Villamosenergetikai Intézet. 1034 Budapest, Bécsi u. 96/b,

varga.andrea@kvk.uni-obuda.hu, vass.attila@kvk.uni-obuda.hu, kadar.peter@kvk.uni-obuda.hu

Összefoglalás. Az Óbudai Egyetemen egy évtizede folynak napelemek alkalmazásához kapcsolódó vizsgálatok. Írásunk ezekről, a napelemes laboratóriumokról (2005; 2012), a spektrális mérésekről (2007) és az inverter vizsgálatokról (2011) ad áttekintést.

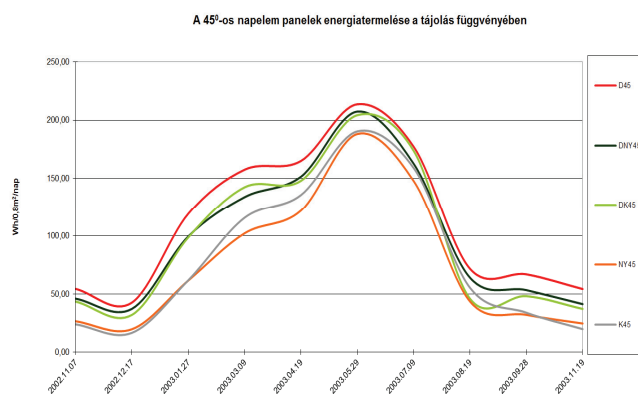
Abstracts. Examinations with the application of solar cells have been carried out in Óbuda (Budapest, Hungary) University. Our writing gives an overview about the solar cells measurements in laboratory (2005; 2012), spectral measurements (2007) and the inverter examinations (2011).

Bevezetés. Alighanem a stratégiai tankönyvek negatív példáinak sorát vezetheti az a 2003-as hazai üzleti dön-

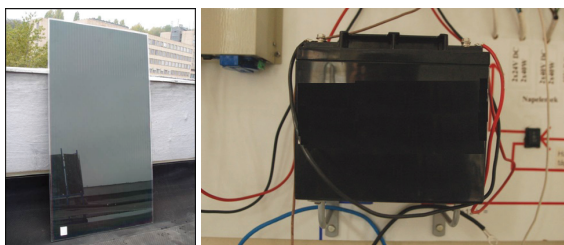
I. A napelemes rendszereket bemutató laboratóriumok. Egy évtizede Herbert Ferenc kezdeményezésére vágtunk



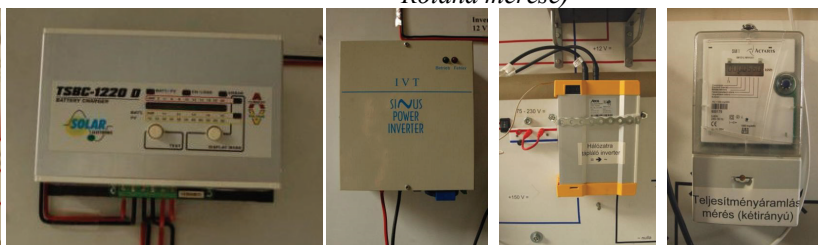
1. ábra: Napelemek a Bécsi úti épületen



2. ábra: Különböző tájolásokkal elérhető energiatermelés (Sütő Roland mérése)



3. ábra: Szigetüzemű rendszer főbb elemei



4. ábra: Hálózatra tápláló rendszer főbb elemei

tés, melynek eredményeként:

„Múlt pénteken leállt a termeléssel a Wallis Rt. érdekelt-ségébe tartozó Dunasolar Napelemgyártó Rt., a cég gyártósorát thai befektetők veszik meg, nyilatkozta a Napi Gazdaságnak Kóbor Miklós, a cég vezérigazgatója. A napelemek iránt Nyugat-Európában csökkent a kereslet, így a Dunasolar az utóbbi néhány hónapban már nem termelt folyamatosan. Azért döntöttek a cég leállítása mellett, mert sem itthon, sem a környező országokban nem alakult ki komolyabb kereslet ezen energiai termelő eszköz iránt.”¹ A hazai DS40-es Dunasolar napelemek gyártásának leállításakor, a gyár eladása után kezdődtek meg a napelemek alkalmazásával kapcsolatos kutatások az Óbudai Egyetem jogelődjénél, a Budapesti Műszaki Főiskola Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karán.

bele az alternatív energiaforrások, közöttük a napelemes berendezéseket bemutató laboratóriumok kiépítésébe. A BMF KVK VEI egy demonstrációs energiaparkot hozott létre a Bécsi úti telephelyen napelemekkel, napkollektorokkal, tüzelőanyag-cellával, szélturbinával, tározós erőmű modellel. A munka célja a megújuló energiatermelő eszközök gyakorlati bemutatása, üzemviteli tapasztalatok szerzése, illetve új típusú hálózati struktúrák tesztelése. Mintegy 20 db amorf napelem tábla került elhelyezésre, amely azóta is üzemel. Részletes adatsorok gyűltek össze arról, hogy a hazai időjárási viszonyok mellett mennyi villamos energiát lehet termelni a különböző fix tájolású panelekkel (1. ábra). Az energiapark első egysége több mint egy évtizede üzemel. Az amorf szilícium technológiával készült DS40-es napelemek főbb adatai:

- névleges teljesítmény: 40 W
- névleges feszültség: 44,8 V
- névleges áram: 900 mA
- üresjárású feszültség: 62,2 V

¹ Napi Gazdaság 2003. 06. 16. 10:54

<http://index.hu/tech/hirek/135475/letoltve> 2014.05.23.

- rövidzárási áram: 1150 mA
- felület: 0,8 m²

Vizsgálati szempontok:

- hatásfok mérés
- megfelelő tájolás kiválasztása
- szórt fény hatása
- öregedés vizsgálat
- a megfelelő rögzítéstechnika kiválasztása
- segítség építészeti alkalmazások tervezéséhez

A 2. ábrán a különböző tájolású panelek évi energiatermelésének összehasonlítását láthatjuk.

Hálózati és szigetüzem. A laboratóriumban a napelemek két fő felhasználási módját is bemutatjuk. Az első a szigetüzem, amelynél a főbb elemek a

- napelem
- akkumulátor töltő
- akkumulátor
- „szabadonfutó” inverter.

Ennél a megoldásánál kisebb teljesítményigények ellátására van mód, a rendszer kritikus eleme az akkumulátor (3. ábra).

A másik összeállítás a hálózati visszatápláló üzem, amelynél közbülső tárolóelem nélkül egy DC/AC inverteren keresztül a hálózatba táplálunk (4. ábra).

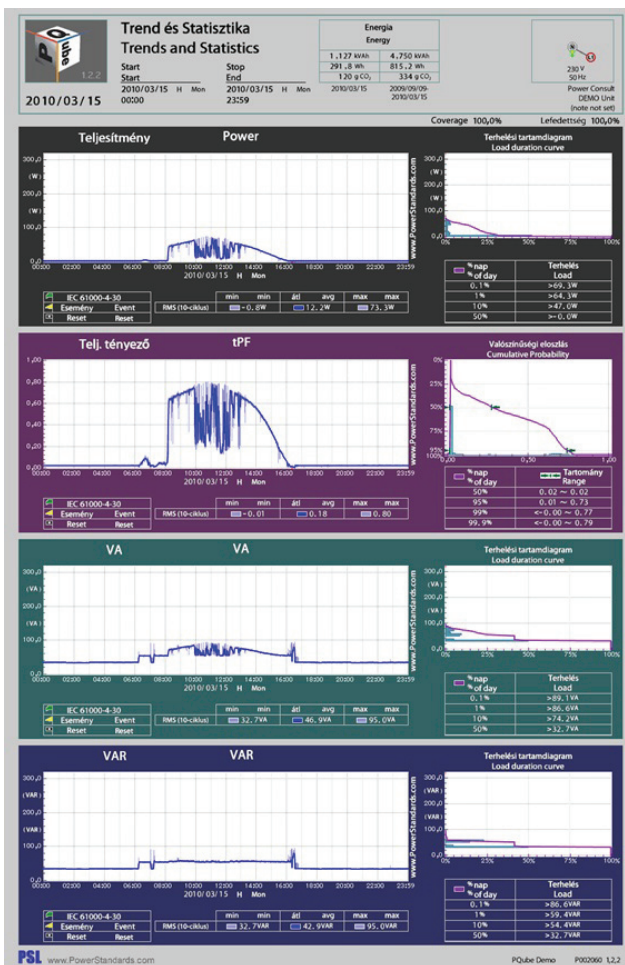
Elemi: – napelem

- inverter
- „ad-vesz” mérő

Ezzel az elrendezéssel üzemelnek a Háztartási Méretű Kis-Erőművek (HMKE), s több MW-os erőmű is (5. ábra).

A háztartási méretű kiserőmű. A villamos energiáról szóló törvény (VET) alapján „Kiserőmű” az 50 MW-nál kisebb névleges teljesítményű erőmű. A kiserőműveknek egy speciális fajtája a „Háztartási méretű kiserőmű” (HMKE), ami olyan, a kisfeszültségű hálózatra csatlakozó kiserőmű, melynek csatlakozási teljesítménye egy csatlakozási ponton nem haladja meg az 50 kVA-t (vagyis a 3x63 A-t). Mivel HMKE létesítése esetén nincs szükség kiserőművi engedélyre, valamint építészeti hatósági engedélyezési eljárást sem kell lefolytatni, így létesítése sokkal egyszerűbb, mint az 50 kVA feletti erőművéké. (Megjegyzés: 50 kVA és 0,5 MW közötti erőmű teljesítmény esetén kell építési engedélyezési eljárás, viszont nem kell kiserőművi engedély.)² A jogalkotó szándéka szerint a HMKE létesítésének az elsődleges célja, hogy a fogyasztó saját ellátására termeljen villamos energiát, és nem célja az „eladásra termelés”. Ezt tükrözi az elszámolás módja és díjai is. HMKE esetén a megtermelt villamos energia átvételére nem alkalmazható a kötelező átvételű villamos energia árszabása. Az elszámolást az úgynevezett szaldó alapján kell végezni, vagyis: a csatlakozási ponton olyan elektronikus mérőt kell felszerelni, ami külön regiszterben méri a fogyasztott, és külön regiszterben a termelt villamos energia mennyiségét (AD-VESZ mérő). Az elszámolás a szaldó, vagyis a két-féle irányú mért teljesítmény előjelhelyes összegzésével történik, mely általában éves szinten kerül kiszámításra. 2012 eleje óta üzemel az Óbudai Campus Aulájának tetején, illetve a C épület M1-es laboratóriumában a SIEMENS támogatásával megvalósult 3,3 kW_p teljesítményű hálózatra termelő napelemes rendszer (6. ábra). A 14 db Korax KS235P polikristályos napelemtábla a 2012-es évben 4000 kWh energiát termelt, ennyivel csökkentette az épület villamos energia vételezését. Minthogy a C épület fogyasztása minden időpontban jelentősen meghaladja a maximális betáplálási teljesítményt, ezért a külső hálózatra visszatáplálás nem történik (7. és 8. ábra).

Kültéri napelem és napkollektor laboratórium. A KMOP-2010-4.3.1/B „A felsőoktatási tevékenységek színvonalának emeléséhez szükséges infrastruktúra fejlesztés az Óbudai Egyetemen” támogatási projekt során a megújuló energiaforrások kutatására szolgáló laboratóriumi infrastruktúra fejlesztés történt az Óbudai Egyetemen (9. ábra). Ennek keretében számos, a napelemek alkalmazásához is kapcsolódó laboratórium is kialakításra került. A megújuló természeti erőforrások alkalmazását alapvetően laboratóriumokban és lehetőség esetén eredeti felhasználási környezetben is célszerű vizsgálni. A berendezések egy részét a tetőn helyeztük el, ahol valós időjárási környezetben, közvetlenül benapozott területen tudunk méréseket végezni. Vizsgálni tudjuk, az ún. háztartási léptékű kiserőmű alkalmazások egészének (nem csak elemeinek) viselkedését szélsőséges időjárási ese-



5. ábra: Az Óbudai Egyetem KVK Villamosenergetikai Intézetének megújuló laboratóriumában a hálózatra csatlakoztatott 80 W_p teljesítményű napelemes rendszer hálózati visszatáplálása 2010.03.15-én

² Bessenyei Tamás megfogalmazása

tekben is (hideg, meleg, szélvihar, felhőszakadás, szmogos, párás környezet, stb.). Egy másik fontos vizsgálati terület az időtartam vizsgálat, amelyek során az elvi képességekkel felruházott műszaki berendezés által hónapok során ténylegesen megtermelt energiát mérjük meg. Végül pedig nagyon fontos az összehasonlító jellegű vizsgálat, amikor pl. különböző típusú napelemek azonos környezeti és besugárzási paraméterek mellett termel-

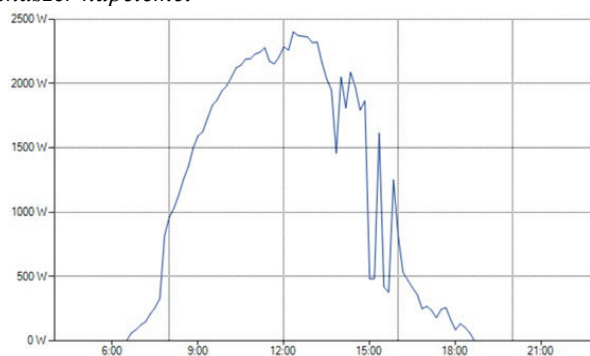
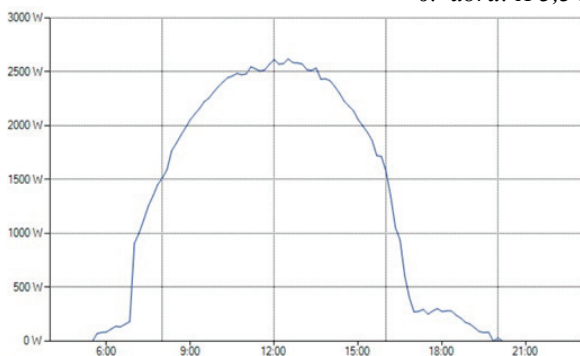
sét tudjuk elemezni.

Erre a célra a Szőlő utca 4. alatti egyetemi épület tetején telepítésre kerültek:

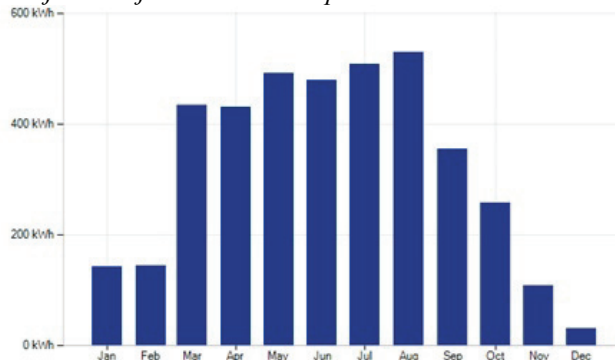
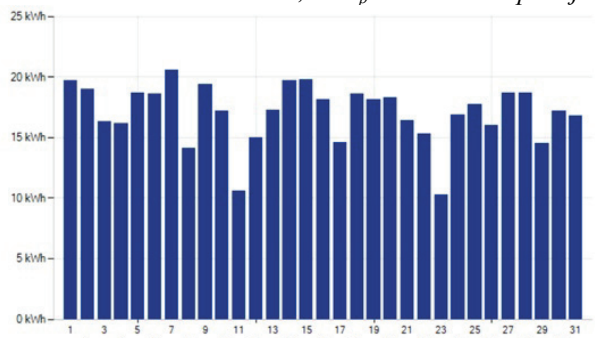
- Univerzális napkövető rendszer (számítógépes vezérléssel, szenzorokkal, mechanikával, kéttengelyű (azimut–zenit) automatikus naphelyzet-érzékeléses vezérlésű, kézi vezérlés elsőbbséggel, szekunder sugárzás kompenzációval). Biztonsági beállások (vihartű-



6. ábra: A 3,3 kW_p-s rendszer napelemei



7. ábra: A 3,3 kW_p-s rendszer napi teljesítménygörbéje 2012. június 7-én és szeptember 13-án



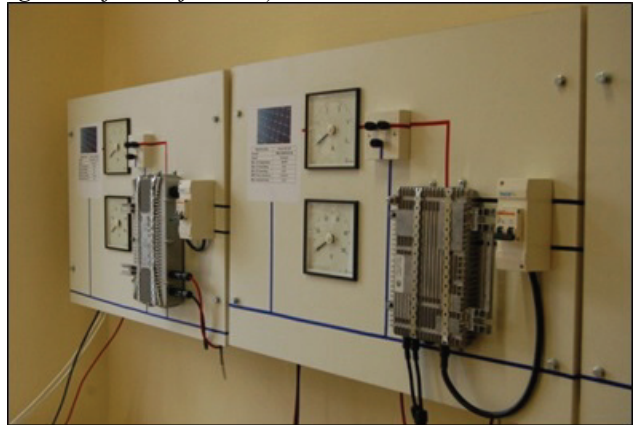
8. ábra: A 3,3 kW_p-s rendszer termelése 2012. augusztusában, és a 2012-es évben



9. ábra: Napelem forgató berendezés és 3,5 kW_p-os napelemes erőmű



10. ábra: Villámvédelmi megoldás (foto Fejes Imre)



11. ábra: Inverter vizsgáló panelek (foto Nagy László és Kádár Péter)



12. ábra: Villamos autó – töltő – robogó

rő) kivételben)

- Különböző típusú napelem sorozatok
- Hálózatra visszatápláló 3,5 kW_p napelemes erőmű.

Külön ki kell emelni a nem kísérleti jellegű napelemes rendszerek szabvány szerinti érintés-, villám- és túlfeszültség elleni védelmének kérdését (10. ábra), kapcsolatát a tűzvédelemmel. Az új létesítmény megfelel az új előírásoknak, vizsgálható a villámvédelem és a napelemes termelés esetleges kölcsönhatása is.

Napelemek alkalmazását kutató és oktató laboratórium

A napelemek által termelt egyenfeszültségű teljesítményt inverterekkel kell átalakítani váltakozó áramúvá, hogy a kiefeszültségű hálózatba betáplálható legyen. Ezeknek az eszközöknek meg kell felelniük a hálózati engedélyes, „Elosztói szabályzat”-ban megadott feltételeknek. Ezek az előírások inverterek esetén elsősorban a szigetüzem elleni védelmet, az üzemzavar esetén elvárt gyors levá-

last, valamint a felharmonikus tartalom szabványos szintjének betartását jelentik. Fontos megjegyezni, hogy nem minden inverter teljesíti a hálózatra csatlakozás feltételeit. Az új teljesítményelektronikai rendszerek, a Smart hálózatok legújabb mérési és kommunikációs feladatait ellátó egységek, a terhelésvezérlés eszközei és a korszerű mikroprocesszoros védelmek újfajta mérési és kommunikációs elveket használnak. Ezek vizsgálata ma már csak komplex számítógépes analízatorokkal lehetséges. Az új laboratóriumokban (11. ábra) egyidejűleg keletkeznek energiatermelési és környezeti adatok: hőmérséklet, szél, besugárzás, hőtermelés, villamos energia termelés, stb. Ezek szinkronizált, valós idejű mérése és naplózása csak korszerű, ipari adatgyűjtő berendezésekkel lehetséges. Ezeket szolgálja:

- Valósidejű ipari adatgyűjtő rendszer (Prolan)
- Villamos hálózatba illeszthetőség vizsgáló (Terheléselemzés, fogyasztói harmonikus, fogyasztó viselkedés

analízis, egyperces mintavételezés, háromfázisú mérés, MSZ 50160 szerinti paraméterek gyűjtése.)

