

# SZÉL- ÉS NAPERŐMŰVEK NYERSANYAGIGÉNYE EGY TISZTA ENERGIARENDSZERBEN

*Dr. Bodor Sarolta, Dr. Hugyecz Attila – 2020. május 29.*

A nemzetközi irodalom tanulmányozása közben arra lettünk figyelmesek, hogy az elmúlt hetekben az **Európai Bizottságnál<sup>1</sup>** és a **Világbanknál<sup>2</sup>** is arról szóló tanulmányok jelentek meg, hogy a megújuló energiaforrások terjedéséhez szükséges nyersanyagok rendelkezésre állnak-e, és ezen nyersanyagok importja esetén felmerül-e ellátási kockázat. A kérdéskör láthatóan egyre inkább előtérbe kerül, ezért mi is külön anyagban szólunk róla. (Az EU számára kritikus nyersanyagok importjával kapcsolatos kockázatok felismerése nem régi téma, 2007-2008 körül merült fel első alkalommal...)

**Az Európai Bizottság friss tanulmányában különböző dekarbonizációs útitervet mentén** az erőművek jövőbeni kapacitása, élettartama, az egyes szél- és naperőművi technológiák piaci részesedése és anyagintenzitása alapján – a jövőbeni, ezekre vonatkozó technológiai fejlődést is figyelembe véve – **többféle scenáriót alkotott arra vonatkozóan, hogy mennyi nyersanyagra lesz szükség a különböző dekarbonizációs célok eléréséhez 2050-ig.** (Kommunikációban a közepes anyagigényű scenárió használata célszerű, ez konzervatív megközelítést jelent. A szerzők szerint ez az alap scenárió, miközben az alacsony és nagy anyagigényű scenáriókat a tanulmány extrém forgatókönyveknek nevezi, melyekben az ésszerűen elérhető legalacsonyabb és várható legnagyobb anyagigényeket tünteti fel.)

## **1. Szélerőművek**

**Kezdjük a szélerőművekkel,** nézzük meg, milyen anyagokból állnak, és mekkora mennyiségek beépítéséről van szó.

Szélerőművek sebességváltós és közvetlen meghajtású változatban készülnek, ezek érdemben különböző felépítmények: generátoraikban, hajtásláncukban, tömegükben és a hozzájuk felhasznált anyagokban is jelentősen különböznek. A sebességváltós változatok vagy nem tartalmaznak állandó mágneseket, vagy csak keveset, de nehezek, és karbantartásigényesek, nagyobb méretekben és tengeri környezetben nem annyira versenyképesek. A közvetlen meghajtású szélturbinák legfőbb előnye, hogy kisebbek, könnyebbek, és kevésbé karbantartásigényesek, így tengeri telepítésre sokkal alkalmasabbak. A kisebb szélesebességet is ki tudják használni, és hatékonyabbak is. Ezzel szemben nagy állandó mágnessel rendelkező generátoruk van, de létezik olyan kialakítás is, amely képes az állandó mágneseket nélkülözni. Léteznek hibrid megoldások is.

A szélerőművek fő részei az alapzat, a torony, a generátorház és a rotor (lapátok és forgórész). Nem csak az atomenergia-iparban vannak nagy súlyú berendezések: **egy 3,5 MW-os szélturbina alapzata 1500-2000 tonna, maga a szélturbina (torony+generátorház+rotor) 600 tonna,** a torony falvastagsága 150 mm körüli. Az alapzat teszi ki az erőmű tömegének  $\frac{3}{4}$ -ét, a torony kb. 14%-ot, a generátorház 5%-ot, a rotor 4%-ot képvisel. Az alapzat jellemzően vasbeton, a felépítmény 90%-ban vas, acél, rozsdamentes acél.

