

SZÉLKEREKEK ENERGETIKAI HELYZETE

ENERGETIC POSITION OF THE WIND TURBINES

HETYEI Csaba

(ORCID ID: 0000-0003-2915-4540)

hetyei.csaba@phd.uni-obuda.hu

Absztrakt

A napjainkban jelentkező egyre nagyobb energiaigény miatt mindinkább előtérbe kerülnek a megújuló energiaforrások. Közülük a szélenergia hasznosítás módszereit és elméleti hátterét ismertetem. A cikk első felében a szélmalomok és a vízszintes tengelyű szélturbinák fejlődéstörténetét, ezt követően energiahasznosítás szempontjából a szélerőművek helyzetét vizsgálom, majd a szélenergia hasznosítás elméleti hátterét mutatom be.

Kulcsszavak: Szélenergia, szélmalom, szélturbina, Betz törvény, megújuló energiaforrások

Abstract

Today's increasing demand for energy is becoming more and more prevalent the renewable energy sources, in this article I will review the wind energy utilization methods and it's theoretical background. In the first part of the article I present the evolution of windmills and the HWATs (horizontal axis wind turbine). Then I will present the position of wind power plants in Hungary and Europe from the perspective of energy utilization. At the end of this article I will present the theoretical background of wind energy utilization.

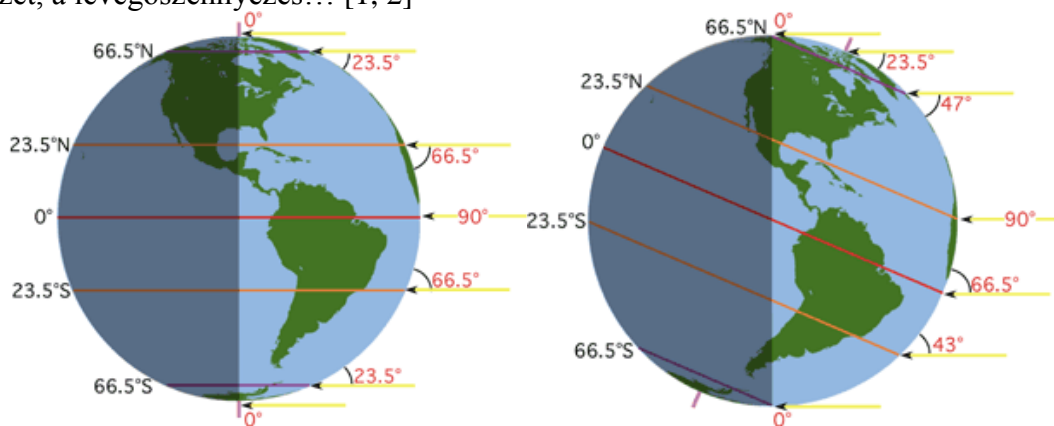
Keywords: Wind energy, Windmill, Wind turbine, Betz's law, renewable energy, renewable energy

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.06.09.
A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.09.25.

BEVEZETÉS

A szélenergia jelen tudásunk szerint kifogyhatatlan, a napsugárzásából és a föld forgásából származó energia. Az emberiség eleinte vitorláshajókkal történő szállításra és közlekedésre hasznosította, majd idővel munkavégző erőgépeket, szélmalomokat hajtottak meg vele. Napjainkban a szélmalomokat szélturbinák váltották fel, és főleg villamosenergia termelésre használják.

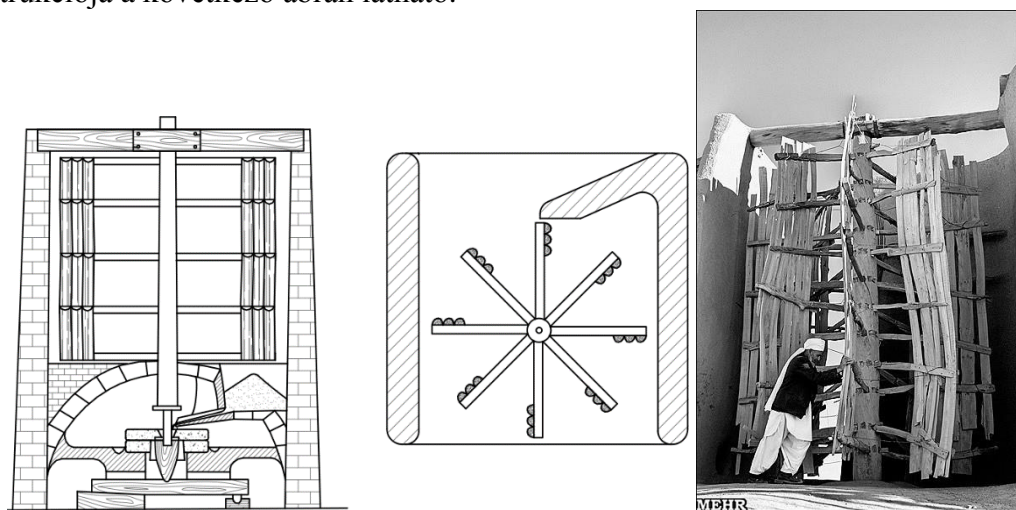
A szél áramlásának egyik fő hajtóereje a földfelszínen kialakuló hőmérsékletkülönbség. A hőmérsékletkülönbségnek több oka van, ezek közé tartozik például az, hogy a napsugarak nem egyenletesen érik a földfelszínt, a tengerek és a szárazföldek eltérő felmelegedési-lehűlési ideje, a nappalok és az éjszakák váltakozása, a vízfelszín fényvisszaverőképesége, a felhőzet, a levegőszennyezés... [1, 2]



