

L É G K Ö R

60. évfolyam

2015. 2. szám



ELHUNYT VENTURA EDUÁRD

Budapest, 1932. december 23. – Budapest, 2015. május 20.



Ventura Eduárd a gimnáziumi érettségi után az ELTE TTK meteorológia szakán folytatta tanulmányait. Ez idő alatt, a nyári szüneteket kihasználva a lőrinci Marczell György Obszervatóriumban a magaslégköri mérések végrehajtásába segédkezett. 1956-ban szerzett diplomát, és 1957-ben az OMI Rádiószondázó Osztályán helyezkedett el. 1961-ben a szegedi Rádiószondázó Obszervatórium munkájában, a magaslégköri mérések szakmai megindításában vállalt aktívan részt. A 60-as évek közepén a Műszerhitelesítő Osztály vezetésével bízták meg. 1970-ben az OMI, majd később az OMSZ Közalkalmazotti Szakszervezete titkárává választották több ciklusban. Mindkét megbízatását nyugállományba vonulásáig látta el. Hamvait a rákoskeresztúri református kápolna sírkertjében helyezték örök nyugalomra.

ELHUNYT BÖJTI BÉLA

Nagykanizsa, 1933. április 20. – Siófok, 2015. július 24.

Értesítjük mindazokat, akik ismerték és szerették, hogy dr. Böjti Béla, a Meteorológiai Szolgálat *Siófoki Viharjelző Obszervatórium* egykori vezetője elhunyt. Végakarata szerint szűk családi körben helyezték végső nyugalomra.



Böjti Béla Nagykanizsán született háromgyermekes családban. 1943-ban – miután elveszítette édesapját –, Kőszegre a Magyar Királyi Hunyadi Mátyás Katonai Nevelőintézetbe került. 1945-ben a háború végén megszűnt a katonai nevelés, így Nagykanizsán, a Piarista Gimnáziumban folytatta tanulmányait. Ezen éveit meghatározta a katonás rend, a piarista nevelés és a falusi környezet. A nyarakat egy kis zalai faluban töltötte, ahol a félrevert harangokkal kísért „viharak” élményei magukkal ragadták. Ekkor fogalmazódott meg benne, hogy milyen pályát szeretne választani, s érettségi után a meteorológus szakra jelentkezett az ELTÉ-re. 1955-ben kapta meg diplomáját, majd 1972-ben doktorált. Szakdolgozatát „*Az orográfia hatása a csapadéokra*” címmel írta. Ifjú diplomásként először az Országos Meteorológiai Intézetbe járt szakmai gyakorlatra és felkészülésre. Egyetemi kapcsolatok révén ismerte meg leendő feleségét,

akivel 1955-ben kötött házasságot. 1956. március 5-én felesége szülőházájába, Albániába utaztak, ahol az ottani Elnöki Tanács kezdeményezésére a tiranai Hidrometeorológiai Szolgálatnál kezdett dolgozni, technikai tudományos besorolásban. Állomások telepítése, csapadékadatok értékelése, valamint szaktanácsadás volt a feladata repülőterek építéséhez, lecsapolási munkálatokhoz. 1958-ban tért vissza Tiranából és előbb Pestlőrincen az Aerológiai Obszervatórium Sugárzási Osztályán a Nemzetközi Geofizikai Év adatainak feldolgozásával foglalkozott, majd az akkori elnök, Dési Frigyes 1959. január elsején Siófokra, az 1956-ban épült Balatonkutató és Viharjelző Obszervatóriumba helyezte. 1958 és 62 között Siófok volt a Balaton-kutatás bázisa, Kakas József irányításával, ahonnan a Budapest-Siófok közötti nyári repülések meteorológiai kiszolgálása is folyt. Böjti Bélát 1964-ben nevezték ki az obszervatórium vezetőjévé. Ezzel élete összefonódott a siófoki obszervatóriuméval: 28 évig vezette a létesítményt s 1990-ig, nyugdíjazásáig itt dolgozott. Munkásságával jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy a viharjelzés és a tó melletti kutató tevékenység műszaki, távközlési, informatikai fejlesztési eredményei lépést tarthassanak az országos és nemzetközi szinten is teret hódító rohamos technikai fejlődéssel. 1970-ben Centenárium emlékérmét vett át, 1976-ban a *Kiváló dolgozó* címet is elnyerte. 1988-ban, Rákóczi Ferenc egyetemi tanárral együtt az osztrák *Gerhard Schinze* díjban részesült, majd 1990-ben a Meteorológiai Társaság *Steiner Lajos emlékérmét* kapta meg. 1997-ben a *Somogy Polgáraiért* díjat vehette át „magas színvonalú munkájáért”, 2000-ben pedig a *Pro Meteorológia* miniszteri kitüntetést. Aktív, s küzdelmes életet élt, melyben segítségére volt ereje, hite, s nem utolsósorban az a szakmai gárda, amely körülvette. Köszönjük mindazokat az eredményeket, melyeket ránk hagyt.

Tisztelettel és szeretettel búcsúzunk tőle. Emlékét őrizzük.

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

A LÉGKÖR célja a meteorológia tárgykörébe tartozó kutatási eredmények, szakmai beszámolók, időjárás események leírásának közzétevése. A lap elfogad publikálásra szakmai útibeszámolót, 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 semmiféle speciális formázást. Amennyiben a közlésre szánt szöveghez ábra is tartozik, azokat egyenként kérjük beküldeni, lehetőleg vektoros formában. Az ideális méret 2 MB. Külön Word-fájlban kérjük megadni az ábraalíráásokat. A közlésre szánt táblázatokat akár Word-, akár Excel-fájlban szintén egyenként kérjük megadni. Amennyiben a szerzőnek egyéni elképzelése van a nyomtatásra kerülő közlemény felépítéséről, akkor szívesen fogadunk *kiegészítésül* PDF-fájlt is.

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

Felelős szerkesztő:
Dunkel Zoltán
a szerkesztőbizottság elnöke

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

ISSN 0 133-3666

A kiadásért felel:
Dr. Radics Kornélia
az OMSZ elnöke

Készült:
HM Zrínyi NKft.
nyomdájában
800 példányban

Felelős vezető:
Dr. Bozsonyi Károly
ügyvezető igazgató

Évi előfizetési díja: 2100.-Ft + 5% ÁFA
2205.- Ft
Megrendelhető az OMSZ
Pénzügyi és Számviteli Osztályán
1525 Budapest Pf. 38.
E-mail: legkor@met.hu

TARTALOM

CÍMLAPON: Üllőképződés kezdetén (Jenki Szilvia felvétele)

Elhunyt Ventura Eduárd	66
Elhunyt Böjti Béla.....	66
Szerzőink figyelmébe.....	66
50 éves a Horvát Meteorológiai Társaság.....	68
Wantuchné Dobi Ildikó: Nap- és szélenergia kutatás és oktatás konferencia.....	69

TANULMÁNYOK

Wantuchné Dobi Ildikó: Meteorológiai információk szerepe a szél- és napenergia hasznosításban	72
Ütőné Visi Judit, Kiss Barbara és Kovács Enikő: A megújuló energiák magyarországi oktatási vonatkozásai, európai kitekintéssel	74
Hartmann Bálint: Megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos hallgatói és oktatói kutatások a BME villamos energetika tanszékének villamos művek és környezet csoportjában	82
Tóth Péter és Bíróné Kircsi Andrea: A szélenergia hasznosítás legújabb eredményei	88
Brajnovits Brigitta: A szélenergia szerepe a jövő energiaellátásában és a meteorológiai előrejelzésekben.....	92
Csikós Nándor és Szilassi Péter: Szélerőmű-park kialakítására alkalmas terület kiválasztása geoinformatikai módszerekkel Csongrád megye példáján.....	98

KRÓNIKA

Tóth Róbert: A házsongárdi temetőben	104
Marton Annamária és Kovács Tamás: A 2015-ös tavasz időjárása.....	106

LIST OF CONTENTS

COVER PAGE: Genesis of 'incus' (Ms Szilvia Jenki's photo)

Mr. Eduárd Ventura passed away	66
Mr. Béla Böjti passed away	66
Instructions to authors of LÉGKÖR.....	66
Croatian Meteorological Society celebrates its 50 th anniversary.....	68
Ildikó Wantuchné Dobi: Conference on Research and Education of Sun- and Wind Energy.....	69

STUDIES

Ildikó Wantuchné Dobi: The role of meteorological information in wind and solar energy utilization	72
Judit Ütőné Visi, Barbara Kiss and Enikő Kovács: The Hungarian educational aspects of the renewable energies with an European outlook.....	74
Bálint Hartmann: Student and instructor research activities in the field of renewable energy, of the power systems and environment group of the department of electric power engineering.....	82
Péter Tóth and Andrea Bíróné Kircsi: Latest results of utilization of wind energy	88
Brigitta Brajnovits: The importance of wind energy in future energy production and meteorological forecasts	92
Nándor Csikós and Péter Szilassi: Optimisation of the wind farm location planning with GIS methods in Csongrád county case study area.....	98

CHRONICLE

Róbert Tóth: In the Central Cemetery of Cluj-Napoca	104
Annamária Marton and Tamás Kovács: Weather of Spring 2015.....	106

50 ÉVES A HORVÁT METEOROLÓGIAI TÁRSASÁG CROATIAN METEOROLOGICAL SOCIETY CELEBRATES ITS 50TH ANNIVERSARY

On 11th May 2015 Croatian Meteorological Society celebrated its 50th anniversary in Kras Auditorium (Ravnice 48, Zagreb). At the beginning of the gathering the president of Croatian Meteorological Society Mr. Alen Sajko, held short welcoming speech. Congratulations and good wishes for the future work of the Society came from: President of Hungarian Meteorological Society Mr. Zoltan Dunkel (salutation in English with some introductory Croatian sentences), deputy director of Meteorological and Hydrological Service of Croatia Mr. Krešo Pandžić, deputy head of Department of Geophysics, Faculty of Science in Zagreb Ms. Zvezdana Klaić, director of the Technical Museum Ms. Markita Franučić and secretary of Philatelic academia Mr. Božidar Husinec. Written greetings came from Mr. Željko Majstorović, Association of Meteorologists BiH, Sarajevo. At the proposal of the Managing Board of the Society, individuals and organizations received honours. Honours for lifetime achievement received Josip Juras and Čedo Branković. Honours for significant contribution to the development and operation of Society received the following individuals: Višnjica Vučetić, Kornelija Špoler Čanić, Dubravka Rasol, Alica Bajić, Janja Milković, Vesna Đuričić, Davor Nikolić, Katarina Kenda and Ivan Ljuština. Honours for significant contribution to the development and operation of Society received the following organizations: Meteorological and Hydrological Service of Croatia, Department of Geophysics (*Faculty of Science in Zagreb*) and Technical Museum in Zagreb. Honours for young meteorologists on this occasion received Petra Mikuš Jurković and Željko Večenaj. To mark the 40th anniversary of the Society, in 2005, Višnja Vučetić prepared the publication 40 years of the Croatian Meteorological Society, which then couldn't be issued, it existed only in electronic form. For the 50th anniversary, Amela Jeričević and Ksenija Cindrić Kalin, reworked publication and added activities of the Society in the past ten years. The plan is to translate the publication in English, and it should be completed and presented at *Challenges in Meteorology 4* – Scientific-professional conference with international participation – in November this year. After the official presentation a friendly reception closed the memorial session. The language of the event was Croatian of course but the local organisers were so kind that a Croatian-Hungarian, *Antun Marki*, helped the Hungarian representative to follow the ceremony. During the reception a kind animated conversation was in English between old Croatian colleagues and Hungarian president.

A Horvát Meteorológiai Társaság 2015. május 11-én ünnepelte fennállásának 50. évfordulóját. A megemlékezésre a Magyar Társaság is kapott meghívót. Szervezetünket az elnök képviselte. Az emlékülésre a Kras Auditorium (Ravnice 48, Zágráb) dísztermében került sor délután négy órai kezdettel. Az összejövetel kezdetén, a Horvát Meteorológiai Társaság elnöke, *Alen Sajko* tartott rövid üdvözlő beszédet. A megnyitó után a különböző szervezetek képviselői adták elő gratulációikat és jókívánásait. Elsők között a magyar társaság elnöke, Dunkel Zoltán kapott szót. Hála Tóth Róbert tagtársunknak a köszöntő elején néhány horvát mondat is elhangzott, amit a megjelentek örömmel fogadtak. Bár az ülés horvátul zajlott, a megértéssel nem volt

gond, mivel a horvát kollégák a magyar képviselő mellé ültették egy magyarul beszélő kollégájukat, *Antun Marki*-t. A Hidrometeorológiai Intézet igazgatóhelyettese *Krešo Pandžić* után a Geofizikai Tanszék helyettes vezetője, *Zvezdana Klaić* köszöntötte a jubiláló társaságot. A Technikai Múzeum képviselőjében *Markita Franučić*, majd *Božidar Husinec* köszöntése hangzott el. Levélben küldte el gratulációját az ünnepi ülésre *Željko Majstorović* a Bosznia-Hercegovinai Meteorológia Egyesület vezetője. A társaság vezető testületének javaslatára egyéneknek és szervezeteknek adományozott kitüntetések és elismerések átadásával folytatódott az ünnepség. Életmű díjat kapott *Josip Juras* és *Čedo Branković*. A Társaság fejlődésének és működésének előmozdításáért való jelentős hozzájárulásáért elismerő oklevelet kapott *Višnjica Vučetić*, *Kornelija Špoler Čanić*, *Dubravka Rasol*, *Alica Bajić*, *Janja Milković*, *Vesna Đuričić*, *Davor Nikolić*, *Katarina Kenda* és *Ivan Ljuština*. A Társaság fejlődésének és működésének előmozdításáért való jelentős hozzájárulásáért, mint közreműködő szervezet a horvát Hidrometeorológiai Intézet, a Geofizikai Tanszék és a zágrábi Műszaki Múzeum kapott elismerést. A ifjúsági munkáért, a fiatal meteorológusok közül, *Petra Mikuš Jurković* és *Željko Večenaj* kapott díjat. A Társaság 40. évi fennállása alkalmából *Višnja Vučetić* készített egy összefoglaló anyagot 2005-ben, amit akkor nem publikáltak, de elektronikus formában létezik. Az 50. évfordulóra *Amela Jeričević* és *Ksenija Cindrić Kalin* ezt a korábbi összefoglalót most kiegészítette az elmúlt 10 év eseményeivel. A tervek szerint, ennek az anyagnak készül majd az angol fordítása is, s bemutatásra kerül 2015. novemberében a *Challenges in Meteorology 4* nemzetközi tudományos konferencián. Az előadásokat és köszöntéseket egy jó hangulatú baráti állófogadás követte.



Alen Sajko elnöki köszöntője

Mr. Alen Sajko addresses the memorial session

NAP- ÉS SZÉLENERGIA KUTATÁS ÉS OKTATÁS KONFERENCIA

CONFERENCE ON RESEARCH AND EDUCATION OF SUN- AND WIND ENERGY

Wantuchné Dobi Ildikó

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., dobi.i@met.hu

Összefoglalás. 2014. május 29-én az OMSZ dísztermében került megrendezésre a „Nap- és szélenergia kutatás és oktatás” című konferencia. A rendezvényt a Magyar Meteorológiai Társaság három szakosztálya, a Nap- és Szélenergia, a Légkördinamikai és az Éghajlati Szakosztályok, valamint a MTB Légköri Erőforrás Albizottság (vezetői: Tar Károly, Mika János, Szépszó Gabriella, Péliné Németh Csilla és e cikk szerzője) közösen szervezték. A konferencia megrendezését az MMT és az OMSZ támogatta. Ebben az írásban a konferencia rövid krónikája olvasható.

Abstract. The 'Sun and Wind Energy Research and Education' conference was organized in Ceremonial Hall of OMSZ (Hungarian Meteorological Service) 29 May 2014. The program was organized jointly by three Sections of MMT (Hungarian Meteorological Society), namely 'Sun and Wind Energy', 'Atmospheric dynamics' and 'Climate Section' and Meteorological Scientific Committee's Sub-committee (Atmospheric Resources) chaired by Prof. Károly Tar, Prof. János Mika, Dr. Gabriella Szépszó, Csilla Péli-Németh and the author of this article. The organization of the conference was supported by MMT and OMSZ. The short chronicle of the conference is summarised in this paper.

A gyakorlat azt mutatja, hogy a nap- és szélenergia hasznosításához szükséges meteorológiai adatok és információk előállításával összefüggő kutatás-fejlesztésben az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) és a témát oktató felsőoktatási intézmények mellett más tanszékek, vállalkozások és egyéb intézmények is érintettek. A rendezvény széles körben került meghirdetésre. Olyan távoli szakmák oktatói is kaptak felhívást, akik az általuk vezetett szakdolgozathoz meteorológiai adatot használtak fel. A konferencia lehetőséget kívánt teremteni az aktuális kutatási eredmények közzétételére, kutató együttműködések kialakítására, továbbá a felsőoktatási képzési tapasztalatok megosztására.

Mint ismeretes, Magyarországon a megújuló energiaforrások arányát az EU RED¹ irányelve szerint 2020-ra minimum 13%-ra kell növelni. A Megújuló Energia Hasznosítás Cselekvési Terve ennél nagyobb, 14,65%-os célszámot határoz meg, ami a jelenlegi felhasználás közel megduplázását jelenti. A napenergia, ezen belül elsősorban a fotovillamos megoldások, valamint kisebb részben a szélenergia hazai felhasználásának növekedése várható az elkövetkezendő évtizedekben.

Az időjárásfüggés az alkalmazói oldalról számos kérdést vet fel, emiatt mind a beruházás, mind üzemeltetés során érzékelhetően nő a speciális meteorológiai információk iránt igény és bővül a fejlesztői és felhasználói kör. A



A konferencia közönsége

A Meteorológiai Tudományos Bizottság és a Magyar Meteorológiai Társaság évtizedek óta rendszeres publikus előadó ülésekkel segíti e két megújuló energiaforrás hazai elterjedését. A Meteorológiai Tudományos Napok keretében 1982-ben és 2001-ben ismerhették meg az érdeklődők az akkori aktuális kutatási eredményeket, 2005 óta pedig az OMSZ székházában mintegy 50 előadás hangzott el a témakörben.



Gyöngösi András Zénó (ELTE) előadást tart

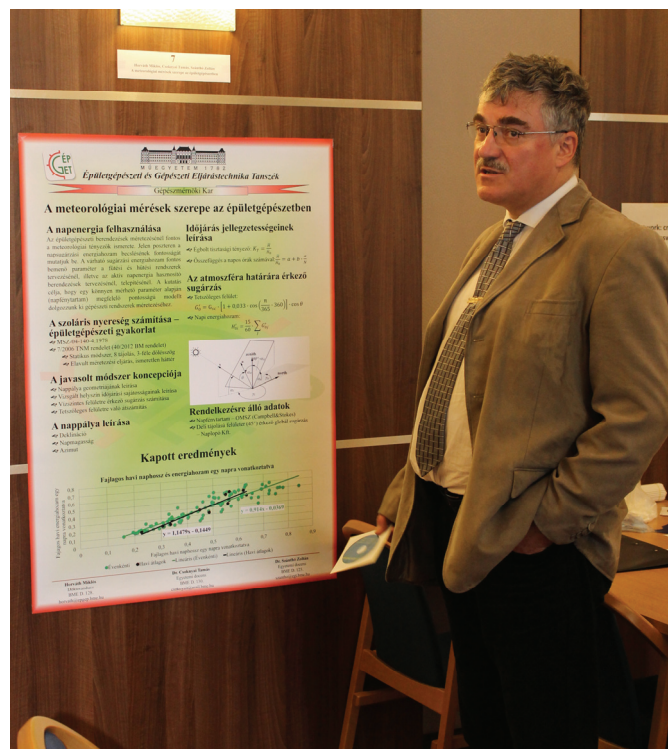
gyakorlat azt mutatja, hogy a nap- és szélenergia hasznosításához szükséges időjárási adatok és információk előállításával összefüggő kutatás-fejlesztésben az OMSZ és a témát oktató meteorológiai tanszékek mellett műszaki, társadalomtudományi és egyéb szakok, különféle intézmények és vállalkozások is érintettek. A széles körben meghirdetett rendezvény esetében újdonság volt, hogy az OMSZ *hallgatói adatkérése* keretében az utóbbi öt évben

¹ EU RED: European Commission Renewable Energy Directive

nap vagy szél adatot felhasználó szakdolgozók témavezetői is kaptak felhívást. A konferencia lehetőséget kívánt teremteni az aktuális kutatási eredmények közzétételére, kutató együttműködések kialakítására, továbbá a felsőoktatási képzési tapasztalatok megosztására.

A felhívásra 34 művel, előadással és poszterrel jelentkeztek a meghívottak. Végül 22 előadásból és 9 poszterből tájékozódhatott az 59 fős hallgatóság. Az előadások és poszterek áttekintést nyújtottak a különböző felsőoktatási intézményekben folyó oktatási tematikákról, az aktuális kutatási eredményekről. Több szekcióban is szerepelt az ELTE, a BME Gépész- és Villamosmérnöki Kara, az Óbudai és a Pannon Egyetem, továbbá hallottunk a gödöllői, a debreceni, nyugat-magyarországi egyetemeken, valamint a Nyíregyházi és Egeri Főiskolán zajló munkákról. A Magyar Napenergia Társaság három érdekes előadással gazdagította a programot. A COST ES1002 akció eredményeiről, továbbá néhány OMSZ-ban folyó munkáról is hangzott el beszámoló. A Gaiasolar, a Solart-System képviselte a vállalkozói kört.

Egy feltaláló a szélgépekhez alkalmazható újítást, pneumatikus erőátvitelről tartott demonstrációt. A bemutatók anyagai, a fotókkal együtt a Meteorológiai Társaság honlapján (www.mettarts.hu) megtekinthetők. A konferencia kapcsán megjelent DVD a konferenciára előzetesen beküldött cikkeket és előadásokat, valamint az elmúlt években az MMT Nap- és Szélerergia Szakosztálya és az MTB Léggöri Erőforrások Albizottság szervezésében elhangzott 17 előadást tartalmazta. A LÉGKÖR mostani száma válogatott cikkeket jelentet meg az eseményről. A konferenciáról részletes beszámoló a Magyar Energetika őszi számában (*Wantuchné Dobi és Szépszó, 2015*) olvasható.



A BME posztert Szánthó Zoltán ismertette

Irodalom

<http://www.mettarts.hu/rendezvenyek/nap-es-szelenergia-kutatas-es-oktatas-konferencia/>

Wantuchné Dobi, I. és Szépszó, G. 2015: Konferencia a nap- és szélerergia kutatásról és oktatásról. Magyar Energetika 2015/1, 2-4 old



A pneumatikus szélkerék feltalálói Mucsv Fndre

A KONFERENCIA PROGRAMJA

Plenáris szekció

Megnyitó: Radics Kornélia (OMSZ, MMT)

Szekcióelnök: Bozó László (OMSZ, MTA X osztály)

Dobi Ildikó (OMSZ): Meteorológiai információk szerepe a szél és napenergia hasznosításában

Csima Gabriella (OMSZ): A COST ES1002 akció munkája

Ütőné Visi Judit, Kaknics-Kiss Barbara, Kovács Enikő (Eszterházy Károly Főiskola): Megújuló energiaforrások a hazai felsőoktatásban, európai kitekintéssel

Hartmann Bálint (Budapesti Műszaki Egyetem): Megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos hallgatói és oktatói kutatások a BME Villamos Energetika Tanszékének Villamos Művek és Környezet Csoportjában

Széleenergia-1

Szekcióelnök: Dobi Ildikó (OMSZ)

Tar Károly (Nyíregyházi Főiskola): A széleenergia kutatása a Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszékén (1980-2014)

Radics Kornélia¹, Bartholy Judit², Péliné Németh Csilla³ (OMSZ, ²ELTE Meteorológiai Tanszék, ³MH Geoinformációs Szolgálat): Hazánk széleklímája, a széleenergia hasznosítása

Tóth Péter¹, Bíróné Kircsi Andrea² (¹Széchenyi István Egyetem, ²Debreceni Egyetem): A széleenergia hasznosítás legújabb eredményei

Kádár Péter (Óbudai Egyetem): Széleenergia mérések az Óbudai Egyetemen

Brajnovits Brigitta (OMSZ): Előrejelzett széleesség alapján számított teljesítménybecslés statisztikai korrekciójának lehetőségei

Weidinger Tamás, Gyöngyösi András Zénó, Wendl B., Molnár Csilla (Eötvös Loránd Tudományegyetem): Széleenergia termelési becslések és előrejelzések az ETA és a WRF modell alkalmazásával

Gőz Lajos (Nyíregyházi Főiskola): A nap- és szélerőművek integrálásának kérdései Európában

Poszter szekció

Szekcióelnök: Szépszó Gabriella (Országos Meteorológiai Szolgálat)

Patkós Csaba, Mika János (Eszterházy Károly Főiskola): Nap- és széleenergia oktatása és népszerűsítése Egerben

Pieczka Ildikó¹, Bartholy Judit¹, Breuer Hajnalka¹, Pongrácz Rita¹, Radics Kornélia² (¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, ²Országos Meteorológiai Szolgálat): Új jegyzet az ELTE-n: Megújuló energiaforrások

Vass Attila (Óbudai Egyetem): Napenergia kutatások az Óbudai Egyetemen

Pátkainé Rusznyák Renáta¹, **Dobi Ildikó**², **Kerényi Judit**², **Barcza Zoltán**¹ (¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, ²Országos Meteorológiai Szolgálat): EUMETSAT CM-SAF Meteosat és NOAA adatokból

származtatott globálsugárzás adatainak összehasonlító vizsgálata felszíni adatok felhasználásával

Molnár Csilla (Eötvös Loránd Tudományegyetem): Sugárzásmérleg komponensek modellezése

Menyhárt László, Anda Angéla, Nagy Zoltán (Pannon Egyetem Georgikon Kar): Piranométer szintezési hibájának hatása a mért globálsugárzás értékekre

Horváth Miklós, Csoknyai Tamás, Szánthó Zoltán (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem): A meteorológiai mérések szerepe az épületgépészetben

Mucsy Endre (egyéni vállalkozó): Szélkerék pneumatikus erőátvitelű szélgépéhez

Oravecz Ágnes (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem): Családi ház esővízzel történő vízellátásának vizsgálata

Napenergia

Szekcióelnök: Tar Károly (Nyíregyházi Főiskola)

Mika János¹, Csabai Edina¹, Molnár Zsófia², Nagy Zoltán², Pajtókné Tari Ilona¹, Rázi András^{1,2}, Tóth-Tarjányi Zsuzsa², Dobi Ildikó² (¹Eszterházy Károly Főiskola, ²Országos Meteorológiai Szolgálat): Nap- és széleenergia potenciál becslés Eger térségében

Farkas István (Szent István Egyetem): Termikus napenergia hasznosítás nemzetközi helyzetkép

Pálffy Miklós (Solart-System): A fotovillamos napenergia hasznosítás helyzete

Véghely Tamás (Gaiasolar Kft.): A napelem technológia fejlődésének áttekintése 1954-2014 (2%-tól a 114%-ig, és az önszerveződő napelemekig)

Tóth Zoltán, Morvai Krisztián, Nagy Zoltán, Szintai Balázs (OMSZ): Az AROME modell globálsugárzás előrejelzésének verifikációja

Kassai-Szoó Dominika (Budakalász Polgármester Hivatal): Városi tetőfelületeken hasznosítható napenergia potenciál

Széleenergia-2

Szekcióelnök: Mika János (Eszterházy Károly Főiskola)

Puskás János, Tar Károly, Szepesi János (Nyugat-magyarországi Egyetem): A napi átlagos széleesség statisztikai elemzése Nyugat-Magyarországon

Péliné Németh Csilla¹, Bartholy Judit², Pongrácz Rita² (¹MH Geoinformációs Szolgálat, ²Eötvös Loránd Tudományegyetem): Széleadatok homogenizálása és korrekciója

Illy Tamás¹, **Szépszó Gabriella**² (¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, ²Országos Meteorológiai Szolgálat): Széleenergia becslések regionális éghajlati modellek alapján

Csikós Nándor, **Szilassi Péter**: Szélerőműpark kialakítására alkalmas terület kiválasztása

Lázár István (Debreceni Egyetem): Székelyföldi meteorológiai állomások széleesség eloszlásainak vizsgálata

Tar Károly (Nyíregyházi Főiskola): **Konferencia zárás**

METEOROLÓGIAI INFORMÁCIÓK SZEREPE A SZÉL- ÉS NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSÁBAN

THE ROLE OF METEOROLOGICAL INFORMATION IN WIND AND SOLAR ENERGY UTILIZATION

Wantuchné Dobi Ildikó

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest Kitaibel Pál utca 1., dobi.i@met.hu

Összefoglalás: A szén-dioxid-kibocsátás korlátozása túlnyomórészt az energia szektort érinti. Az emisszió csökkentése érdekében a megújuló energiaforrások alkalmazása, ezen belül a nap és szélergia felhasználás az elkövetkezendő évtizedekben várhatóan jelentősen megnövekszik. Mivel ez a két forrás időjárásfüggő, a létesítmények helyének kiválasztásához, a gazdaságossági becslésekhez, az üzemeltetéshez stb. speciális, célirányos meteorológiai információk szükségesek. A cikk az energia szektor felhasználói oldaláról jelentkező igényeket, a meteorológiai oldalról pedig a nap és szélergia kutatás, fejlesztés és szolgáltatás szempontjait, főbb irányvonalait vázolja fel.

Abstract: The main sources of carbon dioxide mitigation belong to the energy sector. In order to reduce emission in the coming decades it is advisable to increase the renewable energy utilization including solar and wind energy. Taking into account that both are weather-dependent resources it means, that demands for different kind of special meteorological information may increase e.g. for selection of optimal location, to make cost-efficiency estimation, for operation etc. Present article outlines main aspects from user and from meteorological service provider sides.

Az IPCC AR5 jelentése 2100-ra a Föld globális átlagos felszíni hőmérsékletváltozását a legoptimistább esetben 1,5 °C és a legpesszimistább forgatókönyvek szerint átlagosan 5 °C körül valószínűsíti. Ez a közel 4,5 °C-ra becsült hőmérsékleti tartomány jelöli ki azt a mozgásteret, amiben jelenlegi ismeretek szerint az emberiség az antropogén hatás korlátozásával beavatkozhat a természeti folyamatokba. Minél később válik általánossá a klíma melegedését elősegítő üvegházgázok kibocsátásának korlátozása és az alkalmazkodási megoldások elterjedése annál drasztikusabb intézkedésekre lesz szükség.

A sürgető mérséklésre három megoldás lehetséges:

- (1) A Naptól a felszínre jutó besugárzás csökkentése. Ennek egyik módja az albedó módosítása pl. zöld vagy fehér tetők alkalmazásával, vagy a légköri vízszaverődés csökkentése a „geo-engineering” aggályos metodikájával.
- (2) A problémákat előidéző üvegházgázok kibocsátásának csökkentése, ezen belül is elsősorban a dekarbonizációra irányuló megoldások dominálnak.
- (3) A kevésbé hatásos eszköztár a kibocsátás elnyelés különféle technikái, a még főként kutatási fázisban lévő CCS (geológiai tárolás) illetőleg az erdészet, bioszféra és a talajgazdálkodás eszközei.

