

A lítium-akkumulátorok gyártásának és újrahasznosításának CO₂ mérlege

Az akkumulátoros autók villamos tárolóinak – pontosabban a lítium-ion akkumulátorok – előállítása és a hulladék kezelése eddig kevés figyelmet kapott szakmai körökben. A lítium akkumulátorok gyártása és a hulladék kezelése egyáltalán nem elhanyagolható energiafogyasztással jár, mégpedig igen jelentős széndioxid-felszabadulás mellett.

Az utóbbi időkben ezért számos kutatóintézet alapos vizsgálat alá vette a lítium akkumulátorok gyártásának környezetre gyakorolt hatását. Tekintve, hogy az elektromos autóhasználat napjainkban elsősorban a környezet megóvása érdekében terjed, a tényleges előnye csak a teljes folyamat vizsgálata alapján dönthető el.

Lítium-ion akkumulátor

Az elektromos meghajtás legfontosabb építőeleme a villamos energiát tároló *akkumulátor, illetve akkumulátor csoport*¹. Jelenleg az elektromos autók majdnem kizárólagosan lítium-ion akkumulátorokat használnak. Más akkumulátor-konceptciókkal szemben több előnyös tulajdonsággal rendelkeznek: nagyobb energiasűrűséggel, több töltési ciklust viselnek el, kisebb a memóriahatásuk. Még nem megfelelő a többletsúly, a magas ár és a töltési kapacitás. Kevésbé világos az *életciklus*hoz tartozó nyersanyagkinyerés, a gyártás, újrahasznosítás energiafelhasználása, valamint a velejáró környezetterhelés.

A befektetések szürke (járulékos) energiája és indirekt környezetterhelése

Szürke energia, amely haszonnal kecsgetető befektetés, de energiaráfordítás-

sal és indirekt, azaz nem az üzemeltetésnél, hanem a gyártásnál fellépő emisszióval jár. A technikai gyakorlatban általában a megújított vagy új berendezések, illetve gépszerkezetek kedvezőbb energiafogyasztáshoz és környezeti hatásokhoz vezetnek, mint a korábbi technológiák. A felújított berendezés vagy készülék gyártásánál okozott energiaráfordítások és környezetterhelések a használat (üzemeltetés) során rövid idő után megtérülnek (pl. ház szigetelése, modern fűtési rendszer, kisebb fogyasztású háztartási gép stb.).

Az elektromos autó előállítás is ilyen *szürke energiát* igényelő és *indirekt széndioxid-kibocsátással* (a villamosáram-termelés és egyéb kémiai folyamatok) járó beruházás.

Az új technológiába befektetett szürke energia megtérülése értelemszerűen három tényezőtől függ:

- Az első tényező a *befektetés nagysága*. Ha az új technológia (pl. az akkumulátor túlméretezett tárolókapacitása) túl magas ráfordításokkal jár, akkor a vállalt terhek megtérülési ideje is elnyúlik. Kedvezőtlen feltételek között a főrendszer (gépjármű) rövidebb élettartamú, mint a komponense (akkumulátor). Ez esetben a vállalkozás veszteséges kimenetelű.
- A második tényező az új technológia *élettartama*. Ha az új technológia (pl. akkumulátor) rövidebb élettartamú, mint a főrendszer (pl. gépjármű), akkor az új technológiát még a befektetés megtérülése előtt pótolni kell. A befektetés ekkor: „nem térül meg”.
- A harmadik tényező a bevezetett technológia *használati, illetve üzemeltetési futamideje*. Ha az új technológia *kihaznált-sága* (pl. e-autó a városi közlekedésben az élettartamában kevés kilométert tesz meg vagy sokat áll a garázsban) csekély, akkor a szürke energia nem amortizálódik (ekkor az e-autó fajlagos emissziója [CO₂ g/km] túl nagy).

Az ilyen értékelés természetesen a lítium akkumulátorok objektív megítélésénél is hasznos és szükséges.

Ezért a svájci, ausztriai, németországi és svédországi kutatóintézetek vizsgálatai fokozottan a lítium akkumulátorok szürke energiája által okozott CO₂-kibocsátásra irányultak. Az elemzést kiterjesztették a lítium kitermelésétől, szállításán, tárolásán és az akkumulátor gyártásán túl egészen a gyártmány életciklusának végéig, a hulladékkezelésig.

A vizsgálatok döntően az akkumulátorok minőségétől és a vezetők használati gyakorlatától függően különböző indirekt CO₂-kibocsátást (50-140 g/kWh) eredményeztek.

