

ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

2023. június 26.

Vass Viktor

PhD hallgató, I. félév

Témavezető: Prof. Dr. Györök György

Életciklus elemzés:

elektromos akkumulátor-gyártáshoz köthető folyamatok

Életciklus elemzés: elektromos akkumulátor-gyártáshoz köthető folyamatok

▶ Környezetmenedzsment

▶ Életciklus-elemzés

▶ Életciklus-elemzés és az EV
akkumulátorok

▶ Elektromos járművek

▶ Li-ion akkumulátorok

▶ Alapanyagok

▶ Gyártási folyamatok:

1. Elektróda készítés

2. Cella összeállítás

3. Cellagyártás II. fázis

4. Modulgyártás

▶ Hulladékkezelés

Agenda 2030



ENSZ Környezetvédelmi Konferencia
2012 Rio+20 Fenntartható fejlődés Konferencia



környezetvédelmi célok összehangolása



2015: keretrendszer kiadása

Agenda 2030

17 cél, köztük:

- egészség és jólét,
- tiszta víz,
- megfizethető energia,
- fellépést az éghajlatváltozás ellen

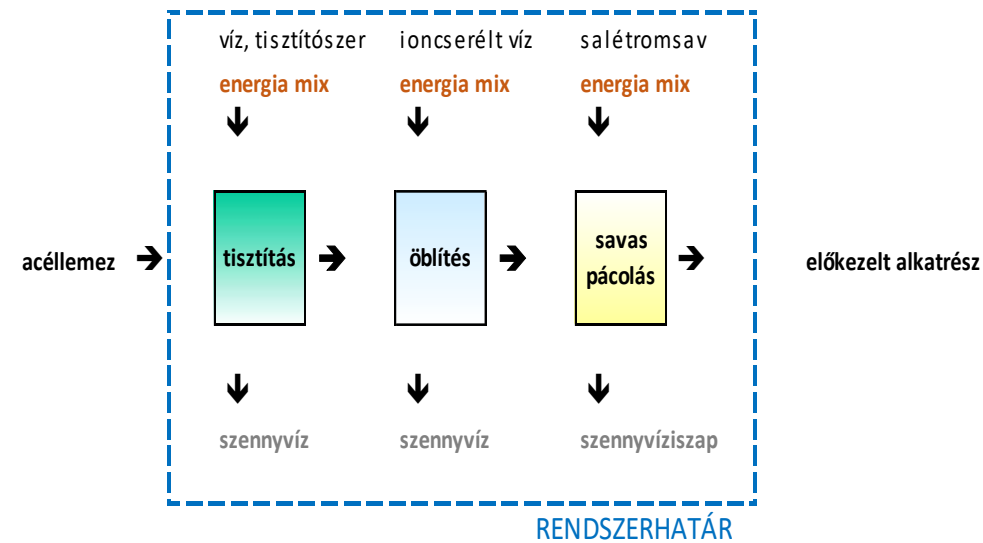
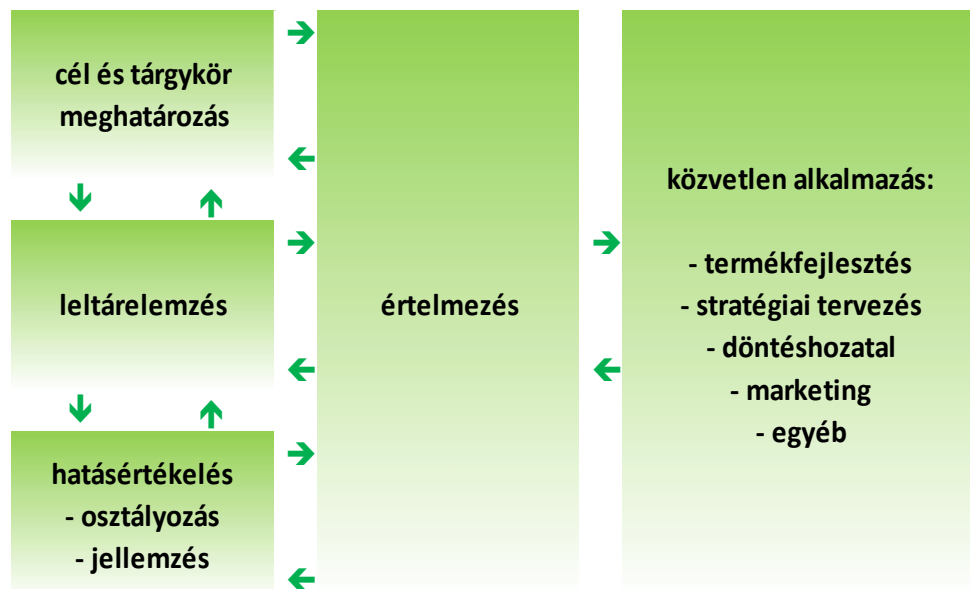
Életciklus-elemzés

Life Cycle Assessment - LCA

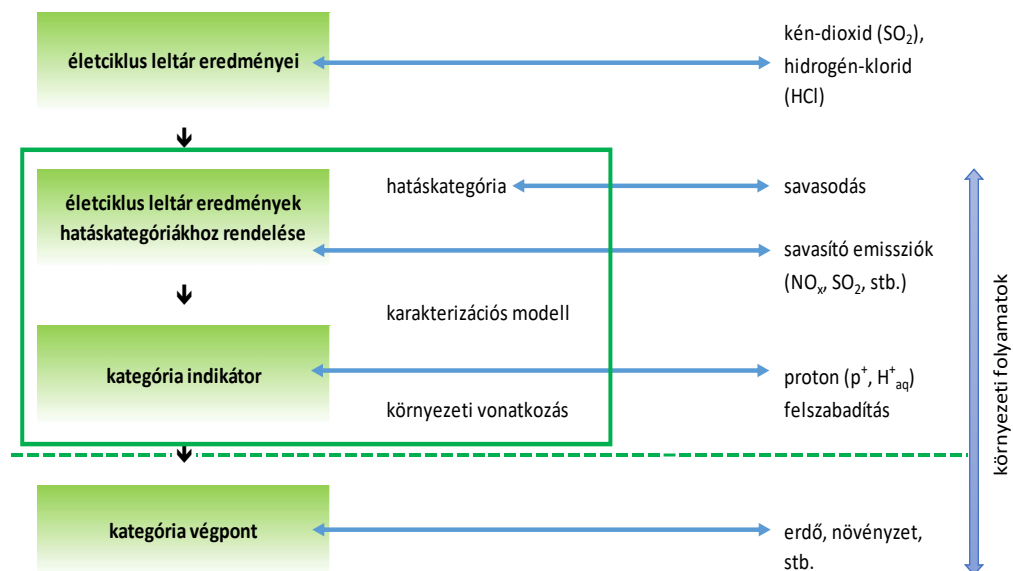


- **MSZ EN ISO 14040** : 2022 EV → alapelvek, keretrendszer
- **MSZ EN ISO 14044** : 2022 EV → követelmények, irányelvek
- **életciklus** (MSZ EN ISO 14040 : 2022 EV): „Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig.”
- **életciklus-elemzés** (MSZ EN ISO 14040 : 2022 EV): „Egy termék hatásrendszeréhez tartozó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során.”

LCA lépések



LCA hatásértékelési módszerek



Hatásértékelési technikák:

- manuális

- szoftveres →  thinkstep GaBi  sphera[®]

Hatásértékelési módok:

- Eco-indicator 99
- CML 2016 aug. → vegyszerigényes eljárásokhoz
- ReCiPe 2016 → vegyszerigényes eljárásokhoz
- Environmental Footprint 2.0

Életciklus-elemzések EV akkumulátorokhoz

szerző	év	téma
von Drachenfels et al.	2023	Li-ion elektromos autó akkumulátor-gyártás életciklus elemzése
Accardo et al.	2021	NCM akkumulátorok életciklus-elemzése
Sadhukhan et al.	2021	Li-ion akkumulátor életciklus-elemzése
Ellingsen et al	2014	Li-ion akkumulátorok életciklus-elemzése
Deng et al.	2017	Li-S akkumulátorok életciklus-elemzése
Falcone et al.	2022	hengeres Li-ion akkumulátorok életciklus-elemzése
Althaus	2010	Akkumulátor alapanyagok életciklus-elemzése
Koroma et al.	2022	akkumulátoros járművek életciklus-elemzése
Tao et al.	2022	réz(II)-koncentrátum gyártás életciklus-elemzése
Ozkan et al.	2017	NYÁK (PCB) gyártás életciklus-elemzése
Kampmann et al.	2019	réz bányászat (Svédország) életciklus-elemzése
Stephens et al.	2001	alumínium öntési eljárások életciklus-elemzése
Kelly et al.	2021	lítium-sók életciklus-elemzése
Tozzi et al.	2017	NMP visszanyerés gyantagyártási hulladékból – életciklus-elemzés
Mohr et al.	2020	Li-ion akkumulátor újrahasznosítás életciklus-elemzése
Gaines et al.	2011	Li-ion akkumulátorgyártás és újrahasznosítás életciklus-elemzése

Akkumulátorok és elektromos autók... Miért?



Lucy Nicholson / Reuters, 2018

- 2010: TDI Clean Diesel
- 2013-2014: West Virginia University mérései alapján 30-50-szeres csalás a károsanyag kibocsátásnál



- 2015 április: **szoftverfrissítésre** hívnak minden 2010-2014 közötti 2 literes dízelmotorral szerelt autót
- 2015 ősz: **Volkswagen dízelbotrány**
- 2018: **335 ezer db visszahívott autó** az USA-ban → 7,4 mrd USD
- 2018-2019: Stuttgart, Frankfurt, Hamburg, Berlin, München korlátozza a dízel-járművek behajtását (Euro 5 / Euro 6 normák)
- 2022. október: EU-ban 2035-től beiltja a benzines és dízeles autókat (javaslat)
- 2023. febr.: **Európa Tanács jóváhagyja** a javaslatot

Akkumulátorok és elektromos autók... Miért?

Oil Reserves by Country

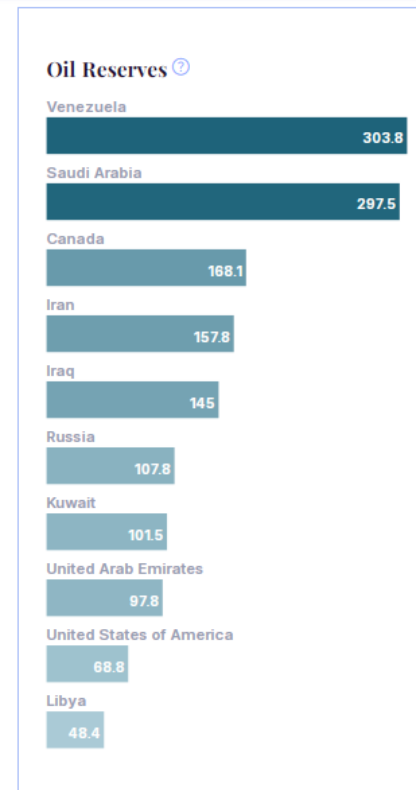
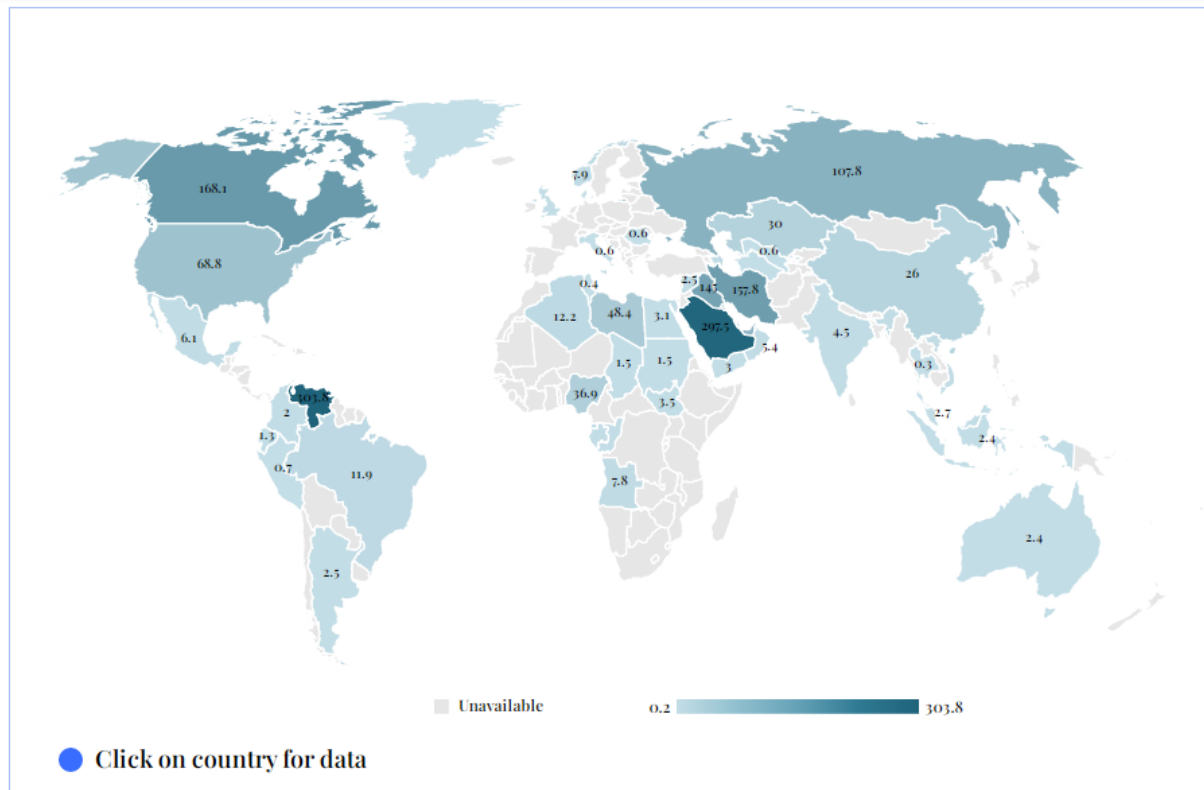