**Az alábbi táblázatban feltüntetjük, hogy egy 3,5 MW-os szélturbina gyártásához milyen anyagokból mennyit, és mely területen használnak.**

<sup>1</sup> European Commission (2020): Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonized energy system

<sup>2</sup> IBRD (2020): Minerals for Climate Action, The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition

	Mérték- egység	Egy db 3,5 MW-os turbina anyagszüksége	Felhasználás területe	Felhasználás jellege
Beton	t	852-1446	Alapzat	Szerkezeti anyag
Acél	t	375-462	alapzat, torony, generátorház, rotor	Szerkezeti anyag
Polimerek	t	16	főleg kábelburkolat	Szerkezeti anyag
Üvegszálás / szénszálás kompozitok	t	27-29	rotorlapátok (szénszállal és szőtt üvegszállal erősített epoxigyanta), generátorház-burkolat (üvegszállal erősített polietilén és sztirol)	Szerkezeti anyag
Alumínium	t	1,8-5,6	torony, generátorház, kábelezés, elektronikai alkatrészek, trafótekercek	Szerkezeti anyag
Bór	kg	0-21	állandó mágnesek	Technológia-specifikus anyag
Króm	t	1,6-2,0	ötvözött acélokhoz	Szerkezeti anyag
Réz	t	3,3-17,5	generátor álló és forgórész tekerceselés, kábelezés, transzformátortekercsek	Szerkezeti anyag
Diszprózium	kg	7-60	állandó mágnesek a generátorban és másutt (rögzítésre)	Technológia-specifikus anyag
(Öntött) vas	t	63-73	állandó mágnesek, főtengely, sebességváltó, generátor	Szerkezeti anyag
Mangán	t	2,7-2,8	ötvözött acélokhoz	Szerkezeti anyag
Molibdén	kg	347-417	ötvözött acélokhoz	Szerkezeti anyag
Neodímium	kg	42-630	állandó mágnesek a generátorban és másutt (rögzítésre)	Technológia-specifikus anyag
Nikkel	kg	840-1540	ötvözött acélokhoz	Szerkezeti anyag
Prazeodímium	kg	0-123	állandó mágnesekhez (neodímium mellett)	Technológia-specifikus anyag
Terbium	kg	0-25	állandó mágnesekben a diszprózium helyettesítésére	Technológia-specifikus anyag
Cink	t	19	torony korrózióvédelmére, egyes alkatrészek bevonatolására	Szerkezeti anyag

*Forrás: saját számítás az első lábjegyzetben foglalt forrás alapján*

### Eredmények európai uniós szinten

**Az EU-ra vonatkozó, közepes anyagigényű, és a megújulás kapacitások tekintetében egyébként az EU dekarbonizációs terveivel összhangban lévő scenárió szerint** (2030-ra a kötelező célok, 2050-re karbonsemleges EU) **az uniós szélenergia-ipari anyagfelhasználás a hasonló célú uniós, 2018. évi felhasználási szinthez képest 2030-ra legalább megduplázódik, 2050-re 3,5-5-szörösére nő.**

Ebben a közepes anyagigényű és dekarbonizáció szempontjából közepesen ambiciózus scenárióban 2050-ben csak az EU szélenergia-ipara annyi diszpróziumot és terbiumot használna fel, ami a mai globális éves kitermelés több mint 22%-a.

*A közepes anyagigényű forgatókönyv eredményei az EU-ra*

	Növekedés a 2018. évi uniós szélenergia-ipari felhasználáshoz képest	
	2030-ra	2050-re
Szerkezeti anyagok	2,5x	5x
Technológia-specifikus anyagok	2x	3,5x
	A 2018. évi globális termelési mennyiség ekkora hányadát használnánk fel az EU szélenergia-iparában	
	2030-ban	2050-ben
Diszprózium	15%	22%
Neodímium	8%	12%
Prazeodímium	5%	8%
Terbium	17%	25%

**Az anyagigényesebb és egyben az EU ambiciózusabb dekarbonizációs céljainak megfelelő scenárióban** (az Európai Zöld Megállapásban foglalt cél szerinti 55% ÜHG-csökkentés elérése 2030-ra és majdnem teljes dekarbonizáció 2050-re) **az uniós szélenergia-ipari nyersanyagigény 2030-ra 5-szörösére, 2050-re 11-15-szörösére nő.** Ebben a scenárióban 2050-ben az EU szélenergia-ipara a 2018. évi globális diszprózium- és terbiumtermelés teljes mennyiségét felhasználná, neodímium esetén annak 56%-át, prazeodímium esetén pedig 35%-át.