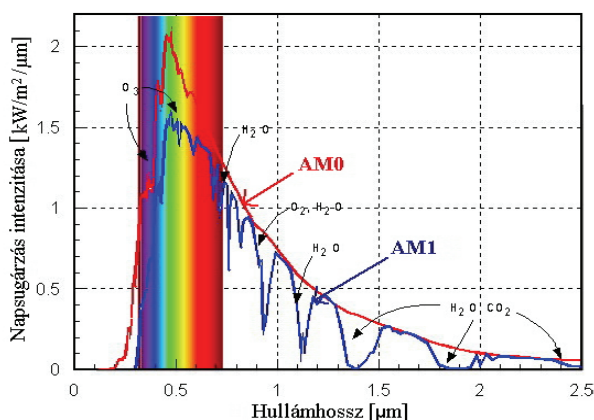
- Hálózati védelmi megoldásokat vizsgáló eszköz (A napelem installációk védelmi megoldásának, valamint a közcélú kisfeszültségű hálózatba kötés biztonságának ellenőrzése.)

E-mobility terület. Napjaink műszaki kihívása a villamosenergia alapú közlekedési eszközök fejlesztése, a töltő infrastruktúra kiépítése és egyéb háttérfeladatok megoldása. Az Óbudai Egyetem a Schneider Electric ZRt-vel való együttműködés eredményeképpen egy villamos autó (EV) töltő állomást alakított ki a megújuló laboratóriumok előtti területen. Ezáltal lehetőség nyílik az épület különböző részein elhelyezett napelemekkel termelt megújuló energia közlekedési célra való felhasználására. A villamos meghajtású autó egyeztetett idő-

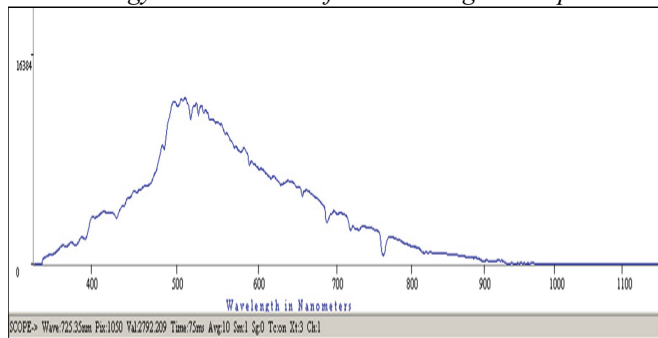
lanul napsütött egy négyzetméterről ennyi energiát tudnánk begyűjteni a 100%-os hatásfokú eszközökkel. A napsugárzás folytonos spektrumú, és különböző hullámhosszakon különböző intenzitású. Látható fénynek nevezük az elektromágneses sugárzásnak azt a tartományát, amely 400–800 nm hullámhosszúságú. A fény színei:

- 400–420 nm – ibolya
- 420–490 nm – kék,
- 490–540 nm – zöld,
- 540–640 nm – sárga,
- 640–800 nm – vörös
- Felette az ún. „hősugárzás”

A Föld felszínére érkező sugárzás egyenetlenségét a légkör nemlineáris elnyelési karakterisztikája okozza, amiért főként a vízgőz felelős. Több olyan berendezés is beszerzésre került, amellyel a spektrális besugárzást, és ezáltal



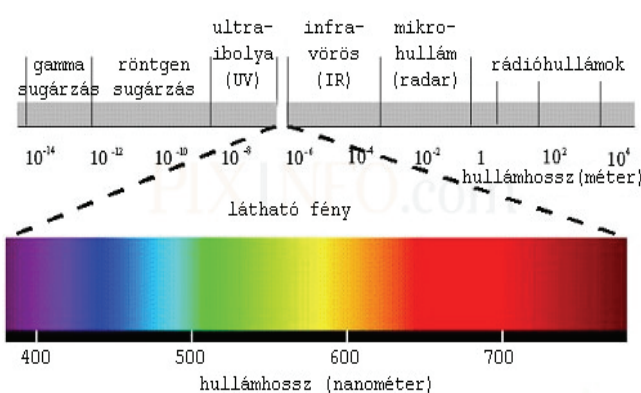
13. ábra: Egy 5762 K-en izzó fekete test sugárzási spektruma



15. ábra: Az ÓE KVK VEI-ben mért sugárzási spektrum

pontokban az egyetem rendelkezésére áll demonstrációs célokra. A megújuló demonstrációs eszközpark részét képezi egy villamos meghajtású robogó is a megfelelő töltővel együtt (12. ábra). A hallgatók méréseket végezhetnek a villamos töltők tulajdonságait illetően.

II. Spektrális mérések. A Nap sugárzó energiája elektromágneses hullámok formájában – UV sugárzás, látható fény, infravörös sugárzás, stb. – érkezik a Földre. A *nappállandó* értéke az az energiamennyiség, ami napsugárzásból a földi légkör felszínének a napsugárzás irányára merőlegesen felvett egy négyzetméterre esik (a Föld–Nap távolság középértékén).³ Ennek általánosan elfogadott értéke 1368 Wm^{-2} amely érték műhold által regisztrált értékek évi átlaga. Ez azt jelenti, hogy zavarta-



14. ábra: A látható fény spektruma



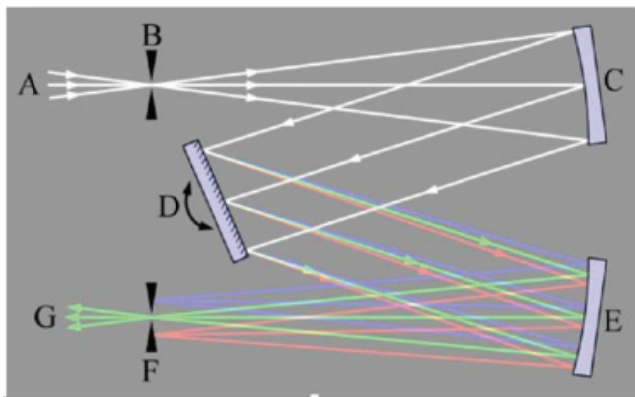
16. ábra: Napelem cella

a napelemek spektrális érzékenységét tudjuk vizsgálni. **Napsugárzás spektruma.** A Napban végbemenő termonukleáris reakció hatására energia szabadul fel, amely a Nap felületéről sugárzás formájában távozik a világűrbe. A Nap által kisugárzott energiának csak kis hányada éri el Földünket, de ez is több mint tízezerszerese a Föld teljes energiaigényének. A Föld felszínére érkező sugárzási energia átlagértéke 1000 Wm^{-2} . Ezt a sugárzást azonban számos egyéb tényező – földrajzi helyzet, atmoszférikus viszonyok, napszak stb. – befolyásolja. A Nap sugárzásának spektrális eloszlását közelíthetjük egy 5762 K-en izzó fekete test sugárzási spektrumával (13. ábra). A látható fény spektrumát a 14. ábrán emeltük ki. Max Planck munkássága óta tudjuk, hogy minden sugárzó, így a Nap sugárzásának energiahordozói a fotonok. A fotonok közül egyes meghatározott hullámhosszúak a Földet körülvevő légrétegen áthaladva a gázatomokon-gázmolekulá-

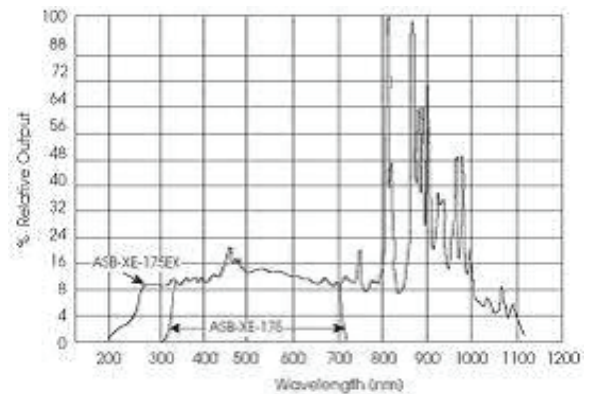
³ <http://www.energytraining4europe.org/hungarian/training/glossary.asp>

kon abszorbeálódnak. A Naptól jövő sugárzásnak csak egy része éri el a Föld felszínét, a többi visszaverődik a légköri képződményeken ill. abszorbeálódik és visszaszóródik az atmoszférába való behatolás közben. A 330 nm-nél nagyobb hullámhosszú sugarak jutnak el a Föld felszínére. Abszorbens anyagok a sztratoszférikus rétegben az ózon, amely védi a bioszférát a kemény UV sugárzástól, míg a troposzfériban a víz és a szén-dioxid a legdominánsabb. A napelemet érő napsugárzás szabványosítására bevezették az Air Mass (AM) fogalmát. AM0 a légkörben még nem gyengített spektrumot jelenti, AM1 a légkörön merőleges beesés mellett egyszeresen átjutott spektrumot mutatja. Az AM értékének számítása a következő logika szerint működik: az AM nem más, mint a megfigyelési pontban, a beérkező sugárzás és a függőleges által bezárt szög koszinuszának reciproka. A 15. ábrán egy általunk, Apogee spektrométerrel mért napfény besugár-

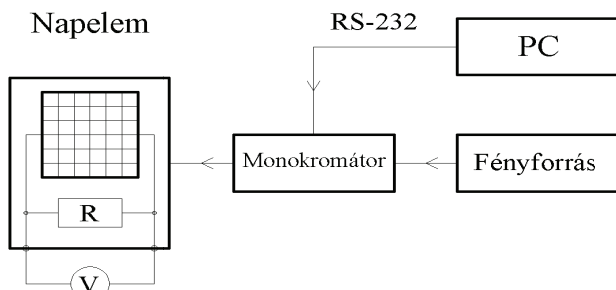
zott fény nagyságától függően egy küszöbértéknél kapcsolni egy áramkört. Ez a napelem, egy hitelesített besugárzásmérő. A kapcsain mérhető feszültséghez, egy táblázatból kiolvasható besugárzás értékek tartoznak. A monokromátor egy Czerny-Turner típusú műszer, aminek a feladata az, hogy a fényforrásból kilépő fényt jól definiált hullámhosszokra bontsa fel és ebből csak a meghatározott hullámhosszú fényt bocsássa ki a detektorra. A belépő fény a B (slit1) résen keresztül jut a berendezésbe. A rés szélessége 10 μm–3000 μm közötti értékre állítható be. A résen átmenő fény egy homorú tükörről esik (17. ábra C, E), amely a fókuszált fényt az optikai rácstra (fényfelbontó elemre) vetíti. A belépő koncentrált fényt a homorú tükör párhuzamosítja. Az optikai rácspan 1 mm-en 1200 karcolás található, amiből az optikai rácspan minőségére és felbontóképességére lehet következtetni. Ez az érték befolyásolja a monokromátor pontosságát. Az így elért pontosság a be-



17. ábra: DK-240 monokromátor kialakítása



18. ábra: Xenon lámpa (ASB-XE-175W) spektruma



19. ábra: Mérési összeállítás sematikus rajza



20. ábra: Mérési összeállítás

zási intenzitás látható a hullámhossz függvényében. (Az adott görbét 2013. augusztus 21-én 17 órakor rögzítettük.) Ha összehasonlítjuk az elméleti illetve hitelesített műszerekkel mért függvényt, megállapíthatjuk, hogy az Apogee spektrométerrel végzett mérés megegyezik az AM1,5 (függőlegessel 48,2°-ot bezáró sugárzás) esetén definiált spektrummal. (Az AM1,5 jelenti az AM1-hez képest a légkörön másfélszeresen átjutott spektrumot.)

Spektrális méréshez használható eszközök.

A Spektrális Sugárzó Laboratóriumban a következő eszközöket használhatjuk fel a mérések elvégzéséhez.

- Napelem cella (TA-SE1)
- Monokromátor (DK-240)
- Apogee spektrométer
- Fényforrás (Xenon ASB-XE-175W)

A napelem cella (16. ábra), Si alapú monokristályos szerkezetű, a cella felülete 4,5 cm². Ezt az eszközt a gyakorlatban szenzorként alkalmazzák, amely képes a besugár-

állított érték ±0,3 nm között mozoghat. Az optikai rácspot forgatja annak érdekében, hogy csak a kívánt hullámhosszú fény jelenjen meg a kimeneti résen slit2 (17. ábra F). Az F (slit2) rés nagyságát szintén 10 μm – 3000 μm között lehet állítani. Minél nagyobb a rés szélessége, annál nagyobb a detektorra eső fényenergia. A két részt (slit1, slit2) egymástól függetlenül is állíthatjuk. A (17. ábra G) detektorra a szoftveresen beállított hullámhosszú fény érkezik. A fényforrás egy 175 wattos xenon lámpa, színhőmérséklete 5600 K, amely nagyon hasonló a nap színhőmérsékletéhez. A xenon lámpát nap szimulátorként alkalmazzuk, mivel nagy spektrális eloszlású fényforrás (18. ábra), ami hasonlít a Nap széles spektrumára.

Spektrális mérési lehetőségek.

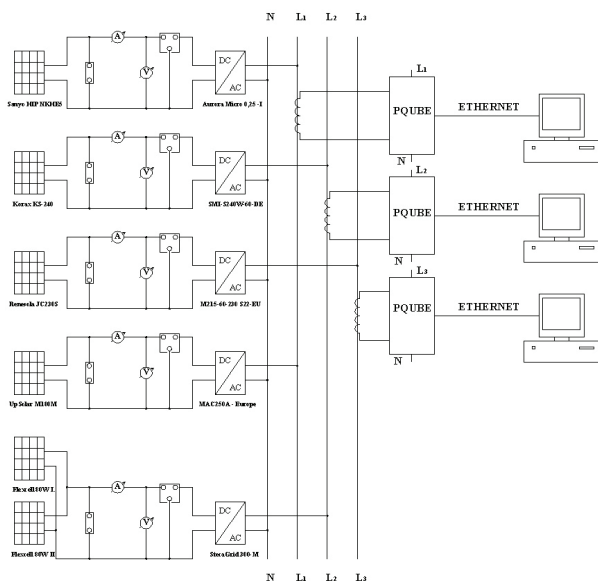
- A napelem cella megvilágítása xenon lámpával, ahol a napelem kapcsain mérhető kimeneti feszültség változása vizsgálható, a fény intenzitásának függvényében.

- A napelem cella megvilágítása különböző hullámhosszú fényvel, ahol a napelem kapcsain mérhető kimeneti feszültség változása vizsgálható a fény hullámhossz változtatásának függvényében. A megvilágítás intenzitását a xenon lámpánál változtatjuk és egy mérési sorozaton belül állandó értéken hagyjuk.
- A napelem cella megvilágítása különböző hullámhosszú fényvel, ahol a napelem kapcsain mérhető kimeneti feszültség változása vizsgálható a fény hullámhossz változásának függvényében. A megvilágítás intenzitását az adott hullámhosszokon állandó értékre állítjuk.

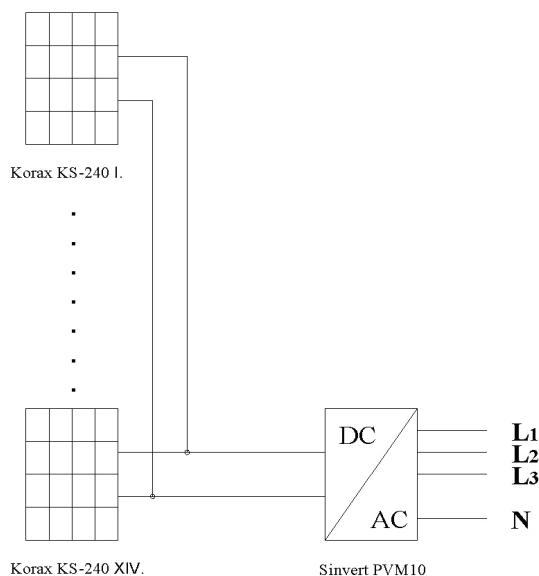
Az alap mérési összeállítás mind a három esetben ugyanazokat az elemeket tartalmazza. A mérési elv, a beállított paraméterek változnak. A fényforrás közvetlenül csatlakozik a monokromátor (2) bemenetére (slit1), így a xenon lámpából (4) kijutó fény, törés, elnyelődés, szóródás nél-

kiválasztani, a résszélességet pedig μm pontossággal. Program segítségével állíthatjuk a monokromátor bemeneti illetve kilépő résnagyságát. A résnagyság azért fontos, mivel ezzel a detektorra jutó fény energiáját lehet befolyásolni. (Ezzel tudjuk beállítani, hogy a különböző hullámhosszú fény sugarakat azonos energiaértéken tartsuk.)

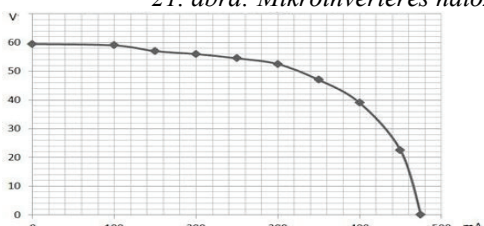
III. Hálózati inverteres vizsgálatok. A napelemes rendszerek, mint a megújuló energia lehetséges forrásai, az utóbbi időben kezdik fénykorukat élni. A technológia fejlődése alacsonyabb előállítási költséget eredményez, így egyre több háztartás megengedheti magának. A rendszer részét képezi minden esetben egy inverter egység, mely a napelemes modulokból érkező egyenfeszültséget hivatott váltakozó feszültséggé alakítani. A későbbiekben tárgyalt mérések is ezen egység fontosságára mutatnak rá. A mé-



21. ábra: Mikroinverteres hálózat

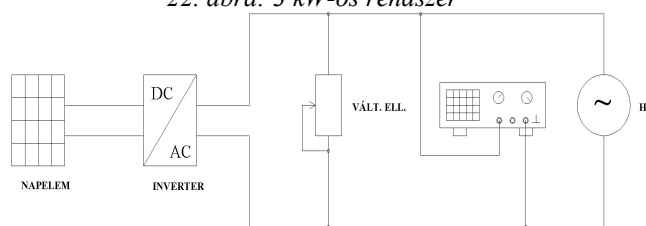


22. ábra: 3 kW-os rendszer



23. ábra: Feszültség-áram jelleggörbe

UP-M 180 M panel karakterisztikája



24. ábra: Méréselrendezés I.

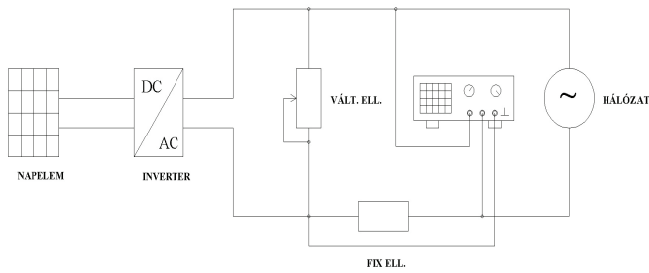
kül jut a monokromátorba. A napelem (2) pontosan illeszkedik a monokromátor kimenetére (slit2). Tehát a kilépő fény sugar merőlegesen érkezik a napelem felületére! A fényforrás fényintenzitása analóg módon állítható.

A maximális érték azt jelenti, hogy a fényforrás belsejében lévő szűrők ki vannak iktatva, a lámpából közvetlenül kilépő fény érkezik a monokromátor belsejébe. (Itt állítható a fényintenzitás.) A napelem cella kivezetésein a feszültséget digitális multiméterrel (1) mérhetjük.

