



**ENERGIACLUB**  
SZAKPOLITIKAI INTÉZET  
MÓDSZERTANI KÖZPONT

# SZÉLENERGIA A 21. SZÁZADBAN - ÉS MAGYARORSZÁGON



# SZÉLENERGIA A 21. SZÁZADBAN - ÉS MAGYARORSZÁGON

**Szerkesztő, projektvezető:** Dr. Munkácsy Béla

**Nyelvi lektor:** Biró Viktória

## **Közreműködő szakértők:**

### **Balogh Zsófia**

A győri Révai Miklós Gimnázium végzős tanulója, a tehetséggondozással foglalkozó Milestone Intézet diákja. Szakmai érdeklődésének egyik fókuszában a német energiapolitika áll. A jövő tanévet tervei szerint földrajz szakon kezdi meg, valószínűleg egy angliai egyetemen.

### **Baranyák Zoltán**

Műszaki szakoktató, energiagazdálkodási szakmérnök; a Wattmanager Kft. Megújuló Energetika üzletágának vezetője.

### **Bánfalvi András**

Okleveles közgazdász, geográfus, jelenleg a Wattmanager Kft. munkatársa energetikai tanácsadó pozícióban. Főbb munkaterületei a fenntartható energiagazdálkodáshoz és a megújuló energiaforrások hasznosításához kapcsolódnak. Emellett családi vállalkozásukban is tevékeny részt vállal, melyben hazánkban elsők között telepítettek szélérőműveket, amit a mai napig üzemeltetnek.

### **Dr. Kádár Péter**

Villamosmérnök, PhD, MBA, az Óbudai Egyetem tanára, a KVK Villamosenergetikai Intézet vezetője. Szakterülete a villamosenergia-rendszer üzemeltetése, a hálózat irányítása, a hagyományos- és megújuló energiatermelés. Különböző tisztségeket töltött be az IEEE-ben és a Magyar Elektrotechnikai Egyesületben.

### **Magyar László**

Környezettudós, az Energiaklub projektvezetője és megújuló energia szakértője. Önkormányzatokkal és szakmai szervezetekkel együttműködve készít hazai és nemzetközi akcióterveket, tanulmányokat, kutatásokat a klímaváltozás, az energiagazdálkodás és a megújuló energiák területén.

### **Dr. Munkácsy Béla**

Tanár, okleveles környezetmenedzser, PhD. Az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének adjunktusa, az Energiaklub tanácsadója, az International Network for Sustainable Energy vezetőségének tagja. Energiatervezéssel kapcsolatos tanulmányait az Oslói Egyetemen végezte. Doktori értekezésének témája (2005) a szélenergia és a területi tervezés viszonya.

### **Nagy Bence**

Okleveles biológia-földrajz szakos középiskolai tanár, az ELTE PPK Neveléstudományi Doktori Iskolájának hallgatója. Kutatási területei a környezettudatosság és fenntarthatóság komplex szemléletű oktatási lehetőségei és kihívásai, kiemelten az éghajlatváltozás egyénre és társadalomra gyakorolt mentális hatásai.

### **Kovács Zoltán**

Az ELTE TTK földtudományi alapszakának végzős hallgatója. Érdeklődési területei a megújuló energiaforrások alkalmazása fenntartható léptékben, továbbá a közösségi tulajdonú villamosenergia-rendszer és a körkörös gazdaság.

### **Dr. Sáfián Fanni**

Geográfus, PhD. A Magyar Energiahatékonysági Intézet tudományos munkatársa. Fenntartható energiamentés- és tervezést tanult a dán Aalborgi Egyetemen, majd az Energiaklub munkatársaként és doktori kutatása keretében kidolgozta Magyarország első, órás felbontásban modellezett fenntartható energetikai jövőképeit. Értekezését 2018-ban védte meg.

### **Soha Tamás**

Geográfus, az ELTE TTK Földtudományi Doktori Iskolájának végzős hallgatója. Kutatási témája a fenntartható energiagazdálkodás, az egyes megújuló energiaforrásokat hasznosító és azok rendszerintegrációját támogató technológiák térbeli tervezése térinformatikai módszerekkel.

### **Pásti Lajos**

Villamos- és energetikai mérnök (Miskolci Egyetem), megújuló energia mérnök (DTU, Dánia). A fejlődő országok számára on és off grid napelemes rendszereket tervezett ENSZ projektek keretében.

### **Zsolt Melinda**

Az Energiaklub programvezetője, biztonság- és védelempolitikai szakértő, a Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskolájának hallgatója. Doktori kutatásában azt vizsgálja, hogy a megújuló energiák térnyerése milyen szerepet játszik az Európai Unió kül- és biztonságpolitikájában.

**ISBN 978-615-5052-12-5**

A tanulmány az Energiaklub Szakpolitikai Intézet és Módszertani Központ honlapján is megtalálható, onnan letölthető: [www.energiaklub.hu](http://www.energiaklub.hu)



**ENERGIACLUB**  
SZAKPOLITIKAI INTÉZET  
MÓDSZERTANI KÖZPONT

ENERGIACLUB 2020. november 16.



Minden jog fenntartva.

Az adatok közzétételére a „*Nevezd meg! - Ne add el! - Ne változtasd!*” licence érvényes.

# TARTALOM

1.	Az energiarendszer és a szélenergia.....	4
2.	A szélenergia alkalmazásának szélklimatikus vonatkozásai .....	13
3.	A szélenergia alkalmazásának műszaki vonatkozásai .....	18
3.1.	A szélturbinák technológiájában, illetve annak fejlesztésében rejlő lehetőségek.....	19
3.2.	A szélerőművek országos hálózatában: .....	20
4.	A szélenergia alkalmazásának környezeti vonatkozásai .....	21
5.	A szélenergia társadalmi dimenziója .....	27
6.	A szélenergia és a biztonságpolitika - a decentralizált termelés stratégiai előnyei .....	31
7.	A szélerőművek alkalmazásának gazdasági dimenziója .....	34
8.	Esettanulmányok.....	37
8.1.	Szélenergia Németországban .....	37
8.2.	Szélturbinák Magyarországon .....	40
9.	Összegzés .....	46
	Irodalomjegyzék .....	47

## ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. ábra A szélérőművek és atomerőművek teljesítményének változása globális léptékben .....	2
2. ábra A villamosenergia-termelés alakulása a világban energiaforrás szerinti felosztásban (TWh) .....	5
3. ábra A villamosenergia-termelés alakulása az EU-ban energiaforrás szerinti felosztásban (TWh) .....	5
4. ábra Az áramkimaradás átlagos mértéke a legjobb mutatókkal rendelkező európai országokban a 2010-2016-os időszakban) .....	6
5. ábra Egy átlagos nap energiaigényének ellátása a 20. századi megközelítésű villamosenergia-rendszerben.....	7
6. ábra A paksi atomerőmű blokkjainak egymást követő leállása, illetve teljesítménycsökkentése ellátásbiztonsági kihívást okozott 2020 júliusa-augusztusa során.....	8
1. táblázat A szélérőművek villamosenergia-rendszerbe integrálásának néhány lényeges műszaki és gazdasági feltétele .....	9
7. ábra Egy átlagos nap energiaigényének ellátása egy 21. századi rugalmas villamosenergia-rendszerbe. .	9
8. ábra A napelemek és szélturbinák termelése Magyarországon a napi termelési adatok alapján havi bontásban .....	12
9. ábra A szélenergiából származó villamosenergia-termelés megoszlása az éjszakai és nappali időszakok között Magyarország teljes szélérőmű-flottája esetén 2015-2019 között.. ..	12
10. ábra Átlagos szélesség 100 m-es magasságban az Új Európai Szélatlasz szerint .....	14
11. ábra Az átlagos szélesség 100 méteres magasságban (GWA 2020). .....	15
12. ábra Az átlagos szélesség 150 méteres magasságban (GWA 2020). .....	15
13. ábra Az átlagos szélesség 200 méteres magasságban (GWA 2020). .....	16
14. ábra Szélenergetikai előrejelzések folyamatábrája .....	16
15. ábra A szélesség átlagos órás menete különböző magasságokban a paksi toronymérések alapján ..	17
16. ábra A szárazföldi szélérőművek fő paramétereinek változása .....	18
17. ábra A 2019-ben Európában telepített szélérőművek száma és átlagos teljesítménye .....	19
18. ábra Szélturbina-lapát újrahasználata a dániai Aalborgban .....	22
19. ábra Egy átlagos korszerű szélturbina teljes életciklusra vetített üvegházgáz-kibocsátása és annak komponensei.....	22
20. ábra A szélérőművek a dán tájkép szerves részét alkotják (Munkácsy B.) .....	24
21. ábra A Middelgrunden-szélfarm stilizált képe karácsonyi üdvözlőlapon.....	25
22. ábra Az építési hatóság által védeni kívánt tájkép Várpalotán (Munkácsy B.) .....	25
23. ábra A tájképvédelem megjelenése a 2005-ben elfogadott Komárom-Esztergom megyei területrendezési tervben. ....	26
24. ábra A ScienceDirect adatbázisban a “wind energy” és “community” keresőkifejezések alkalmazásával végzett keresés eredménye a 2000-2020 közötti időszakra vonatkozóan .....	27
25. ábra Egy befektetési program weboldalának nyitóképe .....	28
26. ábra A szélturbinák révén az elérhető, egészséges és biztonságos környezetre asszociálunk. ....	29
27. ábra Az energiatartalom aránya az EU-tagországokban (%).....	32
28. ábra HUPX DAM (másnapi piac) napi átlagos és csúcs árai a 2019-es évben .....	36
29. ábra Az LCOE értéke az Európai Unióban 2015-ben és 2030-ban Ram, M. et al. 2018 szerint.....	36

<b>30. ábra</b>	Területegységre vetített fajlagos szárazföldi szélteljesítmények - nemzetközi összehasonlítás..	38
<b>31. ábra</b>	A megújuló energia szektorban foglalkoztatott munkavállalók száma Németországban.....	39
<b>32. ábra</b>	A magyar, az EU és a német szélérőmű-flotta kapacitásfaktorainak összehasonlítása .....	40
<b>2. táblázat</b>	Lakott területektől számított minimális védőtávolság szélturbinák telepítése esetén néhány európai országban .....	42
<b>33. ábra</b>	Az aktuális magyar szabályozásnak megfelelő, lakott területektől számított 12000 m-es védőzóna alkalmazásával nem marad hely a szélérőműveknek.....	43
<b>34. ábra</b>	Lakott területek és az ezektől számított 1000 méteres védőzóna alkalmazásával az ország területének 47,4%-a esne ki a szélérőmű-telepítésre alkalmas körből.....	44
<b>35. ábra</b>	Lakott területek és a védett természeti területek, illetve az ezektől számított 1000 méteres védőzóna alkalmazásával az ország területének 89,3%-a esne ki a szélérőmű-telepítésre alkalmas körből	45
<b>36. ábra</b>	A kormányzati irányváltás első jele?.....	46

## BEVEZETÉS

A szélenergia a napjainkban elérhető technológiák közül a legkisebb környezeti terhelés mellett képes nagy mennyiségű villamos energia előállítására - e tekintetben a tudományos világban közmegegyezés van. Ennek fényében meglepő, a szélenergiáról, és általában a megújuló energiaforrásokra alapozó megoldásokról sok hamis, tudománytalan állítás kering a sajtóban. Ez jórészt a technológia elképesztő ütemű fejlődéséből fakadó gyorsan amortizálódó ismeretekre, valamint a jól finanszírozott ellenérdekelt lobbizás aktivitására vezethető vissza<sup>1</sup>. Elemi szükség van tehát arra, hogy e témában független szakemberek (tehát nem valamelyik technológiához anyagi értelemben kötődők, netán külföldi gyártók fizetett lobbistái) foglaljanak állást. És arra is, hogy ezek az állítások a társadalom legszélesebb köréhez eljussanak.

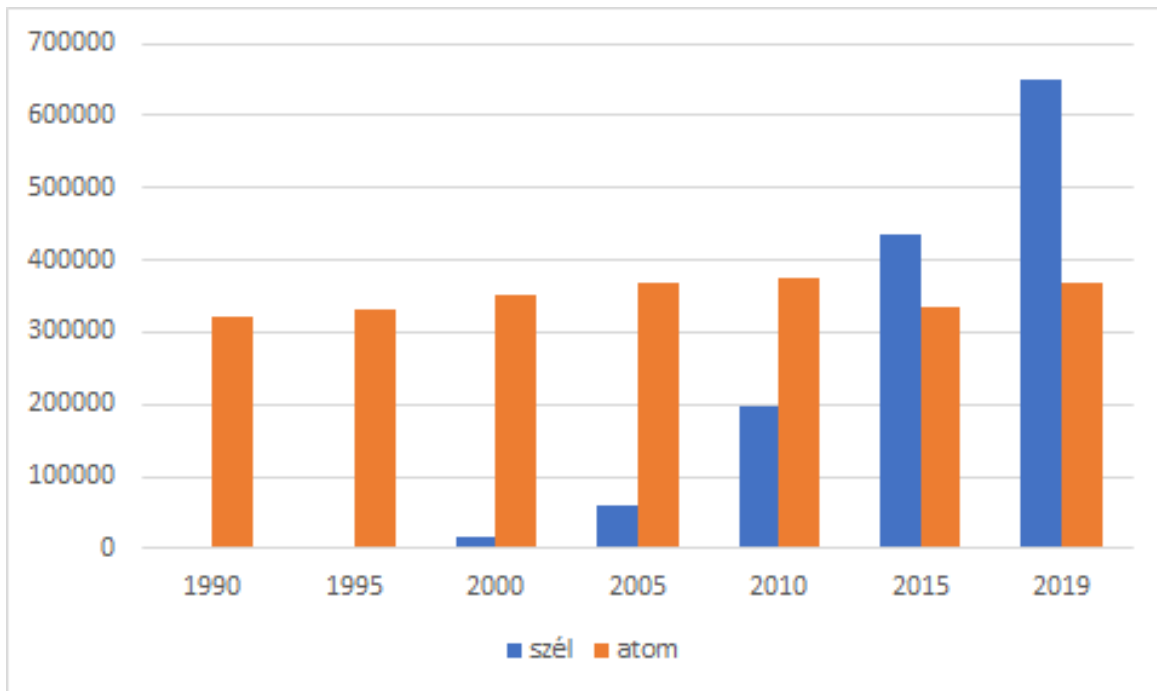
Ugyanis cáfolhatatlan tény - hiszen sok egyéb mellett az ökológiai lábnyom számítások is visszaigazolják -, hogy a jórészt az elmúlt száz évben kialakított energiarendszer napjainkra már önmagában is olyan súlyos környezeti és társadalmi károkat okozott, hogy mostanra egy sokkomponensű válság veszélyezteti az emberiség pusztá létét. Éppen ezért elkerülhetetlen az energiarendszer mielőbbi (az ENSZ IPCC szerint tíz éven belüli) radikális átalakítása.

A hatékonyság fokozása és a tudatosság javítása mellett a megújuló energiaforrások észszerű felhasználása segíthet hozzá a lényegesen kisebb környezetterheléshez. Az élvonalban járó országok kutatói már régóta tudományos elemzésekben vizsgálják és igazolják akár a 100% megújuló részarány elérésének reális megvalósíthatóságát is. Mindez az energiatervezés és az energiagazdálkodás gyakorlatában is világosan érzékelhető irány. Ma a termelési oldalon a kapacitásbővítés egyik kulcsszereplője a szélenergia, amelyben a globális összteljesítmény 2000 óta harminchatszorosára nőtt (1. ábra), és a növekedés nem látszik megtorpanni! Felmerül a kérdés, hogy mi mindenre vezethető vissza a szélenergia ilyen mértékű népszerűsége. A magyarországi tiltás fényében megfogalmazódik az a felvetés is, hogy a világ legjobb egyetemlein kiképzett élvonalbeli gyakorlati szakemberek és kutatók tévednek az energiarendszer jövőjét illetően, vagy a hazai rendszerben van valamiféle torzulás.

Jelen kötet célja tehát az, hogy a technológiáról, mint a 21. századi energiarendszer egyik fő eleméről, a legújabb ismeretek és tendenciák tükrében, tudományos alapossággal rajzoljon képet. Az olvasó számára bizonyosan feltűnik majd, hogy a szélenergiával kapcsolatos állítások megfelelő kontextusba helyezése sok esetben összehasonlításokon keresztül történik, különösen gyakran fordul elő az atomenergia, az összevetés tárgyaként. Ennek magyarázata, hogy a sajtótermékek többsége a lehetőségekről nem rajzol objektív képet. Ennek hátterében egy nyilvánvaló politikai nyomás tapintható ki, ami az elmúlt évtizedben oda vezetett, hogy a közszolgálati médiából kiszorult a tárgyilagosság, de még az arra való törekvés is. Így például az atomenergiával kapcsolatosan kritikai véleményt képviselő szakértők sok éve nem kapnak lehetőséget álláspontjuk kifejtésére. Mindeközben a kormányzat, illetve az ahhoz kötődő szervezetek minden évben tízmilliárd forintos nagyságrendben költenek közpénzből az atomenergia melletti propagandára - így például 2009 óta éves szinten 400-450 millió forintot csupán egyetlen projekt, az interaktív atomkamion működésére. Szakmai felelősségünk tehát, hogy ezt a helyzetet ellensúlyozva a statisztikai adatok és tudományos tények segítségével korrekt képet vázoljunk fel az energetika jövőjéről. Ennek a tanulmánykötetnek ez a fő célja.

---

<sup>1</sup> Nagy Gergely Miklós: Csak ne a szél! - Miért sorvasztja el a kormány a szélerőműveket?  
Magyar Narancs 2016/35. (09. 01.)



1. ábra A szélerőművek és atomerőművek teljesítményének változása globális léptékben (MW)  
 Forrás: WWEA 2020; Schneider, M. - Froggatt, A. 2020

A 12 fős szerzőgárdában gyakorlati és elméleti szakemberek, tapasztalt, nemzetközi publikációkkal rendelkező kutatók és fiatal szakmai reménységek egyaránt helyet kaptak. A szerzők a legfrissebb, jellemzően független forrásokból származó, jórészt referált tudományos szakirodalomra támaszkodtak, csaknem 100 forrást felhasználva. Emellett adatbázisok elemzésével kutatási munkát is végeztek, így a kötetben korábban még nem publikált tudományos eredmények is helyet kaptak.

Dr. Munkácsy Béla  
 szerkesztő



## VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ

### A szélenergia alkalmazásával kapcsolatos legfontosabb megállapítások:

1. Magyarországon az új szélturbinák telepítését nem a természeti törvényszerűségek vagy a technológiai korlátok, hanem a jogszabályok teszik lehetetlenné.
2. A szélenergia esetében is számolni kell a környezet terhelésével, de ez - szemben a jelenleg domináns technológiák károsításával - gondos tervezéssel egy elfogadható szint alá szorítható.
3. Az üzemeltetők tapasztalata alapján bizonyosan állítható, hogy a szélturbinák hazánkban gazdaságosan üzemeltethetők. A működésük ezen jellemzőjét meghatározó kapacitásfaktor a már 15 éve működő hazai szélerőmű-állomány esetében jellemzően hasonló vagy jobb értéket mutat, mint az európai vagy a német átlag.
4. A világban a megújuló energiaforrások támogatottsága kiemelkedően magas, ezen belül a szélenergia megítélése is kifejezetten pozitív. Különösen érdekes, hogy a szélerőművek közelében élők esetében az átlagosnál is jóval magasabb a technológia elfogadottsága.
5. A szélenergia hazai térnyerése jelentősen csökkentené Magyarország energiainportját, kiszolgáltatottságát, ráadásul úgy, hogy mindez az adófizetők számára nem jelentene olyan mértékű anyagi terhet, mint a paksi atomerőmű bővítésének várhatóan 10 000-20 000 milliárd forintos végső költsége<sup>2</sup>. A hazánk által vállalt klímacélok elérése - és általában az energialábnymom radikális csökkentése - egy szélenergiára is alapozó fenntartható energiarendszer segítségével lényegesen olcsóbban volna megvalósítható.
6. A szélenergia az élet számos más területén, így a vidéki munkahelyek bővítésében, helyi adóbevételek megteremtésében, a környezeti terhelés radikális csökkentésében is oroszlánrészt vállal szerte a világon - ezek a járulékos előnyök jelentősen hozzájárulnak a szélerőművek globális térnyeréséhez.
7. A szélerőművek önmagukban, de a napelemes technológiával együtt sem jelentenek megoldást korunk energetikai kihívásaira - ma már a környezetgazdálkodás egészének rendszerében kell gondolkodnunk. A fenntartható energiarendszer alapvetései nem értelmezhetők helyesen a 20. századi energiagazdálkodás centralizált eszközökre építő logikája és műszaki-gazdasági szemléletmódja révén. A 21. században szofisztikáltabb megoldásokra van szükség és lehetőség, nem elegendő csupán mennyiségekben gondolkodni, ahogyan eddig. A magas szintű hatékonyság és környezettudatosság, valamint a helyben elérhető megújuló energiaforrások optimalizált felhasználása lényegesen jobb környezeti és társadalmi mutatókat eredményez, és éppen ezek a fenntartható energiarendszer legfőbb jellegzetességei.

---

<sup>2</sup> Az atomenergia-szektorban általános jelenség a beruházás jelentős időbeli elhúzódása és a tervezett költségének 4-6-szoros növekedése a projekt befejezéséig. A francia Flamanville 3 projekt esetében e pillanatban (az építkezés utolsó lépéseire közeledve) 5,8-szoros növekedésnél tartanak.

## 1. AZ ENERGIARENDSZER ÉS A SZÉLENERGIA<sup>3</sup>

**Szerzők:** Munkácsy Béla, Sáfián Fanni, Kovács Zoltán, Bánfalvi András, Kádár Péter

A szél erőművek rohamos terjedését a tisztábban termelő megújuló energiák iránti igény és a technológia fejlődése, illetve ennek köszönhetően a termelés költségeinek radikális csökkenése tette lehetővé. A folyamatok az utóbbi 20 esztendőben, a megawattos teljesítményhatár elérésével gyorsultak fel. 2019-ben a világon üzemelő **651 GW-nyi szél erőmű kapacitás** (GWEC 2020) 1 404 TWh energiát termelt (Jones D. et al. 2020). A kapacitásbővülés egyetlen év alatt is igen jelentős, 60,4 GW-nyi, vagyis csaknem 10%-os volt (GWEC 2020). A többi megújuló, de meghatározóan a napenergia, további 140 GW gyarapodást jelentett a globális villamosenergia-termelő kapacitás terén a tavalyi esztendőben (REN21 2020).

Ami a fontosabb konkurenszeket és az ezekkel megtermelt villamos energiát illeti, az **atomenergia** ~2500 TWh-nyi termelése már kevesebb, mint a megújuló energiaforrásokra vízenergia nélkül számított 2690 TWh érték (REN21 2020) – a vízenergia figyelembevételével pedig ~6700 TWh. Ugyanakkor az atomenergia-szektorban a termelés egyre drágább, csupán piaci alapon, komoly állami támogatás nélkül az atomenergia nem működőképes, emiatt több piacvezető cég került csődbe (pl. Westinghouse 2017-ben) vagy lépett már ki (pl. Siemens 2011-ben) ebből az üzleti területből. Az elmúlt 50 évben számos világméretű baleset is megrengette a technológiába vetett bizalmat. Mindennek köszönhető, hogy 1990 óta több évben, így 2019-ben is előfordult, hogy a leépítés nagyobb mértékű volt, mint az új egységek teljesítménye. Ez az EU-ra fokozottan igaz, itt 1990 óta 32%-ról 26%-ra csökkent a jelentősége az áramtermelésben.

A **széntüzelés** helyzete ellentmondásos: a globális Dél országokban intenzív a termelés bővülése – ami nem kecsegtet megnyugtató jövőképpel az éghajlatváltozás és általában a környezet állapota szempontjából. Az OECD országokban viszont látványosan szorul vissza a szerepe. Az EU-ban az energetikai célú szénfelhasználás 720 millió tonnáról (1990) 350 millió tonnára (2019) zuhant, vagyis megfeleződött harminc év leforgása alatt (Eurostat 2020a), miközben részaránya az áramtermelésben 36%-ról 21%-ra csökkent.

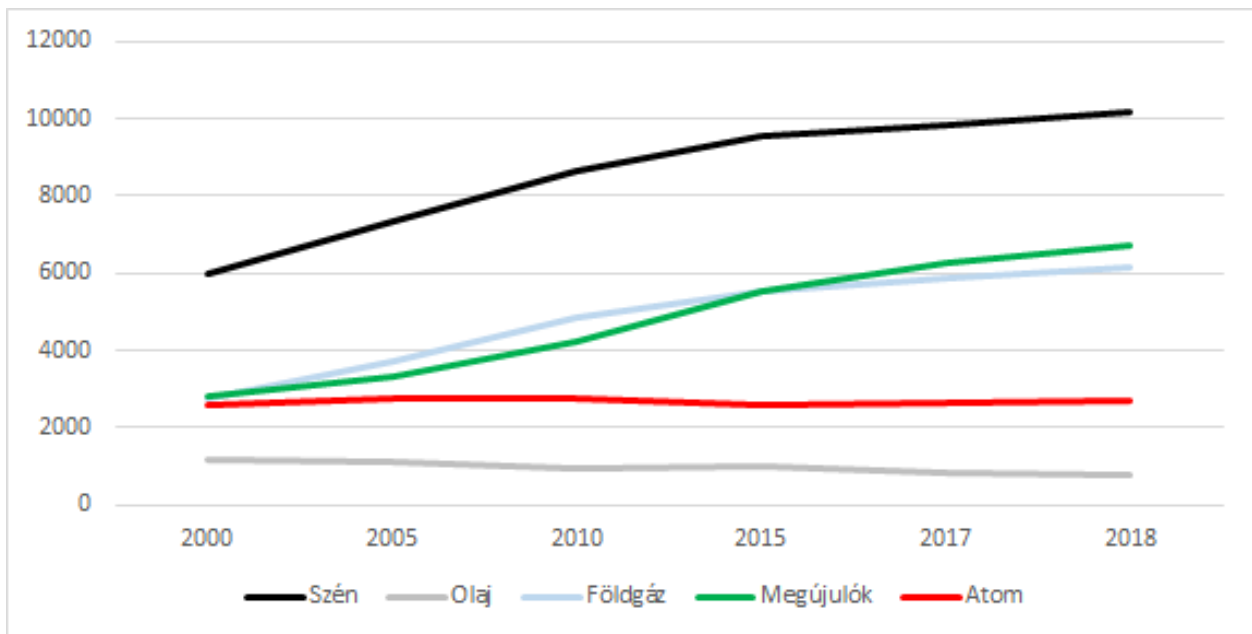
Globális léptékben gyorsan növekszik a **földgáz** alapú áramtermelés, és az EU-ban is számottevő a szerepe, ám itt 2004 óta részaránya inkább egyfajta dinamikus állandóságot mutat, aránya 18% körüli (EU 2020).

A fentiek világosan érzékeltetik a radikális fordulatot az energiatermelésben, **Európa pedig élharcosa a fenntartható energiagazdálkodásra való átállásnak**. A megújuló energiaforrásokkal megtermelt villamos energia mennyiségének bővülése 2000 óta 222%-os, ezen belül is a szél erőművek mutatják a legjelentősebb bővülést: 2000-ben 23 TWh-val az igényeket alig 0,9%-ban fedezték; 2019-ben 417 TWh villamos energiát termelve ennek már **15%-át** biztosították (WindEurope 2020) – ez **a szélenergia-termelés 18-szoros bővülését jelenti két évtized leforgása alatt**.

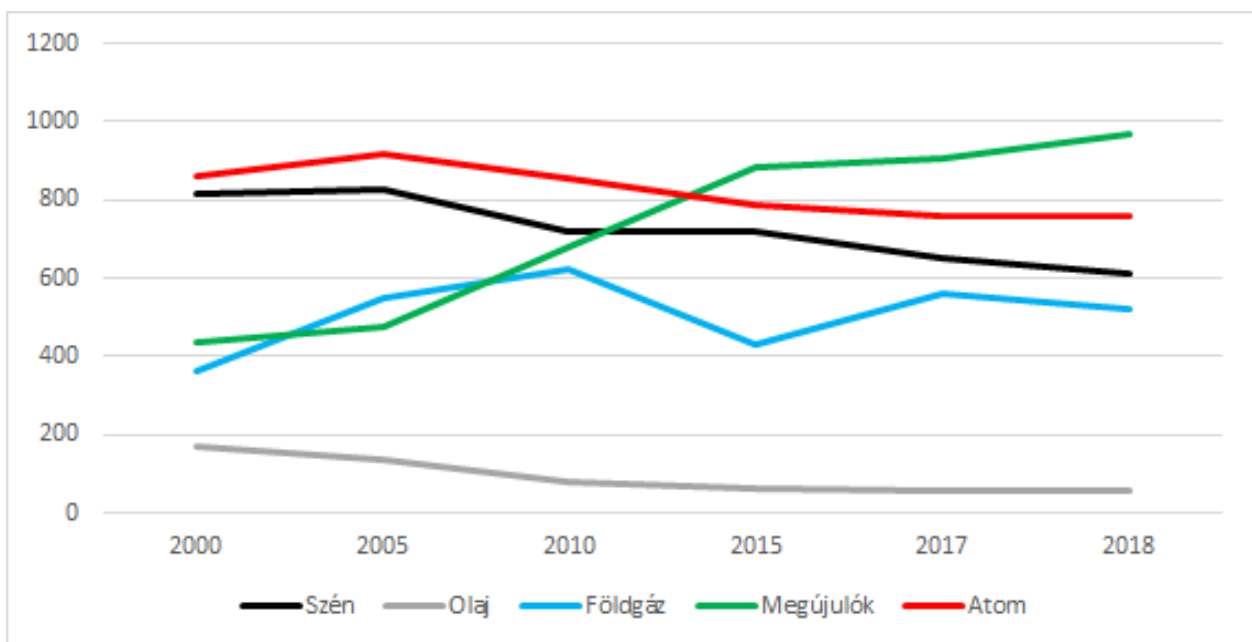
**Tavaly Dániában a villamos energia már mintegy 48%-át termelték szél erőművek**. Ezen kívül további három olyan kedvező adottságú európai ország van (Írország, Portugália és Németország) ahol ezek 25%-nál nagyobb szeletet hasítanak ki a villamosenergia-igények kielégítéséből. A fenti eredményeket sok tényező teszi lehetővé, de ezek közül is kulcsfontosságúak:

- a) a magas szintű szakmai tudás;
- b) az ehhez kapcsolódó megoldásközpontú szemlélet;
- c) a megfelelő szabályozási környezet; és az, hogy
- d) ma már sok szempontból egységes európai energiarendszert működtetünk, amelyben kiemelkedő szerepe van a folyamatosan bővülő nemzetközi együttműködéseknek.