*A nagy anyagigényű forgatókönyv eredményei az EU-ra*

	Növekedés a 2018. évi uniós szélenergia-ipari felhasználáshoz képest	
	2030-ra	2050-re
Szerkezeti anyagok	5x	11,5x
Technológia-specifikus anyagok	6x	14,5x
	A 2018. évi globális termelési mennyiség ekkora hányadát használnánk fel az EU szélenergia-iparában	
	2030-ban	2050-ben
Diszprózium	39%	99%
Neodímium	22%	56%
Prazeodímium	14%	35%
Terbium	45%	111%
Molibdén	2,4%	5,6%
Cink	2,5%	5,8%

*Eredmények globálisan*

**Globális szinten a szélenergia-ipari nyersanyag-felhasználás a közepes anyagigényű és egyúttal közepesen ambiciózus dekarbonizációs forgatókönyvben** (50% esély marad arra, hogy a globális átlaghőmérséklet-növekedés 1,75°C alatt maradjon és 2050-re az energiaszektor dekarbonizálódjon) **2030-ra és 2050-re is 2,5-szörösére nő. Az iparág annyi diszpróziumot, neodímiumot és terbiumot igényelne, amely a 2018. évi globális kitermelés 30-60%-ának felel meg** (ezt vesd össze a szerkezeti anyagok esetében ez a részarány csak 1-2%).

**A nagyobb anyagigényű és egyúttal dekarbonizációs szempontból ambiciózusabb globális scenárióban** (2050-re 100% megújuló energia, a globális átlaghőmérséklet-növekedés 1,5°C alatt marad) **a szélenergia-ipar**

nyersanyagigénye 2030-ra és 2050-re is 6-8-szorosára növekszik, eközben a bór és az említett ritkaföldfémek kereslete 2030-ra 8-10-szeresére, 2050-re 12-15-szörösére emelkedik.

*A nagy anyagigényű forgatókönyv eredményei globálisan*

	Növekedés a 2018. évi globális szélerőművek felhasználásához képest	
	2030-ra	2050-re
Szerkezeti anyagok	6,5x	7,5x
Bór	10x	15x
Diszprózium	8,5x	11,7x
Neodímium	9x	13x
Prazeodímium	9,5x	13,8x
Terbium	8,8x	11,9x
	A 2018. évi globális termelési mennyiség ekkora hányadát használnánk fel globálisan szélerőművek	
	2030-ban	2050-ben
Diszprózium	195%	270%
Neodímium	115%	162%
Prazeodímium	65%	95%
Terbium	250%	340%
Molibdén	13,2%	15,5%
Cink	14,0%	16,2%

**A fenti táblázatból kitűnik, hogy a globálisan 100% megújulás forgatókönyvhöz már 2030-ban is a szélerőművekhez használt ritkaföldfémek 2018. évi globális kitermelésének akár többszörösére lenne szükség (ezt az Európai Bizottság tanulmánya írja).**

Összehasonlításképpen jelezzük, hogy a többi szerkezeti anyag esetében ez az arány mindössze 0,5-8%: nikkal esetében 7-8%, acél, beton, króm, réz esetében a 2018. évben gyártott/kitermelt mennyiség 2-4%-ára lenne szükség, alumínium, vas, bór, mangán és műanyagok esetében a 2018. évi mennyiség 1%-ánál kevesebb is elég lenne.