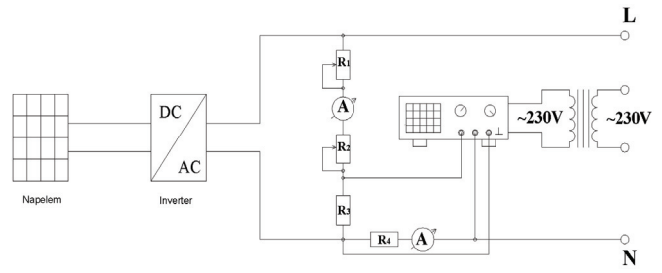
A monokromátor soros porton keresztül csatlakozik a számítógéphez. Így szoftveresen lehet az optikai rácsléptetőmotorját mozgatni (19. ábra). A szoftveresen beállított fényhullámhossz tud kilépni a monokromátorból. Ebben az elrendezésben a detektorra (napelem panelre) jól definiált hullámhosszú fény jut (20. ábra). A mérést igen nagy hullámhossz pontossággal, lehet elvégezni. A kívánt hullámhosszt tized-Ångström pontossággal lehet

rés több félév alatt gyűjtött adatokra támaszkodik, melynek helyszíne az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Megújuló Energiaforrások kutatóhelye. Az első mérések során a napelemek által termelt energia került a vizsgálatok központjába. A következő mérés az inverter kikapcsolási tranzienseit vizsgálja. A második és harmadik mérés során már közelebb jutottunk a hálózathoz, hiszen az eltérő terhelések által keltett tranziensek kerültek előtérbe. Az ilyen módon vizsgált események nagyrészt a való életben is bekövetkező terheléseken alapulnak. Éppen ezért került a harmadik mérés végére egy hétköznapi gép görcső alá.

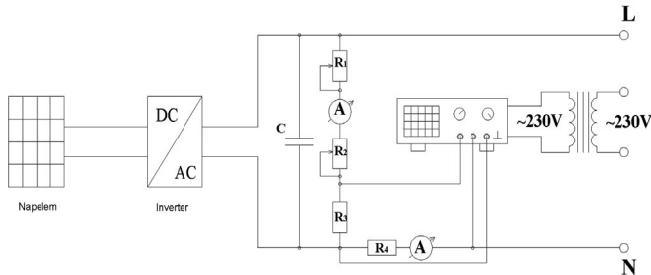
A mérés során alkalmazott eszközök. A Megújuló Energiaforrások kutatóhely, a napelemes mérések laboratóriuma, összesen hat jól elkülöníthető napelemes rendszerből épül fel, melyet öt mikroinverteres és egy 3,5 kW-os kiépítés táplál. Az alkalmazott három fázisról három



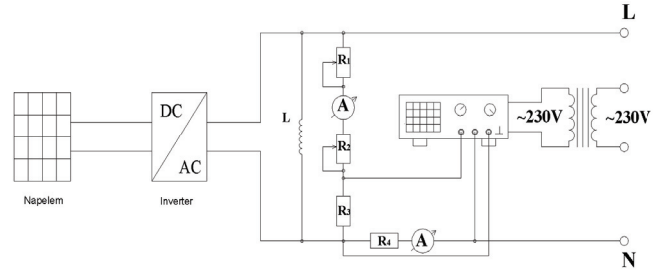
25.A ábra: Méréselrendezés II.



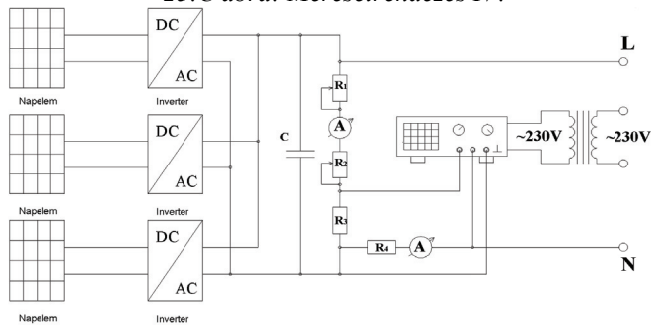
25.B ábra: Méréselrendezés III.



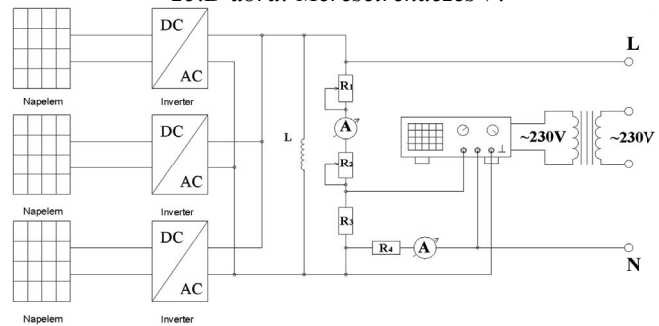
25.C ábra: Méréselrendezés IV.



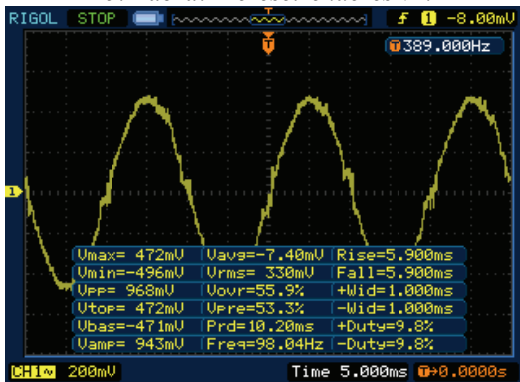
25.D ábra: Méréselrendezés V.



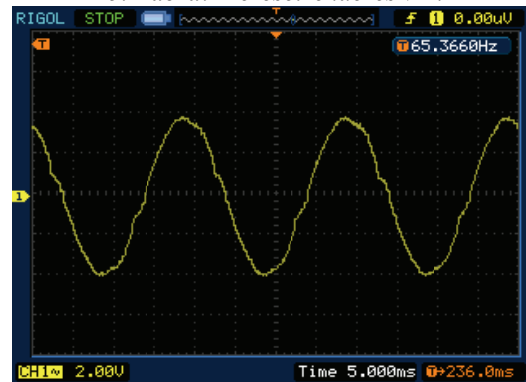
25.E ábra: Méréselrendezés VI.



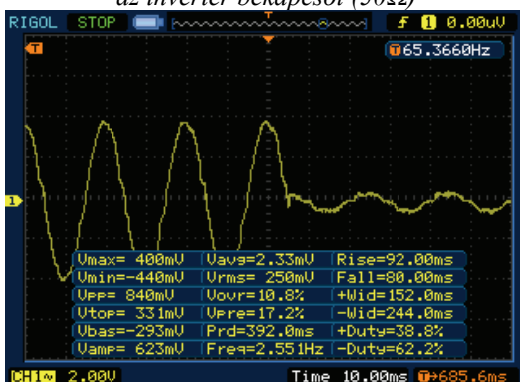
25.F ábra: Méréselrendezés VII.



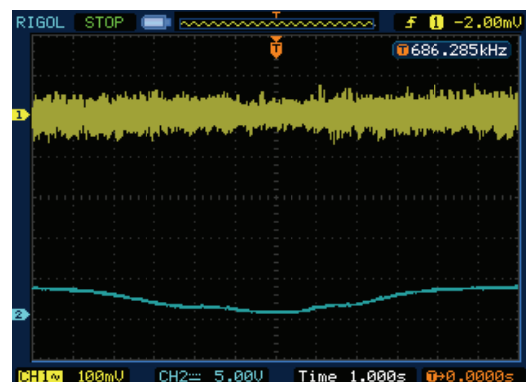
26. ábra: Legkisebb terhelés esetén, ahol az inverter bekapcsol (50Ω)



27. ábra: Nagyobb terhelés esetén



27. ábra: Azon pont, ahol az inverter kikapcsol (49Ω)



28. ábra: Az inverter feszültség-áram karakterisztikája a terhelés függvényében

PQube mérésadatgyűjtő szolgáltató részletes adatokat. A laborban alkalmazott rendszer sematikus felépítése a 21. ábrán látható, különválasztva a mikroinverterektől a 3,5

kW-os rendszert (22. ábra). A két elkülönült rész a közös három fázisra termel, ahonnan a PQube-ok egy áramváltóval gyűjtik az adatokat és továbbítják Etherneten ke-

resztül a weboldalnak. A kezelőfelületen szemmel kísérhető a három fázis, fázisszöge, feszültsége, az áramok, az aktuális és átlagos megtermelt teljesítmény. A különböző statisztikákon nyomon követhetjük akár perces osztásban is az egyéb beavatkozásokat, eseményeket is. A hálózat napelemekre és inverterekre vonatkozó adatait az 1. táblázat tartalmazza, míg a mérési kapcsolásban felhasznált készülékek adatait a 2. táblázatban találhatók.

Az UPSOLAR M180M modul mérése.

Napelem típusa: UPSOLAR M180M:

W_p : 180 W, U_{max} : 38,5 V, I_{max} : 5,03 mA, R : 570 Ω /1 A

Inverter nyugalmi árama: $R = 75 \Omega$, $U = 12$ V, $I = 50$ mA.

Ebben az esetben túl nagy feszültség folyik az ellenálláson.

$R = 60 \Omega$ esetén: $U = 80$ V, $I = 500$ mA, $U = 30$ V

Ekkora feszültséggel töltjük a hálózatot. $\frac{80}{\sqrt{2}} = 28,28$ V,

hálózat +/- tűrése: 190V–230V (+15% – -10%).

A mérések eredményeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

A feszültség-áram jelleggörbe a 23. ábrán látható.

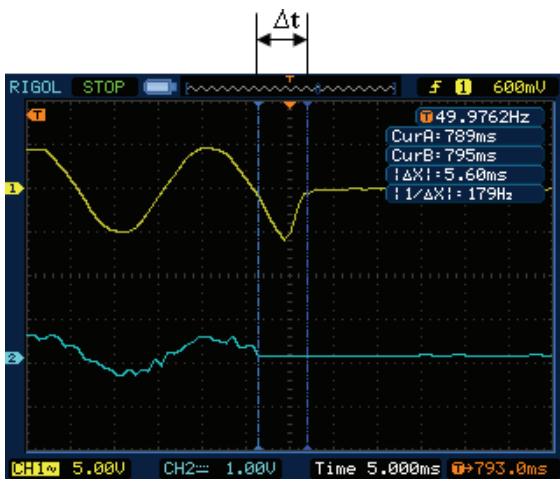
Oscilloszkóppal mért jelalakok a terhelés függvényében.

A különböző terhelések melletti állapotokat kívánjuk szemléltetni. A méréselrendezéseket a 24. és 25. ábrán adtuk meg. A terhelt állapotok előidézése a labor Ganz típusú változtatható ellenállása került felhasználásra. A 26., 27. és 28. ábrán megjelenített feszültség értékek az oszcilloszkóp mérő adapterének 1/10-es osztójának be-

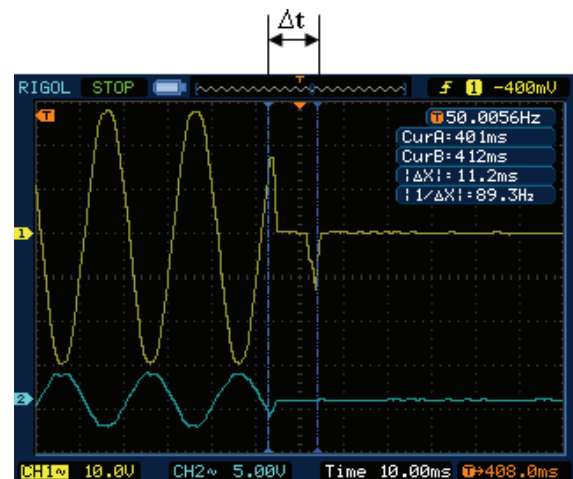
iktatásával készültek. Az ellenállás csökkentésével az inverter kimenetén jelentkező szinusz jel erősen torzult képet adott, ebből adódik, hogy az átalakítás alacsonyabb terhelési szint mellett kisebb hatásfok mellett lehetséges. Egy adott szint alatt pedig az inverter lekapcsolt, mivel a kimenetén nem érzékelt számottevő terhelést. Az ellenállás növelésével ez természetesen megváltozott.

Kikapcsolási tranziensek. A mérés második részében a hangsúlyt a különböző terhelésekkel történő kikapcsolási folyamatok jelentik. A megvalósítás során az UpSolar rendszer került kiválasztásra. A következő szint esetén három invertert kell megvizsgálni azonos fázisnál eltérő terhelésekkel. A mérések egy Rigol gyártmányú digitális oszcilloszkóppal kerülnek kiértékelésre. A műszer betáplálása leválasztó transzformátoron keresztül történik a földfüggetlenség elérése céljából. Mivel az inverterek csak egy adott terhelés esetén kapcsolnak (ez az előző fejezetben feltárással került), ebben az esetben a napelemek teljes termelését felhasználó mérési elrendezés szükséges. Tehát olyan szabályozható huzal ellenállásokat kell sorba kötni, amik erre képesek. A két árammérő műszer is ezt a célt hivatott szolgálni. Maga a mérés időpontját tekintve 2013.10.30-án 08:00–16:00 között valósult meg tehát a Nap ereje már jócskán alulmaradt a nyári termelési görbétől.

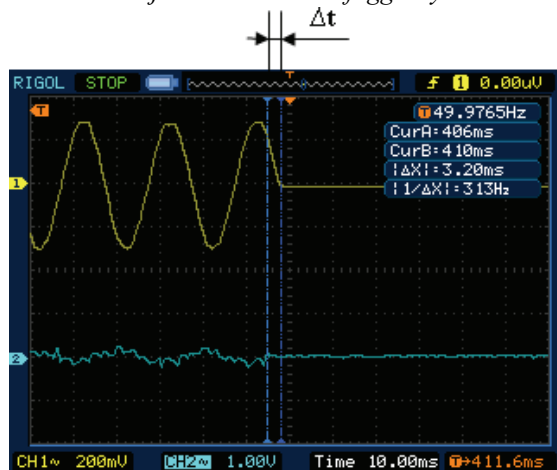
Ohmos terhelés egy inverter esetén. A 24. ábrán bemutatott elrendezés az aktuálisan termelt energia megállapítására



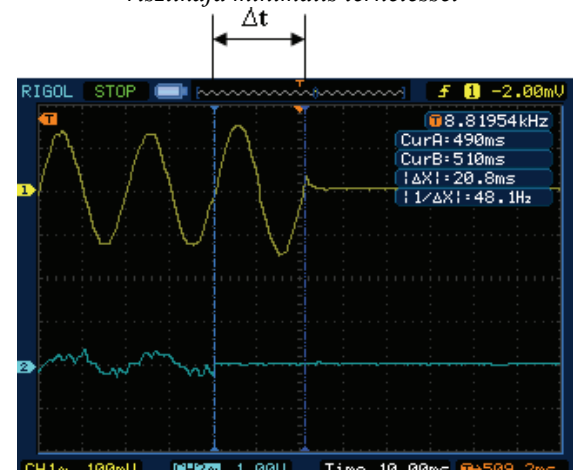
29. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája ohmos terhelés függvényében



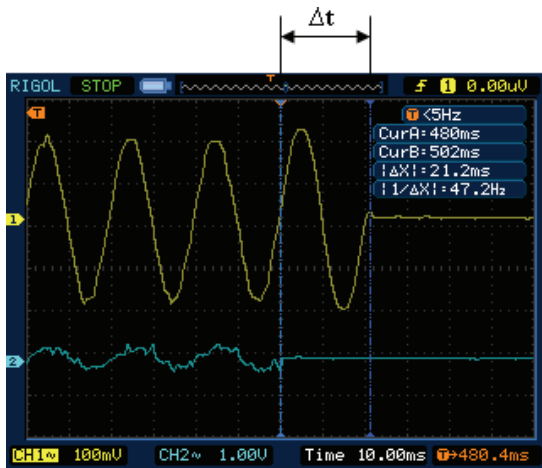
30. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája minimális terheléssel



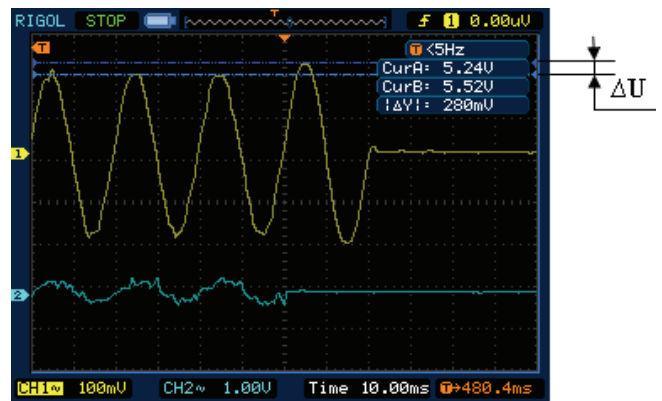
31. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája teljes terheléssel



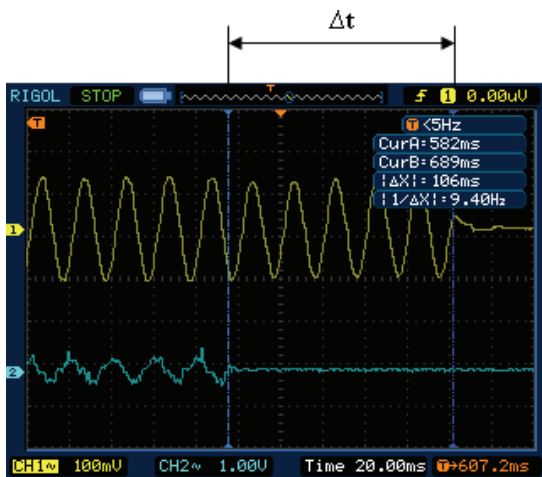
32. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája 9,4 nF kapacitív terheléssel



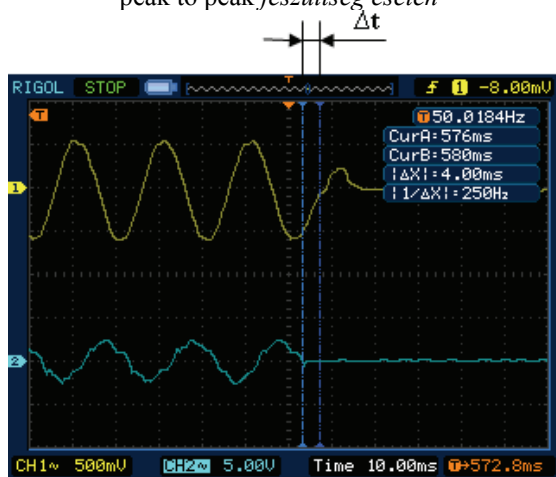
33. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája 18,8 nF kapacitív terheléssel



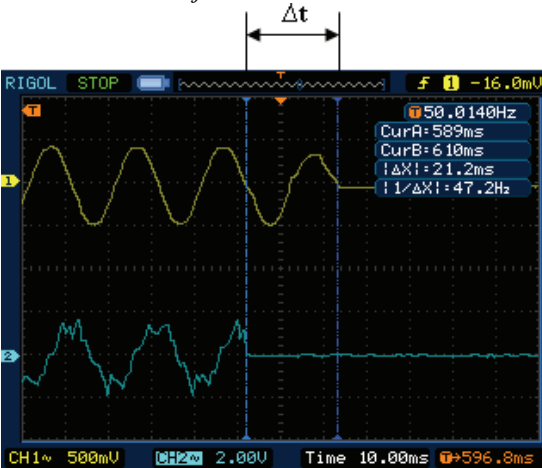
34. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája 18,8 nF kapacitív terheléssel peak to peak feszültség esetén



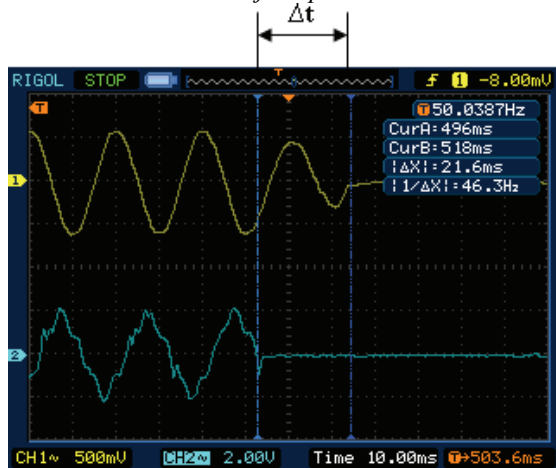
35. ábra: Az inverter feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája induktív terheléssel



36. ábra: Az inverterek feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája kapacitív terheléssel



37. ábra: Az inverterek feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája induktív terheléssel



38. ábra: Az inverterek feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája RLC terheléssel

és a szükséges terhelés hozzávetőleges meghatározására irányul. Mivel a felhőzet nagyban befolyásolja a termelést, ezért a terhelő ellenállások után állítása szükséges. Tehát akkor a termelés a reggeli órákban:

$$U = 231,25 \text{ V}, I = 320 \text{ mA}, P = 74 \text{ W}$$

A jelen termelés lefedéséhez szükséges terhelés:

$$R = 722,6 \Omega$$

Ennek megfelelően a mérések során a következő ellenállások kerültek felhasználásra:

$$R1 = R2 = 570 \Omega, R3 = R4 = 27 \Omega$$

A két kisebb fix értékű ellenállás a feszültség és áramértékek megállapításához nyújt segítséget. Méretük ezen okból kifolyólag minimális a terheléshez képest (29. ábra). Terhelés nélküli görbe alakulását a 30. ábra szemlélteti. Rendkívül jól kivehető az alacsonyabb terhelésből adódó hosszabb kikapcsolási folyamat. Első esetben terheléssel 5,6 ms volt, 50 Ω terheléssel ugyanez 11,2 ms. Valamint az inverter az utolsó periódusban is próbálja életben tartani a szinusz jelet. Ahhoz, hogy az összes lehetőséget megvizsgáljuk, az inverterre a teljes 1140 Ω

terhelés beiktatásra került, ami a 31. ábra szerint alakult. A kikapcsolási görbe által meghatározható időbeni eltolódás $\Delta t = 3,2$ ms-ra csökkent.