35
Oil Reserves
Global Average

1,405,400 Mbbl/d
Oil Consumption
Global Average

1,868 MMbbl/d
Crude Oil Production
Global Average

228 Mbbl/d
Us Crude Oil Imports
Global Average



- készletek rendelkezésre állása
- földrajzi távolság
- ország nemzetközi viszonya / külpolitika
- belpolitikai helyzet



Lítium-ion akkumulátorok

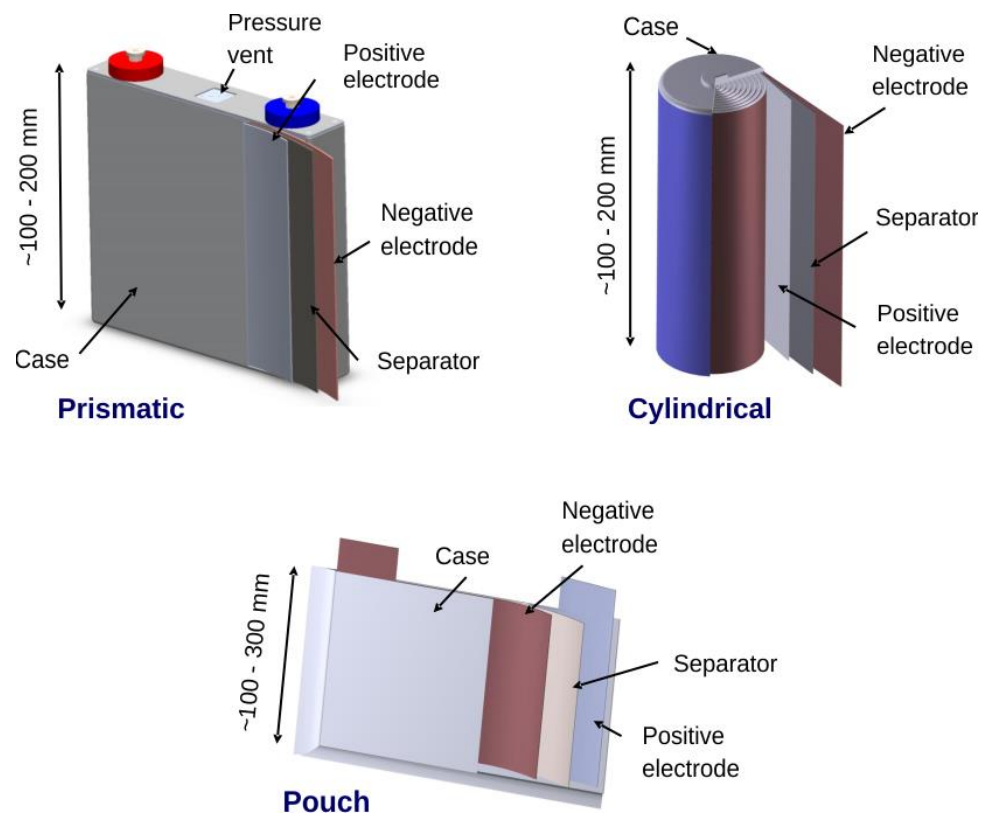
- 70-es évek: Stanley Whittingham felfedez egy rendkívül energiagazdag anyagot, TiS_2 -ből katódot készít amelybe lítium-ion inzertálható,
- 1980: John Goodenough katódként fém-oxidot használt, fém-szulfid helyett, kobalt-oxidba ágyazott lítium-ion akár 4 V feszültséget is le tud adni
- 1985: Akira Yoshino a Goodenough által leírtak alapján elkészítette az első kereskedelmi lítium-ion akkumulátort
- 2019: **kémiai Nobel-díj** John Goodenough, Stanley Whittingham és Akira Yoshino a lítium-ion akkumulátorok fejlesztésért

Volkswagen MEB Platform

Modularer E-Antriebs Baukasten
= moduláris elektromos meghajtású járóplatform



Elektromos autó akkumulátorcellák típusai



pouch (tasak) típusú akkumulátorcella



Grant et al., 2022: a Li-ion akkumulátorok fejlesztése

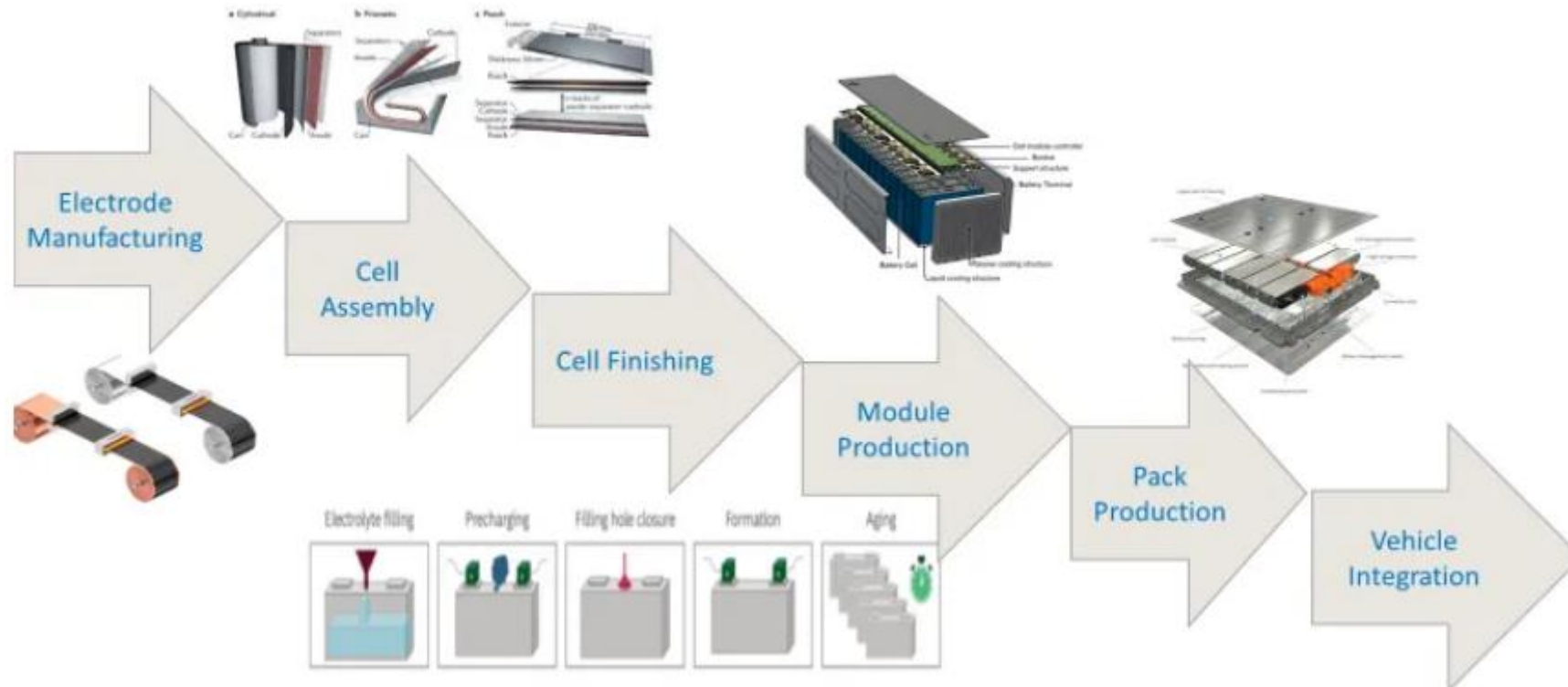
Harks et al., 2015: in-situ fejlesztési módszerek

Li, 2019: teljesítményértékelés Li-ion akkumulátorokhoz

Liu et al., 2019: jelenlegi és jövőbeli Li-ion akkumulátor-gyártás

Nitta et al., 2015: Li-ion alapanyagok jelenleg és a jövőben

EV akkumulátorgyártás főbb lépései



Li-ion akkumulátor gyártási életszakasz

Accardo et al. (2021): Ni, Al, Cu, Co, energia adja a hatáskategóriák fő értékeit, a gyártási életszakasz járul hozzá legjobban a teljes hatáshoz. A 111, 622, 811-es típusú NCM-ek GWP hatáskategória értékei alig térnek el egymástól. A fajlagosan kevesebb mennyiségű nikkelt tartalmazó NCM-ekre rendre jobb ADP, POP, AP értékek adódnak. Dízellel összehasonlítva GWP, POP, ADP és ODP értékek magasabbak az elektromos járműhajtások alkalmazásakor, viszont dízel esetén AP, EP, ADP és az összes toxicitáshoz kapcsolódó mutató jóval alacsonyabb.

A rendszerhatáron belüli hatások

- alapanyagokból vagy
- folyamatból eredően

ezért a fejlesztés szükségszerűen legalább vagy alapanyag vagy a folyamat téren javítással