## **2. Napelemek**

**Az Európai Bizottság elemzése a napelemekre vonatkozóan is három különböző anyagigényre vonatkozó szcenáriót állított össze**, melyben a megújulás kapacitások, az erőművek várható élettartamára, az egyes technológiák piaci részesedésére és anyagintenzitására vonatkozó különböző feltételezésekkel éltek (a technológia-specifikus anyagok felhasználása terén például az egy cella gyártásához használt anyagmennyiség érdemi, akár 30-95%-os csökkenését is feltételezték). E feltételezések kombinációja alapján alakult ki a 3 különböző anyagigényű szcenárió: **kis-, közepes és nagy anyagigényű végeredmény, melyek közül a megújuló erőművi kapacitás és a dekarbonizációs törekvések szempontjából utóbbi kettő van összhangban az EU hosszú távú törekvéseivel.** (Megjegyezzük, hogy a fenti szélerőművi anyagmennyiségek és a lenti napelemes anyagmennyiségek összeadandók, ugyanis a forgatókönyvek nem kizárólag egyik vagy másik technológiára vonatkoznak, hanem a dekarbonizációs forgatókönyvek mindkét technológia használatával számolnak.)

**Napelemekből** is különböző technológiák ismertek. **A legelterjedtebbek a kristályos szilícium alapú technológiák (c-Si), piaci részesedésük 95,4%.** A fennmaradó piaci részt a vékonyréteg-technológia alapú napelemek töltik ki, ezek (1) kadmium-tellúr alapú (CdTe) (2) réz-indium-gallium-szelén alapú (ún. CIGS) és (3) amorf szilícium alapú technológiákra (ún. a-Si) oszthatók.

Anyagfelhasználás szempontból a napelemek is feloszthatók szerkezeti anyagokra, és technológia-specifikus anyagokra, utóbbiak a napelemcella gyártásához szükségesek. Az alábbi táblázatban feltüntettük, milyen és mekkora mennyiségű anyagra van szükség egy MW naperőmű létesítéséhez.

Technológia	Anyag	Mérték-egység	Egy MW-nyi naperómű anyagszüksége	Felhasználás területe
Minden naperómű (szerkezeti anyagok)	beton	t	60,7	tartószerkezet
	acél	t	67,9	tartószerkezet
	műanyag	t	8,6	burkolatok
	üveg	t	46,4	cellák elő- és hátlapja, külső fedőréteg
	alumínium	t	7,5	panelkeret, tartószerkezet
	réz	t	4,6	kábelezés, trafók, inverterek
	<b>Technológia-specifikus anyagok</b>			
c-Si	szilícium	t	4	cellagyártás
	ezüst	kg	20	cellagyártás
CdTe	kadmium	kg	35-85	cellagyártás
	tellúr	kg	35-95	cellagyártás
CIGS	réz	kg	20-24	cellagyártás
	indium	kg	10-27	cellagyártás
	gallium	kg	3-7	cellagyártás
	szelén	kg	22-60	cellagyártás
a-Si	szilícium	kg	150	cellagyártás
	germánium	kg	48	cellagyártás

Forrás: az első lábjegyzetben foglalt forrás, pp. 39-40.

### Eredmények európai uniós szinten

**Az uniós közepes anyagigényű** (és az EU 2030-as céljait feltételező, és 2050-ig karbonsemleges uniót eredményező) **szcenárióban a napelemek gyártásához szükséges réz, műanyag, alumínium, üveg, beton és acél felhasználása** a 2018. évi hasonló célú, uniós felhasználáshoz képest **2050-re 6-7-szeresére nő. A technológia-specifikus anyaghasználat (2050-re) 3-8 szorosára emelkedik: leginkább a gallium (6x), a germánium (7,5x), az indium (6-7x) és a szelén (6x) felhasználása ugrik meg.**

A nagyobb anyagigényű, és egyben ambiciózusabb dekarbonizációs célt tartalmazó forgatókönyv szerint a szerkezeti anyagok felhasználása 2030-ra és 2050-re rendre 8 és 21-szeresére nő. A technológia-specifikus anyagok közül az ezüst felhasználása 2050-re 4-szeresére, a szilíciumé 12-szeresére, a kadmium, a gallium, az indium, a szelén és a tellúr felhasználása közel 40-szeresére, a germánium felhasználása pedig 86-szorosára nő.