Kapacitív terhelés egy inverter esetén. Tisztán kapacitív terhelés megvalósítás az inverter szempontjából veszélyes illetve nem lehetséges a már említett minimálisan 50Ω terhelés és a magasabb feszültség miatt. Tehát a mérés és a berendezések megóvása érdekében csak igen kis kapacitás vizsgálata a megengedett. Ezért csak a nF-os és pF-os sorból célszerű válogatni. Azonban ilyen kis méretben a megengedhető feszültség a probléma. Ilyen kis kapacitás esetén AC 300–400 V-os alkatrészeken beszerzése okoz bonyodalmat. Első körben két 4700 pF-os kondenzátor került be azonban a várt hatás elmaradt illetve a kimenetele nem volt számottevő. A 32. ábráról leolvasva a $\Delta t = 20,8$ ms. A megoldáshoz négy 4700 pF-os alkatrész került beépítés-

lehetőség (illetve van, de ekkora hasznos teljesítményt már nem lehet labor körülmények között elhasználni). A mérések során kapacitív, induktív valamint egy vegyes RLC és legvégül egy hétköznapi felhasználás is szimulálásra került, amit egy kézi fűrógép testesít meg.

Kapacitív terhelés három inverter esetén. A jelalak a 36. ábra szerint igen torzult képet mutat, de a lekapcsolási időeltolódás remekül kivethető a $\Delta t = 4$ ms-os értéknél.

Induktív terhelés három inverter esetén. A további méréselrendezéseket a 37. ábrán mutatjuk be. A már lement induktív terhelés mértéke három inverter esetén a 38. ábrán közölt karakterisztikát mutatja. Az elrendezés hozza a már megismert eltérést, a párhuzamosan kapcsolt inverterek miatt azonban magasabb áramerősséget szolgáltatnak. A kikapcsolási folyamat viszont a már korábban megismert egy inverter esetében 106 ms helyett

1. táblázat: A napelemek és inverterek adatai

Napelem tábla	pSolar M180M	Korax KS-240
Inverter	MAC250A - Europe	SMI-S240W-60-DE
Gyártó	Involar	Enecsys
Max. DC teljesítmény	250 W	240 W
Max. DC feszültség	50 V	44 V
in. DC feszültség	20 V	22 V
MPPT fesz. Tartomány	24 - 40 V	21 - 35 V
Max. bemeneti áram	10,4 A	12 A
Napelem tábla	Sanyo HIP NKHE5	14 db Korax KS-240
Inverter	Aurora Micro 0,25 -I	Sinvert PVM10
Gyártó	Power - One	Siemens
Max. DC teljesítmény	265 W	10 kW
Max. DC feszültség	58 V	350 V
Min. DC feszültség	16 V	1000 V
MPPT fesz. Tartomány	20 - 50 V	380 - 850 V
Max. bemeneti áram	10 A	29 A
Napelem tábla	Renesola JC230S	2db Flexcell 80W
Inverter	M215-60-230 S22-EU	StecaGrid 300-M
Gyártó	Enphase	Steca
Max. DC teljesítmény	215 W	320 W
Max. DC feszültség	45 V	135 V
Min. DC feszültség	22 V	64 V
MPPT fesz. Tartomány	22- 36 V	45 - 100 V
Max. bemeneti áram	10,5 A	5 A

re így az eredő 18,8 nF-ra módosult.

A mérési elrendezésben ez csak az eredő kapacitással került feltüntetésre. A 33. ábrán bemutatott jelleggörbe született. Az eredmény, hogy egyrészt növekedett a kikapcsolási idő, tehát a $\Delta t = 21,2$ ms-ra változott (34. ábra) a nagyobb kapacitás miatt, s az utolsó periódusban szereplő *peak to peak* feszültség is magasabb.

Induktív terhelés egy inverter esetén. Az induktív terhelés hasonlóan rossz hatással van az inverterek „egészségi állapotára” illetve kimenetére. Az ebben az esetben kialakult $\Delta t = 106$ ms-ra növekedett (35. ábra).

Inverterek egymásra hatása. A következőkben egy mestersegesen kialakított hálózat kerül kialakításra, ugyanis a laboratóriumban az alábbi három inverter nem egyetlen fázisra termel. E mérés során a terhelések megállapítására nincs

2. táblázat: A mérőeszközök adatai

Megnevezés	Gyártó	Gyártási szám	Típus	Pontossági osztály	Mérési határ
Digitális oszcilloszkóp	Rigol	122503673	DS1102E	-	1/10 osztóval
Voltmérő	Ganz	45700	DeprezGanzUniv 3	1,5	300 V
Ampermérő	Ganz	038190	Lágyvasas HLA-2	0,5	6 A
Megnevezés	Gyártó	Gyártási szám	Típus	Villamos adatok	
Ellenállás	Ganz	2304	TE 04	U_n : 230 V; I_n : 12 A; P_n : 190 W	

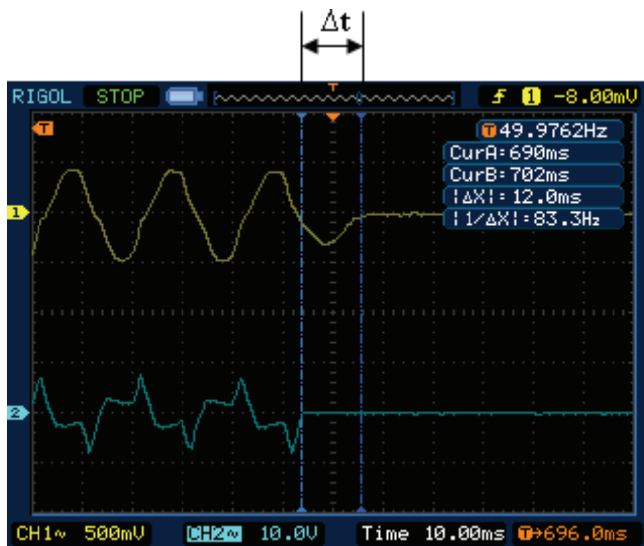
3. táblázat: A mért adatok

U (V)	38	38,5	38,2	38	37,5
I (mA)	0	100	150	200	250
U (V)	34	20,5	10	1	0
I (mA)	300	350	400	450	470

csaknem az ötödére, $\Delta t = 21,2$ ms-ra esett vissza.

RLC terhelés három inverter esetén. A kapcsolás terhelését három eltérő párhuzamos kapcsolású terhelés alkotja. Az eredményt a 38. ábra illusztrálja. Jellemzői nagyban hasonlítanak a tisztán induktív terhelésre, a $\Delta t = 21,6$ ms is hasonló értéket mutat.

Villamos gép terhelése három inverter esetén. A legutolsó mérés egy hétköznapi példát mutat be. A fűrógép csak nagyon alacsony fordulatszám mellett volt hajlandó működni, mivel akkor az inverterek már igen kevés teljesítményt szolgáltatottak. A szénkefés motor jellegéből adódóan más áramfelvétel karakterisztikát mutat (39. ábra), mint a korábbi terhelések. Ez visszavezethető a változó mágneses térre, a forgó mozgásra. A kikapcsolási tranziens is a $\Delta t = 12$ ms-ra csökkent.



39. ábra: Az inverterek feszültség-áram kikapcsolási karakterisztikája motorterheléssel

Összegzés. Bár a hazai napelemes alkalmazások száma nemzetközi összehasonlításban megdöbbentően alacsony, az Óbudai Egyetemen folyik a napelemes rendszereket tervező, gyártó és telepítő szakemberek képzése. A technológiát nemcsak az alapképzésben résztvevő hallgatók számára mutatjuk be, hanem a TDK-k (Tudo-

mányos Diákköri Konferenciák) és a doktori iskolák keretén belül is számos kutatás folyik. A közeljövőben a folyamatosan üzemelő rendszereink termelési adatait vetjük össze távolabbi berendezések üzemével, illetve a meteorológiai paraméterekkel. Reméljük, hogy az ilyen irányú K+F (Kutatás és Fejlesztés) tevékenységünk előbb-utóbb a mindennapos országos gyakorlatban is teret kap, a napelemes rendszerek európai méretű terjedésével.

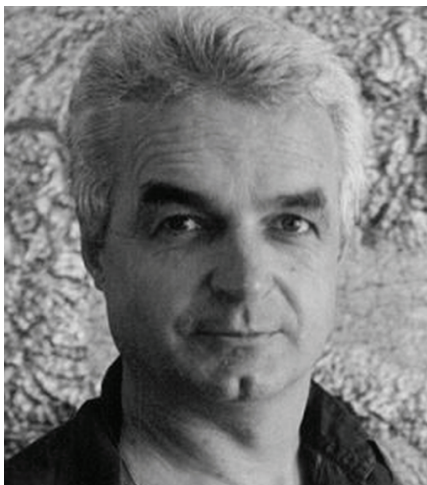
Irodalom

- Kádár, P. and Kliment jr., T., 2011: Autoregression test of Solar Photovoltaic energy generation. *3rd IEEE International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources*. Subotica, Serbia
- Varga, A. and Kádár, P., 2012: Measurement of spectral sensitivity of PV cells; *IEEE 10th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. Subotica, Serbia
- Varga, A. and Kádár, P., 2013: Photo Voltaic EV Charge Station. *12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2013)*. Herlany, Slovakia Jan. 31–Feb. 2. Submission 54
- Varga, A., Kádár, P. és Rácz, E., 2013: Napelemes rendszer teljesítményének értékelése. *29th Kandó Conference*. November 21. Budapest, Hungary
- Kádár, P., 2014: A háztartási kiserőművek hatása az országos teljesítménymérlegre–Napelemek alkalmazása. *ÓE KVK*.

AIGNER SZILÁRD

1946. június 5. – 2016. június 4.

A Magyar Meteorológiai Társaság megrendülten tudatja, hogy Aigner Szilárd a magyar meteorológus társadalom



közismert, kiemelkedő képviselője, a Társaság tagja elhunyt. 1973-ban az Eötvös Loránd Tudományegyetem szerzett fizika tanári és meteorológus diplomát. 1973-tól 1989-ig az Országos Meteorológiai Szolgálat Központi Előrejelző Intézetében dolgozott tudományos segédmunkatársként, munkatársként, főmunkatársként, 1985. január 1. és 1987. december 31. között az Előrejelzési Főosztály vezetőjeként. A személyi számítógépek alkalmazásának bevezetésében úttörő munkát végzett. 1989-ben megvált a Szolgálattól, s a magánszférában kereste boldogulását. 1989 és 1992 között a Texo-Graphicomp Kft. rész tulajdonosa. Szakmai irányítója volt a Texo-Magánmeteorológiának. 1992-től az Aigner és Pártai Bt. tulajdonosa. Tevékenységét később az European Weather Service előrejelzési vezetőjeként folytatta. Az időjárás-előjelzések nagyközönségnek történő bemutatásában új hangot ütött meg, amivel nagymértékben hozzájárult a meteorológia iránti érdeklődés, a meteorológia szakma megbecsültségének növeléséhez. „Derús napot!” köszöntése szállóigévé vált. A meteorológiai mozgó műholdképek tv híradóban történő bemutatásának előkészítésében való aktív részvételéért 1984-ben OMSZ elnöki dicséretben részesült. 1984-ben Kiváló Dolgozó kitüntetést kapott. Munkásságáért a Magyar Televízió Nívódíja és az Aranyszarvas-Díj elismerésben részesült. Nyugodjék békében!

VÁROSI NAPENERGIA POTENCIÁL BECSLÉS SOLAR ENERGY POTENTIAL ON URBAN LEVEL

Kassai-Szoó Dominika

Szegedi Tudományegyetem Földtudományi Doktori Iskola, 6722 Szeged, Egyetem u. 2., szoo.dominika@yahoo.com

Összefoglalás. Az írás a tetők nappotenciáljának értékelésével foglalkozik városi környezetben. A vizsgált város Debrecen, Magyarország második legnagyobb városa, ahol egy tipikus épületszerkezet található. Az értékelés főbb elemei az épületekkel borított területek, a tetőtípológia és csökkentő tényezők, az árnyékolók és távolságok. Az esettanulmány eredménye meglepő, mert az épített területek csak 5 százaléka elegendő volna, még a téli időszakban is, amikor a nappálya a legalacsonyabb, hogy fedezze a háztartási melegvíz-igényt Debrecen egész lakosságának, napkollektorok segítségével.

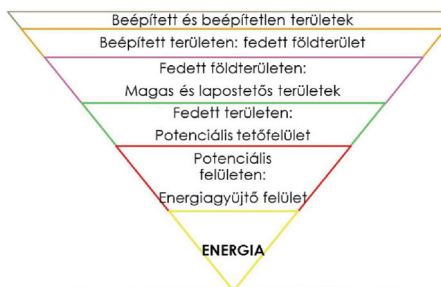
Abstract. Present paper aims at the assessment of solar potential of roofs in urban environment. The analyzed city is Debrecen because it is the second largest city in Hungary and has a typical building stock. The main pillars of the assessment are the covered areas by buildings, a roof typology and reducing factors like the shading elements and assembly distances. The result of the case study is surprising because only 5% of the built areas would be sufficient to cover the domestic hot water demand by solar collectors for the entire population of Debrecen even for the winter period when the solar radiation is the lowest.

Bevezető. EU-s háttér, közel nulla, helyben termelt megújulók. Az Épületek energiahatékonyságáról szóló uniós irányelv (EPBD Recast) 2019-től új építésű középületekre, 2021-től új építésű lakóépületekre közel nulla energiafel-

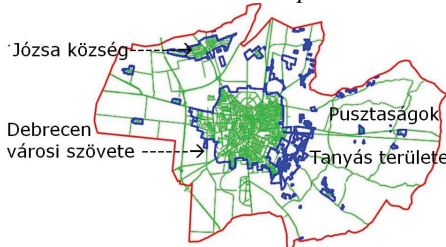
használást tesz kötelezővé. A Recast azt is előírja, hogy az energiaigényt nagyon jelentős mértékben megújuló energiaforrásokból kell fedezni, mégpedig helyben vagy közelben kinyert energiából. (Csoknyai et al. 2012.) A meglévő épületek számos kötöttséget jelentenek, nem lehet a különböző megújuló energiás rendszereket válogatás nélkül bármely épületben alkalmazni. A napenergia az épületállomány lényegesen nagyobb részében hasznosítható helyben vagy közelben, mint a többi megújuló energiaforrás és ez különösen igaz városi beépítés esetén. (Csoknyai, 2012.) Magyar városok tekintetében, a tetőfelületeken hasznosítható napenergia mennyiségére jól közelítő becslés ez idáig nem áll rendelkezésre. Jelen tanulmány célja nagyságrendileg rámutatni a napenergiában rejlő lehetőségekre városi beépítés esetén, és így számszerűen felhívni a figyelmet a szolár potenciál kihasználásában rejlő lehetőségekre az energiafogyasztás csökkentése érdekében, továbbá egy olyan módszertan megalkotása, mely más városok esetében is alkalmazható.

Módszertan. A tetőpotenciál becslésének módszertani lényege két alapvető gondolatmenetet követ. Tető-típológia alkalmazása és felületek meghatározása megfelelő sorrendben a benapozást befolyásoló tényezők figyelembevételével. (1. ábra) Elsőként a beépített és a beépítetlen területeket (szántó, mező) választottuk szét, majd számszerűsítettük. A következő lépésben a beépített területeken az épületek által fedett földterületek (A_{ft}) kerültek meghatározásra. A fedett földterületeken szétválasztottuk és megmértük a magas-tetős (A_{fmt}) és a lapostetős (A_{flt}) épületek által fedett területeket, százalékos arányban. Lapostetők esetében egy korábbi tanulmány (Csoknyai, 2012) tipológiája lett figyelembe véve, mely déli tájolású, 40° dőlésszögű napenergia-

gyűjtő felületekre koncentrálnak. Magastetők esetében a tetők számtalan formai variációja és tájolása miatt tetőtípológia, és szolár potenciál szorzó tényező (k_p) került kidolgozásra. A szolár potenciál tényező (k_p) két fontos hatás becslését tartalmazza. Az egyik a tetőfelületek tájolásból adódó, D-i és D-től 90° -ban K-i és Ny-i irányba tájolt napenergia-gyűjtésre alkalmas felületek százalékos mértéke, a másik a szomszédos épületek egymásra gyakorolt és egyéb a településre jellemző, például magas utcai fásorok árnyékoló hatásai. A fedett földterületeken meghatározásra került az a potenciális tetőfelület, amelyen elhelyezhetőek a szolár energiagyűjtő szerkezetek.



1. ábra: Módszertani piramis



2. ábra: Debrecen teljes közigazgatási területe és a vizsgált városi szövet

azonban még nagyobb, mint maga az energiagyűjtő felület (A_{emt}), hiszen ez az érték még tartalmazza a különböző tetőfelépítményeket, az energiagyűjtő keretét. Lapostetők esetében egy korábbi tanulmány (Csoknyai, 2012) számszerű adatainak arányai lettek figyelembe véve. Magastetők esetében pedig szintén egy csökkentő szorzó tényező, az ún. beépíthetőségi tényező (k_b) került meghatározásra Csoknyai (2012) korábbi vizsgálataira alapozva. Végül az energiagyűjtő felületek számszerű birtokában kiszámítható a rajta keresztül hasznosítható napenergia mennyisége akár nap-elemmel, akár napkollektorral. Lapostetők esetén csak D-i tájolású energiagyűjtők lettek figyelembe véve, hiszen a tájolás és a dőlés szabadon választható. Magastetők esetében a pontosabb becslés érdekében külön meghatározhatóak a K-i és Ny-i, a D-i valamint a Dk-i és Dny-i tájolású abszorberfelületek a tájolást kifejező tényezők ($k_{K,Ny}$, k_D , $k_{Dny,Dk}$) segítségével, melyek a településen előforduló K-i és Ny-i, a D-i valamint a Dk-i és Dny-i tájolású tetőfelületek százalékos előfordulását tartalmazza.