Összességében a mérséklési stratégiák elsöprő többsége energiaellátásra, technológiai megoldásokra (innovációk, megújuló energiaforrások) és a *karbon árazásra* fókuszál. Ezzel összefüggésben az elkövetkezendő évtizedekben legtöbbet energiatakarékossági beruházásokra fognak költeni, várhatóan kb. 650 milliárd USD/év összeggel piacvezető lesz az iparág világszerte, a megújuló energiákra kb. a harmadát fogják fordítani (Forrás: IPCC WG3 AR5). A prominens iparágak közé tartozik a szél és a napenergia hasznosítás, melyek növekedése az elmúlt öt évben jellemzően a szélergia beruházásoknál 25%, a fotovillamos létesítményeknél 50% körül alakult. Mindkét energiaforrás időjárásfüggő, amely a meglévő elektromos ellátó hálózatra történő integrálás során nehezen kezelhető instabilitást okoz a rendszerben. A szélturbinák esetén, például az elektromos teljesítmény folyamatosan ingadozik nulla és névérték között, emiatt a szélergia hasznosítás alapkérdése a pontos előrejelzés

(Jánosi, 2012). Szolár parkoknál hasonlóan gond az energia tárolása és az egyenletes ellátás biztosítása. Mindezek arra utalnak, hogy a meteorológiai információk szerepe az energia szektoron belül jelentősen megnő, új, szektor-specifikus szolgáltatásokra lesz igény Magyarországon is.

Felmerül a kérdés, hogy az energiaszektor, mint felhasználó általában milyen célra milyen jellegű meteorológiai információt igényel? Nemzetközi felmérés szerint alapvető cél a döntéstámogatás, ezen belül rövid távú, operatív döntések, illetőleg hosszú távon új létesítmények tervezése és telepítése, valamint a meglévő létesítmények emisszió korlátozásával összefüggő tevékenységi körének kiszolgálása.

Az iparágon belül a felhasználók köre öt nagy célcsoportra különíthető el, mindegyiknek más a meteorológiai információ igénye (WMO Bulletin). A nagyközönség folyamatos energiaszolgáltatást vár el, és főleg extrém helyzetekre kíván felkészülni, emiatt számukra főként a tartózkodási helyükre vonatkozóan a szélsőséges eseményekre történő riasztás a legfontosabb elvárás. A következő felhasználói kör a hálózati menedzserek, akik felelősek a megbízható folyamatos rendszerüzemeltetésért, a „mérlegkör-menetrendért”. Az energiafogyasztás minél pontosabb megtervezéshez komplex modelleket használnak, melyek a hálózat területére 10 perctől néhány napos időtartamra input adatként használják fel a meteorológiai numerikus előrejelzési eredményeket. A harmadik csoport a politikusok, akik az energia ellátását veszélyeztető helyzetekben szükséges gyors döntéshez igényelnek szaktanácsadást, valamint a választási ciklusokon túl nyúló ún. „középtávú” tervezéshez döntéstámogatást. A negyedik a befektetői kör, melynek célja a létesítmény gazdaságos üzemeltetése. Ehhez minél pontosabb előrejelzés, riasztás és a létesítmények élettartamára vonatkozó éghajlati projekciókra van szüksége. A felhasználók közé tartoznak a kereskedők, akik számára főleg a hűtési és fűtési időszakokra „testre szabott” szolgáltatások kellenek, pl. szállításhoz, tároláshoz, elosztáshoz.

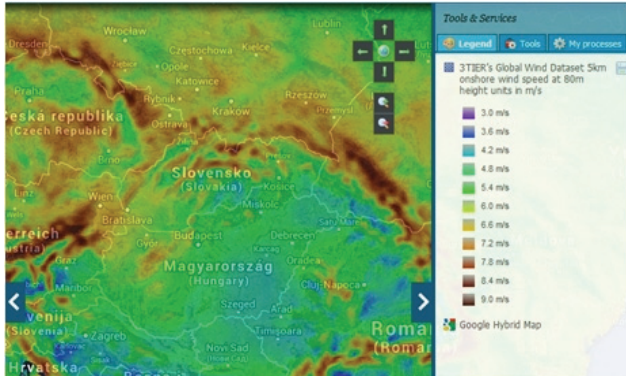
Az igényelt információk a meteorológus szempontjából a szakma teljes spektrumát lefedik, ugyanis pl. a „near real time” ismeretek közül felhasználásra kerül az összes felszíni és magas légköri megfigyelés, beleértve a modell grid adatokat is. A „long-term” adatokhoz az éghajlati

statisztikák, szélsőségek teljes köre a jövőbeli becslésekhez a klímamodellézési ismeretek hasznosulnak. A térskálát illetően a mikro-, mezo- és makroskála az egyetlen napelem cella ill. széltorony becslésétől a globális energia potenciál meghatározásáig terjed.

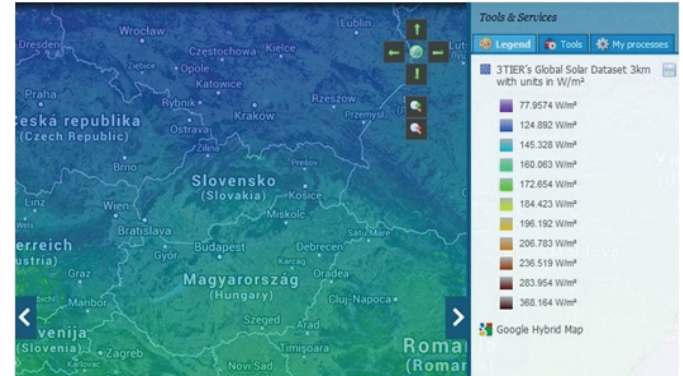
A speciális fejlesztési igények miatt az energetika és a meteorológia határterületén *L.O. Olson* a Megújuló Energiák Első Világkongresszusán (1990) új terminoló-

- szelerómű és szélpark modellezés,
- szélenergia előrejelzések fejlesztése.

Az utóbbi években a szél és napenergia parkok elterjedésével egyre több szakmai konferencia külön szekciót szentel a témának, „Energy & Meteorology” címmel pedig 2011 óta kétfévente megrendezésre kerülő rendezvény sorozat indult (ICEM2011 Gold Coast, Ausztrália; ICEM2013 Toulouse, Franciaország).



1. ábra: Átlagos szélesség 80 méter magasságban 1997-2006, órás adatokból 5 km felbontással (Copyright (c) 2011 3TIER, Inc)



2. ábra: Átlagos felszíni besugárzás (1997-2006) műholdas adatokból 3 km felbontással (Copyright (c) 2011 3TIER, Inc)

gia, az energiameteorológia bevezetését javasolta (2nd World Renewable Energy Congress, 1992). A terület „küldetése” az energiaipar számára szükséges operatív szolgáltatások és specifikus meteorológiai alap és alkalmazott meteorológiai ismeret igénylő kutatási feladatok megoldása. Ebbe beletartozik minden olyan meteorológiai kérdés, amely az energia kitermelésével, előállításával, átalakítással, szállítással vagy felhasználással stb. összefügg. Tágabb értelemben a kölcsönhatás másik oldala, azaz az energia szektor éghajlatra gyakorolt hatása, ezen belül pl. kibocsátás korlátozás is a tárgykörhöz tartozik. Elsősorban, olyan fejlesztéseket céloz meg, amelyek elősegítik a megújuló energiák gazdaságos felhasználását. Sajátossága, hogy a speciális feladatok megoldása nélkülözhetetlenné teszi az érintett mérnöki és természettudományos szakmák (meteorológus, villamosmérnök, fizikus, informatikus stb.) folyamatos együttműködését, emiatt a természet és a technológia közötti „interfésznek” is nevezik. A szakterületen belül további két irányvonal körvonalazódott a „Nap Energia Meteorológia” és „Szél Energia Meteorológia” (<http://www.uni-oldenburg.de/>).

A napenergia számításokkal kapcsolatos kutatás fejlesztések fő irányvonalai napjainkban:

- a napsugárzás tér és időbeli változásának hatása az energia rendszerekre a fotovillamos cellától az hálózatokig.
- műholdas sugárzás mérés felhasználása. Helykiválasztáshoz, költség/haszon becsléshez, monitoring és kontroll célokra egyaránt alkalmazzák.
- a napenergia előrejelzése. Különböző specifikus előrejelző modellek segítik a hatékony és gazdaságos grid integrációt.

A szélenergia területén belüli jelenlegi kutatások:

- a fent említett hálózat integráció,
- speciális topográfiájú helyek feletti áramlások (pl. hegyek, óceánok) modellezése,
- a létesítmények körüli légrétegződés, turbulencia jelenségek mikro modellezése,

A szakterület rendkívül innovatív, felhasználó központú, egyedi kiszolgálást és magas minőséget követel. A nemzetközi együttműködések szerepe a gyors fejlődés miatt, különösen az oktatás és a virtuális képzés területén kiemelkedő jelentőségű. További sajátossága, hogy a nagytömegű szabadon hozzáférhető adat és információ érhető el, amely a technológiák elterjedését kívánja elősegíteni. A Nemzetközi Megújuló Energia Ügynökség (IRENA) honlapjáról hozzáférhető un. interaktív Globális Atlaszok, melyek a világ bármely pontjára „standard” szél és napenergia értékeket nyújtanak. Egyebek között elérhetőek szélterképek 10 évnyi órás adatsorból 20, 50 vagy 80 m turbina magasságokra 5 km felbontással és 3 km-es felbontású műholdas információkat felhasználó sugárzási térképek is (<http://irena.masdar.ac.ae/?map=180>).

A hazai nap és szélenergia hasznosítás elősegítésére az OMSZ alapvetően szolgáltatásokat nyújt, pályázatok függvényében végez K+F tevékenységet. A felsőfokú képzésben a BsC/MsC/PhD dolgozatok elkészítését adatokkal ill. témavezetéssel segíti. Az MTA Meteorológiai Tudományos Bizottsága (MTB) által szervezett Meteorológiai Tudományos Napok témája 1982-ben „A légköri erőforrások hasznosítása az energiagazdálkodásban Magyarországon, 2001-ben pedig „A légköri erőforrások hasznosításának meteorológiai alapjai” volt. Az MTA/MTB Légköri Erőforrás Albizottsága és a Magyar Meteorológiai Társaság szakosztályai, köztük a Nap és Szélenergia Szakosztály, rendszeres előadó üléseket szervez az ismeretterjesztés és a szakmai együttműködés kiépítése érdekében. A Társaság 2014. május 29-én rendezett első alkalommal konferenciát e témakörben (*Magyar Energetika*, 2014).

Irodalom

Jánosi, I., 2012 : A szélenergia hasznosításának hazai perspektívái.; *Magyar Energetika*, ISSN 1216-8599, 19, 40-42
WMO Bulletin, Vol 60(2), 73-80

A MEGÚJULÓ ENERGIÁK MAGYARORSZÁGI OKTATÁSI VONATKOZÁSAI, EURÓPAI KITEKINTÉSSEL

THE HUNGARIAN EDUCATIONAL ASPECTS OF THE RENEWABLE ENERGIES WITH AN EUROPEAN OUTLOOK

Ütőné Visi Judit, Kiss Barbara, Kovács Enikő

Földrajz és Környezettudományi Intézet, Eszterházy Károly Főiskola, Eger,
visij@ektf.hu, kiss.barbara@ektf.hu, kovacseniko@ektf.hu

Összefoglalás. A társadalom egyre inkább tudatába kerül annak, hogy az eddigi pazarló energiafelhasználás nem folytatható tovább. Megoldás csak összehangolt munkával lehetséges. Ez sikeresen akkor valósítható meg, ha az oktatás hatékonyan vesz részt ebben. A dolgozat a hazai köznevelést alapjaiban szabályozó dokumentum, a NAT 2012 elemzésével foglalkozik ebből a szempontból. Az elemzések azt igazolták, hogy a reformok során történt kedvező elmozdulás, de az igazi szemléleti áttöréstől még messze vagyunk.

Abstracts. The society realises that the wasting energy consumption is not sustainable any more. A solution is possible with harmonized co-operation only. The problem could be solved successfully if the education takes part in it very effectively. The paper deals with the analyses of NAT 2012 (Hungarian Basic Education Plan). from this viewpoint The document regulates the domestic popular education in Hungary. The analyses justified that a favourable shift happened in the course of the reforms, but we are far yet because of the real view breakthrough.

Bevezetés. A környezet megismerésének igénye együtt alakult az emberi civilizációk fejlődésével. Már a gyűjtő-
gető ősember számára is életbe vágóan fontos volt, hogy alaposan ismerje az őt körülvevő környezetet. A megismert környezet kezdetben alig terjedt túl a néhány nap alatt bejárható területnél. A társadalom fejlődésével azonban együtt járt a megismert környezet kitágulása, a fejlődés szempontjából mind fontosabbá vált a távolabbi területek megismerése és az ott fellelhető „erőforrások” (élelem, víz) hasznosítása. Kezdetben ez nem terjedt túl az összegyűjthető, hazavihető gyümölcsökön, magvakon, vadakon vagy később a víz és a tűz hasznosításán. Bár az ember már ekkor is megváltoztatta a természetes környezet folyamatait, ez azonban nem jelentett alapvető és visszafordíthatatlan változásokat (*Mendöl, 1999*).

A gazdasági fejlődés együtt járt az életszínvonal emelkedésével, amelyet a fogyasztás kiszélesedése és gyors növekedése kísért, ennek hátterében pedig az energiaigény rohamos növekedése húzódott meg. A világ energiafogyasztása a Világbank becslése szerint a 2000. évi 15 milliárd tonna szénegyenértékről 2030-ra elérheti a közel 28 milliárd tonnát, a villamos energia igény a 2005. évi 18 000 milliárd kWh-ról 2030-ra 35 000 milliárd kWh-ra emelkedhet. A népességszám-növekedés és az energiaigény alakulásának történelmi léptékű változását mutatja be az *1. ábra*.

Tovább árnyalja a képet, ha azt is megnézzük, hogy hogyan oszlik meg az energiaigény növekedése a Földön (*2. ábra*).

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2013-as jelentésében megállapítja, hogy a világ energiaigényének növekedésében egyre inkább a feltörekvő ázsiai országok jutnak meghatározó szerephez. Napjainkban, Kínában, de 2020 után várhatóan már Indiában lesz a legnagyobb mértékű az energiahordozók iránti igény növekedése.

A jelentés más szempontból is vizsgálja az energiatermelés környezeti hatását. A növekvő energiaigény egyre

nagyobb mértékű szén-dioxid-kibocsátással járt. Különösen a 20. század második felétől gyorsult fel ez a folyamat. A múlt század végéig ebben a fejlett világ országai játszottak meghatározó szerepet. A 21. század elejére azonban megváltozott a kép. Noha az egy főre jutó energiafogyasztás a fejlődő világban még 2030 körül is csak alig a fele lesz az OECD országokban tapasztalhatónak, a szén-dioxid-kibocsátás döntő része azonban már ezekből az országokból jut a légkörbe (*3. ábra*).

Érdeemes elgondolkodnunk azon, hogy az energiaigény növekedése együtt jár-e a fenntarthatóság és a környezet állapota szempontjából kedvezőbb megújuló energiaforrások iránti igény növekedésével, vagy továbbra is a hagyományos energiaforrásoké marad a vezető szerep. Erre adhat választ az IEA jelentés prognózisa (*4. ábra*), amely alapján megállapítható, hogy az elkövetkező évtizedekben jelentősen megnő az igény a megújuló energiahordozók iránt. A hagyományos energiaforrások közül a földgáz és a hasadóanyagok kereslete nő a legnagyobb mértékben, emellett jelentősen csökken az energetikai szempontú kőszén- és kőolaj-felhasználás növekedése.

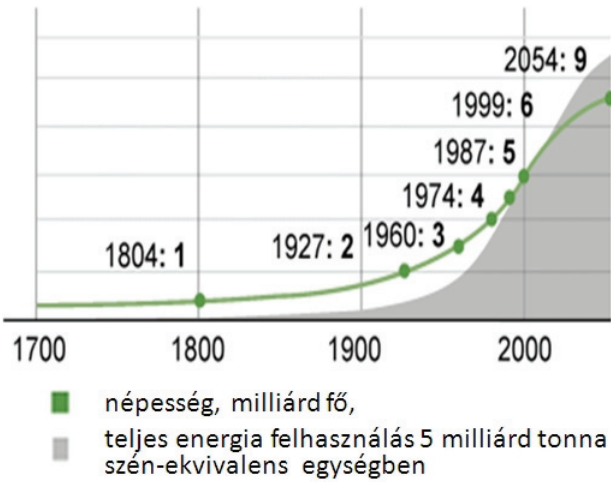
A világ energia igényének 13%-át jelenleg már megújuló hordozók felhasználásával biztosítják, és ezt az értéket az Európai Unió (EU) „Energia 2020” stratégiája alapján Magyarországnak is el kell érnie 2020-ig. Hazánk nemzeti célul jelölte meg, az előirányzott 13% helyett, a 14,65%-os hasznosítási arányt. Az EU stratégiai célkitűzése, hogy tagországai 20%-kal csökkentsék az üvegházgázok kibocsátását, 20%-kal növeljék a megújuló energiahordozók használatának arányát, valamint 20%-kal csökkentsék (<http://ec.europa.eu>) az energiafelhasználás arányát.

Nem véletlen, hogy egyre nagyobb szerepet kap a jóval kisebb környezeti kockázattal járó és bőségesen rendelkezésre álló megújuló energiaforrások hasznosítása, illetve az erre irányuló kutatás-fejlesztés. Ezt igazolja az IRENA (Nemzetközi Megújuló Energia Ügynökség)

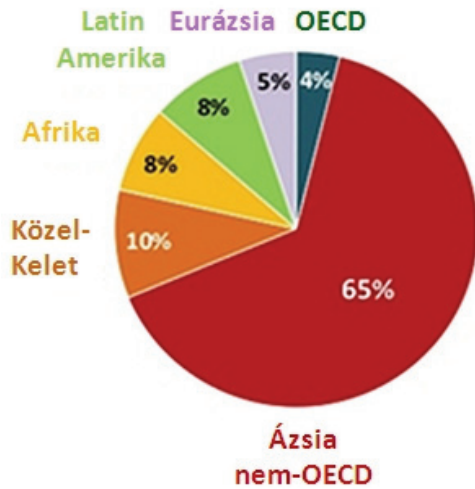
éves közgyűlésén elhangzott prognózis, amely szerint 2030-ra megduplázódhat a megújuló energiaforrások részaránya a világ energiatermelésében. Ezzel együtt tovább nőhet az ágazatban foglalkoztatottak száma, ami jelenleg 5,7 millió fő (<http://www.hvg.hu>).

A technikai-technológiai hatékonyság mellett kiemelkedően fontos az energiatudatos egyéni és kisközösségi életmód. Az új keletű fogalommal *negajoule*-nak nevezett energiarendszer és -szemlélet elterjedésében és elter-

Alapvető jelentőségű, hogy az iskolában megismerkedjünk környezetünkkel, mindazzal, ami körülvesz bennünket. Az ember és a természet közti folyamatok azonban nem egyirányúak. Ha e két oldal közül az egyik hatást gyakorol a másikra, az soha nem marad válasz nélkül. A természet és az ott lezajló folyamatok egységes rendszert alkotnak, amelynek elemei összhangban vannak egymással – ez a jól működő rendszer egyben a földi élet feltétele is.



1. ábra: A világ népességszám és energia felhasználásának alakulása (adatok: ENSZ és Világbank, www.siemens-home.com)

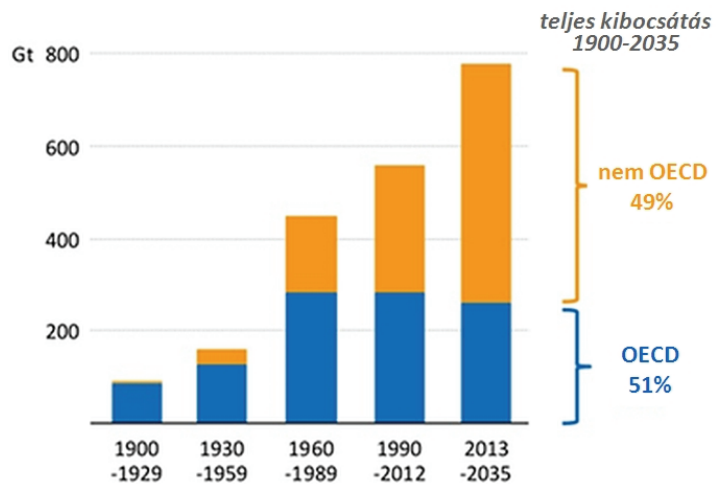


2. ábra: Az energiaigény növekedésének megoszlása 2012-2035 között (IEA, 2014)

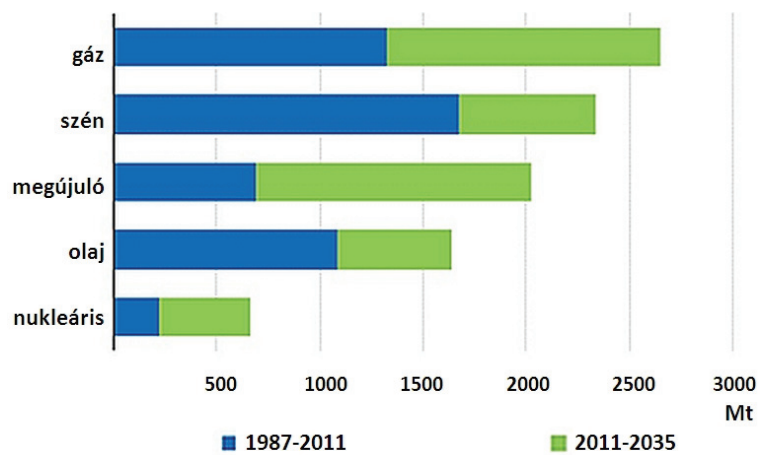
jesztésében meghatározó szerepe van a közoktatásnak, ezen belül is kiemelt feladat hárul a természettudományos oktatásra (fizika, kémia, biológia, földrajz), illetve a minden tantárgyat összekapcsoló környezeti nevelésre (Németh, 2012).

A természettudományos tárgyak globális szemléletmódra alapoznak, komplex ismeretrendszert alkotnak, ahol az egyes részterületek szorosan kapcsolódnak egymáshoz.

Ez a komplex szemlélet a földrajzban még inkább felfedezhető, hiszen ismeretrendszere a természettudomány több területére kiterjed, sőt ezeket összekapcsolja a társadalomtudományokkal is. Az elméleti ismeretek átadása mellett a gyakorlatias megközelítés egyaránt jellemzi.



3. ábra: Az energiatermeléshez kapcsolódó szén-dioxid kibocsátás alakulása (IEA, 2014)



4. ábra: A növekedés megoszlása energiahordozók szerint (IEA, 2014)

Az ember a környezeti rendszer bármely elemére hatást tud gyakorolni, ezzel azonban folyamatok egész sorát indíthatja el, amelyekből ő maga sem marad ki. Akárhogyan avatkozunk be a környezeti tényezők rendszerébe, annak összekapcsoltsága révén, végül saját magunkhoz találunk vissza (Kerényi, 2006). Ezt szem előtt tartva, tudatosan kell megtervezni az ipari technológiákat, az ember által létrehozott mesterséges folyamatokat és saját, személyes tevékenységünket is, amelyek közül talán a legfontosabbak az energiafogyasztási szokások.

Világossá vált, hogy a környezeti problémák globális hatásai csak közös összefogással, tudatos energiahasznosítással csökkenthetőek. Rá kell ébrednünk, hogy a primer energia előállításából származó károsító hatások minimá-

lisra csökkentése – a fenntarthatóság érdekében – időszerrű, és nem csak a tudósok, gazdasági szereplők, vezetők dolga, hanem mindenkié (Bozsoki, 1998). Elkerülhetlenné vált, hogy az iskola keretét biztosítsa az energiafelhasználással kapcsolatos ismeretek oktatásának, ezzel együtt bemutassa, hogy milyen veszélyekkel és lehetőségekkel kell szembenéznie a mai kor emberének.

A környezeti nevelés gondolata az oktatásban. Környezeti nevelés, annak ellenére, hogy általában az 1972-es stockholmi környezetvédelmi konferenciához kapcsolják a fogalom megszületését, már korábban is jelen volt. Bár kissé más névvel illették, és az adott kor igényeinek megfelelően, tartalmában máshova került a hangsúly. Ide sorolhatók azonban a korai erdei iskolák Németországban vagy az Osztrák-Magyar Monarchia területén. Környezeti nevelést-oktatást végeztek a civil szervezetek által létesített és működtetett ún. tereptanulmányi központokban (Anglia, USA, Hollandia). Hazánkban is bő egy évszázados múltra tekint vissza a természet megfigyelésének, védelmének beépítése az oktatásba. Ezt bizonyítja, hogy 1906-ban – Európában elsőként – hazánkban rendelték el az iskolákban a Madarak és fák napjának megünneplését (Kárász, 2012).

Magyarországon az 1970-es évek végétől jelentek meg a környezet védelmét szolgáló iskolai oktatási programok. Az 1987-es tanterv bevezetésével, az abban megjelenő környezeti tartalmaknak köszönhetően hivatalosan is a közoktatás feladatává vált a környezetvédelmi nevelés.

Az 1980-as évek közepétől a tankönyvekben is egyre több információ jelentik meg a témához kapcsolódóan például a Tóth – Sárfalvai: Földrajz I tankönyvben.

A környezeti nevelés szempontjából mérföldkő volt az 1995-ben elfogadott Nemzeti Alaptanterv, mert itt fogalmazódik meg először közös oktatási követelményként a környezeti nevelés, azaz olyan hangsúlyos tartalmi és szemléleti elemmé válik, amelynek minden tantárgyban meg kell jelennie.

Ez a szemlélet folytatódik az egymást követő átdolgozott alaptantervekben is, és különösen hangsúlyos fejlesztési területté vált az 2012-ben elfogadott legújabb Nemzeti Alaptantervben. 2004-től a közoktatásban az iskolák oktatási-nevelési szempontból meghatározó pedagógiai programjának kötelező részévé vált a környezeti nevelés. Az Erdei iskola, a Zöld óvoda és Ökoiskola programok és hálózatok tovább szélesítették a környezeti, vagy fenntarthatóságra nevelés színtereit és módszereit (Kárász, 2012).

A fenntarthatóságot a középpontba állító szemlélet folyamatos megújulást kíván, melyhez nagyfokú rugalmasságnak kell társulnia, főként igaz ez az oktató-nevelő munkát végző szakemberek esetében. Amíg régebben megfelelt, hogy egy tanár vagy szakember csak a saját tudományterületéhez értsen, ma már elvárhatóvá vált, hogy horizontálisan is széles körű ismertekkel rendelkezzen (Czipán et al., 2010).

Az ENSZ nemzetközi kezdeményezése a tudatos energiahasznosítás fontosságának felismertetése érdekében a

2012-es évet a „Fenntartható Energia Mindenkinék” évének nevezte el. Ez a kezdeményezés felhívta a figyelmet a klímaváltozást, a légkör felmelegedését előidéző tényezőkre, amelyek között vezető helyet foglal el a fosszilis energiahordozók mind nagyobb arányú elégetése (Boldizsár, 2012).

Energiafelhasználás, mint globális probléma a Nemzeti Alaptantervben. A megújuló energiák nagyobb arányú hasznosításához elengedhetetlen a lakosság pozitív hozzáállása, ennek kialakítása azonban nem könnyű feladat. Sokat segíthet ebben az iskolai oktatás, amely a gyerekek, a fiatalok ismereteinek bővítésével és szemléletének, gondolkodásának formálásával közvetlenül és közvetve is hozzájárul a felelős környezeti magatartás kialakulásához. A közoktatásban zajló nevelő-oktató munkát a Nemzeti Alaptanterv határozza meg, ezért tartottuk fontosnak, hogy ezt az alapidokumentumot elemezzük a kiválasztott szempontból.

A környezeti nevelés megvalósulásának vizsgálatához kulcsszavas dokumentumelemzést végeztünk. A kiválasztott és végigfuttatott kulcsszavak:

- megújuló energia,
- klímaváltozás,
- energiatudatosság,
- fenntarthatóság,
- környezeti szemlélet.

Az elemzés kiterjedt a Nemzeti Alaptanterv alábbi fejezeteire:

- az iskolai nevelő-oktató munka tartalmi szabályozása és szabályozási szintjei,
- a kulcskompetenciák,
- műveltségi területek,
- glosszárrium.

Azért választottuk a kulcsfogalom-elemzést, mert ezek a fogalmak jelentik a tudást meghatározó (konstruáló) elemeket, segítséget adnak, ahhoz, hogy feltérképezzük a tények, jelenségek gondolati és logikai egységbe rendezését. Olyan általános tudáselemeket hordoznak, amelyek meghatározzák az új helyzetekben is hatékonyan alkalmazható ismereteket (NTK Műhely, 2014). Mindezek miatt a kulcsfogalmakkal kapcsolatos tudás folyamatos bővítése és elmélyítése az értelmes tanulás egyik nagyon fontos összetevője, ezért fontos információt jelentenek az adott téma feldolgozásáról.

A megújuló energia és az energiatudatosság kulcsfogalmak a NAT általános bevezető fejezeteiben. A Nemzeti Alaptanterv bevezető fejezeteiben megfogalmazódnak a köznevelés egészére érvényes nevelési-oktatási és fejlesztési feladatok, ezért is fontos, hogy az általunk kiválasztott kulcsfogalmak megjelennek-e és ha igen, milyen mélységben és összefüggésben. A NAT „az iskolai nevelő-oktató munka tartalmi szabályozása és szabályozási szintjei” nagy fejezetén belül a köznevelés feladata és értékei pontban nem találunk a vizsgált témához kapcsolódó elemeket. A „Fejlesztési területek – nevelési célok” között a „Fenntarthatóság, környezettudatosság” ponthoz kapcsolódóan olvashatjuk az *energiatudatosság*

fogalmának definíciószerű meghatározását. „Meg kell tanulnia, hogy az erőforrásokat tudatosan, takarékosan és felelősségteljesen, megújulási képességükre tekintettel használja.”

Az alaptanterv II. fejezetében jelennek meg a tanulói képességfejlesztés fő területeit meghatározó kulcskompetenciák. Ezeket elemezve megállapítható, hogy csupán a *fenntarthatóság* fogalma jelenik meg egyetlen kulcskompetenciához, a Természettudományos és technikai kompetenciához kapcsolódva. Más, az adott témakörhöz jól köthető kulcskompetenciához pl. a „*Szociális és állampolgári kompetencia*”, „*Kezdeményezőképeség és vállalkozói kompetencia*” nem kapcsolódnak környezeti elemek. Sehol nem jelennek meg az energiatudatossághoz, a *megújuló energiaforrások hasznosításához* kötődő kompetenciafejlesztési feladatok.

1. táblázat: A kiválasztott kulcsfogalmak előfordulása a NAT különböző részeiben

Műveltség terület	Fogalom	Alapelvek célok	Fejlesztési feladat	Köz-műveltség
Magyar nyelv és irodalom	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Idegen nyelv	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Matematika	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Ember és társadalom	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Ember és természet	Megújuló energia	X	X	X
	Energiatudatosság	X	X	X
Földünk, környezetünk	Megújuló energia		X	
	Energiatudatosság		X	+
Vizuális kultúra	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Informatika	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			
Életvitel és gyakorlat	Megújuló energia			
	Energiatudatosság		X	X
Testnevelés és sport	Megújuló energia			
	Energiatudatosság			

A műveltségi területek elemzése. A környezeti nevelésnek, a fenntarthatóságot szem előtt tartó gondolkodás fejlesztésének az alapdokumentum bevezetőjében leírtaknak megfelelően valamennyi műveltségterületben explicit módon meg kell jelennie. Természetesen ezek mélysége a műveltségterület tartalmi sajátosságainak megfelelően jelentősen eltérhet. Feltételezhető, hogy a természettudományos területekben (Ember és természet, illetve a Földünk, környezetünk műveltségi terület) ez nagyobb hangsúlyt kap, mint a magyar nyelv és irodalom vagy a művészetek esetében. Ezt a kapcsolatot szerettük volna egyértelműen feltárni a műveltségi területek kulcsszavas elemzésével. A műveltségi területeken belül azt is érdemes külön elemezni, hogy a keresett kulcsfogalmak a

szemléleti fejlesztést meghatározó alapelvek, célok, illetve fejlesztési feladatok között vagy a közműveltségi tartalmakban jelennek-e meg. Ez utóbbi a szemléletformálás mellett (helyett) elsősorban az ismeretek közvetítését, bővítését jelenti. A fogalmak megjelenését a *Nemzeti Alaptanterv*ben a 1. táblázat szemlélteti.