<sup>3</sup> A fejezet elkészítéséhez Sáfián F. (2018) doktori értekezését is felhasználtuk



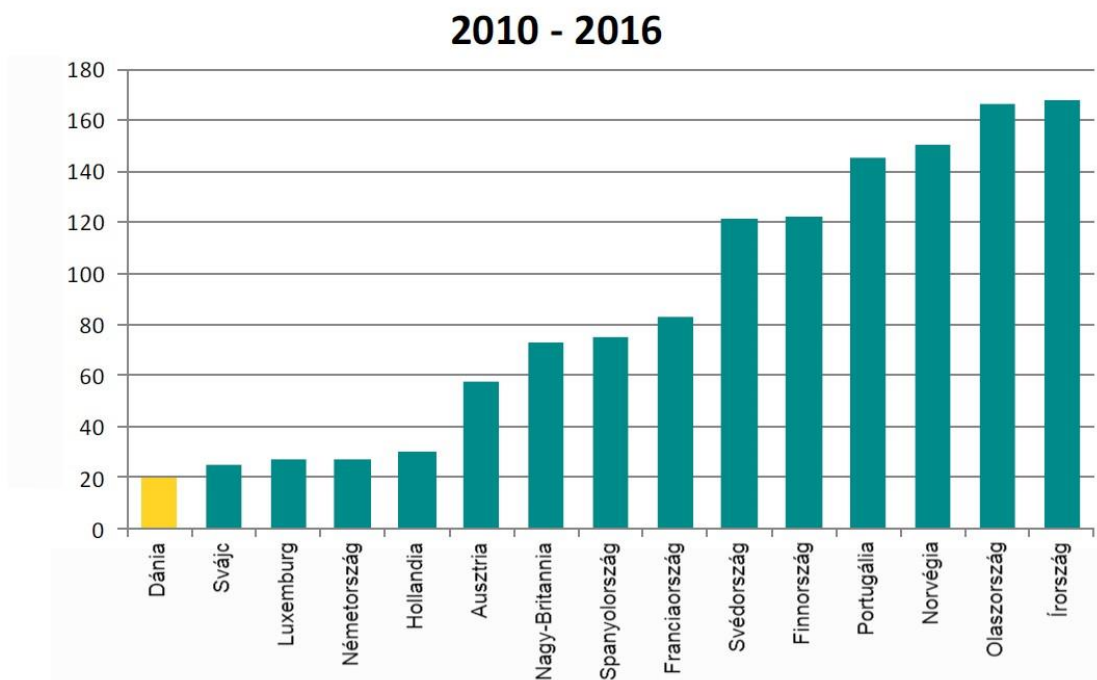
**2. ábra** A villamosenergia-termelés alakulása a világban energiaforrás szerinti felosztásban (TWh) (EU 2020). Drámai a széntüzelés megállíthatatlannak tűnő növekedése, ugyanakkor látványosan erősödik a megújuló energiaforrások szerepe is.



**3. ábra** A villamosenergia-termelés alakulása az EU-ban energiaforrás szerinti felosztásban (TWh) (EU 2020). A világ gazdagabb országaira egészen más értékek és tendenciák jellemzők: a megújuló energiaforrások már évek óta a legnagyobb arányban járulnak hozzá a termeléshez - miközben minden más energiaforrás jelentősége csökken.

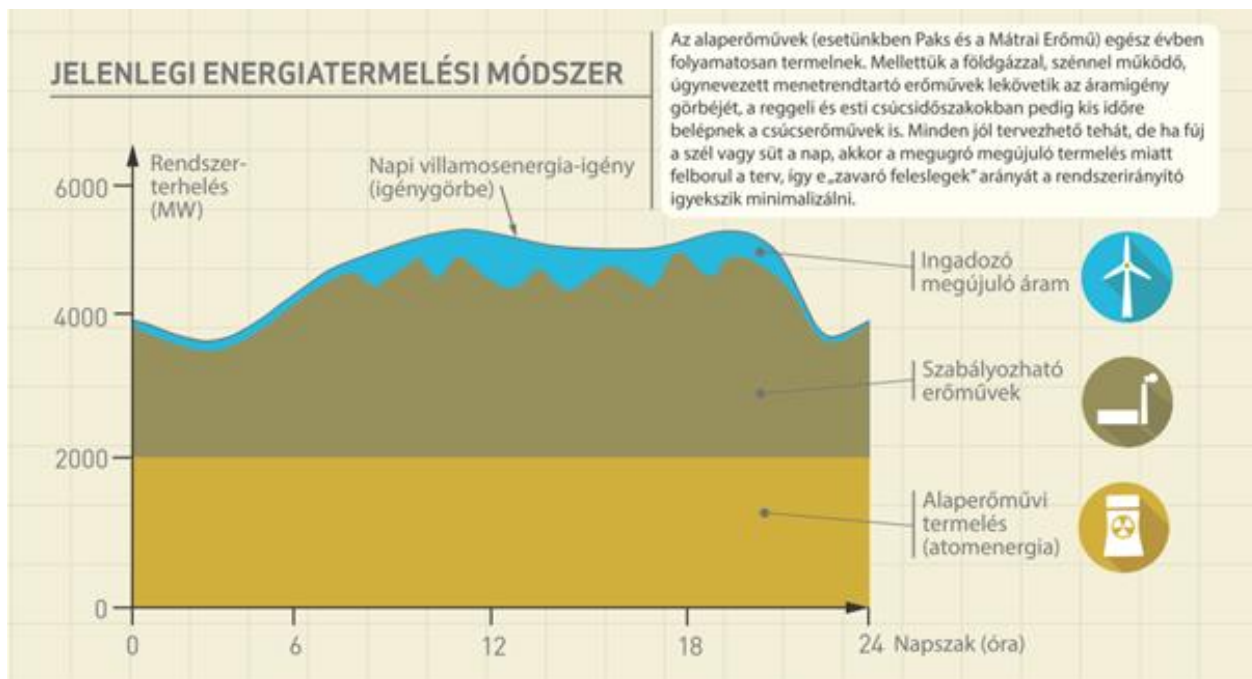
A szélerőművek és az energiarendszer viszonylatában az elmúlt évtizedek gyökeres változást hoztak, amelynek köszönhetően számos 20-30 évvel ezelőtti elképzelés - amely például a háttérben startra készen álló, a szélerőművekkel összemérhető kapacitású fosszilis üzemű erőművekre vagy hatalmas energiatárolási kapacitásokra vonatkozott - ma már nem állja meg a helyét. A fentiek igazolására a valóság szolgál példával, ami esetünkben a dán energiarendszer. Itt ugyanis már csak **449 MW-nyi, gyors reagálásra képes** rugalmas háttérkapacitásként is használható **földgázüzemű** erőmű maradt a

rendszerben (Skærbæk: 392 MW + Viborg: 57 MW) - miközben **a szélenergia beépített kapacitása már 6128 MW** volt 2019-ban! További tanulságos adalék, hogy Dániában a jelenleg domináns energiatárolási technológia, a szivattyús-tározás, az ország domborzati adottságaiból fakadóan nem alkalmazható, efféle kapacitással az ország egyáltalán nem rendelkezik! Nyilván sok más eszközt azonban a dánok is használnak az export-import kapcsolatok kínálta lehetőségektől az igényoldali gazdálkodás eszközrendszeréig. Ezek eredménye, hogy a szélenergia-termelés Dániában ma olyan minőségű ellátásbiztonságot jelent, ami Európa gazdagabb részén is párját ritkítja (4. ábra).



4. ábra Az áramkimaradás átlagos mértéke a legjobb mutatókkal rendelkező európai országokban a 2010-2016-os időszakban (perc) Forrás: Energinet 2020

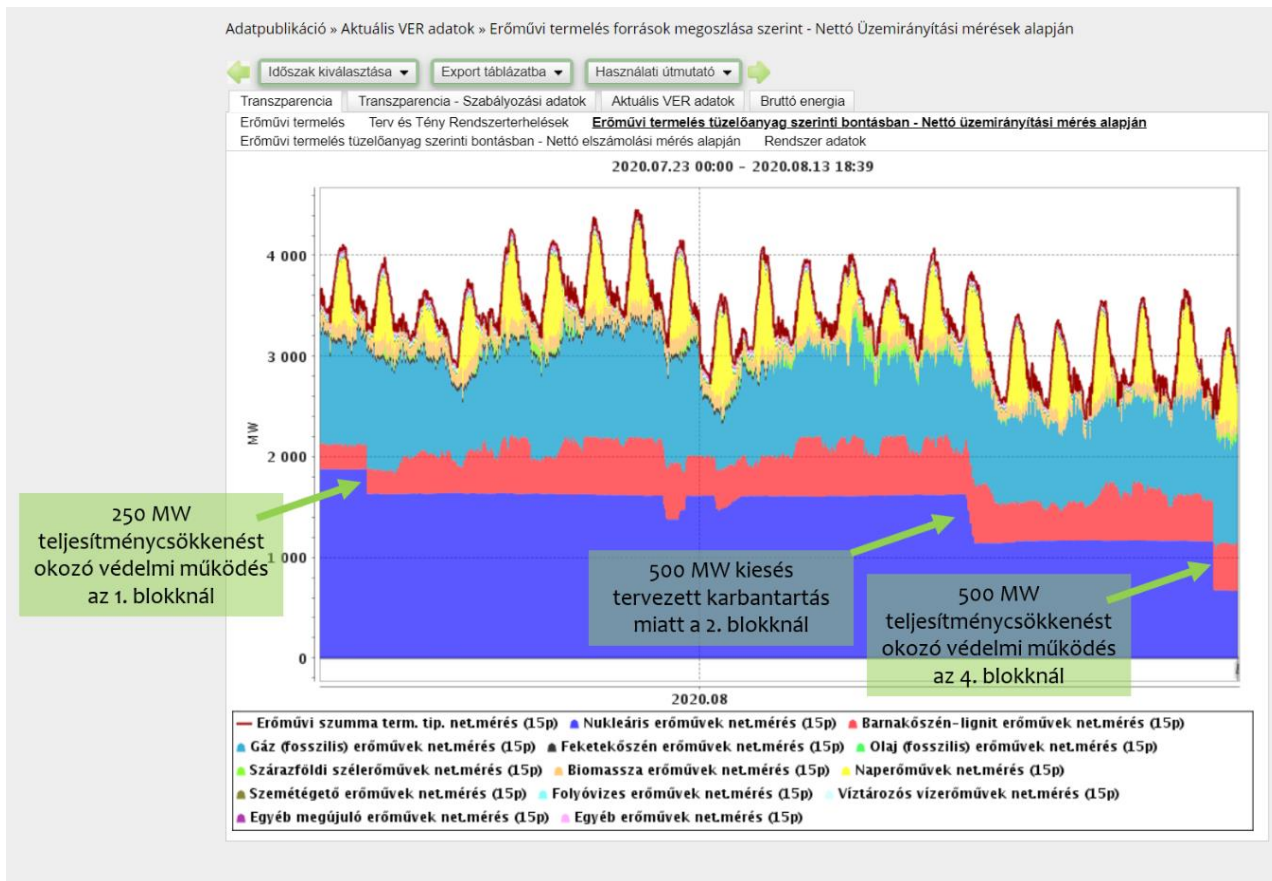
Az energiarendszer és a szélenergia kapcsolatrendszerének bemutatását célszerű a **20. és 21. századi energiarendszer és energiatervezés összehasonlításával folytatni**. A 20. században még élesen elválasztották egymástól a villamos energia, a hőenergia és a közlekedés szektorait. A villamosenergiarendszer ekkor még erősen centralizált volt, jellemzően fosszilis és atomenergiára támaszkodott, ami az erőforrásban szegény térségek, például Európa esetében, extrém mértékű importfüggőséget eredményezett. **Magyarországon a függőség és kiszolgáltatottság mértéke ma 80-85%-os**, az orosz importból származó atomerőművi fűtőelemeket is figyelembe véve. Ezt azért szükséges külön kiemelni, mert az aktuális kormányok - a statisztikai adatok elferdítésével - a valóságosnál alacsonyabb importfüggőséget igyekeznek kimutatni oly módon, hogy atomenergiát saját forrásként tüntetik fel. A legújabb Nemzeti Energia- és Klímatervezés egyenesen az energetikai önellátást nevezi meg célként - miközben saját erőforrás híján Magyarország a nukleáris fűtőanyagot 100%-ban orosz importból szerzi be, és ez a helyzet nem is látszik megváltozni.



5. ábra Egy átlagos nap energiaigényének ellátása a 20. századi megközelítésű villamosenergia-rendszerben. Forrás: Energiaklub-Infotandem (2015)

A centralizált rendszert a működés jellegzetessége alapján három erőműtípus alkotja a) folyamatosan termelő alaperőművek (pl. Paksi Atomerőmű); b) menetrendtartó erőművek; c) csúcserőművek, amelyek a legnagyobb igények esetén kapcsolódnak be a termelésbe. A rendszerhez szervesen tartoznak még a lassabban indítható hideg és a gyorsabb reagálású meleg tartalékot képviselő erőművek is. Ebben a régi rendszerben a nap- és szélenergia által előállított villamos energia gyakorlatilag zavaró tényező, ezért itt az időjárásfüggő megújulók (nap, szél) aránya még hosszú távon sem haladhatja meg a 25%-ot (De Putte, J.V. - Short, R. 2011). Ha mégis, a rendszer viszonylag alacsony költség- és erőforrás-hatékonysággal tud csak működni, ráadásul szabályozási, üzemeltetési problémák is időről időre jelentkezhetnek (Lund 2010). Így például az atomerőmű beruházási költségeinek megtérülését csak irreálisan magas áramár biztosíthatja, hiszen a leszabályozások miatt az erőmű nem tud a névleges teljesítmény közelében működve extra profitot termelni. Ez a helyzet várható hazánkban is a Paks2 projekt esetleges megvalósításával. A fentieket a hazai meteorológiai adatsorokon nyugvó villamosenergia-rendszer szimulációk is megerősítik, és arra mutatnak rá, hogy a hagyományos, alaperőművekre építő szemlélet már elavultnak számít a környezetkímélő, helyben rendelkezésre álló megújuló-alapú termeléssel összevetésben (Ueckerdt, F. - Kempner, R. 2015; Sáfián F. 2016b).

Az energiafüggetlenség megteremtésében előttünk járó országokban már maguk a rendszerirányítók is úgy vélekednek, hogy a rugalmatlanul termelő nagyerőművek elavultak és megnehezítik a biztonságos energiaellátást (Beckman, K. 2015). Tetézi a nehézségeket, ha az egyes áramtermelő egységek méretének további növelését célozzák, mert a működésből való váratlan kiesés így fokozódó kihívást jelent az áramszolgáltatás biztosításában. A hazai példából kiindulva: a meglévő paksi atomerőművi blokkok villamos teljesítménye eredetileg 440 MW (2009 óta 500 MW), ezek kimaradása jellemzően még kezelhető probléma. Azonban a Paksra tervezett új blokkok villamos teljesítménye már 1200 MW, ami meghibásodás vagy baleset okozta teljesítménykiesés esetén lényegesen nagyobb ellátási zavarokat okozhat (6. ábra).



6. ábra A paksi atomerőmű blokkjainak egymást követő leállása, illetve teljesítménycsökkentése ellátásbiztonsági kihívást okozott 2020. júliusa-augusztusa során. Forrás: mavir.hu

Ez végeredményben azt jelenti, hogy **a centralizált rendszerek és az ezek szerves részét képező nagyerőművek ma már direkt módon akadályozzák a hazai erőforrásokra támaszkodó környezetkímélő technológiák terjedését, így a fejlődés gátját jelentik.**

Éppen ezért van szükség egy teljesen új szemléletű energiagazdálkodás kialakítására a 21. században. Az egyik meghatározó evolúciós lépés az, hogy az energiarendszer három fő területe (hő, villamos energia, közlekedés-energetika) itt már igen szorosan összekapcsolódik, ezzel egymás optimális működését, valamint a helyben rendelkezésre álló természeti erőforrások sokkal hatékonyabb felhasználását, befogadását is nagyban segíti. Az importfüggőség ezáltal radikálisan csökken. Például **Dánia** kormánya **109%-os megújulóenergia-részarányt** tervez elérni **2030-ra** (DMCEU 2019), vagyis az ország importfüggősége teljesen megszűnik. Ez azonban nem jelenti azt, hogy szigetként működik majd a dán energiarendszer, sőt - a kölcsönös előnyök jegyében - a nemzetközi kapcsolatok további erősítése a cél. Ennek jegyében 2020. októberében adták át azt a tenger alatti kábelt, ami a világ első hibrid interkonnektoraként Dániát Németországgal két offshore szélerőműpark közbeiktatásával kapcsolja össze. Már kivitelezés alatt áll a **“Viking Link Interconnector”**, ami Dániát és az Egyesült Királyságot köti majd össze 2023 végétől, nagyfeszültségű egyenáramú kapcsolatot biztosítva a két, dominánsan már ma is megújuló energiaforrásokat felhasználó villamosenergia-rendszer között. Ugyanakkor Dánia a **NordPool** tagjaként az észak-európai és balti országok villamosenergia-rendszerével is igen szoros kapcsolatban marad.

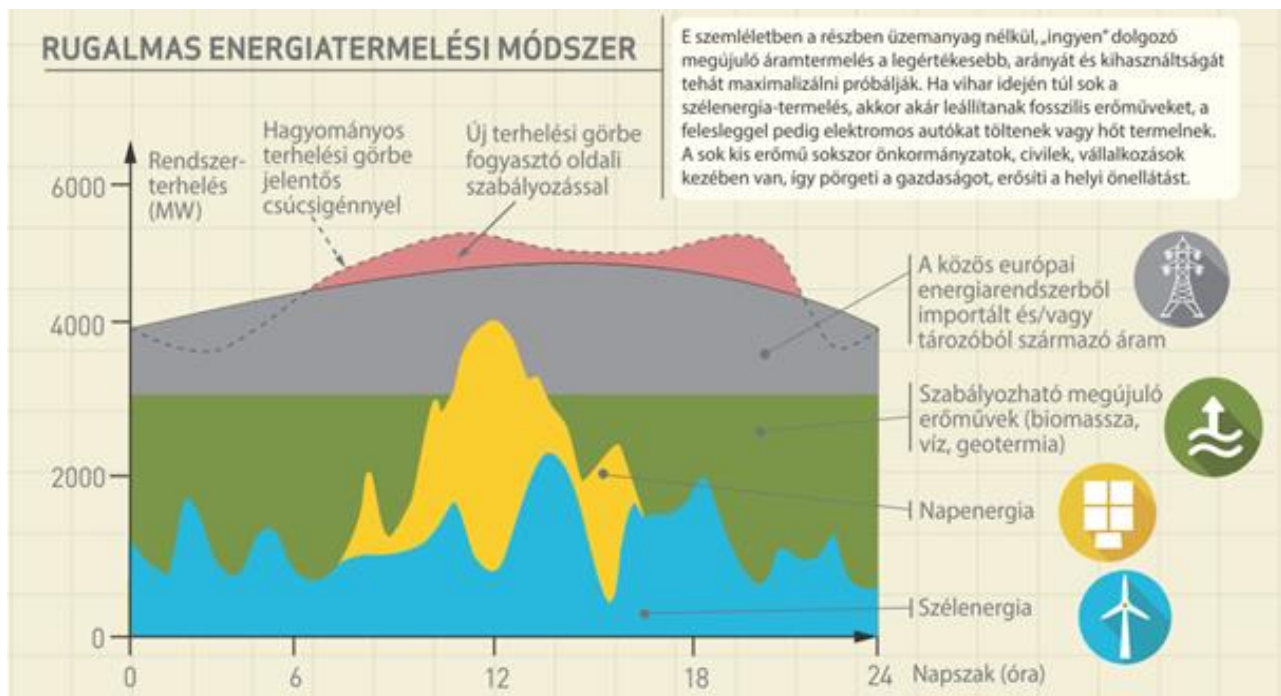
A fentieket összegezve megállapítható, hogy az időszakosan áramot termelő megújuló energiaforrások villamosenergia-rendszerbe integrálása - azaz minél teljesebb kihasználása - olyan kihívás, ami a rendszerirányítóktól merőben új megközelítést vár el. A külföldi gyakorlat azt mutatja, hogy a megújulók befogadásához már minden szükséges technológia rendelkezésre áll, sőt folyamatosan fejlődik, bővül és egyre olcsóbb lesz. Az előrelépést tehát nem a technológiai korlátok akadályozzák, hanem a műszaki megoldásokban rejlő lehetőségek negligálása vagy kihasználtságuk rossz hatékonysága.



1. táblázat A szél erőművek villamosenergia-rendszerbe integrálásának néhány lényeges műszaki és gazdasági feltétele

Rövidebb távon	Középtávon
Meglévő villamosenergia-rendszer műszaki jellemzőinek javítása	Szél erőmű-telepítések térbeli kiterjesztése
Nemzetközi villamosenergia-szállítási infrastruktúra bővítése	Villamosenergia-szállításra szolgáló offshore hálózatok kialakítása
Negatív árak alkalmazása révén a termelés időbeliségének korlátozása a kereslet és kínálat függvényében	Rugalmas árképzés és okos rendszer
Szélsőségek-előrejelzések színvonalának további javítása	Rugalmas termelési kapacitások bővítése
Hőszivattyú-kapacitások bővítése a háztartásokban és az ipari szektorban	Elektromos autók használatának és ezek okos töltésének minél szélesebb körben történő támogatása
Villamos energiával való fűtés kapacitásbővítése	Energiatárolás (pl. akkumulátorok, „zöld” hidrogén, sűrített levegő, folyékony levegő) technológiáinak továbbfejlesztése, kapacitásuk bővítése

Tehát a korszerű, környezeti szempontokat is fokozottan érvényesítő energiarendszerben a kapacitások döntő hányadát, sőt, akár 100%-át a megújuló energiaforrásokat felhasználó erőművek adják: naperőművek, szélturbinák, kisebb vízerőművek, geotermikus erőművek. Néhány országban (Norvégia, Albánia, Nepál, Paraguay) ez már ma is létező gyakorlatot jelent, bár egyelőre még a vízerőművek dominanciájával.



7. ábra Egy átlagos nap energiaigényének ellátása egy 21. századi rugalmas villamosenergia-rendszerben (Energiaklub-Infotandem, 2015). Az ábra még nem tükrözi a keresletoldali szabályozás (DSM) intenzív alkalmazásának következményeit, ami a fogyasztási csúcsok és völgyek időbeli átrendeződésében nyilvánulnak meg.

A már meglévő tapasztalatok és a modellezések eredményei alapján kijelenthető, hogy hamarosan nem a megfelelő mennyiségű villamosenergia-termelés lesz a fő kihívás. Sokkal inkább abban kell majd a rendszerirányítóknak és a többi szereplőnek együttműködni, hogy azokban az időszakokban, amikor **jelentős többlettermelés** adódik, azt minél többféle technológiával, minél hatékonyabban át tudják alakítani, el tudják raktározni a későbbi felhasználhatóság érdekében. Erre a problémára kínál megoldást a **napi igények időbeliségének befolyásolása**, amelynek leghatékonyabb eszköze a **rugalmas árképzés**. **Ezáltal akár jelentős energiaigényeket lehet időben elmozdítani olyan időszakokra, amikor a legolcsóbban és leginkább környezetkímélően termelő napelemek vagy szélturbinák jelentősebb szerepet vállalnak a termelésben.** A nagy energiaigényű ipari szereplők mellett az okos eszközök révén a háztartások energiaigénye (elektromos autók töltése, hőszivattyúk működtetése) is átcsoportosítható. A fenti koncepciót keresletoldali szabályozásnak (Demand Side Management) nevezik (Paulus, M. - Borggreffe, F. 2011; Finn, P. et al. 2012). A kereslet-kínálat kiegyenlítésének további kézenfekvő lehetősége pedig az átmeneti, tárolható szintetikus üzemanyagok termelése, mint például a megújuló energiaforrásokkal előállított hidrogén. A jövőben a zöld hidrogénnek nagy szerepe lehet bizonyos ipari ágazatok fenntarthatóvá tételében (nyersacél gyártás, cementgyártás, ammónia gyártás). A folyamatosan fejlődő kiegészítő technológiák szintén nagyban segíthetik a rendszerirányítókat: a protoncserélő membrános (PEM) elektrolizálók a viszonylag változékonynak mondható szélenergia-termelés ingadozásait is képesek követni, kisimítani.

Ennek kapcsán lényeges adalék, hogy **az Európai Unió dekarbonizációs és energetikai jövőképe egyértelműen a rugalmas energiarendszerek és a megújuló energiaforrások mellett teszi le a voksát.** Az adottságok kihasználása, a keresletoldali szabályozás, a nagyfeszültségű nemzetközi hálózatok, energiatárolók fejlesztése egy összeurópai "okos szuperhálózat" létrejöttét eredményezi majd. Ebben a szezonális, napi és az időjárásfüggő megújuló alapú áramfelesleg és áramhiány a nagy földrajzi távolságoknak és a megújuló források diverzitásának köszönhetően folyamatosan és nagymértékben kiegyenlíthető, biztos hátteret adva a nemzeti szintű energiarendszereknek.

Az Európai Unió prioritásai mind a termelők, mind a fogyasztók tekintetében az energiatakarékosság, a hatékonyság növelése, a rendszer szintjén pedig a decentralizáció, a források diverzifikálása, és rugalmas energiarendszer kiépítése. Radikálisan csökkennie kell a szén-dioxid-kibocsátásnak, az importból származó erőforrásoknak, de a számítások és az eddigi jelek szerint visszaesik az európai energiarendszer működtetésének összköltsége is (Hewicker, C. et al. 2011). A szükséges új jogszabályi, műszaki szabályozási háttér kialakítása már elkezdődött: a villamosenergia-rendszert irányító európai szervezetek (ENTSO-E), és az Energiaszabályozók Együttműködési Ügynöksége (ACER) olyan új, kötelezően bevezetendő üzemviteli, kereskedelmi és csatlakozási szabályozást (ún. network code-okat) dolgozott ki, amelyek egyértelműen a **decentralizált kistermelők szabályozását segítik elő**. Ezen új szabályozásoknak a nagy része már életbe lépett. Ezen túlmenően az Európai Unió ún. téli csomagja ("Tiszta energia minden európainak" intézkedéscsomag) azt irányozza elő, hogy a jövőben nemzetközi **regionális operációs központok** (ROC) vegyenek át bizonyos feladatokat - pl. tartalékkapacitások kiszámítását - az országos rendszerirányítóktól, amely szintén a megújuló energiaforrások nagyobb földrajzi léptékű, így minél szélesebb körű felhasználásának irányába mutat.

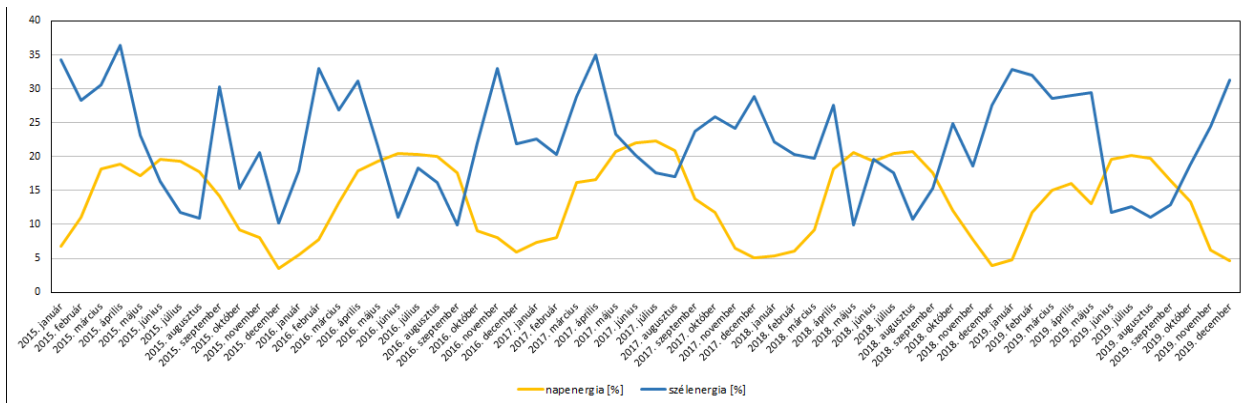
**A hazai energiarendszer fejlesztési lehetőségei** kapcsán néhány összefoglaló megállapítás kívánkozik ezen gondolatkör végére. Mindenekelőtt kijelenthető, hogy a szivattyús-tározás hiánya, a kevés vízerőmű, a fosszilis alapú tartalékkapacitás hiánya vagy a termelés állítólagos nehéz előrejelezhetősége nem tekinthető a hazai szélenergia-felhasználás fejlődési akadályának, legfeljebb olyan kihívásnak, amit más országokban már sikeresen kezelni tudnak. Ezeknek a tapasztalatoknak a felhasználásával Magyarország is bővíthetné szélenergia-kapacitását, ám ehhez néhány szempontot érdemes figyelembe venni (az alábbi felsorolásban a teljesség igénye nélkül):

- A) Matematikailag elképzelhető a hazai erőművek között egy ideális terhelésmegosztás, de a **szuboptimális piaci működés** ezt jelenleg nem teszi lehetővé (mint ahogyan akadályozza a környezetgazdálkodás más területeivel való szinergiák érdemi kihasználását is, lásd a biogáz-technológia terén tapasztalható számos elemi problémát). Ám szerencsére több olyan alacsony költségű integrációs megoldás létezik, amely hazánkban is alkalmazható lenne. Így a korábban csak



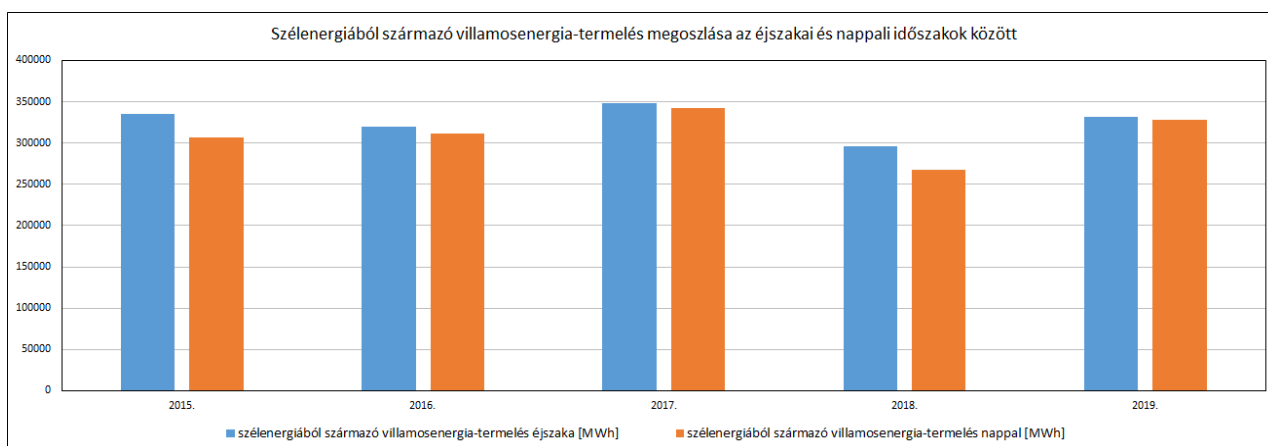
- gázmotorok koordinált üzemeltetésére létrejött **virtuális erőművek keresletoldali szabályozással (DSM) kiegészítve** alkalmasak lehetnek a nap- és szélerőművek által termelt energia befogadására. Az alakuló energiatőzsdei **napközbeni (intraday) piac** szintén segíti a korábban nem tervezett, eseti energiatöbbletek tárolás nélküli, azonnali felhasználását.
- B) Növelni kell a hazai energiarendszer rugalmasságát! Ennek elsődleges eszköze a gazdasági szabályozás átalakítása, a rugalmas árképzés minél szélesebb körű bevezetése. Ehhez kapcsolódóan kulcsfontosságú minél több vezérelhető fogyasztás bevonása és a kapcsolódó “okos” megoldások elterjedésének támogatása.
  - C) Fontos fejlesztési irány a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő (ún. kogenerációs) erőművek, illetve a kapcsolódó (távhő-)rendszerek hőtárolókkal való kiegészítése, ami által hőmenetrendjük optimalizálható.
  - D) Az átviteli hálózat jelentős belső tartalékokkal bír, így ez a termelési kapacitások bővítésének nem elsődleges akadálya. Ugyanakkor mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy a hálózat működését a szélerőművek minél kevésbé akadályozzák. Éppen ezért lényeges, hogy bár az ország észak-nyugati részén a legkedvezőbbek a szélviszonyok, ettől eltérő helyszíneken is telepítsenek szélerőműveket (ahogyan erre a 2009-ben megjelent szélerőművi kapacitás 410 MW-os bővítésére kiírt - majd 2010-ben visszavont - pályázatban már megvolt a törekvés).