Esettanulmány Debrecenre. Debrecen Magyarország ÉK-i részén helyezkedik el és Magyarország második legnagyobb városa. Az esettanulmány kizárólag Debrecen városi szövetével foglalkozik, és a szoláris tetőpotenciálra vonatkozó becslést is erre adja (2. ábra). Debrecen városi szövete magyarországi viszonylatban mindenképpen tipikusnak mondható, jellemző rá, hogy a belső városmagot, méretéhez képest nagy kiterjedésű kertvárosias-falusias beépítés veszi körül, több emeletes lakótelepek, nagy intézményi- és ipari területek beékelődésével. Az esettanulmányban Debrecen városi szövetén belül, 31 mintavételezési helyen összesen mintegy 630 épület lett megvizsgálva, mely helyeken rögzítésre kerültek a tetőtípusok, az épületek által fedett összterület, mintavételezési hely területe, a mintavételezési szigeten jellemző utcátájolások, benapozást gátló tényezők. Magastetők esetében a becslés alapját tetőtípológia szolgálja. A vizsgálatok alapján, egyértelműen az alábbi magastető típusok vannak jelen Debrecen városi szövetében, melyek a becslés alapját szolgálják tetőtípológiaként (3. ábra). Lapostetők esetén a becslés alapjául egy korábbi tanulmányban szereplő értékek lettek figyelembe véve. (Csoknyai, 2012) A becsléshez szükség volt Debrecen digitális alaptérképére,

statistikai adatokra a város területéről, közigazgatási határáról. A vizsgálatokhoz az informatikai háttérrel az ArchiCad és az Excel program, a GoogleEarth és a norc.hu biztosították. A módszertanban leírt metódika alapján, Debrecen tetőfelületein elhelyezhető abszorber. Mivel az esettanulmányban a kollektorok által hasznosítható hő került kiszámításra, melynek alapja a tájolásokra bontott energiagyűjtő felületek mértéke. A számítások a kereskedelmi forgalomban kapható, jó minőségű szelektív síkkollektorok és vákuumcsöves kollektorok feltételezésével készültek el. Meghatároztuk továbbá a rendszerhatásfokokat, a kollektorok dőlésszögét, a városra érkező évi sugárzás, teljesítmény csökkentő tényezőket.

Kollektorok által hasznosítható hő: $Q_A = A_e \cdot G_o \cdot k \cdot SE$, ahol: Q_A : tetőfelületen hasznosítható hő, tájolás szerint (kWh/év), A_e : energiagyűjtő felület, tájolás és kollektor típus szerint (m²), G_o : érkező évi sugárzás (kWh/m²év), k : teljesítménycsökkentő kollektor dőlésszög és tájolás függvényében, SE : rendszer hatásfok.

Debrecen városára éves viszonylatban számítva: Síkkollektorral: $Q_A = 941.390.448$ kWh/év. Vákuum kollektorral: $Q_A = 1.316.727.148$ kWh/év

Kérdéses azonban, hogy téli időnyben is elegendő hő hasznosítható-e az egész város lakosságának. Rendelkezésre állnak Debrecen városára egy klímanorma időszakot felölelő

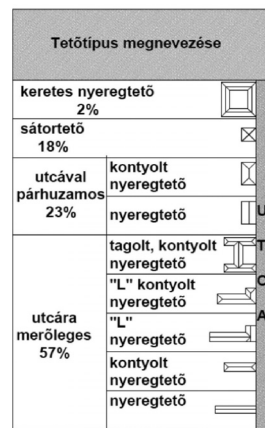
napi szinten jegyzett besugárzási adatok 1981-2010-ig (Zalai et al. 2013). A számítások szerint a 30 év alatt december hónapban a legalacsonyabb a sugárzás értéke, így ez a legkritikusabb hónap. December hónapban a besugárzás értéke, 30 évi átlagot tekintve: $G_{oD} = 27,864$ kWh/m² hónap. Ennek alapján decemberben síkkollektorral: $Q_A = 20.302.556,49$ kWh/hónap vákuum kollektorral: $Q_A = 28.397.279,61$ kWh/hónap hő hasznosítható Debrecen potenciális tetőfelületein. Debrecen lakossága 207 594 fő. Átlagos felhasználói melegvíz igényt alapul véve, az 1 főre jutó havi használati melegvíz előállításához szükséges hőigénnyel kalkulálva Debrecen városában, december hónapban: síkkollektorral 235 037 főnek, vákuumkollektorral 328 748 főnek biztosítható használati melegvíz.

Összegzés. A dolgozatban elkészített becslés rámutat a napenergiában rejlő potenciálra, hiszen nagyságrendileg Magyarország második legnagyobb városa csak a tetőfelületein keresztül évente ~1 TWh/év hőenergiát tud előállítani, amely tetőfelület a város beépített területének csupán 5%-a. (4. ábra). A becslés rámutat arra is, hogy a potenciális tetőfelületeken

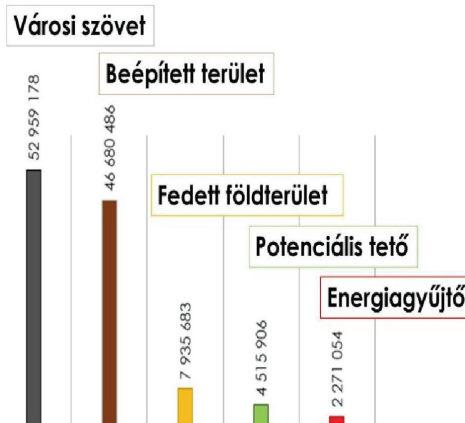
begyűjtött és kollektorokkal előállított hőenergia az év besugárzás szempontjából legkritikusabb hónapjában, decemberben is biztonsággal fedezni tudja Debrecen teljes lakosságának használati melegvíz előállítását.

Közönetnyilvánítás.

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.



3. ábra: Tetőtípológia és az egyes típusok előfordulása Debrecenben



4. ábra: Területek

Irodalom

Csoknyai, T., 2012: Napelemes rendszer alkalmazásának városenergetikai szintű vizsgálata. *Debreceni Egyetem Műszaki kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék*, pp. 3
 Csoknyai, T., Kalmár, F., Szalay, Zs., Talamon, A. és Zöld, A., 2013: A megújuló energiaforrásokat alkalmazó közel nulla energiafogyasztású épületek követelményrendszere Tanulmány a Belügyminisztérium részére. *Debreceni Egyetem Műszaki kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék*, pp. 80
 Zalai, S., Auer, I., Hiebl, J., Milkovich, J., Radim, T. Stepanek, P., Zahradnicek, P., Bihari, Z., Lakatos, M., Szentimrey, T., Limanowka, D., Kilar, P., Cheval, S., Deak, Gy., Mihic, D., Antolovic, I., Mihajlovic, V., Nejedlik, P., Stastny, P., Mikulova, K., Nabyvanets, I., Skyryk, O., Krakovskaya, S., Vogt, J., Antofie, T., Spinoni, J., 2013: Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical, www.carpatclim-eu.org.

A HÁZI SZÉLKEREKEK ÉS MINITURBINÁK ENERGIATERMELÉSE, VALAMINT HASZNOSÍTÁSUK A JÖVŐBEN ENERGY PRODUCTION AND UTILIZATION OF THE HOME WIND TURBINES AND MINI TURBINES

Hágen András

Magyarországi Németek Általános Művelődési Központja. 6500 Baja, Duna u. 33., hagen13@freemail.hu

Összefoglalás. Az utóbbi években egyre nagyobb szerepet játszanak a megújuló energiaforrások, a szél-, a vízi vagy a napenergia. A szélenergia befogása és hasznosítása a mindennapi életünkben mind elterjedtebb. Nemcsak az erre kialakított szélenergiatermelőkben lehetséges a szélenergia befogása, hanem kis házi szélkerekeken, vagy esetleg miniturbinákon. Hét házi szélkereket vizsgáltam meg, az ezekből kinyerhető elektromos energiát. A szélkerekek átmérője 1,2, 1,8, 2,2, 2,4, 3,0, 3,6, 4,0 m. Az ezekből nyerhető energia pedig: 6,24, 14,04, 20,95, 24,99, 39,04, 56,24, 69,45 W/h. Ezt kiszámolva egy napra, vagy évre, valamint megfigyeljük egy átlagos háztartás energiafogyasztását, láthatjuk, hogy nem elegendő, de ez egy lépés a környezettudatos háztartások kialakítására. A nagyobb szélenergiatermelők mellett olyan kisebb szélkerekek, törpe turbinák elterjedésével is számol a cselekvési terv, amelyek időszakosan termelnek hálózatra, és elsősorban a helyi autonóm energiaellátásban töltenek be fontos szerepet.

Abstract. Nowadays renewable energy sources, such as wind, water and sun play a more and more important role in our everyday life. Utilisation of wind energy is getting more and more widespread. It is possible to get wind energy not only by wind power stations designed and built specially for these purposes. One can make a good use of wind energy with smaller home-made windmills or mini turbines. I have examined seven single home-made windmills as well as the electricity we can gain from them. The diameters (d) of the mills were: 1.2; 1.8; 2.2; 2.4; 3.0; 3.6 and 4.0 m. The electricity that can be gained from them is: 6.24, 14.04, 20.95, 24.99, 39.04, 56.24 and 69.45 W per hour. If we count for a single day or even a year and we also examine the energy consumption of an average household, we can see that this isn't enough but it is definitely a step towards establishing environmentally friendly households. Apart from bigger windmill parks the action plan also relies on the spread of those smaller windmills and tiny turbines that provide energy for the energy network temporarily, and these also play an important role primarily in the local autonomous power supply.

Bevezetés. A mindennapi életünkben egyre nagyobb szerepet töltenek be a megújuló energiaforrások. Ilyen energiaforrások a napenergia, a vízi energia és a szélenergia. Jelen tanulmányban a szélenergiával foglalkozunk. A hasznosítása olyan helyeken lehetséges, ahol a szélesebesség eléri, sőt meg is haladja a $3\text{--}3,5\text{ ms}^{-1}$ -ot (1. ábra). Természetesen szélenergiatermelők nemcsak nagy méretekben terjedtek el, hanem a házak homlokzatára is terveztek turbinákat. Különböző méretben készültek szélkerekek. Vizsgáljuk meg, hogy a különböző méretű házi szélenergiatermelők mekkora energia leadására képesek. A szélkerekek átmérője (d) 1,2, 1,8, 2,2, 2,4, 3,0, 3,6, 4,0 m. A nagy szélenergiatermelők energia leadásához használt képlet,

$$P = \frac{1}{2} \rho A^3 v^3$$

segítségével kiszámoljuk a szél által leadott energiát. P a szélenergiatermelő leadott teljesítménye, $\rho = 1,29\text{ kgm}^{-3}$ az áramló levegő sűrűsége, ami hőmérsékletfüggő, ezért télen, amikor a levegő hidegebb, jobb hatásfokúak lehetnek a szél-

szél sebessége, amely mellett a teljesítményt meghatározzuk, η a szélenergiatermelő hatásfoka, amely nem lehet több 60%-nál, a gyakorlatban 10–30% közötti érték.

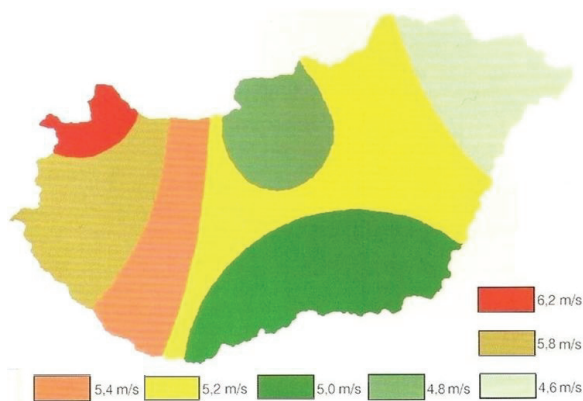
A mérések menete. Az első kerék átmérője 1,2 m lesz, ami 0,6 m hosszú sugárnak felel meg. A szél sebessége $3,5\text{ ms}^{-1}$, $A = r^2\pi = 1,21 * 3,14 = 1,13\text{ m}^2$, $\eta = 20\%$
 $P = 0,5 * 1,29 * 1,13 * 42,87 * 0,2 = 6,24\text{ W}$ (0,00624 kWh).

Ez a házi szélenergiatermelő 1 óra (h) alatt 0,00624 kWh energiát termel, azonos szélesebesség esetén.

A második 1,8 m átmérőjű (d) turbinára, ahol a szél sebessége $3,5\text{ ms}^{-1}$. Az átmérő sugárértéke 0,9 m. Ebben az esetben az áramtermelés értéke 14,04 W (0,01404 kWh) lesz. Ez a házi szélenergiatermelő 1 óra (h) alatt 0,01404 kWh energiát termel, azonos szélesebesség esetén. A harmadik esetben egy 2,2 m átmérőjű turbinát vizsgálunk meg, $3,5\text{ ms}^{-1}$ szélesebességnél. 2,2 m-es átmérőjű szélenergiatermelő esetében az áramtermelés értéke 20,95 W (0,021 kWh) lesz. Ez a házi szélenergiatermelő 1 óra (h) alatt 0,021 kWh energiát termel, azonos szélesebesség esetén. A negyedik 2,4

1. táblázat: Egy átlagos háztartásban fellelhető fogyasztók (<http://kp.hu/mennyi-egy-csaladihaz-energiafogyasztasa/>)

Fontosabb háztartási készülékek napi áramfogyasztása	
Megnevezés	Fogyasztás (kWh/nap)
Klíma (szobai mobil); lakás (kül-, és beltéri egység)	1-10 kWh/nap
Számítógép	0,05-4 kWh/nap
Kenyérsütő	0,6-1,5 kWh/nap
Mosogatógép	0,6-1,5 kWh/nap
Mikrohullámú sütő	0,6-2,5 kWh/nap
Hűtőláda (350 l)	1-1,5 kWh/nap
Hűtőszekrény (160 l)	0,5-0,8 kWh/nap
Porszívó	0,4 kWh/nap
Automata mosógép	0,6-1,8 kWh/nap



1. ábra. A szélterkép az évi sebességátlagokat mutatja (Hallenga, 2009)

turbinák, $A = r^2\pi = d^2/4\pi$ a lapátok által súrolt terület mérete, r a lapátok hossza; $d = 2r$ a szélkerék átmérője), v a

m átmérőjű (d), amely 1,2 m hosszú sugárnak felel meg. A szél sebessége itt is $3,5\text{ ms}^{-1}$. Ebben az esetben 24,99

W (0,02499 kW) lesz az áramtermelés. Ez a házi szél-erőmű 1 óra (h) alatt 0,02499 kWh energiát termel, azonos szélesség esetén. Az ötödiknél az átmérő hossza 3,0 m. A szélesség 3,5 ms⁻¹. A 3 méteres szélkerék esetében az áramtermelés értéke 39,04 W (0,03904 kW) lesz. Ez a házi szél-erőmű 1 óra (h) alatt 0,03904 kWh energiát termel, azonos szélesség esetén. A hatodiknál az átmérő hossza 3,6 m. A szélesség 3,5 ms⁻¹. A 3,6 m átmérőjű szélkerék esetében az áramtermelés értéke 56,24 W (0,05624 kW) lesz. Ez a házi szél-erőmű 1 óra (h) alatt 0,05624 kWh energiát termel, azonos szélesség esetén. A hetediknél pedig 4 m hosszú az átmérő. A szél sebessége pedig 3,5 ms⁻¹. A 4 méteres szélkerék turbinája esetében az áramtermelés 69,45 W (0,06945 kW). Ez a házi szél-erőmű 1 óra (h) alatt 0,06945 kWh energiát termel, azonos szélesség esetén. Ez a berendezés ezzel a szélkerékkel és 3,5 ms⁻¹-os szélességgel 1 nap alatt (24 h) 1,66 kWh energiát termel. Az évi energianyereség 605,9 kW lesz. A mérési eredményeket táblázatban összefoglalva a 1. táblázat tartalmazza.

Egy ház energiafogyasztása. Egy ház energiahiánya

2. táblázat A fontosabb háztartási gépek évi áramfogyasztása (<http://kp.hu/mennyi-egy-csaladiahaz-energiafogyasztasa/>)

Háztartási gépek éves áramfogyasztása, kWh				
Készülék/ alkalmazás	A háztartás létszáma			
	1	2	3	4
Villanytűzhely	195	390	445	575
Hűtőszekrény	292	323	344	370
Mosógép	70	125	200	265
Fürdőszoba	470	780	1080	1390
Televízió	120	150	190	205
Világítás	195	285	330	435

melynek a villamos energia rendszer szabályozhatósága, befogadó-képessége szab határt. Nézzünk egy kis statisztikát. Tudjuk, hogy a szél energiája arányos a sebességének a köbével, v³-nal. Hagyjuk ki a képletből az állandó mennyiségeket, amilyen például a levegő sűrűsége (ρ), és mondjuk egy egységnyi idő alatt éppen annyi energiát nyerünk, azaz P = v³. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a szél egy éven át megfigyelt átlagsebessége 4 ms⁻¹, így az évi energiamennyiség 4³ + 1 év = 64 egység. A gyakorlatban a szél átlagsebessége nem az, ami mindig a szél sebessége. Tegyük fel, hogy csak nagyon egyszerűen változik: az év napjainak felén 0, a többi napon 8 ms⁻¹, így az átlagsebessége 4 ms⁻¹. Az energiatermelés pedig úgy alakul, hogy az év egyik felén nem termel energiát a szél, mert nem fúj, még a fennmaradó év felében, pedig ½ * 8³ = 256 egység. Ez az eredmény jóval több, mint az átlagszéllel (4 ms⁻¹) számolt eredmény (64 egység). A szeles napokon termelt energia tehát kárpótol bennünket a szélcsendes napokon bekövetkezett kiesésért. Ez persze egy nagyon leegyszerűsített modell, hiszen a valóságban sokkal bonyolultabban alakul

3. táblázat Egy háztartás évi fogyasztása (<http://kp.hu/mennyi-egy-csaladiahaz-energiafogyasztasa/>)

Egy háztartás átlagos áramfogyasztása	
Háztartások létszáma	Évi fogyasztás (kWh)
1	1790
2	3030
3	3800
4	4430

4. táblázat A házi szélturbinák energianyeresége

Átmérő (d)	1,2 m	1,8 m	2,2 m	2,4 m	3,0 m	3,6 m	4,0 m
Energia (W)	6,24 W (0,00624 kW)	14,04 W (0,01404 kW)	20,95 W (0,021 kW)	24,99 W (0,02499 kW)	39,04 W (0,03904 kW)	56,24 W (0,05624 kW)	69,45 W (0,06945 kW)

nagymértékben (1. táblázat) függ a fogyasztók számától (2. táblázat), vagyis minél több a fogyasztó, annál több energiát (3. táblázat) használunk fel. A két táblázatból látszik, hogy egy lakóház nagyon sok energiát fogyaszt, amelyet nem lehet teljes mértékben fedezni szélergiából, azonban a környezetbarát-, és megújuló szélergiából egy részét fedezni lehet, ezért elengedhetetlenek a kisebb lakóépületekhez felszerelt szélturbinák.

Cselekvési terv és a szélergia. A hét felsorolt házi szélturbina energianyeresége, 3,5 ms⁻¹ erősségű szél esetében a 4. táblázatban látható. A szélergia egy rendkívül környezetbarát, korszerű energiaforrás, ezért a jövő energiaellátásának az egyik kulcseleme lehet. Ugyanakkor egy nem szabályozható, időjárásfüggő technológia. Így a szélergia széleskörű elterjedésének eléréséhez az energiatermelés gazdaságos biztosítását kell megoldani,

a szél sebessége az év napjai során. Szemléltetésnek viszont nagyon jó, annak érdekében, hogy a szélergiát kihasználjuk. A nagyobb szél-erőmű parkok mellett olyan kisebb szélkerekek, törpe turbinák elterjedésével is számol a cselekvési terv, amelyek időszakosan termelnek hálózatra, és elsősorban a helyi autonóm energiaellátásában töltenek be fontos szerepet. A szakértői becslések szerint 2020-ig ezek megjelenése kb. 10 MWe villamos energia összteljesítménnyel várható (NCsT, 2010).