**Az évenkénti kitermelésben mérve a közepes anyagigényű forgatókönyv esetén nem merül fel extrém szűk keresztmetszet.** A nagy anyagigényű scenárió esetén viszont felmerül az, hogy az egyes anyagokból a napelemgyártó iparág óriási mennyiséget használna fel: germániumból 2030-ban a 2018. évi globális(!) kitermelés 22%-ának megfelelő mennyiséget, 2050-ben 75%-ának megfelelő mennyiséget, tellúrból 2030-ban 60%-nyit, 2050-ben több mint 160%-nyit használnánk fel (mindezt tehát csak az EU ellátásához szükséges napelemekbe épülne be).

### Globálisan

**A közepes anyagigényű scenárióban globálisan a napelemekhez használt szerkezeti anyagok felhasználása 2030-ra alig változik, 2050-re 2,5-szörösére nő. A technológia-specifikus anyagok között 2030-ra csökkenés (ezüst, szilícium) is előfordul, vagy alig van változás, 2050-re a növekedés mértéke 1-3-szoros.**

A nagy anyagigényű scenárióban a szerkezeti anyagok felhasználása 2030-ra 5-szörösére, 2050-re 7-szeresére nő. A technológia-specifikus anyagok felhasználása 2050-re az ezüst és a szilícium kivételével kb. 12-szeresére (Cd, Ga, In, Se, Te), germánium esetén 28-szorosára nő.

Ez utóbbi, nagy anyagigényű forgatókönyvek esetén a germánium felhasználása 2030-ban a 2018. évi kitermelés másfélszeresét, 2050-ben 3-szorosát érné el, a tellúr esetében 2030-ban a 2018-as kitermelés 4,5-szeresére, 2050-ben 6,5-szeresére lenne szüksége pusztán a napelemek gyártó iparágnak, miközben beton vagy acél esetén csak a 2018. évi felhasználás 1-3%-át használná fel.

### Összefoglalva a szél- és naperőművek anyagigényét az EU-ra vonatkozóan

A közepes anyagigényű forgatókönyvben...