1. ábra A tavaszi és a nyári nap-éj egyenlőségkor a földet érő napsugarak beesési szöge [3]

SZÉLMALMOKTÓL A SZÉLTURBINÁKIG

A szélmalomokról az első ismert írás időszámításunk kezdetéről, Alexandriai Héróntól származik. Az első ismert megépített szélmalom a Nish Toofan volt, mely isz. 500-900 között épült a Perzsa vidéken. A Nish Toofan régiója kedvező volt a szélmalom felállításához, mert szinte állandóan északi szél fúj és a sebessége elérhette a 120 km/h-t. A szél egy függőleges lapátozású szélkereket hajtott, melyet agyagfalakkal fogtak közre. A szerkezet elvi vázlatja és rekonstrukciója a következő ábrán látható.



2. ábra Nish Toofan elvi vázlatja és rekonstruált változata [4]

A Nish Toofan típusú szélmalomokat idővel felváltották a bakos malmok, melyek onnan kapták nevüket, hogy bakra építették őket. A malmokat a bakon a széliránnyal szembe lehetett forgatni. Ezekről az első feljegyzés 1185-ből származik. Körülbelül 100 évvel később megjelent a torony-malom, melynek a tornya kőből vagy téglából épült és a torony tetején csak a sapka tudott elfordulni. Ennek a szélmalom típusnak a másik változata a köpeny-malom, melynek a tornya hat vagy nyolcszög alakú volt és fából készült.



3. ábra Köpeny-malom segéd vitorlával [5]

A következő évszázadokban a szélkerekek lapátozása fejlődött. Új fejlesztés volt a hagyományos rácsos lapátozáson összehúzható vászon, vagy a rugós vitorla. Ezeknek a fejlesztések a célja a szélmalomok megóvása volt. A rugós vitorla esetében már nem használtak vitorlavásznat, a szélkerék fából épült, ami zsalukat tartalmazott. Ezeket a zsalukat nyitni és zárni lehetett, illetve hirtelen szélhőkésésk esetén egy rugó automatikusan nyitotta őket. Másik nagyobb fejlesztés a segédvitorla volt, mely az uralkodó szélirányba forgatta a szélkereket.



4. ábra Rugós szélmalomvitorla [6]

A rugós vitorlát Andrew Meikle 1772-ben találta fel, majd Stephen Hooper 1782-ben megalkotta a görgős rövidítésű vitorlát, ami a szélkerekekre kifeszített vásznakat húzta össze

automatikusan. Ezt követően Meikle és Hooper ötleteit William Cubitt egyesítette 1807-ben. Majd 1860-ban Angliában Cubitt lapátozásával és a légfékkel elkészült az első teljesen automata szélmalom.

Az 1876-os chicagói világkiállításon mutatták be az amerikai típusú szélkereket. Ez egy soklapátos, lassú járású szélkerék volt, amivel vizet szivattyúztak. Az eddig ismertett szélmalomokhoz képest fontos újításokat tartalmazott, ilyen volt az ívelt lapátolás és a viharvédelem. [1, 2, 4]



5. ábra Amerikai típusú szélkerék [7]

Az első szélturbinát 1887-ben James Blyth skót mérnök építette. Blyth a széltrubinával akkumulátorokat töltött fel, melyekkel marykirki nyaralójában világított. A szerkezet forradalmi újítás volt, de az üzemeltetése nem volt gazdaságos. [8]

1888-ban Charles F. Brush az amerikai típusú szélkereket felhasználva építette meg az első amerikai szélgenerátort, ami 20 évig működött és 12 kW teljesítményt tudott leadni. Brush szélturbinája gazdaságosan üzemelt, és Blythéval ellentétben beépített viharvédelmet is tartalmazott.

Az ezt követő évtizedekben világszerte megindult a szélturbina és a szélfarmok telepítése. 1931-ben Yaltában építették meg a jelenleg használt vízszintes tengelyű szélturbinák elődjét, mely 100 kW teljesítményű volt.

Az 1970-es 80-as évek olajválsága és a nukleáris energiaforrásoktól való félelem ösztönzően hatott a megújuló energiaforrások optimálisabb kiaknázására, így a szélturbinák is egyre jobb és jobb hatásfokúak lettek. Jelenleg a szélturbinák lapátozása a repüléstechnikából ismert szárnyprofilok geometriájával készül. A lapátok gyártása közben a profilokat a hossz mentén elcsavarják. A közel azonos teljesítmény biztosításához a pitch controlt használják, vagyis a lapátokat a szélesebbség függvényében, a tengelyük körül forgatják. [9]



6. ábra Pitch Control [10]

A vízszintes tengelyű szélturbinákon kívül léteznek függőleges tengelyű szélturbinák is. Ezek közül a legelterjedtebb típusú a Darrieus és a Savonius kerék.