Irodalom

Hallenga, U., 2009: A szélergia hasznosítása. Cser kiadó, Budapest, 8–24.
<http://kp.hu/mennyi-egy-csaladiahaz-energiafogyasztasa/>
 NCsT, 2011: Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve, 2010-2020. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest, pp. 220

A MARCZELL GYÖRGY FŐOBSZERVATÓRIUM FELÚJÍTOTT MŰSZERKERTJE ÉS AZ AMBRÓZY PÁL METEOROLÓGIAI TANÖSVÉNY FELAVATÁSA

THE OPENING OF 'MARCZELL GYÖRGY' MAIN OBSERVATORY'S RENEWED OBSERVATION SITE AND 'AMBRÓZY PÁL' METEOROLOGICAL STUDY PATH

Horváth Gyula

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marczell György Főobszervatórium, 1189 Budapest Gilice tér 39. horvath.gy@met.hu

Minden meteorológiai tevékenység alapja a megfigyelés. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál is hosszú ideje végeznek, a rendelkezésre álló információk szerint, legalább 1870 óta méréseket, de a budai, budapesti mérések régebbre, 1781-re tekintenek vissza. A „budapesti állomás” több helyszín után került jelenlegi helyére. A magyarországi polgári és katonai repülőgépes közlekedés fejlődése igényelte a légkör magasabb rétegeinek pontosabb ismeretét. Ez vezetett el oda, hogy a rendszeres rádiószondázáshoz megfelelő, állandó állomást létesítsenek. Az obszervatórium helyének kiválasztásában a reptérhez való viszonylagos közelség is szerepet játszott, így a Marczell György Főobszervatórium Budapesten, a 18. kerületben kapott helyet. Az építkezés 1951-ben indult. Az aerológiai pavilon és a központi épület készült el először és 1952. május 1-jén, hajnali 4 órakor már ebből az obszervatóriumból bocsátották fel a rádiószondát. Az Aerológiai Obszervatórium 1956. május 24-én vette fel Marczell György nevét. A névadó mellszobrát 1957. október 4-én avatták fel az intézmény parkjában, ahol a mai napig is áll. A 70-es évektől kezdődően az Obszervatórium a meteorológiai mérés technika centruma lett. A légkörfizikai, aerológiai és levegőkémiai mérések mellett a hazai radarmeteorológia központjává vált. 1996 óta az országos hálózatot alkotó földfelszíni mérések szakmai felügyeletét is az Obszervatóriumból látják el. 2013-ban a Levegőtisztaságvédelmi Referencia Központ Obszervatóriumba helyezésével tovább bővült a tevékenységi kör. A Marczell György Főobszervatórium méltó módon régi nagy híréhez jelenleg is a meteorológiai és levegőkörnyezeti mérés technika magyarországi fellelőjére. A közelmúltban elengedhetlenné vált az Obszervatóriumban működő földfelszíni automata állomás felújítása. A terület vizsgálatok kiderült, hogy a teljes mérőkert renoválására van szükség. A munkálatok megkezdésekor merült fel az ötlet, hogy a mérőkert felújítás keretében kerüljön kialakításra egy, a meteorológiai mérés technika múltját, jelenét és jövőjét bemutató tanösvény is, hiszen általános iskolák, gimnáziumok, egyetemi hallgatók, civil és egyéb szervezetek gyakori látogatói az intézménynek. Mostantól a mérőeszközök, a mérés technika bemutatása tovább színesíti a már meglévő palettát. Rengeteg tervezéssel, előkészítő munkával, műszerek beszerzésével indult a tanösvény megvalósítása, amely végül elérte végső formáját. A kertben tett pár száz méteres séta, a meteorológiai műszerek világába kalauzol a kezdetektől a ma használatos legmodernebb meteorológiai műszerekig. A felújított műszerkertben az operatív mérések mellett egy *mérőkert-múzeum* üzemel, ahol a korábbi időkben használt eszközök tekinthetők meg. Az itt látható mérőműszerek mindegyike működőképes. A hőmérséklet-légnedvesség író, hagyományos napfénytartam mérő, csapadékmérő, száraz-nedves hőmérőpár és a talajhőmérséklet mérők mellett megtalálható egy, a manapság már ritkaság számba menő, Fuess-féle univerzális szélíró is. Elsődleges cél volt, hogy a Főobszervatóriumban a mai kornak megfelelő automata állomás kerüljön kialakításra. Ennek megfelelően a főbb meteorológiai paraméterek – léghőmérséklet, légnedvesség, légnyomás, szélirány, szélsébség és

csapadék – mérésére alkalmas érzékelők mellett telepítésre kerültek a vizuális megfigyelést segítő modern eszközök is, mint felhőalap és látástávolság mérő, valamint a lehulló csapadékot alkotó cseppek méreteloszlásának meghatározására használt úgynevezett cseppspektrum-mérő is. Kialakításra került a teljes sugárzási egyenleg komponenseinek mérésére alkalmas *mérő-állvány*, valamint három szinten a talaj hőmérsékletének és nedvesség tartalmának mérése történik. Az állomáson üzemelő érzékelők adatait az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársai által fejlesztett adatgyűjtő rendszerei és továbbítja a Nemzeti Meteorológiai Adatbázisba. Az Obszervatóriumban a felújítást követően tovább zajlanak az évtizedes hagyománnyal folytatott mérések is. Érdekes pontja a tanösvénynek a rádiószondázó állomás, ahol naponta két alkalommal végeznek magaslégköri méréseket. Kiemelkedő jelentőségű a *légkörfizikai mérőtorony*, ahol magaslégköri ózommérések, és sugárzás-mérések folynak. Üzemel egy időjárás radar, emellett a látogatók megismerkedhetnek a távérzékelési mérések minden típusával is. Betekintést nyerhetnek a levegőkörnyezeti mérések és kalibráló laborok világába. A tanösvény dr. Ambrózy Pál meteorológus nevét viseli. Ambrózy Pál már gimnazista korában elkötelezte magát a meteorológia mellett. 1955-ben szerzett meteorológus diplomát, majd az év szeptemberétől 1990-ig, nyugdíjba vonulásáig az Országos Meteorológiai Szolgálat alkalmazottja volt. Kezdetben dinamikus meteorológiával foglalkozott, miközben részt vett a rádiószondázásban is. A LÉGKÖR szerkesztőbizottságának volt az elnöke 1980-tól 31 éven keresztül. 1990-ben a Magyar Meteorológiai Társaság elnökévé választották. Több mint fél évszázadot töltött a meteorológia szolgálatában. A Marczell György Főobszervatórium felújított földfelszíni automata mérőkertjének és az újonnan kialakított meteorológiai mérés technikai tanösvény átadására 2016. június 2-án került sor. A rendezvényen részt vett V. Németh Zsolt környezetügyért, agrárfejlesztésért és hungarikumokért felelős államtitkár és Radics Kornélia az Országos Meteorológiai Szolgálat elnöke is. V. Németh Zsolt államtitkár ünnepi beszédében kiemelte, hogy a tanösvény megnyitása több szempontból is fontos jelentőséggel bír. Pontos leírást ad az Országos Meteorológiai Szolgálat tevékenységéről, mert általa nem csupán egy tiszteletreméltó kollégának állítanak emléket, hanem egy mesterséget, szakmát emelnek hivatássá. Hozzátette, hogy az OMSZ munkatársai az elmúlt években amellett, hogy hatékonyan tudtak élni az európai uniós pályázatok adta lehetőséggel, kreatív és innovatív módon, saját szakmai tudásukat, tapasztalatukat és erejüket latba vetve hatalmas fejlesztéseket vittek véghez. A tanösvény a szervezet profizmusát is szimbolizálja, hisz Magyarországon az Országos Meteorológiai Szolgálat minden ágazat számára a leghitelesebb mérőhálózat. Az elkészült Obszervatórium kert méltó múltjához, és azon túl, hogy kiszolgálja a hazai meteorológiát méréseivel, a környezettudatos nevelés egyik központja lehet. Amellett, hogy megismerhetőek a meteorológiai mérések típusai, a környezet védelmének fontosságát is hangsúlyozni lehet és kell. A felújított észlelőkertet lapunk 46. oldalán található kép mutatja be.

ÉGHAJLATINGADOZÁS ÉS ÉGHAJLATVÁLTOZÁS: ADALÉKOK RÉTHLY ANTAL HAGYATÉKÁBÓL *CLIMATE FLUCTUATION AND CLIMATE CHANGE: DATA FROM ANTAL RÉTHLY'S INHERITANCE*

Jankó Ferenc

Nyugat-magyarországi Egyetem Közgazdaságtudományi Kar 9400 Sopron, Erzsébet u. 9. frk.geo@gmail.com

Összefoglalás. A tanulmány az éghajlatváltozás hazai tudománytörténetéhez kapcsolódóan Réthly Antal hagyatéki iratanyagára, illetve az Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet iratanyagára támaszkodva tár fel két mozzanatot. Ezek közül az egyik egy Réthlyt, mint az OMFI igazgatóját ért sajtótámadás, amely az Alföld fásítása, illetve vízrendezése, és ezek éghajlati hatása körüli vitákban játszott szerepet. Fontos körülmény és elemzési szempont a cikkben Réthly Antal tudományos álláspontja az éghajlat változásairól, ingadozásairól, illetve az antropogén éghajlatváltozás, globális felmelegedés elképzeléséhez fűződő viszonya jelent kérdést, ehhez kapcsolódik a másik tudománytörténeti epizód, amely egyúttal Guy S. Callendar hazai tudományos recepciójával is kapcsolatos. Mindezek mellett fontos körülményt jelentenek Réthly törekvései nyugdíjazása után az MTA tudományos doktora fokozat megszerzésére. A cikk megállapítja, hogy Réthly fontolóra vehette az éghajlatváltozás új magyarázatait, azonban erre nem reagált írásaiban, hazai befogadtságában viszont közvetlen kollégái is részt vettek már.

Abstract. The study explores some data related to Hungarian history of climate change science based on archival records of Antal Réthly's inheritance and National Meteorological and Geophysical Institute. Among them, the first deals with a journalist attack against Réthly, the director of NMGI that time, which played a role in the climatic controversy around the afforestation and water regulation of the Great Hungarian Plain. Réthly's scientific position on climatic changes and fluctuations is an important circumstance and matter of analysis in the paper; his relationship to the anthropogenic climate change, i.e. global warming forms a key question here, and the second small story is associated to this and to Guy S. Callendar's scientific reception in Hungary. Nevertheless, it is also important to consider Réthly's efforts to get the scientific degrees in the Hungarian Academy of Sciences after retiring, as a circumstance. The study concludes that Réthly may consider the new theory about climate change, but never made a reflection of it; in turn his close colleagues did play a role in the Hungarian reception.

Bevezetés. A meteorológia, az éghajlatkutatás, a geofizika vagy éppen a geográfia területén dolgozók számára jól ismert Réthly Antal személye, aki fontos pozíciókat betöltve, köztisztviselőként, nagy szerepet játszott e területek tudományos fejlődésében. Az éghajlatváltozás tudománytörténete szempontjából – amely tanulmányom szűkebb témáját jelenti – személye azért különösen érdekes, mert magas kort megérve a 20. század legelejének tudományos világában felnőve a két világháború között vált érett kutatóvá, majd 1948-ban nyugdíjba térve tanúja lehetett annak, ahogy az éghajlat kutatásában addig nem látott fejlődés ment végbe, és az ember okozta éghajlatváltozás gondolata egyre elfogadottabbá vált. Réthly a két világháború között egy nagyon érdekes, gyökereivel még a dualizmus idejére visszanyúló tudományos vitának volt az egyik főszereplője. Részben az első világháborút lezáró békekötést, illetve területvesztést követően 1923-ban elfogadott alföldfásítási törvény nyomán indult meg az a tudományos, majd közéleti vita, amely az erdők feltételezett csapadéknövelő hatása körül forgott. Később a vita – részben aszályos periódusok nyomán – kiegészült a vízrendezési munkálatok éghajlatrontó, aszályfokozó hatásának kérdésével. Réthly Antal kulcsszerepet játszott ezekben a vitákban, ahol a fellelhető mérési sorok elemzésével azt az álláspontot képviselte, hogy az erdők telepítésével csak mikroklimatikus hatásokat lehet kiváltani, illetve hasonlóan a folyószabályozásokkal, lecsapolásokkal csak a mikroklíma változott meg, a makroklíma nem. Utóbbi, az éghajlatot kortársai többségével együtt tehát emberi időléptékben – amely szubjektív megítélés alá kellett, hogy essen – állandónak tekintette, ahol nem lehet szó egyirányú változásról, csak ingadozásról (Jankó 2013, 2014). Feltehető tehát az az izgalmas kérdés, hogy vajon mi volt a véleménye Réthlynek a légköri szén-dioxid szint növekedése kapcsán kialakult elképzelésről, miszerint az emberi tevékenység mégiscsak az éghajlat egyirányú megváltozását

okoza. Tanulmányomban ennek a kérdésnek igyekszem utánajárni, bemutatva a korábbi viták egy eddig megbújó részletét is, mégpedig az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) irattárában, illetve a Magyar Mezőgazdasági Múzeum könyvtárában fellelhető hagyatéka, valamint az M. Kir. Országos Meteorológiai és Földmágnassági Intézet (OMFI) iratanyaga alapján. A nyilvánosan hozzáférhető Réthly-hagyatékat tekintve megjegyzendő, hogy az elsősorban a második világháború, illetve Réthly nyugdíjazása után keletkezett, és nagyobbik felét a Mezőgazdasági Múzeum, kisebbik felét az OMSZ őrzi. A személyes iratanyag korábbi keletkezésű, nagyobbik része a család birtokában van (Réthly, 2013). Az általam kutatott iratanyag mindegyike rendezetlen, feltáratlan, számos személyes tárgy, családi fotó is tarkítja, amely főképp általában időszakok, személyek szerint – vélhetően még Réthly által csoportosított levelezésből, kéziratokból, kutatási anyagokból áll (főképp az Időjárás események és elemi csapások Magyarországon sorozat cédulagyűjteményéből). Kérdéses, hogy Réthly hagyatéka miért a Mezőgazdasági Múzeumba került – erre pusztán technikai ok, vagy a szakmai kötődés is magyarázat lehet –, s onnan még 1976-ban egy kölcsönügylet nyomán került egy rész az OMSZ-ba, amelynek egy darabja valamilyen oknál fogva ott is maradt. Az anyaggyűjtést ezeken túl az OMFI iratanyagának kutatásával egészítettem ki, ahol további Réthlyvel kapcsolatos információkat lehetett találni.

Egy sajtótámadás története. A fiatal, tág látókörű Réthly 1900-ban lépett az OMFI kötelékébe, majd befejezve az egyetemet tudományos státuszba, s nemsokára az ógyallai obszervatóriumba került, ahonnan 1904-ben tért vissza Budapestre, mégpedig az éghajlatkutató osztályra. Innentől vált e terület fontossá kutatómunkájában. Oktatási megbízásokat is kapott, elsősorban az agrártudományi oktatás igényelte a meteorológia és az éghajlatoktatását, s 1923-ban a Közgazdaság-tudományi Egyetemen éghajlat-

tan tárgykörből a Teleki Pál vezette rehabilitációs eljárás után egyetemi magántanári címet szerzett. 1921-ben jelent meg az *Időjárás és éghajlat* c. munkája, 1925-ben a Magyar Meteorológiai Társaság (MMT) megalakításánál bábkodott, majd 1925 és 1927 között a török meteorológiai szolgálat megszervezésénél. Hazatérve többek között a nemzeti éghajlati atlaszon dolgozott, közben, 1933-ban az Intézet igazgatóhelyettese, majd 1934-től igazgatója lett (Zách, 1975; Fodor, 2006). Ezekben az években kapcsolódott bele abba a vitába, amely az alföldfásítási törvény megszületése nyomán indult meg még az I. világháború után. Réthly egyik első előadását a vitához kapcsolódóan 1932-ben tartotta a Magyar Mérnök és Építész Egylet felkérésére az *Alföld csapadék-viszonyai* címmel (Bacsó 1932), ahol azt igyekezett bizonyítani, hogy a csapadékban nincs egyirányú változás, tehát az ármentesítések nem okozták az Alföld éghajlatromlását. Az előadás szövege meg is jelent később a Földművelésügyi Minisztérium által kiadott tanulmánykötetben (Réthly 1933). Ez váltotta ki Kaán Károly MTA levelező tag, erdőmérnök-politikus éles hangú vitacikkét, aki sértésnek vette Réthly azon megállapítását, miszerint a fásítás mellett érvelők hamisan az erdők csapadék-növelő hatását bizonygatták, s Réthlyt hozzá nem értőnek állította be (Kaán 1933). Viszontválaszában Réthly (1934) tisztázta Kaán félreértéseit, s igyekezett békülékeny hangon zárni írását. Az OMFI iratanyagában egy eddig még nem ismert epizód tárult fel ezekkel a vitákkal kapcsolatban. 1936. január 5-én vasárnap, a Bajcsy-Zsilinszky Endre által főszerkesztett *Szabadság* c. lapban dr. Szalay László¹ tollából *A Meteorológiai Intézet igazgatója nem ismeri az Alföld csapadékviszonyait...* című írás látott napvilágot. Erről még aznap este Bacsó Nándor értesítette

Réthlyt, aki másnap jelentést írt a minisztériumba. A cikk szerzője az 1934-es cikke kapcsán támadta meg Réthlyt, elképesztő módon például azt állítva, hogy korábbi találkozásukkor – amit Réthly az iratanyagban elhelyezett pro domo, bizalmas feljegyzésében teljesen máshogy festett le – ő volt az, aki megmagyarázta Réthlynek a mikro- és makroklíma létét és különbözőségét. Az újságíró az írás második felében Kaán Károly bölcsességére hivatkozva az erdősítés és a visszamocsarasítás mellett kardoskodott: „Puruttya beszéd hát egy öreg klimatológustól azt állítani, hogy több csapadékot az erdősítéssel se tudunk elérni”². Tegyük hozzá, Réthly Antal ekkor még csak 55 éves volt. Réthlyt beosztottja útján 10-én este hívatta telefonon Darányi Kálmán földművelésügyi miniszter és hétfőre jelentést kért az ügyben. Réthly az iraton pro domo így festette le a helyzetet: „Szombat jan. [11.] reggelre bekértem

Bacsót, már 8-kor megbeszéltem vele a teendőket, és legcélszerűbbnek tartottam a régi mérnökegyesületi munkát kibővíteni, új szempontok szerint tárgyalni és kiegészíteni egészen az 1935 évig bezárólag. Dieter öméltségától³ kértem vasárnapra egy rajzoló – küldött kettőt –, átadtam a 80 éves csapadékgrafikont Návaynak hogy rajzolja meg, és ifj. Karácsonyit is berendeltem. Egész délelőtt és d.u. készítettem a grafikonokat, Bacsó is számolt, részben segített Nagy Zoltán dr, és csapadéktérképeket szerkesztett Bognár. Így előkészült anyagot vasárnap megrajzolták, én pedig megszővegeztem a jelentést, amelyet Újhelyi ömél. úgy kívánt, hogy előadás legyen a mérnökegyesületben, mert a Kegyelmes Úr is így látja legcélszerűbbnek. Vasárnap d.u. és éjjel meg-szővegeztem az előadásomat. Vasárnap reggel Bacsó még írt néhány észrevételt a Szalay f. cikke, azt beleszőttem előadásomba, és dél felé Irén kezdte a másolását. Közben háromszor beszéltem Újhelyi oszt. főnökúrral, aki megkért, hogy a Miniszter Úr részére

egy rövid gondolatrögzítő kivonatot is készítsék, mert kedden a Kormányzó Úr öföméltségának óhajtott referálni és hétfőn este vagy éjjel fogja áttanulmányozni az egész anyagot. Mindent megcsináltam és miután este 6-ra nem tudunk elkészülni a másolással, pedig Irén itt ebédelt és Bacsó is bejött diktálni, én meg rendeztem az anyagot és olvastam a másolatot, végre felhívtam 6-kot Máthé min. titkárt, hogy a jelentést csak 1/2 7-re vihetem be. Ekkor indultam el autón, és 3/4 7-kor átadtam a jelentést.”⁴ Réthly tehát újabb nyilvános előadás mellett döntött, nem küldött viszontválaszt a szerkesztőségbe. Érdekes, hogy az ügy kapcsán az Intézetben összegyűjtötték az 1934-35-ös szárazságokkal, szűkebben az Alfölddel kapcsolatos újságcikkeket, amiből egy egész paksamétát őriz a levéltár. Itt találjuk azt a hosszú cikksorozatot is, ami a Magyarország c.

lap hasábjain jelent meg 1935. július–augusztusban, és ahol többek között Szalay Rohringer Sándor műegyetemi rektor által vezetett bugyi-bajai lecsapolások kapcsán vádolja az MTA tagját hozzá nem értéssel. De Réthly feljegyzéséből tudjuk, hogy Szalay már 1931-ben is perbe keveredett Rohringerrel.⁵ Az iratok között az ekkor már idős Thirring Gusztáv, MTA rendes tag levele is fellelhető, amelyben felszólította a Magyar Meteorológiai Társaság választmányát, hogy az foglaljon állást Réthly mellett. Az MMT – amelynek elnöke ekkor Róna Zsigmond volt – erre a miniszterhez címzett egy állásfoglalást, ahol rögzítették, hogy „a tudomány mai állása szerint az éghajlatban a történelmi idők folyamán egyirányú folytonos változás nem állapítható meg, hanem vannak éghajlati ingadozások, melyek a száraz, meleg és nedves, hűvös ciklusok



Réthly Antal Ex libris-e
(OMSZ KI, Réthly Antal iratai 8a/3)

¹ Vélhetően Zalai Szalay László (1879-1944), jogász, hírlapíró, szerkesztő, népies író.