A közműveltségi elemekben az *energiatudatosság* fogalom helyett a kissé más jelentéstartalmat is hordozó *energiatakarékosság* fordul elő. Ezért ezt más jellel (+) jelöltük.

Érdeemes részletesebben megnéznünk az Ember és természet műveltségi területet, hiszen ez valójában öt közismereti tárgy tantervi programját foglalja magában (környezetismeret, természetismeret, biológia, fizika, kémia). Ezen a műveltségterületen ezért lehetőség nyílik a közműveltségi tartalmak alaposabb elemzésére is (2. táblázat).

2. táblázat: A kulcsfogalmak előfordulása az egyes tantárgyakban

Tantárgy	Kulcsfogalom	Előfordulás a közműveltségben
Környezetismeret	Megújuló energia	X
	Energiatudatosság	X
Természetismeret	Megújuló energia	X
	Energiatudatosság	X
Biológia	Megújuló energia	
	Energiatudatosság	
Fizika	Megújuló energia	X
	Energiatudatosság	X
Kémia	Megújuló energia	
	Energiatudatosság	

A bemutatott példák alapján megállapítható a témához kapcsolódó ismeretek fokozatos bővülése és mélyülése. A példák igazolják azt is, hogy ezek tartalmi szempontból alapvetően a fizikához kapcsolódnak. A NAT adós marad az energiahasznosítás kémiai és biológiai vonatkozásainak kiemelésével, így nem használja ki a komplex ismeretközvetítés és szemléletformálás nyújtotta lehetőségeket. Ugyanígy hiányzik a problémakör összekapcsolása a földrajz szempontjaival.

A megújuló energiaforrások megjelenése a földrajz tankönyvekben. Az általános iskola 5. osztályától a középiskola 10. osztályáig különböző, a tanárok körében kedvelt kiadók könyveit vizsgáltuk meg, keresve bennük a megújuló energiaforrások témakörével kapcsolatos információkat. A következőkben röviden összefoglaljuk az elemzés eredményeit, sorra véve a tankönyveket kiadóként és korosztályonként.

Az 1. táblázatban látható 2011-es tankönyvelemzésnél tételesen szinte csak a vízenergiára vonatkozóan találunk információt a könyvekben. A könyvek még azt a tévhitet képviselték, hogy Magyarország – kedvezőtlen földrajzi adottságainál fogva – kevéssé alkalmas a megújuló energiaforrások kihasználására. A földrajzos tankönyvkinálat egyre inkább követi azt a változást, ami a világban és országunkban a megújuló energiaforrások terén végbemegy (3–4. táblázat).

2011 óta azonban ezek a tankönyvek javításra, valamint aktualizálásra kerültek, ám ez nem feltétlenül járt együtt az alternatív energia témakör hangsúlyosabb megjelenésével.

A 3. táblázatban megjelenő tankönyvek még a 2006-os Nemzeti Alaptanterv, illetve az arra épülő kerettantervek alapján készültek, míg a 4. táblázat a NAT 2012 alapján készültek elemzését mutatja be. Az új generációs kiadványok esetében, remélhetően az egyre hangsúlyosabbá váló környezeti nevelés és a fenntarthatóság gondolatának előtérbe állítása tükröződik majd a leckékben is, mint ahogy az 5. táblázatban olvashatjuk.

Az elemzés tapasztalatai alapján megállapítható, hogy az egymást követő évfolyamokon fokozatosan bővül a témakörhöz kapcsolódó ismeret. Elmondható ugyanakkor, hogy a tankönyvekben nem jelenik meg a fontosságának

A megújuló energiaforrások a hazai felsőoktatásban európai kitekintéssel. Magyarországon öt egyetem és két főiskola, az Európai Unióban belül öt ország 32 egyetemének képzési kínálatát elemeztük. A kutatás módszereként a kulcsszavas honlap-elemzést választottuk. A honlapok menüpontja alapján a képzési struktúra, a képzések és a kurzusok kínálatai közt a megújuló energia, *renewable energy* (gyakori találat: *sustainable energy*) kulcsszavakat kerestük.

Tapasztalatként szolgál a honlap elemzés során, hogy intézményenként sokszínű web struktúrával találkoztunk. A honlapok teljes angol fordítása többségben adott, kivétel németországi és francia honlapoknál, melyek esetében a releváns részek csak anyanyelven jelennek meg. Sok helyen találkoztunk részletes kurzusleírással, pdf. formátumú prospektussal. Nehézséget okozott viszont, hogy bizonyos honlapokon csak a képzés, vagy a tárgy neve

3. táblázat: Tankönyvelemzés 2011 – Megújuló energiaforrásokról szóló információk megjelenése a magyarországi tankönyvekben

	Tankönyv	Megújuló energiákra vonatkozó tartalmak
NAT 2006 alapján készült tankönyvek	NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ Kontinensek földrajza (7. o.)	A könyv több kontinensnél is említi a vízenergiát, mint adott helyen jól kihasználható lehetőséget.
	NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ Európa közepén Közép-Európa és Magyarország földrajza (8. o.)	Ugyancsak a vízenergiát említi Ausztriánál, és – kérdőjellel – Magyarországnál.
	NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ Lakóhelyünk a Föld (9. évf.)	Sajnos sehol sem említi a megújuló energiaforrásokat.
	NEMZETI TANKÖNYVKIADÓ Az ember és a Föld (10. évf.)	„A gazdasági élet szerkezete és területi átalakulása” és a „Globális problémák és globális megoldási lehetőségek” tartalmaz információt a megújuló energiákról egy ábra és egy oldalnyi kifejtés formájában.
	MOZAIK KIADÓ Földrajz (7. o.)	Kizárólag a vízenergiát említi, Ausztrália, Amerika és Európa esetében.
	MOZAIK KIADÓ Földrajz (8. o.)	A vízenergia mellett itt végre említésre kerülnek a „Hazánk a Kárpát-medencében” és „A magyar gazdaság” c. fejezetekben fél- illetve negyed oldalon az ismert megújuló energiaforrások.
	MOZAIK KIADÓ (Földrajz 9.)	Ismét kizárólag vízenergia, két fejezetben említve.
	MOZAIK KIADÓ Földrajz (10.)	A vízenergia megemlítése mellett „A gazdasági élet szerkezetének alakulása” és „A globális környezeti problémák” című fejezetekben a kisbetűs részben a lassú növekedés felpanaszolása, illetve fajtánként 5-6 soros jellemzés található mindegyik megújuló energiaforrásról.
	MŰSZAKI KIADÓ Földrajz I. középiskolásoknak (9. évf. számára)	Két helyen említi, kizárólag a vízenergiára utalóan.
	MŰSZAKI KIADÓ Földrajz II. középiskolásoknak (10. évf. számára)	A könyv a vízenergia mellett három fejezetben is foglalkozik a megújulókkal. A „Hazánk társadalmi-gazdasági életének jellemzői a XXI. század elején” tartalmaz 19 soros fejtegetést arról, hogy Magyarország még nem indult el a megújuló hasznosítása terén. E megállapítás a tíz éve talán még igaz volt. Szomorú, hogy ilyen rendezetlen a tankönyvek ütemes megújítása!

megfelelő arányban az alternatív energiaforrások megismertetése. A tankönyvek messze nem használják ki a téma feldolgozásában rejlő ismeretátadás és szemléletformálás lehetőségeit, még a globális problémákkal foglalkozó magasabb évfolyamokon sem. Nem jelennek meg a tudatos energiafelhasználóvá válást segítő gyakorlati tanácsok sem.

került feltüntetésre, nem található kurzusleírás vagy a megtekintés csak regisztrált kóddal történik.

Pozitívum, hogy a honlapok foglalkoznak a témában karrier lehetőségekkel, elhelyezkedési kimutatásokkal, egy külső honlapra való navigálás segítségével. Választ kaphat az olvasó, hogy miért érdemes az adott szakot választani.

4. táblázat: Tankönyvelemzés 2013 – Megújuló energiahordozókról szóló információk megjelenése a magyarországi tankönyvekben

	Tan- könyv	Megújuló energiákra vonatkozó tartalmak
NAT 2012 alapján készült tankönyvek	MŰSZAKI KIADÓ: Természeti- meret 5. osztály, Élő és élettelen környezetünk	<p>A változó éghajlat (hétköznapi tudomány) című tananyagban olvashatunk az energiatakarékos-ságról, az épületek hőszigeteléséről, a pazarló energiafogyasztás megszüntetéséről, a lakosság gondolkodásmódjának formálásáról, a takarékos módszerekről, a megújuló energiaforrások – a Nap, a szél és a víz – erejének hasznosításáról.</p> <p>Két fényképet találunk a szövegrész mellett. Az egyik egy energiatakarékos izzó, a másikon háztetőre szerelt napelem látható. A fotók mellett nincs feltüntetve, hogy mit látunk a képeken pontosan. Egy kis szöveg olvasható: „Az éghajlat védelmét szolgálja az energiatakarékos és a megújuló energiaforrások használata. Legyél te is környezetvédő!”</p> <p>Kislexikonban: „Megújuló energiaforrás: a víz, a szél és a Nap energiájának felhasználása fűtés-re, áramtermelésre. Előnye, hogy korlátlanul áll rendelkezésre és nem károsítja a környezetet.”</p> <p>Felszíni és felszín alatti vizek című fejezetben:</p> <p>A Tisza legnagyobb víztározója a Tisza-tó. Vízét öntözésre és áramtermelésre is használják.</p> <p>„A nagy esésű, bővizű, folyókon vízi erőművek létesülnek, melyek villamos áramot termelnek.”</p>
	NEMZEDÉKEK TUDÁSA TANKÖNYVKIADÓ: Föld- rajz 9.	<p>A vízburok földrajza című fejezetben:</p> <p>Gazdálkodás a vizekkel – vízgazdálkodás című anyagrészben olvashatjuk, hogy „a vízenergia a legnagyobb arányban hasznosított megújuló energiaforrás.” Hátrányai: költsége, a kiépítéssel járó környezeti átalakítás. Előnyei: „a megépített erőmű viszonylag olcsón szolgáltatja az elektromos áramot, környezet szennyezés nélkül működik, egyre növekszik a jelentősége, ahogy a ki-merülő energiahordozók mennyisége csökken.”</p> <p>Ábra: „A vízenergia-készlet megoszlása az egyes kontinensek között (%-ban).”</p> <p>Feladatok: Segít az internet! „Készíts listát a világ öt legnagyobb vízerőművéről. Melyik országban és melyik folyón építették?”</p> <p>Gondolkozz és válaszolj! „Érvelj a vízerőművek építése mellett! Milyen veszélyekkel kell számolnod?”</p>

5. táblázat: A 2006-os és 2012-es NAT alapján készült tankönyvek megújuló energiával kapcsolatos ismereteinek változása

NAT 2006	NAT 2012
<ul style="list-style-type: none"> – Az egymást követő évfolyamokon bővülő ismeretszerzés. – A vizsgált tankönyvekben nem jelenik meg a fontosságának megfelelő arányában az alternatív energiaforrások megismertetése. – Nem használják ki a téma feldolgozásában rejlő ismeretátadás és szemléletformálás lehetőségeit, még a globális problémákkal foglalkozó magasabb évfolyamokon sem. – Nem jelennek meg a tudatos energia-felhasználóvá válást segítő gyakorlati tanácsok. 	<ul style="list-style-type: none"> – Egyre hangsúlyosabbá váló környezeti nevelés és a fenntarthatóság gondolatának előtérbe állítása már 5. osztályban. – Nem bővebb ismeret, de komplexebb látásmód kialakítása a témával kapcsolatban 9. osztályban.

tania. Mindezek motivációként szolgálnak az adott képzési terület választásához.

Azoknál az intézményeknél, ahol nem volt találat a kulcsszavakra, sok esetben valamilyen formában jelen van a téma. Kutatást végeznek, aktuális projektek futnak, esetleg a "hírek" rovat foglalkozik a megújuló energiaforrásokkal. Eredményeinket egy táblázatban foglaltuk össze (6–7. táblázat), az egyes intézményekhez hozzárendeltük és rövidítéssel feltüntettük a témához kapcsolódó képzési területeket, a gazdasági - GA, a mezőgazdasági - MG, a mérnöki - MÉ, a műszaki - MŰ, a környezetvédelmi - KV, a tudományos - TU területeket.

Feltüntetésre kerültek azok az intézmények is, amelyek esetében nem dönthető el egyértelműen a megadott adatok alapján a téma jelenléte a képzésekben.

A 32 megvizsgált uniós egyetem közül 20 intézményben van megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos oktatás.

Magyarország esetében a képzési területek rangsorát tekintve azt tapasztaltuk, hogy a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos oktatás a mérnöki és a gazdasági területeken jelenik meg nagyobb számban, amit a tudományos és a műszaki-mezőgazdasági terület követ. Az Európai Unió vizsgált intézményei esetében az első helyen a rangsorban a mérnöki terület áll, a második helyen a tu-

dományos terület, melyet a sorrendben a gazdasági, környezetvédelmi, majd a műszaki-mezőgazdasági terület követ.

A középiskolai tanárképzésben a vizsgált intézmények egyike sem indít megújuló energia témájú specifikus

hetetlen a NAT-ban való megfelelő hangsúlyú megjelenés. Az elemzések azt igazolták, hogy az elmúlt reformok során történt kedvező elmozdulás, de az igazi szemléleti áttöréstől még messze vagyunk.

Egy tudatos, cselekvő generáció felneveléséhez nyitott,

6. táblázat: Megújuló energiaforrások a hazai felsőoktatásban

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, MÉ	Energetikai gépek és rendszerek tanszék - Energetikai szakmérnök képzés (szakirányú továbbképzés) – Megújuló energia ágazat - Mérnök alapszak – Megújuló energiaforrások tanegység - Gépészmérnöki mesterszak - Biomassza Energetika
Budapesti Corvinus Egyetem; GA	Gazdálkodástudományi Kar - Energiagazdálkodási szakközgazdász/specialista szakirányú továbbképzési szak
Debreceni Egyetem MŰ TU GA	Műszaki Kar - Energetikai mérnökasszisztens - Műszaki környezeti szakmérnöki szakirányú továbbképzési szak – szakmai törzsanyag: Megújuló energiaforrások tanegység - Városenergetikai szakmérnök Meteorológiai Tanszék - Megújuló energetikai szakirányú továbbképzési szak Természettudományi és Technológiai Kar - Környezetvédelmi- és fejlesztési szakértő – másoddiplomás képzés - Energiagazdálkodási szakértő(megújuló energetikai szakértő) - Fizika BsC / Villamosmérnök (BSc) - Szabadon választható kurzus: Energiaforrások
Óbudai Egyetem MÉ	Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar - Villamos Energetikai Intézet - Megújuló energiaforrások létesítése, szabadon választható tanegység - Különleges energiaforrások, szabadon választható tanegység
Szent István Egyetem MG GA MÉ	Mezőgazdasági és Környezettudományi Kar - Alternatív-energiagazdálkodási tanácsadó szakirányú továbbképzési szak Gazdasági Jogi és Közigazgatási Intézet - Környezetmérnöki MSc Környezetgazdaságtani Tanszék - Környezetgazdálkodási agrármérnök MSc Fizika és Folyamatirányítási Tanszék - Környezetgazdálkodási agrármérnök MSc Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar - Megújuló energia termelési és felhasználási szakirányú továbbképzését
Eötvös József Főiskola MÉ	Vízellátás és Környezetmérnöki Intézet Környezetmérnöki és építőmérnöki szak: szabadon választható tanegység: Megújuló energiaforrások, alternatív üzemanyagok
Eszterházy Károly Főiskola TU	Természettudományi Kar – Földrajz Tanszék - Megújuló energiaforrások szakirány alapképzés - Erőforrás- és kockázatelemző geográfus mesterképzés - Megújuló energiaforrások tanegység – minden szakirányról

képzést. A képzésekben esetleg tantárgyanként megjelenik illetve szakirányú továbbképzések témája lehetne.

Összegzés. Az energiahasznosítás, az energiaforrások biztosítása korunk meghatározó jelentőségű kérdése. A nem megújuló energiaforrások kimerülése és az energiahasznosítás környezeti hatása azonban kihívás elé állította az országokat. A társadalom egyre inkább tudatába kerül annak, hogy az eddigi gazdálkodás, a sokszor pazarló energiafelhasználás nem folytatható tovább. Az energiaválság napjaink globális problémájává vált. A megoldás csak tudatos és tervszerűen összehangolt munkával sikerülhet, ebben pedig egyre jelentősebb szerep hárul az oktatásra. Ezért választottuk a hazai köznevelést alapjaiban meghatározó szabályozó dokumentum, a NAT 2012 ilyen szempontú elemzését. Úgy véljük, ahhoz, hogy a mindennapi oktatásban megjelenjen ez a téma, elenged-

innovatív gondolkodású és széles ismerettel rendelkező pedagógusokra, korszerű, aktualizált tartalmú tankönyvekre van szükség, valamint az azokat kiegészítő internetes magyar nyelvű ismeretforrásokra (FÖLDRAJZ nEtSZKÖZKÉSZLET; *Pajtókné*, 2008). A vizsgált tankönyvek egy része még a 2006-os Nemzeti Alaptanterv, illetve az arra épülő kerettantervek alapján készültek, azonban érdemes lehet majd a vizsgálatot elvégezni a 2012-es alaptanterv célkitűzéseit tükröző valamennyi új tankönyv, különös tekintettel a legújabb kísérleti tankönyvek esetében. Remélhetőleg az egyre hangsúlyosabbá váló környezeti nevelés és a fenntarthatóság gondolatának hangsúlyozása tükröződik majd a tankönyvek lelkében is.

A közoktatás és a felsőoktatás egyaránt kiváló lehetőséggel rendelkezik a megújuló energiák oktatására, ami külö-

7. táblázat: Megújuló energiaforrások néhány európai felsőoktatási intézményben

DÁNIA 3/3	Roskilde University	KV
	Technical University of Denmark	MÉ
	University of Copenhagen	GA
FINNORSZÁG 3/2	Aalto University School of Business	KV
	Sibelius Academy	-
	University Oulu	TU, MÉ
HOLLANDIA 6/4	Delft University of Technology	MÚ
	Leiden University	-
	Maastricht University	TU
	University of Amsterdam	-
	University of Groningen	GA, TU
EGYESÜLT KIRÁLYSÁG 10/8	Utrecht University	TU
	City University of London	MÉ
	Open University	-
	The London School of Economics	GA
	The Queen's University of B	TU
	University of Bath	MÉ
	University of Brighton	TU
	University of Bristol	-
	University of Cambridge	MÉ, GA
	University of Edinburgh	MÉ
University of Oxford	MÉ, TU	
NÉMETORSZÁG 10/3 (még 5 lehet)	Bauhaus Universität Weimer	Nem egyértelmű
	Europa Universität Viadrina Frankfurt	-
	Universität Berlin	-
	Technische Universität München	MÉ
	Humboldt Universität zu Berlin	Nem egyértelmű
	Universität Kassel	MÉ, MG
	Universität Heidelberg	Nem egyértelmű.
	Technische Universität Berlin	Nem egyértelmű.
	Technische Universität Dresden	Nem egyértelmű.
Universität Stuttgart	MÉ	

nösen igaz a földrajzra. Már a közoktatás alsóbb fokán el kell kezdeni az új környezettudatos szemlélet kialakítását, amely igazán a felsőoktatásban teljesebbé válhat.

Irodalom

- Boldizsár, M., 2012: Fenntartható energiát mindenkinek! *Élet és Tudomány*, 6–7.
- Bozsoki, A. M., 1998: Környezetgazdálkodás. *Mozaik Oktatási Stúdió*, Szeged, 3., 48., 64. p.
- Czippán, K., Havas, P. és Viktor, A., 2010: Környezeti nevelés a fenntarthatóságért In: Vásárhelyi, J., 2010: Nemzeti Környezeti Nevelési Stratégia – alapvetés (harmadik, javított kiadás). *Magyar Környezeti Nevelési Egyesület*, Budapest, 35–39. (http://mkne.hu/NKNS_uj/layout/NKNS_layout.pdf)
- <http://ec.europa.eu> (letöltés 2012.10.01.)
- http://hvg.hu/gazdasag/2014.01.24_Magyarország_felvetel_keri_a_Nemzetkozi (letöltés 2014.02.01.)
- <http://www.siemens-home.com/hu/eco-plus/tenyek-adatok/fold-nepessegenek-es-energia-fogyasztasanak-alakulasa.html>

IEA, 2014: <http://www.worldenergyoutlook.org/>

Kárász, I. 2012: A környezeti nevelés története, céljai és, *EKF, kézirat*

Kerényi, A. 2006: Általános környezetvédelem – Globális gondok, lehetséges megoldások. *Mozaik Kiadó*, Szeged, pp. 238

Mendöl T., 1999: A földrajztudomány az ókortól napjainkig. *ELTE Eötvös Kiadó* Budapest, 15-17.

Németh, B., 2012; <http://www.physics.ttk.pte.hu/pages/munkatarsak/nemetb/KorFiz-I-3-ember-tevekenyseg.pdf> letöltés 2014. 02.01.

NTK Műhely, 2014: A kulcsfogalmak fejlesztésének magálapozása az NTK Műhely kerettanterve segítségével http://www.ntk.hu/c/document-library/get_file?uuid=1a1ca9f2-c5f5 (letöltés 2014.02.02.)

Pajtókné Tari, I., 2008: Digitális tudástárak földrajzi tartalmú oldalainak értékelése a földrajzitanítás szemszögéből I. Learning Resource Exchange (LRE). *Földrajzi Közlemények* 132, 63–69.

**MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKKAL KAPCSOLATOS HALLGATÓI
ÉS OKTATÓI KUTATÁSOK A BMGE VILLAMOS ENERGETIKA TANSZÉK-
ÉNEK VILLAMOS MŰVEK ÉS KÖRNYEZET CSOPORTJÁBAN**
*STUDENT AND INSTRUCTOR RESEARCH ACTIVITIES IN THE FIELD
OF RENEWABLE ENERGY, OF THE POWER SYSTEMS AND ENVIRONMENT
GROUP OF THE DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER ENGINEERING*

Hartmann Bálint

BMGE Villamos Energetika Tanszék, Villamos Művek és Környezet Csoport, 1111 Budapest, Egyr József u. 18.,
hartmann.balint@vet.bme.hu

Összefoglalás: A cikk célja a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamos Energetika Tanszékének Villamos Művek és Környezet Csoportjában végzett, megújuló energiaforrásokhoz kapcsolódó kutatási munkák rövid ismertetése, néhány kiemelt projekt rövid bemutatásán keresztül.

Abstract: The aim of present paper is to provide a brief introduction on the research activities in the field of renewable energy, performed by the Power Systems and Environment Group of Department of Electric Power Engineering at Budapest University of Technology and Economics.

VM Csoport bemutatása. A Tanszékcsoportunk jogelődjének tekintett Villamosművek Tanszék az 1929/30-as tanévben kezdte meg a működését a M. Kir. József Nádor Műegyetemen. Az új tanszék létesítése egybeesett a gépészmérnöki képzés reformjával, melynek eredményeként az általános gépészmérnöki képzés („A” tagozat) mellett megindult a villamos („B”) és mezőgazdasági („C”) gépészmérnökök oktatása is. A tanszék első vezetője Verebély László egyetemi tanár volt, akinek jelentős szerepe volt a villamosítás országos fejlődésében is. 1937-ben a tanszék neve Villamos-művek és Vasutak Tanszékre változott, ezzel is követve az oktatás és kutatás területén zajló változásokat. Az egyetem Villamosmérnöki Karának 1949. évi megalakulásakor a tanszék is kart váltott, de tevékenységét változatlan néven folytatta 1961-ig. A már Geszti P. Ottó által vezetett tanszék ekkor 10 évre kettévált; a Villamos-művek Tanszék és a Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszék csak 1971-ben került újra egy szervezeti egységbe az Erősáramú Intézet keretei között. Ezen időszakban az oktatott tárgyak spektruma folyamatosan bővült, a villamos energia termelésével és szállításával kapcsolatos tantárgyak mellett a rendszer megbízhatóságával és gazdaságos üzemeltetésével foglalkozó diszciplínák is meghonosodtak. A vasúti energiaellátás és a vasúti EMC kérdései ezen időszak alatt is a tanszék kutatási profiljának meghatározó részét képezték. Szintén az 1970-es években zajlottak a világon akkor még ritkaságnak számító 750 kV-os feszültségű bevezetését előkészítő és támogató kutatások, Bán Gábor vezetésével. 1991 és 2001 között a Villamos Művek Tanszék ismét önállóan működött, majd a – máig létező – Villamos Energetika Tanszék létrehozásakor Villamos Művek és Környezet Csoportként tagozódott be abba. Ahogy tanszékcsoportunk neve is mutatja, hagyományos kutatási profilunk (a villamosenergia-átvitel és -elosztás kérdései és a kapcsolódó háttérterületek) mellett ekkorra már hangsúlyos szerepet kaptak a villamosenergia-rendszer környezeti hatásaihoz kapcsolódó tevékenységek.

Az azóta eltelt bő évtized során a tanszékcsoport folyamatosan figyelemmel követte a villamosenergia-ipart átforgató új irányzatokat, így mind oktatási, mind kutatási

munkánkban mára jelentős hányadot képviselnek a megújuló energiaforrások hasznosításával, rendszerbe integrálásával, valamint az időjárás hatásainak vizsgálatával foglalkozó, döntően interdiszciplináris megközelítést igénylő feladatok. Cikkünk célja, hogy egy rövid áttekintést adjon erről a szerteágazó munkáról néhány, az elmúlt években folytatott kutatás ismertetésén keresztül.

Terhelésbecslő eljárások. A rövidtávú terhelésbecslés (*short-term load forecasting* – STLF) egy adott fogyasztói kör villamosenergia-fogyasztásának becslésével foglalkozik 1–3 napra előre, negyedórás felbontással. Ezeket a határokat a szakirodalom rugalmasan használja, ide sorolhatjuk az 1 órától 1–2 hétig terjedő terhelésbecslést is. Míg az ennél hosszabb távra történő előrejelzések főképp a villamosenergia-hálózat stratégiai tervezésében vagy éppen szerződéskötésekkel lényegesek, addig ez a terület az energiahálózat közvetlen működtetésében játszik fontos szerepet. Mind a túlterhelés, mind a túltermelés veszteséget okoz a szolgáltatóknak, ezért ezek elkerülése egyaránt kulcsfontosságú. A téma az utóbbi évtizedekben az energiapiac liberalizációja és az itt is megjelenő verseny miatt egyre nagyobb fontosságra tesz szert.

Egy háztartás fogyasztásának pontos előrejelzése nem lehetséges a számtalan befolyásoló tényező miatt, azonban egy város vagy egy megye összes fogyasztójának energiaigénye már jól becsülhető. A becslés során számításba kell venni a terhelés jellemző napi és heti periodicitását (éjszaka, illetve hétvégén kisebb a terhelés), valamint az időjárás (leginkább a hőmérséklet, de kisebb mértékben a szélsőségek, megvilágítás is), az ünnepek (vagy egyéb speciális napok) és esetleg más nem említett tényezők (például energiaár változásai, nagy érdeklődésre számot tartó események) hatását. Ráadásul a fogyasztók eltérő összetétele és szokásai is külön megfontolást igényelnek.

A fent említett paraméterek és a fogyasztás közötti összefüggések nem lineárisak és sztochasztikusak. A becslési feladat megoldására ennek megfelelően nagyon sokféle módszer létezik, például:

- regressziós módszerek
- idősor-analízis
- neurális hálózatok alkalmazása

- fuzzy logika alkalmazása
- support vector machines (SVM) alkalmazása
- wavelet-analízis

A tanszékcsoporton 2009-ben készült szakdolgozatban, illetve ipari munkáink során ezek közül többnek a megvalósítására és tesztelésére sor került. A minimum likelihood módszerrel identifikált auto-regresszív – mozgó átlag (ARMA) idősorok és a radiális bázisfüggvényeket (RBF) alkalmazó neurális hálózatok adták a legkisebb átlagos hibákat. A terhelésbecslő eljárások megvalósításához jellemzően több évnnyi minta adatsorra van szükség, melyek közül az időjárásal kapcsolatos paraméterek összegyűjtése több esetben is nehézségeket okozott. Ennek javítása mellett a kutatás tapasztalatai alapján további lehetőségek rejlenek a terhelésbecsléshez felhasznált meteorológiai előrejelzések pontosságának figyelembe vételével.

Fogyasztói vezérlés megújuló kiegészítésére. A nap- és szélenergiát hasznosító erőművek nagyleptékű integrálása a villamosenergia-rendszerbe elsősorban azok időjárásfüggése miatt nehézkes: az így nyert villamos energia mennyisége ugyanis a környezeti elemek állapotának függvénye és nem illeszkedik a villamos energia igényekhez, ami problémákat okozhat a rendszerben a hatásos teljesítményszabályozás során. Amennyiben a villamosenergia-felhasználás nagy hányadát kívánjuk megújuló forrásokból fedezni, a könnyen és gyorsan szabályozható erőművek (például nyílt ciklusú gázturbinák) építése mellett az energiátárolók alkalmazása, valamint a fogyasztói befolyásolás a két leggyakrabban alkalmazott eszköz.

Fogyasztói befolyásolásról akkor beszélünk, ha a fogyasztók egy csoportja által felvett teljesítményt valamilyen ösztönző felhasználásával irányítottan megváltoztatjuk. Ennek során adott időszakokra vonatkozó energiafogyasztás nem, vagy csak kis mértékben változik; a hangsúly a terhelési görbe – vagyis a fogyasztás időfüggvényének – megváltoztatásán van. Ösztönző eszköz lehet többek között a tarifális ösztönzés, a közvetlen fogyasztói vezérlés, a tájékoztatás (smart metering), az előre fizetéses rendszer alkalmazása, vagy az automatikus terheléskorlátozás használata.

Hagyományos, tarifális ösztönzésre épülő rendszerekben (flat-rate) a fogyasztás gyakorlatilag rugalmatlan, hiszen a fogyasztó semmilyen formában nincs ösztönözve fogyasztási szokásai megváltoztatására. A passzív tarifális rendszereknél a fogyasztó előre meghatározott tarifarendszer szerint (*time of use*) szerződik a szolgáltatóval; ahhoz, hogy ennek előnyeit kihasználhassa, érdemes szokásain változtatnia. Aktív tarifális befolyásolásról akkor beszélünk, ha a fogyasztó a villamos energia valós idejű árazásának (real-time pricing) hatására változtat saját szokásain – ehhez természetesen elengedhetetlen, hogy elegendő és megfelelő információ álljon rendelkezésére.

A fogyasztók közvetlen vezérlése alatt azt a mechanizmust értjük, amikor egyes fogyasztói berendezések (tipikusan hőtárolós eszközök, például bojlerok vagy hőtárolós kályhák) be- vagy kikapcsolásának engedélyezését az áramszolgáltató végzi, egy speciális távvezérlő eszközrendszer segítségével. Hazánkban ún. hangfrekvenciás vagy rádiófrekvenciás központi vezérlés (HKV és RKV) üzemel, ezek segítségével válik lehetővé a köznyelvben „éjszakai áramnak” nevezett vezérelt villamos energia vételezése.

A fogyasztók közvetlen, szolgáltató általi vezérlésének számos előnye van, többek között:

- lehetővé válik a napi rendszerterhelési görbe simítása, így jobban kihasználhatók az olcsóbb alaperőművek és kevesebb drága csúcserőművi kapacitásra van szükség, illetve a hálózati veszteségek is csökkenthetők.
- a szolgáltatónak lehetősége nyílik az aktuális fogyasztását a menetrendben megadott fogyasztáshoz igazítani, csökkentve ezáltal a kiegyenlítésért fizetendő költségeit.