7. ábra Darrieus és Savon kerék [11, 12]

SZÉLERŐMŰVEK A VILÁGON

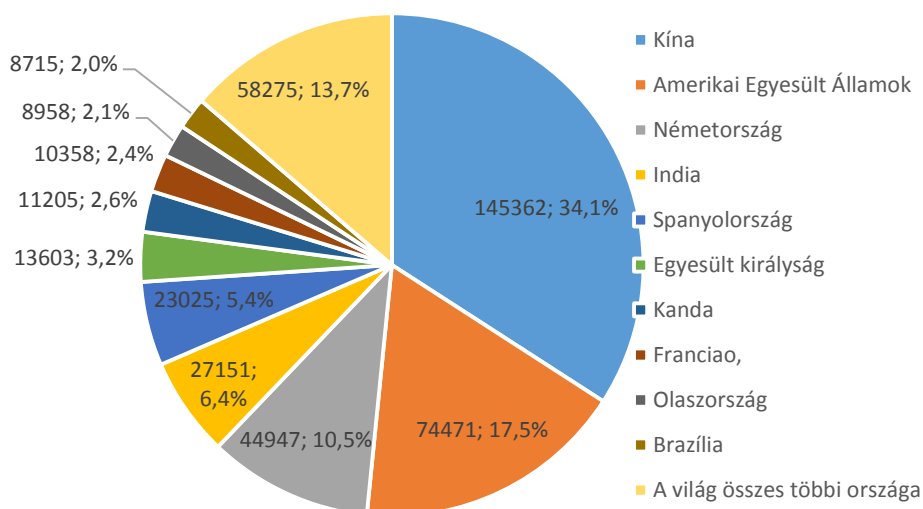
Az IEA (International Energy Agency) becslése szerint, 2013-ban összesen 13541 Mtoe (157481,83 TWh), azaz 13541 millió tonna nyersolaj energiatartalmával egyenértékű energiát állított elő az emberiség. Ebből 1106 Mtoe (12862,78 TWh) volt az Európai Unió energiafogyasztása, Magyarországé 15,4 Mtoe (177,94 TWh). [13, 14] Ezek az energiafelhasználási adatok azért érdekesek, mert a Havard Egyetem kutatása alapján 22-szer több energia nyerhető ki a szélből, mint amennyit elhasználunk. [15] A szélturbinák üzemeltetésének további számos előnye van, ilyen például az, hogy

- üzemeltetés közben nincsenek kibocsájtott gázok, melyek az üvegházhatást növelnék,
- kutatások szerint, a szélfarmok keltette turbulenciák miatt a környező területeken a nyári melegben 2,5-3 °C-szal alacsonyabb a hőmérséklet, [16]
- szélerőművek bárhova telepíthetők, akár településektől messze, a „semmi” közepére, tengerpartok mentén a tengerbe, vagy akár a sarkvidéki jégmezőkre,

- az 1980-as évek óta tapasztalható fejlődésnek köszönhetően, a szélenergiával előállított elektromos áram ára jelentősen csökkent, és várhatóan tovább csökken.

A szélenergia egyre nagyobb szerepet vállalnak a világ energiatermelésében. A növekvő trendnek Kína az egyik legjobb példája, ahol a beépített kapacitás 2005-ben 1,26 GW volt, majd 2016-ban elérte a 149 GW-ot. Tehát Kína 11 év alatt körülbelül 120-szorosára növelte a telepített szélenergia kapacitását. [17]

Ebben az időszakban a világ jelenlegi öt legnagyobb telepített teljesítményével rendelkező országa közül, az Egyesült Államok kilencszeresére, Németország háromszorosára, India ötszörösére, Spanyolország duplájára növelte a telepített szélenergia kapacitását. [18, 19, 20, 21]

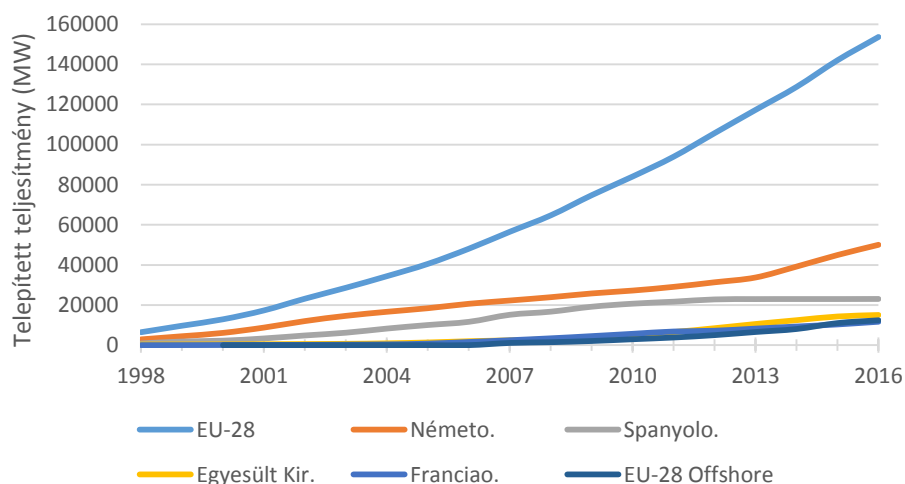


8. ábra Telepített szélenergia kapacitása országoként MW-ban (2015) [22]

