

Honnan lesz energiánk?

Ez a kérdés foglalkoztat ma kis túlzással kicsit és nagyot szerte a világban. Nagyon felértékelődött a különböző energiafajták hozzáférhetősége, gazdaságossága, ára, ökológiai lábnyoma stb. Ezekben a kérdésekben szeretnénk az év folyamán, esetleg a későbbiekben is (ez szerzőinktől függ) eligazodást nyújtani – elsősorban a szakmai oldalra koncentrálni, de nem elvonatkoztatva a fent felvázolt további kérdésektől. A politikát nem kívánjuk érinteni, hacsak a gazdasági vonatkozások nem feltétlenül indokolják, hogy utaljunk a politikai tényező szerepére. Hiszen a döntéseket természetesen mindig és mindenütt a politikának kell meghoznia. Mi segíteni szeretnénk olvasóinkat, hogy tisztábban lássanak a potenciális lehetőségek sokaságában.

Kiss Tamás

Lente Gábor

■ PTE TTK Kémiai Intézet lented@gamma.ttk.pte.hu

2035: Szén-dioxid-odüsszeia

Az Európai Parlament tevékenységéről a Magyar Kémikusok Lapja kivételesen ritkán számol be, ez a gyakorlat minden bizsonnyal az olvasók helyeslésével is találkozunk. Ennek a cikknek az apropója mégis az Európai Parlament első olvasatban 2023. február 14-én elfogadott, az (EU) 2019/631 rendeletnek az új személygépkocsikra és az új könnyű haszongépjárművekre vonatkozó szén-dioxid-kibocsátási előírásoknak az Unió fokozott éghajlatvédelmi törekvéseivel összhangban való megerősítése tekintetében történő módosításáról szóló állásfoglalása (https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0039_HU.html), amelynek híre az elfogadás napján a sajtót is bejárta. Ennek oka az volt, hogy az állásfoglalás tartalmazta a korábbi, 2019-ben hozott rendelet következő módosítását:

„(5a) 2035. január 1-jétől a következő teljes uniós járműállományra vonatkozó célértékeket kell alkalmazni:

a) az új személygépkocsik állományának átlagos kibocsátásai tekintetében az I. melléklet A. részének 6.1.3. pontjával összhangban meghatározott 2021. évi célérték 100%-os csökkentésével egyenlő, a teljes uniós járműállományra vonatkozó célérték;

b) az új könnyű haszongépjárművek állományának átlagos kibocsátásai tekintetében az I. melléklet B. részének 6.1.3. pontjával összhangban meghatározott 2021. évi célérték 100%-os csökkentésével egyenlő, a teljes uniós járműállományra vonatkozó célérték.”

A módosítás szövege tehát 2035 elejétől megtiltja, hogy az Európai Unióban benzin- vagy dízelüzemű autót adjanak el. Ez az intézkedés, ellentétben a szén-dioxid-kibocsátásra nemzetközi egyezményekben korábban tett hangzatos, de valójában tartalmatlan és ellen-örizhetetlen emissziócsökkentési vállalásokkal, nagyon konkrét és könnyen betartatható. Ebből a szempontból az ózont bontó halogénezett szénhidrogén-származékok kibocsátásának korlátozására 1987-ben létrehozott Montréali jegyzőkönyvhöz lehet hasonlítani, amelynek mára nyilvánvaló sikere elsősorban annak volt köszönhető, hogy egyes anyagok használatának tiltását hosszú távra ütemezett, fokoza-tos módon írta elő, s így az ipari résztvevők, ha anyagi áldozatok árán is, de alkalmazkodni tudtak hozzá.

A kőolajból készülő termékek a globális szén-dioxid-kibocsátás nagyjából egynegyedét okozzák, ennek döntő része a járművek üzemanyagából származik, így valóban remélhető, hogy egy ilyen intézkedés elősegíti a klímacélok elérését. Ugyanakkor az EU elhatározása jelenleg teljességgel egyoldalú, amit politikai vezetői úgy fognak fel, hogy Európa utat mutat a világ többi része számára. Az EU az új autóeladások terén az USA-hoz hasonló méretű piac, amelynél jelenleg csak a kínai számít nagyobbak. Ha a gyártást, és nem az

értékesítést tekintjük, akkor Európa globális súlya még nagyobb. Ugyan-akkor nem várható, hogy 2035-ben is hasonló lesz a helyzet: a jelenlegi folyamatok iránya India és Indonézia térnyerése felé mutat. Fennáll a veszélye annak, hogy az EU-s tilalom ugyanolyan viszo-nyokat eredményez majd, mint amilyenek Németország jelenlegi energiatermelését jellemzik: a német energiagazdálkodás látszatra példaértékűen zöld, nagy hányadban megújulóenergia-forrásokon alapul, de a valóságban csak addig fenntartható, amíg a szomszédos országok, mindenekelőtt Franciaország és Lengyelország a némettől gyökeresen eltérő stratégiát követnek (*Magyar Kémikusok Lapja*, 2019, 74, 91–93).