Hazai és nemzetközi, a fogyasztói vezérléssel kapcsolatos felmérések tapasztalatait az alábbiak szerint összegezzük:

- csupán tarifális ösztönzéssel mérsékelt hatás érhető el a terhelési görbe befolyásolására.
- a vezérlés egyértelműen hatékonyabb, mint a tarifális befolyásolás; célszerű a kombinált megoldások alkalmazása.
- a vezérlés vonzóbb lehet a fogyasztók számára, ha lehetőséget kapnak a szolgáltatói vezérlés felülbírálására.
- a vezérlésből olyan megoldások származnak, melyek egyaránt hasznosak az áramszolgáltató és a fogyasztók számára.
- több helyen vizsgálják a dinamikus vezérlés lehetőségeit, amelynek során nem egy előre rögzített napi ki/be vezérlési program szerint kapja a fogyasztó a villamos energiát, hanem a ki/be vezérlő jelek napról napra változhatnak, a rendszer aktuális igényei szerint.
- vezérelt eszközként a bojlerok mellett (helyett) hőszivattyúk és villamos autók is alkalmazhatók.

Ha Magyarország a jelenleginél nagyobb arányban szeretne megújuló energiaforrásokra támaszkodni az ország villamos energia igényeinek kielégítéséhez, az előzőekben bemutatott okok miatt a fogyasztói befolyásolás különböző válfajai (elsősorban a valós idejű árazás és a közvetlen fogyasztói vezérlés) hatékonyan támogathatják ezt a folyamatot.

Elosztott energiatermelés modellezése. Ahogy azt az előző kutatási téma kapcsán már említettük, a villamosenergia-rendszert ért hatások közül a legfontosabbak között kell említenünk az elosztott, jellemzően megújuló energiaforrásokat hasznosító erőművek térnyerését. Ahhoz, hogy ezek rendszerre gyakorolt hatását megfelelően vizsgálhassuk, pontos, valóság-hű modellek kialakítására van szükség, mely különösen nehéz lehet az időjárásfüggő termelők esetén.

A kialakított modellben a szélsébség környezeti változója historikus adatsorok alapján, sztochasztikus jelleggel változik. A szélsébség értékek generálása során a modell időfelbontása, valamint a szélturbinák forgási sebessége és a szélsébség közötti kapcsolat bonyolultsága nehezíti a feladatot. A problémát megkerülve a szélsébség értékek előállítására nem historikus széladatok, hanem szélereőművek energiatermelési adatai alapján történt. Ezzel az egyes szélturbinák átlagos rendelkezésre állását, a turbinák farmokon belüli egymásra hatását, valamint a különböző földrajzi helyeken esetleg eltérő szélviszonyokat is figyelembe vehetjük.

A modell kidolgozásának lépéseit egy szélerőmű példáján keresztül mutatjuk be, melyhez elérhető 3 év termelési adatai:

1. A negyedórás teljesítmény adataiból a vonatkozó szélsebesség-teljesítmény karakterisztikája alapján minden negyedórás teljesítményhez meghatározható egy átlagos negyedórás szélsebesség-érték. Mivel a karakterisztika nem kölcsönösen egyértelmű, ezért a zérus, valamint névleges teljesítményekhez (jellemzően 0–3, illetve 12–25 m/s szélsebesség-tartományban) nem kapunk egyértelmű szélsebességértéket. Ezeket a szélsebesség intervallumokat OOI (*out of observed interval*) tartományoknak nevezzük. A mérések körülbelül 25%-a, illetve 5%-a esik ebbe a (0–3 m/s), illetve (12–25 m/s) tartományba.
2. A kapott fiktív szélsebesség gyakoriságokra Weibull-eloszlást illesztünk, figyelembe véve, hogy az OOI tartományokba eső szélsebességek előfordulási aránya megegyezzen az 1. pontban kapott aránnyal.
3. Az illesztett eloszlásnak megfelelően az OOI tartományokba véletlen számokat generálunk, majd a Box-Cox módszerrel a Weibull-eloszlással jellemzett idősort normális eloszlására transzformáljuk.
4. Speciális mozgóablakos módszerrel minden napra és órára szélsebesség-átlagokat és -szórásokat határozzunk meg, majd a kapott értékekkel az idősort standardizáljuk. A lépés hatására a havi és napi szezonális eloszlásokat elmozdítjuk az adataiból.
5. Box-Jenkins módszerrel a kapott standard normális eloszlású idősortra (az OOI tartományok figyelembevétele nélkül) autoregresszív (AR) modellt illesztünk. A kapott AR paraméterek alapján az OOI tartományba új értékeket generálunk, majd újra elvégezzük az AR identifikációt. Az iteráció ismétlésével az AR paraméterek értéke konvergál.
6. Az AR modell paraméterei, az évszakos és napi szezonális eloszlások, valamint a Box-Cox módszer során kapott tényezők jellemezzék egy adott szélerőműhöz tartozó szélsebesség-szimulációt. A lépéseket visszafelé végrehajtva megfelelő szezonális eloszlással és korrelációval rendelkező fiktív szélsebesség-idősort kapunk.

A bemutatotthoz hasonló modellezési folyamatok segítségével természetesen más időjárásfüggő megújuló energiaforrások is leképezhetők további vizsgálatok érdekében, erre azonban a kutatás kapcsán nem kerül sor, az ugyanis a kapcsolt erőművek optimális működtetését helyezte középpontba, a szélerőművek pedig csak a megvalósított struktúra egy szeletét jelentették.

Odooproject. A Solar Decathlon egy nemzetközi, egyetemeken közötti innovációs verseny, ami 2002 óta kerül megrendezésre az USA Energetikai Minisztériuma és a spanyol kormányzat szervezésében. Célja a napenergia felhasználásával összefüggő építészeti megoldások népszerűsítése, illetve a zöldtechnológiák társadalmi, piaci támogatottságának megteremtése. A verseny során minden résztvevő csapatnak piaci szereplőkkel együttműködve egy kizárólag napenergiát hasznosító, energiahatékony, környezettudatos, könnyűszerkezetes lakóépületet kell megterveznie és felépítenie.

Régióinkból elsőként a BME diákjaiból álló csapat (60 tagot tömörítő projektszervezet) nyújtott be sikeres, a 2012-es madridi Solar Decathlon nemzetközi versenyen való indulás feltételeit teljesítő pályázatát. A terv megvalósításában az építészmérnök hallgatók mellett természetesen más karok tanulói is részt vettek, így a ház villamosenergia-ellátásának kialakításán több, a Villamos Művek és Környezet Csoportban szakdolgozó vagy diplomázó hallgató is dolgozott, a tanszékcsoport oktatóinak szakmai támogatása mellett. A ház geometriáját úgy alakították ki, hogy az aktív és passzív napenergia-hasznosítás a legkedvezőbb legyen. A nyári fal kialakításával a kedvező déli felületek megkétszereződtek, míg a teljesen üvegezett déli homlokzattal szervezett passzív hőnyereség a ház fűtésére fordítható a téli időszakban. A napelemekkel burkolt tető által termelt energiát is figyelembe véve a kialakított rendszer a ház számára szükséges energia háromszorosát képes előállítani.

A 2012. évi versenyen az Odooproject az előkelő hatodik helyen végzett, több kategóriában („Mérnöki és szerkezeti megoldások”, „Könnyű kondíciók”, „Energiahatékonyság”) is dobogós helyezést elérve a nemzetközi megmérettetésen.

Szélerőművek integrálása a villamosenergia-rendszerbe. Az időjárásfüggő megújuló energiaforrást hasznosító erőművi technológiák közül Magyarországon a szélerőműveket tekinthetjük a legjelentősebbnek. Ezek mondhatják magukénak a legnagyobb beépített teljesítményt, illetve a legnagyobb mennyiségű üzemeltetési tapasztalat is ezekhez kapcsolódik. Mindezek fényében aligha lehet meglepő, hogy a szélerőművek villamosenergia-rendszerbe történő integrálása hosszabb ideje központi helyet foglal el a tanszékcsoport kutatási témái között – 2013-ban egy doktori disszertáció tárgyát is képezte a téma. A dolgozatban a szélerőművek termelési gradiensével, valamint a szélerőművek által szolgáltatott menetrend és a tényleges termelés közti eltérés kezelésével kapcsolatos kutatások kerültek bemutatásra, melyek során az energiatárolási technológiák használata is fontos szerepet kapott.

A magyarországi szélerőművek termelési gradiensének változásai perces felbontással kerültek megvizsgálásra, a beépített kapacitás különböző értékekre történő átskálázása mellett. Az így kapott szabályozási igények nagyságát ugyanezen időszakban a magyar villamosenergia-rendszer tényleges gradiens képességével összehasonlítva az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy jelentős szélerőművi kapacitásbővülés esetén szükség van a jelenlegi meghaladó szabályozási lehetőségek rendszerbe állítására. A kutatás során két különböző módszer is felhasználásra került: a statisztikai kiértékelés során ignoráljuk a felhasznált bemeneti adatok időbeliségét, míg ezzel ellentétben a saját készítésű számítógépes szimuláció használata során ez elsődleges fontosságú marad. Mindkét módszerhez a szélerőművek termelési adatai, valamint a vizsgált rendszer le- és felirányú gradiens képességei jelentik a bemeneti adatokat, azonban ezek csak egy több lépésből álló feldolgozás után alkalmasak a vizsgálatokra. Ezen feldolgozás során szélerőművei gradiensüket képzünk, átskálázzuk a termelési adatokat, valamint kiszámoljuk a ren-

delkezésre álló szabályozási gradiens adatokat. A villamosenergia-rendszer üzemeltetése szempontjából a legkedvezőbb eset az lenne, ha a szélerőművek termelése – hasonlóan a hagyományos erőművi blokkokhoz – időben gyakorlatilag állandó lenne. A valóságban ez természetesen nem így van, az esetek egy részében például két vizsgált időpillanat között a szélerőművi termelés megnő, így leszabályozási igény keletkezik (feltételezve, hogy a rendszerterhelés nagysága nem változott). Ezt a rendszer három módon tudja kezelni. Amennyiben a rendelkezésre álló *le* irányú szabályozási gradiens nagysága nagyobb, mint a szélerőmű által támasztott igény, az energiatároló beavatkozására nincsen szükség. Ha a rendszer gradiens képességeit meghaladja az igény, akkor az energiatárolónak a különbséggel egyező nagyságban kell kiegészítenie a rendszert, azaz az energiatároló szemszögéből nézve a szélerőművek termelési gradiense kisebb lesz, mint a tényleges érték. Amennyiben viszont a vizsgált időpillanatban egyáltalán nem áll rendelkezésre *le* irányú szabályozási tartalék, a teljes változást az energiatárolónak kell kiszabályoznia – feltéve hogy teljesítménye és kapacitása ezt lehetővé teszi. A két módszer működésének demonstrálására a magyar villamosenergia-rendszer 2009 és 2011 közötti, 3 évet felölelő adatait használtuk fel. A szélerőművek termelési adatait a beépített kapacitás függvényében átskáláztuk 400 és 1 000 MW között, 100 MW-os lépcsőkben, míg a villamosenergia-rendszer gradiens képességeit változatlanul, azok historikus értékén kezeltük. Az eredmények alapján a következő fő megállapítások tehetők:

- a szélerőművi kapacitás nagyságának növelésével nő a villamosenergia-rendszerben fellépő gradiens kiegészítések száma, illetve azok összesített hossza is. Eltérő azonban a növekedés mértéke a két szabályozási irány esetén; a vizsgált szcenáriók esetén a *le* irányú kiegészítések összesített hossza körülbelül kétszeresére nő, míg *fel* irány esetén háromszoros növekedés figyelhető meg.
- a gradiens kiegészítések számának növekedésével csökken ezen kiegészítések átlagos időtartama. Ennek elsődleges oka, hogy a szélerőművi kapacitás növekedésével jellemzően a rövidebb (1–2 perces) gradiens képesség túllépések száma növekszik, a hosszabb periódusok aránya így csökken.
- a *le* irányú gradiens kiegészítések nagysága a szélerőművi kapacitás növekedésével együtt nő, *fel* irányban azonban ez a növekedés a 600–700 MW-os tartományban megáll, majd csökkenés- be megy át. A jelenség oka ezúttal is a rövidebb kiegészítések arányának növekedésében keresendő.
- a magyar villamosenergia-rendszer gradiens képességeinek kiegészítésére a vizsgálatok alapján legalább egy 25 MW-os névleges teljesítményű, maximális teljesítménnyel 4 perc folyamatos üzemeltetési képes (kb. 1,66 MWh kapacitású) energiatároló egységre van szükség, feltételezve, hogy a szabályozásba bevont erőművi blokkok száma és teljesítménye nem növekszik.

Hasonló módszertan szerint kerültek feldolgozásra a szélerőművek által szolgáltatott menetrendi és termelési adatok is. A rendelkezésre álló termelési és menetrendi adatok különbségét képezve megkapjuk az adott időegy-

séget jellemző eltérést, a menetrend hibáját, melyet át kell skáláznunk a vizsgálni kívánt jövőbeni beépítettség értékének felhasználásával. Az energiatároló használata kapcsán ebben az esetben az ideális az lenne, ha a szélerőművek termelése nem térne el az általuk leadott menetrendtől, hiszen ekkor nem lenne szükség szabályozásra. A valóságban négy különböző eset lehetséges. Az első, hogy a vizsgált időpillanatban a szélerőművek nem termelnek többet a menetrendként leadott értéknél, így nem keletkezik leszabályozási igény. Amennyiben keletkezik leszabályozási igény, a rendelkezésre álló leszabályozási tartalék nagysága fogja eldönteni a következő lépést. Ha a rendelkezésre álló tartalék nagysága meghaladja a leszabályozási igényt, a rendszer önállóan, az energiatároló nélkül képes elvégezni a szabályozást, így az energiatároló szempontjából úgy kezelhető a rendszer, mintha a szélerőművek termelése megegyezett volna a menetrendben leadott értékkel. Ha a rendelkezésre álló tartalék nagysága nem elegendő a leszabályozási igény kielégítésére, akkor a két érték különbségét az energiatárolónak kell kezelnie. Az eszköz szemszögéből ekkor úgy tűnik, mintha a menetrendi hiba a tényleges menetrendi hiba és a rendszer által végrehajtott szabályozás különbsége lenne. Amennyiben a vizsgált időpillanatban a villamosenergia-rendszerben nem áll rendelkezésre leszabályozási tartalék, a teljes eltérést az energiatárolónak kell kiszabályoznia – feltéve hogy teljesítménye és kapacitása ezt lehetővé teszi.

Az előzőekben említett bemeneti adatsorokat használó kutatás eredményei alapján a következő fő megállapítások tehetők:

- a szélerőművi kapacitás nagyságának növelésével nő azon periódusok száma és hossza, amikor a villamosenergia-rendszer nem képes a szabályozási igények kiszolgálására. Ezen növekedés mértéke közel megegyezik a *le*- illetve *fel* irányú szabályozások esetén.
- az egyes beavatkozások alkalmával kiszabályozandó teljesítmény igény nagysága szintén a szélerőművi kapacitás nagyságával arányosan nő, azonban itt már megfigyelhető az eltérés a két szabályozási irány között, a *fel* irányú szabályozási igények gyorsabban nőnek. Ezzel szemben az energiaigények vizsgálatok során nem tapasztalható érdemi eltérés a növekedés üteme kapcsán.
- minden vizsgálat tárgyát képező paraméter nagysága jó közelítéssel lineáris függést mutat a szélerőművi kapacitás nagyságától, így amennyiben utóbbit a villamosenergia-rendszerben teljes beépített teljesítőképességének arányában adjuk meg, az energiatároló paraméterei is meghatározhatóak. A legkisebb méretű energiatárolót eredményező statisztikai kiértékelés alapján a tároló névleges teljesítménye a beépített szélerőművi összteljesítmény kb. 25%-ában, kapacitása pedig a beépített szélerőművi összteljesítmény 25–45%-ában határozható meg.

Beágyazott informatikai rendszer fejlesztése energiapozitív közvilágítás optimalizálására (E-grid). A tanácskcsoport tagja annak a konzorciumnak, mely a jelenleg is futó E-grid projekttel kapcsolatos kutatásokat végzi. A projekt célja egy olyan közvilágítási rendszer kidolgozása, amely megújuló energiát, konkrétan napener-

giát használ a működéséhez. A rendszer fontosabb komponensei a LED-es lámpatestek, a beágyazott infokommunikációs- és szenzorrendszer, és a felhő alapú vezérlőrendszer, amely biztosítja, hogy a világítótestek akkor világítsanak, amikor erre a környezeti tényezők miatt szükség van. Például egy esős, ködös napon, rossz látási viszonyok között is szükség lehet mesterséges világításra, még abban az esetben is, ha egyébként nappal van. Közlekedésbiztonsági szempontból nagyon fontos kérdésről van szó. Működés közben a rendszer képes arra, hogy internetkapcsolat segítségével helyi információkat osszon meg egy központi szerverrel az időjárásról vagy a világítási célokra felhasználható akkumulátor-kapacitásról. A rendszer képes felügyelni továbbá azt is, hogy a hálózat energiamérlege – vagyis a hálózatba visszatáplált és onnan vételezett energia eredője – pozitív legyen. A kutatás másik célja, hogy olyan helyeken, ahol viszonylag ritka a mozgás, ne működjön folyamatosan a világítás. Bár a LED-es lámpatestek kevesebb energiát fogyasztanak, mint a hagyományos égők, egy ilyen intelligens, a mozgást is érzékelő közvilágítási rendszerrel 65%-os energiamegtakarítás érhető el. A rendszer további előnye többek között, hogy nemcsak megújuló energiát használ, hanem a többlet energiát szabályozott módon képes visszatáplálni a közcélú hálózatba, illetve a pluszenergiát képes eltárolni, amelyet későbbi időpontokban fel lehet használni.

A mintaprojekt a KFKI (Központi Fizikai Kutató Intézet) telephelyén valósul meg, ahol a gyalogos- és a gépkocsiforgalom igényei szerint működő lámpatesteket is bevonnak a kísérletbe. A projekt végén összesen 150 darab úttestet megvilágító és 60 darab gyalogos útvonalak mentén elhelyezett fényforrást vonnak be a kísérletbe. A projektet egy multinacionális óriáscég magyarországi tagja, a GE Hungary vezeti, amely piacorientált fejlesztésként tekint a munkára, és célja egy, a nemzetközi piacokon is versenyképes moduláris rendszer létrehozása, ennek az innovációnak azonban nem elsősorban Magyarország lesz a felvevőpiaca. Hazánkban több fejlesztési program is irányul a LED-es lámpatestek közvilágítási célú alkalmazására, azonban még nem dolgoztak ki átfogó koncepciót egy ilyen intelligens rendszerre. A helyzetet bonyolítja, hogy hazánkban akár településenként eltérhet az, hogy ki a felelős a közvilágítási rendszer üzemeltetéséért. Így a szolgáltatás egyik felhasználási területe a bevásárlóközpontok lehetnek, ahol bizonyos helyeken csak időszakosan kell megvilágítást biztosítani; ilyenek például a parkolók vagy a parkolóházak. A projektben való részvétel biztosítja a tanszékcsoport számára, hogy egy komplex, úttörő, a jövő generációt szolgáló kutatás részesei lehetünk, bővíthetjük ipari kapcsolatainkat, többletforrásokhoz juthatunk, és olyan eszközöket használhatunk, amelyek beszerzésére, a szűkös anyagi források miatt más módon nincs lehetőségünk.

Elosztott energiatermelés és elektromos közlekedési infrastruktúra települési szintű integrációja. A jelenleg is futó kutatás három, a tanszékcsoport által hosszabb ideje művelt területet fog össze; ezek a megújuló energiaforrások, az energiátárolási technológiák, valamint a villamosenergia-rendszer számítógépes modellezése. A kutatás célja egy számítógépes szimulációs modell létrehozása,

mely felhasználható azon energiátárolási technológiák komplex vizsgálatára, melyekkel az elosztott energiatermelőknek és az egyéni és közösségi közlekedés infrastruktúrájának a villamosenergia-rendszer közép- és kisméretű elosztóhálózatába történő integrációja támogatható. A kutatás célja az integráció szabta feltételeknek műszakilag megfelelő technológiák kiválasztása, települési szintű javaslat készítése azok telepítési és méretezési gyakorlatára, valamint az energiátárolók vezérlését végző algoritmusok kidolgozása és validálása a számítógépes szimulációs modell segítségével.

A kutatás eredményeként létrejövő új struktúra és üzemeltetési gyakorlat települési szinten műszaki-pénzügyi (hálózati veszteségek, kiegyenlítő energia igények és hálózatfejlesztési költségek csökkentése) és társadalmi (megújuló részarányának és elfogadottságának növelése, elektromos közlekedési infrastruktúra térnyerése, közlekedési eredetű légszennyezettség csökkentése) előnyökkel jár. A kutatási módszer célzottan a magyarországi hálózati viszonyokra fókuszál, így figyelembe veszi speciális nemzeti adottságainkat. Az eredmények ismeretében a kutatás kiterjeszhető, más hazai települési infrastruktúrára is elvégezhető lesz.

A kutatás első szakaszában alapkutatás jellegű munka keretében a számítógépi szimulációs modell elkészítése, az egyes hálózati elemek megfelelő leképezése a cél. Az időjárásfüggő megújuló energiaforrások termelésének időbeli lefutásáról a hazai viszonyoknak megfelelő, nagy időfelbontású (perces – 15 perces) mérési adatokat kell összegyűjteni. Kidolgozandó azon eljárás, mellyel egymástól elkülöníthetők a jól definiált időjárás viszonyokra (például napos vagy felhős idő) jellemző görbék. A csoportosított görbék sztochasztikus modellezéssel már alkalmasak a kiválasztott települést jellemző klimatikus viszonyok esetén várható energiatermelési mintázatok leképezésére a szimulációs modellhez. Szintén nagy időfelbontású (perces – 15 perces) mérési adatokra alapozva végezhető el a fogyasztói viselkedés jellegzetes mintázatainak (például hétköznap vagy hétvége) csoportosítása. A csoportosított görbéknek a kiválasztott hálózat fogyasztói pontjai között történő véletlenszerű szétosztásával a terhelési viszonyok valóságghű leképezése valósítható meg. A villamos hálózat szimulációs modellezéséhez a kiválasztott kis- és középfeszültségű körzetekben található elemek (vezetékek, transzformátorok, gyűjtősínek) villamos paramétereinek összegyűjtésére van szükség. Ezt követően vagy a kiválasztott célszoftverben rendelkezésre álló leképezések használatával, vagy új részmodellek kidolgozásával történik az elemek és a hálózati topológia leképezése. Az energiátárolási technológiák leképezésének első lépésében egy általános logikai modell létrehozása szükséges, mely szabadon definiált célfüggvény (például állandó hatásos teljesítmény leadása) teljesítéséhez figyelembe veszi a technológiai korlátokból (névleges teljesítmény, kapacitás, hatásfok, stb.) származtatható peremfeltételeket. Második lépésként ezt a logikai modellt kell implementálnunk a szimulációs modellben. A közlekedési eszközök modellezéséhez nagy időfelbontású (perces-15 perces) adatok felhasználásával kialakítottuk a járműtípusok napi használatára jellemző villamosenergia-fogyasztási görbéket, valamint a járműcso-

portok (például személygépkocsik) napon belüli használatának időbeli eloszlását. Ezekből sztochasztikus modellezéssel meghatároztuk az akkumulátorok töltéséhez szükséges villamosenergia-igény nagyságát és időbeliségét.

A kutatás második szakaszának központi feladata a kisfeszültségű elosztóhálózat szimulációs modelljének elkészítése és a viselkedés validálása. Ennek során a célszoftverben pontos topológiával leképezésre kerül a kiválasztott település minden kisfeszültségű leágazása (200–300 db, leágazásonként 10–20 fogyasztói ponttal). Az egyes leágazások tipikus viselkedésének vizsgálata sztochasztikus modellezéssel, az első részfeladat során létrehozott energiatermelési és -fogyasztási profilok (beleértve az elektromos személyi járműveket) véletlenszerű szétosztásával történik, 15 perces felbontásban, állandósult állapotok egymásutánosságával. A sztochasztikus vizsgálat eredményeként megállapíthatók az egyes leágazások topológiájára jellemző feszültségminőség paraméterek, és kiválaszthatók azok a kritikus üzemi állapotok, melyekben az energiátárolás alkalmazása szükséges lehet. A modellezés eredményeként minden kisfeszültségű leágazáshoz kiválasztásra kerül kisszámú, karakterisztikus viselkedés.

A kutatás harmadik szakasza során az előző szakaszban ismertetett módon történik meg a középvezetési hálózat szimulációs modelljének elkészítése és validálása. Vizsgálat tárgyát képezi az elektromos közlekedés települési szintű energiaigény nagyságának és időbeliségének meghatározása. A kutatás záró szakaszában elkészül az energiátárolókra vonatkozó telepítési és méretezési javaslat, kiválasztásra kerülnek a kitűzött kutatási célnak leginkább megfelelő vezérlési algoritmusok. Záró lépésként a teljes szimulációs modell validálására kerül sor.

A kutatás jelenleg első szakaszában tart, több tanszéki oktató és hallgató munkáját fogva össze.

Szélerőművek termelés-előrejelzési módszereinek pontosítása. Zárásul egy, a tanszékcsoport és az Országos Meteorológiai Szolgálat közös gondozásában készült diplomamunka kutatásait szeretnénk bemutatni, mely amellest hogy több pályázaton díjazott lett, követendő példája az interdiszciplináris területeken folytatott, intézményeken átvívelő projekteknek. A kutatás motivációját a jelen cikk során már többször érintett időjárásfüggő termelők által a villamosenergia-rendszer üzemeltetésében okozott nehézségek adták. A megoldási javaslat azonban az előzőektől eltérően nem kizárólag energetikai szempontokat vett figyelembe, sőt, nagy hangsúlyt fektetett az időjárási adatok megfelelő értelmezésére és feldolgozására is.

A magyarországi rendszerirányító (MAVIR) távlati célként hosszú idő óta az 5%-os küszöböt határozza meg, mint az előrejelzések elfogadható legnagyobb hibáját. Az elmúlt évek adatsorainak elemzéséből egyértelműen kimutatható, hogy a szélerőművi termelők által leadott metrendek ennek a célnak nem képesek megfelelni.

A kutatás ezt a hiányosságot célozta meg, összehozva több, egymástól látszólag távol álló tudományterületet: a villamos energetikát, a meteorológiát, valamint a jelfeldolgozást. Míg a meteorológiai előrejelzések légköri paramétereket (szélesség, légnyomás, hőmérséklet) szolgáltatnak, addig a rendszerirányító számára a leadott teljesítmény a legfontosabb adat. Első lépésként a szélesség-

teljesítmény jelleggörbék meghatározása volt a cél, ugyanis a gyártók által megadott, valamint a terepen mérhető görbék között több százalékos eltérés volt tapasztalható, mely már önmagában is gyakorlatilag lehetetlenné teszi az előbb említett 5%-os cél elérését. A jelleggörbék meghatározásához fuzzy modellezésen alapuló klaszterezési eljárás került alkalmazásra. Az illesztés során feltűnő volt, hogy a statikusnak gondolt jelleggörbe különböző hónapokban különböző értékeket vett fel. A munka egyik célja ennek kiküszöbölése volt.

Ismerve a szélből kinyerhető teljesítmény képletét, tudható, hogy a szél sebessége mellett a levegő sűrűsége is fontos paraméter. A kérdéssel az IEC 61500-12-1 szabvány is foglalkozik, mely aktív teljesítményszabályozással rendelkező szélturbinák esetén előírja a sebesség normalizálást is. Ennek a normalizálásnak az elvégzése a rendelkezésre álló adatsorokból a mintaként kiválasztott júniusi és februári adatokból alkotott görbék esetén ötödére csökkentette az átlagos négyzetes eltérést.

A kutatás másik jelentős eredményét a légköri folyamatok autoregresszív folyamatként való modellezése adta. Ezen statisztikai módszer alkalmazása során feltételeztük, hogy a légkör jelenlegi állapota függ a múltbeli állapotoktól. A múltbeli állapotok együtthatóit időben állandónak tekintve megalkothatunk egy végtelen impulzusválaszú szűrőt, mellyel az előrejelzés adatait szűrve csökkenthetjük a prognózis hibáját. A szűrő tervezésénél a rendszám meghatározása gondos körültekintést igényelt, mely mint a mérnöki gyakorlatban sokszor, jelen esetben is kompromisszumos megoldást eredményezett: túl magas rendszám esetén a régi adatok feleslegesen torzíthatják a kimenetet, míg nagyon alacsony együtthatószám esetén bizonyos meglévő összefüggések nem kerülnek figyelembevételre. A vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy egy napnyi adatsorra érdemes visszatekinteni az együtthatók meghatározásában. A szűrést különböző hónapokban mért adatokon végrehajtva a termelés előrejelzésben jelentős, 3–4%-os javulás volt tapasztalható. A kutatás során bemutatott számítások és az elért eredmények nem pusztán elméleti jelentőségűek voltak, ugyanis azokat az OMSZ is beépítette saját munkájába.

Egyéb témák. Tanszékünk az eddig említett témákon kívül aktívan foglalkozik több, közvetve vagy közvetlenül az időjárással kapcsolatos, villamos energia rendszert érintő témakörrel, amelyek részletezése helyett itt csupán a felsorolásukra szorítkozunk:

- szélerőművek villamos rendszereinek (szélgenerátoroknak) kialakítása,
 - villámvédelem,
 - légköri eredetű túlfeszültségek (azaz villám-csapások okozta hálózati problémák és azok kezelése),
 - villamos energiátárolók kialakítása és rendszerszintű alkalmazásai (lendítőkerekes vagy metanol alapú tárolás),
 - napelemek alkalmazásai és hálózati vissza-hatásaik.
- Büszkén állíthatjuk, hogy az elmúlt évtizedekben a hazai villamos energia ipar minden nagyobb szereplője számíthatott és számított csoportunk munkatársainak szakértelmére. Mindent megteszünk annak érdekében, hogy ez a – nagyrészt megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos – kihívásokkal teli jövőben is így maradjon.

A SZÉLENERGIA HASZNOSÍTÁS LEGÚJABB EREDMÉNYEI

LATEST RESULTS OF UTILIZATION OF WIND ENERGY

Tóth Péter¹, Bíróné Kircsi Andrea²

¹Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék 9026 Győr Egyetem tér 1.

²Debreceni Egyetem, Meteorológiai Tanszék 4032 Debrecen Egyetem tér 1.

tothp@sze.hu, kircsi.andrea@science.unideb.hu

Összefoglalás: Ebben a tanulmányban röviden összefoglaljuk hogyan fejlődött a szélenergia hasznosítás az elmúlt években a Földön, Európában és Magyarországon, illetve milyen kilátások vannak a jövőre nézve.

Abstract: In this article we shortly summaries how utilization of wind energy on the World, in European Union and in Hungary developed in the last years and what expects are for wind in the future.

Szélenergia hasznosítás a világban. Az ipari méretű szélenergia hasznosítás fejlődése, a szélérőművek telepítésének üteme az ezredforduló óta szinte töretlenül lát-szik a világban. Hivatalos előrejelzések, melyek ezekre

az évekre becsülték a szélérőműkapacitások számát a világban, mindeddig alulbecsülték a tényleges fejlődést. Csupán 2–3 évente megduplázódik az összes telepített szélérőmű kapacitás, azonban előre látható, hogy ez a fejlődési ütem hosszútávon biztosan nem lesz tartható. 1996 és a 2008-as gazdasági válság óta 2013 volt az első

olyan év, amikor az éves új szélérőmű telepítések nem érték el az előző év nagyságrendjét (1. ábra). A Földön 2013 végére összességében 318 GW szélérőmű került felállításra, amelyből 121 GW működik Európában, 115 GW Ázsiában, 70 GW Észak-Amerikában. Közel 100 országban csatlakoznak hálózatra szél-turbinák, összesen 24 országban (16 európai) van legalább 1 GW felállított szélérőmű kapacitás. Összesen 6 országban (Kína, USA, Németország, Spanyolország, India, Egyesült Királyság) pedig már 10 GW feletti az összes szélérőmű kapacitás. Várhatóan 2014-ben elsőként Kína érheti el a 100 GW-os mérföldkövet (GWEC, 2014b).