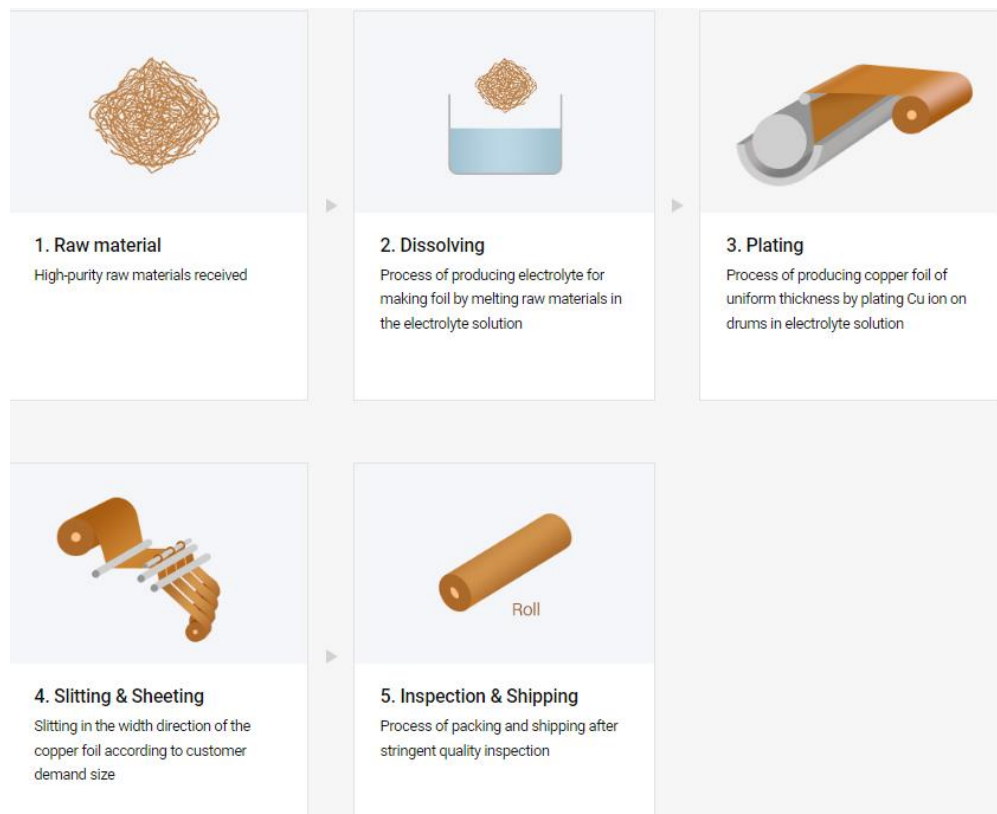
vagy

ideális esetben mindkét tényező együttes fejlesztésével érhető el

NCM, grafit és elektrolit

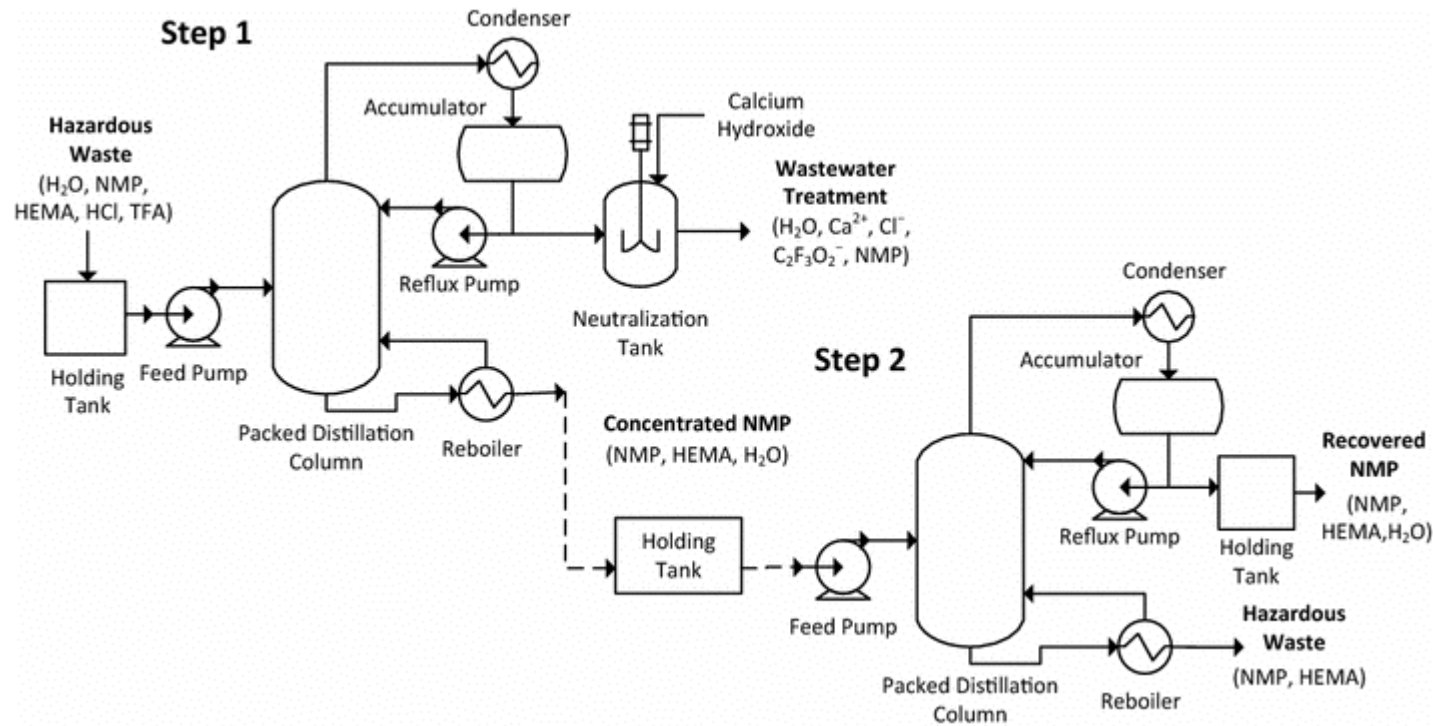
- Entwistle et al., 2022: co-precipitation (NCM): egy lépésben készül el a nikkel-mangán-kobalt mátrix, kevésbé energiaintenzív, sokkal kevesebb víz szükséges
- Liu et al., 1999: NCM anyagok előállítása nikkel-kobalt-mangán-hidroxidból és lítium-nitrátból, 550 °C, megállapította, hogy a 24 órás szárítás kedvezőtlen (minőségromlás)
- Nitta et al., 2015: Li-ion alapanyagok jelenleg és a jövőben

Volta Hungary rézfólia előállítás



- KTL-lel rokon eljárás az elektrodepozíciós fóliaképzés. Előnye, hogy a tisztított rézhulladékból nagy energiakifejtés nélkül, egyszerűen egylépésben lehet jól szabályozott szerkezetű kiváló minőségű rézfóliát gyártani
- minden toxicitási potenciál magas, ez egy vegyi folyamat

NMP visszanyerés



Pastore et al. (2016) gyanta-prekurzorok gyártása során a keletkezett veszélyes hulladékból nyerte vissza

Általánosan elmondható, hogy az OHS előírások miatt a levegőt szűrni kell, emiatt a gyűjtés és elválasztás lehetőségével is számolni kell. Veszélyes hulladékból visszanyerve a hulladék mennyiségét is csökkentjük. Sok esetben a toxicitási potenciál óriási értéke minimális értékre csökken, GWP fog viszont emelkedni (energiahasználat)

Alacsony hőmérsékleten sóoldvadékkaal való alumínium-fólia elválasztás

Efficient Separation of Aluminum Foil and Cathode Materials from Spent Lithium-Ion Batteries Using a Low-Temperature Molten Salt

Mengmeng Wang, Quanyin Tan, Lili Liu, and Jinhui Li*

Cite this: *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2019, 7, 9, 8287–8294
 Publication Date: April 8, 2019
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06694>
 Copyright © 2019 American Chemical Society
[RIGHTS & PERMISSIONS](#)

Jinhui Li

State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China

*E-mail: jinhui@tsinghua.edu.cn. Tel.: +86-10-62794143. Fax: +86-10-62772048.

More by Jinhui Li

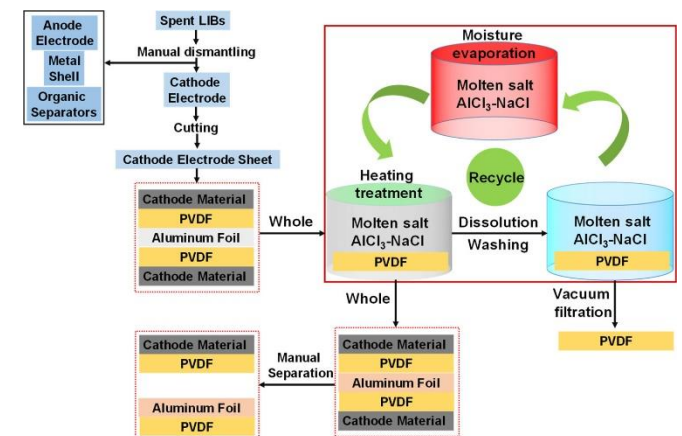
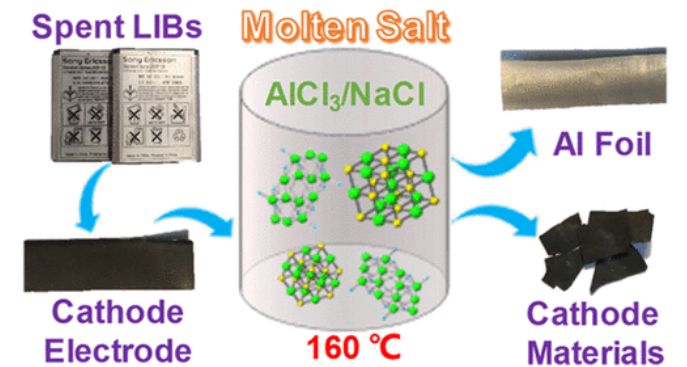
Add to Export



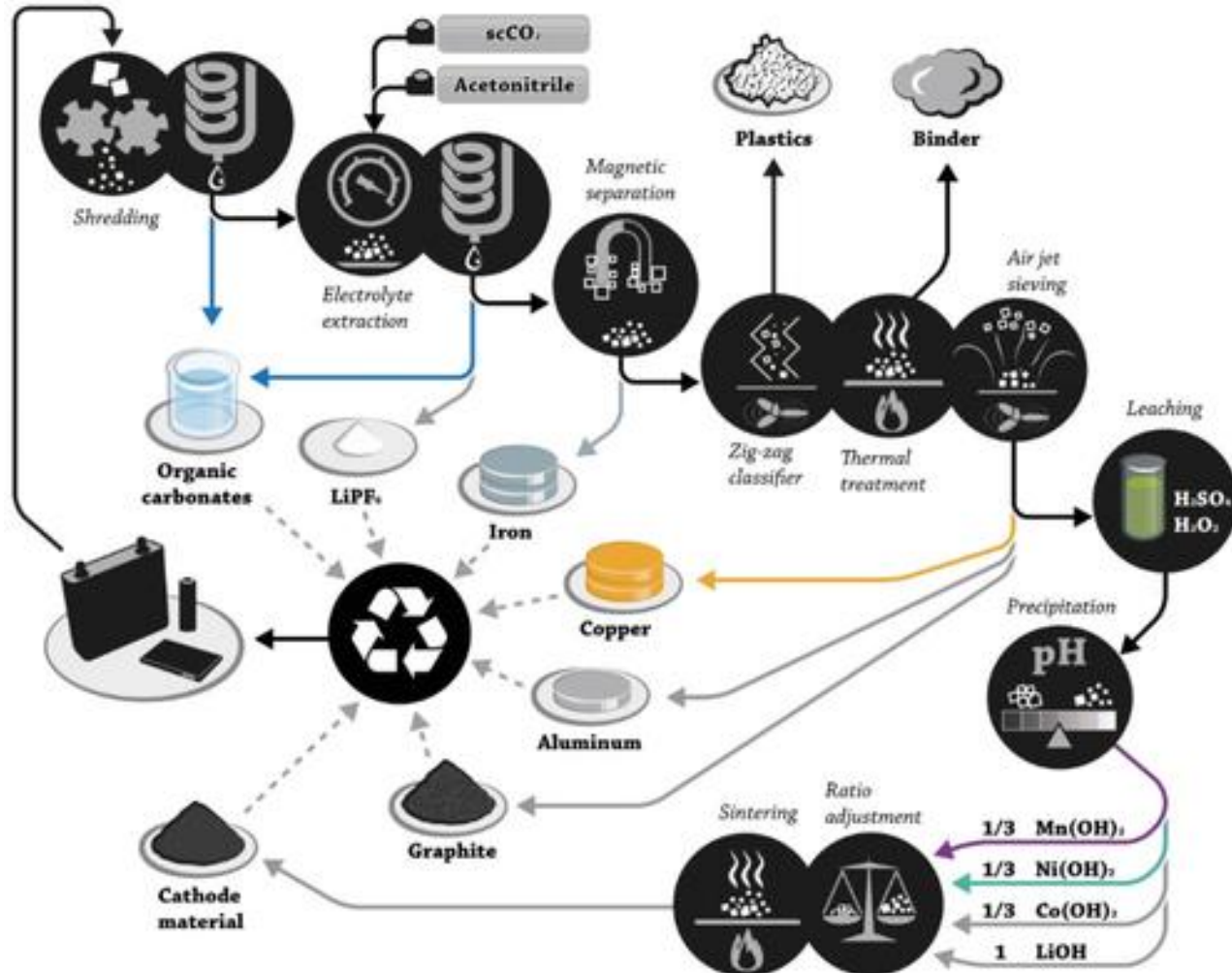
Read Online

PDF (5 MB)