² Országos Meteorológiai Szolgálat Központi irattára (OMSZ KI), OMFI iratai 8 d. 454/1936

³ Dieter (Ditróy) János (1879-1961), vízepítő mérnök, ekkortájt miniszteri tanácsos, igazgató a Vízirajzi Intézetben

⁴ OMSZ KI, OMFI iratai 8 d. 456/1936

⁵ OMSZ KI, OMFI iratai 8 d. 454/1936

váltakozásában ismerhetők fel”. Tóth Géza jelentéséből kiderült az is, hogy őt Szalay még előző év decemberben elérte az OMFI-ban telefonon, és arról érdeklődött, hogy „ugye a Meteorológiai Intézet jelenlegi igazgatója nem szakember”.⁶ Réthly az előadást végül február 4-én tartotta meg, tanulmánya pedig az év folyamán napvilágot látott a Vízügyi Közleményekben. A cikk végén Réthly sommázva állapította meg, hogy „[é]ghajlatunk állandó, de szélsőségekben gazdag, miért is ezekhez alkalmazkodnunk kell.” (Réthly 1936: 164), majd a Bacsó Nándorral közösen írt *Időjárás-éghajlat és Magyarország éghajlata* kötetben *Az ármentesítés és az Alföld állítólagos éghajlatváltozása* fejezetben igyekezett lezárni a vitát: „[a]z éghajlatot emberi beavatkozással olyképp módosítani, hogy egyirányú változás álljon elő, nem lehet” (Réthly és Bacsó 1938: 266). A miniszteri, kormányzói reakciókról viszont az iratanyagban sajnos nincsen információ. Réthly Antal visszaemlékezéseiben, visszatekintéseiben fontosak voltak ezek a viták, egy 1963-as rádió interjúban legnagyobb tudományos sikerének nevezte, amikor egy „durva újságcikk támadásból kiindulva [...] bebizonyítottam, hogy téves és alaptalan az a vád, hogy az ármentesítéssel, csatornázással, vízszabályozással a vízi mérnökök kiszárították az Alföldet”.⁷ Egy vélhetően Aujeszky Lászlónak írt levélben – ahol főképpen a magyarországi földrengések 1919 utáni anyagának kiadatását igyekszik előmozdítani – pedig úgy fogalmazott, hogy „csak adjunktus voltam, és akadémikusokkal álltam vitában, Kaán, Tuzson, s nekem volt igazam [...] pedig Horthy is ellenfeleim nézetét vallotta, és nekem lett igazam”.⁸ MTA doktori pályázatához⁹ benyújtott tudományos önéletrajzaiban is kiemelte ezeket

⁶ OMSZ KI, OMFI iratai 8 d. 454/1936

⁷ Rádió interjú életéről. Jegyzetekkel, javításokkal ellátott gépelvény, 1963. OMSZ KI, Réthly Antal iratai 8a/3

⁸ Igen kedves Laci barátom... Kézírással javított gépelvény, 1974. július 17. Aláírás: AVE Réthly. OMSZ KI, Réthly Antal iratai 8a/3 – Itt találunk tehát csak adalékot a kormányzói véleményre.

⁹ Réthly meglehetősen nehezen kapta meg a tudományok doktora fokozatot, miután kandidátusi fokozatát 1953-ban megszerezte. Visszaemlékezése szerint (ld. az előző forrást) először Vadász Elemér geológus akadályozta meg ezt („hogyne, a SZ.I.T. [Szent István Társulat] elnökéből még tud. dr-t csinálunk”). Ez a legújabb kutatások fényében azért érdekes momentum, mert Réthly a Tanácsköztársaság idején a szociáldemokrata párt tagjaként, igaz jóhiszeműen, bizalmi pozíciókat töltött be a Földművelésügyi Népbizottságban (Győri, 2015), ugyanakkor Réthly volt az, aki Lóczy Lajost védelmébe vette, amikor a Magyarhoni Földtani Társulat direktóriumi ülésén Vadász durván támadta annak munkásságát (Fodor, 2006: 677). 1959-ben a Kárpát-medence földrengései 455-1918 (önállóan 1952-ben jelent meg) c. munkát egy 116 oldalas Függelékkel kiegészítve – amelyben 63 új földrengést és 12 új epicentrumot állapított meg – kérte újra a minősítő bizottságot az eljárás megindítására, de ismét elutasították. Az indok formai hiba volt, a tudományos eredmények, és tézisek összeállítására kérték (Magyar Mezőgazdasági Múzeum Személyi Emlékanyag-gyűjtemény [MMM SZE] Réthly Antal iratai I. 5979 és I. 6048). De Réthly szerint a háttérben egy Schmidt Eligius Róbert és Egyed László közötti konfliktus lehetett, amelynek révén előbbi sem kapott doktori címet. Egyed erre utalva kérte, hogy vonja vissza az értekezését, hogy ne egy „katalógusért” kelljen doktori címet adniuk. Ezután Bulla kezdeményezte a doktori cím odaítélését, de annak halála miatt az ügy elodázódott, majd Réthly betegségei, szívinfarktusai okoztak több éves halasztást. Végül Réthly 1972-ben kérvényezte újra a doktori cím védés nélküli megítélését.

a vitákat, ahol „80 évre terjedő csapadék-megfigyelések alapján megállapítottam, hogy a csapadék mennyisége nem mutat egyirányú változást”, és tanulmánya „véget is vetett a laikus vádaskodásoknak”.¹⁰

Réthly Antal és a globális felmelegedés. Furcsán hathat e fejezetcím, és valóban, jelenlegi ismereteink szerint Réthly soha nem írt az éghajlatváltozás új magyarázatáról, a fosszilis energiahordozók elégetése miatt növekvő légköri szén-dioxid szint okozta felmelegedésről; hagyatékában, vagy az OMFI iratanyagában nem találtunk erre utalást. Tehát a bevezetőben feltett kérdést ilyen röviden is elintézhethetnénk. Van azonban néhány adalék, amely figyelemre méltó, ezeket fejtem ki alább. A légköri szén-dioxid szint és a klímaváltozások összefüggésének gondolatát Svante Arrhenius (1859–1927) svéd fizikus-kémikusnak tulajdonítják. Az ő munkái, ebbéli gondolataival a századelőn Magyarországon is ismertté váltak, 1906-ban írt könyve napvilágot látott magyarul is *A világok keletkezése* címmel (Arrhenius 1922). A felmelegedés gondolata így valamelyest a köztudatba is bekerült – erre újságcikk ad bizonyítékot, pl. a Népszava egy 1934. júliusi számában H.E. monogrammal alatt feltehetőleg Héjas Endre az OMFI c. aligazgatója említi –, tudományos hivatkozást azonban nem találni rá (Jankó 2013, 2014). Csak háború után Száva-Kováts József *Általános légkörtanában* találjuk meg talán először Arrhenius nevét és elképzelését, mint a jégkorszakokra létre adott, de egyúttal meg is cáfolt elgondolást a szén-dioxid szint és a lehülés kapcsolatáról, a fosszilis tüzelőanyagok elégetésének, illetve az embernek a szerepe azonban nincs említve (Száva-Kováts 1952). Az éghajlatváltozás bővebb, ilyen irányú tálalását Berkes Zoltánnál találjuk meg, aki viszont mindezt Arrhenius nevének említése nélkül tette az *Éghajlatváltozás – éghajlatingadozás?* c. népszerűítő könyvecskéjében (Berkes 1953; Jankó 2015). Ekkorra az elképzelés az érdeklődés szintjén megjelent az egyetemi oktatásban is (Czelnai és Jankó 2015). *A Nordlichterscheinungen in Ungarn, 1526–1960* című közös könyv kapcsán Réthlynek részletes levelezése volt az 1950-es, 60-as évek fordulóján az általa igen nagyra tartott Berkessel,¹¹ levélváltásaik azonban egy-két szokásos személyes apróság mellett szűken a munkára vonatkoztak, az új elképzelés nem került elő.¹² Ismert, hogy Réthly Antal 1934 és 1948 között Magyarország képviselője volt az International Meteorological Organization (IMO), azaz a Nemzetközi Meteorológiai Szervezetben, ami a mai World Meteorological Organization (WMO) elődje volt (Zách, 1975). Itt az 1930-as évek végén az Agrometeorológiai Bizottságon belül a Sub-Commission for the Study of the Influence of Human Activities on the Climate elnöke lett. Német fordításban: Subkommission zum Studium der Willkürlichen Klimabeeinflussung, tehát a magyar fordítás ezek alapján nem egyértelmű, lehet szó az emberi tevékenység éghajlati hatásáról, vagy az éghaj-

¹⁰ MMM SZE Réthly Antal iratai I. 5976-5991

¹¹ Erre utal az a levélváltás, amit Cholnoky Jenővel folytatott 1944 júliusában az OMFI igazgatóságának utódkeresése kapcsán, ahol több kollégát „beszélt meg” „kedves professzorával”, Cholnokyval, és Berkest többek között a jövő emberének, valóságos gőzhangyának nevezte, „akire igazán büszke vagyok, hogy neveltem” MMM SZE Réthly Antal iratai I. 5976-5991

¹² OMSZ KI, Réthly Antal iratai 8a/3

lat akaratlagos, mesterséges befolyásolásáról is.¹³ A bizottság titkárával, a trieri Otto Kesslerrel közösen 1938 augusztusában az emberi behatás lehetőségének tanulmányozása céljából egy körlevelet intéztek a bizottság tagintézményeinek, hogy három kérdésre adjanak választ:

1. Milyen tapasztalatai vannak
 - a. a több éves klímaingadozásokat tekintve
 - b. az emberi tevékenység éghajlatra gyakorolt hatását tekintve?
2. Milyen irodalmakat ismer, amelyek ezekkel a kérdésekkel foglalkoznak?
3. Van-e arra lehetőség, hogy a 2. pontban megnevezett publikációk másolatát, vagy legalábbis azok kivonatát elküldjék, ha a kereskedői forgalom már nem használható?

Az OMFI iratanyaga szerint Réthlynek címezve számos külföldi intézet (Argentína, India, Olaszország, Szerbia, Hollandia, Franciaország, Csehszlovákia, Jugoszlávia, Németország, Dél-Rodézia, Brazília, Horvátország, Brit Kelet-Afrika, Új-Zéland, Izland, Bermuda, Svédország, Norvégia, Törökország stb.) adott választ, ki rövidebben, ki hosszabban. Az egyik figyelemre-méltó levél 1939 januárjában Londonból érkezett, a Légügyi Minisztérium

Meteorológiai Hivatalából (Meteorological Office, Air Ministry – ez a magyar meteorológiai intézetnek felel meg), ahol többek között Guy S. Callendar éghajlatváltozásról szóló munkáit is felsorolják a megküldött irodalomjegyzékben. Guy S. Callendar (1898–1964), személyénél érdemes megállnunk, ugyanis ő volt az, aki gyakorlatilag a pályán kívülről, mérnök létére, a meteorológiával csak kedvtelésből foglalkozott, próbált beleszólni a tudományos fejlődésbe leporolva a már-már feledésbe ment Arrhenius elképzelést. További számításokat végezve a növekvő légköri szén-dioxid szint és a század 1930-as éveiben tapasztalt a globális felmelegedés közötti kapcsolatot igyekezett bizonyítani több írásában is. Első – a Réthly számára is megküldött jegyzékben szereplő – tanulmányának anyagát 1938-ban elő is adta a Királyi Meteorológiai Társaságban (Royal Meteorological Society), ahol azonban általános kritikával és elutasítással fogadták nézeteit, így például a Met Office akkori, s nem sokára nyugdíjba vonuló igazgatója, Sir George Simpson. Ezután jelent meg a cikk a társaság lapjában, a hozzá fűzött kritikákkal együtt. Mindezek ellenére Callendar neve többször is ott szerepelt a Budapestre érkezett levélben, igaz akkor már N.K. Johnson¹⁴ volt a Met Office igazgatója, az ő aláírása szerepelt a



Nelson King Johnson
a Meteorological Office igazgatója
1939-ben (Crewe, 2009)

kísérőlevélben. Jóllehet, ebben az ekkoriban szintén Met Office munkatárs Charles Brooks *Climate through the Ages* című könyvét emelték ki külön – amely 1926-os megjelenése után évtizedekig etalonnak számított szakterületén, benne az Arrhenius-i, majd 1951-es második kiadásában a Callendar-i nézetek cáfolatával. A levélből emellett kiderül az is, hogy a Királyi Meteorológiai Társaság és a Királyi Földrajzi Társaság is közreműködött saját kiadású folyóirataikból a cikk-másolatok előkészítésében, és azokat megküldték Budapestre, tehát ezek között elvileg Callendar írása is megérkezhetett Budapestre, így első kézből értesülhettek Réthlyék Callendar munkásságáról. Ezzel összefüggésben talán az első magyar szakirodalmi Callendar hivatkozást Aujeszky László 1957-es *A légkör fizikája* c. könyvében találhatjuk meg, aki kétszer is utalt a Callendar egy későbbi, 1940-es, ugyancsak a brit meteorológiai társaság lapjában megjelent munkájára, és egy a szén-dioxid szint növekedését mutató ábrát is szerkesztett Callendar adatai alapján. Tegyük hozzá, Brooks könyve pedig több alfejezet anyagának alapjául szolgált. Egy a Réthly iratanyagból előkerült cédula jelzi, hogy ezeket a munkákat Réthly is számon tartotta, ugyanis Callendar *Variations of the amount of carbon dioxide in different air*

currents c. tanulmánya, és annak Aujeszky-nél való idézése szerepelt rajta.¹⁵ Ettől függetlenül a körlevél, és az annak kapcsán begyűjtött információk a Réthly és Kessler közötti levelezés alapján valószínűsíthető – ám az iratanyagból sajnos hiányzó – összefoglalása, és az albizottságban való megtárgyalása feltételezi azt, hogy Réthly fontolóra vehette az éghajlatváltozással kapcsolatos új elképzeléseket is. Ezekre írásosan azonban nem reflektált nyugdíjba vonulása után sem. Időskori főművének első kötete, az Időjárás események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig bevezetésében is rávilágít, hogy munkájának egyik haszna a múltbeli éghajlingadozások behatóbb kutatása lehet, vagyis eredeti elgondolását már nem változtatta meg:

„Vannak kérdések, amelyekre csak évszázadokra visszanyúló feljegyzések alapján adhatunk választ. Ilyen kérdések pl. a szigorú, valamint az enyhe telek, az esős vagy forró nyarak szakaszossága; a májusi fagyok egyes évszoportokban miként, milyen gyakorisággal lépnek fel; az esős, valamint a rendkívül száraz nyarak hány év időközében fordulnak elő; milyen összefüggés van bármely irányú szélsőséges telek és nyarak között; a pusztító árvizek felléptének milyen szakaszossága között. Mutatnak-e a meleg és hideg évszoportok valamilyen évszázados ingadozást. Választ adnak ezek a régi megfigyelések arra is,

¹³ OMSZ KI, OMFI iratai 10. d. 562/1938

¹⁴ Sir Nelson King Johnson (1882–1954), fizikus, asztrofizikus. Dolgozott a Hill Observatóriumban, Sidmouth-ban, volt pilóta a Royal Flying Corps-nál az első világháború idejében, majd egy lezuhanást túlélve 1919-ben csatlakozott Met Office-hoz. 1921-től dolgozott a War Office-nak, ahova 1928-ban át is került vezető pozíciókat betöltve különböző vegyi hadviselést kutató és fejlesztő háttérintéz-

ményekben. A Met Office-ba, már mint igazgató, 1938-ban került vissza, amely posztot 1953-as nyugdíjba vonulásáig töltött be. Könnyen elképzelhető, hogy személye és intézménye milyen fontos szerepet töltött be az angolszász hadműveletek meteorológiai támogatásában.

¹⁵ OMSZ KI, Réthly Antal iratai 8a/3

hogy az éghajlat nem változik, hanem ingadozik, és ha időnként melegekedés mutatható ki, kétségtelenül vannak bizonyítékok a hűvösebbre válásra is” (Réthly, 1962: 15).

Befejezés. Tanulmányom végén tehát megállapítható, hogy az éghajlatváltozás új elgondolása elsősorban a generációváltás eredményeképpen integrálódott a tudományos gondolkodásba és vált elfogadottá. Réthly nem utalt az új elképzelésekre, közvetlen munkatársai közül Berkes Zoltán azonban a globális felmelegedés egyik első hazai interpretátorának, Aujeszky László Callendar munkáinak talán első feldolgozójának tekinthető, de Bacsó Nándor is formálta korábbi elképzeléseit, felismerve az éghajlat örökké változó természetét (Bacsó, 1955). Az éghajlatváltozás új magyarázata azonban alapvetően az újabb tudósnemzedék munkája nyomán gyökeresedett meg a magyar tudományban, miközben viták nemigen tarkították a kezdeti időszakot, a fiatalabb éghajlatkutatók nem reflektáltak a korábbi – az új összefüggések alapján nyilvánvalóan téves – elképzelések tarthatatlanságára, sem az akkori éghajlati vitákra. Kivételként egy apró adalékot jelent Mészáros Ernő opponensi véleménye Réthly Antal 1972-es, védés nélküli MTA doktora eljárásában. A vélemény egy részlete afféle hiányzó láncszemként értékelhető, ahol a megfogalmazás révén megteremtődik a kapcsolat a régi éghajlatingadozás és az új éghajlatváltozás felfogása között: „[Réthly] [k]limatológiai tevékenysége elsősorban az éghajlat-változások és ingadozások kérdéseivel kapcsolatos. Ezek a problémák korunkban azért fontosak, mivel felmerül annak valószínűsége, hogy az emberi tevékenység (pl. a levegő elszennyezése, a felszín módosítása, városok létrehozása stb.) az éghajlatot számunkra kedvezőtlenül befolyásolja. A húszas évek végén, a harmincas évek elején hazánkban ilyen jellegű kérdések az ármentesítés és a lecsapolások kapcsán merültek fel. Réthly Antal klimatológiai adatok alapján világos érveléssel bizonyította, hogy az említett időszakban mutatkozó szárazabb időjárás éghajlatunk sajátossága, mivel a csapadék mennyiségének időbeli menete, nem egyirányú változást, hanem periodikus ingadozásokat mutat.”¹⁶

Köszönetnyilvánítás. A tanulmány az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült. Köszönöm az írás korábbi változataihoz fűzött észrevételeit dr. Probáld Ferencnek és a lektoroknak. Emellett köszönöm a segítséget a brit Met Office közönségszolgálatának.