2013-ban a szélenergia piac átlagos növekedése mindössze 12,5% volt (GWEC, 2014b), noha a befektetések nagyságrendje alig maradt el 2012-től. A lassabb fejlődés háttérben az európai gazdasági válság, az USA esetében politikai bizonytalanság állt. Ázsiában a kínai piac konszolidációja és a racionalizálása zajlott, így a szélérőmű telepítés mindössze a 2010/2011 évre jellemző nagyságendet érte el. A GWEC várakozásai szerint 2014 évben a szélérőmű installációk újra el fogják érni a 2012. évi értéket. Az ezredfordulóig hagyományosan európai országok (Dánia, Németország, Spanyolország) töltötték be a

vezető szerepet a szélenergia hasznosítás terén, melyhez 2008-tól Észak-Amerika (USA, Kanada), majd Ázsia (Kína, India) zárkózott fel. 2009–2013 között a világon évente már közel 40 000 MW új szélérőmű épült. Ennek

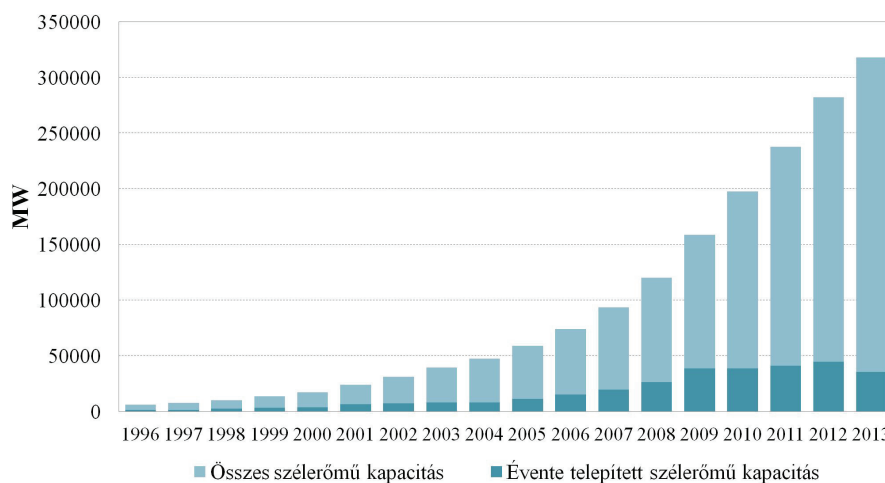
közel fele egyedül Kínában valósult meg.

Kínában a megújuló energiaforrások minél nagyobb arányú kihasználását a hosszú idők óta kedvezőtlen légszennyezési adatok mérséklése indokolja.

Az elképesztően gyors növekedést látva a kínai piacról

nyilvánosságra hozott statisztikai adatokat sokan fenntartásokkal kezelik. A kínai ambíciók mindenképpen nagyratörők. A kínai kormány a gazdasági válsággal szemben tett lépések sorában kulcsfontosságú területnek tartja a szélenergia-ipar fejlődését. Bízunk abban, hogy a meglévő szélérőmű kapacitásukat évente képesek lesznek nagyjából megduplázni, ezáltal a hagyományos szélenergia hasznosító országokat megelőzve előkelő helyre kerülni a világranglistán. Ez az elmúlt években sikerült is teljesíteni, így az európai szélpiac rendkívül gyorsan elveszítette elsőbbségét.

Kína még 2009-ben 30 GW szélérőmű kapacitás elérését tűzte célul 2020-ra, azonban 2013-ban már több mint 90 GW-ot tudhat magáénak, így a 2014-ben megfogalmazott új célkitűzés nem kevesebb, mint 200 GW 2020-ra. Kína azon országok sorába tartozik, mely az európai know-how-t átvéve a hazai igények kielégítésére saját szél-turbina-gyártó, szárnylapát-gyártó kapacitásokat létesített. A szélérőművek alkatrészeinek gyártása fejlett. A generátorok gyártásához szükséges ritka földfémek hatalmas lelőhelyeit tárták fel az országban, amely ezen alapanyagok európai feldolgozóit hozta kiszolgáltatott helyzetbe. A szélérőművek gyártási technológiájának



1. ábra: A Földön évente és összesen telepített szélérőmű kapacitás (GWEC, 2014a)

megismerését követő években Kínában az új telepítések fele hazai gyártású széleneróművekkel történt, 2013-ra az arány már 78%.

A Kínában működő széleneróművek 2013-ban közel 135 millió kWh-t termeltek, amely az ország villamos-energia-termelésének 2,6%-át jelentette. Az erőmű kapacitások 6%-át adták a széleneróművek. Természetesen a gyors fejlődés kihívást jelent a villamos energia hálózat számára és nagyarányú fejlesztések szükségesek a felépült széleneróművek hálózatra csatlakoztatásához.

Az ázsiai szélenergia piacon India, Japán és Ausztrália jelentős szereplő. India Ázsiában a második legnagyobb piac. Európai kapcsolatainak köszönhetően komoly szélturbina-gyártó kapacitásokkal rendelkezik.

Ebben a milliárdos népességű országban telepített széleneróművek főként indiai gyártásúak, a szélturbínák elterjedése a szélenergia-ipar fejlődésével párosul.

Japán technológiai újításaival tűnik ki, főként az úszó offshore széleneróművek fejlesztése és alkalmazása terén. Japánban a 2011-ben történt atomkatasztrófa miatt döntöttek az energiaszerkezet átalakítása mellett és törekednek a megújuló energiaforrások nagyobb mértékű kihasználására.

Észak-Amerikában természetesen az Egyesült Államok meghatározó 61 GW szélenerómű kapacitásával, azonban 2013-ban a bizonytalan szövetségi politika és a korábban nyújtott adókedvezmények megszűnése miatt maradtak projektet befejezetlenül. A szélenergia hasznosításban Texas (12 GW), Kalifornia (5,8 GW), Indiana (5,1 GW), Illinois (3,5 GW) és Oregon (3,1 GW) államok kiemelkedők.

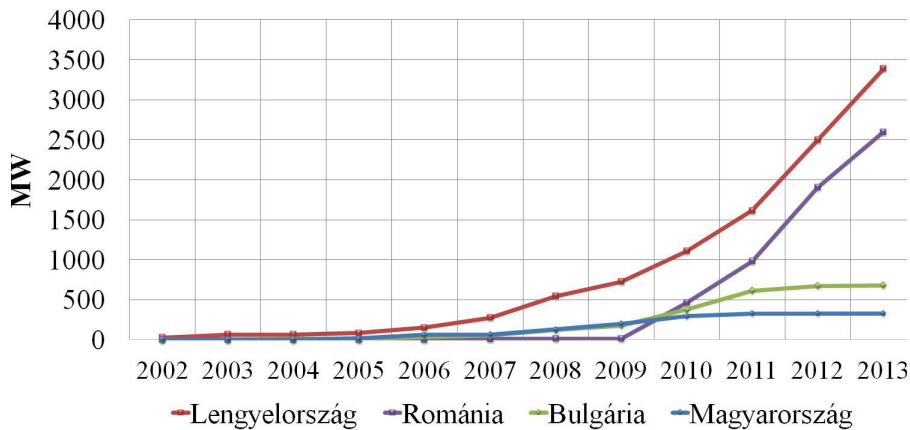
Kanada és Mexikó az elmúlt években komoly politikai döntésekkel támogatta a széleneróművek elterjedését. Kanadában egy év alatt 1,5 GW szélenerómű kapacitás épült, így szélből származott az elektromos áram 3%-a. Ontario

és Québec államok területén koncentrálódnak a széleneróművek. Dél-Amerikában egyedül Brazília rendelkezik jelentősebb szélpotenciállal és piaci lehetőségekkel.

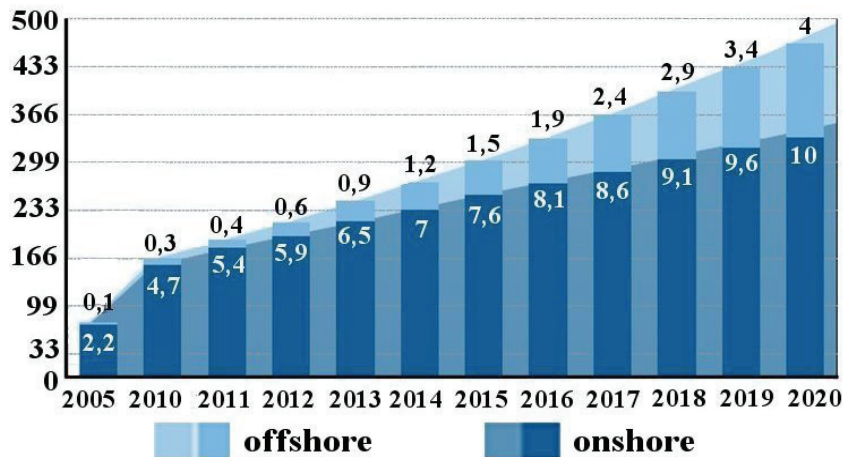
Sajnos mindeddig az afrikai kontinens kimarad a jelentősebb szélenerómű kapacitásfejlesztésekből, azonban várhatóan 2014 évben már látszani fognak a statisztikákban a Dél-Afrikában, Egyiptomban és Marokkóban jelenleg épülő szélenerómű parkok.

Szélenergia hasznosítás Európában. Az Európai Szélenergia Társaság adatai (EWEA, 2014) szerint Európában 2013-ban több mint 12 GW új szélenerómű épült, ennek

egy tizede tengerparti offshore erőmű. Horvátország csatlakozásával az EU-28 területén így 117 GW szélturbina termel áramot, az európai kontinens teljes területén 121,4 GW működik. Átlagos szélviesszonyok között ez a beépített teljesítmény 257 TWh áramtermelést jelent, ami képes az EU villamos energiaigényének 8%-át fedezni elektromos árammal. 2009-ben ez az arány mindössze 4,8% volt. Az új szélenerómű telepítések 2013-ban sajnos csak két országra koncentráltak, Németországra és az offshore telepítések mi-



2. ábra: Szélenerómű kapacitás változása 2002-2013 között Kelet- Közép Európában



3. ábra: Szárazföldi és tengerparti szélenerómű-parkok által termelt villamos energia tervezett fejlődése EU27-ben 2020-ig a nemzeti megújuló energia akciótervek alapján (EWEA, 2011)

att az Egyesült Királyságra. Elemzők szerint az ilyen mértékű területi koncentráció nem nyújt kedvező feltételeket a piac kiegyensúlyozott fejlődéséhez. Németországra az atomeróművek tervezett leállítása miatt alkalmaz nagy arányban környezetbarát energiatermelési módokat. A megújuló energiaforrások politikai támogatása mérséklődött.

A 2012. évben még meghatározó Spanyolországban, Franciaországban és Olaszországban a növekedés lelassult. A fejlődő piacnak számító kelet-közép európai országok közül Lengyelország és Románia tart még egy-

mással lépést, de 2011 után Magyarország és Bulgária egyértelműen megtorpant (2. ábra).

Amíg 2000-ben az EU energia szerkezetében a szélenergia hasznosítás részaránya még csak 2% volt, addig 2013 végére ez elérte a 13%-ot és ezzel megközelítette a nukleáris energia 14%-os nagyságrendjét, amely visszaszorulni látszik az európai energiamixben. Öröndetes, hogy az új villamosenergia-termelő kapacitások telepítésének sorában 2000-2013 között a szélerőművek még megelőzik a földgáz alapú erőműveket és a nap-elemes technológiát.

Az EWEA szélerőmű beruházás előrejelzési programjában (EWEA, 2011) 2030-ra 150 000 MW offshore és 150 000 MW onshore szél-erőmű teljesítménnyel számol. 2020-ra Európa villamos energiafelhasználásának akár 14%-a származhat szélenergiából (3. ábra), míg az EWEA várakozásai szerint 2030-ra akár 400 GW szél-erőmű kapacitás üzemelhet, mely közel 30%-át fedezheti Európa villamos energiaigényének.

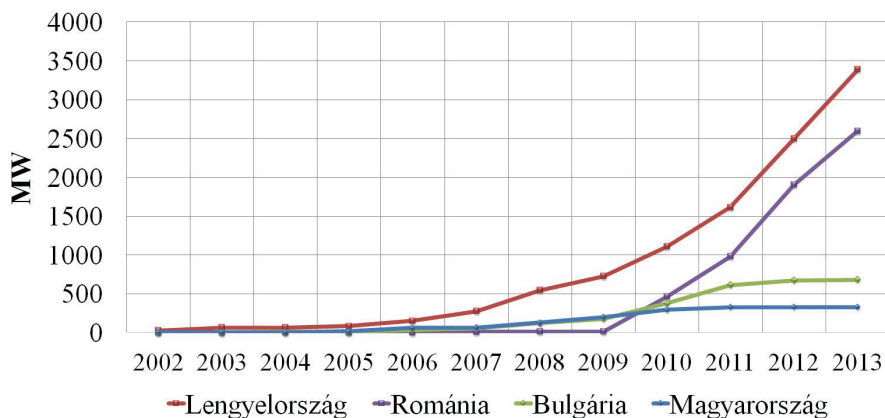
Az Európai Unió a 2007-ben kiadott megújuló energia útiterében a villamos energiatermelés szerkezetére vonatkozó, 2020-ig tartó prognózisában a szélenergia részarányának növekedését vizionálja. A 2050-re vonatkozó stratégiai tervekben változatlanul az egyik legjelentősebb megújuló energiaforrásként számolnak Európában a szélenergiával. A jövőben azonban a telepítések hangsúlyja várhatóan az offshore hasznosításra fog koncentrálni, miközben a szárazföldi telepítések növekedése mérséklődni fog. Víziók szerint az európai villamos-energia felhasználásnak akár 50%-a is származhat szélből.

A szél-erőművek nemcsak CO₂-mentes energiatermelést biztosítanak, de teljes életciklusra nézve is igen kedvező a fajlagos CO₂-kibocsátásuk. A szélenergia hasznosítása

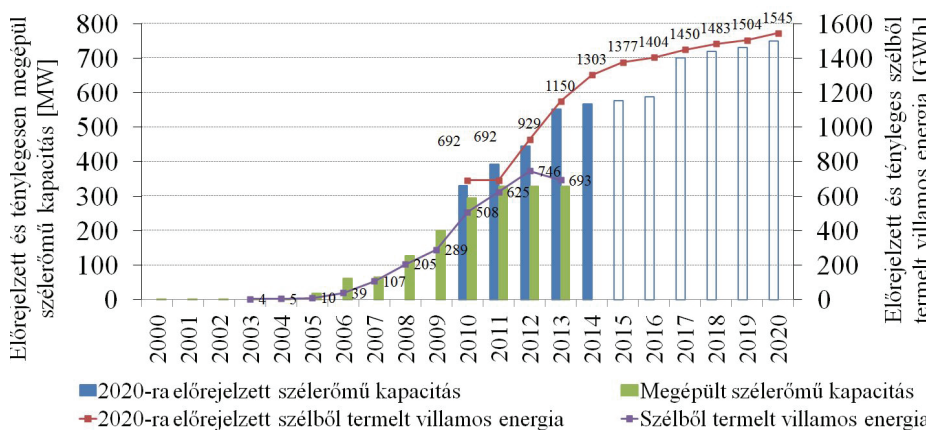
egyértelműen hozzájárul az energiatermelés diverzifikálásához, az energiabiztonság növeléséhez és az alacsony szén-dioxid-kibocsátású gazdaság megvalósíthatóságához.

Az energetikai célok 2020-ig tartó megvalósításának útját Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében (1002/2011. (I.14.) Korm. hat.) fogalmazza meg. Célkitűzés az, hogy a megújuló energiaforrásokból előállított energiának a 2020. évi teljes bruttó

energiafogyasztásban képviselt aránya érje el a 14,65%-ot. A 2011-es adatok szerint a megújuló energiák a teljes végső energiafogyasztás 7,4%-át teszik ki Magyarországon. A villamosenergia-termelés tekintetében a tervezett zöldáram aránya 2020-ra 10,9%, ami a jelenlegi felhasználáshoz képest szerény növekedés. A tervezett szél-erőmű kapacitás 2020-ra 750 MW. A tervezett 10,9% zöldáram arány eléréséhez jelentősen hozzájárulhat a szélenergia fokozottabb mértékű kihasználása.



4. ábra: Szélenergia hasznosítás fejlődése Magyarországon 2000-2013 között



5. ábra: Szél-erőmű kapacitásváltozás és a szélből termelt villamos energia mennyisége 2010-2020 között Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve (NFM, 2011) alapján

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) energiatermelését tenné lehetővé, $P_{\text{éves}} = 6489 \text{ MW}$ (Hunyár et al., 2006).

A hazai szélenergia-termelés fejlődését a jó adottságok ellenére visszafogja a bonyolult és gyorsan változó jogszabályi környezet, illetve az ehhez kapcsolódó engedélyezési eljárások. Magyarországon rendszerirányítási okokra hivatkozva 2006-ban bevezettek egy 330 MW nagyságrendű szél-erőmű kapacitáslétesítési korlátot, ugyanakkor egy termelési korlátot is. A Magyar Energia Hivatal (MEH) szél-erőmű projektenként egyedileg meghatározta, hogy a megtérülést biztosító kötelező átvételi

Szélenergia hasznosítás Magyarországon.

időszak alatt a szél erőművek mennyi villamos energiát adhatnak magasabb átvételi áron a hálózatra. A számításokhoz átlagosan 24%-os kapacitáskihasználási tényezőt használtak. A tapasztalatok szerint az elmúlt években a hazai szél erőművek éves átlagban 21–26% kapacitáskihasználtságot mutattak. Egyes szélben gazdag hónapban természetesen ettől magasabb értékek is előfordulnak, de a havi kihasználtságok évről évre is változókéony.

2006. március 16-ig 1138 MW energiát előállító szél erőmű létesítésére nyújtottak be igénybejelentést. A felállított feltételrendszernek megfelelő szél erőmű parkok esetében az igényelt teljesítmény 51%-át engedélyezte a MEH. A jogszabályi környezet bizonytalanságát jól tükrözi az egyes években újonnan beruházott szél erőmű teljesítmény ingadozása is (4. ábra). A nehézségek ellenére 2011 első negyedévére megvalósult az engedélyezett közel 330 MW szél erőmű teljesítmény.

A szélenergiából termelt villamos energia folyamatosan növekedett az épülő erőmű kapacitásoknak köszönhetően (4. ábra). 2011–2013 között nem épültek új szél erőművek, így a termelt villamos energia mennyisége a szél potenciál évről évre történő változását tükrözi. 2012 igen jó széljárású év volt, a szélből termelt elektromos áram mennyisége megközelítette a 750 GWh-t. 2013-ban a 173 hazai szél erőmű 693 GWh áramot adott a hálózatra, mely a hazai villamos energiarendszer bruttó termelésének közel 3%-át jelenti.

A hazai energiapolitika egyik célkitűzése, összhangban az Európai Unióval, a zöldáram arányának növelése, mely a tervek szerint a villamosenergia-termelés tekintetében 2020-ra 20–21%-os hányadot jelent majd, ami a jelenlegi megújuló arány mintegy háromszorosa. Ennek eléréséhez jelentősen hozzájárulhat a szélenergia nagyobb kihasználása. A szélenergia esetében a 2010-ben előállított 2,49 PJ energiamentiség megduplázását, mintegy 5,56PJ energia termelését várják 2020-ra. Az 5. ábrán követhetjük, hogy Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési tervében prognosztizált fejlődési pálya szélenergia vonatkozásában hogyan valósul meg. Sajnos évről évre egyre nagyobb az eltérés a tervek és a tényleges megvalósítás között. Például a tervezett szél erőmű kapacitások 2020. évi eléréséhez évente 60–90 MW új szél erőmű építésnek kellene realizálnia.

A 2020-ig tartó időszakban a 2011. első felére megépült közel 330 MW-nyi szél erőmű kapacitás mintegy 410 MW-tal történő bővítésére lesz lehetőség. A szélből származó villamos energia aránya a hazai összes villamos energiatermeléshez képest 2013-ban közel 2%. Ennek az arálynak a további növelése 3–4%-ra a klímapolitikai célkitűzések megvalósítását, alacsony szén-dioxid kibocsátású zöldgazdaság fejlődését is elősegítheti.

A szigetüzemű és a háztartási méretű hálózatra csatlakozó szélenergia hasznosító berendezéseket kivéve, a nagyobb szél erőművek számára továbbra is fenntartanak egy kapacitáskorlátot, mely hatáson gátat szab 2006 óta a területre befektetni szándékozók számára. A már 2008-ban bevezetett szigorítások szerint új szél erőmű kapaci-

tás létesítésére pályázat útján lehet csak jogosultságot szerezni. A 2009-ben meghirdetett, de 2010 júliusában eredménytelen tender következtében az ipari méretű kategóriában a szélenergia szektor fejlődése Magyarországon egyértelműen megtorpant. Új szél erőmű telepítések sem 2012-ben, sem 2013-ban nem történtek. Ugyanakkor a 2005-ben bevezetett befektetéseket ösztönző kötelező átvételi rendszer a jövőben az új prioritásoknak megfelelően kerül módosításra. A jelenleg üzemelő szél erőművek tapasztalatai azt mutatják, hogy hazánkban is jól működő rendszerek építhetők. A hosszú évek óta folyó kutatások eredményei (Tar et al., 2001; Biróné Kircsi és Tóth 2006; Biróné Kircsi, 2008; Tar, 2014) azt összegzik, hogy a magyarországi szélviszonyok megfelelőek és a szélenergia hazánkban is kihasználható energiaforrás.

Köszönetnyilvánítás. A publikáció elkészítését a „Zöld Energia – Felsőoktatási ágazati együttműködés a zöld gazdaság fejlesztésére az energetika területén” című TÁMOP-4.1.1C-12/1/KONV-2012-0017 számú, és a „Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával (DÉnzero)” címet viselő TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0041 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalom

- Biróné Kircsi, A. és Tóth, P., 2006: A magyarországi szélenergia hasznosítás tapasztalatai és jövője. *Energiagazdálkodás* 47, 18–24.
- Biróné Kircsi, A., 2008: Large scale wind climatologically ésstaminations for utilization of wind energy. *Acta Geographica Debrecina. Landscape And Environment* 2, 86–90.
- EWEA, 2011: Pure Power. Wind energy targets for 2020 and 2030. http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Pure_Power_III.pdf
- GWEC, 2014a: Global Wind statistics 2013. <http://www.gwec.net/global-figures/wind-energy-global-status/>
- GWEC, 2014b: Global Wind Report 2013 - Annual market update. http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/04/GWEC-Global-Wind-Report_9-April-2014.pdf
- EWEA, 2014: Wind in power. 2013 European statistics. http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2013.pdf
- Hunyár, M., Veszprémi, K. és Szépszó, G., 2006: Újdonságok Magyarország szélenergia potenciáljáról. In: Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei. (szerk.: Dobi, I.) OMSZ, Budapest. 94–109.
- NFM, 2011: Megújuló energia – Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési terve 2010–2020. <http://2010-2014.kormany.hu/>
- Tar, K., Makra, L., Horváth, Sz., és Kircsi A., 2001: Temporal change of some statistical characteristics of wind speed in the Great Hungarian Plane. *Theoretical and Applied Climatology*, 69, 69–79.
- Tar, K., 2014: Statistical structure of the surface layer wind field in Hungary. Direction, speed and energy of the wind. *Lambert Academic Publishing*, ISBN: 978-3-8484-0139-0, pp 88

A SZÉLENERGIA SZEREPE A JÖVŐ ENERGIAELLÁTÁSÁBAN ÉS A METEOROLÓGIAI ELŐREJELZÉSEKBEN

THE IMPORTANCE OF WIND ENERGY IN FUTURE ENERGY PRODUCTION AND METEOROLOGICAL FORECASTS

Brajnovits Brigitta

Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024, Budapest, Kitaibel Pál utca 1., brajnovits.b@met.hu

Összefoglalás. A megújuló energiaforrások – így a szélerőművek – alkalmazása, beépítése a hálózatba napjaink igen fontos kérdése. Nem csak amiatt, hogy a globális álláspont szerint legkésőbb 2050-ig a CO₂ kibocsátását teljesen meg kell szüntetni az energia előállítás során, hanem azért is, mert a szélenergia erősen időjárásfüggő termeléssel rendelkezik, ezáltal kevésbé tervezhető. Ezért rendkívül fontos, hogy ezen megújuló energiaforrások területén a meteorológusok és a szél-erőműves, ill. villamosenergia-rendszerirányító szakemberek együtt tudjanak működni. A meteorológusok feladata a minél pontosabb előrejelzések szolgáltatása az utóbbi két csoport felé. Az OMSZ-nél ez néhány szélerőmű tulajdonost és a MAVIR Zrt-t jelenti. A MAVIR szakembereinek az ország zökkenőmentes energia ellátására kell ügyelniük. A cikkben a Global Wind Energy Council hivatalos 2013-as álláspontján keresztül átfogó képet kap az olvasó a szélenergia jelenlegi globális helyzetéről, majd a magyar körülmények is bemutatásra kerülnek. Így egy olyan képet kaphatunk, amelyben könnyebben elhelyezhető az OMSZ-nél ezúgyben végzett munka, melyet a teljesség igénye nélkül, röviden bemutatunk.

Abstract. Today's crucial question is the use of renewable energies, such as wind energy, and its integration to the energy grid. Not only for the reason that according to the global standpoint the latest time until we must eliminate CO₂ emission due to energy production is 2050, but because the production of wind energy strongly depends on weather, resulting in that its planning is difficult. Therefore the cooperation between meteorologists, wind farm owners and transmission system operators is of extreme importance. The task of meteorologists is to provide the most accurate forecasts for the aforementioned two target groups. At Hungarian Meteorological Service (OMSZ) that means some wind farm owners and the Hungarian Transmission System Operator Ltd. (MAVIR). The professionals at MAVIR are responsible for the smooth energy supply of the country. Here we would like to give an extensive view of the actual global state of wind energy based on the official standpoint of the Global Wind Energy Council, 2013, then the situation in Hungary is overviewed. Thus one can have an idea on the importance of the work done at OMSZ, that can be read in a not too much detailed form.

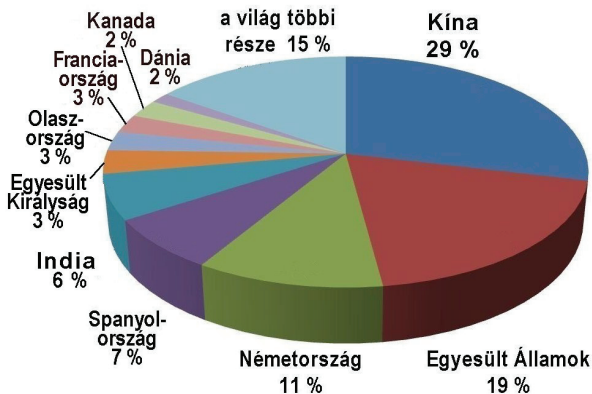
Bevezetés. Többféle szempontból is érdekes, napjainkban igen aktuális kérdés a megújuló energiaforrások ügye. Más-más nézőpontból különböző érdekek feszülnek egymásnak, de összességében mégis az a globális álláspont, hogy a zöld energia a jövő energiaforrása. Ezt támasztja alá a Global Wind Energy Council (GWEC) jelentésében megfogalmazott állítás, mely szerint amennyiben legkésőbb 2050-ig a Föld energiaellátása nem 100%-ban üvegházgáz-emissziómentes energiaforrásokon alapszik, akkor semmi esélyünk sincs arra, hogy stabilizáljuk klímánkat (*Global Wind Energy Council, 2013*). Így tehát nem az a kérdés, hogy „vajon sikerül-e?”, hanem az, hogy „hogyan?”. Ez azonban nem csekély fejtörést okoz, hiszen a legelső probléma, hogy a szóban forgó energiaforrások eloszlása nem egyenletes bolygónkon, ugyanúgy, ahogy a különböző területeken az ezekben történő befektetési hajlandóság sem. Ugyanis ezek a befektetések nagy kezdőtőkét igényelnek, és igen lassan térülnek csak meg, ráadásul az időjárástól függő megújuló energiaforrások által szolgáltatott energia csak igen nagy terület átlagában tekinthető kiegyensúlyozottnak, egy-egy országon belül azonban nem. Ez a villamos energia rendszer irányítását teszi (tenné) kezelhetetlenné annak jelenlegi adottságai mellett. Ezen kívül nyilvánvalóan a fosszilis energiahordozók kitermelésében érintett országoknak sem egyértelmű érdeke ezen energiahordozók kiiktatása a rendszerből. Az előbbi probléma teljes mértékben érinti a meteorológiai előrejelzéseket, míg az utóbbival itt nem foglalkozunk. Hazánk köztudottan nagyon jó adottságokkal rendelkezik a geotermikus energia területén, de mégis egyelőre az ennél jóval kiszámíthatatlanabb, területileg nem kiegyenlített szélenergia használata terjedt el a leginkább a megújuló energiaforrások közül. Ezért a továbbiakban ennek tömör bemutatására kerül sor.

A szélenergia szerepe a világban. Geopolitikailag mindenképp említésre méltó, hogy a szélenergia a Földön széles körben rendelkezésre áll, ezáltal elősegítheti az energiától és üzemanyagtól való függetlenséget. Ám ellenzői szerint a szélerőművek által termelt energia költségei - az LCOE (Levelized Cost of Energy) módszer számításai alapján – nagyon magasak. Azonban ha egy merőben új módszert veszünk figyelembe, melynek neve SCoE (Society's Cost of Energy), s mely az előzőnél több dolgot is számításba vesz, számszerűsíthetővé válnak a szélenergia alkalmazása okozta előnyök. Így, ha ez utóbbit tekintjük (*Global Wind Energy Council, 2013*), akkor a szélerőművek felveszik a versenyt más, konvencionális energiaforrásokkal, vagy talán előnyösebbek is azoknál. Így szakértők szerint paradigmaváltásra van szükség e tekintetben, hiszen a szélenergia lesz a jövő energia ellátásának fő pillére. Ez annak lesz köszönhető, hogy – miképp már utaltunk rá –, gazdaságilag pozitív hatást gyakorol a felhasználó országokra, hiszen a szélerőművek létesítése és fenntartása munkát ad a helybelieknek, különös tekintettel az offshore erőművekre. Ezek a munkahelyek további fogyasztásra sarkallják a munkavállalókat, Ezen kívül az országok kevésbé fognak függeni az import energia változó árától.

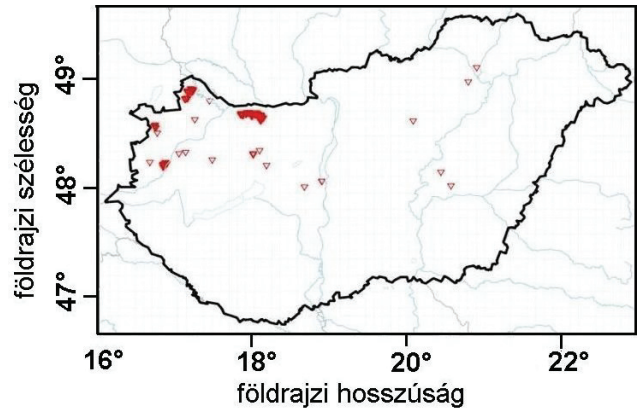
Míndezen ellenére, ez nem jelenthet teljes körű megoldást az energiaellátásban, hiszen kiegyenlítő energiára is szükség van. Erre a célra egyelőre a gázerőművek jelentik a versenyképes megoldást, de a jövőben ez miért ne változhatna? Sokan szeretik elfelejteni, hogy e célra nagyon alkalmasak a víz-, a biomassza-, nap- és geotermikus energiát használó erőművek, ill. helyenként az óceán energiája. Brazília, Norvégia és Új-Zéland már közel áll ahhoz, hogy 100%-ban megújuló energiaforrásokból állítsa elő az energiát, és Dánia és Svédország is jó úton halad felé.