Szélenergia Európában

Az Európai Unió 2020 stratégiájában szereplő cél az, hogy a felhasznált villamosenergia ötödét megújuló energiaforrásból fedezzék. 2014-ben az EU-ban felhasznált villamos energia 16%-át állították elő megújuló energiaforrásból, melynek felét szélenergiával termelték, 128751 MW összteljesítményű telepített szélenergia kapacitással. [23]

A 2020-as stratégia teljesítését elősegíti a növekvő szélenergia hasznosítási tendencia, melyet a következő ábra szemléltet. A diagramon az EU szárazföldre és tengerre telepített szélenergia kapacitása látható 1998-2016-ig, kiemelve az Unió négy legnagyobb szélenergiahasznosító országát.



9. ábra Az EU 28 tagállamának szárazföldi és tengeri összes, Németország, Spanyolország, Egyesült Királyság és Franciaország telepített szél erőműveinek teljesítménye 1998-2016-ig [24]

Az Európai Szélenergia Szövetség (EWEA) becslése szerint 2020-ra az unió energiafelhasználásának 14-17%-át szélenergiából fedezik. Ehhez 230 GW teljesítményű szél erőművet szükséges telepíteni, amit 190 GW szárazföldi és 40 GW tengeri szél erőművel terveznek elérni. [24]

Az EU 28 tagállama közül Németország 2015 év végén 26772 telepített szél erőművel rendelkezik, melyek összesen 44470 MW teljesítményűek. Ezzel Kína és az Egyesült Államok mögött a világ harmadik legnagyobb teljesítményű szél erőműparkját birtokolja. Szél erőművei az ország energiaszükségletének 13,3%-át tudják előállítani. Németország tervei szerint 2020-ra 7,6 GW, 2030-ra 26 GW összteljesítményű szél erőművet telepít, melynek nagyrésze tengeri szél erőmű lesz. [19]

Spanyolország a 2015-ös adatok alapján, a világ 5. legnagyobb szélenergia hasznosítója. Összesen 23031 MW telepített szél erőművel rendelkezik. [21]

Az EU-ból jelenleg kilépés alatt álló Egyesült Királyság a világ 6. legnagyobb telepített teljesítményű szél erőműparkját birtokolja. Ez megközelítőleg 7250 szél erőművet jelent, melynek 14,6 GW az összteljesítménye. Ezt a teljesítményt 9,5 GW szárazföldi és 5,1 GW tengeri szél erőmű biztosítja. Angliában található a világ legnagyobb offshore szél erőműve, a London Array, mely 175 erőművel rendelkezik, összteljesítménye 630 MW. [25, 26]

Az 1970-es, 80-as években Dánia úttörő szerepet vállalt a szél erőművek kereskedelmi forgalomba hozatalával, ezt a piaci helyzetét jelenleg is tartja. 2015-ben Dánia 5007 MW telepített erőművel rendelkezik. [27]

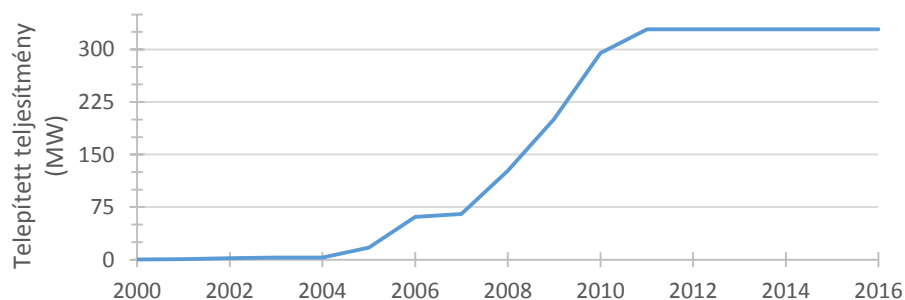
A holland Nederlandse Spoorwegen vasúttársaság naponta 5500 járatot üzemeltet, 2017. január 1-je óta a 100%-ban szélenergiából nyert árammal. A vonatokhoz az energiát a holland Eneco biztosítja. Az energiaszolgáltató kalkulációja alapján egy szél erőmű egyóránnyi üzemeltetéséből származó energiával egy vonat 200 kilométert képes megtenni. [28]

Szél erőművek Magyarországon

Magyarországon a szél erőművek telepítése a nyolcvanas években kezdődött, a Kiskunhalasi Állami Gazdaság legelőin végezett kísérletekkel. Ezen a területen egy SZGV 3,6 típusú szél erőmotort telepítettek, amit vízhúzásra használtak. Naponta átlagosan 14 m³ vizet termelt, ami 300 marhát látott el ivóvízzel. [29; 34-35 o.]