A svájci kutatóintézet tanulmányt készített az elektromos autó ökomérlegének meghatározására. Minden, a lítium akkumulátor gyártásánál szükséges lépést részletesen értékelték. Az összegzés eredményeként a gyártás akkumulátorkapacitásra vetített energiaszükséglete – energiamérlege – 912 MJ/kWh-ra (253,3 kWh/kWh) adó-

Lítium-ion akkumulátor (Toshiba and Denso) – Forrás: <https://www.drivespark.com/four-wheelers/2017/suzuki-toshiba-denso-manufacture-lithium-ion-batteries-india-021622.html>



¹ A német és angol nyelvű különbséget tesz az akkumulátor (elemek) és a battery (elemek) között.

dott és a folyamat során a széndioxid-kibocsátás 53 kgCO₂/kWh (megújuló energiák nélkül, újrahasznosítást nem számolva) volt.

Az ausztriai tanulmány az anyagfelhasználásra (alumínium, réz) alapult, a CO₂-kibocsátást 63 kg/kWh-ra értékelte. A lítium kiaknázása a sótavakból ezzel szemben viszonylag csekély energiafelhasználással jár, 7,0 gCO₂/kg lítium akkumulátor értékre adódott.

A svájci „ÖKOMÉRLEG” cég (ESU-Services) a japán környezetvédelmi jelentés adatai alapján számította ki a kibocsátást, amely 123 kgCO₂/kWh értékre adódott (a Maxwell Corp. gyártmánya).

A német energetikai és környezetkutatási intézet (IFEU, Heidelberg) által kiszámított kibocsátás 125 kgCO₂/kWh volt.

A svéd IVL intézet tanulmánya (2017) még magasabb értéket tart reálisnak, mégpedig 150-200 kgCO₂/kWh-t.

Lítium kitermelése

Az akkumulátor előállítására Dél-Amerika valamelyik sóiszapjának² a lítiumot tartalmazó vegyületek kitermelésével kezdődik. A mobil elektronikus készülékek fejlesztésében az áttörés lítium nélkül nem valósulhatott volna meg.

Lítium egy alkáli fém, amely főleg kis koncentrációban lítiumot tartalmazó sóoldatokban fordul elő. Elemi állapotában erősen reaktív és gyúlékony. Ennek következményeként csak vegyületeiben kötött formában fordul elő. A lítiumtartalmú sóoldatokból a víz elpárolgatásával és *nátriumkarbonát* (Na₂CO₃) hozzáadásával a kereskedelemben ugyan kezelhető, de nehezen oldódó *lítiumkarbonát* (Li₂CO₃) nyerhető ki.

A fém lítium laboratóriumi körülmények között állítható elő, amikor a lítiumkarbonátot sósavval (HCl) vegyítik, ebben a folyamatban szén-dioxid szabadul fel.

Lítium-ion cella komponensei és anyagai

A lítium-ion akkumulátor rétegezten több cellából áll. Minden egyes cella négy alapkomponensből épül fel:

- Katód: lítium-fémoxid (elektroda)
- Anód: grafit (elektroda)
- Szeparátor, amely a két pólust elválasztja, valamint
- A vízmentes folyékony ionokat vezető elektrolit (organikus oldat)



A Tesla Model S akkumulátorcsomag a fedél eltávolítása után, 18650 cella, 85 kWh energiataralommal – Forrás: <https://qnov.com/peek-inside-the-battery-of-a-tesla-model-s>

Az akkumulátort alumínium vagy alumínium-műanyagház borítja, amelyet a két elektróda között organikus elektrolitoldószer és lítiumsó tölt ki. Az anód lítiumból (vagy 99 % tisztaságú grafitból³), a katód pedig lítium-fémoxidból áll, amelyeket a szeparátor választ el egymástól.