Tehát további szélerőmű-kapacitás rendszerbe integrálása természetesen hazánkban is lehetséges, bizonyos rendszerszintű beavatkozásokkal akár még nagyobb, néhány ezer megawattos léptékben is. Hogy ez szükségszerű is, azt számos már többször hangoztatott érveléssel lehet alátámasztani, de jelen kiadvány megjelentetéséhez kapcsolódóan új vizsgálatokat is végeztünk. **Elemztük például a legutóbbi 5 év (2015-2019) szélerőművekre vonatkozó villamosenergia-termelési adatait, amelyek szabadon hozzáférhetők a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító (MAVIR) honlapján. Ezzel párhuzamosan vizsgáltuk a napenergiára vonatkozó ugyanezen adatsort az ország négy különböző pontján,** nevezetesen Debrecenben, Győrben, Szegeden, Mohácson működő napelemparkok esetében. Ez alapján országosnak tekinthető átlagolt adatokat hoztunk létre. A két technológia összehasonlíthatósága érdekében ezekből napi szintű kapacitásfaktor értékeket számoltunk, majd ezekből készítettünk havi adatsorokat. Megvizsgálva az így kapott diagramokat, megállapítható egy világos szezonális váltakozás a téli és nyári időszakok között: **a téli időszakban a szélerőenergia, nyáron a napenergia mutat kedvezőbb értékeket, vagyis a két technológia jól kiegészítheti egymást** egy megújuló energiára alapuló decentralizált villamosenergia-rendszerben (**8. ábra**). Egy efféle kooperáció szempontjából lényeges az is, hogy a szélerőenergiából származó villamosenergia-termelés az éjszakai órákban nagyobb mértékű, még ha ez a különbség nem is szignifikáns. Összességében kijelenthető, hogy mind napi viszonylatban, mind pedig szezonálisan vizsgálva igaz, hogy a naperőművek és szél-turbinák egymást jól támogató, kiegészítő technológiák, ami az egyik magyarázata annak, hogy az energetikai átalakítás élvonalában járó országok miért telepítenek mindkét technológia esetében jelentős kapacitásokat.



**8. ábra** A napelemek és szélturbinák termelése Magyarországon a napi termelési adatok alapján havi bontásban

- a névleges teljesítménnyel elérhető maximális termelés %-ában kifejezve (lásd: kapacitásfaktor) a 2015-2019 közötti időszakra vonatkozóan. A napelemparkok napi átlagos kapacitásfaktora jellemzően 20%, míg télen 10% körüli. A szélerőművek esetében a téli időszak a kedvezőbb, ekkor átlagosan 30% (de gyakoriak a 70% feletti napi adatok is), míg a nyári időszakban jellemzően 15%-ot produkálnak (alkalmanként a 40%-ot is elérik). Forrás: MAVIR



**9. ábra** A szélerőből származó villamosenergia-termelés megoszlása az éjszakai és nappali időszakok között Magyarország teljes szélerőmű-flottája esetén 2015-2019 között. Jól láthatók az éjszakai időszakra jellemző magasabb termelési adatok.

## 2. A SZÉLENERGIA ALKALMAZÁSÁNAK SZÉLKLIMATIKUS VONATKOZÁSAI<sup>4</sup>

Szerző: Munkácsy Béla

A meteorológia szerepe a széleenergia termelésben három fő területre terjed ki:

- a) a szél erőművek telepítésének optimalizálása a szélklíma szempontjából;
- b) közreműködés a szél erőművek energiarendszerben való alkalmazásának elvi megalapozásában;
- c) a szél erőművek várható termelésének előrejelzése a villamosenergia-rendszer irányításának megkönnyítése érdekében. Az alábbiakban mindhárom terület rövid bemutatására vállalkozunk.

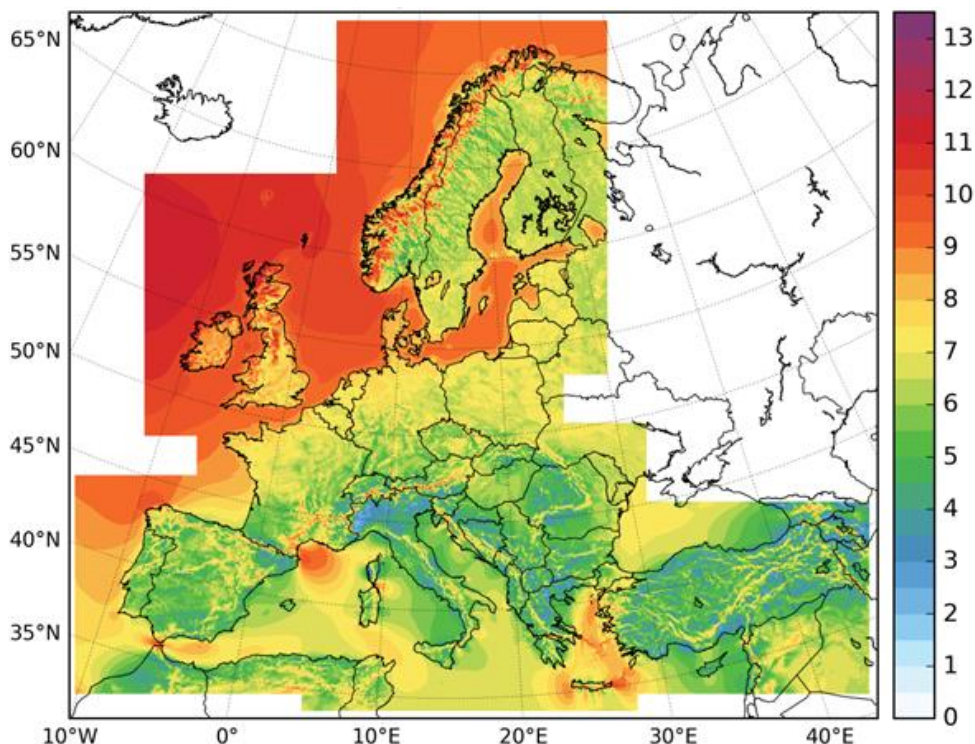
A szél erőművek telepíthetősége az adott térség szélklímájának jellegzetességeivel írható le. Hazánk a nyugatias szelek övében fekszik, **mérsékelt szél** területként tartjuk számon. A 10 méter magasságban mért adatsorok szerint a szélesség évi átlaga 2-4 m/s közötti. A Dunántúl északnyugati része és a környezetükből kiemelkedő hegycsúcsok a legszelesebbek, a legerősebb szeleket a Bakony térségében mérik. A legkevésbé szeles vidékek az Északi-középhegység előtere és szélárnyékos völgyei.

A 10 méteres magasságból származó meteorológiai mérések tanúsága szerint a szélcsendes időszakok aránya néhány térségben kifejezetten nagy. A szeles napok száma (amikor a 10 méteren mért szélsebesség értéke meghaladja valahol a 10 m/s-ot) átlagosan 133 nap, míg a viharos napok száma (amikor a szélsebesség meghaladja a 15 m/s-ot) átlagosan 38 az 1981-2010-es időszakra vetítve (Kocsis K. et al. 2018).

Lényeges azonban, hogy a **szélesség a felszíntől számított magassággal nő**, mert egyre kevésbé érvényesül a domborzat és a tereptárgyak áramlására gyakorolt fékező hatása. Ennek energetikai szempontból azért van jelentősége, mert a nagy szél turbinák esetében, **a korábbi 60-100 m-es helyett napjainkban egyre inkább 120-150 méter a jellemző toronymagasság**. Érdekesként megemlítjük, hogy napjaink legmagasabb szél turbináinak teljes magassága (a lapát hosszát is figyelembe véve) a 246 métert is meghaladja (Frydrychowicz-Jastrzębska, G. 2019).

Ebben a magasságban a szélesség mérésére több lehetőség kínálkozik. Az egyik a **felszínről történő mérés** SODAR (Sound Detection And Ranging) vagy LIDAR (Light Detection And Ranging) eszközökkel. Viszonylag megbízható becslést lehet adni két-három alacsonyabb magasságban (az alsó 50-80 m-es rétegben) mért adatsorok birtokában is, hatványkitevős szélprofilok alkalmazásával. Ilyen számítások alapjául szolgálhatnak az egyik legfontosabb hazai állomás, a Hegyhátsági mérőtorony (10, 48, 82, 115 méteren mért) adatsorai, vagy a SODAR mérésekre alapozott hatványkitevők alkalmazása a meteorológiai szél mérésekre (Schrempf, A. 2007). Ezek természetesen olyan valószínűségi becslések, amikor meg kell adni a számítások bizonytalanságát is.

<sup>4</sup> A fejezet kidolgozásában és szövegezésében aktívan részt vett **dr. Weidinger Tamás**, az ELTE TTK Meteorológiai tanszékének docense, amiért a Szerkesztő ezúton is köszönetet mond.



10. ábra Átlagos szélesség 100 m-es magasságban az Új Európai Szélatlasz szerint.  
Forrás: Witha, B. 2019

A szélenergia-hasznosításban rejlő lehetőségek feltérképezésére ma már remek lehetőséget jelent a számítógépes modellezés. Ebben az esetben ugyanazokkal a matematikai modellekkel kell dolgozni, amelyek eredményeivel nap, mint nap találkozunk az időjárás előrejelzésekben. Itt azonban célzott szélprofil-számításokat végeznek a meteorológusok, s ezekből képeznek hosszú idősorokat, illetve adnak szélenergetikai előrejelzéseket (Szépszó G. et al., 2006; Gyöngyösi A. Z. et al., 2011, 2012).

Hazánkban már a 2000-es évek közepén készültek az alsó légréteg különböző szintjeire vonatkozó széltérképek (Szépszó G. et al. 2006). Ez máig aktuális témakör; s több most futó európai kutatási program is foglalkozik vele. A számítási eredmények, a széltérképek az alkalmazott modelltől és a vizsgált időszaktól függően eltérhetnek egymástól, ám általános szakértői vélemény a modellezett szélességi értékek kismértékű (0,5-1,5 m/s-os) túlbecslése. Nehéz feladat továbbá a felszíni érdesség modellezése, illetve a domborzatot figyelembe vevő lokális áramlásmodellezés, amelyeket pedig konkrét gazdasági elemzéseknél számításba kell venni. További kihívást jelent, ha a mérések olyan földrajzi pontokból származnak, amelyek távolabb esnek a potenciális szélenergia-projektek helyszínétől, ám erre is viszonylag régóta létezik szoftveres megoldás (Troen, I. - Petersen, E. L. 1989). Ezen túlmenően azzal is számolni kell, hogy a szélerőmű-parkokba rendezett berendezések - például a turbulencia, illetve a levegő áramlásának fékezése miatt - egymás működésére is hatással vannak, ám ma már ez is "kalkulálható" (Sørensen, P. et al. 2002).

Összegezve tehát, a meteorológia által alkalmazott módszertan és eszközrendszer folyamatos fejlődése elvezetett odáig, hogy a tendenciákat, a területi változékonyságot ma már megbízhatóan ábrázolják a regionális (Kárpát-medencei), illetve európai széltérképek. Nézzünk két példát!

Az **Új Európai Szélatlasz** (NEWA - New European Wind Atlas, [Witha, B. 2019]) (10. ábra) 3 km-es rácsfelbontással ábrázolja kontinensünk szélklimatikus adottságait az 1989-2018 közötti időszak adatai alapján. Legszelesebb térségeink Északnyugat-Magyarország és a Magas-Bakony - itt a modellezett átlagos szélességek 100 m-es magasságban 6-7 m/s-os értékűek, de jól visszaadja a modell az észak-magyarországi kisebb szélességi értékeket (4-5 m/s) is.

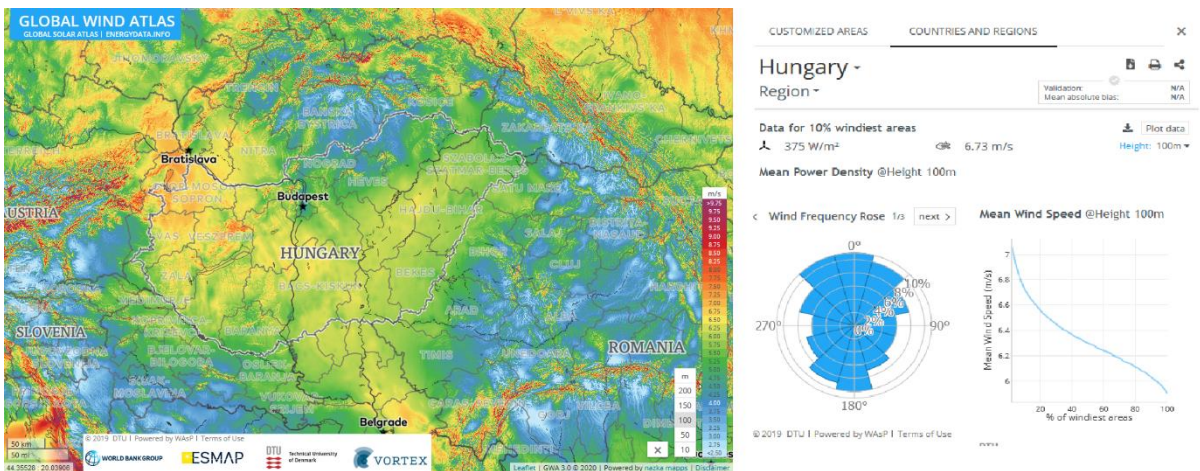
A <https://map.neweuropeanwindatlas.eu/> weboldalon részletes információkhoz juthatnak az érdeklődők az 50-500 méteres magasságtartomány szélklimájára vonatkozóan. Eszerint a kedvezőtlen adottságú Bükkalja térségére 100 m-es magasságban 4,6-5,1 m/s; 150 m-en 5,0-5,4 m/s; 200 méteren 5,5-5,8 m/s átlagos szélesség jellemző. A kedvező fekvésű Kapuvár környékén 100 méteren 6,6-6,8 m/s; míg 200 méteren már 7,6-7,8 m/s adódik. Ha figyelembe vesszük a modellekre általában jellemző túlbecsléseket,



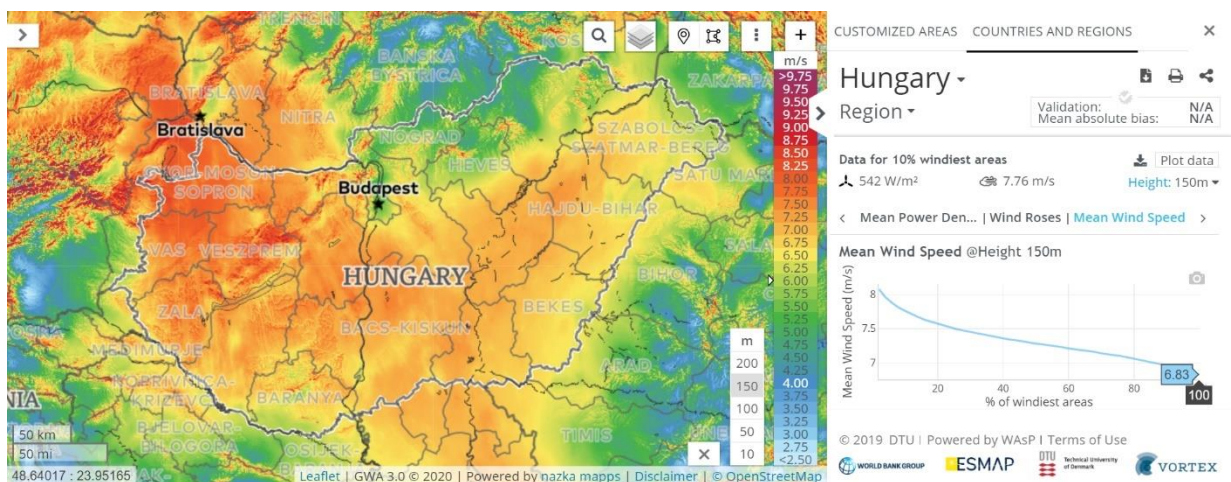
akkor is nagy biztonsággal állítható, hogy 150 m-es szint közelében már mindenképpen 6 m/s feletti átlagos évi szélességekkel számolhatunk, vagyis a kapacitásfaktor jellemzően 25% körüli vagy akár annál nagyobb értéket vesz fel, így a szél erőművek üzemeltetése gazdaságos tevékenységként értelmezhető.

Főként európai szakemberek munkáját dicséri az új **Globális Szélatlasz** (Global Wind Atlas, GWA, 2020). A weboldal lehetővé teszi az online lekérdezéseket, szabadon letölthető adatkészleteket biztosít. A felhasználók például nagy felbontású térképekhez is szabadon hozzáférnek GIS-eszközökben való további használatra.

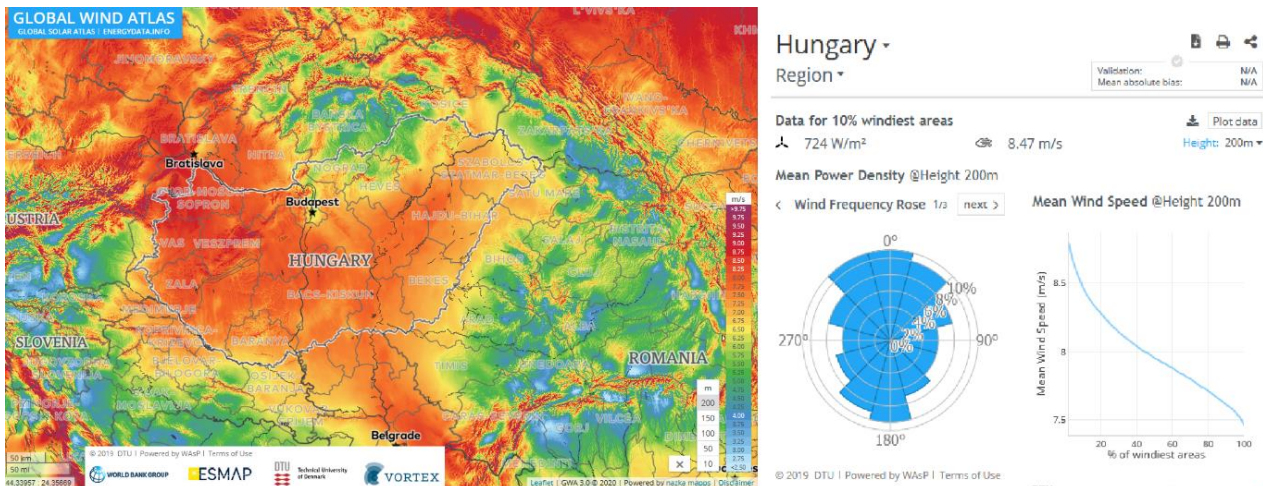
Az országos léptékű lekérdezés alapján az **átlagos szélesség** 100 méteres magasságban 5,9 m/s (11. ábra), 150 méteren a 6,8 m/s (12. ábra), 200 méteres magasságban pedig már 7,4 m/s-ot (13. ábra), ami ugyancsak arra utal, hogy már relatív alacsony oszlopmagasságot figyelembe véve is vannak hazánkban szélenergia-hasznosításra kifejezetten alkalmas területek, nagyobb magasságokban pedig az ország nagyobb része látszik megfelelőnek (kritikus értéknek itt is a 6 m/s-os évi átlagot választottuk).



11. ábra Az átlagos szélesség 100 méteres magasságban (GWA 2020). Jól látszik a hazánkra jellemző É-ÉNY-i maximális szélgyakoriság és a viszonylag gyakori délies áramlás. Magyarország legszelesebb 10%-án az évi átlagos szélesség 6,7 m/s, míg az ország egészére 5,9 m/s. A legkevésbé szeles vidékeken az évi átlagos szélesség 4 m/s körüli.

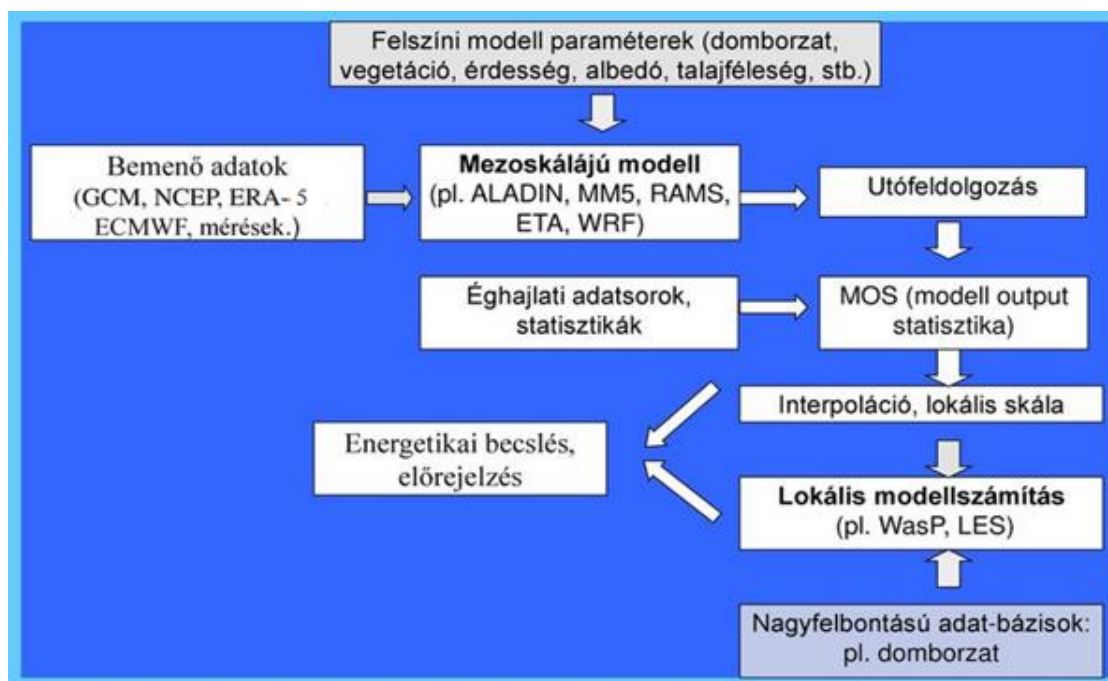


12. ábra Az átlagos szélesség 150 méteres magasságban (GWA 2020). Hazánk legszelesebb 10%-án az évi átlagos szélesség itt már 7,76 m/s, míg az ország egészére 6,83 m/s. Napjaink technológiája szempontjából ez a kalkuláció a leginkább releváns.



13. ábra Az átlagos szélesebbesség 200 méteres magasságban (GWA 2020). A szélgyakoriságok követik a 100 m-es szinten megfigyelteteket. Hazánk legszelesebb 10%-án az évi átlagos szélesebbesség itt már 8,9 m/s, míg az ország egészére 7,4 m/s. A legkevesbé szeles vidékeken az évi átlagos szélesebbesség 5,5 m/s körüli.

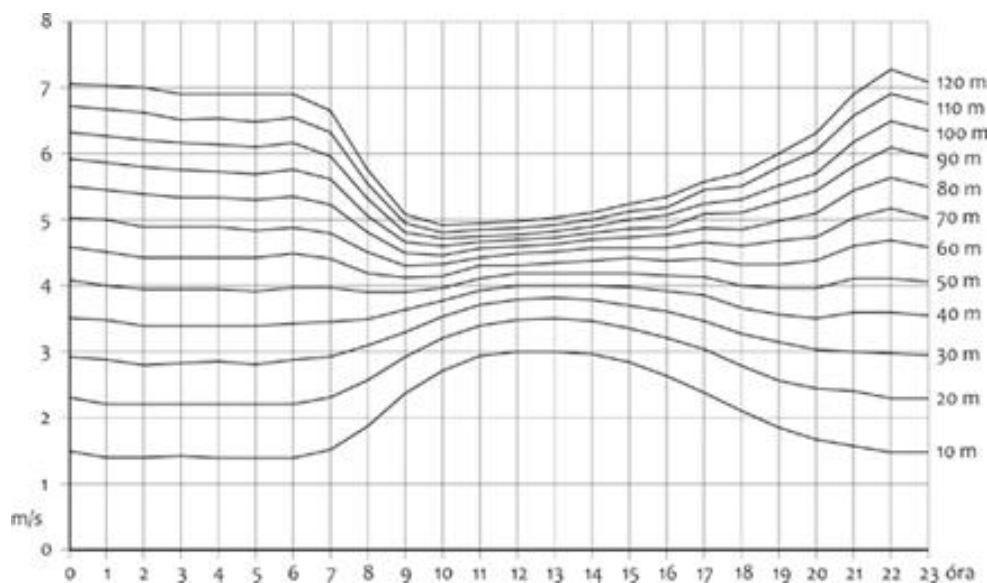
A meteorológia azonban nemcsak a helyszínválasztás és a telepítés, hanem az **üzemeltetés** kapcsán is kikerülhetetlen szereplőjévé vált a 21. századi energetikának az egyre pontosabb előrejelzéseknek köszönhetően (Dupré, A. et al. 2019; Liu, H. et al 2020). A rendszerirányítónak ugyanis kulcsfontosságú az elkövetkező napok várható energiatermelési adatait előre megismerni, ami hazánkban a szélturbinák üzemeltetői számára is többletfeladatot és jelentős anyagi kockázatot jelent. Az előrejelzési folyamat főbb lépéseit a 14. ábra mutatja be. Az elmúlt másfél évtizedben az NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Eta, majd a WRF (Weather Research and Forecasting) numerikus előrejelzési modell felhasználásával készítettek hazai kutatók széleenergetikai hatástanulmányokat Brazília Ceará államára, illetve két mosonmagyaróvári szélerőműre (Enercon 40 és Enercon 70) az ELTE Meteorológiai Tanszéken (Gyöngyösi A. Z. et al. 2011; Weidinger T. et al. 2015). Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál pedig az AROME modellel folynak jelenleg széleenergetikai előrejelzések (Tóth H. et al. 2017).



14. ábra Széleenergetikai előrejelzések folyamatábrája  
 Forrás: Gyöngyösi A.Z. et al. 2011; Gyöngyösi A.Z. et al. 2012

A fentieket összegezve a szélerőművekkel, illetve annak hazai alkalmazásával kapcsolatban az alábbi lényeges általános megállapításokat tehetjük:

- 1) Kisméretű, alacsonyan dolgozó szélerőművek hazai alkalmazása átlagos adottságú területeken - a jelenleg elérhető technológiákkal - nem szerencsés (Weidinger T. et al. 2011). Hazánkban inkább ritka kivételnek tekinthető az, ha például egy kedvező adottságú szélcsatorna alkalmat kínál a gazdaságos hasznosításra, ám ez esetben is különféle műszaki és adminisztratív nehézségek akadályozhatják a projekt sikeres végrehajtását.
- 2) A nagyobb szélerőművek telepíthetőségére vonatkozóan árnyaltabb a helyzet, mert ezek munkamagasságában (120-150 méter) az ország jelentős része a szélklíma szempontjából alkalmasnak látszik. Terepi mérések is igazolták, hogy a napi jellegzetességek tekintetében már 100 méteres magasságban is kimutatható az a törvényszerűség, hogy éjszaka magasabb, nappal alacsonyabb szélebbességgel lehet kalkulálni (Szalai et al. 2010)(15. ábra). Vagyis éppen fordított a helyzet, mint a napenergia esetében, így annak a szélerőmű jó kiegészítője lehet a napi villamosenergia-termelés terén. Ez a hazai szélerőművek termelési adataival is igazolható törvényszerűség - mint ahogyan ez az előző fejezetben kiderült.
- 3) A szélklíma **éves** jellemzője a téli nagyobb, illetve a nyári alacsonyabb szélebbesség, ami ugyancsak a napenergiával ellentétes villamosenergia-termelési jellegzetesség, tehát **a két technológia együttműködésének szükségessége logikus és nyilvánvaló** (Dobi, I. 2006). Ezt az összefüggést a Magyarországon működő szélerőmű-flotta termelési adatai is megerősítik (lásd az előző fejezetekben). Sok egyéb mellett a fenti természeti törvényszerűségek is magyarázatul szolgálnak arra, hogy az Európai Unió országaiban miért gyarapodott éppen ez a két technológia a legnagyobb mértékben az utóbbi 10-15 évben (Vaughan, A. 2017). Itt is szükségesnek tartjuk hangsúlyozni - elismerve ezen megújuló energiaforrások fontosságát -, hogy ezek hazánkban a technológia jelenlegi szintjén, első becslésként, az év óráinak legfeljebb 40-50%-ában állhat rendelkezésre megfelelő intenzitással e két energiaforrás. Nem elképzelhető tehát csupán ezekre villamosenergia-rendszert alapozni. Ennek ellenére nem ritkán találkozni ezzel a tévesen vagy provokatívan megfogalmazott elképzeléssel például a megújuló energiaforrásokkal szembeni kritika formájában. Szögezzük le most is: **a fenntartható energiarendszer alapvetései nem értelmezhetők a 20. századi energiagazdálkodás szemléletmódja szerint, ahol néhány erőmű és néhány energiaforrás megoldott minden feladatot - miközben mérhetetlen károkat okozott a természeti környezetben! A 21. században sokkal szofisztikáltabb megoldásokra van szükség és lehetőség, nem elegendő csupán mennyiségekben gondolkodni, ahogyan eddig. A minőség, a lényegesen jobb környezeti mutatók adják a fenntartható energiarendszer legfőbb jellegzetességét**



15. ábra A szélebbesség átlagos óras menete különböző magasságokban a paksi toronymérések alapján (2000-2001) Forrás: Szalai S. et al. 2010.