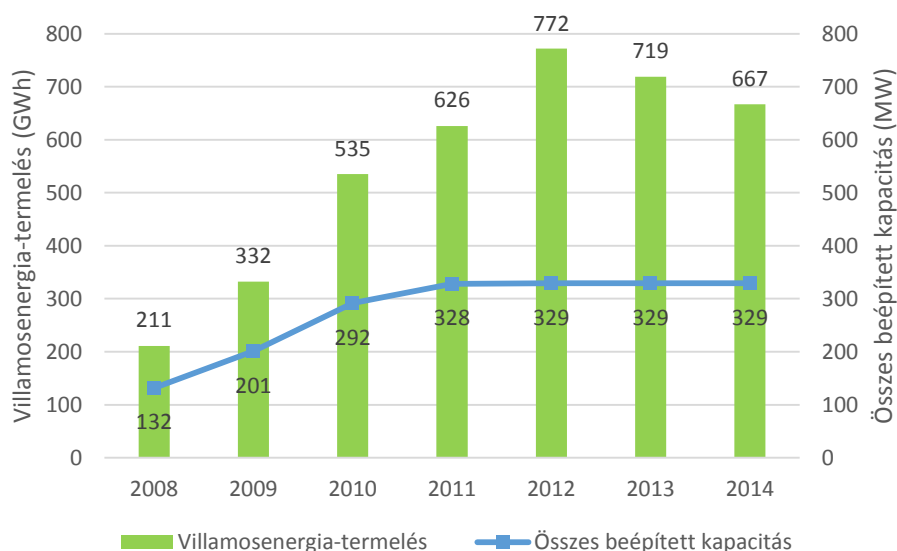
Az első szél erőműveket, melyek elektromos áramot termeltek 2000-ben Inotán és 2001-ben Kulcson telepítették. Az inotai Nordex N 29/250 típusú, 250 kW-, a kulcsi Enercon E-40-es típusú, 600 kW teljesítményű szél erőmű. 2011-ig további 170 szél erőművet telepítettek.

Magyarországon jelenleg a 172 szélturbina összteljesítménye 329325 kW. A turbinák döntő többsége Komárom vonzáskörzetében és az északnyugati országrészben található. [30, 31, 32] 2011-től a szélerőmű telepítés megtorpant, nagy teljesítményű szélturbinát az utóbbi években nem telepítettek Magyarországon.



10. ábra Magyarországi telepített szélerőművek teljesítménye MW-ban, 1998-2016-ig [24]

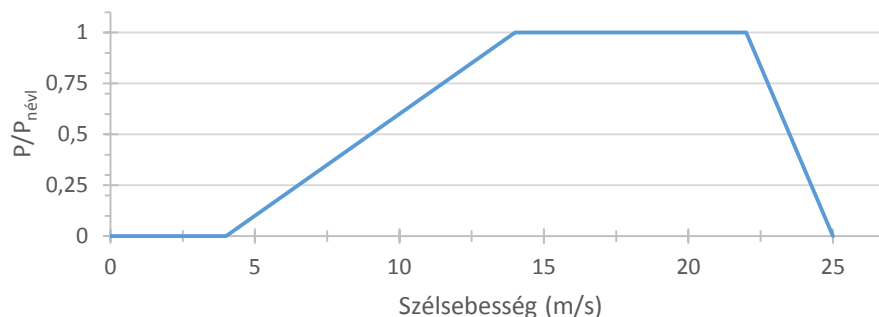
Magyarország 2014-es energiafelhasználása 963 PJ volt. Ebben az évben megújuló energiaforrásokból 85,8 PJ-t termelt az ország, melynek 2,8%-át (2,4 PJ) szélenergiából állította elő. [33, 34] A szélerőművek éves energiatermelése és a telepített teljesítmény viszonya a következő diagramon látható.



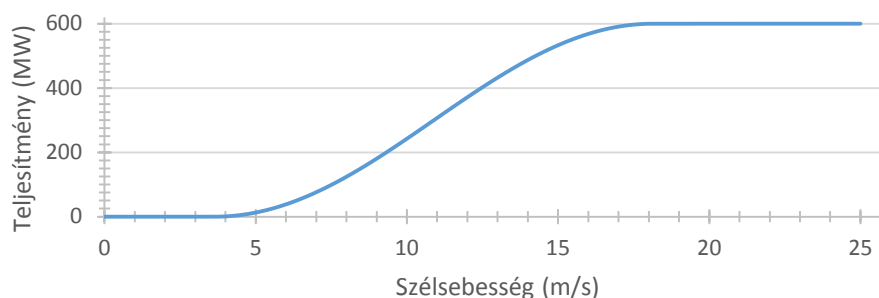
11. ábra Szélerőművek kapacitása és villamosenergia-termelése 2008-2014 [33, 34]