Abban természetesen lehet reménykedni, hogy a tilalom várható bevezetéséig eltelő bő évtizedben az autóiparban olyan technológiai változások történnek majd, amelyek automatikusan húzzák magukkal a világ többi részét is. Mindenesetre az Európai Parlament jól láthatóan azokra a szakértőkre hallgatott, akik szerint a benzin és a gázolaj teljes kiküszöbölése a közlekedésből ilyen időtávlatban nem megvalósíthatatlan cél. A klímacélok azonban csak akkor érhetők el még ilyen gyökeres változtatással is, ha a kőolaj helyébe lépő energiatermelési mód nem jár szén-dioxid-kibocsátással. Ez jelenleg a két kézenfekvő alternatíva – az elektromos, illetve a hidrogénes hajtás – egyikére sem igaz.

Az elektromos autók látványosan terjednek hazánkban is, míg a hidrogénnel üzemelők közül talán egyedül a Toyota Mirai szerepel a magyar kereskedői kínálatában, de listaára sincsen, mert Magyarországon sehol nincs nyilvános hidrogéntöltő állomás. Emiatt ez az írás inkább az elektromos autók elterjedésének feltételeire összpontosít.

Az elektromosenergia-termelés megújuló erőforrásokra átállásához várhatóan szükséges szerkezeti anyagok mennyiségéről a közelmúltban jelent meg alapos tudományos elemzés (*Joule*, 2023, 7, 309–332), az ebben található becslések rövid összefoglalója látható a **1. táblázatban**. A szerkezeti anyag definíciója itt nem teljesen a hagyományos: minden beleszámít, ami az energiatermelési infrastruktúra létrehozásához szükséges. A várható igény mindig alsó és felső korláttal adták meg 95%-os konfidenciaintervallummal, az utolsó előtti oszlopban a várható éves igény kiszámolásánál a mediánt vették figyelembe.

A táblázat adatait akár megnyugtatónak is lehet nevezni. Talán meglepő, de egyedül a tellúr esetében haladja meg a 2050-ig várható igény a jelenleg ismert, gazdaságosan kiaknázható készleteket, illetve még két esetben, a napelemkészítésre alkalmas minőségű szilícium és a diszprózium esetében lenne szükség arra, hogy a jelenlegi gyártási kapacitásokat igen jelentősen bővítsék.



Anyag	M. e. ^a	Éves igény	Teljes igény 2050-ig	Jelenlegi éves termelés	Várható éves igény/jelenlegi éves termelés	Ismert készlet
acél	Mt	55–250	1100–3000	1900	4,7%	n. a. ^b
alumínium	Mt	5,6–21	110–380	68	17%	30.000
cement	Mt	31–105	680–2100	4400	1,6%	n. a. ^b
mangán	Mt	0,01–0,9	0,2–7,6	20	0,2%	150
neodímium	Mt	0,02–0,12	0,36–1,4	0,02	270%	13
nikkel	Mt	0,07–0,3	1,1–4,7	2,7	6,2%	95
réz	Mt	2,1–6,3	41–110	26	14%	880
szilícium ^c	Mt	0,4–3,2	7,2–49	0,75	150%	n. a. ^b
üvegyapot	Mt	1,3–6,6	22–100	4,8	66%	n. a. ^b
üveg	Mt	13–55	230–760	100	20%	n. a. ^b
diszprózium	t	2100–14.000	33.000–160.000	1800	310%	1.100.000
ezüst	t	2100–7600	37.000–110.000	25.000	12%	530.000
gallium	t	16–97	310–1500	550	6,8%	110.000
indium	t	52–290	1000–4400	920	12%	15.000
kadmium	t	710–5200	14.000–82.000	24.000	8,0%	500.000
szelén	t	170–1500	3300–24.000	3300	16%	100.000
tellúr	t	760–6100	15.000–96.000	580	370%	31.000

^a: használt mértékegység, 1 t = 1000 kg, 1 Mt = 1 000 000 t

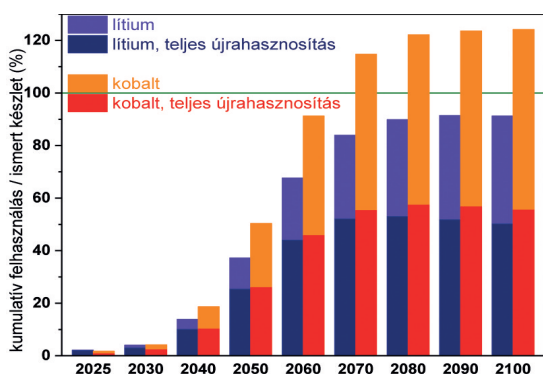
^b: nem értelmezhető adat, mert a potenciális földi készletek minden észszerű gazdasági felhasználást nagyságrendekkel meghaladnak