Keywords: Anions, Electrodes, Fluoropolymers, Materials, Salts

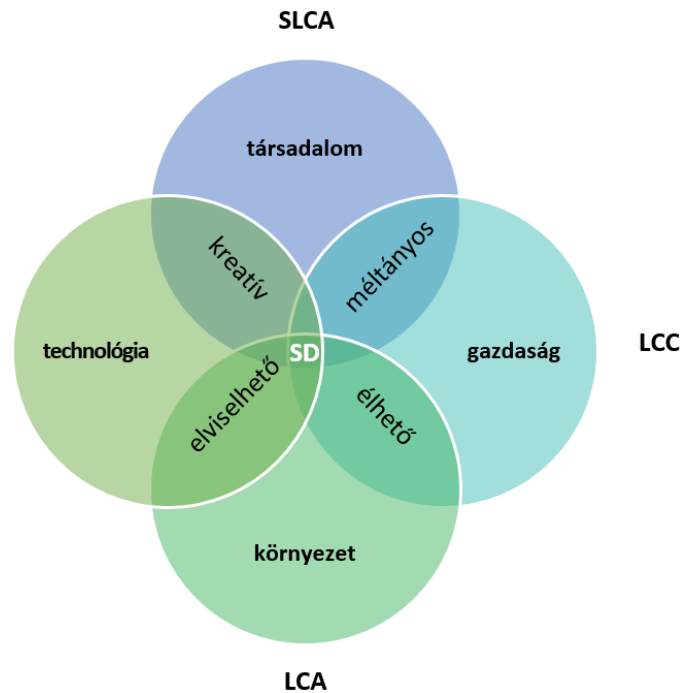


Lytho-Rec recycling process



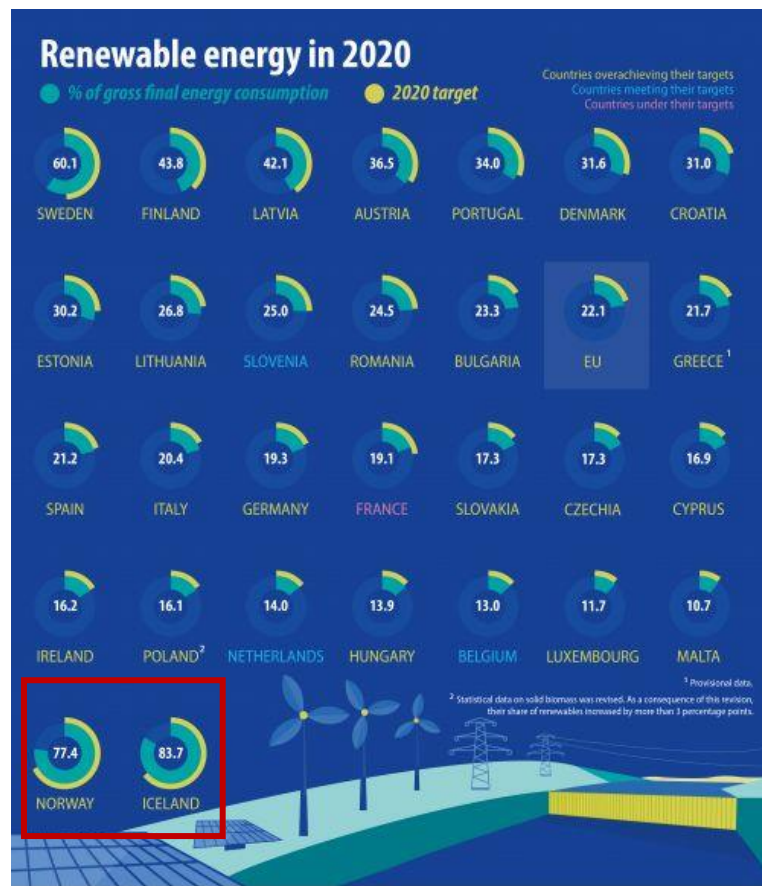
Kiegészítés az előadáshoz

LCA és a Smart Design



314/2005. (XII. 25.) Kormányrendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról (IPPC engedély) a **legjobb elérhető technika (BAT)** alkalmazását is megköveteli

Akkumulátorok és elektromos autók... Miért?



ec.europa.eu/eurostat

Megújuló energia

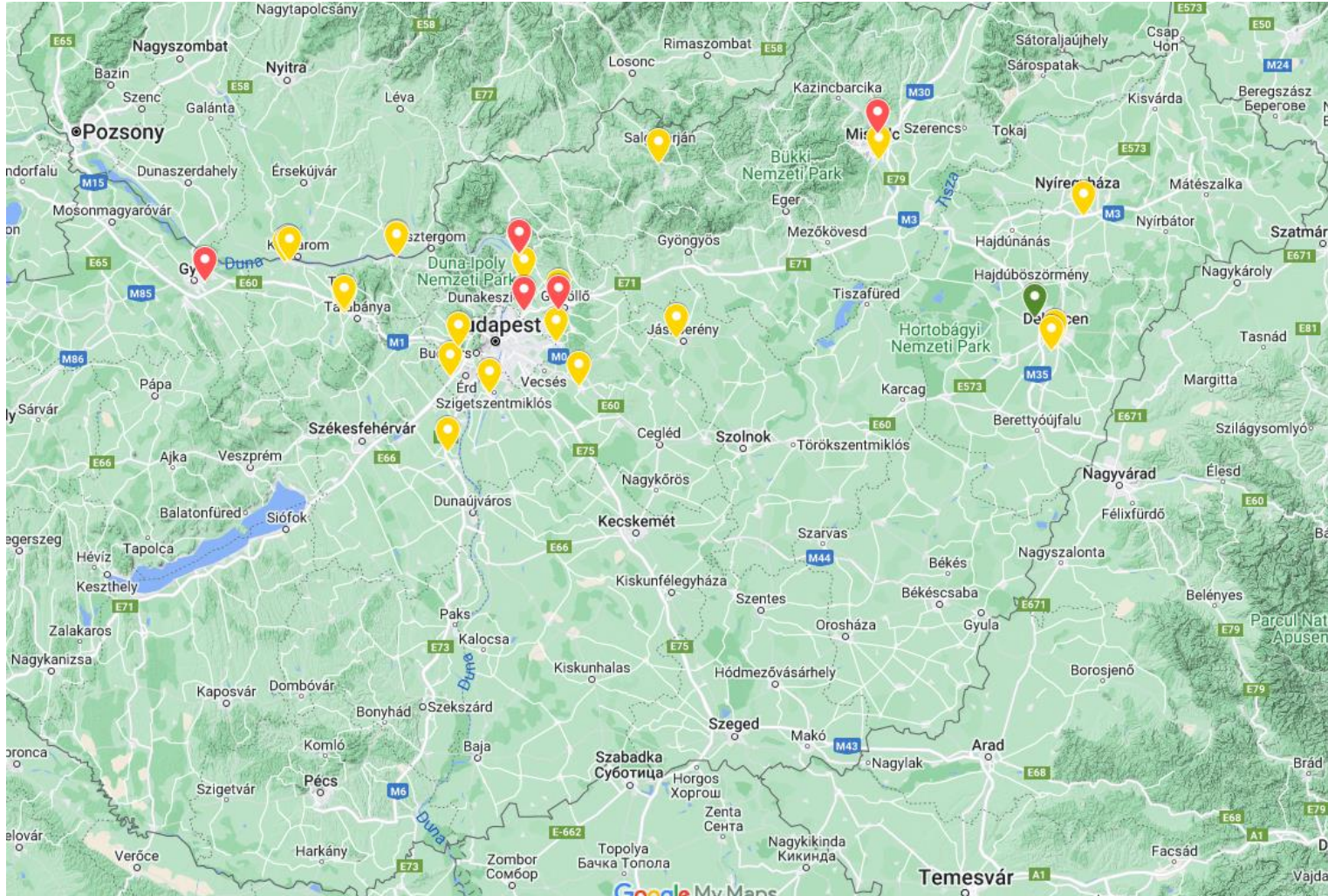
- emberi időléptékben nem fogynak el, hanem folyamatosan rendelkezésre : szélenergia,
- vízenergia,
- a tenger hullámzásából adódó energia,
- a geotermikus energia,
- Hold mozgásából adódó árapály energia,
- napenergia és
- biomassa

Magyarország energiafüggősége

2000 és 2016 közötti időszakot vizsgálva (Deák Attila: Az Európai Unió energiaimport-függőségének vizsgálata az ezredfordulót követően, Területi Statisztika, KSH, 2020/07/14) alapján:

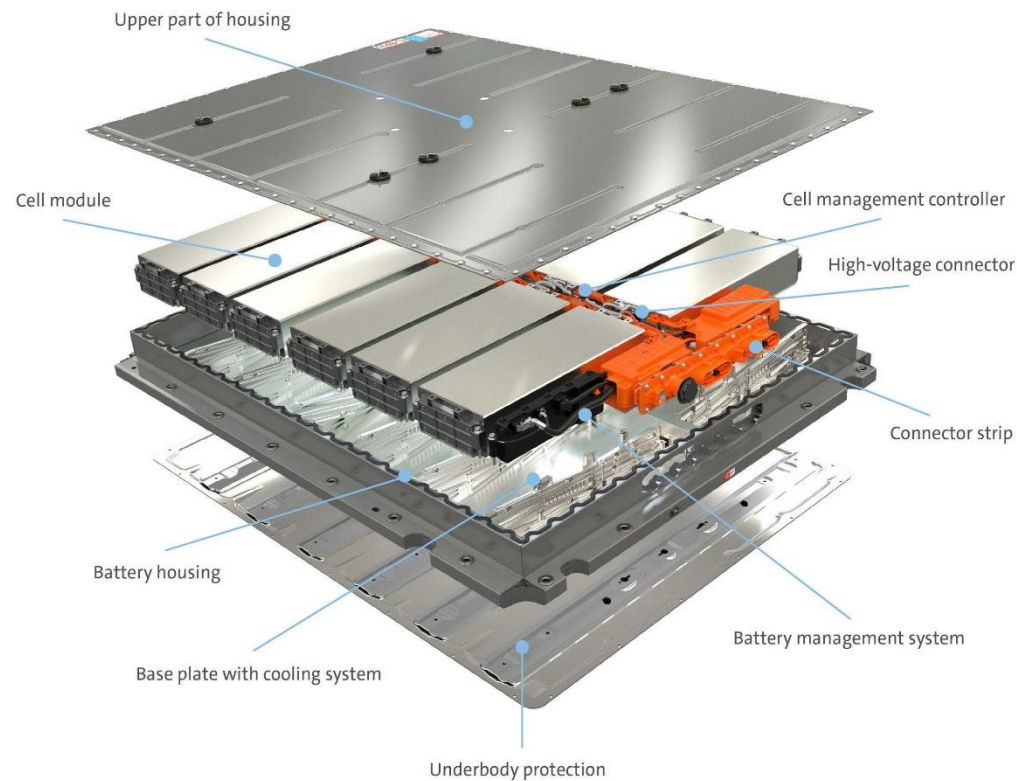
- szilárd tüzelőanyagok: 35 %,
- kőolaj és származékai 81 %,
- földgáz 79 %.