AZ IDEÁLIS SZÉLTURBINÁK HATÁSFOKA

A szélenergia hasznosításának kulcsfontosságú tényezője a szél. A szélkerekek 2-4 m/s szélsébség felett kezdenek el működni és névleges teljesítményüket 12-16 m/s szélsébségnél érik el. Ennél gyorsabb szélsébségnél a szélerőmű teljesítménye már nem nő, majd 25 m/s szélsébségnél a viharvédelmi rendszer leállítja a szélkereket. A szélerőművek elvi és a kulcsi szélerőmű jelleggörbéje a következő ábrákon látható. [35]

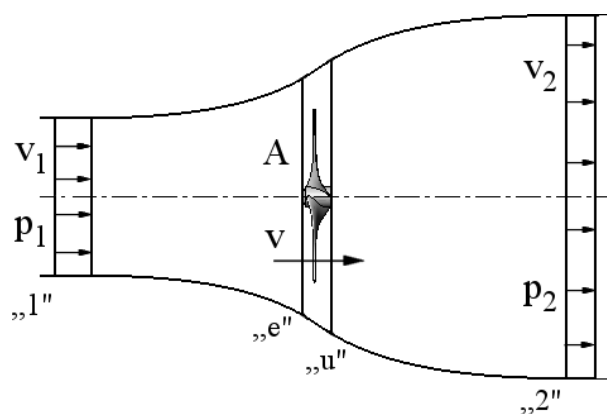


12. ábra A szélérőmű elvi jelleggörbéje [35]



13. ábra A kulcsi szélérőmű (Enercon E-40) jelleggörbéje [35]

Amennyiben ideális sebességgel fúj a szél, a szélben rejlő erő nem használható fel teljes mértékben. Ezt írja le a Betz törvény, mely legkönnyebben a sugárelmélettel vezethető le. Ehhez egy idealizált esetet kell vizsgálni, ahol az áramlási térben a szélkerék végtelen számú lapátból áll, így egy tárcsával helyettesítő. Az áramlásban a levegő összenyomhatatlan, surlódásmentesen és laminárisan áramlik, fokozatosan lassul, a nyomáseloszlás és a tolóerő egyenletes a körtárcsán.



14. ábra A rotor és az áramlási tér

A vizsgált áramlási térbe belépő szél v_1 sebességgel áramlik, áthalad a rotoron, közben lassul, majd kellően messze a szélkerék mögött kilép az áramlási térrészből v_2 sebességgel. A vizsgált térrészre két lépésben felírható a Bernoulli egyenlet, mivel a rotort helyettesítő körtárcsa az áramlási teret két részre osztja.

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_e^2 + p_e \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_u^2 + p_u = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + p_2 \quad (2)$$

Az egyenletekben

- ρ , a sűrűség,
- v , a szél áramlási sebessége,
- p , a nyomás.

Az egyenletet átrendezve a következő felírást kapjuk:

$$p_1 - p_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_e^2 - v_1^2) \quad (3)$$

$$p_u - p_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_u^2) \quad (4)$$

Tételezzük fel azt, hogy a szélkerék előtti és a szélkerék utáni sebesség, és az áramlási térrészbe belépő és kilépő nyomás azonos.

$$v_e = v_u \quad (5)$$

$$p_1 = p_2 \quad (6)$$

Ha az előző két egyenletet összeadjuk, az alábbi összefüggést kapjuk:

$$p_u - p_e = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad (7)$$

Ezt követően vezessük be a szélkeréken áthaladó szélesebességet, ami az áramlási térrész két ellenőrző felületén áthaladó szélesebességek számtani közepe.

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (8)$$

Ennek a segítségével felírható a rotorkeresztmetszeten bekövetkező impulzusváltozás, amivel a nyomáskülönbségből származó erő tart egyensúlyt.

$$F = \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1 - v_2) \quad (9)$$

Fentiek ismeretében az A keresztmetszetű rotor teljesítménye:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (10)$$

A műveleteket elvégezve és behelyettesítve a (8)-et, a következő egyenletet kapjuk:

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_1^3 - v_2 \cdot v_1^2 + v_1 \cdot v_2^2 - v_2^3) \quad (11)$$

Az egyenletből emeljük ki v_1^3 -öt:

$$P = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \cdot \left(1 - \frac{v_2}{v_1} + \frac{v_2^2}{v_1^2} - \frac{v_2^3}{v_1^3} \right) \quad (12)$$

A szélkerék teljesítménymaximuma ott van, ahol az egyenlet deriváltja egyenlő 0-val.

$$\frac{dP}{dx} = 0 \quad (13)$$

Az egyenlet akkor egyenlő 0-val, ha az egyik gyöke a $v_2/v_1 = -1$, a másik $v_2/v_1 = 1/3$. A $v_2/v_1 = -1$ gyök nem valós gyök, mert ebben az esetben a szél megfordul, így csak a $v_2/v_1 = 1/3$ a valós gyök, azaz a kilépő oldali szélesebesség a belépő oldali szélesebesség harmada.