^c: napelem készítésére alkalmas minőségű szilícium

1. táblázat. Szerkezeti anyagok szükségletadatai a megújuló energiatermelésre áttérés során

A táblázatból feltűnően hiányoznak a lítiumigényre és -készletekre vonatkozó adatok. Ennek oka az, hogy az idézett munkában az elektromos energia megújuló forrásokból történő előállítását vizsgálták és nem a tárolását. Az elektromos autók széles körű elterjedésének feltételeit ilyen szempontból egy 2021-ben megjelent munkában tanulmányozták (*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 144, 111011) egy szűk évszázados időtávlatban. Fontos leszögezni, hogy a jelenlegi lítiumakkumulátorok felépítéséből adódóan nemcsak a 3-as rendszámú elem, hanem a kobalt hozzáférhetősége is aggodalomra adhat okot.

A Föld országainak lítiumtermelése a legutóbbi évtizedben négyeszeresére növekedett, 2021-ben mintegy évi 106 000 tonnát tett ki. A Föld teljes, jelenleg ismert, hozzáférhető készletét lítiumból 16, kobaltból 7 millió tonnára becsülik. A szerzők a cikk rövid összefoglalójában nagyon visszafogottan így fogalmaztak: komoly jelek utalnak arra, hogy a lítium és a kobalt hiánya az évszázad közepére a tisztaenergia-felhasználás körének bővülését fenyegeti majd. Ennél sokkal pesszimistább előrejelzés olvasható ki az **1. ábrából**, amely a világgazdaság előrelátható lítium- és kobaltigényét mutatja be a 21. században évtizedes bontásban. Mindkét elemre két becslés látható: a magasabb oszlop a jelenlegi felhasználási szokásokból következik, az alacsonyab-bik pedig azt feltételezi, hogy ezeket a fémeket a lehető legteljesebb mér-



1. ábra. A gazdaság kumulatív lítium- és kobaltigényének alakulása a 21. században az ismert készletek százalékában

tékben újrahasznosítják. Még a legoptimistább gondolkodásmód is feltételezi, hogy a jelenleg ismert kobalt- és lítiumkészletek több mint felét kellene majd gazdaságilag hasznosítani egyidejűleg.

Ezeket az elemzéseket még 2023. február 14. előtt publikálták, ezért a tizenkét év múlva életbe lépő EU-s tilalom hatását nem vehették figyelembe a gazdasági folyamatokban. Az adatok ismeretében eléggé valószínűtlennek tűnik, hogy 2035-ben a benzin- és gázolaj-üzemű autóparkot döntően elektromos flotta fogja felváltani az érintett országokban. Ezért a jelenleg egyetlen, technikailag is megvalósíthatónak tűnő alternatíva, a hidrogénhajtású autók fejlesztése és a hidrogén-infrastruktúra kiépülése minden bizonnyal új lendületet vesz addig.

Persze csak akkor, ha az új rendelet valóban érvénybe is lép. Vanak jelek arra, hogy ez mégsem lesz így. A szabályozás aláírását, amelyet eredetileg március 7-ére terveztek és pusztán formálisnak tűnt, az Európai Unió Tanácsának jelenlegi svéd elnöksége egy március 3-i bejelentés szerint előre meg nem határozott időre elhalasztotta (<https://www.politico.eu/article/approval-of-eus-2035-combustion-engine-ban-postponed/>). Ennek az oka az lehet, hogy Németország a tilalom bejelentésével együtt az e-üzemanyagok használatában is világos szabályozást szeretne, illetve az ugyancsak jelentős autógyártó Olaszország nem feltétlenül támogatja a rendelet elfogadott formáját. A hírek szerint Lengyelország és Bulgária sem ért egyet a tervekkel. Talán az is sok mindent elmond, hogy az idézett szövegben tiltás helyett a „100%-os csökkentés” megfogalmazás szerepel. Ez lehetővé teszi, hogy egy későbbi politikai alkuban a szabályozásban egyetlen számérték megváltoztatásával megszüntessék a lényegi korlátozásokat anélkül, hogy magát a rendeletet visszavonják. ●●●

A cikk megjelenését a Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal RRF-2.3.1-21-2022-0009 azonosító számú projektjének keretében. A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratóriumot létrehozó intézmények: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Debreceni Egyetem, Energiatudományi Kutatóközpont, Miskolci Egyetem, Neumann János Egyetem, Pannon Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, Széchenyi István Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi Kutatóközpont.