Ezek szerint a teljesen megújuló energiaforrásokon alapuló jövő technikailag egyáltalán nem elképzelhetetlen. Jelenleg a telepített szélenergia kapacitás kontinensenként eltérő mértékű. 2013 végére Afrikában és a Közép-Keleten 1 255 MW, Ázsiában 115 927 MW, Európában 121 474 MW (melyből csak az EU 28 tagországában 117 289 MW), Latin-Amerikában és a Karib térségben 4 764 MW, Észak-Amerikában 70 811 MW és az Ausztrália, Új-Zéland és Óceánia térségében 3 874 MW installált kapacitással rendelkezett, mely globálisan 318 105 MW-nyi teljesítményt jelent. Ami az egyes országokat illeti, a legnagyobb kapacitással Kína áll az első

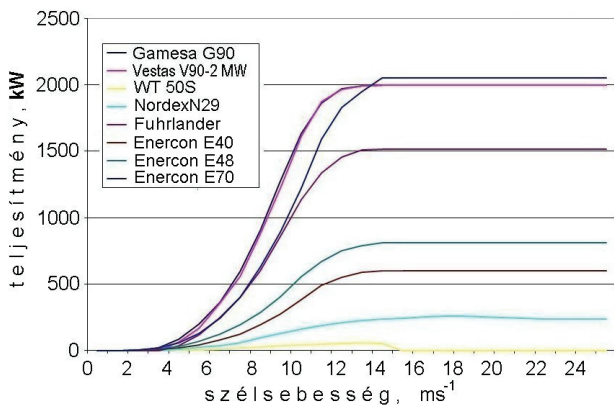
meghatározására, azon feltétel mellett, hogy a villamosenergia-rendszer olyan erőművekre épülhet, melyek alkalmasak kiszabályozásra, valamint számolni kell a már meglévő konvencionális erőművek kapacitásával is. A Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt (MAVIR) a Kötelező Átvétel (KÁT) értelmében (Villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény 21.§ (1) bekezdés) köteles minden körülmények között átvenni a szélenergia erőművek által termelt energiát, ezzel támogatja az állam a szélenergia erőműveket abban, hogy minél előbb megtérüljön a befektetésük. Ez a támogatás csak a megtérülési időre szól, utána az erőmű-



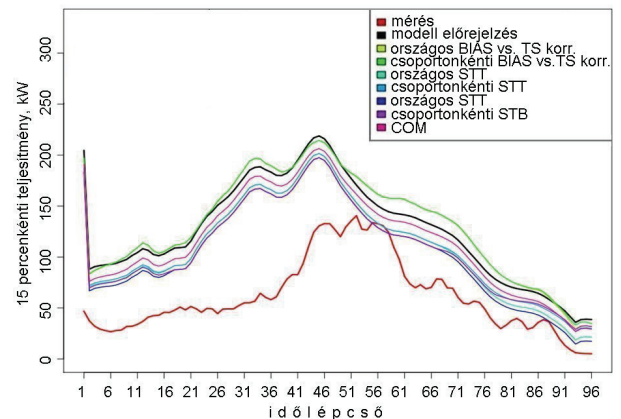
1. ábra: A 2013 december végéig beépített szélenergia kapacitások eloszlása a világon.



2. ábra: Szélenergia erőművek elhelyezkedése Magyarországon.



3. ábra: A Magyarországon előforduló szélenergia erőmű-típusok szélsebesség-teljesítmény görbéi. (Tóth, 2012)



4. ábra: 2012. április 26-ára vonatkozó előrejelzés és az abból statisztikai korrekcióval előállított előrejelzések, valamint az aznapra vonatkozó mérés, az időlépcső függvényében.

helyen, és az USA, Németország, Spanyolország, India, az Egyesült Királyság, Olaszország, Franciaország, Kanada, és Dánia követi. A világ többi részén a teljes kapacitásnak csak 15,2%-a található (1. ábra).

A hazai helyzet. A hazai szélenergia erőművek elhelyezkedése főleg Észak-, és Nyugat Magyarországra tehető (2. ábra), hiszen szélklimatológiailag országunkban itt a legnagyobb az átlagos szélsebesség. A telepített szélenergia erőműveink összteljesítménye mintegy 330 MW, melyet a Magyar Energia Hivatal (MEH) szabott meg határértéknek, noha a befektetési hajlandóság ennél jóval nagyobb, csak 2008. év végéig 2000 MW-nyi új szélenergia erőmű kapacitást igényt jeleztek (Magyar Energia Hivatal, 2009). Akkor mi áll az újabb erőmű telepítések útjában? A MEH 2008-ban két tanulmány elkészítését rendelte el a hálózatra csatlakoztatható szélenergia erőmű teljesítmény maximumának

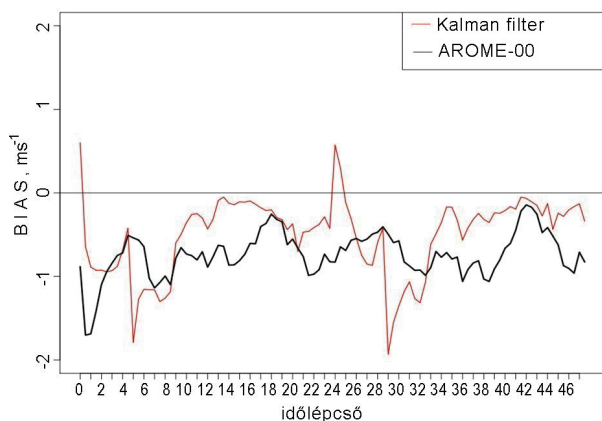
meghatározására, azon feltétel mellett, hogy a villamosenergia-rendszer olyan erőművekre épülhet, melyek alkalmasak kiszabályozásra, valamint számolni kell a már meglévő konvencionális erőművek kapacitásával is. A Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt (MAVIR) a Kötelező Átvétel (KÁT) értelmében (Villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény 21.§ (1) bekezdés) köteles minden körülmények között átvenni a szélenergia erőművek által termelt energiát, ezzel támogatja az állam a szélenergia erőműveket abban, hogy minél előbb megtérüljön a befektetésük. Ez a támogatás csak a megtérülési időre szól, utána az erőmű-

vek már profitot termelnek. Tehát a tanulmányok elkészítésével egy portugál céget (INESCPORTO) és a MAVIR-t bízta meg a MEH, ez utóbbi szakértőként bevonta a Magyar Szélenergia Társaságot. Ennek eredményeképp került meghatározásra a ma is aktuális 330 MW-nyi maximális beépíthető kapacitás, pedig a MAVIR tanulmány szerint a tartalékhányok 410 MW-ig kompenzálhatóak (ezt az értéket a portugálok 470 MW-ban állapították meg). A szélenergia szerepet kapott a megújuló energiaforrásokkal foglalkozó Nemzeti Cselekvési Tervben is, ahol megfogalmazták, hogy noha a magyarországi összesített potenciál a szélenergiát tekintve több ezer MW, amíg a rendszer biztonsága nem biztosított gazdaságos energiatárolással, addig a jelen körülmények mellett 2020-ig maximálisan 740 MW-ig tud szélenergiát befogadni

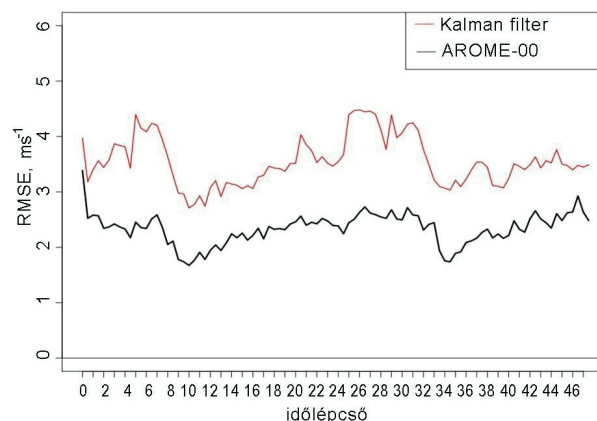
(Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2011). Ebben azonban a döntően 2-3 MW-os erőművek mellett nem szerepelnek a háztartásokba addig várhatóan beépülő, jóval kisebb teljesítményű kapacitások, melyekből összesen 10 MW-nyi teljesítmény várható. Ebből a 750 MW-ból évente 1545 GWh-t remélnék a szakemberek (Hartmann, 2012). Ez évente hozzávetőlegesen 400 millió m³ földgáz kiváltását jelenti, mindemellett ~800 000 tonna CO₂ kibocsátása lesz elkerülhető (Tóth és Schrempf, 2013). Mint látható, elsősorban két fő dolog szab gátat a szél-erőművek telepítésének: a villamos-energia rendszer hazánkban nincs felkészítve az energia tárolására, és nincs

- a helyi időben mért 15:00-s időpontra minden nap meg kell érkezzen a becslés a MAVIR számára,
- a szolgáltatást maximum 6 óránként frissíteni kell,
- az adatok elvárt időbeli felbontása 15 perces,
- az adatok átlagos, abszolút értékben vett relatív hibája 24 órára vonatkozólag nem haladhatja meg az 5%-ot,
- főbb technikai részletek: a szolgáltatás időbeli rendelkezésre állása legyen 99,9%-os biztonságu, az adatok XML formátumban érkezzenek.

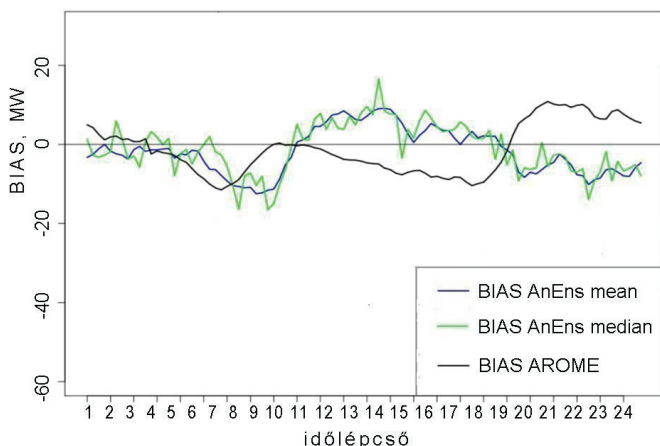
A pályázatot akkor nem az OMSZ nyerte, a MAVIR számára azonban mégis fontos volt az együttműködés kialakítása, így a Szolgáltatnál elkezdődött a szélenergia



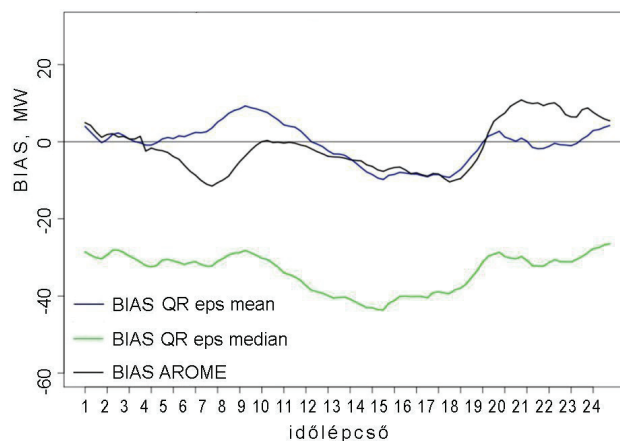
5. ábra: A Kálmán filterezett szélelőrejelzések és a nyers modell-előrejelzések BIAS-a az időlépcső függvényében.



6. ábra: A Kálmán filterezett szélelőrejelzések és a nyers modell-előrejelzések RMSE értékei az időlépcső függvényében.



7. ábra: Az AROME teljesítménybecslésének, és az abból előállított AnEns átlagának és mediánjának BIAS-a az időlépcső függvényében.



8. ábra: Az AROME teljesítménybecslésének, és az abból előállított, a szélsőséget prediktor változóként használó QR átlagának és mediánjának BIAS-a az időlépcső függvényében.

elégendő mennyiségű tartalékot biztosító, gyorsan indítható erőmű; valamint a termelés becslése nem kellően pontos ahhoz, hogy a MAVIR-nak ne kelljen számolni napi menetrendje tervezésekor erre a célra fenntartott erőművekkel. Ezért fontosnak tartották egy együttműködés kialakítását az Országos Meteorológiai Szolgálattal, mint a MAVIR által 2011-ben kiírt pályázat jelentkezőjével.

OMSZ-MAVIR együttműködés. A MAVIR 2011. április 28-án értesítette az OMSZ-ot a magyar széltermelés becslés, a szolgáltatással kapcsolatos felhívásról. Ennek elvárásai a következők voltak (MAVIR Zrt., 2011):

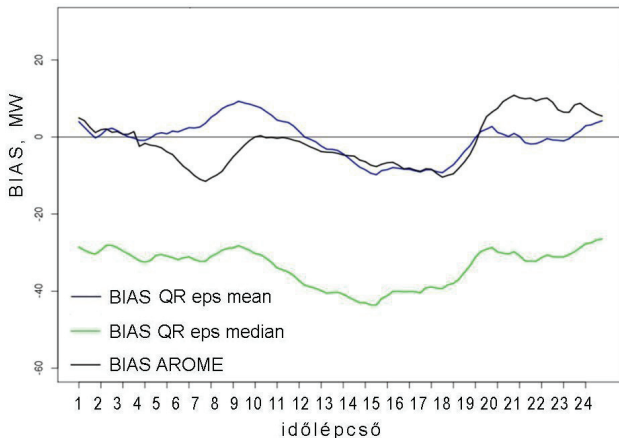
- a teljes magyar beépített széltermelésre vonatkozik a becslés,
- a becslés időhorizontja legalább 36 óra legyen,

teljesítménybecslési eljárás kifejlesztése (Tajti, 2011; Tóth, 2012). Az előrejelzések a 173 magyarországi szél-erőmű összteljesítményére vonatkoznak, a fent leírtaknak megfelelően, melyek döntő része 2 MW-os, 8 darab 3 MW-os, valamint az ország közép-keleti részén található kisebb nominális teljesítményűek. A nagyobb erőművek 100 méteres, míg a kisebbek 24–86 méteres rotormagassággal rendelkeznek (1. táblázat). Így tehát szükség volt a szélsőségek kinyerésére a rotorok magasságában, mind a 173 pontban, majd ebből a szélsőségségből a gyártók által rendelkezésre bocsátott egyszerű görbék (3. ábra) segítségével minden pontra kiszámítható az előrejelzett teljesítmény az adott időlépcsőben. Ezeket összegezve állítja elő a teljesítménybecslő rendszer az adott időpontra vonatkozó országos becslést. Mindehhez a modellszintek között vertikálisan lineáris

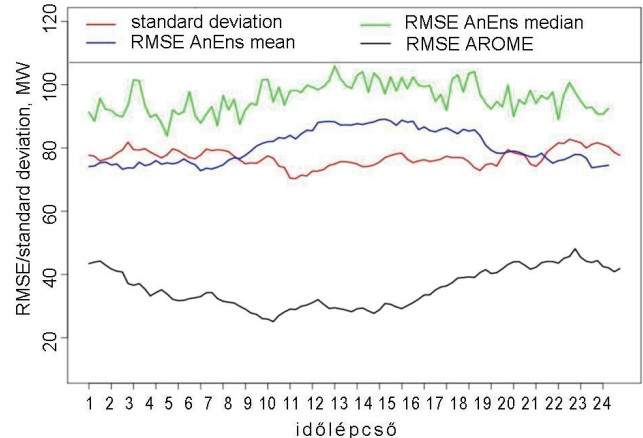
interpolációt alkalmaztak, horizontálisan az adott szél-erőmű pontjára pedig inverz távolság módszerrel, a négy legközelebbi rácspontról interpoláló eljárást. Miután így előállt a pillanatnyi előrejelzett szélesség, a gyártók által egész m/s-okra megadott teljesítményértékek közötti lineáris interpoláció történik – tulajdonképpen a 3. ábrán is ez látható, hogy adott értékek között lineáris közelítést alkalmazunk.

Kezdetben a szolgáltatás az ALADIN modellből állt elő, dinamikai adaptációt (DADA) alkalmazva. Ez az ALADIN 8 km-es rácsfelbontásánál jóval finomabb, 3-5 km-es felbontással állította elő a szélességet, az alsó 500 m-en

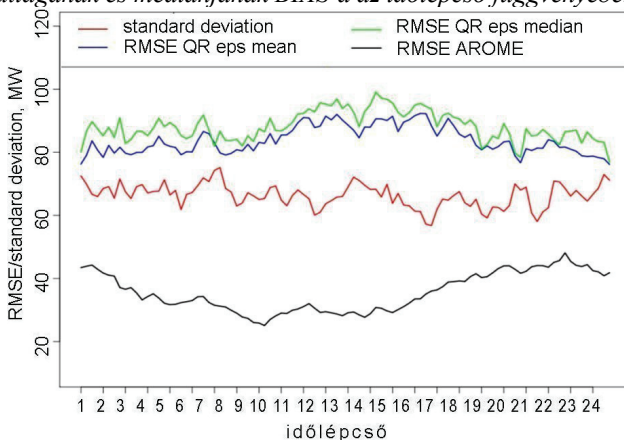
ben elvártnak ezektől a mérésektől, hogy hitelesek legyenek, és azonos időre, helyre, és paraméterre vonatkozzanak, mint amit a meteorológiai modellből kinyerhettünk. Ez jelen helyzetben azt jelenti, hogy szükség lenne pontos szélmérésekre minden szél-erőmű rotor magasságánál, valamint, hogy a szélesség-teljesítmény görbe közelítéseiből és elhanyagolásaiból (nem veszi figyelembe pl.: a levegő sűrűségét, holott egységnyi térfogatú levegő tömege függ a sűrűségétől, így az megjelenik a mozgási energia képletében) eredő hibákat is kiküszöbölhessük, erőművenként a leadott teljesítmény-értékek ismerete is segítséget nyújtana a korrekció során



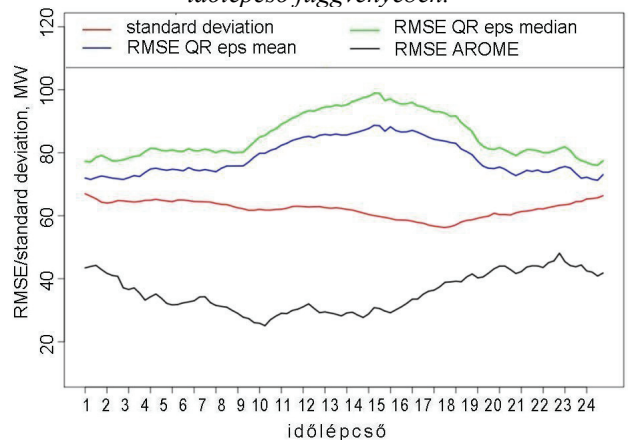
9. ábra: Az AROME teljesítménybecslésének, abból előállított, szélességet és időlépcsőt prediktor változóként használó QR átlagának és mediánjának BIAS-a az időlépcső függvényében.



10. ábra: Az AROME teljesítménybecslésének, és az abból előállított AnEns átlagának és mediánjának RMSE értékei az időlépcső függvényében.



11. ábra: Az AROME teljesítménybecslésének, és az abból előállított, a szélességet prediktor változóként használó QR átlagának és mediánjának RMSE értékei az időlépcső függvényében.



12. ábra: AROME teljesítménybecslésének, abból előállított, szélességet és időlépcsőt prediktor változóként használó QR átlagának és mediánjának RMSE értékei az időlépcső függvényében.

10 m-es vertikális felbontással. Így megjelent egy, a domborzat változékonyságát jobban követő szélmező. Ezt a modellt az előzetes összehasonlító vizsgálatok pozitív eredményei alapján (Tóth, 2013a, 2013b) 2013 októberétől az AROME modell eredményeire váltottuk le. Ez a váltás további előnyöket hordozott magában, hiszen így a csak a teljesítménybecslő eljárás miatt alkalmazott DADA modellt nem kellett tovább futtatni, és egy hidrosztatikus modell helyett a szolgáltatás már a lokális jelenségek leírására inkább alkalmas, nem-hidrosztatikus, finomabb – 2,5 km-es – felbontású modellből származik. Ahhoz, hogy az előrejelzéseink pontosságával tisztában legyünk, vagy akár statisztikai korrekciót hajtsunk végre az eredményeken, mérésekre van szükség. Ideális eset-

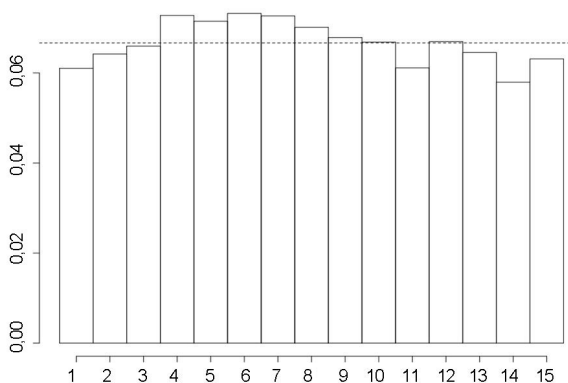
Sajnos a MAVIR-nak nem állt módjában ezeket az adatokat kiszolgáltatni, csak országos, ill. csoportonkénti teljesítménymérések adatait. Ezek a csoportok direkt úgy lettek összeállítva – az erőművek tulajdonosait védendő –, hogy semmilyen következtetést ne lehessen levonni belőlük egyetlen szél-erőmű-típusra sem, és ezt az eredmények is igazolták, így a teljes országra vonatkozó teljesítményösszeg méréseket tudtuk csak felhasználni javítás céljára. Nagyon kevés szél-erőmű tulajdonos tudott mérést küldeni, de ezek a mérések többnyire nem voltak pontosak (Brajnovits, 2014), túl rövid időszakra szóltak a korrekció elvégzéséhez, és – noha ez a legkisebb hibájuk – nem a megkövetelt 15 perces bontásban, hanem 10 percnként álltak rendelkezésre, ezáltal minden harmadik

mérést tudtuk csak használni a verifikációkhoz. Ezekből viszont kiderült, hogy nagyságrendben és előjel tekintetében is egyeznek az ezen mérések alapján számított modellhibák azokkal a hibákkal, amelyekkel ezek a megfigyelések a független mérőtorony pontos méréseihez képest terheltek. Így tehát az utólagos statisztikai korrekciót kizárólag az országos teljesítményösszeg mérésekkel tudtuk csak elvégezni. Ezek közül néhány rövid ismertetésre kerül a továbbiakban.

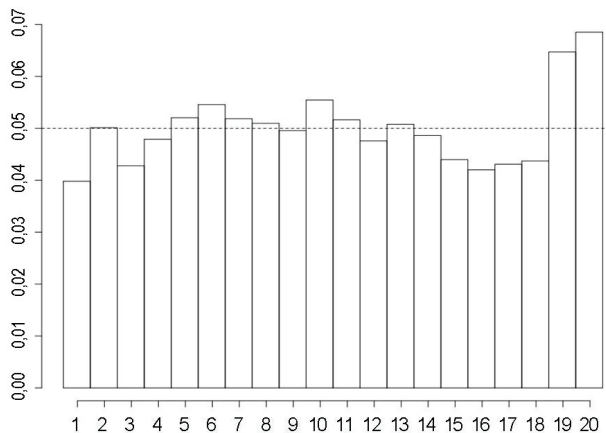
A MAVIR-nak szolgáltatott teljesítménybecslés statisztikai korrekciója. Adott körülmények között az egyetlen lehetséges út az volt, hogy a MAVIR által szol-

sítményt. Ez azonban nem igaz minden időpillanatra, mivel a szélesség gyorsan változó paraméter, és a leggyakoribb szélességek esetén a szélességteljesítmény összefüggés alapján a teljesítményben igen nagy változások lépnek fel kis szélesség-változásnál. Sajnos a rendkívüli változékonyság miatt fellépő probléma megjelent a BIAS-korrekciók eredményeiben is. Kezdetben egyszerűbb korrekciók képezték a vizsgálat tárgyát.

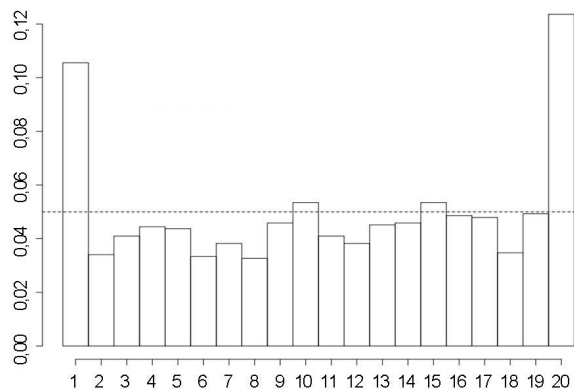
Az egyszerű időlépcsőnkénti korrekció egy 100 napos tanulmányidőszak alatt megtanult időlépcsőnkénti – azaz összesen 96 darab, időben állandó – BIAS-értékkel korrigálja a vizsgált időszak előrejelzéseit. Az STT, azaz



13. ábra: A 14 tagú AnEns Rank Hisztogramja. Az egyes binékben közel kiegyensúlyozott az adatok mennyisége.



15. ábra: A szélességet és az időlépcsőket prediktor változóként alkalmazó QR Rank hisztogramjából azt olvashatjuk ki, hogy a tagok többsége általában alulbecsül, így nem fedi le a teljes spektrumot az előrejelzés.



14. ábra: A 19 tagú, a szélességet prediktor változóként használó QR Rank hisztogramja. Látható, hogy az általában megszo-
kott U-alakot veszi fel, vagyis az ensemble szórása nem elég nagy.

1. táblázat: Az egyes hazai szélérőmű-típusok legfontosabb adatai. (Tóth, 2012)

Generátor típus	Darab- szám	Teljesítmény /darab, MW	Rotor ma- gasság, m
WT 50 S	1	0,05	24
Vestas V90 – 3 MW	8	3	100
Vestas V90 – 2 MW	36	2	100-105
Vestas V90 – 1,8 MW	2	1,8	105
Vestas V52	1	0,8	86
Vestas V27	1	0,23	32
Repower MM 82	12	2	100
Nordex N29	1	0,3	50
Gamesa G90	91	2	100
Fuhrlander MD77	2	1,5	100
Enercon E40	7	0,6	78
Enercon E48	5	0,8	75
Enercon E70	5	2	100

gáltatott országos teljesítményösszeg-mérésekkel korrigáljuk. Ezek – nem véletlenül – hasonlóan az tőlünk elvárt adatoktól, 15 perces időbeli bontásban állnak rendelkezésünkre, és általában kéthavonta frissülnek. A mérések alapján el lehetett készíteni a teljesítménybecslés verifikációját egy hosszabb időszakra, ebből különböző következtetéseket tudunk levonni, ezek közül kettő kiemelkedő fontosságú. Az előrejelzések abszolút értékben vett relatív hibája általában 24 órára összegezve meghaladja a MAVIR által elvárt maximum 5%-ot, illetve statisztikai értelemben az előrejelzések alulbecslik a telje-

short term rolling-trend, korrekció minden nap kiszámítja az előző 28 nap minden egyes időlépcsőjére az adott időlépcsőben vétett hibák átlagát, s ezután a megfelelő időlépcsőkben ezekkel az értékekkel korrigál. Az STB, vagyis short term rolling-bias korrekció az előző 3 nap hibáit átlagolja, tekintet nélkül az időlépcsőkre, így minden időlépcsőben ugyanazzal az értékkel korrigál. A COM – composite forecast – korrekció az előző három adott kombinációjaként jön létre. A 2012. március 13-tól – július 31-ig tartó tesztidőszakban az egyszerű időlépcsőnkénti korrekció, az STT korrekció, az STB, korrek-

ció, valamint a COM korrekció, mely az előző három adott kombinációjaként jön létre, elméletileg kidomborítja azok előnyeit (*Sweeney and Lynch, 2011*). Amint az a 4. ábrán látható egy kiragadott nap előrejelzésén, ezek a módszerek nem tudtak még specifikusan, egy-egy napra vonatkozóan sem javítani az előrejelzésen. Az időszak átlagát tekintve pedig egyáltalán nem. A következő tesztelt módszer a *Homleid (1995)* által bemutatott *Kálmán filter*. Ez is egy adaptív módszer, mely alkalmas arra, hogy a hiba fejlődését is előre jelezze. Ebből következik azonban, hogy inkább alkalmas kevésbé változékony paraméterek (pl.: hőmérséklet, légnyomás) hibáinak előrejelzésére és korrigálására, mint nagyon gyorsan változó paraméterek javítására. Hosszú idő átlagában természetesen az előrejelzések sokkal közelebb kerülnek a megfigyelések átlagához általa, de egy olyan nagy varianciájú változónál, mint a szél, sokkal valószínűbb, hogy a konkrét időpontokban előforduló pozitív-negatív hibák – akár részben – kiejtik egymást, viszont az abszolút, vagy négyzetes hibáknál nem mutatkozik javulás. Ez történt ebben az esetben is, a tesztelt szélesebesség adatsoron végrehajtott Kálmán filterezés a 2013. 09. 02–12. 31. időszakra nem hozott pozitív eredményt. Az 5–6. ábrán látható eredmények is ezt igazolják: noha a BIAS legalább bizonyos időlépcsőkben csökkent, az RMSE értékek bármely esetben meghaladták az eredeti előrejelzés értékeit. Így a Kálmán filter alkalmazását is el kellett vetnünk. A COST Action ES1002 „WIRE” Weather Intelligence for Renewable Energies által szponzorált tudományos kutatás során alkalom nyílt egy általunk is ismert, valamint egy további statisztikai korrekció tesztelésére. Az előbbi a kvantilis regresszió (QR), utóbbi pedig az Analog Ensemble (AnEns) technikája (*Alessandrini et al., 2013a, Delle Monache et al., 2013, Alessandrini et al., 2013b*), melyet személyesen Stefano Alessandrini-től volt lehetőség elsajátítani. Mindkét módszerrel statisztikai alapú valószínűségi előrejelzés állítható elő, így az előrejelzés is többlet információt hordoz.

A külföldön az ALADIN LAMEPS kontrol tagján tesztelt eredmények biztatóak voltak, így az OMSZ-nél megkezdődtek a vizsgálatok a jelenleg is operatív AROME futásokon történő alkalmazással. Ebben az esetben a rendelkezésre álló adatsor 2012 júniusától 2013 augusztusáig terjedt, és csak a 00 UTC-s modell-futtatásokra vonatkozik, hiszen ezek már a modellváltás előtt kísérleti jelleggel előálltak. A tanulmányidőszak mindkét módszernél ennek az adatsornak a fele, így a tesztidőszak az adatok második fele. Az eredmények verifikációja során összehasonlítottuk a QR és AnEns módszerekkel kapott valószínűségi előrejelzések hibáit (*RMSE, BIAS; 7–12. ábra*) az AROME modell hibáival. Az RMSE ábrákon az EPS tagok szórása is megjelenik, hiszen annál jobb az ensemble előrejelzés, minél nagyobb a korreláció és minél kisebb eltérés fedezhető fel a szórás és az RMSE értéke között. Az ábrákon látható, hogy az EPS átlagok hiba mutatói megközelítik az AROME értékeket, viszont nem jobbak annál. Ahhoz, hogy a valószínűségi előrejelzés minőségéről bővebb információval tudjunk szolgálni, számos egyéb más mutatót vizsgálhatunk, ezek közül az egyik a rank hisztogram (*13–15. ábra*). Ez egy diagnosztizálásra alkalmas eszköz, mely az EPS szórását értékeli, ugyanis a feltételezés az, hogy annak minden tagja ugyan-

akkora valószínűséggel következik be, így az x-tengelyen minden binbe ugyanannyi megfigyelésnek kell esnie.