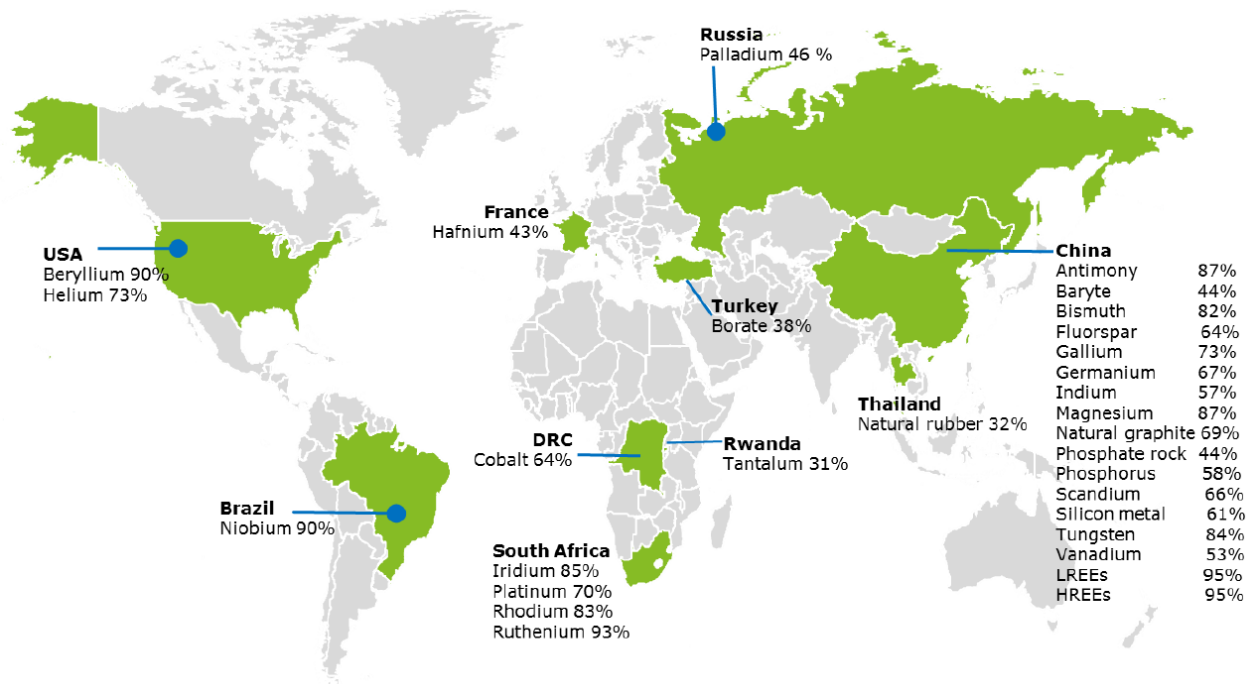
- ... a szélerőművek gyártásához szükséges szerkezeti anyagok mennyisége 5-szörösére nő 2050-re, a technológia-specifikus anyagok mennyisége 3,5-szeresére. A gyártáshoz szükséges ritkaföldfémek mennyisége a 2018. évi, globálisan kitermelt mennyiség 8-25%-át emésztí fel. Ez a neodímium, a diszprózium, a prazeodímium és a terbium piacaira óriási nyomást helyez.
- ... a napelemek esetében 2050-re a germánium felhasználása 7,5-szeresére, az indium, réz, műanyagok, alumínium, üveg, beton, acél felhasználása 6-7-szeresére, a gallium és a szelén felhasználása 6-szorosára, a tellúr, kadmium és szilícium felhasználása 3-4-szeresére nő (mindez a technológiai fejlődés figyelembe vételével). A napelemek esetében különösen a germánium és a tellúr piacaira nehezedik majd nagy nyomás.

### A csattanó

**Az EU-ra vonatkozó forgatókönyvben a szélerőművek által különösen érintett anyagok** (neodímium, diszprózium, prazeodímium, terbium) **mindegyike ritkaföldfém, amelyet az EU-ban egyáltalán nem bányásznak, sőt, amelyek globális kitermelésének 95%-a Kínában zajlik. Ezek a nyersanyagok az Európai Bizottság egy másik, a nyersanyagok importkockázataival és ellátásbiztonságával foglalkozó dokumentuma<sup>3</sup> szerint kritikus nyersanyagok, melyek esetében ellátási kockázat merül fel.**

Az EU-s forgatókönyv által **a napelemek által különösen érintett** germánium és tellúr közül a **germániumot a fenti bizottsági anyag ugyanúgy kritikus nyersanyagként minősíti, melynek globális kitermelésének 67%-áért Kína felel.**

*Az EU által kritikusnak ítélt nyersanyagok és a fő kitermelő országok a termelési részarányal*



Megj.: a Kínánál szereplő LREEs és HREEs jelenti a könnyű és nehéz ritkaföldfémeket, ide tartoznak a szélerőművi kritikus nyersanyagok; Forrás: a 3. lábjegyzetben foglalt anyag, p. 15.

*Érdeklőség: a Paks II. projektben 4,68 millió tonna betont fogunk felhasználni, és az erőmű a 60 éves élettartama alatt 1141 TWh villanyt fog megtermelni. Ugyanennyi beton felhasználásával hazánkban 2673db 3,5MW-os szélerőművet tudnánk építeni, melyek teljes élettartamuk során (25 év) csak feleannyi villanyt termelnének (585 TWh), mint az új atomerőmű.*

<sup>3</sup> European Commission (2017): Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Criticality Assessments, p. 14.