Irodalom

- Arrhenius, S., 1922: A világok keletkezése. Fordította Mende Jenő. *Dick Manó kiadása*, Budapest
 Aujeszky L., 1957: A légkör fizikája. *Akadémiai Kiadó*, Budapest
 Bacsó, N., 1932: Réthly Antal dr.: „Az Alföld csapadék-

- viszonyai” – Előadás beszámoló. *Az Időjárás* 36, 67–68.
 Bacsó, N., 1955: Az éghajlatkutatás kérdései. Vitautlás. *MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei* 7, 395–419.
 Berkes, Z., 1953: Éghajlatváltozás–éghajlatingadozás? *Országos Meteorológiai Intézet Kis Népszerű Kiadványa* 3, Budapest
 Crewe, M. E., 2009: The Met Office Grows Up: In War and Peace. *Occasional Papers on Meteorological History* No. 8 The Royal Meteorological Society’s History of Meteorology and Physical Oceanography Special Interest Group (<http://www.rmets.org/sites/default/files/hist08.pdf> Letöltve: 2015. 09. 04.)
 Czelnai, R. és Jankó, F., 2015: Hogyan került előtérbe a klímaügy? Beszélgetés Czelnai Rudolf akadémikussal. Az interjút készítette: Jankó Ferenc. *Természet Világa* 146, 294–298.
 Fodor, F., 2006: A magyar földrajztudomány története. *MTA FKI*, Budapest
 Györi, R., 2015: The Communist leadership of the Hungarian Geographical Society after the Hungarian Soviet Republic, 1919 – sin, penance and absolution. Fifth EUGEO Congress on the Geography of Europe 30 Aug–2 Sept, Budapest (Congress Programme and Abstracts: http://eugeo2015.com/images/downloads/programme_and_abstracts_eugeo2015.pdf Letöltve: 2015. 09. 04.)
 Jankó, F., 2013: Elfeledett viták az alföldi erdősisítés és vízrendezés éghajlati hatásairól. *Földrajzi Közlemények* 137 (1), 51–63.
 Jankó, F., 2014: Az alföldi éghajlat-vitától a globális felmelegedésig: három tudománytörténeti fejezet Magyarországról. *Erdészettudományi Közlemények* 4 (2), 9–20.
 Kaán, K., 1933: Az Alföld csapadékviszonyai és az alföldi erdőtelepítések és fásítások. *Vízügyi Közlemények* 15, 46–58.
 Magyar Mezőgazdasági Múzeum Személyi Emlékanyaggyűjtemény Réthly Antal iratai
 Országos Meteorológiai Szolgálat Központi irattára, Országos Meteorológiai és Földmágnességi Intézet iratai
 Országos Meteorológiai Szolgálat Központi irattára, Réthly A. iratai
 Réthly, A. és Bacsó, N., 1938: Időjárás–éghajlat és Magyarország éghajlata. *Magyar Meteorológiai Társaság*, Budapest
 Réthly, A., 1933: Az Alföld csapadékviszonyai. – In: *Sajó, E. és Trummer, Á. (szerk.): Újabb tanulmányok az öntözésről*. M.K. Földművelésügyi Minisztérium, Budapest 148–177.
 Réthly, A., 1934: Az Alföld csapadékviszonyai és a fásítás mikro-klimatológiai indoklása. *Vízügyi Közlemények* 16 (1), 65–81.
 Réthly, A., 2013: Mindennapi örületem *avagy* Patológias drámai karakterek a kortárs színpadokon. *DLA doktori disszertáció, kézirat*. Színház- és Filmművészeti Egyetem, Budapest, (<http://www.filmacademy.hu/uploads/dokumentumtar/dla-oruletem-2013-2013-11-25-net.pdf> Letöltés: 2015. 09. 05.)
 Száva-Kováts, J., 1952. Általános légkörtan. *Tankönyvkiadó*, Budapest
 Zách, A., 1975: Dr. Réthly Antal életútja. In: *Felméry L. és Zách, A. (szerk.): Réthly Antal emlékkönyv*. MTE SZ Magyar Meteorológiai Társaság, Budapest 5–15.

¹⁶ MMM SZE Réthly Antal iratai I. 6048

2016 TAVASZÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SPRING 2016

Hoffmann Lilla

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., hoffmann.l@met.hu

2016 tavasza összességében átlagos középhőmérsékletű volt, a normálnál valamivel melegebb márciusnak és áprilisnak, valamint a szokásosnál épphogy csak hűvösebb májusunak köszönhetően. Március és április szárazabb, a május csapadékosabb volt a megszokottnál. Országos átlagban a tavasz középhőmérséklete 11,6 °C volt. Az ország nagy részét pozitív hőmérsékleti anomália jellemezte, általában 0,6–1 °C-kal volt melegebb a megszokottnál. Területi eloszlás szempontjából az ország nagy részét 11–12 °C-os átlaghőmérséklet jellemezte. Az ország délkeleti területei bizonyultak a legmelegebbnek, a hőmérséklet értéke meghaladta a 12 °C-ot, leghidegebb pedig az Északi-középhegység magasabban fekvő területein, valamint a nyugati határszélen volt, ahol 9 és 10 °C között alakultak a középhőmérsékletek. A március, de különösen az április bizonyult meglehetősen száraznak, a regisztrált mennyiség márciusban még a normál 85%-a, áprilisban azonban már a 44%-a volt csupán. Májusban a megszokottnál 14%-kal hullott több csapadék. Összességében 2016 tavaszán 15%-kal volt kevesebb csapadék, mint általában. A Dunától nyugatra 140–180 mm-t, míg az ország keleti részén 80–100 mm-t regisztráltunk. A délkeleti megyékben hullott a legkevesebb csapadék, volt olyan terület, ahol a háromhavi csapadékösszeg nem érte el a 60 mm-t. A legtöbb csapadék a nyugati határszélen volt jellemző, volt olyan terület, ahol több mint 180 mm csapadékot regisztráltunk.

Március. A szokásosnál melegebb és szárazabb volt az idő hazánkban. A középhőmérséklet zömmel 5–8 °C között alakult, általában az Alföld középső része és a Dél-Dunántúl voltak a legenyhébbek. Alacsonyabb értékek az Északi-középhegység magasabban fekvő területein fordultak elő, itt helyenként a 2–3 °C-t sem érte el a középhőmérséklet. Pozitív hőmérsékleti anomália jellemezte az ország jelentős részét. Míg a Bakony térségében jobbra 0,5–1 °C-kal volt melegebb a normálértéknél, addig a keleti, északkeleti területeken többnyire 1,5–2 °C pozitív anomáliát tapasztaltunk, Sárospatak és Mátraszentimre környékén még ennél is nagyobb volt a különbség. 7 fagyos nap ($T_{\min} \leq 0$ °C) jelentkezett, ami 6 nappal kevesebb a megszokottnál. A szokásos 1 nap helyett 2016 márciusában nem fordult elő téli nap ($T_{\max} \leq 0$ °C).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

24,7 °C, Baja Csávoly (Bács-Kiskun megye), március 31.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-9,6 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), március 20.

Országos átlagban 29 mm volt a havi csapadékösszeg, ami a szokásos érték 85%-a. Az ország nagy részén az 1981–2010-es éghajlati normál mindössze 60–80%-a hullott le. A Kisalföld térségében voltak olyan területek, ahol ez az érték nem érte el a 40%-ot, míg a Dél-Dunántúl és az Alföld északkeleti tájain meghaladta a 120–160%-ot is. 9 csapadékos napot regisztráltunk, ami éppen megegyezik a sokéves átlaggal.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

71,3 mm, Drávaszabolcs (Baranya megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

10 mm, Rajka (Győr-Moson-Sopron megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

32 mm, Vése (Somogy megye), március 3.

Április. Az ország nagy részén 11–12 °C között alakult a havi átlaghőmérséklet, az országos átlag 12,4 °C volt. A déli, délkeleti területeken enyhébb, míg az Északi-középhegység magasabban fekvő területein hűvösebb időjárás volt jellemző. Az 1981–2010-es átlagnál hűvösebb április sehol nem fordult elő az országban. A Kisalföld térségében és az Ipoly mentén 0,5 °C-kal, az ország keleti határszélen 2,5–3 °C-kal haladta meg az anomália értéke a sokéves átlagot. Fagyos és nyári napokból 2–2 fordult elő (normál: 3 és 1 nap).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

28,7 °C, Pocsaj (Hajdú-Bihar megye), április 17.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-4,7 °C, Nyírlugos (Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), április 21.

A megszokottnál sokkal kevesebb csapadék volt idén áprilisban, az ország nagy részén csupán 15–20 mm csapadék hullott. Az

1981–2010-es normálértéknek mindössze 44%-a hullott le. A sokéves átlagtól leginkább elmaradó értékek (15–20%) a Nyírség területén és a Közép-Dunántúlon jelentkeztek. A legcsapadékosabb régiók az ország északi és nyugati részei, valamint a Duna-Tisza köze déli területei voltak, ahol a csapadékösszeg elérték, illetve kis mértékben meg is haladták a sokéves átlagot. Csapadékos nappól a normál 10 nap helyett idén áprilisban mindössze 7 jelentkezett.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

66,3 mm, Domaháza (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

5,3 mm, Őskü (Veszprém megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

33,2 mm, Jászszentlászló (Bács-Kiskun megye), április 7.

Május. A májusi középhőmérséklet 15 és 16 °C között alakult hazánk nagy részén. Ennél hidegebb az Északi-középhegység magasabban fekvő területein volt. A szokásosnál 0,4 °C-kal volt hűvösebb az idei május az 1981–2010-es átlaghoz képest. Az északkeleti területek mentén +0,5 °C, míg az ország nagy részén -1,5 – -2 °C volt az anomália értéke. 8 nyári napot jegyeztünk a hónap során, mely 1 nappal marad el a normáltól. A májusban jelentkező 1 hőségnap idén májusban nem jelentkezett.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

31,9 °C, Körösszakál (Hajdú-Bihar megye), május 29.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-1,2 °C, Zabar (Nógrád megye), május 17.

A száraz áprilist egy csapadékosabb május követte. A havi csapadékmennyiség területi eloszlása változatos képet, egy nyugat-keleti irányú csökkenést mutat. A Dunától nyugatra a csapadékmennyiség értéke elérte a 140–180 mm-t, míg a délkeleti területeken csupán 60–80 mm-t regisztráltunk. A középső és a nyugati területeken átlagosan a normál érték 85–115%-a hullott, foltokban jelentkezett csapadéktöbblet is, mely kis területen meghaladta a 130%-ot. Az ország keleti, délkeleti területei szárazabbak voltak az átlagosnál, egyes helyeken a csapadék mennyisége a sokéves átlag 40%-át sem érte el. Országos átlagban 12 csapadékos nap jelentkezett, mely fölülmúlta a 11 napos normált. Zivataros nappól a sokéves átlagnál 1-el többet, 4-et regisztráltunk.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

160,8 mm, Peresznye (Vas megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

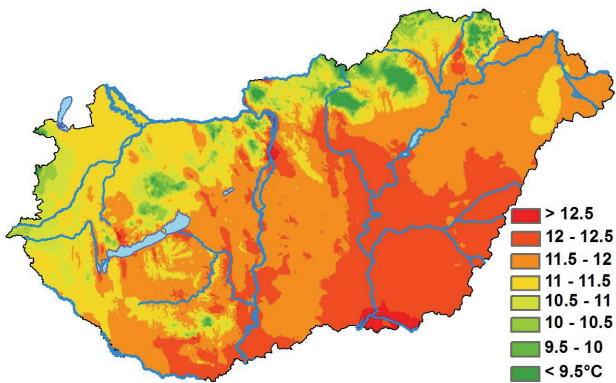
13,6 mm, Szarvas Bikazug (Békés megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

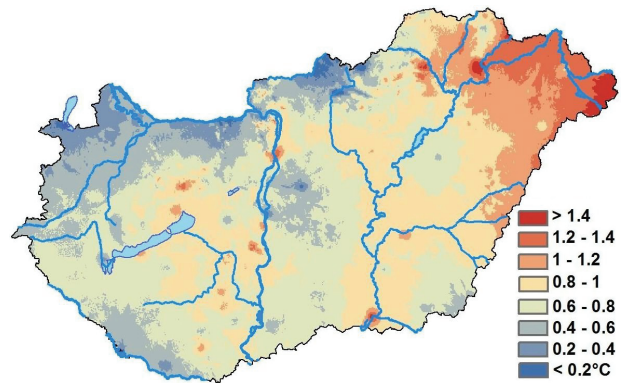
51,1 mm, Hanságliget (Győr-Moson-Sopron megye), május 12.

Hőmérsékleti rekordok:

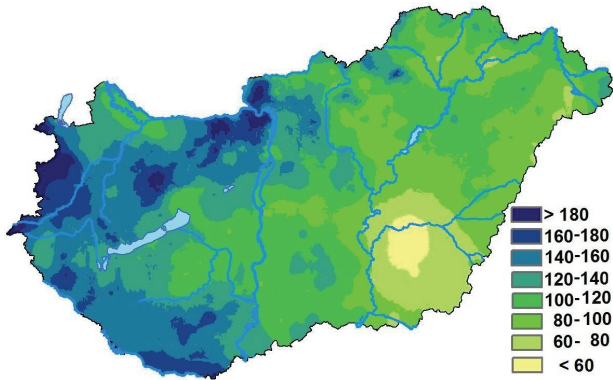
- április 1-jén új fővárosi melegrekord született Újpesten és az OMSZ II. kerületi központjában, 23 °C-kal (korábbi rekord: 22,8 °C, Budapest belterület, 1994)
- április 5-én szintén új fővárosi rekord született, Budapest belterület állomáson 26,4 °C-ot mértünk. Megdőlt az országos melegrekord is, Balatonedericsen 16,9 °C-ot mutattak a hőmérők.
- április 6-án új országos minimumhőmérsékleti rekordot jegyeztünk, Dunaújváros, Pécs Árpádtető és Szentlélek állomásokon 15,7 °C-ig csökkent a hőmérséklet.
- április 9-én szintén megdőlt az addigi napi minimumhőmérséklet; Csenger állomáson 14,5 °C-ot mértünk.
- április 28-án új fővárosi minimumhőmérsékleti rekord született, ekkor -0,7 °C-ig hűlt le a levegő a János-hegyen.
- május 17-én, Zabaron a hajnali, kora reggeli órákra -1,2 fokig süllyedt a hőmérséklet.



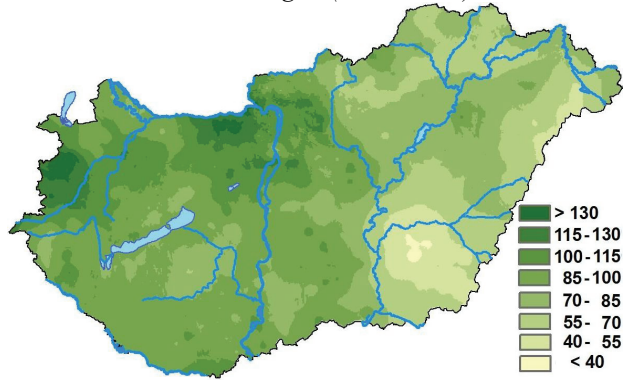
1. ábra: A 2016-os tavasz középhőmérséklete (°C)



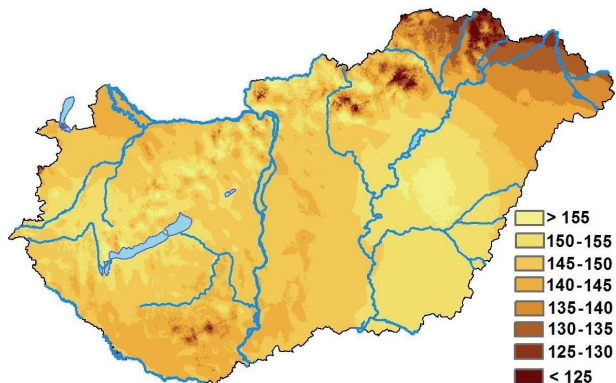
2. ábra: A 2016-os tavasz középhőmérsékletének eltérése a sokéves átlagtól (1981–2010)



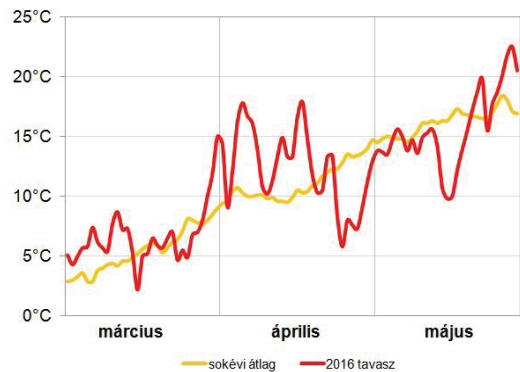
3. ábra: A 2016-os tavasz csapadékösszege (mm)



4. ábra: A 2016-os tavasz csapadékösszege a sokéves (1981–2010-es) átlag százalékos (%) arányában kifejezve



5. ábra: A 2016-os tavasz globálisugárzás összege (kJ/cm²)



6. ábra: A 2016-os tavasz napi középhőmérsékleteinek eltérése a sokévi (1981–2010-es) átlagtól (°C)

2016. tavasz időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJ/cm ²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél
	évszak összes	eltérés	évszak összes	évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	viharos napok
Szombathely	712,5	164,2	58	11,0	0,7	28,4	05.9	-1,8	03.18	163,7	123,6	21	13
Nagykanizsa	-	-	45	11,2	0,7	29,2	05.29	-2,9	03.18	143,4	86,8	20	9
Siófok	-	-	51	12,4	1,1	30,2	05.29	-0,6	03.25	127,6	96,5	18	21
Pér	-	-	-	11,3	-	28,5	05.29	-2,2	04.26	102,0	75,8	15	13
Pécs	627,5	36,2	44	12,1	0,9	29,5	05.29	-0,9	03.25	136,5	89,9	27	8
Budapest	646,8	48,6	42	12,2	0,7	29,0	05.29	-1,7	04.26	115,6	87,4	20	5
Miskolc	666,7	94,8	41	11,9	1,4	29,6	05.29	-3,5	03.20	89,5	63,2	22	0
Kékestető	605,4	48,1	41	6,7	1,1	21,1	05.28	-4,4	03.14	140,7	66,8	20	20
Szolnok	621,6	34,9	53	12,2	0,8	29,5	05.29	-2,9	03.20	82,9	64,8	19	7
Szeged	683,5	107,3	52	12,3	0,9	29,3	05.28	-2,6	03.25	111,6	94,1	25	3
Nyíregyháza	-	-	43	11,8	1,1	29,7	05.29	-3,1	03.20	126,7	97,1	14	14
Debrecen	721,1	118,5	46	12,1	1,0	28,9	05.29	-4,6	03.20	88,8	60,4	15	7
Békéscsaba	-	-	53	12,1	0,8	29,7	05.29	-3,4	03.20	61,6	43,5	15	8