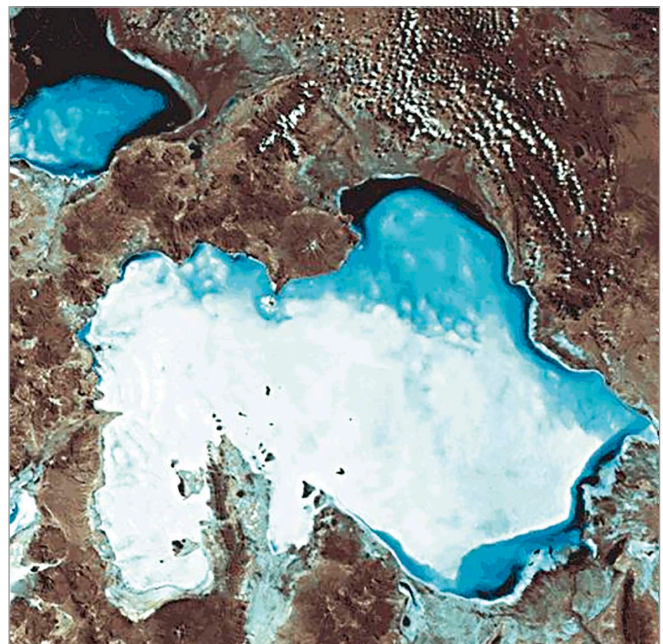
A lítium elektróda (anód) vékonyabb, mint egy hajszál. A lítium-fémoxid készítése: forgó csökemencében magas hőmérsékleten a lítiumot fémmel (kobalt és nikel vagy mangán) oxidálják. A lítium elektródapasztát kötőanyaggal és szén hozzáadásával nagy fordulatszámú centrifugában homogén eleggyé sűrítik, majd egyenesen alumíniumfóliával vonják be. A fóliaalapok is vékonyabbak, mint a hajszál. Az alumíniumfólia áramvezetőként szolgál. Minél sűrűbb a bevonat és vékonyabb az elektródalap, annál nagyobb teljesítményre képes a gyártott akkumulátor.

A szeparátor rétegzett műanyagokból álló lyukacsos szendvicshez hasonlít, amely megakadályozza az anód és a katód közötti érintkezést (rövidzárlatot), de nem gátolja a pozitív lítium-ionok vándorlását.

A működőképes cella e komponensek összeépítésével készül el. A kész cellát nedvességbehatolást-gátló rugalmas alufóliába zárják be. Ezt követően kerül sor az elektrolit és a só vezető betöltésére.

Lítium előállítása

A lítium-ion akkumulátorokat különböző nyersanyagokból (réz, alumínium, műanyag, lítium, grafit, nikel, mangán stb.) mechanikai, kémiai és hőkezelési folyama-



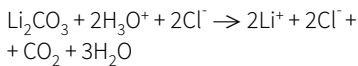
Műholdfelvétel a bolíviai Salar de Uyuni lítiumban gazdag sóiszapokból

² Salar de Uyuni a Föld legnagyobb só tava Bolíviában és a világ egyik legnagyobb lítium lelőhelye

³ Tiszta grafit kokszosodási folyamat útján állítható elő

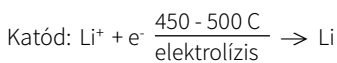
tok bonyolult kombinációja során állítják elő.

A gyártás magfolyamata a következő kémiai egyenleten alapszik:



A fém lítium ipari kinyerése: a lítium-karbonát (Li_2CO_3) sósavas oldatban lítium-kloriddá (LiCl) vegyül és közben szén-dioxid szabadul fel. A klorid az oldatból vákuumos elpárologtatásban kikristályosodik. Ezt követően a lítium, az oldott eutektikus keverékből (52 % súlyarányban lítium-klorid és 48 %-ban kálium-oxid), 450-500 °C-on elektrolízissel elválasztható.

Az elektrolízis során az elektródákon lejátszódó reakciók:



A gyártásnál szürke energia a rendkívül nagy energiateljesítményű, a magas hőmérsékleten tartott keverék és a lezajló kémiai folyamatban felszabaduló szén-dioxid következményeként jön létre.

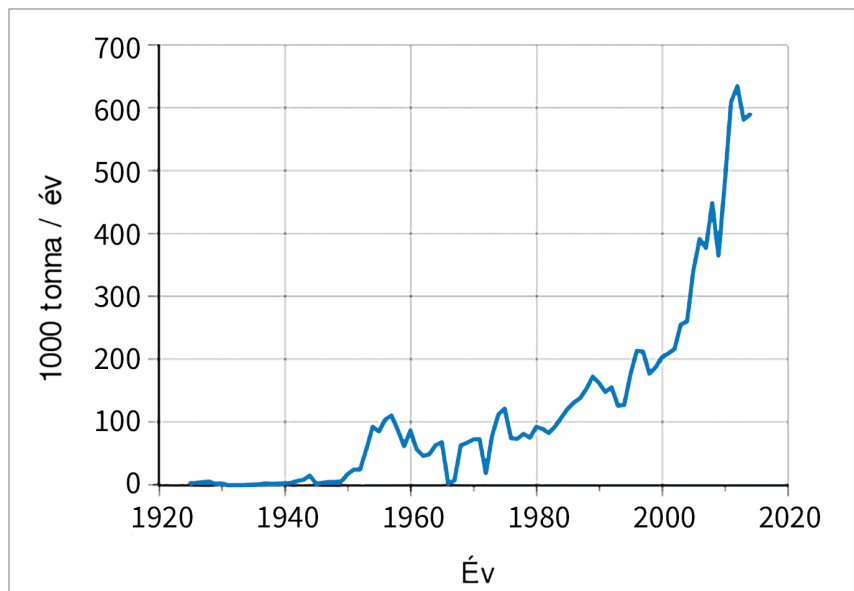
Újrahasznosítás

A lítium gazdasági szempontból igen jelentős nyersanyag. Egyrészt, a hosszútávon az egyre növekvő lítiumkeresletet csak az újrahasznosítás révén lehet fedezni. Másrészt, a kiszolgált akkumulátor környezetkáros anyagokat tartalmaz, amelyek ártalmatlanítása bonyolult és kombinált folyamatokban lehetséges.