Akkumulátorgyártáshoz köthető főbb vállalatok Magyarországon



- **Samsung SDI**, Göd – akkumulátor gyár,
- **SK Innovation**, Komárom, Iváncsa – akkumulátor gyárak,
- **Inzi Controls**, Komárom – akkumulátormodul gyártó üzem,
- **BYD Electric**, Komárom, Fót – elektromos buszgyár és akkumulátor összeszerelő üzem,
- **Contemporary Amperex Technology (CATL)**, Debrecen – akkumulátor gyár,
- **Semcorp**, Debrecen – szeparátorfólia gyár,
- **EcoPro BM**, Debrecen – katódgyár,
- **BMW**, Debrecen – autógyár és akkumulátor összeszerelő üzem (az egyetlen, amit zölddel jelöltünk a térképen, hiszen német vállalat, de vélhetően együttműködik majd a helyben épülő ázsiai háttérű cégekkel),
- **W-Scope**, Nyíregyháza – szeparátorfólia gyár,
- **CECZ cégcsoport**, Vác – termék rendszerező üzem, (a térképen pirossal jelölve, Toperini Ipari Park),
- **Nice LMS Hungary Kft.**, Gödöllő, Vác – akkumulátorház gyártó üzem,
- **Shenzen Kedali**, Gödöllő – akkumulátor-alkatrész gyár,
- **Ilijn Materials**, Gödöllő – rézfóliagyártó, (térképen pirossal jelölve, Gödöllői Üzleti Park Zrt.),
- **Hanaro Trading**, Fót – akkumulátor-összeszerelő üzem, (a térképen pirossal jelölve, HelloParks Fót),
- **SungEl Hitech**, Szigetszentmiklós, Bátortereny – akkumulátor-feldolgozó üzem
- **LG Chem és Toray Industries** (közös vállalkozás), Nyergesújfalú – szeparátorfólia gyár,
- **Dongwha**, Sósút – elektrolit gyár, NMP oldószer újrahasznosító üzem,
- **NIO**, Biatorbágy – akkumulátorcserélő állomások gyártóüzeme,
- **Bumchum Precision**, Salgótarján – alkatrészgyártó üzem,
- **Lotte Aluminium**, Tatabánya – alkatrészgyártó üzem,
- **Soulbrain**, Tatabánya – elektrolit gyártás,
- **Solus Advanced Materials** (korábbi Doosan), Tatabánya, rézfólia gyár,
- **Shinheung**, Monor – akkumulátorkeret gyár,
- **Sangsin**, Jászberény – alkatrészgyártó üzem,
- **Chevron Auto**, Miskolc – alkatrészgyártó üzem, (a térképen pirossal jelölve, Mechatronikai Ipari Park),
- **GS Yuasa**, Miskolc – akkumulátor gyár,
- **Enmech**, Pécel – alkatrészgyár

Volkswagen MEB Platform



1 db MODUL:

- feszültség: 3,80 V
- kapacitás: 77 Ah
- tömeg: 1 kg / cella, 32 kg / modul (24 cella)
- Gravimetriás energia sűrűség: 273 Wh/kg
- összetétel: NCM 712

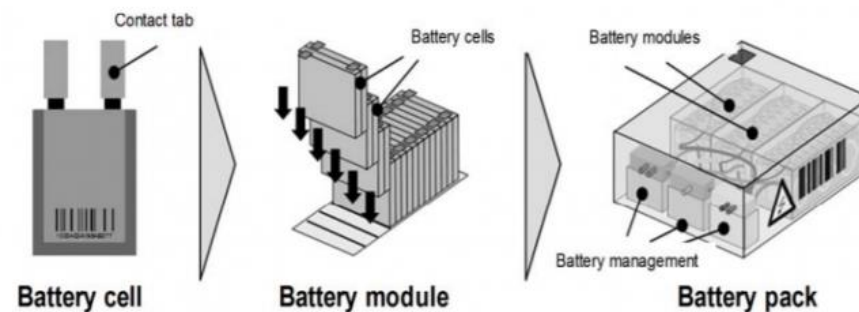
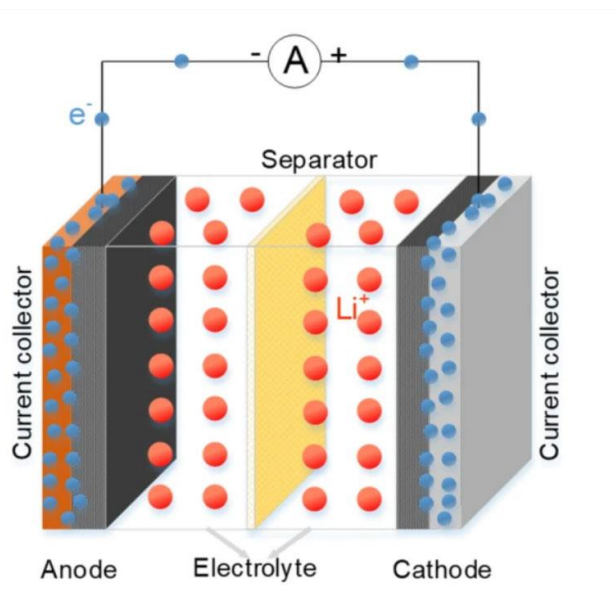


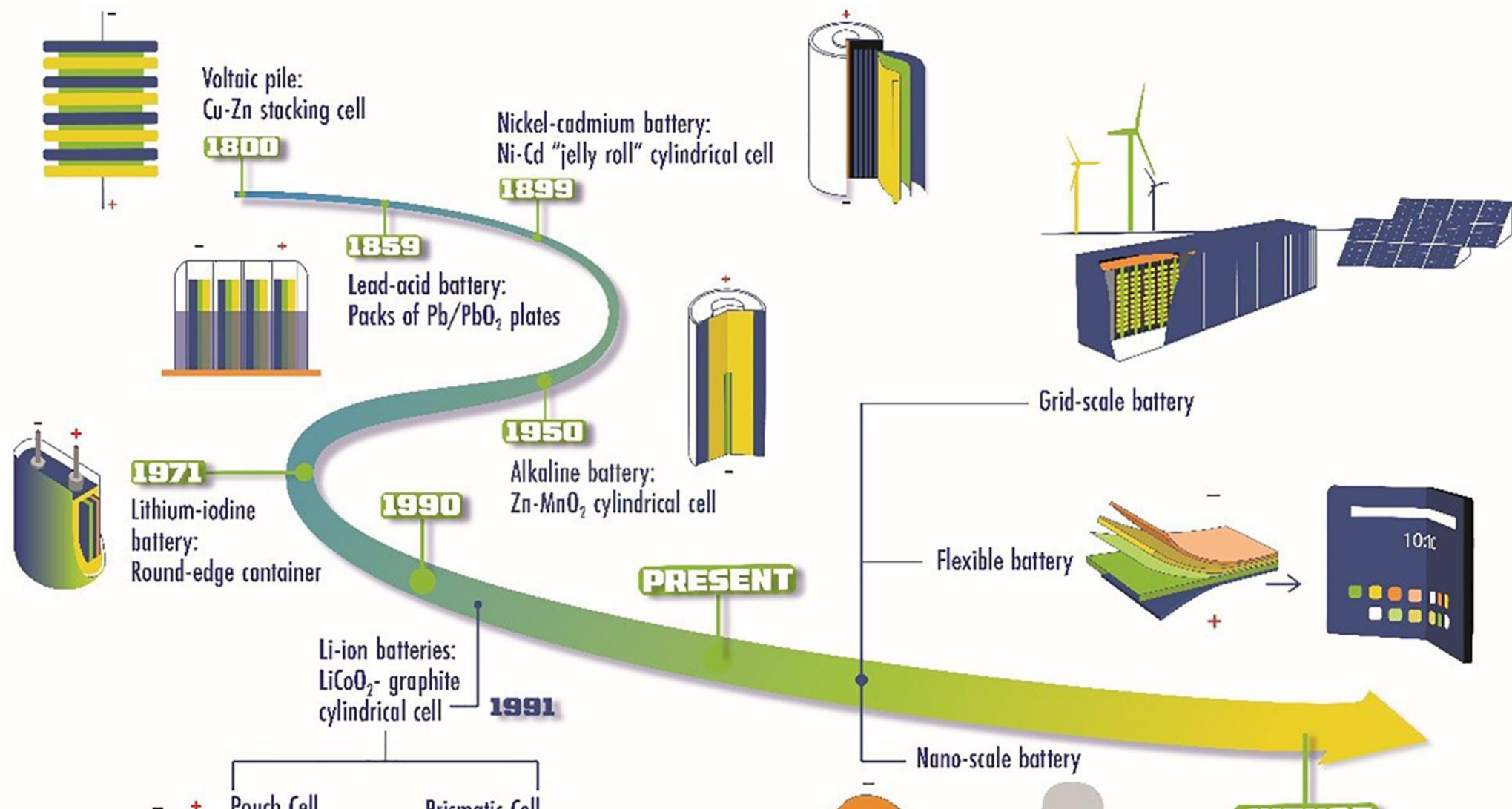
Fig. 1 From battery cells to a battery pack

Pouch (tasakos) akkumulátorcella

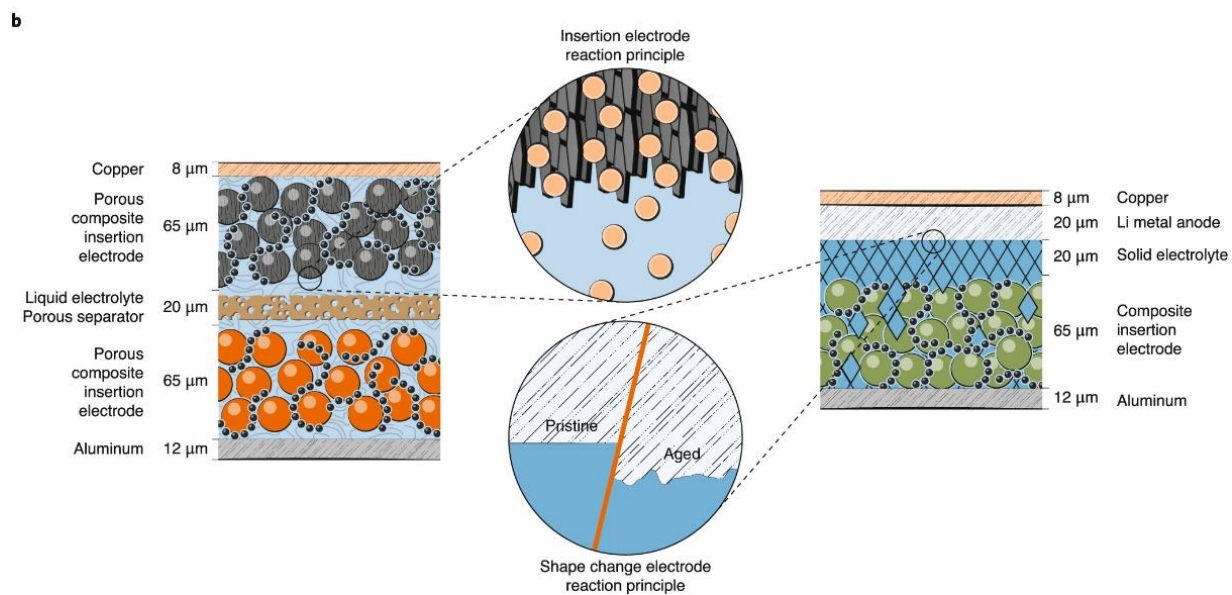
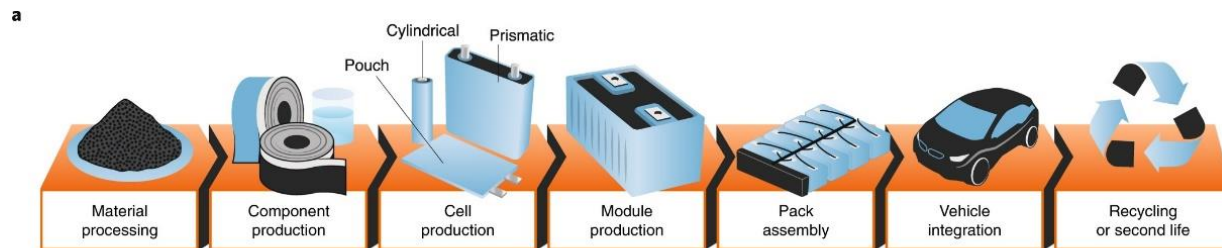


- *katód (NCM):* $Li_yCoO_2 \leftrightarrow Li_{y-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^-$
- *anód (grafit):* $C_6 + xLi^+ + xe^- \leftrightarrow Li_xC_6$