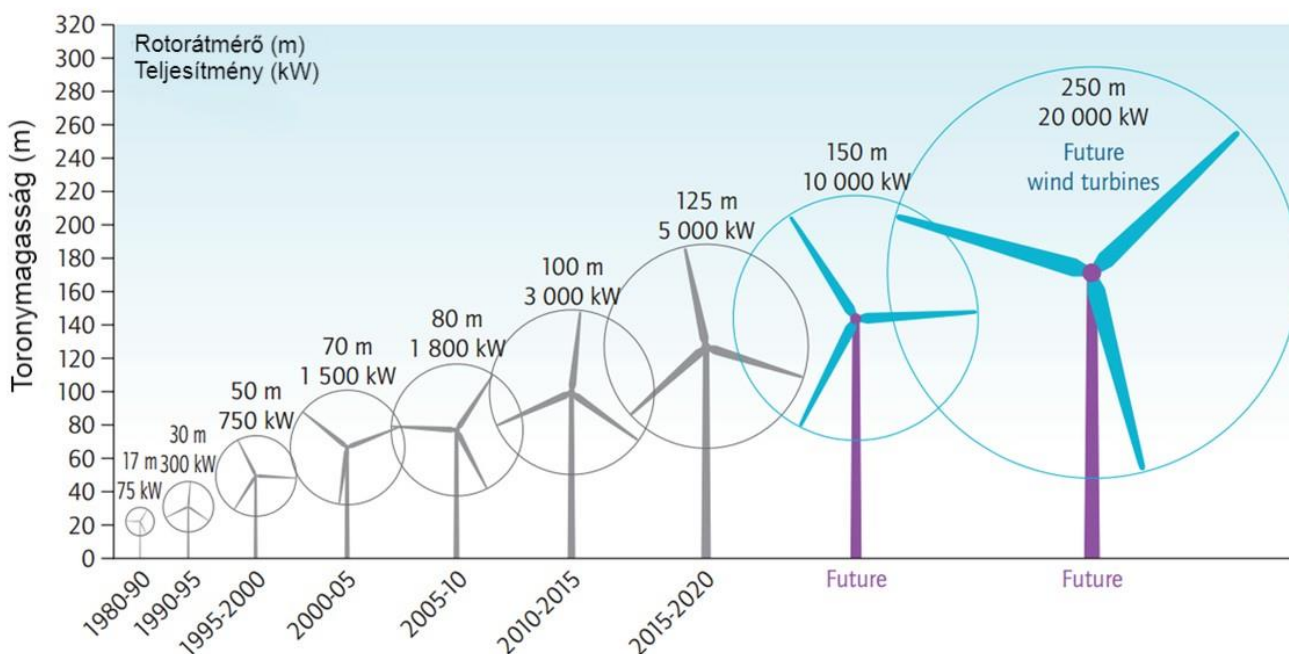
### 3. A SZÉLENERGIA ALKALMAZÁSÁNAK MŰSZAKI VONATKOZÁSAI

Szerzők: Munkácsy Béla, Pásti Lajos, Kádár Péter

Noha az első villamos áramot termelő szélturbinák már az 1800-as évek végén megjelentek, a technológia fejlődése az 1970-es évek olajválságai, majd a csernobili tragédia kevés pozitív hozadékként vett komolyabb lendületet. A megawatt-léptékű berendezések az ezredforduló környékén léptek be a termelésbe. Ma a világon mintegy 200 ezer nagy teljesítményű szélturbina üzemel, ezek szinte mindegyike háromlapátos, vízszintes tengelyű berendezés. Jelenleg a tipikus toronymagasság 130-150 m (a teljes magasság a lapáthosszot is figyelembe véve 200 m), de a legmagasabb oszlop csaknem 180 méter magas (Gaildorf, Németország). Ez utóbbi eset azonban speciális, hiszen itt a szélturbinák alsó szegmense víztározóként működik, lehetővé téve a szivattyús energiatárolást. A lapáthossz általában 50-70 méter, de ehhez képest lényegesen, például a Siemens-Gamesa 14-222 DD modell esetében, megközelítheti a 110 métert (a gyakran emlegetett rotorátmérő ennek a kétszerese). Jelenleg a világ legnagyobb teljesítményű - igaz, *tengeri* körülményekre tervezett - szélturbinája a Siemens-Gamesa SG 14-222 DD, amelynek rotor átmérője 222 m, névleges teljesítménye **14 MW** - ám rövid ideig 15 MW teljesítmény leadására is képes (OEC 2020). Ami a *szárazföldi* körülmények között termelő szélturbinákat illeti, **a jelenlegi csúcsmo­dell az 5 MW-os** Siemens-Gamesa SG 5.0-145, bár korábban elérhető volt a 7,58 MW-os Enercon E-126 7.580 típus­szá­mú modell is. Előbbi oszlopmagassága elérheti a 157 métert, lapátjainak hossza 71 méter.

A szélerőmű telepítések hazánkban 2000-2010 között történtek, tehát a géppark átlagos kora ~15 év.

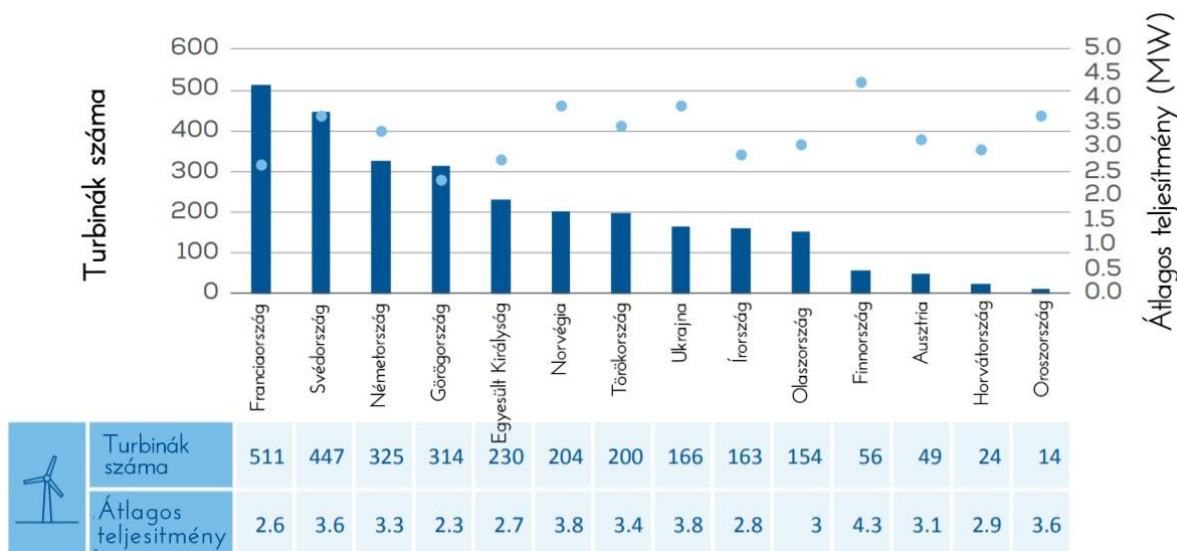
A 172 db szélturbina zömében 80-100 méter körüli toronymagasságú, 2 MW-os egység.



16. ábra A szárazföldi szélerőművek fő paramétereinek változása



Ami a szélérőművek jelenlegi **átlagos teljesítményét** illeti, az egyes országok között meglehetősen nagy különbségek vannak (17. ábra). Az új telepítésű berendezések esetében a tavalyi évben (2019) a görög átlagérték 2,3 MW körül volt, a finn viszont elérte a 4,3 MW-ot - lényeges, hogy mindkét esetben kizárólag szárazföldi telepítésű szélturbinákról van szó (WindEurope 2020a). Ebből a szempontból a német fejlesztések tekinthetők átlagosnak, ott az új turbinák névleges teljesítménye 3,3 MW-nak adódott 2019-ben (és 2020 első felében is) (DWG 2020).



17. ábra A 2019-ben Európában telepített szélérőművek száma és átlagos teljesítménye  
 Forrás: WindEurope 2020a

A mai korszerű szélturbinák jellemzően 10 és 90 km/h közötti szélsébség esetén üzemelnek, de egyes modellek, főleg az alacsony szélsébségű (7 m/s átlagos szélsébség alatti) helyszínekre tervezett berendezések már 70 km/h-nál lekapcsolnak (pl. Vestas V110-2.0), míg mások akár 120 km/h sebességnél is megbízhatóan termelnek (pl. Enercon E-126 7.580). Névleges teljesítményüket általában csak 45-50 km/h sebesség felett tudják tartósan szolgáltatni. Az egyedi szélérőművek kimenő teljesítménye a változó szélsébség miatt **volatilitást** (hirtelen változásokat) mutat, ámbar ennek mértéke különféle eszközökkel elfogadható keretek között tartható:

### 3.1. A szélturbinák technológiájában, illetve annak fejlesztésében rejlő lehetőségek

- A. a leginkább kézenfekvő szempont az adott szélklimára optimalizált erőműtípus alkalmazása, amely hazánk esetében az **IEC 3** osztályba<sup>5</sup> sorolt berendezéseket jelenti, amelyek legalább 120 méteres oszlopmagassággal (160 m-ig van ma kínálat) 7,5 m/s átlagos szélsébség esetén képesek min. 25% kapacitásfaktor teljesítésére, így kevesebb tárolókapacitás és kevesebb kiegyenlítő energia szükséges az integrációjuk elősegítésére.
- B. az **ultrakapacitások** szélturbinákban történő alkalmazásával a termelés hektikusága egy berendezésre vetítve is jelentősen csökkenthető.
- C. mint minden hagyományos erőművi generátor, az üzemben lévő szélturbina forgó rendszere (turbina és a generátor forgórésze) egy úgynevezett **forgó tartalékot** képez. A forgórész forgási tehetetlensége egyfajta tárolt energia (lásd lendkerék), amit a generátorral ki lehet használni. A forgó tartalék gyorsan tud reagálni a villamosenergia-hálózat változásaira, de aránylag kis

<sup>5</sup> International Electrotechnical Commission (IEC) osztályozási rendszere alapján 4 kategóriát különböztetnek meg, amelyben az I. osztály a legnagyobb szélsébségre vonatkozik

energiamennyiséget képvisel, legfeljebb pár másodpercre elegendőt. Ezért leginkább **frekvenciaszabályozási műveletekre** használhatják. Ez megfelelő vezérléssel érhető el, ami a frekvencia és fordulatszám alapján irányítja a mechanikát és az elektronikát egy visszacsatolásos rendszerben. Egyetlen szélturbina nem sok forgási energiát tárol egy nagy erőmű generátorához képest, viszont egy komplett szélfarm esetén a berendezések sokaságának forgórészei együtt már komoly tárolási potenciált jelentenek.

- D. a németországi Gaildorf térségében működő 4 szélturbina esetében egyenként 40 000 m<sup>3</sup>-es **víztározókat** alakítottak ki az oszlopok tövében, ami - szivattyús tározóként üzemelve - egy 16 MW-os vízturbina működtetéséhez szükséges vízmennyiséget biztosítja. A 200 m-rel lejjebb futó Kocher-folyóig 2 km-es csővezeték juttatja el a vizet.

### 3.2. A szélerőművek országos hálózatában:

- A. a probléma megoldását nagyban segíti, ha a **szélerőművek telepítésénél** arra is törekednek, hogy az adott országnak ne csak egy-két kiemelten jó adottságú térségében épüljenek ki jelentős kapacitások, vagyis a termelést földrajzi értelemben diverzifikálják.
- B. A hagyományos alaperőművi termelési struktúra radikális átalakításával és ezzel párhuzamosan a **rugalmas árképzés** bevezetésével el lehet érni, hogy a fogyasztás egy tekintélyes része igazodjon az időjárástól függő termelőkhoz (Demand Side Management). Ez nem csak ipari nagyfogyasztók (pl. adatközpontok, hűtőházak, vegyipari üzemek) esetében működik, hanem a háztartások villamosenergia-igényének egyre jelentősebb szegmensei kapcsán is (elektromos autók töltése, hőszivattyúk üzemeltetése).
- C. Az **energiamix optimalizálásával** az országra jellemző természeti adottságokhoz szükséges igazítani a különféle energiaforrásokra támaszkodó technológiák, termelési kapacitások arányát és mennyiségét.
- D. Az EU tagországaként élni kell az **export-import** lehetőségekkel (ahogyan ez Dániában már ma is nagyban segíti a közel 50%-os szélenergia részarány elérését).

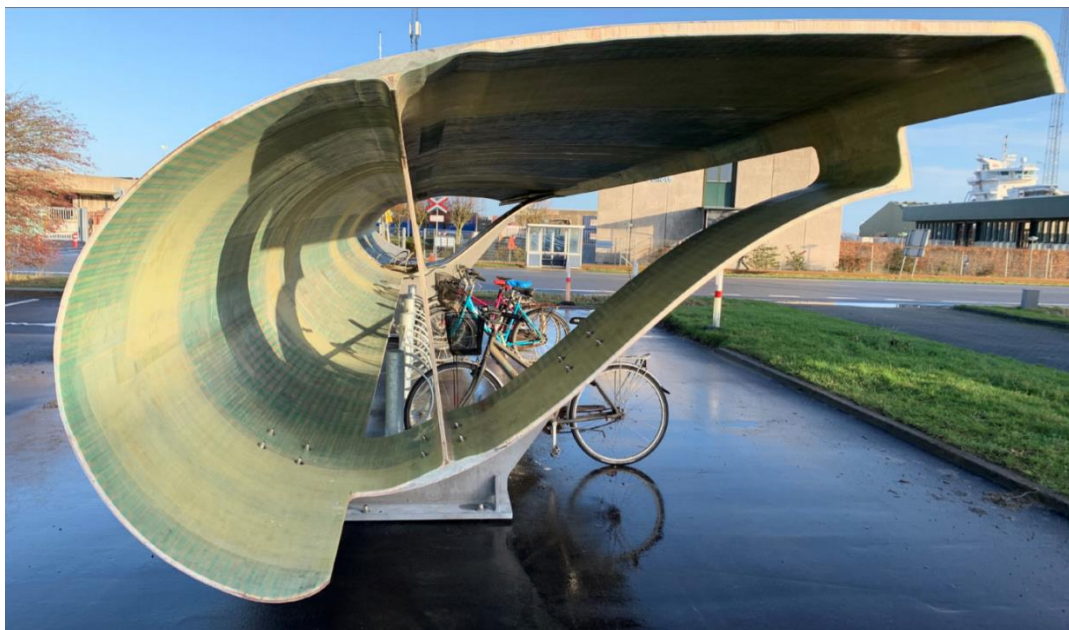
## 4. A SZÉLENERGIA ALKALMAZÁSÁNAK KÖRNYEZETI VONATKOZÁSAI

**Szerzők:** Munkácsy Béla, Sáfián Fanni

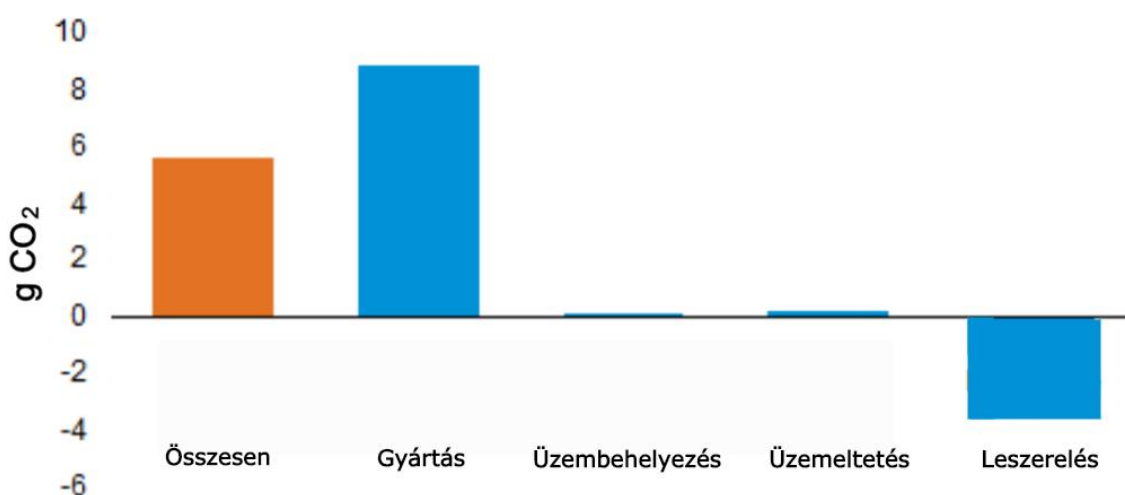
A szélerőművek környezeti hatása évtizedek óta komoly kutatási projektek tárgya (Nazir M.S. et al. 2020), ami a teljes életciklus vizsgálatával tárható fel a maga teljességében. A hatások ugyan sokrétűek, kiterjednek - sok egyéb mellett - az erőforrásgazdálkodás, a levegőszennyezés és a természetvédelmi következmények területeire. **Mindent összevetve a szélerőművek ma a legkevésbé környezetterhelő technológiaként jellemezhetők** - feltéve, ha a helykijelölés során kellő körültekintéssel járnak el. Erőforrás-oldalon leginkább a gyártás és a telepítés folyamatai igényelnek erőforrást (így például energiát is) és okoznak környezetterhelést. Ezen belül leginkább az alapozás folyamata és a torony legyártása tekinthető problémásnak. Ugyanakkor itt érdemes arra kitérni, hogy a korszerű szélerőművek közepes szélesebség esetén **~6 hónap alatt képesek megtermelni a teljes életciklusban felmerülő energiaigényüket** (a teljességre való törekvés jegyében beleértve például a dolgozók repülőgépjáratjához kapcsolódó energiafogyasztást is) - vagyis a 20 éves átlagos üzemidőt feltételezve egy mai szélerőmű 40-szeresen termeli vissza a teljes életciklusban felhasznált energiát (Razdan, P. - Garrett, P. 2019). Ez a technológiák közötti összevetésben igen jó eredménynek számít.

Az életciklusra vetített üvegházgáz-kibocsátás kapcsán a Carbon Footprint Standard ISO 14067 módszertanát szokás figyelembe venni. Az ennek segítségével elvégzett kalkuláció eredményeként megállapítható, hogy **egy modern szélturbina teljes életciklusra vetített kibocsátása 6 gCO<sub>2</sub>e alatti** értéket vesz fel (Razdan, P. - Garrett, P. 2019), aminek 53%-át a torony gyártásához és az alapozáshoz kötődő kibocsátások teszik ki. Mindent összevetve ez a konkurens technológiákkal összevetésben a legkisebb érték, hiszen az atomerőműveké például több, mint egy, a széntüzelésé több mint két nagyságrenddel nagyobb (Beerten, J. et al. 2009) - ugyanakkor az atomenergia esetében csak igen pontatlan, jellemzően alábecsült értékekről beszélhetünk, hiszen a kiégett nukleáris fűtőanyag-hulladékok kezelésével, őrzésével, a tároló létesítmények karbantartásával összefüggő kibocsátások a számításokban nem szerepelnek, tekintettel arra, hogy erre még nincs precedens.

Erőforrásgazdálkodási szempontból lényeges, hogy a szélturbinák leszerelését követően **jelenleg a felhasznált anyagok 62%-a (Razdan, P. - Garrett, P. 2019), más forrás szerint 85-90%-a (UB 2019) vezethető vissza a körforgásos gazdaságba**, ugyanakkor az is látszik, hogy a gyártók egyik legfőbb törekvése ennek az aránynak a további javítása. A leginkább kritikus alkatrésznek a lapátokat tekinthetjük, ám komoly iparági szándék és stratégia áll rendelkezésre a probléma megoldására. Az alapos felmérések szerint csak az elkövetkező 3 évben 14 000 szélturbina-lapát sorsáról kell gondoskodni, de - hála a műszaki fejlesztések sokaságának - megnyugtatóan alakul az **újrafeldolgozási** technológiák és kapacitások alakulása. Jelenleg a legígéretesebb az építőipari másodnyersanyagként vagy cementipari adalékként történő felhasználás, de évről évre bővülnek a lehetőségek. Egyre sokasodik az **újrahasználati** megoldások köre is (Schmid, M. et al. 2020), ugyanakkor egyes cégeknél az anyaghasználat teljes újratervezése is folyamatban van.



18. ábra Szélturbina-lapát újrahaszználata a dániai Aalborgban. Forrás: Schmid, M. et al. 2020



19. ábra Egy átlagos korszerű szélturbina teljes életciklusra vetített üvegházgáz-kibocsátása és annak komponensei. Forrás: Razdan, P. - Garrett, P. 2019

Az életciklus utolsó lépésében szereplő negatív érték az újrafeldolgozás révén elkerülhető kibocsátásokkal magyarázható.

A **technológia esetleges negatív megítélése általában a szélturbinák rossz telepítésével magyarázható**, ami leginkább négy fontos területre terjed: a) az ökoszisztémára, ezen belül leginkább a madárvilágra gyakorolt káros hatások; b) a tájkép zavarása; c) a villódzás; d) a zajhatás. Könnyen belátható, hogy a fenti problémák megoldása leginkább az építés helyszínének gondos megválasztásával minimalizálható, illetve a zaj és villódzás akár meg is szüntethető. Ugyanakkor tudomásul kell venni, hogy az élővilág és a tájkép zavarása esetében nem érhető el mindenki számára egyformán elfogadható megoldás, éppen ezért ezt a két területet részletesebben is tárgyaljuk.

Az ornitológiai szempontokat nélkülöző, rosszul tervezett projektek esetében előfordulhat a madarak nagyobb állománysűrűsége, gyakoribb mozgása az érintett területen. A szélturbinák egymástól való

távolsága, a turbinák magassága, a lapátok hossza és sebessége, a jelzőfény típusa mind növelheti vagy csökkentheti az ütközések bekövetkezésének valószínűségét (Kingsley, A. - Whittam, B. 2005). A legújabb kutatások szerint a lapátok erős kontrasztja, például az egyik lapát feketére festése akár 70%-kal is csökkentheti a madárütközéses balesetek számát (May, R. et al. 2020). Kritikus élőhelyeken hasonlóan eredményes megoldás a szélturbinák időleges - elsősorban a párási időszakban történő - leállítása, ami néhány napig okoz előre kiszámítható és jelezhető termelés kiesést.

A denevérek esetében leginkább a téli gyülekezőhelyek, teelőbarlangok környezetében regisztráltak ütközéseket (Horváth G. 2005). Néhány denevérfajt kifejezetten vonzanak a szélturbinák, feltehetően azok hangja, a jelzőfényükre gyülekező rovarok, a kibocsátott hő, illetve egyes fajok párási szokásai miatt (AWWI, 2014).

Összességében kijelenthető, hogy a tagadhatatlan problémák ellenére **a szélturbinák okozta ütközéses madár- illetve denevérpusztulások száma több nagyságrenddel marad el más antropogén tényezők hatásától** (pl. légi és közúti közlekedés; épületek üvegfelületeinek ütközés; nagyfeszültségű vezetékhalózat stb.), ráadásul a legtöbb faj esetében nem is jellemző, hogy a szélerőművek megjelenése csökkenést okozna azok populációjában (AWWI, 2014).

Ám a szélturbinák nem csak az ütközéses balesetek miatt kerültek a természetvédelem látókörébe. A berendezések működése zavarhat arra érzékeny fajokat, ami akár **élőhelyvesztés**hez is vezethet. Hatásuk helyszín- és fajspecifikus, valamint szezonálisan is változik (May, R. 2011). Hötcker, H. et al. (2006) a leginkább veszélyeztetett madárvilágra vonatkozóan 127 esettanulmányt vizsgálva nem talált szignifikáns és általános negatív hatást. Kiderült, hogy a **párási időszakban** egyes gázlómadarak jobban kerülnek a szélturbinák közelségét, ám pozitív hatásokat találtak a verébalkatúaknál, amelyek kifejezetten szívesen fészkelnek a nagyobb szélturbinák közelébe. **A párási időszakon kívül a** negatív hatások terén a lile- és bíbicfajok, valamint a récék és ludak érdemelnek említést, amelyek néhány száz méternél nem közelítik meg jobban a szélturbinákat.

Amerikai kutatók különösen érzékenynek találtak néhány, füves síkvidéken élő fajt, ezek kifejezetten nagy távolságot tartanak a magas tájelemektől (AWWI, 2014). A Kárpát-medencében a túzok tekinthető ebből a szempontból érintettnek, hiszen nemcsak óvatos, de korlátozott manőverezési képességekkel rendelkezik. Európai jelentőségű fészkelő állományai élnek a kifejezetten ideális szélenergia-adottságú Mosoni-síkságon sajnos egyre fragmentáltabb állapotban. A zurndorfi szélpark esetében kimutatható volt a fészkelő és táplálkozási területeik csökkenése, ráadásul nem csak a szélturbinák közvetlen közelében (Horváth G. 2005).

Látható tehát, hogy a madár- és denevérfajok és a szélenergia-hasznosítás együttélése kis áldozatok árán megvalósítható, ha a szélerőművek helykijelölésénél és üzemeltetése során az ökológiai szempontokat határozottan érvényesítik. A probléma kezelésében Németország jó példáját érdemes megemlíteni, ahol a regionális tájtervező irodák ornitológusok segítségével - más kizáró tényezők mellett - feltérképezik és **hasznosítás lehetőségét eleve kizárják** azokon a területeken, ahol a leginkább érintett madár- vagy denevérfajokat veszélyeztetnék a szélturbinák (Munkácsy B. 2004a). A szélerőmű-technológia növekvő elfogadottságát jelzi, hogy az egyik legnevesebb természetvédő-madárvédő szervezet, a brit **Royal Society for the Protection of Birds** (Királyi Madárvédelmi Társaság) **kifejezetten támogatja a szélerőművek alkalmazását**, mert - többek között - klímavédelmi szempontból elengedhetetlen eszköznek tekinti. Az egyetlen alapfeltételnek a természetvédelmi szempontok projekthelyszín-kijelölésben való érvényesítését tekintik.





20. ábra A szélérőművek a dán tájkép szerves részét alkotják. Fotó: Munkácsy Béla

A **tájképi hatások** tekintetében nem ennyire egyértelmű a helyzet. Azért is érdekes ez a témakör, mert egészen a közelmúltig a szél a pozitív tájképi értéket jelentő **szélmalmok** révén kapott helyet a tájhasználatban. Nehéz elképzelni, hogy a mai szélturbinákat a távoli jövőben a táj fontos, megőrzendő elemeiként tartjuk majd számon. Azt azonban nem hagyhatjuk figyelmen kívül, hogy **a szélfarmok és szélturbinák mint érdekes, látványos tájképi elemek és mint technológiai érdekességek már ma is turistacélpontok**. Nem egy helyen épültek ki tanösvények, bemutatótermek a szélturbinák tözsomszédságában.

Sokak szerint a szélturbinák **pozitív elemei lehetnek a tájképnek**. Tegnestue, B.N. (1996), dán tájépítész véleménye szerint: „A szélturbinák jelenlétének nem törvényszerű következménye, hogy a tájképet vizuálisan ezek a berendezések uralják. Ellenkezőleg, ezek optimális elhelyezése hozzájárulhat a kontúrok és kontrasztok harmonikusabb megjelenítéséhez a tájban... Optimális elhelyezésük a sík térszínen azt eredményezi, hogy mind a térszín sík jellege, mind a turbina hangsúlyt kap. A turbina függőleges formája kihangsúlyozza a táj sík jellegét, láthatóvá teszi a mélységet és a távolságot”. Korunk egyik emblematikus természetvédője, **David Attenborough** olyan “elegáns szerkezetnek” nevezi a szélturbinát, amely “harmonikusan illeszkedik a környezetbe”.

A méretek folyamatos növekedése azonban árnyalja a fenti pozitív képet, és járulékos feladatokat ró a fejlesztőkre. Míg az 1950-es években üzembe helyezett Gedser-turbina külső láthatóan még nem foglalkoztatta a tervezőt, a mai berendezések formavilágát neves design stúdiók, építészirodák vagy autógyárak alakítják ki. Például a DeWind a német F. Porsche Design Center, az Enercon a Foster+Partners közreműködésével tervezi a szélturbinákat. Fokozzák a tájképi hatást a szélfarmok, ahol már turbinák csoportjaival kell számolnunk - és lássuk be, e tekintetben igen szerény a tervezők mozgásterét. Azonban jó példák e tekintetben is akadnak, így megemlíthető a koppenhágai Middelgrunden-szélfarm, amely akár pozitív tájképi elemként is értelmezhető, amint azt képeslapok, üdvözlőlapok is igazolják. Azonban a méretnövekedés és a számosság szempontjából egyaránt jó megoldás lehet a már eleve tájsebekkel, infrastruktúrával terhelt területek igénybevétele, amiben a tájtervezés szerepének megerősítése jelenthet segítséget.



21. ábra A Middelgrunden-szélfarm stilizált képe karácsonyi üdvözlőlapon

A magyar engedélyezési gyakorlat azonban okozhat váratlan meglepetéseket, túlkapasokat, mint ahogyan hazánk első nagyobb teljesítményű szél turbinájával történt az építési engedélyezés során Várpalota-Inota térségében (22. ábra). A durván átalakított ipari tájba való elhelyezés kapcsán a hatóság az alábbi utasítást fogalmazta meg: „A tervezett telepítési helyet amennyire lehetséges a domb déli oldalán lejjebb, ill. délebbre kell kijelölni, hogy a hőerőmű meglévő épületei minél jobban takarják a turbinát. Amennyiben ennek technikai akadálya van, ill. a szélviszonyok miatt nem lehetséges az alacsonyabbra telepítés, akkor erre vonatkozóan megoldás lehet, ha a kijelölt helyen a műszaki leírás szerint változtatható szélerőmű magasságot csökkentik. Tájképvédelmi szempontból szükséges, hogy a torony, ill. a turbina lapát legfelső magassága ne haladja meg a meglévő hűtőtornyok legnagyobb magasságát.”