$$v_2 = \frac{1}{3} \cdot v_1 \quad (14)$$

Ezt visszahelyettesítve a szélkerék legnagyobb teljesítménye

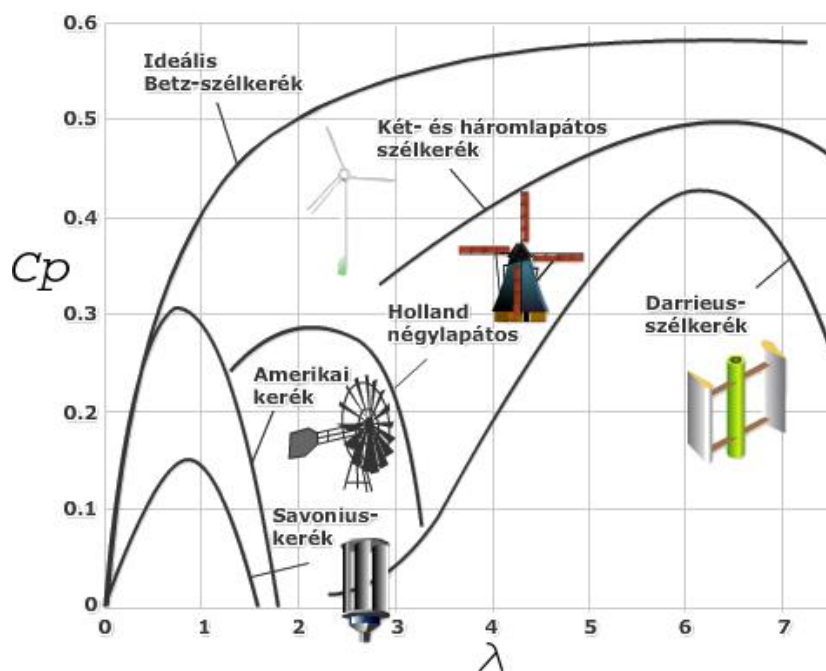
$$P_{max} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad (15)$$

Az egyenletben C_p az ideális szélkerék teljesítménytényezője, értéke $16/27 \approx 0,5926$ [29; 125-127 o.]. A valóságban használt szélkerekek az ideálisnál alacsonyabb teljesítménytényezővel üzemelnek, ez látható a gyorsjáratati tényező függvényében a következő ábrán. Az ábra értelmezéséhez vezessük be a gyorsjáratati tényezőt, ami azt mutatja meg, hogy a szélkerék kerületi sebessége a beérkező szélsébségénél hányszor nagyobb.

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega}{v} \quad (16)$$

Az egyenletben

- R , a szélkerék sugara,
- ω , a szélkerék szögsebessége,
- v , a szélkeréken áthaladó szél sebessége.



15. ábra Az ideális és a valós teljesítménytényezők a gyorsjáratitényező függvényében [2]

Az előző ábrát vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a két és háromlapátos szélkerekek teljesítménytényezője közelíti meg legjobban a $16/27$ -es teljesítménytényezőt, kb. $6,5$ -es gyorsjáratati tényezőnél.

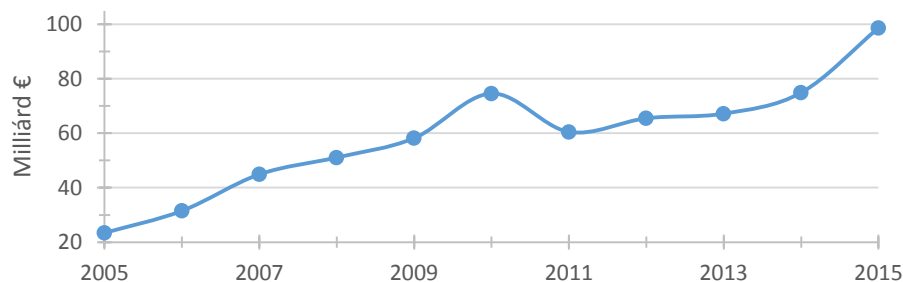
KÖVETKEZTETÉSEK

Az előzőekben ismertettem a szélturbinák fejlődéstörténetét a Nish Toofantól az utóbbi időben elterjedt vízszintes tengelyű szélturbináig.

Napjainkban egyre nő a szélturbinák iránti kereslet, és ezzel párhuzamosan nőnek a K+F tevékenységekre fordított források is. 2015-ben a szélenergiával foglalkozó kutatások költsége 98,7 milliárd euró volt, amely az összes megújuló energiaforrásra fordított K+F költségnak a 38%-át jelentette. [23] Ezek a kutatások többek között a szélkerék geometriai

felépítésével, a szélturbinák környezetének mezőgazdasági hasznosításával, a szélfarmok elrendezésével, a gyártási költségek csökkentésével, a szélturbinák szabályozásával, a megtermelt villamosenergia hálózatba táplálásával foglalkoztak.