Akkumulátorok fejlődése

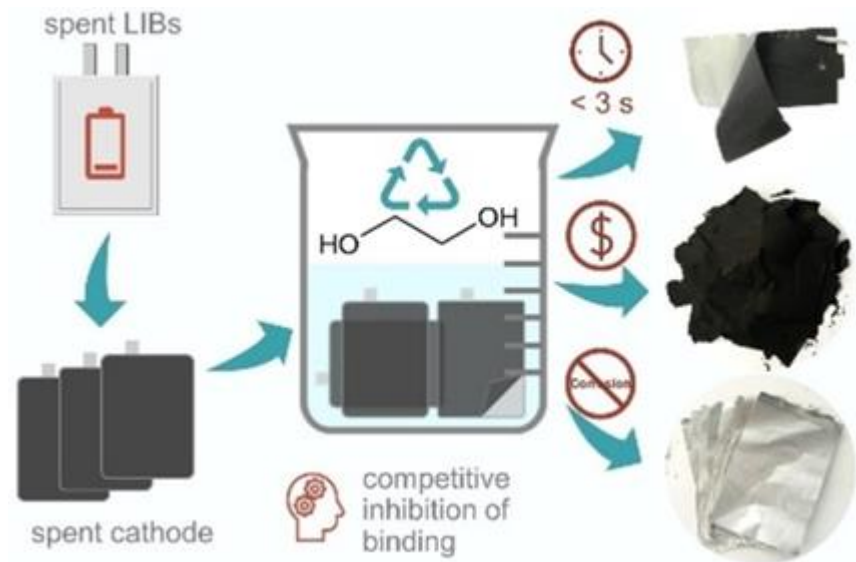


EV akkumulátorgyártás főbb lépései



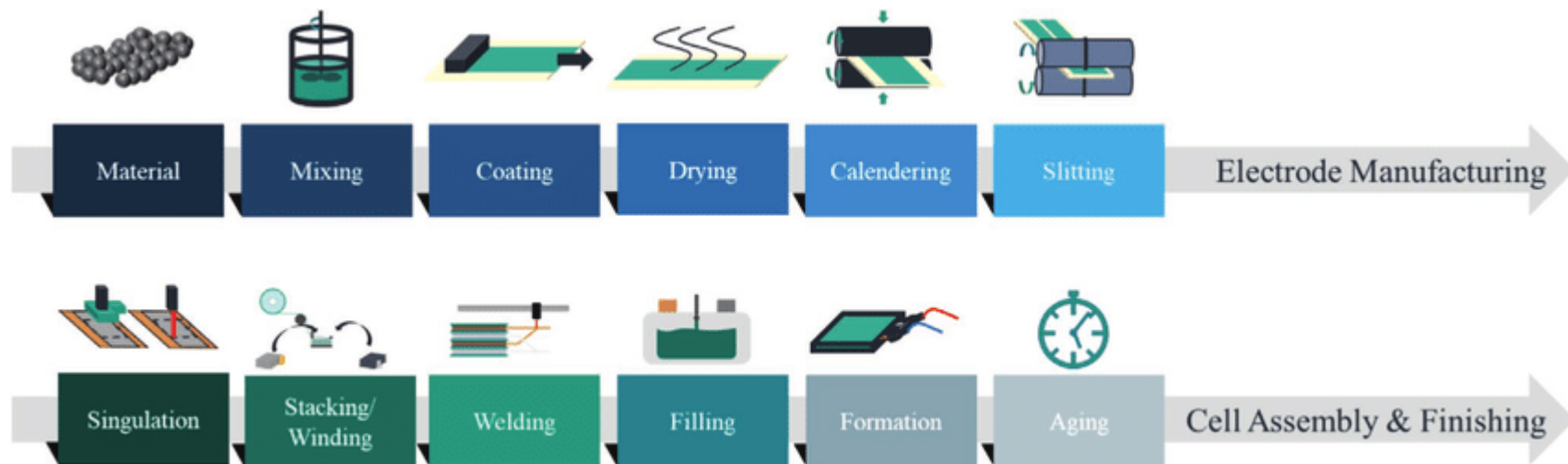
Smuch et al., 2018: teljesítmény és költség Li-akkumulátorokhoz

Oldószeres újragyártás

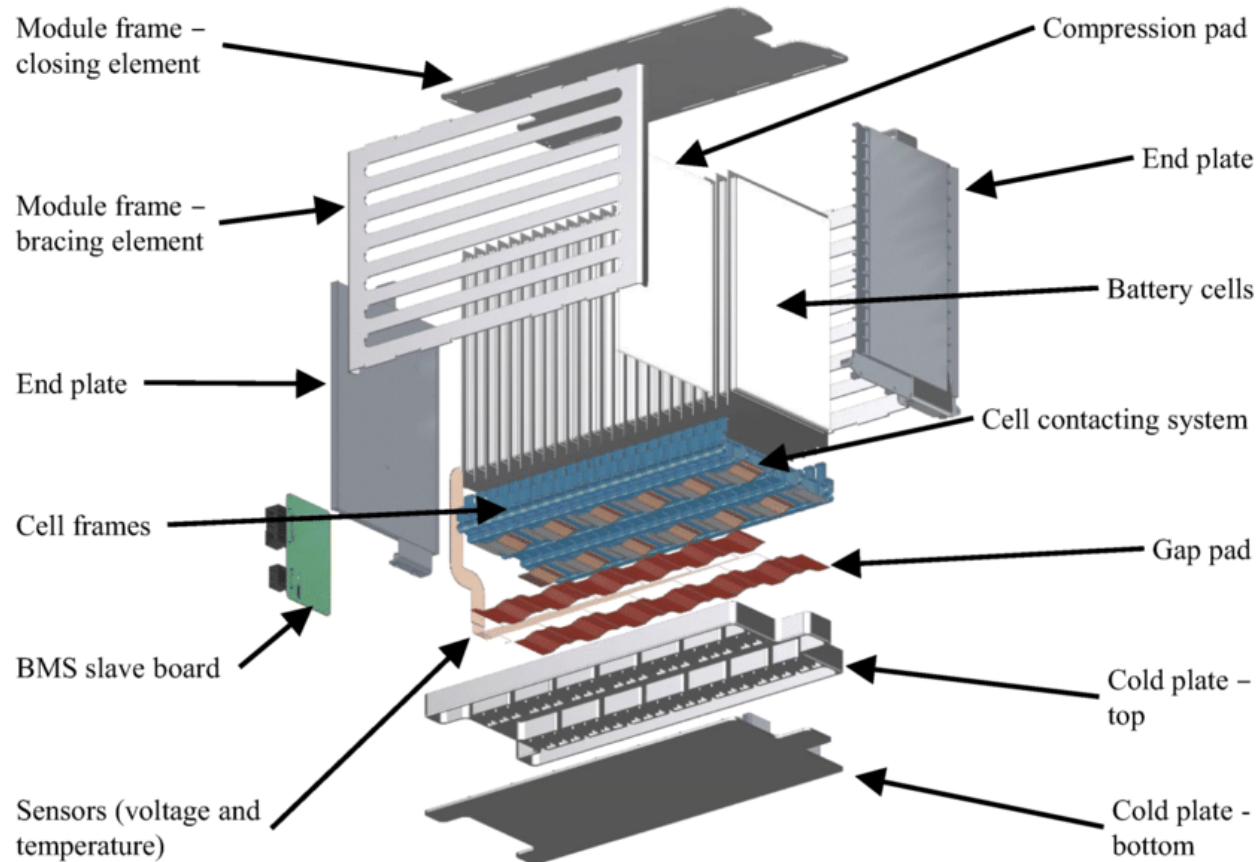


- <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cssc.202001479>
- <https://www.bestmag.co.uk/play-it-again-steve-how-direct-recycling-can-repair-battery-cathodes/>

Li-ion akkumulátorgyártás részfolyamatai

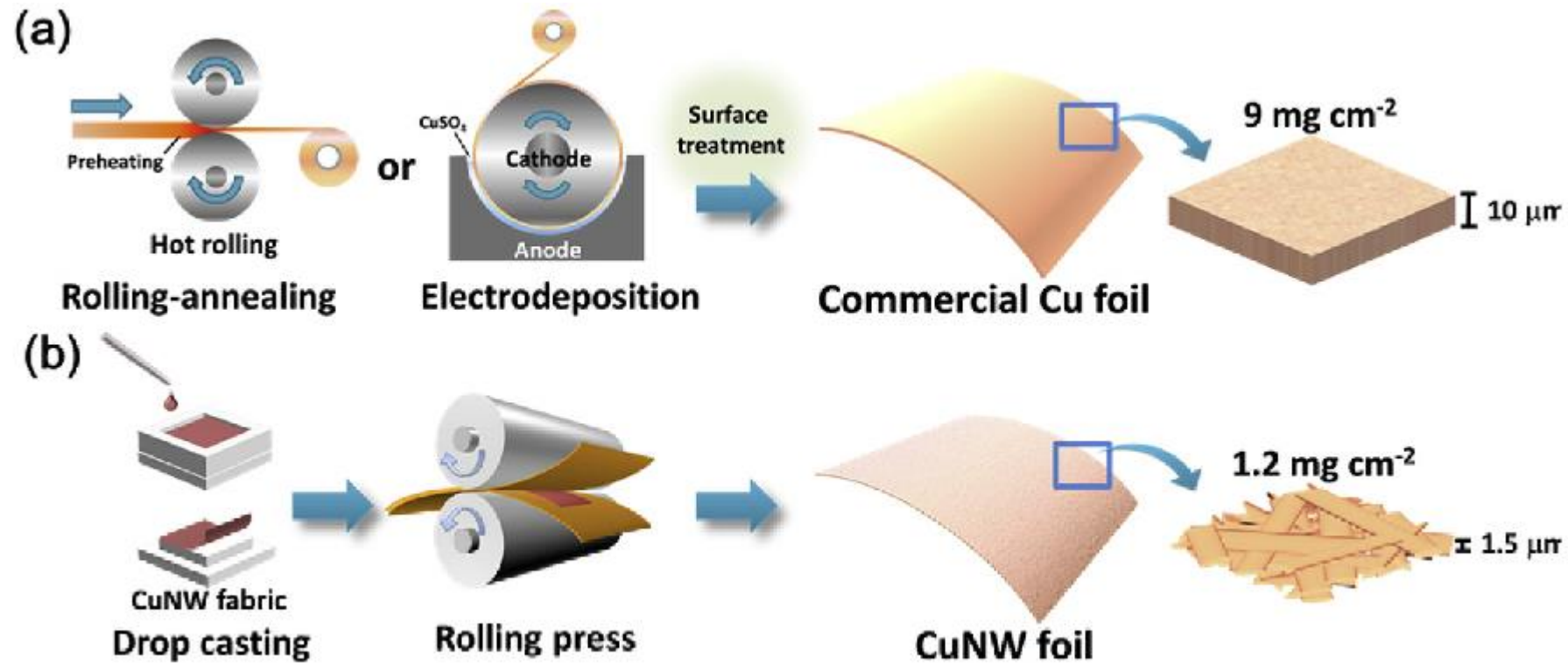


Modul alkatrészek



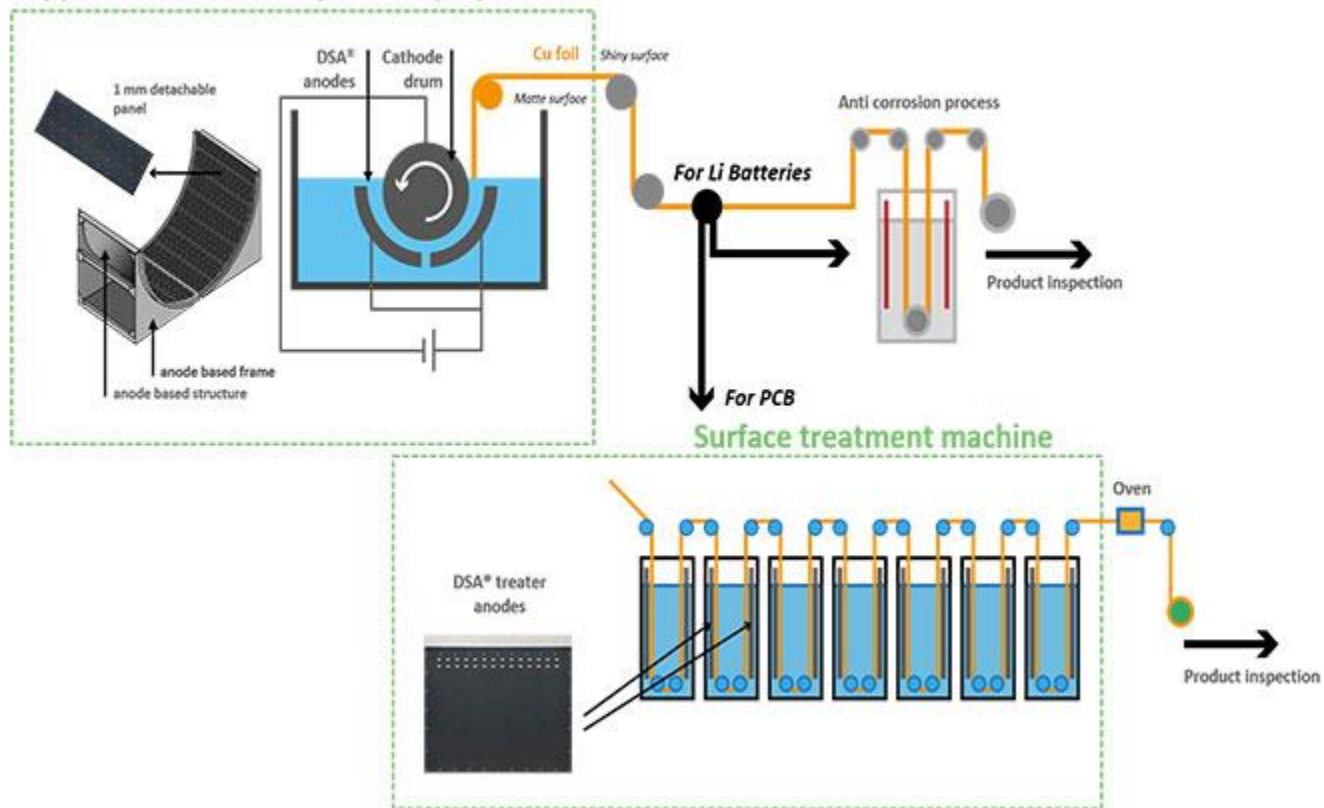
The module has tab cooling, in order to avoid thermally conductive paste on the cells surfaces and on the module walls: the heat is exchanged from the cell tabs to the cold plate through a gap pad. The cell tabs are formed by the plastic cell frames during cell stacking. In principle, all steps can be automated.