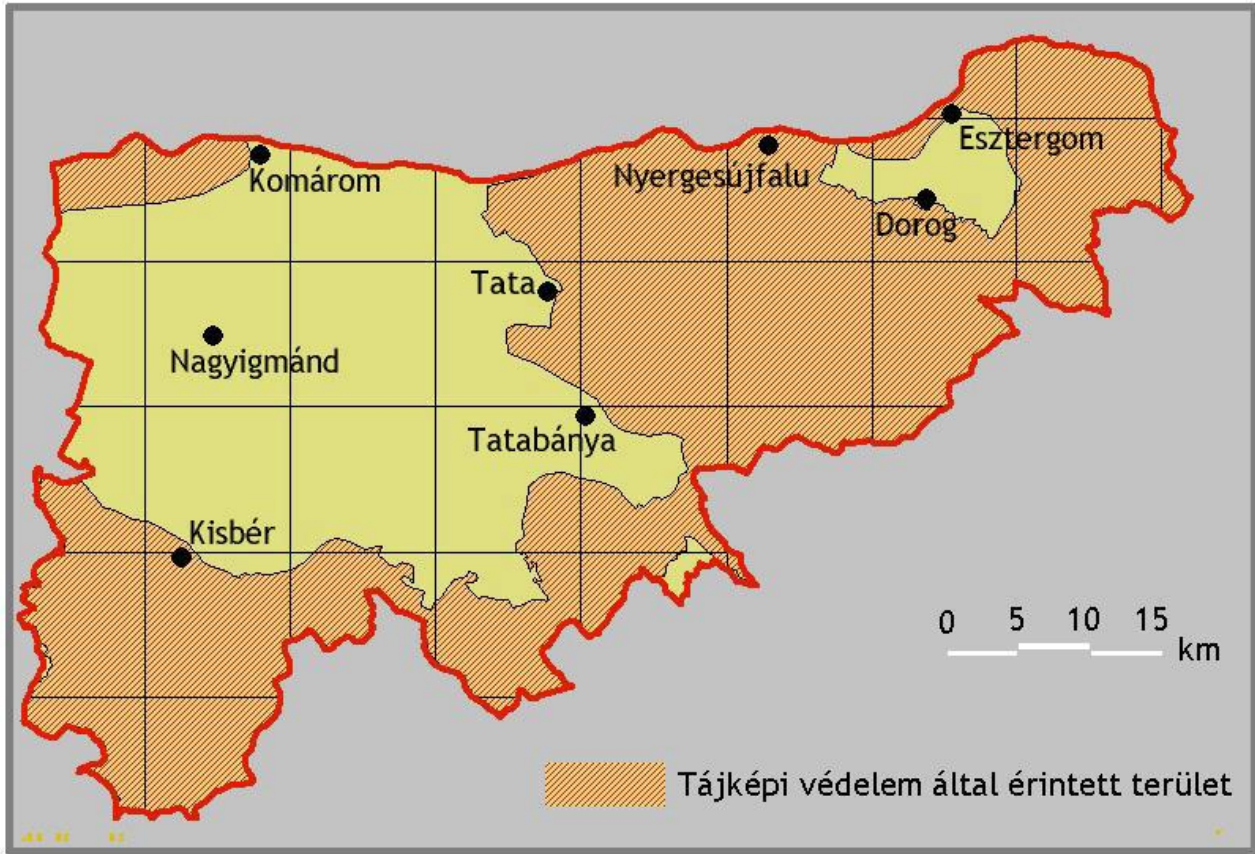


22. ábra Az építési hatóság által védeni kívánt tájkép Várpalotán. Fotó: Munkácsy Béla

Ugyanakkor a szabályozás más szempontból is meglepően szigorú volt már a 2016-os teljes tiltást megelőzően is, amennyiben például a **tájképvédelem** alá eső területeken kizárták a szélerőművek telepítését. Mivel az efféle védelemnek megyei és országos szintje is létezik, ez egyes esetekben már igen



jelentős korlátot jelentett a szélerőművek számára. Például Csongrád megye 76,8%-át sikerült tájképi védelem alá helyezni; míg a szomszédos, igen hasonló adottságú Bács-Kiskun és Békés esetében csak a területük 41-42%-át (Tóta A. 2009). Sok példa van arra is, hogy legalábbis erősen megkérdőjelezhető földrajzi területekre is megtörtént a tájképi védettség kinyilvánítása, mint ahogyan Komárom-Esztergom megye keleti felében a különféle ipari létesítmények által igen durván átformált ipari táj esetében (Munkácsy B. et al. 2007).



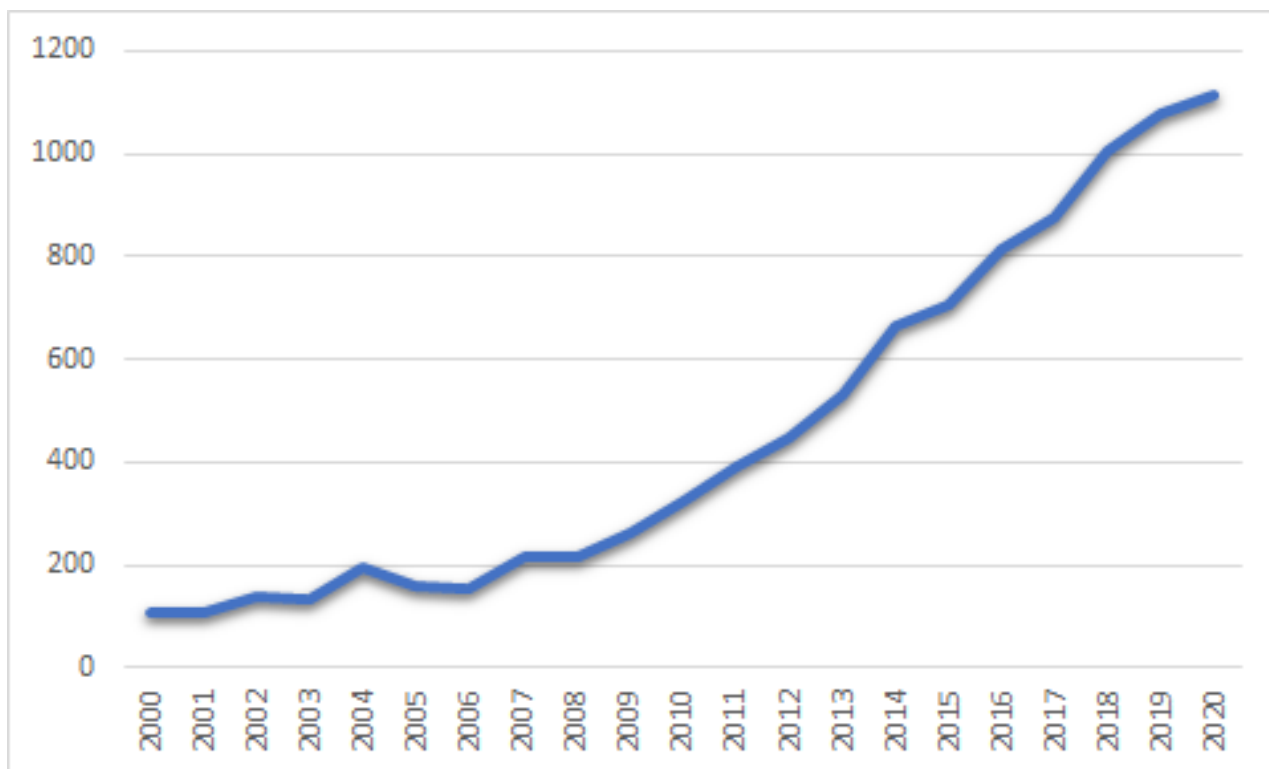
23. ábra A tájképvédelem megjelenése a 2005-ben elfogadott Komárom-Esztergom megyei területrendezési tervben. A narancssárga színnel jelölt részekben, így a megye keleti ipari térségében, igen jelentős területen esett korlátozás alá a szélerőművek telepítése (Munkácsy B. et al. 2007 nyomán).



## 5. A SZÉLENERGIA TÁRSADALMI DIMENZIÓJA

**Szerzők:** Munkácsy Béla, Nagy Bence

A szélenergia számának és méretének gyarapodása egyre komolyabban befolyásolja a hétköznapjainkat, amit mi sem bizonyít jobban, mint a témával foglalkozó tudományos publikációk számának rohamos bővülése. Az egyik vezető adatbázis szerint mára több mint ezer ilyen dokumentum lát napvilágot évente, húsz éves visszatekintésben pedig tízezernél több tudományos alaposágú tanulmányról van tudásunk (24. ábra). Éppen ezért van különös jelentősége az Európai Tanács által működtetett Joint Research Centre (JRC) projektjének, amely igyekezett összefoglalni az eddigi tapasztalatokat (Geraint, E. - Gianluca, F. 2016)



**24. ábra** A ScienceDirect adatbázisban a “wind energy” és “community” keresőkifejezések alkalmazásával végzett keresés eredménye a 2000-2020 közötti időszakra vonatkozóan

Az összegyűlt tudományos anyag hatalmas mennyiségéből következően óriási kihívás akár csak vázlatos képet is felrajzolni a szélenergia társadalmi hatásairól, bár néhány általánosan igaz állítást azért meg lehet fogalmazni. Ez azért kulcsfontosságú, mert a jövőben, a szélenergia számának további gyarapodásával ezek az ismeretek bizonyosan felértékelődnek.

A szélenergia megjelenése a különféle céges üzenetekben határozottan arra utal, hogy a reklámszakemberek szerint ezek a berendezések alapvetően pozitív képzetet keltenek az emberekben: **a szélenergia az élhető környezet, a gyarapodás és a biztonság szimbólumai** (25. ábra és 26. ábra)



25. ábra Egy befektetési program weboldalának nyitóképe. Miközben a kormányzat háttérbe szorítja a szélenergia-üzemeket, az üzleti szféra kihasználja ezek pozitív üzenetét.

Ezt támasztják alá a *német Megújuló Energia Ügynökség* reprezentatív felmérései, amelyek keretében időről-időre elemzik, hogy miképpen alakul a lakosság véleménye a különféle energiatermelési megoldásokról. A megújuló energiaforrások folyamatosan igen jól szerepelnek az összevetésekben, hiszen **az állampolgárok 89% támogatja** ezek egyre nagyobb mértékű használatát Németországban. **A legjobb a napelemek megítélése, de ezt szorosan követi a szélenergia-üzemeké.** Különösen érdekes és tanulságos, hogy **azok körében, akik ilyen létesítmények közelében élnek, 12%-kal magasabb pozitív megítélést** mutattak ki a szakemberek. A hazai atomerőmű-bővítési elképzelések tükrében bizonyára a döntéshozók számára is megfontolandó, hogy a széntüzelés és különösen **az atomenergia a legrosszabb megítélésű** technológiák (AEE 2019).

A hazai médiában időről-időre felbukkanó híradások<sup>6</sup> üzenetével ellentétben a német lakosság döntő többsége kifejezetten fontosnak tartja a megújuló alapú termelés, így például a szélenergia-kapacitás további bővítését Németországban (Schöpfer, Y. 2020). Ennek a tudományosan igazolt jelenségnek nyilván számos oka van a környezettudatosságtól és az átgondolt szemléletformálástól a gazdasági ösztönzőkig. Ez utóbbi kapcsán igen hatékony eszköznek tűnik az a gyakorlat, hogy a közelben élőket a lehető leghamarabb bevonják a projektek tervezésébe (Wolsink, M. 2007), illetve olcsóbban juttatják a villamos energiához (AEE 2020). A két előbbi eset egyfajta kombinációja még szerencsésebb, nevezetesen az, amikor a **helyi közösségeket** tulajdonosként is bevonják a projektekbe. Ez történhet például úgy, hogy konkrét részesedést tudnak vásárolni egy-egy szélenergia-projektben. Ezen túlmenően támogatólag hathat, ha egy, a közösség számára hiteles és elfogadott, progresszív gondolkodású ember a megépítés mellé áll (Vuichard, P.S. et al. 2019). Ezek ismeretében érthető, hogy a jól működő, ténylegesen beágyazott szélenergia-projektek esetében általában nem a **NIMBY**<sup>7</sup>, hanem a **PIMBY**<sup>8</sup> hatás érvényesül (Cousse, J. et al. 2020).

Boyle et al. (2019) egy 1000 háztartásra kiterjedő virginiai (Amerikai Egyesült Államok, keleti part) mintán elvégzett vizsgálata szerint a szélenergiát, mint technológiát általánosságban kedvelőkre (a 303 válaszadó 85%-a) egyáltalán nem jellemző a NIMBY, vagyis ők nem csak általában támogatják a szélenergiát, de konkrét, közelben megvalósuló projektek kapcsán is elfogadóak. Döntő többségük (79%-uk), akár anyagi jellegű kompenzáció nélkül is támogatna egy lakóhelyének közelében épülő szélenergia-parkot. A 303 válaszadónak csak 7%-a ellenzi a szélenergiát, közülük sokan még kompenzáció ellenében sem módosítják véleményüket.

<sup>6</sup> például legutóbb: [Szén- és szélproblémák Németországban](#)

<sup>7</sup> Not In My BackYard (“Ne az én udvaromba”): olyan esetekre utal, ahol a közzőra gyakorolt nyilvánvaló pozitív hatás ellenére egy kisszámú, közvetlenebbül érintett csoport számára a hatás inkább negatív.

<sup>8</sup> Please In My BackYard vagy Put In My BackYard (Rakjátok az udvaromba)



26. ábra A szélturbinák révén az élhető, egészséges és biztonságos környezetre asszociálunk.

Természetesen a technológiának vannak ellenzői is. Ennek a körnek a pontosabb behatárolása leginkább a kapcsolódó **peres ügyek** segítségével látszik célszerűnek. Schöpfer, Y. (2020) szerint a jogviták 70%-ban az ökológiai hatásokkal, pontosabban a fajok védelmével hozhatók összefüggésbe, míg a zajterhelés és egészségvédelem 22%-ban, a műemlékvédelem 5%-ban szerepel a bírósági ügyek háttérében - ugyanakkor több olyan esetről is tudni, amikor egyszerre többféle oka is van a pereskedésnek.

Cousse, J. et al. (2020) Svájcban, reprezentatív mintán végzett kutatása ugyancsak azt támasztja alá, hogy az emberek többsége támogatja a szélturbinák telepítését, noha lényegesen szerényebb arányban, mint az imént tárgyalt német vizsgálatok alapján gondolnánk. Elemzésük arra is rávilágít, hogy a fiatalabb generáció jobban elfogadja a szélerőműveket, mint az idősebbek. Meglepő viszont azon megállapításuk, hogy a megkérdezettek egy jelentős része számára nem világos az összefüggés a szélerőművek és a villamosenergia-termelés között, aminek megvilágítása a szerzők szerint kulcskérdés lehet egy-egy konkrét projekt esetében a „kisebb mértékben ellenzők” (mild opponents) meggyőzésében. Ugyanakkor arra is felhívják a figyelmet, hogy az esetleges elutasítás háttérében legtöbbször nem racionális szempontok, hanem **érzelmi okok** rejlenek.

Egy internetes keresésben a „szélturbina” és a „veszély” szavak beütésével olyan **érzelmekre ható** videófelvételeket, fotókat találunk, ahol egy villámcsapás vagy egy meghibásodás hatására a szélturbina forgása kontrollálatlanná válik, ezáltal a lapátok leszakadnak, de néhány olyan esetről is készültek felvételek, amikor a gépházban üt ki tűz. Szintén az érzelmekre hatnak azok a képek, képsorok, amelyekben madarak ütköznek a szélturbinák lapátjaival. Nem ritka a **fosszilis- és atomenergia lobbijának aktivitása** sem, melynek során a tényeknek ellentmondóan próbálják lejáratni a megújuló alapú technológiákat, például azt állítva, hogy nincs megoldva a leszerelés következtében keletkező hulladékok újrafeldolgozása<sup>9</sup>. Fontos azt tisztázni, hogy mindezen állításoknak van valamiféle alapja, ám az esetek túlnyomó többségében a fenti problémákra az elmúlt évtizedek során már született megoldás. Ebből a

<sup>9</sup> például legutóbb: [Nem megoldott a szélerőművek hulladékának az elhelyezése.](#)

szempontból különösen érdekes a madarász társadalom véleményének változása, amely a tiltakozásból kiindulva jutott el a józan belátásig, felismerve a szélérőművek számos környezeti előnyét a konkurens megoldásokkal szemben (Bright, J.A. 2009).

Az ellenérdekelt felek által gerjesztett tévhitek és hiedelmek eloszlatása szempontjából a helyi közösségekkel való egyeztetés és az átlátható kommunikáció kölcsönösen hasznos mind a lakosságnak, mind pedig a beruházónak (Landeta-Manzano, B. et al. 2018; Ortega-Izquierdo, M., & Río, P. del. 2020). Ennek kapcsán lényeges, hogy munkalehetőséget is teremtenek a szél turbinák: a gyártástól kezdve, az építésen át a karbantartásig és ellenőrzésig, majd a hulladékok újrafeldolgozáásig minden lépésben munkaerőre van szükség. Ez az Európai Unió országaiban 300 000 munkahelyet jelentett 2019-ben. Legalább ennyire fontos, hogy a szektor szereplői 5 milliárd Euro adót fizettek be, beleértve a helyi közösségek számára juttatott 1 milliárdot. Ez nem csoda, hiszen a világ 10 legnagyobb szél turbinagyártójából 5 európai cég, amelyek csaknem 250 telephelyet működtetnek a 27 tagországban (WindEurope 2020b).

## 6. A SZÉLENERGIA ÉS A BIZTONSÁGPOLITIKA - A DECENTRALIZÁLT TERMELÉS STRATÉGIAI ELŐNYEI

Szerző: Zsolt Melinda

Az elmúlt évtizedben az Európai Unió energiához köthető döntéseit áttekintve világosan látszik, hogy a megújuló energiák térnyerése megállíthatatlan. De az is látszik, hogy az ebből eredő változások alapvetően alakíthatják át az Unió és a tagállamok nemzetközi kapcsolatait, belső viszonyait.

Az energiaunió 2015-ben bemutatott stratégiája célként fogalmazta meg, hogy az európai fogyasztók számára *“biztonságos, fenntartható, versenyképes és megfizethető energiát”* nyújtson (European Commission, 2015). Az egyik dimenziója az energiabiztonságról<sup>10</sup> szól, ami ennek a fejezetnek a fókusz, egy másik az integrált piacról, a harmadik az energiahatékonyságról, a negyedik a dekarbonizációról és a megújuló energiákról, az ötödik pedig az innovációról és az alacsony kibocsátású technológiákról. Az azóta eltelt öt évben az Európai Bizottság számos intézkedéscsomagot fogadott el, amelyek támogatják a stratégia végrehajtását, és jól látszik, hogy a terület prioritást élvez.

Az EU ambiciózus célkitűzésekkel vág bele a 2030-ig terjedő időszakba: a megújuló energiák részarányát 32%-ra növelné, az üvegházhatású gázok kibocsátását 40%-kal csökkentené, az energiahatékonyságot pedig 32,5%-kal javítaná. Ezek eléréséhez a tagállamok részéről erős elköteleződésre van szükség - sok egyéb mellett - a megújuló energiák mellett, ezzel párhuzamosan pedig csökkenteni kell a függőséget a fosszilis erőforrásoktól, sőt egyes tagországok szerint még az atomenergiától is. Globális szinten is meghatározó, hogy az EU 2050-re a teljes klímasemlegességet, azaz a nettó zéró kibocsátást tűzte ki célul. Ennek jegyében a tavaly bemutatott európai zöld megállapodás (European Green Deal) egy új növekedési stratégiát kíván megvalósítani egy társadalmilag igazságos átalakulás koncepcióját is figyelembe véve.

A megújuló energiaforrásokra építő technológiák pedig mindeközben egyre olcsóbbak és elérhetőbbek. Az átalakulásnak ráadásul van egy másik, ezzel összefüggő nemzetközi aspektusa is, hiszen a közös energiapiac lehetővé teszi a biztonsági és ellátási kockázatok közös kezelését. Ezzel megvalósul a tagállamok egységes fellépése, a közös európai hang, vagyis pont az energiaunió nyit újfajta lehetőségeket az egységes és hatékony kül- és biztonságpolitika megvalósítására. Ez különösen fontos abból a szempontból, hogy az EU globális vezető szerepre törekszik a klímaváltozás elleni küzdelemben és a megújuló energia technológiákban. Versenytársai márpedig vannak, ott van még az élvonalban például Kína, az Egyesült Államok és Japán, amelyek - ha nem is folyamatos, de - időről-időre felbukkanó konkurenciát jelentenek.

Itt véget is érhetne a történet, ha a tagállamok mindegyike felsorakozna a megújuló energiák és az energiaátmenet mellé. Azonban az EU tagállamai ebben a kérdésben is erősen megosztottak, mert energiabiztonsági érdekeik alapvetően hasonlóak, megközelítéseik azonban nagyban eltérnek. Ennek értelmében a tagállamokat két csoportra lehet osztani földrajzi elhelyezkedésük, az erőforrásokhoz való hozzáférésük, illetve a történelmi, politikai örökségük alapján, amelyekből energiabiztonsági percepciójuk is következik<sup>11</sup>. Nem meglepően a tengely a keleti és a nyugati országok között húzódik (Mata Pérez, M. E. et al. 2019).

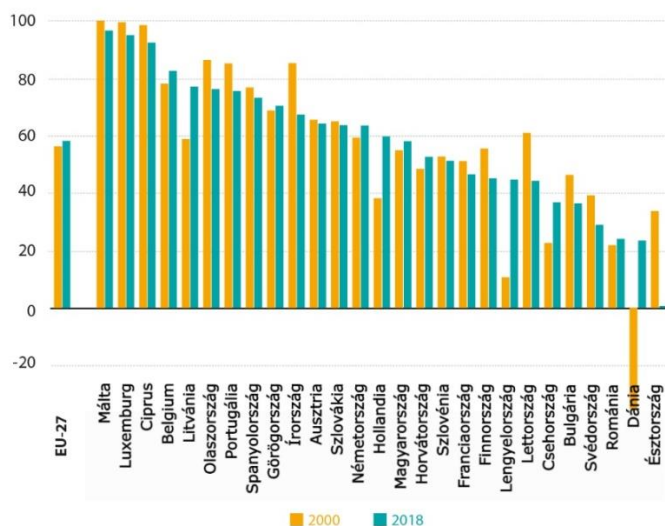
<sup>10</sup> Az energiabiztonságnak nem létezik egységesen elfogadott definíciója, a fogalom vizsgálatokor gyakran használják a Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) megfogalmazását. Az energiabiztonság az IEA definíciója szerint arról szól, hogy folyamatosan és zavartalanul hozzá lehet férni a megfelelő mennyiségű energiaforráshoz megfizethető áron. Rövid távon az akut energiabiztonsági problémák kezelését kell szem előtt tartani, azaz hogy az energetikai rendszerek képesek legyenek gyorsan reagálni a kereslet-kínálat egyensúlyának hirtelen változásaira. Hosszú távon viszont a legfontosabb szempont, hogy az energetikai beruházások a gazdasági fejlődés és a fenntartható környezet szempontjait szolgálják. Forrás: International Energy Agency: Energy security. <https://www.iea.org/topics/energysecurity/>

<sup>11</sup> Az energiabiztonság jelentése tehát országonként eltérhet; függhet a földrajzi elhelyezkedéstől, a gazdasági helyzettől és a nyersanyagokhoz való hozzáférés lehetőségeitől. Más jelent az energiabiztonság egy energiaexportőr, egy tranzit vagy egy importőr országnak. A döntéshozatal szempontjából sem mindegy az energiabiztonság besorolása. Ha a kül- és biztonságpolitika egyik dimenziója, hiszen a politikai, geopolitikai hatásai messzire mutatnak, akkor kül-



A tengelytől nyugati irányban fekvő tagállamok a megújuló energiák megjelenésére gazdasági lehetőségként tekintenek, ami egyszerre diverzifikálja az energiaportfóliójukat, ezzel csökkenti az importfüggőségük mellett az üvegházhatású gázok kibocsátását is. Az uniós integrált piac számukra nemcsak a kihívások közös kezelését jelenti, hanem az átviteli hálózatok nagyobb mértékű összekapcsolását is, amit a fejlettebb energiapiaci és modernebb energetikai infrastruktúrájuk lehetővé is tesz. A nyugati blokkra jellemző magasabb életszínvonal azzal jár, hogy a fogyasztók kevésbé érzékenyek az energiaátmenettel járó többletköltségekre. A térség országainak vezető szerepük van az éghajlatváltozást enyhítő innovatív technológiák fejlesztésében, és a foglalkoztatottsági adatokban is jól láthatóan jelennek meg a megújuló szektorban dolgozók. Ezen országok tapasztalataiból kiindulva jelenthetjük ki, hogy tévhit az az állítás, hogy a fosszilis alapú energiatermelés több munkahelyet teremt. Míg 1 TWh villamos energia előállítása nap- vagy szélenergiából 400-410 ember munkájának az eredménye, addig ugyanehhez a mennyiséghez szénből vagy gázból csak 80-125 emberre van szükség (Mata Pérez, M. E. et al. 2019). Egy friss kutatás szerint Nagy-Britanniában a megújuló energiaforrások alkalmazásának bővítésével hatszor annyi munkahelyet teremthetnek, mintha hasonló léptékű atomenergia-fejlesztésekbe beruháznának (Arvanitopoulos, T., & Agnolucci, P. 2020). Egy globális léptékű, 100% megújuló energia részarány elérését feltételező tudományos elemzés szerint a villamosenergia-ágazattal kapcsolatos közvetlen munkahelyek száma a 2015-ös 21 millióról 2050-re közel 35 millióra nő. A 2015 és 2050 közötti energetikai átállás során várhatóan a napelemes szektor, az akkumulátorok fejlesztése és gyártása, valamint **a szélenergia lesznek a legfontosabb munkahelyteremtő ágazatok**. Az eredmények azt vetítik előre, hogy a globális energetikai átállás összességében pozitív hatással lesz a világ gazdaságainak jövőbeli stabilitására és növekedésére (Ram, M. et al. 2019). Összességében a megújuló energiák térnyerése tehát komoly gazdasági előnyöket biztosít majd az élvonalbeli országok számára, amelyek az energiauniót iparági vezető szerepük megerősítéséhez tekintik eszköznek. Így jellemzően minél magasabb megújuló részarányokat támogatnak, és igyekeznek ösztönözni a nemzetközi összefogást a klímaváltozás elleni küzdelemben.

A keleti blokk a megújuló energiákban sokkal inkább kockázatot lát, szerintük ezek magas aránya veszélyezteti az ellátás biztonságát, hálózati problémákat és áringadozást okoz, miközben nem jár többletbevétellel, sem jobb foglalkoztatással. Ugyanakkor ezek az országok - köztük Magyarország - rendkívül kiszolgáltatottak a külső beszállítóknak, továbbá kitettek az ellátási zavaroknak, hiszen az importfüggőségük nagyon magas.



27. ábra Az energiatünettség aránya az EU-tagországokban (%) Forrás: Eurostat

és biztonságpolitikai eszközökkel kell hozzányúlni, ha a gazdaságpolitika része, akkor a szabályozása a piac feladata. Forrás: Monaghan, Andrew: Energy Security: NATO's Limited, Complementary Role. In: Research Division - NATO Defense College, Rome - No. 36 - May 2008. [https://www.files.ethz.ch/isn/56022/rp\\_36en.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/56022/rp_36en.pdf)

Oroszország a térség messze legnagyobb gázbeszolgáltója, több országba ad el kőolajat, kőszén, illetve nukleáris üzemanyagot és technológiát is, ami jelentős politikai befolyással jár (Eurostat, 2020e). Ám miközben az orosz energetikai egyeduralom sokkal inkább veszélyezteti az energiaszuverenitást, ezen országcsoporthoz az is jellemző, hogy az energetikai infrastruktúra öreg és elavult, így jelenlegi állapotában egyáltalán nem alkalmas arra, hogy lényegesen jobb összeköttetést biztosítson más országokkal az ellátásbiztonság megerősítése vagy akár javítása érdekében. A térség országainak energiapiacai így kevésbé ellenállóak, ráadásul a megújuló források alkalmazásai is kevésbé törtek előre, miközben a foglalkoztatottság a fosszilis üzemanyagokhoz köthető iparágakban jelentős maradt. Ez azt jelenti, hogy az energiaátmenet gyakorlati megvalósításához ezeknek az országoknak is hatalmas költségeket kéne vállalniuk, egyelőre tehát nem az látszik, hogy **a beszállítók, az ellátási útvonalak és az energiaforrások diverzifikációja**, ami az energiabiztonság egyik alapvetésének tekinthető, belátható időn belül meg fog valósulni (Yergin, D. 2006). Ezen országok döntéshozóinak inkább az az egyik fő céljuk, hogy a jelentős változtatásokat nem igénylő területeken, így leginkább a földgázbeszállításban megtörténjen a diverzifikáció, ezért az EU-ban is a gázinfrastruktúrák fejlesztéséért lobbiznak. A Magyarország mellett Csehországból, Szlovákiából és Lengyelországból álló visegrádi négyek teljesíthetetlennek tartják az Unió megújulás célkitűzéseit, az erről szóló döntést nemzeti hatáskörben tartanák (Zeilina, L. 2019).

Mindeközben a megújuló energiák európai térnyerése a biztonsági tanulmányok egy alaptételét látszik újra beigazolni. Az energiaunió céljával kitűzött integrációval pont az az interdependencia, a kölcsönös függőség valósul meg, ami kooperációra sarkallja az uniós tagállamokat, így erősödik a köztük lévő kohézió, és mind az EU, mind a tagállamok külön-külön is stabilabbá válnak (Gartner, H. 2007). A megújuló minél nagyobb részaránya csökkenti a függőséget a beszállítóktól, a minél többféle megújuló energia alkalmazása az energiamixben pedig javítja a kiszámíthatóságot az energiatermelésben, ami természetesen a szélenergiára is értendő. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a szakirodalom egyelőre nem nyújt kielégítő választ arra vonatkozóan, hogy a megújuló energiák egyes típusainak terjedése milyen geopolitikai következményekkel jár, mert a megújuló energiákat általában egységesen vizsgálja (Vakulchuk, R. et al. 2020).

A keleti blokk viszont - a fentiekben felsorolt pozitív tendenciák ellenére - fékezni igyekszik az átalakulást, sőt, sok esetben épp az ellenkező irányba halad. A fosszilis energiákra alapuló ellátásbiztonsághoz elég, ha bilaterális kapcsolatokat ápolnak egy-egy beszállítóval, azaz nem az energiahálózatok összekapcsolhatóságán és nem a minél több országgal való együttműködésen igyekeznek dolgozni. Ám így az energiafüggőségük nem csökken, tehát nem tesznek érdemi lépéseket az energiaszuverenitás megvalósításának útján. Az EU számára mindez azt jelenti, hogy a tagállamok között csökken az együttműködés, megvalósul egy kétsebességes Európa, és a keleti blokk gazdasági és társadalmi fejlődése jelentősen lelassul a nyugatihoz képest, és veszélybe kerülhetnek akár az energiaunió célkitűzései is. Egy ilyen folyamat az EU kül- és biztonságpolitikájára is hatást gyakorol, hiszen a tengelytől keletre fekvő tagállamok kitetté válnak elsősorban Oroszországnak és Kínának. Ráadásul az energiabiztonság kérdése nem csak elméletileg képes éket verni az EU-tagok közé, ezt jól szemlélteti például Németország és Oroszország együttműködése az Északi Áramlat2 megépítésére, vagy Kína Új Selyemút kezdeményezése, ami az EU keleti felét, így Magyarországot is érinti.