A jövőben a széleróművek iránti kereslet további növekedése várható. Az ideális szélkerékhez képest a szélturbinák jelenleg 70-80%-os hatásokon működnek. Napjaink kutatóinak a feladata, hogy ezen a hatásfokon javítsanak és minél jobban közelítsék meg az ideális teljesítménytényezőt. A megtermelt energiát a villamos hálózatba a jelenleginél optimálisabban és szabályozottabban táplálják be.



16. ábra Szélenergiára fordított K+F tevékenységek költségei 2005-2015-ig [23]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szélenergia, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Szélenergia> (2017.04.06.)
- [2] Szlivka Ferenc, Molnár Ildikó: Víz- és szélenergia hasznosítás, Edutus Főiskola Kiadó, 2012, http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_10_viz_es_szelenergia/ch03s06.html (2017.04.07.)
- [3] Napsugarak dőlésszöge tavaszi és nyári napéjegyenlőségkor http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/earth_sun_angles.gif (2017.04.06.)
- [4] Nashtifan Windmills, <http://historicaliran.blogspot.hu/2012/03/nashtifan-windmills.html> (2017.04.07.)
- [5] Szélmalom, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Szélmalom> (2017.04.07.)
- [6] Rugós szélmalomvitorla, https://londonpostcodewalks.files.wordpress.com/2013/05/2013-06-08_15-04-37_570.jpg (2017.04.07.)
- [7] Amerikai típusú szélkerék <http://cometwindmills.com.au/wp-content/uploads/2016/06/DSCF7227-1024x768.jpg> (2017.04.12.)
- [8] James Blyth (engineer) [https://en.wikipedia.org/wiki/James_Blyth_\(engineer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/James_Blyth_(engineer)) (2017.04.12.)
- [9] Wind turbine https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine (2017.04.12.)
- [10] Pitch Control <http://usuarios.tinet.cat/zefir/fotos/000/pitch%20zefir2.jpg> (2017.04.20.)
- [11] Darrieus kerék <http://cf.ltkcdn.net/greenliving/images/std/147289-218x325-Darrieus.jpg> (2017.04.12.)
- [12] Savon kerék <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/1a/8a/20/1a8a20af83b0d041adb410e8c0156506.jpg> (2017.04.12.)

- [13] World energy consumption https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption (2017.04.23.)
- [14] Eurostat Final energy consumption, 1990–2014 [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Final_energy_consumption,_1990%E2%80%932014_\(million_tonnes_of_oil_equivalent\)_YB16.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Final_energy_consumption,_1990%E2%80%932014_(million_tonnes_of_oil_equivalent)_YB16.png) (2017.04.23.)
- [15] Xi Lu, Michael B. McElroy, Juha Kiviluoma: Global Potential for Wind-Generated Electricity, 2009 https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/5029362/Lu_Wind_PNAS.pdf?sequence=2 (2017.04.23.)
- [16] Wind farm https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm#Agriculture (2017.04.23.)
- [17] Wind power in China https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_China (2017.04.24.)
- [18] Wind power in the United States https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_the_United_States (2017.04.24.)
- [19] Wind power in Germany https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Germany (2017.04.23.)
- [20] Wind power in India https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_India (2017.04.24.)
- [21] Wind power in Spain https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Spain (2017.04.23.)
- [22] Wind power https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power (2017.04.24)
- [23] European Environment Agency: Renewable energy in Europe 2017, Koppenhága, 2017. ISSN 1977-8449 http://www.eea.europa.eu/publications/renewable-energy-in-europe-2017/at_download/file (2017.04.24.)
- [24] Wind power in the European Union https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_the_European_Union (2017.04.23.)
- [25] Wind power in the United Kingdom https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_the_United_Kingdom (2017.04.23.)
- [26] London Array https://en.wikipedia.org/wiki/London_Array (2017.04.23.)
- [27] Wind power in Denmark https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power_in_Denmark (2017.04.23.)
- [28] Szélerergia hajtja a holland vonatokat http://index.hu/tech/2017/01/11/szelerergiabol_nyert_arammal_kozlekednek_a_holland_vonatok/ (2017.04.25.)
- [29] Szerk: Tóth László, Horváth Gábor: Alternatív energia - Szélmotorok, szélgenerátorok, Szaktudás Kiadó Ház 2003. ISBN 963 9553 03 4
- [30] Kulcsi szélerőmű https://hu.wikipedia.org/wiki/Kulcsi_szeleromu (2017.03.24.)
- [31] Inotai szélerőmű https://hu.wikipedia.org/wiki/Inotai_szeleromu (2017.03.24.)
- [32] Magyarország szélerőművek listája https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorszagi_szeleromuvek_listaja (2017.03.24.)
- [33] Központi Statisztikai Hivatal: Magyarország, 2015. Budapest, 2016 <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mo/mo2015.pdf> ISSN: 1416-2768, 177-178. o.

- [34] Központi Statisztikai Hivatal: Magyarország, 2014. Budapest, 2015
<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/mo/mo2014.pdf> 210. ISSN: 1416-2768;
210. o.
- [35] Büki Gergely: Erőművek, Műegyetemi kiadó, 2004 BP, ISBN 963 420 788, 483-485. o.