Rézfólia (anódfólia) előállítási módszerek



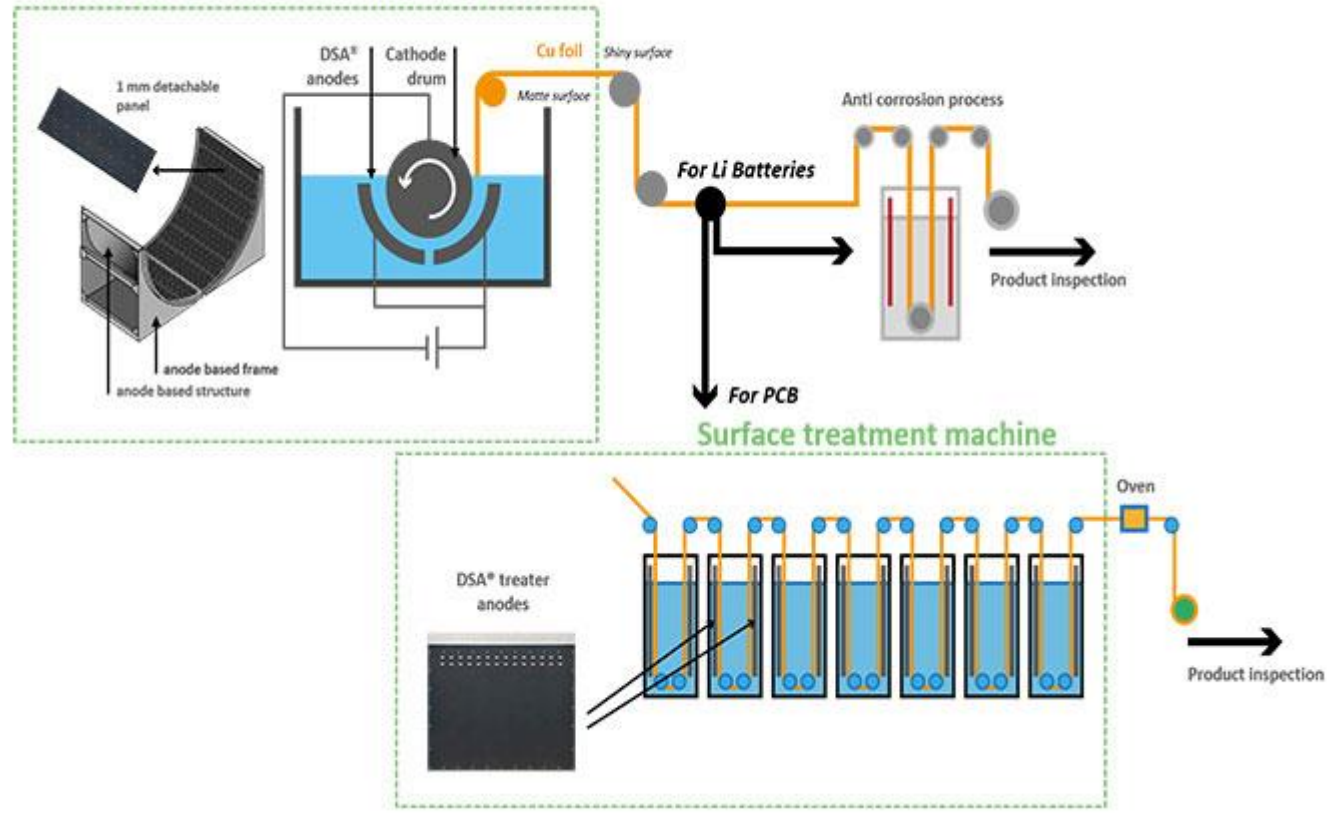
Rézfólia (anódfólia) ED előállítás

Copper Foil - Electro-deposition (ED) cells

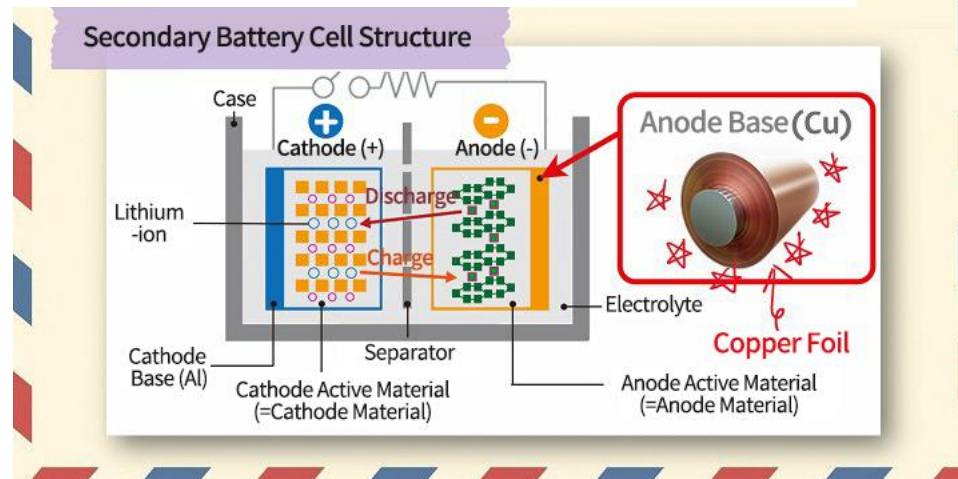


- <https://denora.com/it/applications/copper-foil-electrodeposition.html>

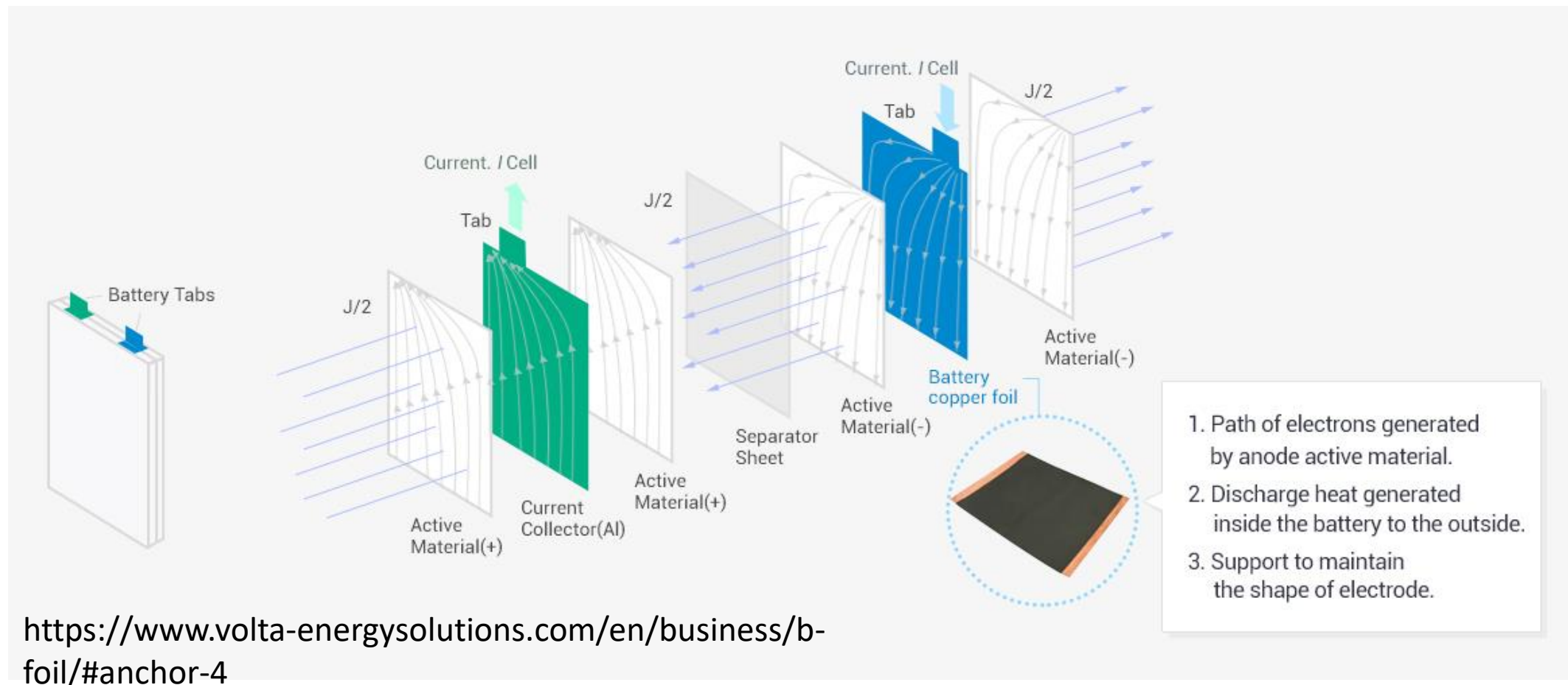
Copper Foil - Electro-deposition (ED) cells



- SK nexilis



Rézfólia alkalmazása



Alumínium fólia (katódfólia) előállítása

a fő hatás a GWP az energiateljesítmény miatt, de a toxicitáshoz kapcsolódó potenciálok is magasak

Product Lines

• Cathode Foil

Secondary cell batteries, largely used for electronics and hybrid car materials these days, change the outside electric energy into chemical energy and store it until electricity generation is needed. Aluminium is used in cathode foil and copper in anode.