Összességében, ha a keleti tagországok energiabiztonsági percepciója nem változik meg rövid időn belül, és az energiaátmenet megvalósítása nem indul útjára a megújuló minél nagyobb részarányával az energiamixben, az negatív hatást gyakorol az EU kohéziójára, az energiaunióra, de globálisan a klímaváltozás elleni küzdelemre is, miközben Oroszország és Kína ebből győztesen jöhetnek ki.

## 7. A SZÉLERŐMŰVEK ALKALMAZÁSÁNAK GAZDASÁGI DIMENZIÓJA - AVAGY A HAZÁNK ÁLTAL VÁLLALT KLÍMACÉLOK ELÉRÉSE SZÉLERŐMŰVEK SEGÍTSÉGÉVEL LÉNYEGESEN OLCSÓBBAN VOLNA MEGVALÓSÍTHATÓ<sup>12</sup>.

**Szerzők:** Bánfalvi András, Kádár Péter, Magyar László, Baranyák Zoltán, Munkácsy Béla

Nem csak a műszaki fejlődés volt jelentős az elmúlt időszakban, a megújuló energiaforrások gazdasági mutatók alapján is évről évre versenyképesebbek a fosszilis energiaforrásokkal és különösen az atomenergiával szemben (utóbbinál nem látszik a “tanulási görbe” jellegzetes alakulása, hiszen ez esetben a fajlagos költségek nőnek, nem pedig csökkennek a felhalmozott tapasztalatokkal és a technológia fejlődésével [Grubler, A. 2010]). Az IRENA (2020a) jelentése alapján lényegében zuhantak a megújuló energiaforrások alkalmazásának költségei. A nemzetközi aukciós eredmények azt mutatják, hogy a nap- és szélenergia projektek fajlagos ára sok esetben már alacsonyabb, mint a hagyományos energiahordozókon alapuló energiatermelésé - még úgy is, hogy ez utóbbiak hatalmas externális költségtételekkel és jelentős rejtett állami támogatásokkal dolgoznak (HEAL 2018; IRENA 2020b).

A napelemes rendszerek ára a 2010 és 2019 közötti időszakban jelentős mértékben, 82%-kal, míg a szárazföldi szélenergia telepítési költségei 40%-kal csökkentek. A napenergiából származó fajlagos villamosenergia-termelési költségek év/év alapon 13%-kal csökkentek 2018 és 2019 között, 2019-ben elérték a 0,057 Euro/kWh-t. **A szélenergia esetében ez a csökkenés 9%-os volt, ami még kedvezőbb, 0,045 Euro/kWh fajlagos költséget jelent** az IRENA (2020a) elemzése szerint. A jövőt illetően a REKK (Mezősi A. 2018) szerint további csökkenés várható a megújuló energia felhasználását célzó beruházások költségeiben.

Azonban **a torz piaci helyzet (a konkurens technológiák externáliái és rejtett szubvenciói) miatt a nap- és szélenergia projektek továbbra is támogatásra szorulnak** (Hannesson, R. 2019; Haar, L. 2020). Ha a gazdasági, környezeti és társadalmi externáliák beépülnének a piaci folyamatokba, akkor a megújulók, köztük a szélenergia, még versenyképesebbek lennének (Fodor B. 2012). Felsmann B. (2011) is hasonlóan fogalmazott az elemzésében: *“A támogatási probléma - némileg leegyszerűsített - lényege, hogy a tiszta piaci koordinációs mechanizmusok társadalmi értelemben piaci kudarchoz vezetnek, mivel nem veszik tekintetbe a környezeti szennyezés társadalmi költségeit”*.

A fenti helyzetben az eredeti elképzelés szerint a megújuló energia térnyerését egységesen zöld tanúsítványokkal ösztönözték volna az Európai Unióban, azonban végül a tagállamok maguk dönthettek arról, hogy milyen eszközöket alkalmaznak. Néhány tagállam használja a zöld tanúsítványok rendszerét (pl: Svédország), azonban a legtöbb tagállam - hazánkhoz hasonlóan - **támogatott átvételi árral** igyekezett egyes megújuló alapú technológiák terjedését elősegíteni (Hannesson, R. 2019). Relatív új fejleménynek tekinthető, hogy az európai támogatási piacon a 2010-es évek második felében egyre több országban váltotta fel a túltámogatott átvételi áras rendszert az **aukción keresztül zajló prémium rendszer** - hazánkban is hasonló tendencia érvényesült.

Magyarországon 2017-ben lépett életbe a **METÁR** rendszer, amely a megújuló energiaforrásból előállított villamosenergia-termelés támogatására szolgál. A támogatásban csak olyan megújuló erőmű egységek részesülhetnek, amelyek új beruházáshoz kapcsolódnak és a beruházás kivitelezése a támogatás igénylésekor még nem kezdődött meg. Ennek a zöld prémium rendszernek a lényege, hogy a termelő maga értékesíti a villamos energiát, a támogatást pedig a piaci referenciaár felett kapja. A támogatástól függetlenül a termelőknek viselniük kell a menetrendtől való eltérés esetleges költségeit. Az első METÁR tendert a Magyar Energia és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) 2019 szeptemberében írta ki. A MEKH

<sup>12</sup> Végh Zsófia (2016). *Évi 25 milliárdba fáj a szélenergia mellőzése. Interjú a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) kutatójával, Mezősi Andrással* <http://nrgreport.com/cikk/2016/10/10/evi-25-milliardba-faj-a-szeleeromuvek-mellozese>



honlapján található leírásban<sup>13</sup> a **szélerőművek is** megjelennek, ugyanis a pályázat keretében olyan megújuló erőforrást használó, meglévő erőműegységek is igényehetnek támogatást, amelyek jelentős felújításon esnek át (lásd szélturbina repowering).

Azonban a támogatási rendszernek még így is van hova fejlődnie, amit jól érzékeltet, hogy a tenderen **egyetlen kivétellel kizárólag napelemes rendszerek kaptak támogatást**. Ráadásul **a jelenlegi METÁR módszertan nem kedvez sem a tetőre, sem a barnamezős területre telepített naperőműveknek** - ami bizonyosan nem szerencsés. Erőforrásgazdálkodási probléma, hogy a sokkal jobb terület/energiahozam mutatójú kelet-nyugati elrendezésű naperőművek sincsenek preferálva a rendszerben, noha ezek napi termelési lefutása jobban illeszkedik a hálózati terheléshez, a háztartások fogyasztásához. A legtöbb esetben ár-értékben is jobbak ezek a naperőművek és mindenképp hatékonyabbak a fajlagosan beépített anyag mennyiségében: teljesítményre vetítve fajlagosan kevesebb kerítés, kevesebb acél tartószerkezet, rövidebb kábelezés, kevesebb villámvédelem, kisebb kamerarendszer, kevesebb fűnyírás szükséges.

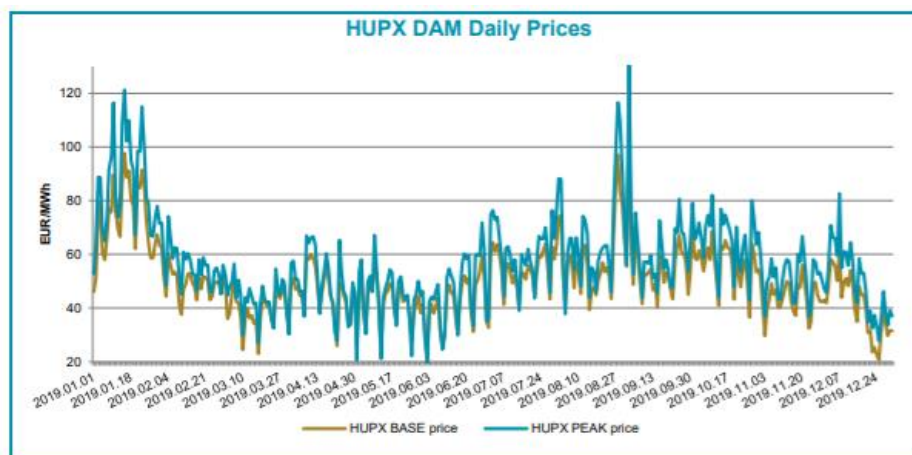
Ugyanakkor az első METÁR tender eredményei bizonyítják a rendszer költséghatékonyságát: az átlagos ajánlati ár a naperőművek esetében 24,42 Ft/kWh (67,8 €/MWh) volt, a legalacsonyabb ajánlati ár elérte 20,2 Ft/kWh-t (56,1 €/MWh). **A tenderre egyetlen szélerőműves ajánlat sem érkezett**. Méretükből adódóan a szélturbinák nem versenyezhetnek a naperőművekkel a 2 MW alatti kapacitástartományban. Ugyanakkor érdemes volna a pályázati kiírásokban a 2 MW feletti tartományban lehetőséget biztosítani a nap- és szélenergia-projektek versenyeztetésére (nyilván nem egymás kizorítása, hanem a költséghatékony kooperáció érdekében). Már akadnak erre jó gyakorlatok a V4 országokban is: Lengyelországban például a szélenergia-beruházások egyértelműen olcsóbb alternatívát képesek biztosítani nagyobb kapacitástartományban, mint a naperőművek.

Mivel hazánkban lassan egy évtizede nem épült új szélerőmű, ezért adott a kérdés, hogy milyen sors vár a jelenleg üzemelő, de a KÁT támogatási rendszerből kieső erőműegységekre. Ezek az erőművek a hazai tapasztalatok szerint az esetek nagy részében a piaci árhoz rögzítve értékesítik az energiát, leggyakrabban másnapi piacon (Day-ahead market) vagy a napon belüli piacon (Intraday market). **Az üzemeltetési tapasztalatok alapján elmondható, hogy azok a szélerőművek, melyek az utóbbi években kikerültek a támogatási rendszerből, még hosszú évekig (10-15 évig is) képesek gazdaságosan működni**. Ugyanakkor a támogatási rendszer nélkül ki vannak téve a piaci kockázatoknak, amire példa a jelenlegi vírushelyzetből fakadó válság, amely során a villamos energia kereskedelmi ára jelentősen csökkent, ami veszélyezteti, de akár el is lehetetlenítheti a még megmaradt hazai szélerőművek működését.

A 28. ábrán láthatók a 2019-es év HUPX (Hungarian Power Exchange) másnapi piacának (DAM) napi átlag- és csúcsárjai. Érdekes, hogy az éves piaci átlagár tavaly 50,36 €/MWh volt, ami igen közel van az első METÁR tenderen nyertes legalacsonyabb naperőműves ajánlathoz. Vagyis néhány éven belül a megújuló alapú technológiák egy része tisztán piaci körülmények között is életképes lehet, támogatási rendszerek nélkül. Lehetséges, hogy a tender rendszerben a nagyobb teljesítményű szélerőművek még kedvezőbb árat tudnának elérni.

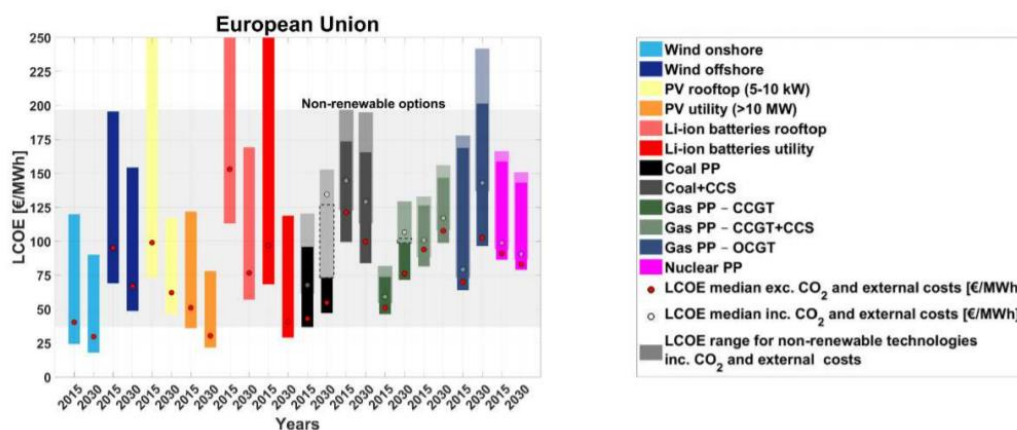
---

<sup>13</sup> A Hivatal leírása szerint a pályázaton csak olyan szélerőművek indulhatnak, amelyek a szélerőmű-kapacitás létesítésére irányuló pályázati eljárásról szóló miniszteri rendelet szerinti pályázaton elnyert létesítési jogosultsággal rendelkeznek.



28. ábra HUPX DAM (másnapi piac) napi átlagos és csúcs árai a 2019-es évben. Forrás: hupx.hu

A fenti gyakorlati szempontokon túl célszerű a témakör elméleti háttérének egyes lényeges elemeit is megvilágítani. A villamos energiára vonatkozó költségek számítása tekintetében sokféle módszertan létezik. Az általánosan alkalmazott **“élettartamra vonatkoztatott fajlagos energiaköltség” (Levelized Cost Of Energy, röviden LCOE)** a beruházási és működési költségek, illetve az energiahozam segítségével számítható. Ez ma a szélenergiára vonatkozóan igen alacsony, megelőzi a fosszilis és nukleáris alapú villamos energia költségét - ráadásul oly módon, hogy a számítások alapesetben nem tartalmazzák az olyan utólagosan jelentkező költségeket, mint a hulladékok kezelése (amely pedig drámai mértékű lehet például az atomenergia esetében); illetve az éghajlatváltozás költségei (ami a fosszilis tüzelőanyagok felhasználásához kapcsolódóan jelentkezik igen jelentős költségnövelő tényezőként). Ram, M. et al. (2018) számításaik során már ezeket a szempontokat is igyekeztek figyelembe venni, aminek eredményeként arra derült fény, hogy a szélenergia már ma is a leginkább gazdaságos áramtermelési megoldások egyike, és 2030-ig - az árak további csökkenése okán - pozíciója bizonyosan erősödni fog (29. ábra).



29. ábra Az LCOE értéke az Európai Unióban 2015-ben és 2030-ban Ram, M. et al. 2018 szerint

Meg kell azonban jegyezni, hogy az energiarendszerben jelentkező egyéb költségek figyelembe vételének szándékával kidolgozták a **LACE (Levelized Avoided Cost of Energy)** mutatót is, amely azt hivatott tükrözni, hogy az adott energiafajának az energiamixbe illesztése mennyivel teszi olcsóbbá a villamos energiát az adott országban. A gyakorlatban ugyanis az időjárásfüggő erőművek mellett tartalékoknak kell rendelkezésre állnia, amelyek a szél- és napsütés mentes időszakokban is a kívánt teljesítményt szolgáltatni tudják (tartalék erőművek, tartalék üzemanyag, energiatárolók) - noha a mutató bizonytalanságát jelzi, hogy ennek mértékét számos tényező befolyásolja. Mindazonáltal, egy elavultabb energiarendszerben a megtakarítás kisebb lehet, mint amennyibe - az egyébként olcsó - megújuló energia kerül. Éppen ezért a LACE és LCOE egy energiarendszeren belüli viszonya határozza meg az adott földrajzi térben, helyi szinten értelmezhető gazdaságosságot.

### 8.1. Szélerergia Németországban

**Szerzők:** Balogh Zsófia, Munkácsy Béla

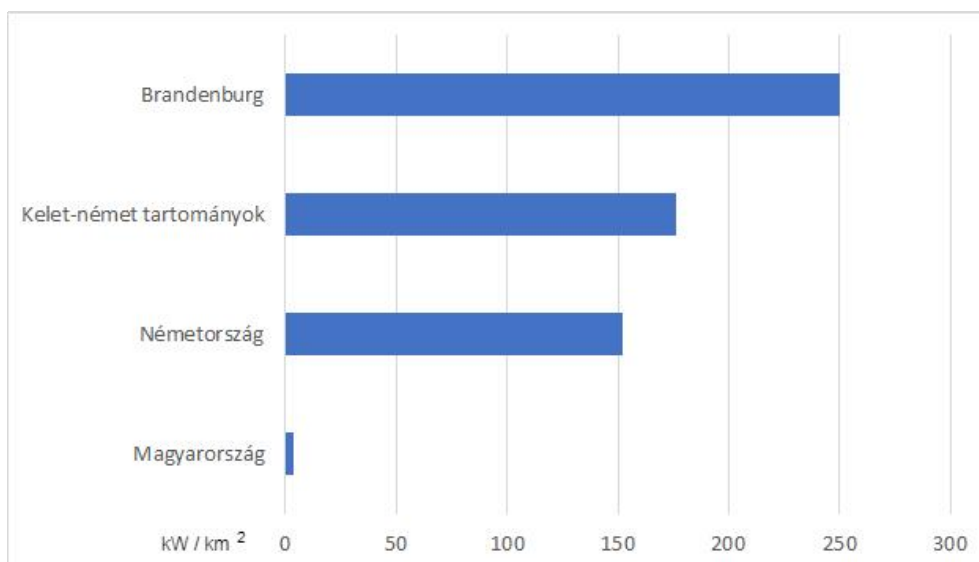
Németország példáját alaposabban megvizsgálni több szempontból is hasznos. A keleti országrész akár egyfajta összehasonlítási alap is lehet, azt érzékeltetendő, hogy az 1990-es évektől ugyanazon startvonalról indulva hová lehetett volna eljutni az energiarendszer átalakításában. Ugyancsak figyelemre méltó, hogy itt a szélerőműveket nem csupán az energiarendszer részének, hanem a területfejlesztés fontos elemének tekintik, így a legtöbb turbina nem az ideális tengerparti területre került, hanem például oda, ahol a nehézipar visszaszorulása miatt erősen megcsappantak a helyi adóbevételek. Ugyanakkor a térség átalakulásának elemzése azért is tanulságos, mert már olyan vidékei is vannak, ahol ténylegesen telítődni látszik a táj, ami a társadalmi szélerergia-potenciál számítások szempontjából lehet érdekes szempont. A német példa alaposabb áttekintése azért is érdekes, mert sokféle interpretációja létezik. Gyakran találkozni a sajtóban túlzottan optimista, de túlzottan kritikus hangvételű tudósításokkal. Utóbbi esetben a szerzők egy lényeges szempontot elmulasztanak figyelembe venni: Németországban (is) az energiarendszer teljes átalakítása folyik, amely - annak bonyolultsága okán - évtizedeken keresztül tartó folyamat. Azt számon kérni, hogy ezen átalakulás közepette nem hozza azokat az eredményeket a rendszer, amiket 20-30 év múlva kellene, éppen olyan, mintha a félig sült étel ízét és állagát kifogásolnánk - nem vall túl nagy bölcsességre.

A német szélerőművek által termelt villamos energia mennyisége 24 év alatt több mint 87-szeresére nőtt (BWE 2020). Ezen belül a szárazföldi szélerőművek összkapacitása meghatszorosodott: a 2000. évi 9359 MW-os értékről 2019-re elérte az **53 912 MW**-ot (BWE 2020). Ezt csak két ország, a lényegesen nagyobb területtel rendelkező Kína és az Amerikai Egyesült Államok szárnyalja túl.

Németország tehát élen jár a szélerergia hasznosításában. A 2020-as év első negyedében nem kevesebb, mint 49,3 TWh áramot állítottak elő kizárólag szélerergia segítségével. Összehasonlításként: 2019-ben hazánk összes áramfogyasztása 41,4 TWh volt (Eurostat 2020b), tehát Németország szélerőművei 3 hónap alatt lényegesen több villamos energiát termeltek, mint a teljes évi magyar fogyasztás. Ugyancsak 2020 első negyedében történt meg először, hogy **Németország áramtermelésében a legfontosabb energiaforrás a szélerergia** lett. Ez azt jelenti, hogy az összes áram 34,9%-át szélerőművek termelték, míg a különböző szénfajták együttesen 22,3%-ban, az atomenergia pedig 11,6%-ban járult hozzá a villamosenergia-termeléshez (Destatis 2020).

Németország a tengerre telepített, úgynevezett offshore szélerőművek felhasználásában ugyancsak vezető szerepet vállal. Az **európai offshore szélerőmű-kapacitásának több mint fele** Németország felségvizein termeli a villamos energiát: 2019-ben több mint 30 TWh áramot termelt a 7,5 GW-nyi offshore szélerőmű-flotta (DWG 2020).

További összehasonlításra adhat alapot a **terület szerinti fajlagos adatok** elemzése. A német szövetségi tartományok közül 7383 MW-tal a kelet-német Brandenburgban (területe ~29 500 km<sup>2</sup>) az egyik legnagyobb a szélerőművek összteljesítménye, ami azért lehet meglepő, mert ez a tartomány nem a tengerparton fekszik. **Területegységre vetítve a fajlagos teljesítmény itt 250 kW/km<sup>2</sup>**, míg ugyanez az érték Magyarországon csupán 3,5 kW/km<sup>2</sup> (30. ábra). Ha Magyarország területén hoztunk volna létre a brandenburgihoz hasonló fajlagos mutatóval rendelkező szélerőmű-kapacitást, 23 257,5 MW-nyi teljesítmény termelhetné az áramot (a mostani ~325 MW helyett). Ez a hazánkban jelenleg átlagosnak tekinthető 23%-os kapacitásfaktorról számolva közel 47 TWh megtermelt villamos energiát jelentene - az éves hazai villamosenergia-igény 2019-ben 41,4 TWh volt (Eurostat 2020b).



30. ábra Területegységre vetített fajlagos szárazföldi széltermelési mértékek - nemzetközi összehasonlítás  
Forrás: DWG 2020

A Németországban 2019-ben telepített turbinák kapacitása átlagosan ~3,3 MW, a torony magassága több mint 130 méter, a rotorátmérője pedig 120 méter, tehát a teljes átlagos magasság 190 méter. **Egyetlen ilyen modern szárazföldi turbina 6000 német háztartás fogyasztásával összevethető mennyiségű áramot képes megtermelni évente.** Mindeközben az új létesítmények révén - a stabilabb betáplálásának és jobb hálózati kompatibilitásának köszönhetően - a villamosenergia-termelés jelentősen olcsóbbá vált. **A szélerőművek kapacitásfaktora Németországban az 1990-es 15%-ról mára 21%-ra emelkedett** (AGEE Stat 2020). A 2010 után épült turbinák már 22,8%, a 2013 után épültek pedig 24,5%-os kapacitásfaktossal működnek (BWE 2015). Ez különösen érdekes lehet a hazai szélerőmű-stop fényében, amelynek eredményeként immár egy évtizede nincsen mód a korszerűbb berendezések telepítésére, a hazai, 2000 és 2010 között telepített szélerőművek hasonló mutatója 21-26% közötti volt az elmúlt három évben (MAVIR 2019; MAVIR adatbázis).

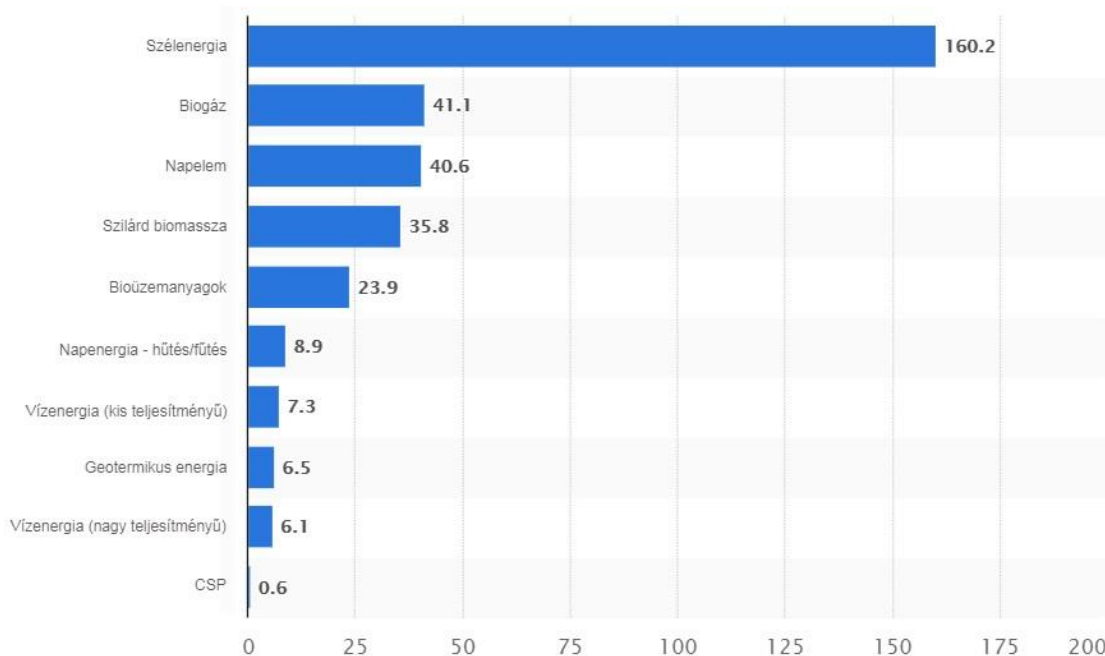
Ugyanakkor a szélenergia-szektor Németországban még további kapacitásbővítésre készül, amelyek lehetséges irányát és mértékét tudományos alapossággal vizsgálják. Lütkehus, I. - Salecker, H. (2013) szerint **a potenciálisan kihasználható terület 13,8%**, vagyis ~50 ezer km<sup>2</sup>. Jelenleg az országnak kevesebb, mint 1%-án dolgoznak szélerőművek, ám a legtöbb szövetségi állam a 2%-os célt tűzte ki, tehát még az élen járó Németországban is hatalmas kihasználatlan lehetőséget látnak a szélenergiában. Amennyiben a jelenlegi technológiával és 13,8%-os lefedettséggel számolunk a szélerőművek összteljesítménye 1200 GW, vagyis a mostaninak 22,5-szerese lenne, amivel évente 2900 TWh-nyi áramot lehetne megtermelni - szigorúan elméletileg, egyfajta gondolat kísérletként, hiszen hiba volna ilyen mértékben szélerőművekre alapozni. Mindazonáltal érdemes azzal tisztában lenni, hogy ez lényegében az egész EU éves nettó villamosenergia-termelésével egyezik meg (Eurostat 2020c).

A figyelemreméltó statisztikák mögött - nem meglepő módon - alaposan átgondolt politikai döntések és elkötelezettség áll. A német jogalkotás már 1990-ben törvényt (Stromeinspeisungsgesetz) hozott a megújuló energiaforrások elektromos hálózatra termeléséről. Ez adta meg az első lökést a szélerőművek telepítésének. Többek között a szélerőművek növekvő száma, illetve az 1997-ben aláírt Kiotói Jegyzőkönyvben vállalt kötelezettségek vezettek a 2000. évi megújuló energiaforrásokról szóló törvény (Erneuerbares Energien Gesetz - EEG 2000) meghozatalához. Ezt azóta többször módosították, jelenleg a 2017-es van érvényben.

A kimagasló eredmények mellett a szélenergiára való, viszonylag rövid idő alatt történő átállás nem zajlik problémamentesen. A nehézségek számos tényezőre vezethetők vissza, de leginkább azzal vannak összefüggésben, hogy **a szükséges rendszerszintű átalakítások nem minden területen haladnak megfelelő ütemben**, így például a rugalmas árképzés és az okos megoldások bevezetésében, valamint a

hatékony és tudatos energiafelhasználás gyakorlatában is vannak jelentős lemaradások. Ugyancsak fontos oka az átállás zökkenőinek a szélenergia-termelés és -felhasználás térbelisége. Az optimális szélklíma miatt jelentős szélerőmű-kapacitás jött létre az ország északi részén (2019-ben az öt észak-német tartományban volt az összes szélerőmű 63,5%-a, miközben komoly energiaigény jelentkezik Dél-Németországban, az európai léptékben is jelentős ipari létesítmények részéről. A gyorsan fejlődő energiatermeléssel a szállításra alkalmas infrastruktúra nem tud lépést tartani, ezért jelenleg a szélerőművek kapacitásbővítését szándékosan fogja vissza a kormányzat, hogy ne legyen túlterhelt a villamosenergia-rendszer. Áthidaló megoldásként az energia hidrogén formájában való tárolása, valamint a regionálisan különböző energiaár is felmerült, bár ez utóbbit Németországban nem tartják igazságosnak az állampolgárokkal szemben - annak ellenére sem, hogy a hasonlóan szövetségi berendezkedésű Amerikai Egyesült Államokban szignifikáns eltérések vannak aközött, hogy egyes államok lakói mennyit fizetnek az áramért (US EIA, 2019).

A képhez hozzátartozik, hogy a szélenergia társadalmi elfogadottsága meglepően magas Németországban. A társadalom 82%-a fontosnak tartja a szárazföldi szélerőműveket (Wehrmann, B. 2019), ami széleskörű elfogadottságra utal. Országsszerte több százezer ember fektetett be a szélerőműparkokba, és több ezer kis- és középvállalkozás működtet sikeres vállalkozásokat az ágazatban, amely 2018-ban 160200 embert foglalkoztatott. Ugyanakkor egyes földrajzi térségekben, ahol hatalmas kapacitások épültek ki, már látszik a társadalom tűrőképességének határa. A több mint 660 szélerőművek elleni civil kezdeményezés azt mutatja, hogy a turbinák nem nyerték el az összes állampolgár tetszését. Akár megalapozott, akár nem, az ellenállás kihívás elé állítja az energiaipart a kitűzött célok elérésében, nyilatkozta a Német Szélenergia Szövetség (BWE) (Wehrmann, B. 2019). Ennek is felróható, hogy 2019-ben az előző évekhez képest szignifikánsan visszaesett az új szélerőművek építésének üteme, és csupán 0,98 GW-tal bővült az onshore kapacitás (IWR, 2020). Ez a 2017-es 5,33 GW értékhez képest több mint 80%-os visszaesés - miközben a Német Szövetségi Megújuló Energia Szervezet (Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.) becslése szerint **évi 3-6 GW-os növekedés** volna szükséges a környezetvédelmi célkitűzések teljesítéséhez (REVE 2019), illetve a 2030-ra tervezett 71 GW kapacitás eléréséhez.



**31. ábra** A megújuló energia szektorban foglalkoztatott munkavállalók száma Németországban 2018-ban. A szélenergia esetében kiugróan magas, 160 200 fős foglalkoztatási adat jelenik meg a [statisztikai adatsorban](#).