Általános jelenség az, hogy a hisztogram U-alakot vesz fel, tehát nem elég nagy a tagok szórása, ez a 14. ábrán is megfigyelhető, ahol a szélesebesség volt a prediktor változó a QR-nél. Az AnEns rank hisztogramja jóval kiegyenlítettebb, e tekintetben az ezzel a módszerrel előállított ensemble jobbnak mutatkozik. Ugyanakkor lényegi szempontból ezekkel a valószínűségi előrejelzésekkel sem tudtuk kiküszöbölni az AROME modell hibáit, így ezek használatát is elvetettük.

Összegző gondolatok. A megújuló energiaforrások, ezen belül is egyik fő pillérként a szélenergia jelenti a jövő energiaellátásának biztos alapját, így kiemelten kell kezelni a vele kapcsolatban felmerülő problémákat. Magyarországon jelen körülmények között nagyon fontos a szélenergia termelésének által termelt energia minél pontosabb tervezhetősége, ez előrejelzési korlátokba ütközik. Ezért az Országos Meteorológiai Szolgálatnál megkezdett kutatás célja volt a MAVIR számára szolgáltatott teljesítménybecslés javítása, statisztikai korrekciója, mely során kiderült, hogy kellő mennyiségű, és elég pontos adat hiányában ezen kísérletek nem vezetnek kielégítő eredményre.

Irodalom

- Brajnovits, B.* 2014: Szélenergia-termelés mérési hibák összehasonlítása egy független mérőtoronyon elhelyezett műszer méréseivel, beszámoló egy megrendelő számára. *Kézirat.*
- Conor, S. and Lynch, P.* 2011: Adaptive post-processing of short-term wind forecasts for energy applications, *Wind Energy*, 14, 317-32.
- Global Wind Energy Council*, 2013: Global Wind Report - Annual Market Update.
- Hartmann, B.*, 2012: *Bálint*: Szélenergia-termelés integrálása a villamosenergia-rendszerbe. *Doktori Értekezés.* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, pp. 110.
- Homleid, M.*, 1995: Diurnal Corrections of Short-Term Surface Temperature Forecasts Using the Kalman Filter, *American Meteorological Society, Weather and Forecasting* 10, 689-707.
- Magyar Energia Hivatal*, 2009: A magyar villamosenergia-rendszerbe illeszthető szélenergia-termelés mennyisége. *Kézirat.*
- MAVIR Zrt.* 2011: A MAVIR Zrt. felhívása a magyar szélenergia-termelés szolgáltatással kapcsolatos ajánlattételre.
- Monache, L.D., Luca, F., Eckel, A., Rife, D.L., Nagarajan, B. and Searight, K.* 2013: Probabilistic Weather Prediction with an Analog Ensemble. *Monthly Weather Review* 141, 3498-3516
- Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (Klíma- és Energiaügyi Felelős Államtitkárság)* 2011: „Szabályozási koncepció a megújuló- és alternatív energiaforrásokból előállított hő- és villamos energia kötelező átvételi rendszerről – tervezet” *Kézirat.*
- Stefano, A., Monache, L.D., Sperati, S. and Nissen, J.N.* 2013a: A novel application of an analog ensemble for short-term wind power forecasting. *Kézirat.*
- Stefano, A., Sperati, S. and Pinson, P.*, 2013b: A comparison between the ECMWF and COSMO Ensemble Prediction Systems applied to short-term wind power forecasting on real data. *Applied Energy* 107, 271-280.
- Tajti, D.*, 2011: December havi beszámoló, OMSZ. *Kézirat*
- Tóth, H.* 2013a: Az ALADIN-DADA és az AROME modellek teljesítmény előrejelzéseinek összehasonlító vizsgálata 2012. július-augusztusra vonatkozóan. *Kézirat.*
- Tóth, H.* 2013b: Az ALADIN-DADA és az AROME modellek teljesítmény előrejelzéseinek összehasonlító vizsgálata 2012. augusztus-decemberre vonatkozóan. *Kézirat.*
- Tóth, H.*, 2012: *Szélenergia-termelési teljesítmény előrejelzés szélenergia-termelési részére, beszámoló a MAVIR Zrt számára.* *Kézirat.*
- Tóth, L. és Schrempf, N.*, 2013: Szélenergia-termelés szerepe „A megújuló energia hasznosítása” Nemzeti Cselekvési Tervben, *Mezőgazdasági Technika*, 12-15.

SZÉLERŐMŰ-PARK KIALAKÍTÁSÁRA ALKALMAS TERÜLET KIVÁLASZTÁSA GEOINFORMATIKAI MÓDSZEREKKEL CSONGRÁD MEGYE PÉLDÁJÁN

OPTIMISATION OF THE WIND FARM LOCATION PLANNING WITH GIS METHODS IN CSONGRÁD COUNTY CASE STUDY AREA

Csikós Nándor, Szilassi Péter

SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, csntact@gmail.com, toto@geo.u-szeged.hu

Összefoglalás. A tanulmány egy GIS alapú földhasználat optimalizációt mutat be a Csongrád megyei esettanulmány területére. A tanulmány fő célja a szélenergia-telepek számára a legmegfelelőbb területek kijelölése volt. A legfrissebb meteorológiai adatok és a szélmalomok történelmi katonai térképei alapján Csongrád megyére egy szélpotenciál-térképét készítették. Erre a térképre más digitális térképeket (úthálózat, CORINE 2006 földhasználat, katonai felmérés térképe, NATURA 2000 területei) illesztettek szélenergia-telepeknek alkalmas területek kijelölése céljából. A különböző ütköző zónák ismeretének felhasználásával, az elérhető digitális térképek segítségével, a szélenergia-telepek létesítésének különböző lehetséges módjai kerültek kiértékelésre.

Abstract. In this study the authors show an example for GIS based land use optimisation for case study areas in Csongrád county. The main goal of our study was a spatial analysis to delineate the most suitable areas for wind farms. Based on recent synoptic meteorological datasets and the historical military maps of the windmills a wind potential map of the Csongrád County has been created. Overlaying this map with other digital databases (road network, CORINE 2006 Land Cover Map, NATURA 2000 areas of Hungary, historical military maps) the suitability of the lands for the wind farms was evaluated. Using of different buffer zones and the available digital maps, exclusion criteria for different scenarios of the wind farms installation was evaluated.

Bevezetés, célkitűzés. Napjainkban egyre több szó esik a megújuló energiaforrások használatának kiemelt fontosságáról, növekvő jelentőségéről. Egyre több tanulmányban esik szó arról, hogy a vízenergia, szélenergia, napenergia, biomasza elektromosság, biomasza fűtés, fotovoltatikus, geotermikus elektromosság, geotermikus fűtés, biodízel és bioetanol növekvő használata új kihívást, új feladatot ad a tájtervezéssel foglalkozó szakemberek számára, hiszen a fenti energiaforrások fejlesztése nem valósítható meg új területhasználati térszerkezet tervezése nélkül. A dolgozat a szélenergia-telepek kapcsán mutatja be a megújuló energiaforrások felhasználásával kapcsolatos térségi tervezés elvi, módszertani alapokat. A megújuló energiaforrások közül hazánkban a szélenergia rendelkezik a második legnagyobb energiapotenciállal (Imre, 2006).

Magyarországon az első szélenergia-telepet 2000-ben adták át. Inotán, az első villamosenergia-hálózatra csatlakoztatott szélenergia-telep 2001-től Kulcson működik. A Magyar Szélenergia Társaság adatai alapján jelenleg hazánkban 37 szélenergia-telep van 172 toronnyal és közel 330 MW összteljesítménnyel. Ezek közül mindösszesen 2 torony található csak az Alföldön. Az EWEA 2013-as éves statisztikai kimutatása alapján hazánkban 1,8 GW kihasználható szélenergia-potenciál található, ennek ellenére a 2012-es és 2013-as évben egyetlen új szélenergia-telepet sem telepítettek a határainkon belül (EWEA, 2014). Hazánk az előállított energia 4–4,5%-át megújuló energiaforrásokból állítja elő és ennek ötöde a szél által termelt energia. A 2020-ra vetített forgatókönyve alapján a célkitűzés 15%, amiből a szélenergia 3,3 százalékban részesül majd (GKM, 2007).

Magyarország adottságai eltérnek a nagy szélenergiát termelő országokétól (Hollandia, Németország) természetföldrajzi, és jogszabályi szempontból is. Az Alpok és Kárpátok vonulatai meglehetősen lecsökkentik a szélsébséget. Hazánk területén 2–6 m/s közé tehető az átlagos szélsébség, ami jó, ha 75 méteren eléri az 5–6 m/s-ot. Meteorológiai szélmérések alapján, az Alföldön 70–100 W/m² év, míg az ország északnyugati részén (a Kis-

alföldön) 160–200 Wm⁻² év szélenergia potenciállal számolhatunk (Csősz, 2005). Más e téren fejlettebb országokban már régóta találhatóak átfogó és részletes szélterképek, míg hazánkban csak 2005-ben készült el egy a turbinák magasságában lévő szélsébség értékeket meghatározó térkép. Erről a térképről leolvasható, hogy Csongrád megye területén 75 m magasan az 5–5,5 m/s az átlagos szélsébség (Wantuchné et al., 2005). Szegeden 1971–2000 közötti szélmérések havi átlagai alapján havonta 10–18 szeles nap jellemző, ami Alföldön lévő területhez képest jó eredmény (Tar, 2006). Ezzel az értékkel egy szélenergia-telep már hasznot tud termelni, tehát érdemes ezt a térséget is telepítésre alkalmas területként vizsgálni (2. ábra).

Jelen tanulmány célja egy magyarországi viszonylatban jelentős szélpotenciállal rendelkező terület, Csongrád megye példáján alkalmazni a szélenergia-telepek optimális elhelyezését támogató geoinformatikai módszereket. Célunk olyan módszertan kimunkálása, mely más területeken (megyékben) is alkalmazható, és újabb adatrétegekkel tovább bővíthető, (például a szélenergia-telepek tervezésének egyik legsarkalatosabb pontját jelentő esztétikai értékeléssel). Tanulmányterület lehatárolásához azért választottuk a megyét, mint közigazgatási egységet, mivel bár a megyei területrendezési tervekben van lehetőség a „szélenergia-telep elhelyezésére vizsgálat alá vonható területek” lehatárolása, eddig nincs még egységes módszertan e szabályozási övezetek lehatárolására. A másik ok, hogy elemzésünket megyére szinten végeztük az, hogy a rendelkezésünkre álló térinformatikai adatbázisok méretarányai korlátozták lehetőségeinket.

Alkalmazott módszerek. Szélenergia-telepítést kizáró szempontok térinformatikai elemzése. A vonatkozó szakirodalom, és jogszabályok alapján megnevezhetjük azokat a tényezőket, melyek teljes egészében kizárják a szélenergia-telep parkok kialakítását. A kizáró tényezőkhez többféle pufferező zónát rendelve lehetőségünk volt különböző lehatárolások (területhasználat-szenáriók) kialakítására.

Munkánkban a következő szempontokat tartottuk kizáró tényezőnek: védett természeti területek, erdők, állóvizek,

beépített területek, közlekedési hálózat, energia hálózat. Az első három tényező jogszabályok által is védelmet élvez hazánk területén. A vonalas létesítmények közlekedési utak és az energiahálózat esetében többféle pufferzónát tesztelve e olyan „védőövezeteket” hoztunk létre melyeken belül kizártuk a szélerőművek létesítését.

Védett természeti területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők. A védett természeti területeken, az alábbi előírások korlátozzák a szélerőművek telepítését és azt, hogy ezek mekkora területet fednek le.

- *Ökológiai hálózat területein:* védett természeti területeken, ezek védőövezetén, természeti területeken, (ex lege védett területeken, védett értékeken, valamint felszín alatti védett természeti érték esetén azok felszíni vetületének területén sem) és az ökológiai folyosókon. Védett állatfajok tömeges előfordulásával jellemezhető, illetve fokozottan védett állatfajok élő-, táplálkozó- és fészkelő helyén, vonulási útvonalán, és azok közvetlen környezetében [1996. évi. LIII. tv. 1990/7. Ber-ni egyezmény];
- *Védett növényfajok,* növénytársulások tömeges előfordulásának, illetve fokozottan védett növényfajok, növénytársulások előfordulásának;
- *Nemzetközi szerződés hatálya alá tartozó területeken* [Ramsari Egyezmény 275/2004 (X. 8.) Korm. rend.];
- *Egyedi tájértékekhez tartozó területeken* világörökség területeken, kiemelkedő jelentőségű tájképi értékekkel rendelkező területeken vagy *tájképvédelmi övezetekben* [1996. évi. LIII.; 2003. évi XXVI. tv]
- *Érzékeny* természeti területeken egyedi indokoltág esetében [2/2002. (I. 23.) KöM–FVM együttes rendelet. (KvVM, 2005).

Az Európai Unióhoz való csatlakozásunk után kötelező jelleggel ki kellett jelölnünk a Natura 2000-es területeket az országban. A Natura 2000-es területek két féle területi egységet foglalnak magukba: különleges madárvédelmi területeket, és különleges természet-megőrzési területeket. Csongrád megye közel 25%-át borítják ilyen különleges területek.

A Natura 2000-es területek és a védett természeti területek köré a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium ajánlása szerint 800–1000 méteres puffer zónát kell létrehozni, hogy az élőlényeket már csak minimális hatás érje. Az értékelésünk során a 800 és az 1000 méteres puffer zóna szerinti lehatárolást is elvégeztem (Munkácsy, 2010). ArcGIS 10. környezetben a természetvédelmi információs Rendszer digitális állományának felhasználásával leválogattuk a NATURA 2000-es területek poligonjait, majd 800 és 1000 m-es pufferzónákat készítettünk a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónákat a szélerőművek telepítésére alkalmas területeknek definiáltuk. A védett természeti területek Csongrád megye területéből (4262,7 km²) 1352,3 km² területet foglalnak el, ami a vizsgált terület 31,7%-a a. Ez az érték 800 méteres puffer zónával: 3328,9 km², a vizsgált terület 78,1%-a. 1000 méteres védőzóna esetén: 3582,6 km², a vizsgált terület 84%-a.

Erdőterületek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők. Magyarországon az erdők, facsoportok foltjaihoz – főként élővilág-védelmi megfontolások miatt, 250 méteres védőövezet ajánlott (Munkácsy, 2011).

A vízfolyások és állóvizek területére szintén nem lehet telepíteni, és azok közvetlen közelébe sem, mert a talaj szerkeze nem megfelelő egy stabil alap létrehozásához. Itt is a 250 méteres védőövezet ajánlott a gyengébb szerkezetű talaj és az áradások elkerülése miatt. Állóvizeink nagyon gyakran a védettségtől függetlenül jelentős élőhelyek, ezért 250 méter helyett a védett természeti területekre érvényes 800–1000 méteres védőzónát alkalmaztuk.

ArcGIS 10. környezetben az 1:100 000-es méretarányú CORINE 2006 digitális felszínborítási adatbázisból leválogattuk a tavak, és az erdőterületek poligonjait, majd 800 és 1000m-es pufferzónákat készítettünk a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónákat, a szélerőművek telepítésére alkalmas területeknek definiáltuk. Felszíni vizek és erdőterületek Csongrád megye területéből 638 km²-t, azaz a terület 8,4 százalékát foglalnak el. Ez az érték a 250 méteres puffer zóna alkalmazásával 1052,6 km²-re 24,7%-ra nő.

Beépített területek, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők. Településeknél a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium ajánlása szerint – a szélerőművek zajkibocsátása miatt – 500 méteres védőzóna kialakítása ajánlott, így mi is ekkora puffer zónát használtunk. (KvVM, 2005).

A *windpowerwiki.dk* Sound calculator szoftver alkalmazásával a védőzónák kialakítását kvantitatív eredményekkel is meg tudtuk erősíteni. Egy 2MW-os turbina 105 dB értéket produkál közvetlen közelben, ez az érték 500 méter távolságban 40 dB, 800 méter távolságban pedig 35,9 dB-re csökken. A kapott eredmények a már fentebb említett határértékeknek megfelelnek. Ilyen távolságból már a keletkezett zaj és rezgés sem okozhat környezetvédelmi problémát. Az üdülőterületek más kategóriába tartoznak, mert ide általában pihenni mennek az emberek és ezért ezek köré 800 méteres puffer zónát találtunk megfelelőnek. Az üdülőterületek esetében még a tájkép megváltozása az, ami nagyban kizárhatja a telepítést, mert így elveszítheti különleges értékét az üdülőterület, látogatottsága visszaeshet, éppen ezért néhány kilométeres távolságon belül nem ajánlott a turbinák telepítése. ArcGIS 10. környezetben az 1:100 000-es méretarányú CORINE 2006 digitális felszínborítási adatbázisból leválogattuk a beépített területek poligonjait, majd 500 m-es pufferzónákat készítettünk a poligonok köré. Az ily módon kialakított pufferzónát nem tartottuk alkalmasnak szélerőművek telepítésére. A megye területéből 199,5 km² területet foglalnak el ezek a területek. Védőzónával ez az érték 682,44 km² –re növekszik.

A közlekedési pályák és az energia hálózat vonalas elemei, mint a szélerőművek telepítését korlátozó tényezők.

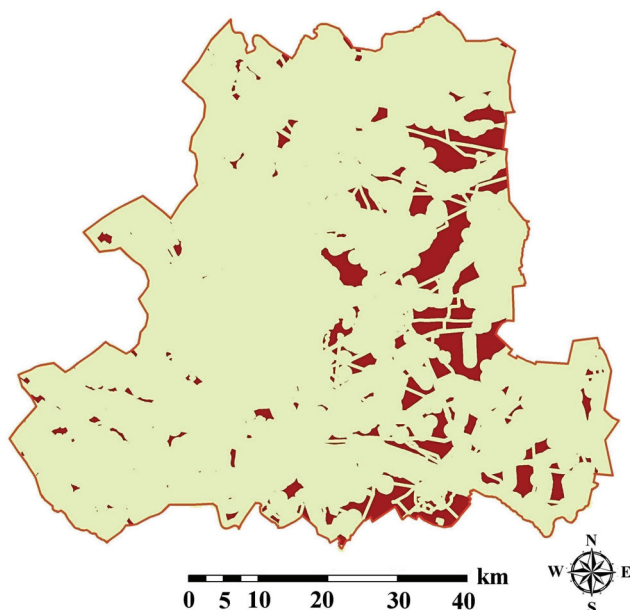
Véleményünk szerint a közút, vasút és energia hálózat köré is szükséges 250 méteres védőzóna tervezése, a vezetékek esetleges sérülésének elkerülése érdekében. Az elektromos hálózatból a nagyobb, 400 és 120 kV-os hálózatokat digitalizáltuk és vettük figyelembe, míg a szénhidrogén hálózatból a nemzetközi és hazai fő és a térségi szállító vezetékeket (Tóta, 2009). Meglehetősen nagy terület esik ki ezek miatt a telepítésre alkalmas felszínnek közül. A földutakat és alsóbbrendű mellékutakat nem soroltuk a telepítést kizáró szempontok közé, mivel azok a telepítést elősegítő kategóriába tartoznak. Az elektromos és szénhidrogén hálózat illetve a közlekedési hálózat a

fent említett védőzónával 500 km²-t foglalnak el a megye területéből. Az 1. táblázat alapján láthatjuk, hogy a védett természeti területek és puffer zónájuk foglalja el Csongrád megye legnagyobb részét, míg az üdülő és beépített területek csak csekély arányt képviselnek.

1. táblázat: A szél erőművek telepítését kizáró tényezők és a szegélyeikhez rendelt különböző pufferzónák, területe

Kizáró tényező	Terület, km ²	Terület puffer zónával, km ²	Puffer zóna mérete	Csongrád megye területéből védőzónával, %
Védett természeti terület A verzió	1352,3	3328,9	800	78,1
Védett természeti terület B verzió	1352,3	3582,6	1000	84,0
Erdők, vizek	638	1052,6	250	24,7
Beépített terület	184,4	548,2	500	12,9
Üdülőterület	15,1	125,6	800	2,9
Közlekedési és energia hálózat	n.a.	500	250	11,7

Ha az összes kizáró illetve korlátozó szempont pufferzónáját összevonjuk, meglehetősen kevés terület marad alkalmas szél erőművek létesítésére (1. ábra).



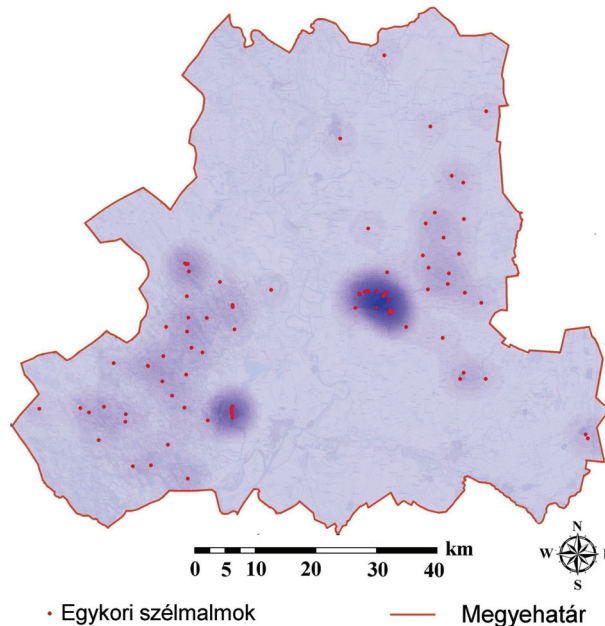
■ Szél erőmű kialakítására alkalmas terület
 ■ Szél erőmű kialakítására nem alkalmas terület — Megyehatár

1. ábra: A szél erőművek telepítését kizáró tényezők és a körükük vont pufferzónák összesített térképe a legnagyobb pufferzónákkal számolva Csongrád megye területén

A szél erőművek kialakítását indokoló tényezők elemzése. Telepítést segítő tényezőkből meglehetősen kevesebb van, mint a kizáró szempontokból. A földút és az energiahálózatból a villamos energia hálózata bizonyul pozitív tényezőnek egy vagy több turbinás park installálásakor, mivel így a beruházás költségei jelentősen csökkenthetők. A 120 illetve 400 kV-os magasfeszültségű ve-

zetérendszer 250 méteres közelébe nem lehet telepíteni turbinát, de a közcélú hálózatra való csatlakozáshoz nagyon fontos, hogy minél kisebb távolságra legyenek ezekről a távvezetésektől. A megtermelt energiát földkábelen keresztül 1–1,5 méter mélységben vezetik el, így a föld felett nem találhatóak vezetékek és oszlopok. Csak a 15 kilométernél hosszabb nyomvonalak esetében kötelező a környezeti hatásvizsgálat, ezért célszerű a szél erőmű parkokat ezen a távolságon belül kialakítani. A vezetékek köré generált 15 km-es pufferzóna tehát itt mint a telepítést támogató tényező jelenik meg. Vizsgálataink alapján csupán a megye észak-keleti és dél-keleti részén néhány négyzetkilométeres terület esik az így kialakított zónán kívülre. A földúthálózat a telepítés és karbantartás szempontjából nagyon fontos, mivel jelentős költségcsökkentő hatású, ha nem kell új burkolt szerviz utat létrehozni. Ezek az utak általában 3,5–5 méter széles zúzott kővel vagy salakkal borítottak. Az úthálózatot tehát mint a telepítést támogató tényezőt vettük figyelembe. Arc GIS 10 környezetben digitalizáltuk Csongrád megye 120 és 400 kV-os magasfeszültségű vezetékrendszerét, majd 250 m és 15 km-es pufferzónákat készítettünk a vonalas állomány köré. A két pufferzónát fedésbe hozva egymással megkaptuk a szél erőművek telepítésére alkalmas területeket (Horváth, 2005).

A történelmi térképek alapján azonosított szél malmok, mint a szél potenciál indikátorai. Keveiné Bárány (1991) a publikációjában felhívta a figyelmet rá, hogy a szél-



• Egykori szél malmok — Megyehatár

A kék zónák a szél malmok előfordulásának gyakoriságát mutatják a II. katonai felmérés térképén.

2. ábra: Csongrád megye szél potenciál térképe

malmok, mint a szélenergia potenciál első kihasználási formái alkalmasak a szélenergia adottságok becslésére. A szerző munkájában térképen is bemutatta az alföldi szél malmok területi eloszlását. Jelen munkánkban Csongrád megyét lefedő történelmi térképek adatainak felhasználásával készítettük el a szél potenciál becslésére lehetővé tett szél malmosűrűség térképet.

Magyarországon a 19. század második felére tehető a szélmalomok virágkora. Ebből a korszakból a legpontosabb és legteljesebb térképre volt szükségünk, amely alapján be tudtuk digitalizálni a Csongrád megye területén található szélmalomokat. A II. katonai felmérés térképének elkészítését az egész Habsburg monarchia területére I. Ferenc osztrák császár és magyar király rendelte el. A térkép magyarországi részét 1819–1869 között rajzolták meg a térképészek így ez volt a legmegfelelőbb térképi adatbázis a számunkra, hiszen az irodalmi források alapján 1873-ban 854 volt a szélmalomok számának a csúcsa (Bárány *et al.*, 1970). A felmérés lapjait DVD-n az Arcanum Kft. által georeferált állományból használtuk (Arcanum, 2006). A szükséges területet két részletben HD72/EOV vetületi formában ki tudtuk exportálni a lemezről. A digitalizálás során a megyét felosztottuk egyenlő területekre és ezeket egyesével átnézve, vizuális interpretáció révén azonosítottuk a szélmalomokat. A jelzett időszakban készített katonai térképlapok alapján összesen 96 szélmalomot sikerült azonosítanunk Csongrád megyében, főként a megye keleti és dél-keleti területein tapasztaltunk nagy szélmalom sűrűséget.

Az ArcGIS 10 szoftver segítségével digitalizált szélmalomok pontjaiból oly módon készítettünk sűrűség térképet, hogy minden szélmalom pontszerű adatához 3 km-es pufferezónát rajzoltattunk az ArcGIS 10 szoftverrel, majd megszámláltuk, hogy hány szélmalom esett a kör területén belül, és ezt az értéket hozzárendeltük a ponthoz. Szélmalomok sűrű előfordulása főleg nagyobb mezővárosok környékén figyelhető meg (Szeged–Kiskundorozsma–Hódmezővásárhely). A megye dél-nyugati és keleti részén találhatóak még nagyobb számban szélmalomok, de itt szórta, főként a magántulajdonban lévő tanyákon. Általában elmondhatjuk, hogy a szántóként művelt mezőgazdasági területeken elég nagy számban alkalmazták a szélmalomokat, ezzel kihasználva a Dél-Alföld szélenergia potenciálját (2. ábra).

Csongrád megye szélpotenciál térképének készítése térinformatikai módszerekkel. Szélerőművek telepítéséhez nélkülözhetetlen a telepítésre szánt területek szélesség adatainak ismerete. Az Országos Meteorológia Szolgálat 2005-ben készített egy szélesség térképet az egész országra, melyet különböző módszerekkel interpolálva 2 km-es raszteres felbontásban készítették. Ez az egész országot lefedő térkép a kevés mérőállomás miatt területi szinten sajnos elég pontatlan. Megyei elemzésünkhöz szükségünk volt tehát egy országosnál sűrűbb állomáshálózat éves átlagain alapuló adatbázisra. Az Országos Meteorológiai Szolgálattól a megye 4 mérőállomásának adatait kaptuk meg, hosszú időszorban havi átlagok formájában. Az *időkép.hu* adatbázisban szereplő 3 mérőállomás (Szentés, Hódmezővásárhely, Szeged pláza) havi átlagait is megkaptuk a több, mint egy éves időszorban. Az M5-ös autópálya Csongrád megyei szakaszától 4 különböző adatsorhoz jutottunk hozzá az ÁAK ZRT-nek köszönhetően és szintén 4 adatsorhoz az M43-as autópálya kezelőjétől az ÁKA ZRT-től. Mind a két autópálya kezelő cég az úthálózatuk mentén elhelyezett mérőállomások adatait biztosította a számunkra. A megyén belülre így összesen 15 állomás havi átlagos szélesség adatsora volt elérhető, de az interpolációhoz szük-

ség volt a vizsgálat alá vont területen kívülre eső adatokra is. Erre a célra az ogimet.com honlapról nyert szélesség adatokat használtunk fel. A Csongrád megye határain kívül eső városok közül: Arad, Baja, Békéscsaba, Kecskemét, Kikinda, Újvidék (Novi Sad), Palics, Szolnok, Zombor szélesség adatait alkalmaztuk az interpolációhoz. Az adatok előkészítése során mérőállomások koordinátáinak WGS84 vetületi rendszerben megadott földrajzi koordinátáit átszámoltuk EOJ vetületi rendszerbe. Mivel a meteorológiai állomások adatai földközben adóttak ezért a,

$$v_w(h) = v_{10} \left(\frac{h}{h_{10}} \right)^a,$$

képlet segítségével számítottuk ki a szél sebességét 70 m, 100 m és 120 m magasságokra vonatkoztatva, ahol $v_w(h)$ a szélesség [ms^{-1}] a megadott h [m] magasságban, v_{10} a 10 méteres magasságban mért szélesség [ms^{-1}]. h a turbina magassága, $h_{10} = 10$, míg a a Hellman kitevő.