A szétszerelt akkumulátorcellák építőanyagai (elektródák, bevonatok) újrahasznosításának különböző alapszempontjai:

- Deaktiválás/lemerítés
- Szétbontás
- Mechanikai folyamatok (aprítás, szűrés, szortírozás stb.)
- Hidrometallurgiai folyamatok (fémkioldás lúgos közegben)
- Pirometallurgiai folyamatok (olvasztás kemencében magas hőmérsékleten, szétválasztás)

A lítium részleges visszanyerése is nagy energiaráfordítást igénylő eljárás. Az első újrahasznosító (recycling) gyár Dél-Korea-



A lítiumtermelés alakulása a világban – Forrás : <https://hu.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADtium>

ban (Gwangyangban) létesült, ahol szabadalmazott eljárásban a lítiumot lítium-karbonáttá (a lítium előterméke) alakítják át.

A fentiekből következik, hogy a lítium-ion akkumulátoros autók elterjedésének fontos feltétele, az akkutelepek újrahasznosító rendszerének megteremtése.

Élettartam

Az elektromos autókba beépített akkumulátorok élettartama korlátozott. Szakemberek abból indulnak ki, hogy lítium-ion akkumulátorok kb. 1000 feltöltés után ki kell cserélni. Egy töltéssel ~100 km-t utazva, az akkumulátor ~100 000 km megtételére alkalmas. A járművek használati gyakoriságtól függően ez kb. 5-10 év élettartamot jelent.

A töltések és lemerülések során elektrokémiai, kémiai és mechanikai folyamatok hatására a rendszer elhasználódik és ezzel akkumulátorok teljesítőképessége csökken.

Ökológiai mérleg

Az elektromos autókba beépített akkumulátorok előállításuk rendkívül nagy energiaráfordítással és indirekt CO_2 -kibocsátással jár. Az akkumulátor megkövetelt újrahasznosítása az energiamérlegre is fokozottan negatívan hat ki. Így minden elektromos autó „egy CO_2 -hátizsákot” hordoz magával, amelyet csak hosszú utazási tá-

volság megtételével lehet ledolgozni, amit viszont az akkumulátor kapacitásának jelentősebb mérséklődése nélkül elvégezhető töltések száma korlátoz.

Az elektromos autó is csak annyira tiszta, mint az a villamos energia, amelyet használ. Ameddig az energia nagyrészt fosszilis üzemanyaggal működtetett hőerőművekből származik (megújuló energia helyett), addig a gyártás, üzemeltetés és az akku újrahasznosítása az elektromos autók környezetmértélegére negatívan hat.

A svájci EMPA (Eidgenössischer Material Prüfungsanstalt) kutatói szerint az európai villamos energiamix-szel üzemeltetett Li-ion elektromos autó a technika mai állásánál csak annyira környezetbarát, mint a 100 kilométerenként 3-4 litert fogyasztó benzines autó.

Az elektromos autó több mint 100 éve létezik⁴ és jelenleg a reneszánszát éli. A jövője elsősorban az ökológiai szempontból megfelelő villamosenergia-termeléstől és a végleges, kiforrott technológiai hajtási koncepciójától függ. A régóta felváltó új technológia nem ismer visszalépést a mindennapi használatban, csak a piaci elfogadottsága dönthet a sikeréről.

Dr. Anisits Ferenc⁵
gépészmérnök
Dr. Tóth László
professzor emeritus

⁴ A ~110 éve bemutatott Lohner-Porsche elektromos autó (első kerekek hajtása egy-egy motorral), 3,5 LE, 44 cellás, 80 V-os akkumulátorral, 3 óra üzemidő, 45-58 km/h végsebesség, 10 mérföld utazás, tömege 980 kg.

⁵ Több mint két évtizedig a BMW Rt. motorfejlesztésnek vezető mérnöke, sok egyéb nemzetközi kitüntetés mellett a Magyar Érdemrend Tiszti keresztje kitüntetésben is részesült.