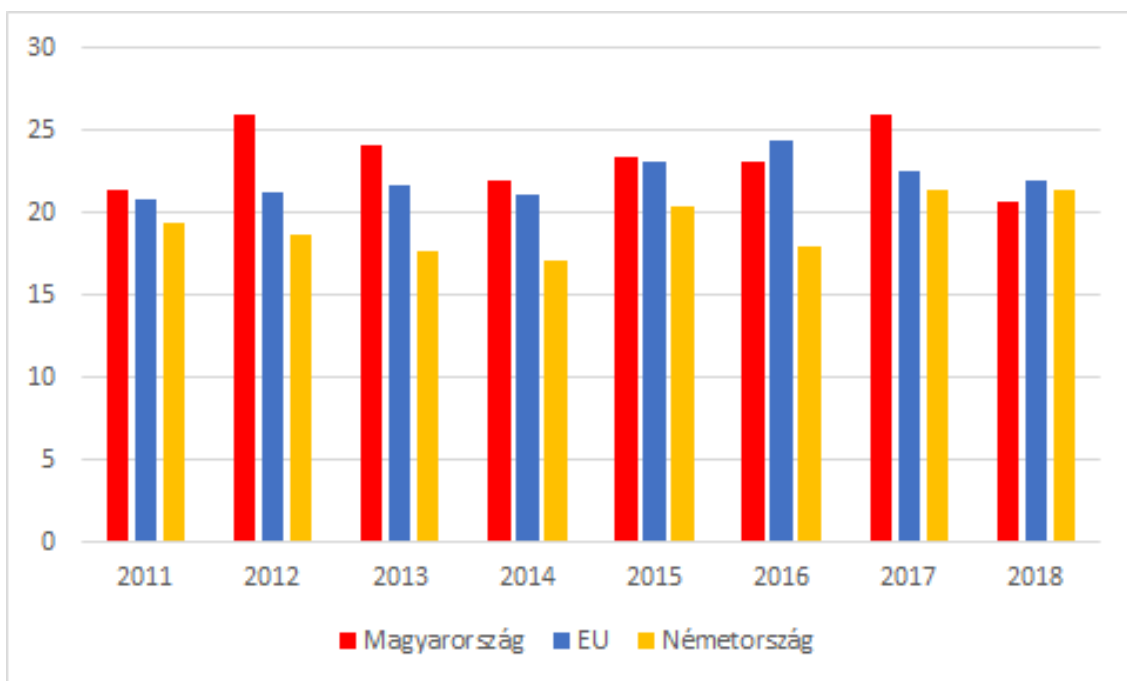
## 8.2. Szélturbinák Magyarországon - a technológia a hazai szabályozás területi vonatkozásainak tükrében

Szerzők: Soha Tamás, Munkácsy Béla

Ha a hazánkhoz hasonló, kontinentális fekvésű és klímájú országok tapasztalataiból indulunk ki, akkor is jelentős potenciálunk van a szélenergia gazdaságos kiaknázására, jelentősebb műszaki akadályok nélkül. A *brandenburgi 250 kW/km<sup>2</sup> fajlagos szárazföldi szélteljesítménnyel* (DWG 2020) összevetésben, a jelenlegi *hazai 3,5 kW/km<sup>2</sup>* adat jól érzékelteti a lemaradás mértékét. Ennek háttérében a szabályozás sajátosságai húzódnak meg. Ez a fejezet a hazai körülményeket mutatja be néhány korábban még nem publikált eredmény és összefüggés felhasználásával.

Hazánk első villamosenergia-termelésre alkalmas, nagyobb teljesítményű szélturbinája 2000-ben épült Inotán, ám csak szigetüzemben dolgozott néhány éven keresztül. Azóta kb. 329 MW kapacitás lépett rendszerbe, amelyből *mára 324,9 MW maradt üzemben*, ezek a hazai villamosenergia-termelő kapacitás 3,8%-át teszik ki, miközben a villamosenergia-fogyasztás 1,3-1,5%-át fedezik, ami jellemzően 2,2-2,8 PJ energiát jelent (MEKH 2019). A kihasználtság tekintetében a hazai adatok meglepően jók, hiszen *a kapacitásfaktor 2011-2018 között számított átlagértéke nálunk 23,3%, míg az EU-ban 22,1%, Németországban pedig csak 19,2%*. A meglepő adat háttérében két magyarázat látszik legvalószínűbbnek: a) Magyarországon a kevés szélerőművet a lehető legjobb helyekre telepítették; b) Európa nyugati feléhez képest később indult a telepítés, így a sok régi berendezés gyengébb eredményei nem rontják le a hazai adatsorokat.

*Az európai viszonylatban is jó termelési eredmények ellenére az elmúlt 10 évben új kapacitás nem jelent meg a rendszerben, 2016 óta pedig jogszabályok tiltják Magyarországon új szélerőművek telepítését.*



32. ábra A magyar, az EU és a német szélerőmű-flotta kapacitásfaktorainak összehasonlítása  
Forrás: Statista 2020; Eurostat 2020d; MEKH 2020



2. táblázat Az európai és a hazai szélerőenergia-rendszer alapadatai

	Európai Unió	Magyarország
Szélerőművek kapacitása 2019-ben (GW)	192 <sup>14</sup>	0,32
Szélerőművek termelése 2019-ben (TWh)	417 <sup>15</sup>	0,76
Szélerőenergia részaránya a villamosenergia-ellátásban 2019-ben (%)	15	-2

A szélturbinák, illetve szélerőműparkok elsősorban vizuális megjelenésükkel zavarhatják az emberi lakókörnyezetet, valamint a természetes élőhelyeket. Bár az elmúlt évtizedekben tapasztalt gyors technológiai fejlődés a szélturbinák számos negatív környezeti hatását jelentősen csökkentette (anyagfelhasználásból származó közvetett szennyezés, mechanikai és aerodinamikai zajok, az élővilágra gyakorolt közvetlen veszély), a telepítésük és üzemelésük környezetet átalakító és zavaró hatása továbbra is fennáll. Ezen tényezők mérséklése, tehát a nem megfelelő helyszínválasztás elkerülése érdekében a beruházóknak egyre komplexebb és szigorúbb szabályozási és területi tervezési kritériumoknak kell megfelelniük szerte a világon (Ledec, G.C. et al. 2011; Höfer, T. et al. 2016).

Ha a korábbi, 2016-ot megelőző időszak szabályozási környezetéből indulunk ki, akkor is kijelenthetjük, hogy biztosított volt a szélturbinák okozta különféle környezeti hatások minimalizálása hazánkban. Például korábban sem volt lehetőség védett természeti területeken ilyen beruházást megvalósítani. Hazánk legnagyobb kiterjedésű védett természeti területei (nemzeti parkok, tájvédelmi körzetek, természetvédelmi területek, Natura2000 területek, Ramsari területek és a Nemzeti ökológiai hálózat elemei) összesen 34 830 km<sup>2</sup>-t tesznek ki, tehát az ország területének több mint egyharmada eddig is kiesett a szélerőenergia látóköréből. Az azóta már megszűnt Országos Lakás- és Építésügyi Hivatal szabályozása alapján még nagyobb terület, összesen 79 274 km<sup>2</sup> minősült szélerőművek telepítésére alkalmatlannak, ugyanis az imént említett területek és 1000 m-es védőterületeik mellett abban az erdők és a körjük kijelölt 250 m-es védőövezetek is korlátozás alá estek (OLÉH 2004). Ez már önmagában hazánk területének 85,2%-át jelenti, ide nem számolva a szabályozásban megfogalmazott egyéb korlátokat, pl. az infrastruktúra elemeit (közlekedés, távvezetékek), a felszíni vizeket és ezek védőterületeit. A korábbi szabályozási környezet szigorúságát jelzi, hogy ez az érték a lakott területek és az ezektől való védőterületek nélkül értendő. Ezekre vonatkozóan a Hivatal 2000 m-es védőzónát állapított meg.

Egy évvel később, az egykori Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium szélerőmű tájékoztatója a védett természeti területek, érzékeny természeti területek, élőhelyek stb. 800-1000 m-es védőtávolságára tett javaslatot (KvVM 2005). A dokumentum tájképvédelmi szempontból aggályosnak tartja bármilyen szélerőmű létesítését ilyen védettség alá eső területeken, állásfoglalása alapján ezek a berendezések „gyakorlatilag nem tájba illeszthetők”. Az egyéb felsorolt természeti/környezeti szempontok figyelembevételével meghatározta a szélerőművek telepítésére kevésbé alkalmas, illetve a szélerőmű helyszínek kijelöléséhez vizsgálat alá vonható területeket. Az akkori szabályozási környezet nem tiltotta egyértelműen a védett természeti területeken való létesítést, de említi az ezekkel szemben támasztott szigorú feltételeket, és az engedélyeztetést helyi természetvédelmi szakhatósági hozzájáruláshoz kötötte. Érdekes adalék, hogy épp 2005 volt az az év, mikor az első nagyobb teljesítményű (>1,5 MW) hazai szélerőműveket telepítették, és 2010-ig folyamatos bővülés volt tapasztalható. Hazánkban utoljára 2011-ben létesítettek szélerőművet.

A jelenleg is hatályban lévő **“277/2016. (IX. 15.) Kormányrendelet a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról” 12 km-es védőtávolságot határoz meg a nem háztartási méretű szélerőművek számára a beépített és beépítésre szánt területektől** (melyek alatt jellemzően a lakott

<sup>14</sup> 170 GW szárazföldi +22 GW tengeri

<sup>15</sup> 350 TWh szárazföldi + 67 TWh tengeri

területeket értjük) (MK 2016a). A példátlanul szigorú rendelet megjelenését nemcsak a hazai és külföldi szakmai- és civil szervezetek, de a lehetséges befektetők is meglepődve fogadták, a döntés indoklására pedig azóta is várniuk kell. A rendeletben meghatározott védőterület értékét alkalmazva megállapítható, hogy hazánkban gyakorlatilag nincs olyan területe, amelyet ne érintene ez a kizárás.

**3. táblázat** Lakott területektől számított minimális védőtávolság szélturbinák telepítése esetén néhány európai országban. Forrás: MK 2016, JRC 2018, WindEurope 2019

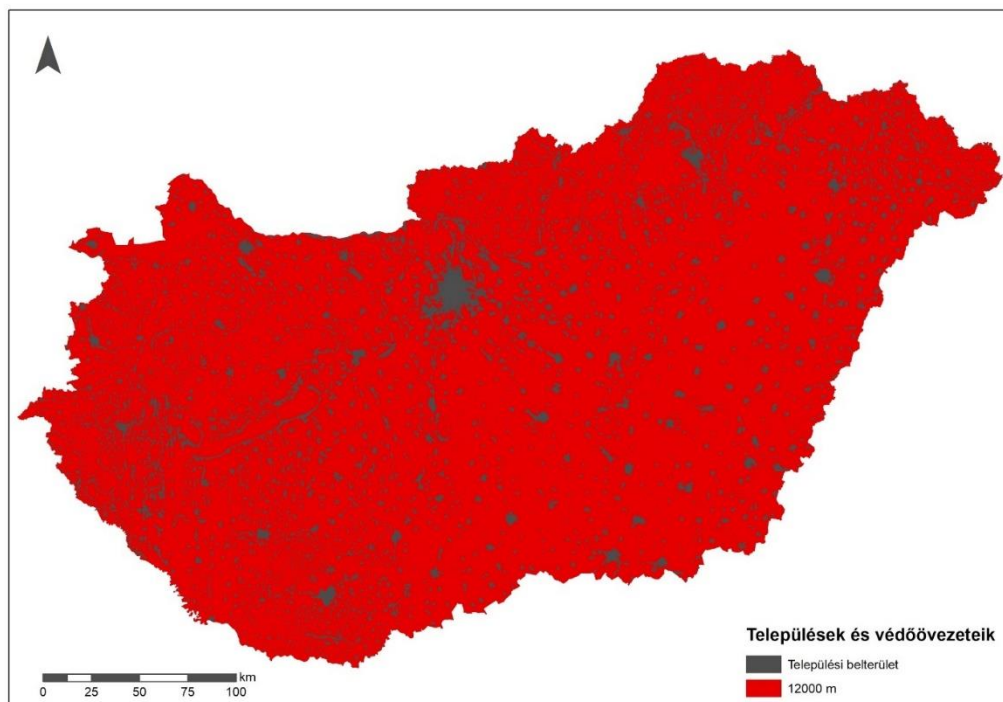
Ország	Minimum távolság lakott területektől		Megengedett legmagasabb zajszint (dB)	
	(m)	(magasság függvényében <sup>16</sup> )	nappal	éjjel
Egyesült Királyság	nincs		43	35-40
Olaszország	200	6H	40	40
Csehország	120-500		50	40
Horvátország	350		45	45
Németország	400	10H	50	35
Hollandia	400-600		47	47
Spanyolország	500		55	45
Románia	500			
Franciaország	500		35	35
Ausztria	800-1200			
Belgium		3H-4H	környezeti zajszint	39
Dánia		4H	39	39
Lengyelország		10H		
<b>Magyarország</b>	<b>12000</b>			

Számos szakember véleménye szerint a szabályozásnak egyetlen és nyilvánvaló célja a további hazai szélenergia-hasznosítási törekvések teljes korlátozása (Antal M. 2019). Különösen európai összehasonlításban válik ez nyilvánvalóvá, hiszen még csak ehhez hasonló megkötöttségekkel sem találkozni. A védőtávolságok mértéke tagállamonként eltérő, illetve a szabályozási dokumentumok sok esetben nem is állapítanak meg konkrét értéket: ilyen esetekben távolság helyett a tengelymagasság, az abszolút magasság vagy a zajszint alapján korlátozzák a telepítést - sok esetben a környezeti zajt is figyelembe véve (JRC 2018). Néhány országban ezek valamilyen kombinációja alapján döntenek egy beruházásról, de az adott helyszín szerint illetékes hatóság is hozhat kiegészítő szabályokat. Néhol egységes, országos szintű szabályozás helyett sajátos helyi (tartományi, térségi) döntéshozatali eljárás van érvényben. **Hollandiában** 2018-tól kezdődően folytak viták a szabályozási környezetről, különös tekintettel a területi tervezésre vonatkozóan, mely most a kisebb térségek döntéshozatali hatáskörébe tartozik. Az országban nincs egységes kötelező településtől számított védőtáv, ezt leginkább a zajszint határozza meg, melynek

<sup>16</sup> Bizonyos országok a szélturbinák magasságának függvényében állapítják meg a szükséges védőtávolságokat. Az oszlopban szereplő H érték azt adja meg, hogy a turbinalapátok felső pozícióban, függőleges állás esetén mérhető magasságának hányszorosát kell a felszín síkjára vetített, kötelező védőtávolságként alkalmazni.

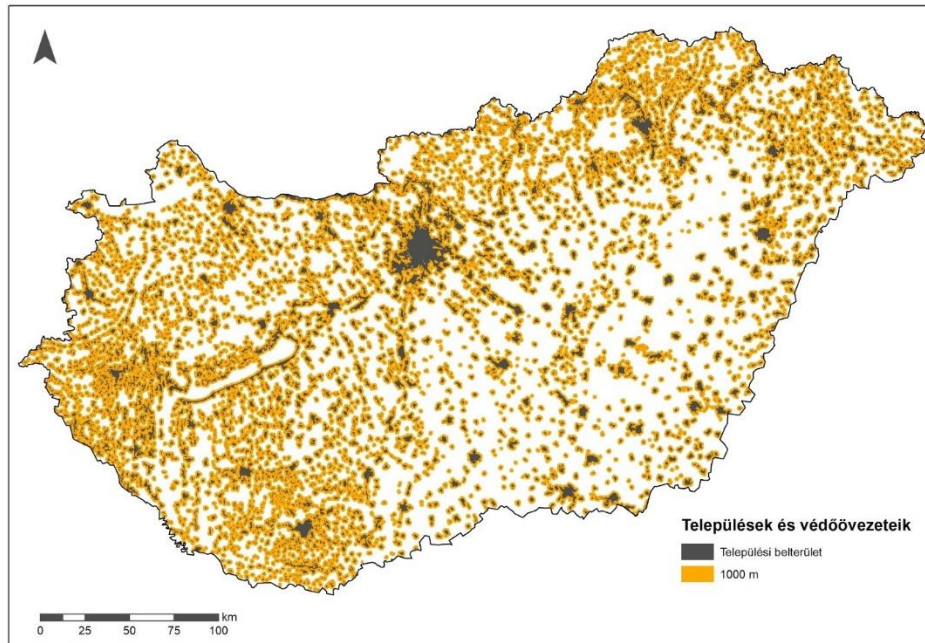
határértéke térségenként változik. **Franciaországban** jellemzően 500 méternél nagyobb a minimális védőtávolság, illetve abszolút magassági korlátozásokat alkalmaznak a tájképvédelem és a légiközlekedés miatt, csakúgy, mint **Németországban**. Ez utóbbi tagállamban, egy új indítvány alapján tartományi hatáskörbe tartozhat a települések körül kijelölhető védőtávolságok mértékének meghatározása, mely azonban nem lehet több 1000 m-nél. A cseh gyakorlatban érvényes 120-500 m-es furcsa érték magyarázata, hogy itt külön szabályozás vonatkozik a kis és nagy szélturbinákra. **Olaszországban** és **Ausztriában** szintén tartományi hatáskörbe tartozik a településektől számított védőtávolságok megállapítása. Nyugati szomszédunknál a védőtávolságok az építésre alkalmas területre vonatkoznak, és nem pedig magukra a szélturbinákra, mely egy komplex területi tervezési megközelítésről tanúskodik. Az **Egyesült Királyság** kormánya 2018-ban a szárazföldi szélerőművek telepítésének jelentős korlátozásáról határozott. Ennek értelmében nem engedélyezett olyan szélerőművek telepítése, amelynek telephelyét nem támogatják a helyi szintű tervezési dokumentumok, kivéve, ha az a helyi közösségek támogatását élvezzi (WindEurope 2019). A politikai megközelítést illetően sok tekintetben a **lengyelországi** helyzet áll a fentieknél sokkal közelebb a hazaihoz, amennyiben a kormányzat ott is az elmúlt évszázadra jellemző, környezetszennyező, centralizált energetikai megoldásokban gondolkodik, így például atomerőmű-építést tervez. Az energia- és klímatervek szerint a szélenergia kapcsán a jelentős, 6000 MW körüli szélerőmű-kapacitását az ország úgy kívánja bővíteni, hogy az új telepítéseket teljes egészében a tengerbe helyezi át. A szabályozás 2016 óta itt is a turbinamagasság tízszeresét határozza meg a településektől tartandó védőtávolságként (Hajto, M. et al. 2016), de ez a fentiek tükrében várhatóan változni fog.

Bár Európában láthatóan igen változatos az egyes országok, illetve a kisebb közigazgatási egységek döntéshozóinak megítélése a szélturbinák telepítése kapcsán, a lakott területektől számított átlagosan 500-1000 m-es védőövezethez képest **hazánk 12 000 m-es korlátozása nehezen magyarázható** pusztán a lakosság védelme érdekében tett intézkedések fontosságával (33. ábra).



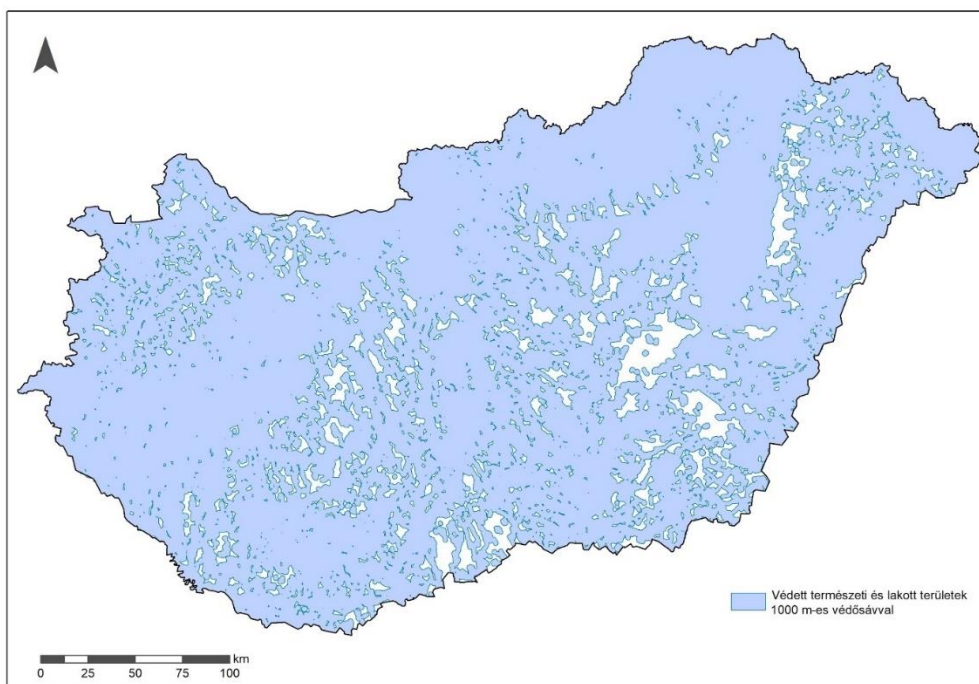
**33. ábra** Az aktuális magyar szabályozásnak megfelelő, lakott területektől számított 12000 m-es védőzóna alkalmazásával nem marad hely a szélerőműveknek (szerk: Soha T.)

Tanulságos eredményt ad, ha nem a most hatályos, hanem az **európai normáknak megfelelő védőövezetek** alkalmazásával végzünk néhány egyszerű térinformatikai műveletet a korlátozásokkal illetően módon érintett területek méretének meghatározására. A lakott területek peremeitől számított 1 km-es védőzóna alkalmazásával 44 141 km<sup>2</sup>, míg egy szigorúbb, 2 km-es pufferzóna esetén 69 028 km<sup>2</sup> volna a szélenergia-hasznosításra társadalmi szempontból nem alkalmas területek kiterjedése, melyek az ország területének 47,4%, illetve 74,2%-át jelentenék (34. ábra).



34. ábra Lakott területek és az ezektől számított 1000 méteres védőzóna alkalmazásával az ország területének 47,4%-a esne ki a szélenergia-hasznosításra alkalmas körből (szerk: Soha T.)

Ha maradunk a térbeliség szempontjánál, és csupán egyetlen további korlátozó tényezőt figyelembe veszünk, nevezetesen a **természetvédelmet** (a védett természeti területek többféle típusát, illetve az ezekhez tartozó védőterületeket), akkor **a kizárt területek aránya 89,3%-ra növekszik** (35. ábra). Ám ezen túl még számos egyéb kizáró tényező létezik, például a tájképvédelem (annak a megyei és az országos szintje egyaránt) vagy a meglévő infrastruktúra (úthálózat, légi közlekedés, villamosvezeték-hálózat), amelyek további akadályt képeznek, alig néhány százalékra csökkentve az alkalmas területek arányát Magyarországon - rögtön újra emlékeztetve arra, hogy csupán elméletileg, hiszen a jelenlegi szabályozás e pillanatban totális akadályt jelent.



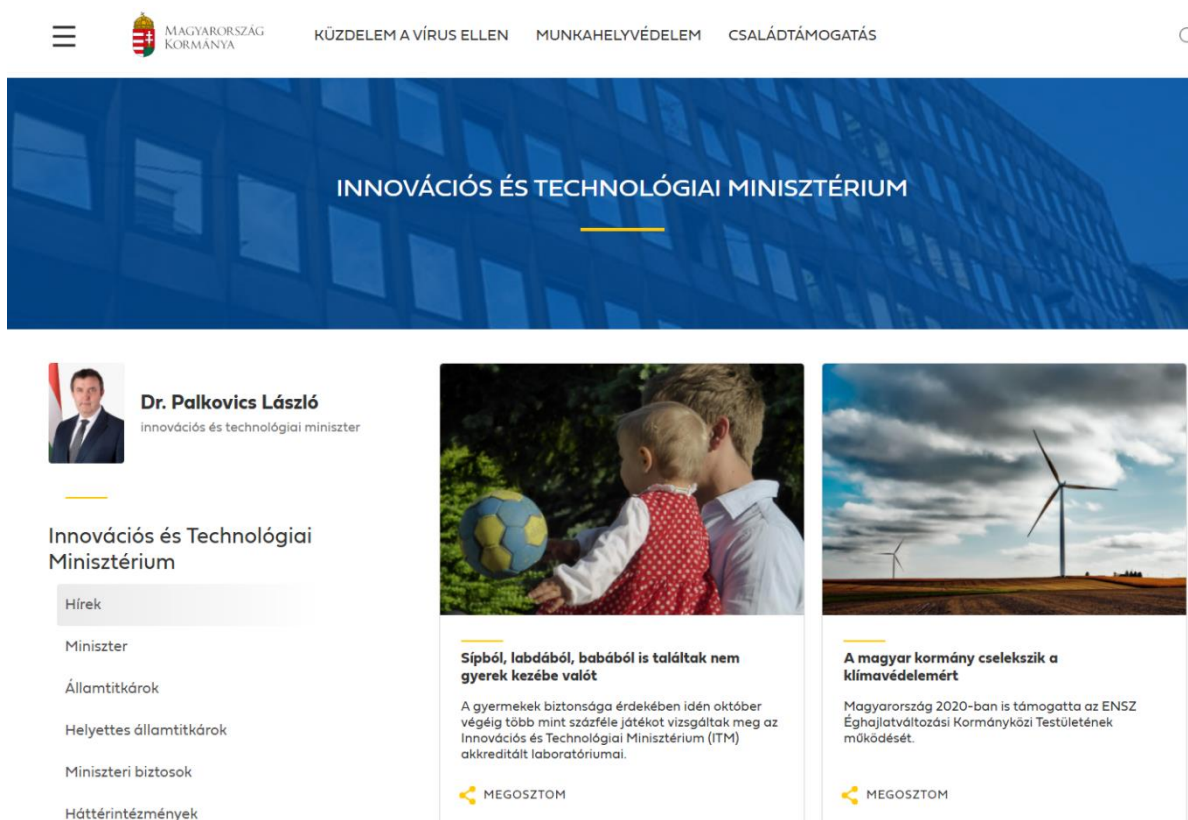
**35. ábra** Lakott területek és a védett természeti területek, illetve az ezektől számított 1000 méteres védőzóna alkalmazásával az ország területének 89,3%-a esne ki a szélenergia-telepítésre alkalmas körből (szerk: Soha T.)

Arra is ki kell térni, hogy a totális tiltáson túlmenően további szigorításokat is sikerült bevezetni a magyar jogrendbe, nem mintha ezeknek volna relevanciája a jelenlegi helyzetben. A 34/2016. (IX. 14.) NGM rendelet értelmében (MK 2016b) a turbina magassága 100 m, míg teljesítménye maximálisan 2 MW lehet. Az európai összehasonlítás alapján leszögezhető, hogy ezek a kritériumok a kereskedelmi forgalomban elérhető szélenergia-telepítések mutatóinak jó esetben is csak legalsó határát érintik, hiszen a befektetők a szélenergia-termelés fokozása érdekében az egyre nagyobb méretű és kapacitású berendezések telepítésében érdekeltek. Egy további meglepő mozaik a zavaros képben az 50 kW-nál nagyobb teljesítményű turbinákra vonatkozó 50 méteres lapáthossz korlátozás - különösen annak fényében, hogy a piacon jelenleg elérhető gépek lapátjainak hossza ma már jellemzően 75-100 m között alakul (16. ábra).



## 9. ÖSSZEGZÉS

Magyarországon a megújuló energiahordozók alkalmazása terén igen nagy a lemaradásunk mind a természeti adottságainkhoz, mind a nemzetközi elvárásokhoz, de leginkább ahhoz képest, hogy az erőforrásokkal való gazdálkodás és ezen belül az energiagazdálkodás eddigi megoldásai milyen súlyos globális ökológiai válságot idéztek elő alig két évszázad leforgása alatt. Kulcsfontosságú azt kihangsúlyozni, hogy mindez nem egyszerűsíthető le az éghajlatváltozás és a szén-dioxid-kibocsátás összefüggéseire. A válságnak ugyanis ennél súlyosabb elemei is vannak, így például a genetikai és ökológiai változatosság csökkenése, amely visszafordíthatatlan veszteségek sokaságát jelenti civilizációnk számára. Az energiagazdálkodás egyes elemeinek megítélése az életciklus-elemzés vizsgálata alapján kell hogy megtörténjen, amely az erőforrások kitermelésétől a hulladékok keletkezéséig kíséri végig a folyamatokat és vizsgálja a környezetterhelés mibenlétét és mértékét. A tudomány mai állása szerint az elérhető technológiák közül a szélerőműveknek lehet a legkisebb környezeti terhelése, feltéve ha a telepítés helyszínének kijelölése megfelelő körültekintéssel történt. Éppen ezért van kiemelt jelentősége annak, hogy a villamosenergia-termelés ezen technológiája Magyarországon is lényegesen komolyabb szerephez jusson. A társadalom számára a másik fontos szempont a költség, beleértve természetesen a projektszemléleten túlmutató externális költségeket is - amelyek jórészt összefüggésben vannak az imént említett környezeti terheléssel (ami kárenyhítésre, az alkalmazkodás költségeire bontható tovább). Ezen tényező ugyancsak a szélerőművek minél szélesebb körű térnyerését indokolja szerte a világon, így hazánkban is!



The screenshot shows the homepage of the Ministry of Innovation and Technology of the Hungarian Government. At the top, there is a navigation bar with the Hungarian Government logo and the text 'MAGYARORSZÁG KORMÁNYA', 'KÜZDELEM A VÍRUS ELLEN', 'MUNKAHELYVÉDELEM', and 'CSALÁDTÁMOGATÁS'. Below this is a large blue banner with the text 'INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM'. Underneath the banner, there is a profile of Dr. Palkovics László, the Minister of Innovation and Technology. To the right of the profile, there are two news articles. The first article is titled 'Sípból, labdából, babából is találtak nem gyerekek kezébe valót' and the second article is titled 'A magyar kormány cselekszik a klímavédelemért'. Both articles have a 'MEGOSZTOM' button below them.

**36. ábra** A kormányzati irányváltás első jele? Vagy súlyos melléfogás? Az Információs és Technológiai Minisztérium honlapjának nyitóoldala 2020. november 9-én. A magyar kormány a hazánkban lényegében betiltott szélerőművekkel népszerűsíti a klímavédelmi eredményeit (amit független elemzésekben komolyan megkérdőjeleznek, lásd *Climate Change Performance Index*).

A független szakértők számos alkalommal, sok-sok fórumon felsorakoztatták már a jelen kötetben összefoglalt érvek döntő többségét. A felelősség ezt követően a döntéshozókat terheli: önnön rövid távú anyagi érdekeiket továbbra is a nemzet érdekei elé helyezik-e, vagy képesek végre önérdükön felülemelkedni. Ebben a mérlegelésben kíván szakmai segítséget adni ez a dokumentum.