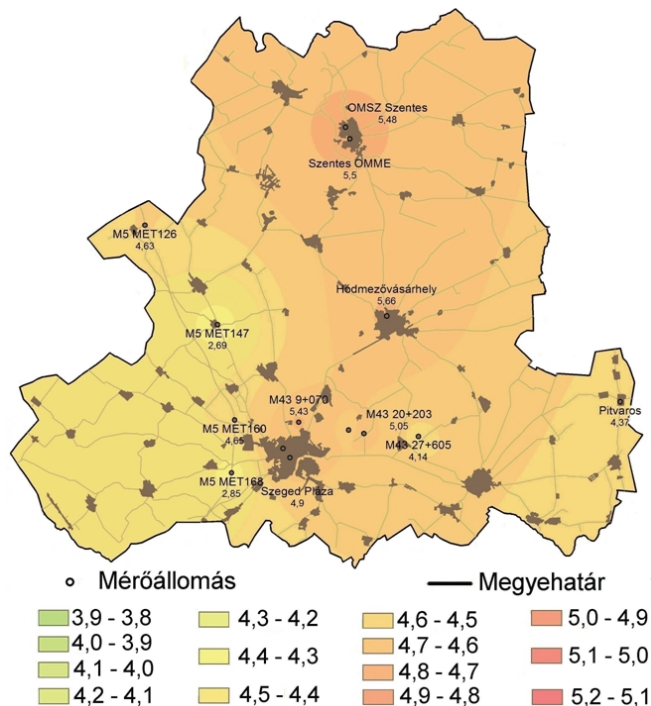
2. táblázat: Szélesség sokévi átlagai 70, 100 és 120 méter magasságra számítva

Mérőállomás neve	mért adat	70 m	100	120 m
		magasságban (m/s)		
Szentés (Országos Magyar Métékezési Egyesület)	1,74	4,60	5,50	6,03
Hódmezővásárhely (Lecsapo)	1,79	4,74	5,66	6,20
Szeged (Szegedplaza)	1,55	4,10	4,90	5,37
M5 MET 126	2,19	4,24	4,63	4,85
M5 MET 147	1,27	2,46	2,69	2,81
M5 MET 160	2,20	4,26	4,65	4,87
M5 MET 168	1,35	2,61	2,85	2,99
M43 9+070 kmsz	2,57	4,97	5,43	5,69
M43 16+202 kmsz	2,00	3,87	4,23	4,43
M43 20+203 kmsz	2,39	4,62	5,05	5,29
M43 27+605 kmsz	1,96	3,79	4,14	4,34
OGIMET Arad	1,60	2,60	2,85	2,98
OGIMET Baja	1,45	2,36	2,57	2,69
OGIMET Békéscsaba	2,55	4,15	4,53	4,75
OGIMET Kecskemét	2,94	4,78	5,23	5,47
OGIMET Kikinda	3,08	5,01	5,48	5,73
OGIMET Novisad	2,35	3,82	4,18	4,37
OGIMET Palics	2,42	3,94	4,30	4,50
OGIMET Szolnok	3,04	4,94	5,41	5,66
OGIMET Zombor	2,05	3,33	3,65	3,82
OMSZ Pitvaros	2,46	4,00	4,37	4,58
OMSZ Szeged külterület	3,09	5,03	5,49	5,75
OMSZ Szentés	3,08	5,01	5,48	5,73

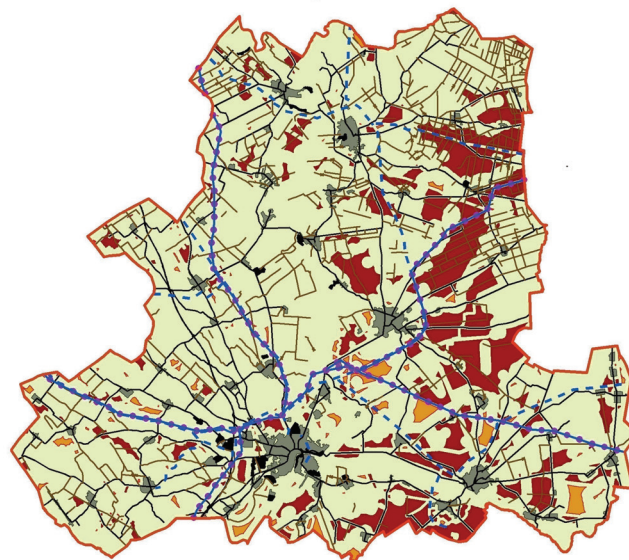
A Hellman kitevőt a Davenport-féle osztályozás alapján állapítottuk meg. Legtöbb számítás esetében a 0,25-ös „rough” (érdes) osztályt használtuk, ami természetes vagy természetesen magasabb növények, szétszórt 12–15 m magas porózus természetes akadályok (pl. mezővédő erdősávok) vagy 8–12 m magas épületek esetében alkal-

mazható. A 0,5-ös „*very rough*” (nagyon érdes) osztály, intenzíven művelt táj, nagy akadály csoportok (nagy gazdaságok, erdő csoportok), alacsony sűrűn ültetett nagyobb kiterjedésű terület, mint például gyümölcsösök, fiatal erdő, fás bokros terület és alacsony épületek által lefedett térségek esetén használatos. Beépített területen vagy annak közvetlen közelében használtuk a 0,5-ös kategóriát. A földfelszín közelében mért adatokat Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével számítottuk ki,

A továbbiakban a szél erőmű telepítésére alkalmas területeken belül becsültük az elhelyezhető turbinák számát. A *windpowerwiki.dk* szerint az uralkodó szélirányra merőlegesen 4 rotor, párhuzamosan pedig 7 rotor átmérő távolságra érdemes telepíteni egymástól a turbinákat. Egy 2 MW-os turbina rotor átmérője 90 m, tehát merőlegesen 360 m, párhuzamosan 630 m távolságra kell lenniük egymástól. 1 négyzetkilométerre 4,4 turbina fér el összesen, ha ezt a fajta elrendezést használjuk. Mind a kettő



1000 méteres pufferzóna esetén

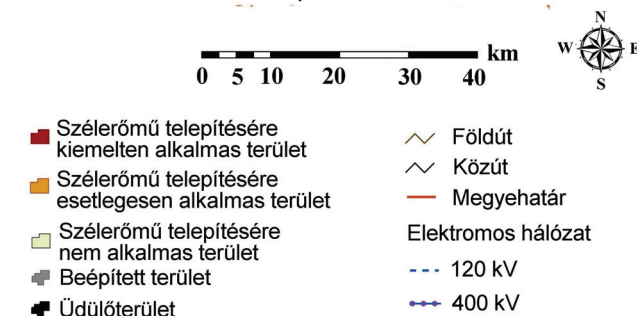


800 méteres pufferzóna esetén

3. ábra: Csongrád megye szélpotenciál térképe 70 m, 100 m és 120 m magasságokra. Kircsi A. (2004) vizsgálatai alapján Magyarországon 60 méternél magasabb régiókban már nem okoz jelentős zavaró hatást a felszín érdessége (2. táblázat).

A szélenergia potenciál térképet 100 m magasságra kalkulált adatok alapján készítettük el IDW (Inverse Distance Weighting) interpolációs módszer alkalmazásával, mivel Szalai S. et. al (2010) cikke alapján ez a magasság ajánlott hazánkban. Eredményeinket Natural Breaks módszerrel és 32 osztályba soroltuk. A kapott szélpotenciál térképen jól látható, hogy a megye északi részén magasabbak a szélesség adatok, és hogy tölcészerűen Szegedig beszűkül ez a terület. Magasabb értékeket a megye keleti illetve délkeleti területein is megfigyelhetünk (3. ábra). Rózsavölgyi (2007) tanulmányában található egy a teljes országra készített 100 méter magasságra kalkulált szélesség térkép, amiről hasonló adatokat lehet leolvasni, mint az általunk készítettől, 5–5,5 m/s-os értékeket.

Eredmények – Szél erőmű telepítés szempontjából alkalmas területek Csongrád megyében. A szél erőmű telepítésre alkalmas területeket ArcGIS 10. szoftver segítségével határoltuk le, a telepítést segítő, és kizáró digitális térképi adatbázisok összemetszése révén. A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy Csongrád megyében vannak telepítésre alkalmas, jó energetikai adottságú területek (3. táblázat, 4. ábra).



4. ábra: Szél erőművek telepítésre alkalmas területek a NATURA 2000 területek körül 800 és 1000 méteres pufferzóna esetén.

telepítésre alkalmas terület verziójánál kiszámoltuk, hogy a területi egységeken hány turbina férne el.

Megbecsültük az ily módon termelhető villamos energia mennyiségét is úgy, hogy 2 MW-os turbinákat vettünk alapul, ezért a darabszámot megszoroztuk 2-vel, ám mivel a turbinák a lehetséges teljesítmény körülbelül 25%-át képesek ténylegesen megtermelni, ezért a darabszámot csak 0,5-el szoroztuk a valós teljesítmény kiszámításához (4. táblázat).

3. táblázat: A szélenergiára alkalmas területek Csongrád megyében

	Telepítésre alkalmas összes terület, km ²	Szélenergiára kiemelten javasolt területek, km ²	Részesedés a megye területéből, összes terület %-a
800 m védőzóna esetén	510,1	452,6	11,97
1000 m védőzóna esetén	382,8	343,2	8,98

4. táblázat: A Csongrád megye területére telepíthető szélenergiás turbinák száma, elvi maximális teljesítménye, és a várható tényleges teljesítménye

	Turbina-szám	Teljesítmény, MW	
		Névleges	Tényleges
800 m védőzóna NATURA 2000 és beépített területek	2362	4724	1181
1000 m védőzóna NATURA 2000 és beépített területek	1744	3488	872

Összegzés. Magyarországon a megújuló energiaforrások kihasználtsága még közel sem éri el a nyugat-európai államok szintjét. Hazánkban a másodlagos energiaforrások az energiafogyasztásunk 5%-át sem elégítik ki, ebből a szélenergia mindössze 1%-ot tesz ki. A telepített szélenergiás kapacitás közel 330 MW, jóval a kihasználható mennyiség alatt van, de a távlati célok pozitívak, mivel 2020-ra 3,3 százalékra becsülik a szélenergia részét az összes energiatermelésünkből (GKM 2007). Ahhoz, hogy ennél még magasabb eredményeket érjünk el a jövőben, fejleszteni kell a magyar elektromos hálózatot, hogy elbírja a terhelést, és a telepítési kritériumokat is szükséges lenne kevésbé szigorúvá tenni. Csongrád megye területének mintegy 91,02%-án nem lehet szélenergiát telepíteni valamilyen jogszabályi korlátozás miatt, ám ezen a területen is körülbelül 872 MW energia termelhető 2 MW-os turbinákkal és 360 X 630 méteres helyigénnyel számolva turbinánként.

Jelen kutatásban geoinformatikai módszerekkel elkészítettük a megye szélpotenciál térképét, illetve történeti térképek alapján a megye szélmalomsűrűség térképét. A szélenergiára kiemelten javasolt területek tematikus digitális térképeken ábrázoltuk, változó pufferzónákat, védőtávolságokat alkalmazva. A korlátozó tényezők és a szélenergia potenciál térkép egymásra helyezése, összemetszése után sikerült szélenergiás parkok telepítésére javasolt területeket bemutató területhasználati scénáriókat készíteni. Végül kiszámítottuk a szélenergiára kiemelten javasolt területek alapján az e területeken előállítható villamos energia mennyiségét is.

Irodalom

- Arcanum, Adatbázis Kft., 2006: Második Katonai Felmérés
- Bárany, I., Vörös, E., and Wagner, R. 1970: The influence of wind conditions of the Hungarian Alföld on the geographical distribution of mills. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 9, 73-81.
- Csősi, M., Duhay, G. és Fiskus, O., 2005: Szélenergia és természetvédelem.
- EWEA, 2014: Wind in power, 2013 *European statistics*.
- GKM, 2007: Magyarország Energiapolitikája 2007–2020. A biztonságos, versenyképes és fenntartható energiaellátás stratégiai keretei. *Budapest*, 45-50
- Horváth, G., 2005: Szélparkok tervezése környezetvédelmi szempontok alapján. *Magyar Tudomány* 11, 1406–1414.
- Imre, L., 2006: Magyarország megújuló energetikai potenciálja. MTA Energetikai Bizottság, Megújuló Energia Albizottság Szakmai Csoportja, Budapest. *Kézirat*.
- Keveiné Bárany, I. 1991: A szélenergiás hasznosítás éghajlati adottságai az Alföldön. *Földrajzi Értesítő* 40, 3–4.
- Kircsi, A., 2004: Szélsebesség adatok területi extrapolációja – lehetőségek és nehézségek. *A Magyar Szélenergia Társaság kiadványai* 2, 71-78.
- KvVM, 2005: Tájékoztató a szélenergiás elhelyezésének táj- és környezetvédelmi szempontjairól. 3, 7-12, 18.
- Munkácsy B., Kovács, G. és Tóth, J., 2010: A szélenergia-potenciál és területi tervezés Magyarországon. „Települési Környezet” konferencia. Debreceni Egyetem, 254-259.
- Munkácsy, B. 2011: A területi tervezés szorításában – A szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei. *Kézirat*. 20-25
- Rózsavölgyi, K., 2007: Szélenergiás telepek területi elhelyezése saját fejlesztésű klímaorientált modell (KMPAM) segítségével. „Települési Környezet” Konferencia Kiadványa, Debreceni Egyetem, 262-264.
- Szalai, S., Gács, I., Tar, K. és Tóth, P., 2010: A szélenergia helyzete Magyarországon. *Magyar Tudomány* 8, 947-958.
- Tar, K., 2006: A szeles napok statisztikai szerkezete Magyarországon SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék SZTE, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, Szeged, 687-696
- Tóta, A., 2009: A szélenergia-termelés lehetőségei a Dél-Alföld megyéiben. *Kézirat*.
- Wantuchné Dobi, I., Konkolyiné Bihari, Z., Szentimrey, T., és Szépszó, G., 2005: Széltérképek Magyarországról. Szélenergia Magyarországon. Előadás Gödöllőn 2005. 01. 19-én. *Kézirat*.
- www.idokep.hu
- www.windpowerwiki.dk (Dán Szélipari Szövetség honlapja)

A HÁZSONGÁRDI TEMETŐBEN IN THE CENTRAL CEMETERY OF CLUJ-NAPOCA

Tóth Róbert

Országos Meteorológiai Szolgálat, Marcell György Főobszervatórium, 1181 Budapest, Gilice tér 39. toth.r@met.hu

Összefoglaló. Kolozsvár jelentős szerepet töltött be a magyar történelemben. Számos híres ember született, alkotott és halt meg ebben a „szép városban”. Történelmi sírkertjében nyugszik Berde Áron is, aki az első tudományos igényű, magyar nyelvű éghajlati szakkönyv írója.

Abstract. Kolozsvár (*Cluj-Napoca, Romania*) played a significant role in Hungarian history. Many famous people were born, created and died in this 'beautiful city'. In its historic graveyard rests Áron Berde, who is the author of the first scholarly book on climate in Hungarian.

2015 márciusában második alkalommal vettem részt Kolozsváron a Babeş-Bolyai Egyetem Földrajz Karán a

ember nyughelye (3. ábra). A temetőt az 1585-ös pestisjárvány kezdetén alapították, többször bővítették, s vallá-



1. ábra: A Kar oktatási célt szolgáló meteorológiai állomása



2. ábra: Részleges napfogyatkozás képe Kolozsváron 2015. március 20-án délben



3. ábra: Nagy Péter, Bartók György és Szász Domokos református püspökök síremléke a temető bejáratánál



4. ábra: Berde Áron sirja a Házsongárdi temetőben

Levegő és Víz Konferencián (1. ábra). Nyitrai László munkatársammal rádiószonda mérésekből készítettünk tanulmányt. A nemzetközi konferencia napjára esett egy részleges napfogyatkozás, amit derült idő lévén közösen megtekintettünk a Hajnalnegyedben lévő csillagvizsgálóban (2. ábra). Érkezésünk délutánján még akadt egy kis szabadidőnk, amit városnéző sétával töltöttünk. Ennek során útba ejtettük a Házsongárdi temetőt (*Cimitirul Central* románul), amiről tudtuk, hogy sok híres magyar

si és etnikai hovatartozástól függetlenül bárki ide temetkezhetett. A sírfeliratokat böngészve megállapítható, hogy a 20. század közepéig döntően magyar embereket temettek ide, mellettük kevés szász és román név fordul elő. Ezt követően azonban a román nevek kerülnek túlsúlyba, ahogy a város lakosságában is.

A magyarok aránya Kolozsváron az 1941-ben regisztrált 88%-ról napjainkra 16%-ra csökkent.

Az itt nyugvó nevezetes halottak közül néhány:

- Apáczai Csere János pedagógus, író
- Bölöni Farkas Sándor író, utazó
- Dsida Jenő költő
- gróf Esterházy Kálmán 1848-as honvéd huszár,
Kolozsvár főispánja
- báró Jósika Miklós író
- Kós Károly építész
- Misztótfalusi Kis Miklós nyomdász
- Reményik Sándor költő
- Szenczi Molnár Albert bibliafordító, zsoltáríró.

Sétánk során aztán rábukkantunk a Berde család síremlékére (4. ábra). A Berde család tagjai közül számunkra a legérdekesebb Berde Áron, akinek munkásságáról Felméry tanár úrtól hallottunk először a Bevezetés a me-

- légtüneménytan – *meteorológia*
- égalj – *éghajlat, klíma*
- levegői nyirkosság – *légnedvesség*
- légtüneti észleletek – *időjárási megfigyelések*
- hőmérő – *hőmérő*
- nedvmérő – *nedvességmérő*
- villamos feszültség mекkorasága
– *légköri elektromosság mértéke*
- égiháború – *zivatar*
- gőzsűrűsödés – *kondenzáció*
- létműves világ – *élővilág*.

Berde Áron Laborfalván, Háromszék vármegyében született 1819-ben. Berlinben és Marburgban tanult, olyan neves tanároktól, mint Dove, Mitscherlich, Bunsen, Liebig. 1844-től oktat és alkot Kolozsváron. 1885-ben az MTA



5. ábra: A sírköves cégére



6. ábra: Sír a Házsongárdi temetőben



7. ábra: Bánffy gróf igazán sok tisztséget betöltött



8. ábra: Gróf Bánffy György sírja

eteorológiába tantárgy keretében az ELTE TTK Múzeum körúti Berde Áron tantermében.

Bár Berde Áron jogász és közigazdász is volt, a meteorológusok mégis mint az első magyar meteorológiai és éghajlattani szakkönyv (*Légtüneménytan s a két Magyarhon égajli viszonyai s ezek befolyása a növényekre és állatokra; Kolozsvár, 1847*) szerzőjét ismerik. Ebből a könyvből néhány szakkifejezés, ami bár ízesen cseng a magyar fülnek, de nem tudott meghonosodni:

levelező tagjává választotta. Berde nemcsak első hivatott klimatológusa volt hazánknak, hanem agrármeteorológiai irányban is először tett számottevő lépést. Nagy érdeme, hogy bevitte a köztudatba, hogy a meteorológia tényleges, valós természettudomány (Simon, 2004). Végezetül néhány érdekesebb sírfeliratot mutatok be a Házsongárdi temetőből (5–8. ábra).

Irodalom

Simon, A., 2004: Magyarországi meteorológusok életrajzi lexikonja. OMSZ-MMT Budapest, 20-21

2015 TAVASZÁNAK IDŐJÁRÁSA WEATHER OF SPRING 2015

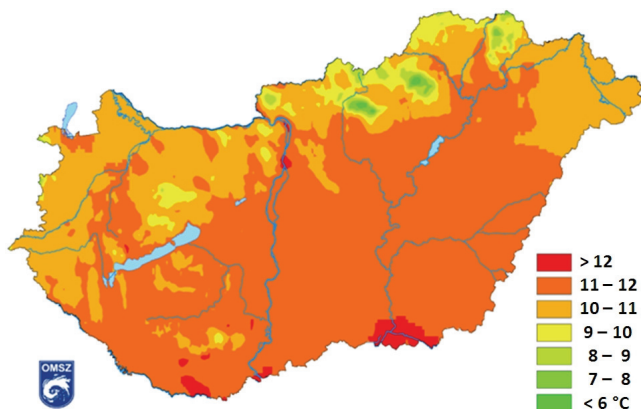
Marton Annamária, Kovács Tamás

Országos Meteorológiai Szolgálat, H-1525 Budapest, Pf. 38., marton.a@met.hu, kovacs.t@met.hu

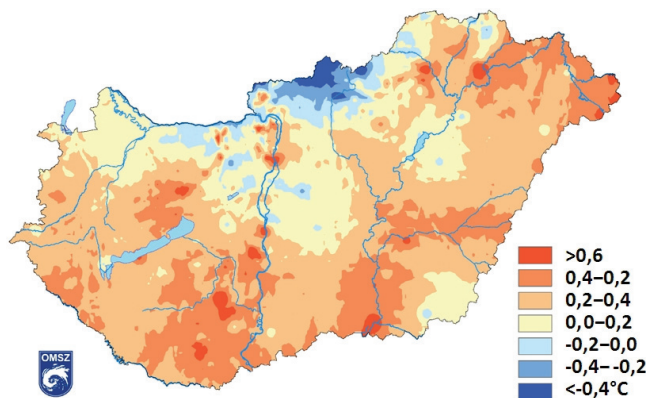
2015 tavasza összességében átlagos középhőmérsékletű volt, a normálnál kicsit melegebb márciusnak és a szokásosnál épphogy csak valamivel hűvösebb áprilिसnak és májusnak köszönhetően. Március és április szárazabb, a május csapadékosabb volt a megszokottnál. Országos átlagban a tavasz középhőmérséklete 11,1 °C volt. Az ország nagy részén pozitív hőmérsékleti anomália volt jellemző, általában 0,2 – 0,4 °C-kal volt melegebb a meg-

keleti részén volt jellemző (5. ábra). A 6. ábra a tavaszi napok középhőmérsékletein keresztül mutatja be a tavaszi felmelegedés folyamatát, összehasonlítva a sokéves átlaggal (1981 – 2010).

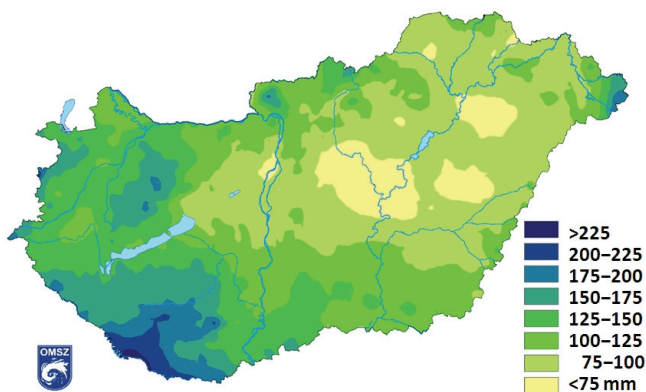
Március. A megszokottnál melegebb és szárazabb volt az idő hazánkban. A középhőmérséklet zömmel 6 – 8 °C között alakult, általában a délkeleti és délnyugati területek voltak a legenyhébbek. Alacsonyabb értékek a hegyvidéki területeken voltak jellemzőek,



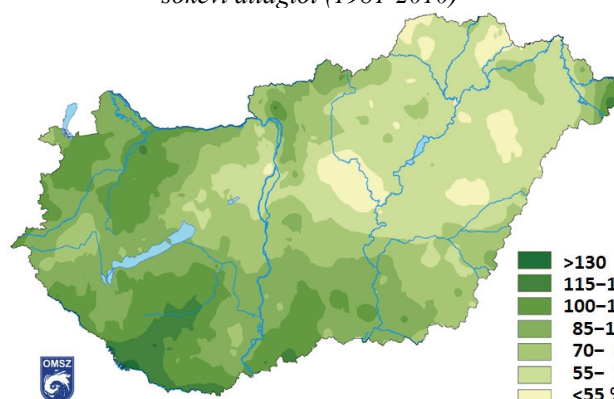
1. ábra: A 2015-ös tavasz középhőmérséklete



2. ábra: A 2015-ös tavasz középhőmérsékletének eltérése a sokévi átlagtól (1981-2010)



3. ábra: A 2015-ös tavasz csapadékösszege



4. ábra: A 2015-ös tavasz csapadékösszege a sokévi (1981-2010-es) átlag százalékos arányában kifejezve

szokottnál (2. ábra). Területi eloszlás szempontjából az ország nagy részét 11 – 12 °C-os átlaghőmérséklet jellemezte (1. ábra), északon és a magasabban fekvő területeken volt ennél hűvösebb. Az északi területeken jobbra 10 – 11 °C, míg a hegyvidékeken 6–10°C között alakultak a középhőmérsékletek. Melegebb területek foltokban jelentek meg jobbra a déli határ közelében, illetve a főváros környékén. A tavasz első két hónapja különösen száraznak adódott, a regisztrált mennyiség márciusban még a normál 60%-a volt, de áprilisban már a 30%-át sem érte el. A 2015-ös április lett az 5. legszárazabb április a mérések kezdete óta. Májusban a megszokottnál egyharmaddal több csapadék volt. A teljes tavaszi időszak alatt 18%-kal kevesebb csapadék hullott, mint általában (4. ábra). Az ország nyugati és déli területein a csapadék mennyisége általában elérte és sok esetben meghaladta a 100 mm-t, ezzel ellentétben az ország középső és keleti részein általában 75–100 mm, vagy ennél kevesebb csapadék hullott. A legtöbb csapadék a délnyugati határszélen volt jellemző, volt olyan terület, ahol több mint 200 mm csapadékot regisztráltunk. A legkevesebb globálsugárzás az északkeleti határszélen, míg a legtöbb az Alföld

itt helyenként a 3 °C-t sem érte el a középhőmérséklet. Az ország jelentős részén pozitív hőmérsékleti anomália volt jellemző. A Dunántúlon jobbra 0 – 1 °C-kal, a Dunától keletre többnyire 1 – 1,5 °C-kal volt melegebb az átlagértéknél, az Északi-középhegység egyes részein még ennél is nagyobb volt a pozitív anomália. 11 fagyos nap ($T_{\min} \leq 0$ °C) jelentkezett, mely alig marad el a sokéves átlagtól. A téli napok ($T_{\max} \leq 0$ °C) tekintetében elmondható, hogy a normál 1 nap helyett nem fordult elő egy sem.

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

24,1 °C, Sátoraljaihely (Borsod-Abaúj-Zemplén megye), március 27.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-10,2 °C, Zabar (Nógrád megye), március 7.

Országos átlagban 20,8 mm volt a havi csapadékösszeg, ami a szokásos érték 59%-a. Az ország nagy részén az 1981-2010-es éghajlati normál mindössze 40 – 80%-a hullott le. A Dunántúlon voltak olyan területek, ahol ez az érték nem érte el a 20%-ot, míg az Északi-középhegységben és az Alföld déli tájain elérte, illetve meg is haladta az éghajlati átlagot (100%). 8 csapadékos napot regisztráltunk, ami 1-gyel kevesebb a sokéves átlagnál.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

61,1 mm, Mátraszentimre (Heves megye)

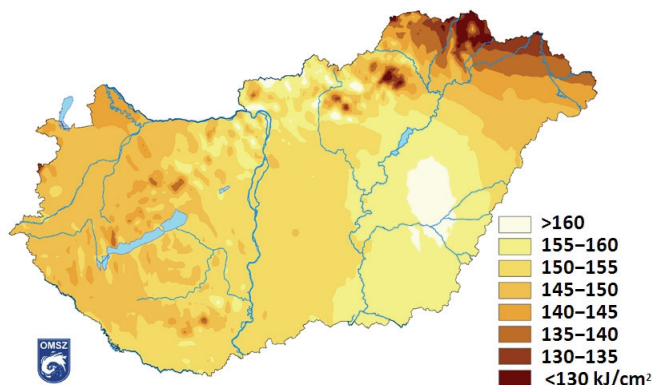
A hónap legkisebb csapadékösszege:

6,0 mm, Sátoraljaújhely (Borsod-Abaúj-Zemplén megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

23,7 mm, Ják (Vas megye), március 26.

Április. Az ország nagy részén 10 – 12 °C között alakult a havi átlaghőmérséklet, míg az országos átlag 10,9 °C volt. A déli területeken és a Kisalföldön enyhébb, míg a magasabban fekvő területeken hűvösebb volt az időjárás. A középhőmérséklet a normáltól általában -1, +1 °C-kal tért el, a Duna-Tisza közén, a Tiszántúlon és a Dunántúl északi részén negatív, a Dunántúl déli és nyugati területein pozitív anomália volt. Fagyos nappól 5-öt jegyeztünk



5. ábra: A 2015-ös tavasz globálsugárzás összege

(normál: 3 nap), nyári nappól 2 fordult elő (normál: 1 nap).

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

29,2 °C, Osló (Győr-Moson-Sopron megye), április 16.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-7,0 °C, Zabar (Nógrád megye), április 4.

A megszokottnál sokkal kevesebb csapadék volt idén áprilisban, mindössze 25,7%-a hullott le a normának. A sokéves átlagtól leginkább elmaradó értékek (5 – 20%) egy DNY-ÉK irányú sávban összpontosultak (Balaton térsége, a Duna-Tisza közének középső és északi része és az Északi-középhegység), melyhez hozzáadódik még az Alföld délkeleti része. A legcsapadékosabb területek: a déli-délnyugati határszél, a Dunántúl és a Tiszántúl északi része, ahol a csapadékösszegek megközelítették, de általában nem érték el a sokéves átlagot. Csapadékos nappól a normál 10 nap helyett idén áprilisban mindössze 5 jelentkezett.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

60,5 mm, Drávaszabolcs (Baranya megye)

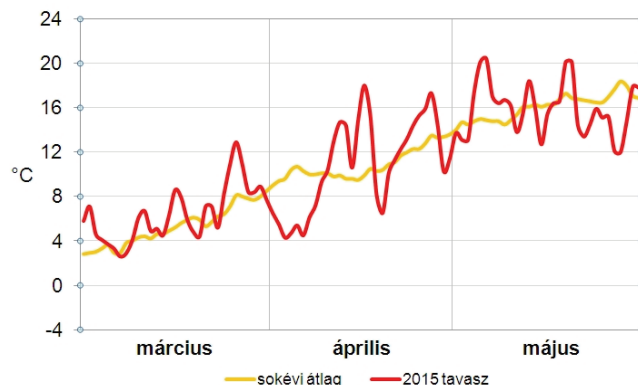
A hónap legkisebb csapadékösszege:

1,7 mm, Tura (Pest megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

56,8 mm, Drávaszabolcs (Baranya megye), április 28.

Május. A középhőmérséklet zömmel 15 – 18 °C között alakult, néhány fokkal alacsonyabb értékeket regisztráltunk a hegyvidéki területeken. Az országos átlagos középhőmérséklet 15,9 °C volt. Összességében 0,3 °C-kal volt hűvösebb az 1981-2010-es normálértéknél. A Dunántúl déli, délnyugati és az Alföld délkeleti részén egy kicsivel (0 – 0,5 °C) melegebb volt az átlagnál, ezzel szemben az ország többi részén (0 – 1 °C) negatív anomália jelentkezett. A napi országos átlaghőmérsékletekre nagyfokú ingadozás volt jellemző. 7 nyári napot jegyeztünk a hónap során, mely 2 nappal marad el a sokéves átlagtól. A normál szerint májusban jelentkező 1 hőségnap ebben az évben nem jelentkezett.



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

A hónap során mért legmagasabb hőmérséklet:

32,3 °C, Déványa (Békés megye), május 19.

A hónap során mért legalacsonyabb hőmérséklet:

-0,8 °C, Zabar (Nógrád megye), május 1.

Az ország déli és nyugati részén 120 – 200%-a hullott a megszokottnak. DNY-on még a 200%-ot is meghaladta a csapadék. A középső és keleti területeken a normál 60 – 120%-a volt a jellemző, míg a Börzsönyben és a Cserhát térségében, továbbá a Szamosháton ennél nagyobb volt az arány. A száraz áprilist egy csapadékos május követte. Országos átlagban 15 csapadékos nap jelentkezett, mely fölülmúlta a 11 napos normált. Zivataros nappól a sokéves átlagnál 1-gyel többet, 4-et regisztráltunk.

A hónap legnagyobb csapadékösszege:

187,8 mm, Vízvár (Somogy megye)

A hónap legkisebb csapadékösszege:

28,8 mm, Tápiószéle (Pest megye)

24 óra alatt lehullott maximális csapadék:

90,0 mm, Szamosbecs Csenger-Gátörház

(Szabolcs-Szatmár-Bereg megye), május 25

2015. tavasz időjárási adatainak összesítője

Állomás	Napsütés (óra)		Sugárzás (kJ/cm ²)	Hőmérséklet (°C)						Csapadék (mm)			Szél viharos napok
	évszak összes	eltérés		évszak közép	eltérés	max	napja	min	napja	évszak összes	átlag %-ában	r ≥ 1 mm napok	
Szombathely	689,6	141,3	154	10,9	0,6	27,4	04.16	-4,5	03.08	119,8	90,5	19	22
Nagykanizsa	–	–	149	10,9	0,4	28,6	05.06	-5,2	03.08	166,9	100,6	21	21
Siófok	–	–	–	11,8	0,5	28,4	05.05	-2,9	03.08	118,9	89,9	15	30
Pér	–	–	144	10,8	–	27,4	05.19	-5,5	03.08	126,6	91,5	19	26
Pécs	717,6	126,3	157	11,7	0,5	29,1	05.19	-2,6	03.08	173,7	114,3	19	20
Budapest	749,5	151,3	153	11,9	0,4	28,9	05.19	-2,4	03.08	80,4	60,8	18	15
Miskolc	708,5	136,6	145	11,2	0,7	28,3	05.06	-3,7	03.07	100,8	71,2	21	1
Kékestető	671,6	114,3	148	5,9	0,3	20,7	05.06	-5,7	03.07	117,7	55,9	24	27
Szolnok	667,6	80,9	153	11,7	0,3	29,8	05.19	-4,5	03.08	65,2	51,0	18	11
Szeged	753,9	177,7	154	11,9	0,5	31,3	05.19	-4,5	03.08	109,1	91,9	21	16
Nyíregyháza	–	–	149	11,2	0,4	29,1	05.19	-3,6	03.07	96,5	89,2	21	20
Debrecen	752,4	149,6	150	11,3	0,3	28,8	05.19	-5,1	04.04	76,8	52,2	17	12
Békéscsaba	–	–	160	11,6	0,4	30,6	05.19	-5,1	03.08	85,6	60,4	19	10