- AEE (2019). *Wichtig für den Kampf gegen den Klimawandel: Bürger\*innen wollen mehr Erneuerbare Energien*. Agentur für Erneuerbare Energien. <https://www.unendlich-viel-energie.de/akzeptanzumfrage-2019>
- AEE (2020). *Stromkosten runter für Windparknachbarn - MLK- und ENERTRAG-Programme ab sofort kombinierbar*. Agentur für Erneuerbare Energien. <https://www.unendlich-viel-energie.de/themen/akzeptanz-erneuerbarer/stromkosten-runter-fuer-windparknachbarn-%e2%80%93-mlk-und-enertrag-programme-ab-sofort-kombinierbar>
- AGEE Stat (2020): *Time series for the development of renewable energy sources in Germany based on statistical data from the Working Group on Renewable Energy-Statistics* (AGEE-Stat). 49 p. [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2019-en.pdf;jsessionid=47B95905432E345FAA48262168CDB6A4?\\_blob=publicationFile&v=10](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2019-en.pdf;jsessionid=47B95905432E345FAA48262168CDB6A4?_blob=publicationFile&v=10)
- Antal M. (2019). *How the regime hampered a transition to renewable electricity in Hungary*. Environmental Innovation and Societal Transitions. doi:10.1016/j.eist.2019.04.004
- Arvanitopoulos, T., & Agnolucci, P. (2020). *The long-term effect of renewable electricity on employment in the United Kingdom*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 134, 110322. doi:10.1016/j.rser.2020.110322
- AWWI (2014). *Wind turbine interactions with wildlife and their habitats: a summary of research results and priority questions*. American Wind Wildlife Institute. Washington, DC, 12 p. Available from: <https://awwi.org/wp-content/uploads/2014/05/AWWI-Wind-Wildlife-Interactions-Factsheet-05-27-14.pdf>
- Beckman, K. (2015). *Steve Holliday, CEO National Grid: "The idea of large power stations for baseload is outdated"* <https://energypost.eu/interview-steve-holliday-ceo-national-grid-idea-large-power-stations-baseload-power-outdated/>
- Beerten, J. - Laes, E. - Meskens, G. & D'haeseleer, W. (2009). *Greenhouse gas emissions in the nuclear life cycle: A balanced appraisal*. Energy Policy, 37(12), 5056-5068. doi:10.1016/j.enpol.2009.06.073
- Boyle, K. J. - Boatwright, J. - Brahma, S. & Xu, W. (2019). *NIMBY, not, in siting community wind farms*. Resource and Energy Economics, 57, 85-100. doi:10.1016/j.reseneeco.2019.04.004
- Bright, J.A. - Langston, R. H. W. - Anthony, S. (2009). *Mapped and written guidance in relation to birds and onshore wind energy development in England*. Royal Society for the Protection of Birds. 173 p. [http://ww2.rspb.org.uk/Images/EnglishSensitivityMap\\_tcm9-237359.pdf](http://ww2.rspb.org.uk/Images/EnglishSensitivityMap_tcm9-237359.pdf)
- BWE (2015). *Die Grenzen des Wachstums sind noch nicht erreicht*. (Bundesverband Windenergie) 15 p. <https://docplayer.org/16087532-Die-grenzen-des-wachstums-sind-noch-nicht-erreicht.html>
- BWE (2020): *German wind energy in numbers* (Bundesverband Windenergie) <https://www.wind-energie.de/english/statistics/statistics-germany/>
- Caporale, D. - Sangiorgio, V. - Amodio, A. & De Lucia, C. (2020). *Multi-criteria and focus group analysis for social acceptance of wind energy*. Energy Policy, 140, 111387. doi:10.1016/j.enpol.2020.111387
- Cousse, J. - Wüstenhagen, R. & Schneider, N. (2020). *Mixed feelings on wind energy: Affective imagery and local concern driving social acceptance in Switzerland*. Energy Research & Social Science, 70, 101676. doi:10.1016/j.erss.2020.101676

- De Putte, J.V. - Short, R. (2011). *Hálózatok harca - 2011. évi jelentés*. Greenpeace International: Battle of the grids című kiadványa nyomán a Greenpeace Magyarország Egyesület, Budapest, 2011.
- Destatis 2020: *Stromerzeugung im 1. Quartal 2020: Windkraft erstmals wichtigster Energieträger*. Statistisches Bundesamt. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/05/PD20\\_189\\_43312.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/05/PD20_189_43312.html)
- DMCEU (2019). *Denmark's Integrated National Energy and Climate Plan*. Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities, 184 p. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/dk\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/dk_final_necp_main_en.pdf)
- Dobi I. (szerk.) (2006). *Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei*. Országos Meteorológiai Szolgálat. 148 oldal. Available from: <http://www.levegokornyezet.hu/U/K/kutatas.pdf>
- Dupré, A. - Drobinski, P. - Alonzo, B. - Badosa, J. - Briard, C., & Plougonven, R. (2019). *Sub-hourly forecasting of wind speed and wind energy*. Renewable Energy. doi:10.1016/j.renene.2019.07.161
- DWG (2020). *Status of Onshore Wind Energy Development in Germany - First Half of 2020*. Deutsche WindGuard, 12 p. [https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/dokumente-englisch/statistics/Status\\_of\\_Onshore\\_Wind\\_Energy\\_Development\\_in\\_Germany\\_-\\_First\\_Half\\_of\\_2020.pdf](https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/dokumente-englisch/statistics/Status_of_Onshore_Wind_Energy_Development_in_Germany_-_First_Half_of_2020.pdf)
- Energiaklub-Infotandem (2015). *A jelenlegi és a rugalmas energiarendszer*. [https://energiaklub.hu/files/infographics/infografika\\_energiaklub\\_energiarendszerek.pdf](https://energiaklub.hu/files/infographics/infografika_energiaklub_energiarendszerek.pdf)
- Energinet (2020). *Security Of Electricity Supply Report 2019*. <https://en.energinet.dk/-/media/822456BE98624933BF21B66D41A10514.pdf>
- EU (2020). *EU energy in figures - Statistical pocketbook 2020*. [https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-statistical-pocketbook\\_hu](https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/energy-statistical-pocketbook_hu)
- European Commission (2015). *A Framework Strategy for a Resilient Energy Union with a Forward-Looking Climate Change Policy*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2015:80:FIN>
- Eurostat (2020a). *Coal production and consumption statistics*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Coal\\_production\\_and\\_consumption\\_statistics#Deliveries\\_of\\_coal\\_to\\_power\\_plants](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Coal_production_and_consumption_statistics#Deliveries_of_coal_to_power_plants)
- Eurostat (2020b). *Supply, transformation and consumption of electricity*. [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_cb\\_e&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_cb_e&lang=en)
- Eurostat (2020c). *Electricity production, consumption and market*. overview [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview)
- Eurostat (2020d). *Electricity and heat statistics*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/34226.pdf>
- Eurostat (2020e). *EU imports of energy products - recent developments*. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/46126.pdf>
- Felsmann B. (2011). *Közgazdasági dilemmák a megújuló energiatermelés támogatásában*. Budapesti Corvinus Egyetem, 11 p. [http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1366/1/K%C3%B6zgazdas%C3%A1gi%20dilemm%C3%A1k%20RES%20t%C3%A1mogat%C3%A1sok%20\\_Felsmann\\_2011%20m%C3%A1jus.pdf](http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/1366/1/K%C3%B6zgazdas%C3%A1gi%20dilemm%C3%A1k%20RES%20t%C3%A1mogat%C3%A1sok%20_Felsmann_2011%20m%C3%A1jus.pdf)
- Finn, P. - Fitzpatrick, C. & Connolly, D. (2012). *Demand side management of electric car charging: Benefits for consumer and grid*. Energy, 42(1), 358-363. doi:10.1016/j.energy.2012.03.042

- Fodor B. (2012). *Megújuló energiatermelés a fenntarthatóság szolgálatában*. ISBN 978-963-503-505-2. Corvinus Egyetem, 14 p. [http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/979/1/fenn2012\\_Fodor\\_Bea.pdf](http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/979/1/fenn2012_Fodor_Bea.pdf)
- Frydrychowicz-Jastrzębska, G. (2019). *The Innovative Gaildorf Wind-Water Project Guarantees Reliability of Power Supply*. Innovation in Energy Systems - New Technologies for Changing Paradigms. doi:10.5772/intechopen.88089
- Gartner, H. (2007). *Nemzetközi biztonság. Fogalmak A-tól Z-ig*. Budapest, Zrínyi Kiadó.
- Geraint, E. & Gianluca, F. (2016). *The social acceptance of wind energy*. Joint Research Centre (JRC) of the European Commission. 77 p. [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC103743/jrc103743\\_2016.7095\\_src\\_en\\_social%20acceptance%20of%20wind\\_am%20-%20gf%20final.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC103743/jrc103743_2016.7095_src_en_social%20acceptance%20of%20wind_am%20-%20gf%20final.pdf)
- Grubler, A. (2010). *The costs of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing*. Energy Policy, 38(9), 5174-5188. doi:10.1016/j.enpol.2010.05.003
- GWA (2020). *Global Wind Atlas* <https://globalwindatlas.info/>
- GWEC (2020). *Global Wind Report 2019*. Global Wind Energy Council. <https://gwec.net/global-wind-report-2019/>
- Gyöngyösi A.Z. - Weidinger T. - Kiss, Á. & Bánfalvi K. (2011). *A szélenergia előrejelzés lehetősége numerikus időjárás előrejelző modellek segítségével*. Környezet és Energia Konferencia Debrecen, 2011. november 25–26, Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás, Debrecen, Tanulmánykötet (Szerk.: Szabó V. -Fazekas I.), pp. 167-174.
- Gyöngyösi A.Z. - Weidinger T. - Gertner & O. Bánfalvi, K. (2012). *Szélenergetikai becslések mérési adatok és modellszámítások alapján*. Magyar Meteorológiai Társaság Nap és Szélenergetikai Szakosztály Konferenciája, OMSZ, 2012. április 18. Available from: [http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2012/04/Eloadas120418\\_Gertner\\_jav.pdf](http://www.mettars.hu/wp-content/uploads/2012/04/Eloadas120418_Gertner_jav.pdf)
- Gyurácz, J. (2012). *Az ikervári szélerőmű park természetvédelmi vonatkozásai*. <http://chernelmte.extra.hu/cinege16-3.html>
- Haar, L. (2020). *An empirical analysis of the fiscal incidence of renewable energy support in the European Union*. Energy Policy, 143, 111483. doi:10.1016/j.enpol.2020.111483
- Hajto, M. - Cichocki, Z. - Bidłasik, M. - Borzyszkowski, J. & Kuśmierz, A. (2016). *Constraints on Development of Wind Energy in Poland due to Environmental Objectives. Is There Space in Poland for Wind Farm Siting?* Environmental Management, 59(2), 204-217. doi:10.1007/s00267-016-0788-x
- Hannesson, R. (2019). *How much do European households pay for green energy?* Energy Policy, 131, 235-239. doi:10.1016/j.enpol.2019.05.010
- HEAL (2018). *Hidden price tags - how ending fossil fuel subsidies would benefit our health*. Health and Environment Alliance. 61 p. [https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/08/hidden\\_price\\_tags.pdf](https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/08/hidden_price_tags.pdf)
- Hewicker, C. - Hogan, M. & Mogren, A. (2011). *Power Perspectives 2030 - On the road to a decarbonised power sector*. European Climate Foundation. 83 p. Available from: [http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/PowerPerspectives2030\\_FullReport.pdf](http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/PowerPerspectives2030_FullReport.pdf)
- Horváth, G. (2005). *Szélparkok tervezése környezetvédelmi szempontok alapján*. 11, 1046.
- Höfer, T. - Sunak, I. - Siddique, H. & Madlener, R. (2016): *Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen*. Applied Energy 163 (2016) pp. 222-243 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.138>
- Hötcker, H. - Thomsen, K.-M. & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats - facts, gaps in knowledge, demands for*



- further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation.* Michael-Otto-Institut im NABU. Berghausen, 65 p.
- HUPX Annual Report 2019  
[https://hupx.hu/uploads/Piaci%20adatok/DAM/%C3%A9ves/HUPX\\_DAM\\_OLAP\\_Yearly\\_external\\_4M\\_MC\\_2019.pdf](https://hupx.hu/uploads/Piaci%20adatok/DAM/%C3%A9ves/HUPX_DAM_OLAP_Yearly_external_4M_MC_2019.pdf)
- IEA (n.a.). *Energy security. Reliable, affordable access to all fuels and energy sources.* International Energy Agency <https://www.iea.org/topics/energysecurity/>
- IEA (n.a.). *Wind Wind Energy in Denmark.* International Energy Agency  
<https://community.ieawind.org/about/member-activities/denmark>
- IRENA (2020a). *Renewable Power Generation Costs.* International Renewable Energy Agency. 144 p.  
[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA\\_Power\\_Generation\\_Costs\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf)
- IRENA (2020b). *Energy Subsidies - Evolution in the Global Energy Transformation to 2050.* International Renewable Energy Agency. 64 p. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA\\_Energy\\_subsidies\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_Energy_subsidies_2020.pdf)
- Jones, D. - Graham, E. - Tunbridge, P. & Illas, A. (2020). *Global Electricity Review.* <https://ember-climate.org/wp-content/uploads/2020/03/Ember-2020GlobalElectricityReview-Web.pdf>
- JRC (2018): *Wind potentials for EU and neighbouring countries: Input datasets for the JRC-EU-TIMES Model.* European Commission, Joint Research Center. ISBN 978-92-79-77811-7, doi:10.2760/041705, JRC109698.
- Kádár P. & Nagy L. (2012). *Wind measurement analysis for deployment urban small scale wind turbine;* 10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics;) Herlany, Slovakia January 26-28,
- Kádár P. (2012). *Comparative Performance Analysis of Small Scale Wind Turbines;* JESTR - JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY REVIEW, 2012; Volume 5. Issue 4. Pages 42-47
- Kingsley, A. & Whittam, B. (2005). *Wind Turbines and Birds: A Background Review for Environmental Assessment.* Environment Canada / Canadian Wildlife Service. p. Available from: [http://www.energy.ca.gov/windguidelines/documents/other\\_guidelines/2006-05-12\\_BCKGRD\\_ENVIRMTL\\_ASSMNT.PDF](http://www.energy.ca.gov/windguidelines/documents/other_guidelines/2006-05-12_BCKGRD_ENVIRMTL_ASSMNT.PDF)
- Kocsis K. et al. 2018. *Magyarország Nemzeti Atlasza.* Budapest, MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. 187 p.
- Kotek, P. (2016). *Honnan fúj? A szélenergia-termelését érintő szabályozás változásairól.* Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Budapest, 2 p.  
[https://rekk.hu/downloads/academic\\_publications/rekk\\_policybrief\\_2016\\_05.pdf?fbclid=IwAR1cbnCFHp2-etjB\\_khBhSra95TXuP7oJevw8Bukmb\\_UZ9SKOFe0I-7tmbU](https://rekk.hu/downloads/academic_publications/rekk_policybrief_2016_05.pdf?fbclid=IwAR1cbnCFHp2-etjB_khBhSra95TXuP7oJevw8Bukmb_UZ9SKOFe0I-7tmbU)
- KvVM (2005): *Tájékoztató a szélenergia-termelésének táj- és természetvédelmi szempontjairól.* Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal, Budapest. 24 p.
- Landeta-Manzano, B. - Arana-Landín, G. - Calvo, P. M. & Heras-Saizarbitoria, I. (2018). *Wind energy and local communities: A manufacturer's efforts to gain acceptance.* Energy Policy, 121, 314-324. doi:10.1016/j.enpol.2018.05.034
- Ledec, G. C. - Rapp, K. W. & Aiello, R. G. (2011): *Greening the wind: environmental and social considerations for wind power development.* Washington (DC): World Bank Study, World Bank.  
<https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8926-3>
- Liu, H.- YeLi, Y. - Duan, Z. & Chen, Ch (2020): *A review on multi-objective optimization framework in wind energy forecasting techniques and applications.* Energy Conversion and Management, 224, 15, 113324. doi:10.1016/j.enconman.2020.113324



- Lund, H. (2010). *Renewable energy systems : the choice and modeling of 100% renewable solutions*. Burlington, Mass.: Academic : Elsevier.
- Lütkehus, I. & Salecker, H. (2013). *Onshore Wind Energy Potential in Germany - Current study by the Federal Environment Agency on the nationwide area and output potential*. DEWI 2013, 43. [https://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin\\_43/05.pdf](https://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_43/05.pdf)
- Mata Pérez, M. E. - Scholten, D. & Smith Stegen, K. (2019). *The multi-speed energy transition in Europe: Opportunities and challenges for EU energy security*. Energy Strategy Reviews 26 (2019) 100415. doi:10.1016/j.esr.2019.100415
- MAVIR (2019). *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2018. évi adatai* <https://www.mavir.hu/web/mavir/a-magyar-villamosenergia-rendszer-statisztikai-adatai>
- May, R. (2011). *Renewable energy: consequences for biodiversity and ecosystem services*. Paper presented at the Cooperation and expertise for a sustainable future.
- May, R. - Nygård, T. - Falkdalen, U. - Åström, J. - Hamre, Ø. & Stokke, B. G. (2020). *Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities*. Ecology and Evolution. doi:10.1002/ece3.6592
- MEKH (2019). *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2018. évi adatai*. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal. 102 p. [http://www.mekh.hu/download/6/de/b0000/a\\_magyar\\_villamosenergia\\_rendszer\\_2018\\_evi\\_adatai.pdf](http://www.mekh.hu/download/6/de/b0000/a_magyar_villamosenergia_rendszer_2018_evi_adatai.pdf)
- Mezősi A. et al. (2018). *A 2030-as megújulóenergia-arány elérésének költségbecslése*. 129 p. [https://rekk.hu/downloads/projects/2019\\_REKK\\_NEKT\\_megujulo\\_final.pdf](https://rekk.hu/downloads/projects/2019_REKK_NEKT_megujulo_final.pdf)
- MK (2016a). *277/2016. (IX. 15.) Korm. rendelet a szélerőművekre vonatkozó szabályok módosításáról*. Magyarország Kormánya. Magyar Közlöny 138, Budapest. 44 p. <http://www.kozlonyok.hu/nkonline/MKPDF/hiteles/MK16138.pdf>
- MK (2016b). *34/2016. (IX. 14.) NGM rendelet A Villamosmű Műszaki-Biztonsági Követelményei Szabályzat hatályba léptetéséről szóló 8/2001. (III. 30.) GM rendelet, és a villamosművek, valamint a termelői, magán- és közvetlen vezetékek biztonsági övezetéről szóló 2/2013. (I. 22.) NGM rendelet módosításáról*. Magyarország Kormánya, Magyar Közlöny 137, Budapest. <http://www.kozlonyok.hu/nkonline/index.php?menuindex=200&pageindex=kozltart&ev=2016&szam=137>
- Monaghan, A. (2008): *Energy Security: NATO's Limited, Complementary Role*. In: Research Division - NATO Defense College, Rome - No. 36 - May 2008. [https://www.files.ethz.ch/isn/56022/rp\\_36en.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/56022/rp_36en.pdf)
- Munkácsy B. (2004a). *A németországi regionális tájtervező irodák*. Energiagazdálkodás, 45(1), 13-15.
- Munkácsy B. (2004b). *A szélerőenergia és hasznosításának környezeti vonatkozásai magyarországi példákon*. PhD értekezés; Eötvös Loránd Tudományegyetem (Budapest), 133 fol., [138]
- Munkácsy B. - Kovács G. & Tóth J. (2007). *A szélerőenergia-hasznosítás lehetőségei és távlatai Komárom-Esztergom megyében*. Energiagazdálkodás. 48 : 1 pp. 18-21., 4 p.
- Munkácsy B. (2010). *A területi tervezés szorításában - A szélerőenergia-hasznosítás hazai lehetőségei*. Területfejlesztés és Innováció, 4(2), pp. 20-27.
- Nazir, M. S. - Ali, N. - Bilal, M. & Iqbal, H. M. N. (2020). *Potential environmental impacts of wind energy development - A global perspective*. Current Opinion in Environmental Science & Health. doi:10.1016/j.coesh.2020.01.002
- NEWA (2019). *New European Wind Atlas*. Available from: <https://www.forwind.de/en/media/news/20190702-new-european-wind-atlas-published/>

- OEC (2020). *TÜV NORD to certify SG 14-222 DD*. Orbis Energy Centre.  
<https://www.4coffshore.com/news/t%C3%BCv-nord-to-certify-sg-14-222-dd-nid17672.html>
- OLÉH (Országos Lakás- és Építésügyi Hivatal) (2004): *Az Országos Lakás- és Építésügyi Hivatal tájékoztatója a szélkerekek, szélerőművek, szélerőmű-parkok telepíthetőségéről*. Budapest, 3 p.
- Ortega-Izquierdo, M. & Río, P. del. (2020). *An analysis of the socioeconomic and environmental benefits of wind energy deployment in Europe*. Renewable Energy.  
 doi:10.1016/j.renene.2020.06.133
- Paulus, M. & Borggrefe, F. (2011). *The potential of demand-side management in energy-intensive industries for electricity markets in Germany*. Applied Energy, 88(2), 432-441.  
 doi:10.1016/j.apenergy.2010.03.017
- Powlesland, R. G. (2009). *Impacts of wind farms on birds: a review*. New Zealand Department of Conservation. Wellington, p.
- Ram, M. - Child, M. - Aghahosseini, A. - Bogdanov, D. - Lohrmann, A. & Breyer, C. (2018). *A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030*. Journal of Cleaner Production, 199, 687-704.  
 doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.159
- Ram, M. - Aghahosseini, A. & Breyer, C. (2019). *Job creation during the global energy transition towards 100% renewable power system by 2050*. Technological Forecasting and Social Change.  
 doi:10.1016/j.techfore.2019.06.008
- Razdan, P. & Garrett, P. (2019). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V136-4.2 MW Wind Plant*. Vestas Wind Systems A/S, 133 p.  
[https://www.vestas.com/~/\\_media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca%20of%20electricity%20production%20from%20an%20onshore%20v13642mw%20wind%20plantfinal.pdf](https://www.vestas.com/~/_media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca%20of%20electricity%20production%20from%20an%20onshore%20v13642mw%20wind%20plantfinal.pdf)
- REN21 (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf)
- REVE (2019). *Germany wind power industry in crisis*. Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico.  
<https://www.evwind.es/2019/12/17/germany-wind-power-industry-in-crisis/72559>
- Sáfián F. (2016a). *Magyarország jövőbeli energiarendszerének szoftveres modellezése - hogyan működne Paks II-vel, hogyan működne anélkül?* I. Századvég-MET energetikai tanulmányíró verseny. Budapest, 40 p.
- Sáfián F. (2016b). *Modelling and Analysing the Effects of a New Nuclear Power Plant. Is there Room for Renewables in Hungary by 2030?* Geographical Locality Studies, 4(1), pp. 788-819.
- Sáfián F. (2018). *A fenntartható energiagazdálkodás lehetőségei Magyarországon - Energetikai jövőképek szoftveres modellezése*. Doktori értekezés. ELTE TTK, Földrajz-Földtudományi Doktori Iskola.
- Schmid, M. - Ramon, N.G. - Dierckx, A. & Wegman, T. (2020). *Accelerating Wind Turbine Blade Circularity*. WindEurope - Cefic - EuCIA. 42 p. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/WindEurope-Accelerating-wind-turbine-blade-circularity.pdf>
- Schneider, M. & Froggatt, A. (2020). *The World Nuclear Industry, Status Report 2019*.  
<https://www.worldnuclearreport.org/>
- Schöpfer, Y. (2020). *Akzeptanz in der fläche, protest im lokalen? - Studie zur windenergie an land*. Renewes Spezial nr. 90. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. 36 p. [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/3801.AEE\\_Renews\\_Spezial\\_90\\_Akzeptanz-Wind\\_Apr20.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/3801.AEE_Renews_Spezial_90_Akzeptanz-Wind_Apr20.pdf)

- Schrempf, N. (2007). *Energetikai célú szélmérőrendszer kialakítása*. PhD értekezés, Szent István Egyetem Gödöllő. 157 oldal. Available from: [https://szie.hu/file/tti/archivum/Schrempf\\_Norbert\\_ertekezes.pdf](https://szie.hu/file/tti/archivum/Schrempf_Norbert_ertekezes.pdf)
- Smallwood, K.S. & Thelander, C.G. (2005). *Bird Mortality at the Altamont Pass Wind Resource Area*. Subcontract Report. NREL/SR-500-36973. 411 p. <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36973.pdf>
- Sørensen, P. - Hansen, A. D. & Rosas, P. A. C. (2002). *Wind models for simulation of power fluctuations from wind farms*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90(12-15), 1381-1402. doi:10.1016/s0167-6105(02)00260-x
- Sperling, K. (2017). *How does a pioneer community energy project succeed in practice? The case of the Samsø Renewable Energy Island*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 71, 884-897. doi:10.1016/j.rser.2016.12.116
- Statista (2020). <https://www.statista.com/statistics/871559/onshore-wind-energy-capacity-in-european-union-eu-28/>
- Szalai S. - Gács I. & Tar K. (2010). *A szélenergia helyzete Magyarországon*. Magyar Tudomány 2010/08. Available from: <http://www.matud.iif.hu/2010/08/06.htm>
- Szépszó G. - Horányi A. - Kertész S. & Lábó E. (2006). *Magyarországi szélklimatológia előállítása globális mezők dinamikai leskáázásával*. Magyarországi szél és napenergia kutatás eredményei. Available from: [http://owww.met.hu/pages/palyazatok/winsolen/szel\\_kezirat\\_webre.pdf](http://owww.met.hu/pages/palyazatok/winsolen/szel_kezirat_webre.pdf)
- Ueckerdt, F. & Kempener, R. (2015). *From baseload to peak: Renewables provide a reliable solution*. IRENA. 15 p. [http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA\\_Baseload\\_to\\_Peak\\_2015.pdf](http://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Baseload_to_Peak_2015.pdf)
- Tóta A. (2009). *A szélenergia-termelés lehetőségei Dél-Alföld megyéiben*. Szakdolgozat, ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tsz. 79 p.
- Tóth H. - Brajnovits B. & Renczes, B. (2017). *Statistical correction of the wind energy forecast at the Hungarian Meteorological Service*. Időjárás, 121(2), 137-160.
- Troen, I. & Petersen, E. L. (1989). *European Wind Atlas*. Risø National Laboratory. 657 p. <https://orbit.dtu.dk/en/publications/european-wind-atla>
- UB (2019). *Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen*. Umwelt Bundesamt. 255 p. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019\\_10\\_09\\_texte\\_117-2019\\_uba\\_weacycle\\_mit\\_summary\\_and\\_abstract\\_170719\\_final\\_v4\\_pdfua\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019_10_09_texte_117-2019_uba_weacycle_mit_summary_and_abstract_170719_final_v4_pdfua_0.pdf)
- US EIA (2019). *State Electricity Profiles*. <https://www.eia.gov/electricity/state/>
- Vakulchuk, R. - Overland, I. & Scholten, D. (2020). *Renewable energy and geopolitics: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 122 (2020) 109547. doi: 10.1016/j.rser.2019.109547
- Valsaraj, P. - Thumba, D. A. - Asokan, K. & Satheesh Kumar, K. (2019). *Symbolic regression-based improved method for wind speed extrapolation from lower to higher altitudes for wind energy applications*. Applied Energy, Volume 260, 15 February 2020, 114270 doi:10.1016/j.apenergy.2019.114270
- Vaughan, A. (2017). *Almost 90% of new power in Europe from renewable sources in 2016*. <https://www.theguardian.com/environment/2017/feb/09/new-energy-europe-renewable-sources-2016>
- Vuichard, P., Stauch, A. & Dällenbach, N. (2019). *Individual or collective? Community investment, local taxes, and the social acceptance of wind energy in Switzerland*. Energy Research & Social Science, 58, 101275. doi:10.1016/j.erss.2019.101275

- Weidinger T. - Gertner O. - Munkácsy B. - Véghely T. & Boda Zs. (2011). *A kis szélgenerátorok hazai alkalmazási lehetőségei*. In: Szabó, Valéria; Fazekas, István (szerk.) Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás: II. Környezet és Energia Konferencia, Debrecen: MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, (2011) pp. 175-182., 8 p.
- Weidinger T. - Gyöngyösi A.Z. - Bánfalvi K. - Molnár Cs. & Bán B. (2015). *Numerikus modellszámításokra alapozott szél- és napenergia előrejelzések*. 41. Meteorológiai Tudományos Napok ,A megújuló energiaforrások felhasználásának meteorológiai vonatkozásai, MTA Nagyterem, Budapest, 2015. november 19-20. Available from: [https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2015/P06\\_WeidingerT.pdf](https://www.met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2015/P06_WeidingerT.pdf)
- Wehrmann, B. (2019). Limits to growth: Resistance against wind power in Germany. Clean Energy Wire. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/fighting-windmills-when-growth-hits-resistance>
- WindEurope (2019). *Wind energy in Europe: National policy and regulatory developments*. 44 p. <http://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2019/03/Wind-Energy-in-Europe-National-Policy-and-Regulatory-Developments-January2019-WindEurope-For-MEMBERS-ONLY.pdf>
- WindEurope (2020a). *Wind energy in Europe in 2019 - Trends and statistics*. 24 p <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2019.pdf>
- WindEurope (2020b). *Wind energy and economic recovery in Europe - How wind energy will put communities at the heart of the green recovery*. 104 p. [https://proceedings.windeurope.org/biplatform/rails/active\\_storage/blobs/eyJfcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBaFDliwiZXhwIjpudWxsLCJwdXkiOiJibG9iX2lkn19--b2387d6fcb7d7bd6207a2b642e0a7dc4fb96960b/WindEurope-Flagship-report-2020.pdf](https://proceedings.windeurope.org/biplatform/rails/active_storage/blobs/eyJfcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBaFDliwiZXhwIjpudWxsLCJwdXkiOiJibG9iX2lkn19--b2387d6fcb7d7bd6207a2b642e0a7dc4fb96960b/WindEurope-Flagship-report-2020.pdf)
- WindEurope - *a WindEurope adatbázisa*. <https://windeurope.org/about-wind/statistics/>
- Witha, B. (2019). *New European Wind Atlas - Mean wind speed 1989-2018 (m/s) at 100 m*. Available from: <https://www.forwind.de/en/media/news/20190702-new-european-wind-atlas-published/>
- Wolsink, M. (2007). *Wind power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of "backyard motives"*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(6), 1188-1207. doi:10.1016/j.rser.2005.10.005
- WWEA (2020). *Global wind installations*. World Wind Energy Association, <https://library.wwindea.org/global-statistics/>
- Yergin, D. (2006). *Ensuring Energy Security*. Foreign Affairs. March/April 2006 Issue. doi: 10.2307/20031912
- Zeilina, L. (2019). *Why Visegrad 4 need to get real about climate change*. EU Observer. July 2 2019. <https://euobserver.com/opinion/145293>

# KUTATÁS KOMMUNIKÁCIÓ KÉPZÉS

DÖNTÉSHOZÓKNAK, ÖNKORMÁNYZATOKNAK,  
VÁLLALATOKNAK ÉS HÁZTARTÁSOKNAK

HAZAI ÉS NEMZETKÖZI KLÍMA- ÉS  
ENERGIAPOLITIKÁRÓL, ENERGIAHATÉKONYSÁGRÓL,  
MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKRÓL



**ENERGIACLUB**  
SZAKPOLITIKAI INTÉZET  
MÓDSZERTANI KÖZPONT

[www.energiaklub.hu](http://www.energiaklub.hu)