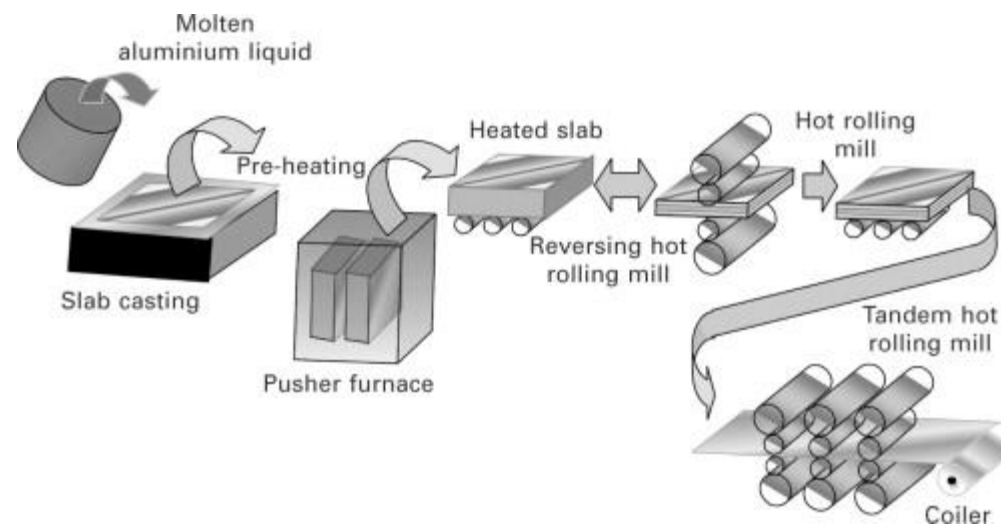


Materials	A1235, A1050, A3003, A1100
Thickness	12~20 μ m

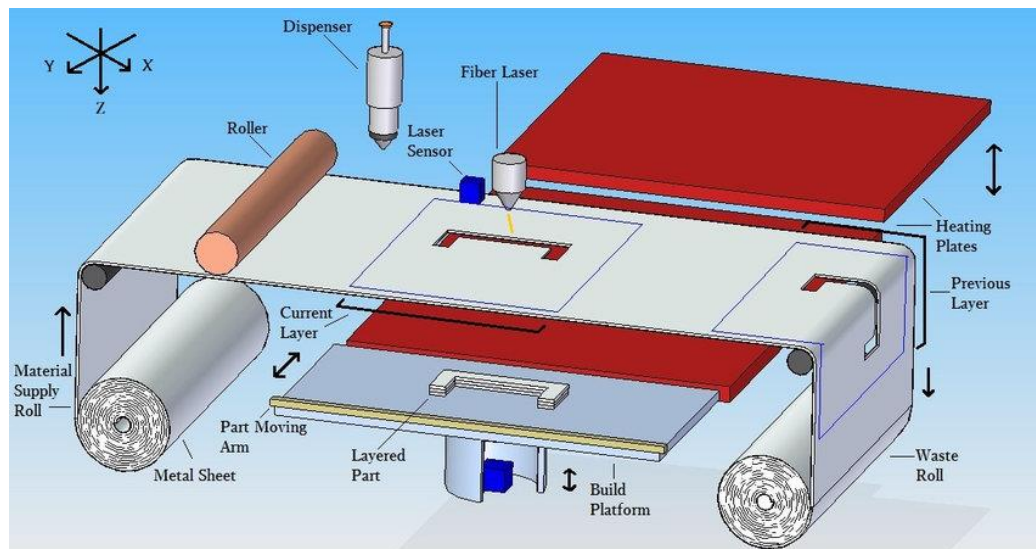
• For Pouch

Battery Pouch is a packaging material that protects the secondary cell battery. It maintains the form and protects the contents from outside electromagnetic waves.

Materials	A8021, A8079
Thickness	20~50 μ m



Pouch fólia előállítás



- https://www.researchgate.net/figure/Composite-metal-foil-manufacturing-process-see-online-version-for-colours_fig1_287978198

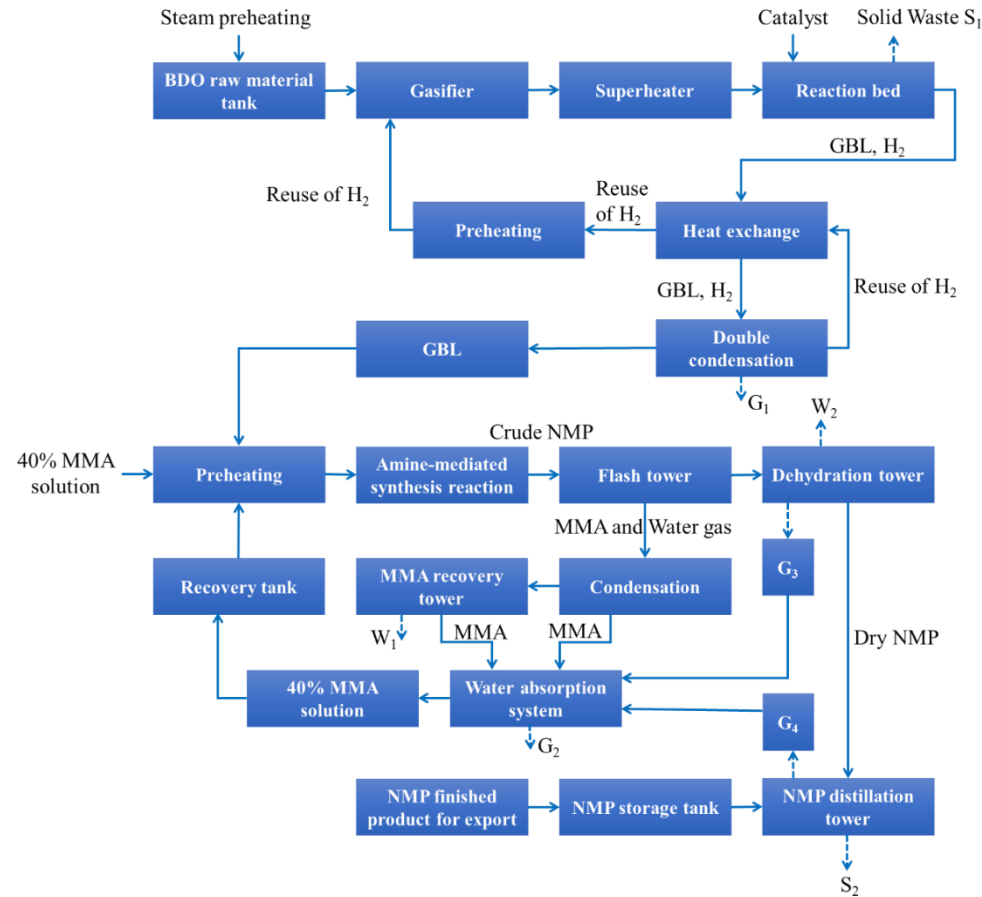
Peel and tensile test investigation of aluminium 1050 foil parts made with a new additive manufacturing process

December 2015 · *International Journal of Rapid Manufacturing* 5(1):95-115

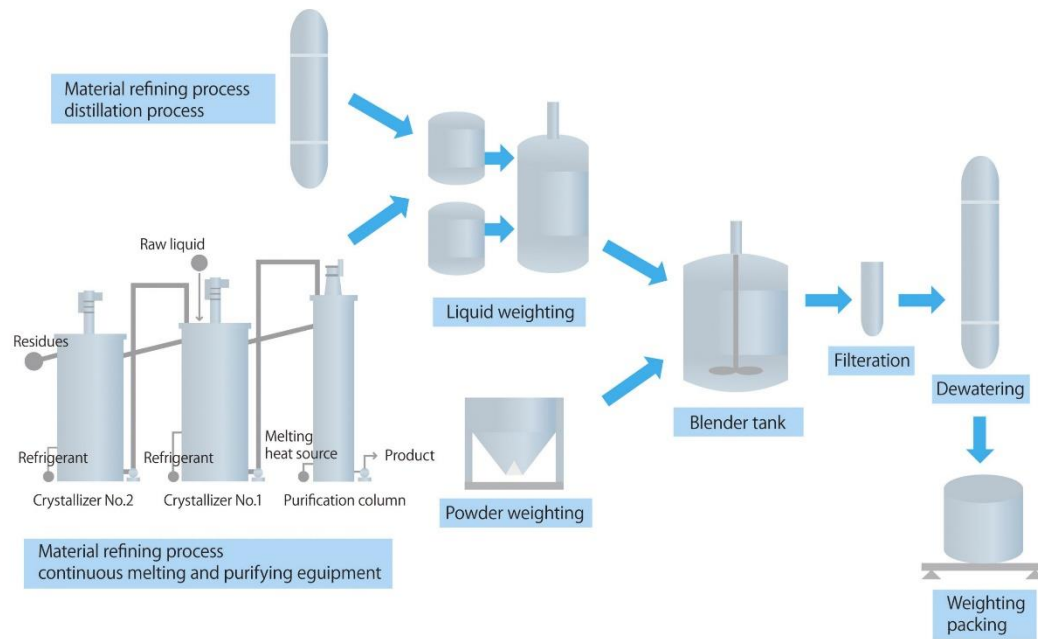
DOI: [10.1504/IJRAPIDM.2015.073550](https://doi.org/10.1504/IJRAPIDM.2015.073550)

NMP:

<https://www.hdinresearch.com/news/100>



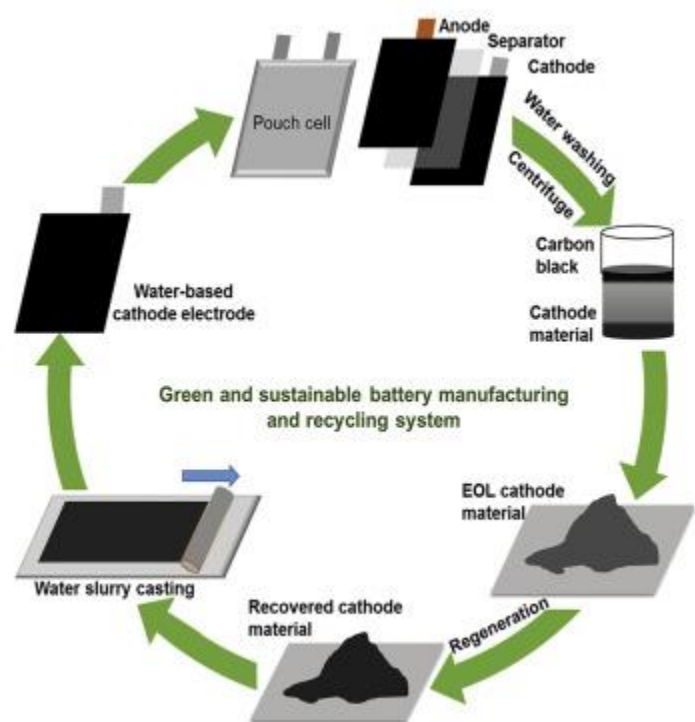
Elektrolit



<https://www.tsk-g.co.jp/en/tech/industry/electrolyte/>

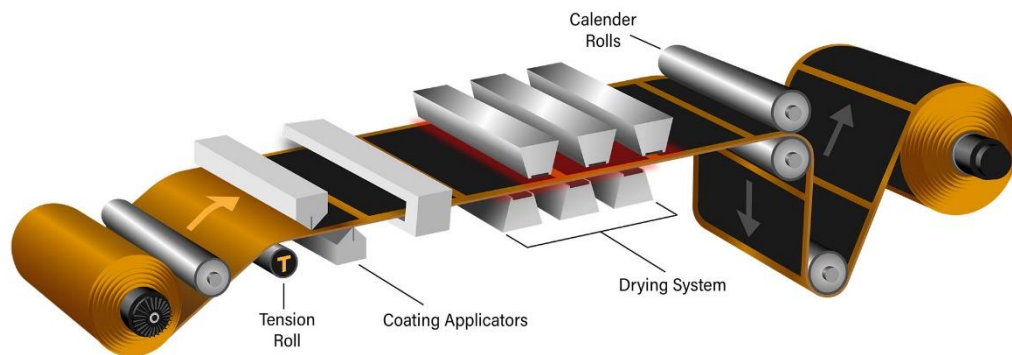
- legnagyobb mértékben a folyamatos hűtés miatti energiahasználat valamint a páramentesítés (-34 °C fagypont) miatti energiafelhasználás adja a GWP hatáskategóriai értékét
- fejlesztési irány lehet: megújuló energiák (napelem), kevésbé páraérzékeny gyártás / akkumulátorok

Vizes akkugyártás – NMP kiváltására?

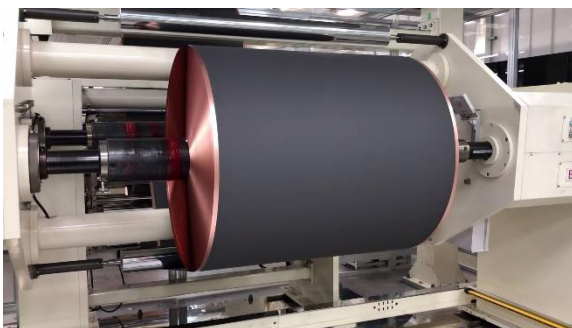


- Li et al. (2020) tanulmányában a vizes akkugyártás módszerét vizsgálta
- NMP elhagyásával az összes, toxicitási potenciál javul

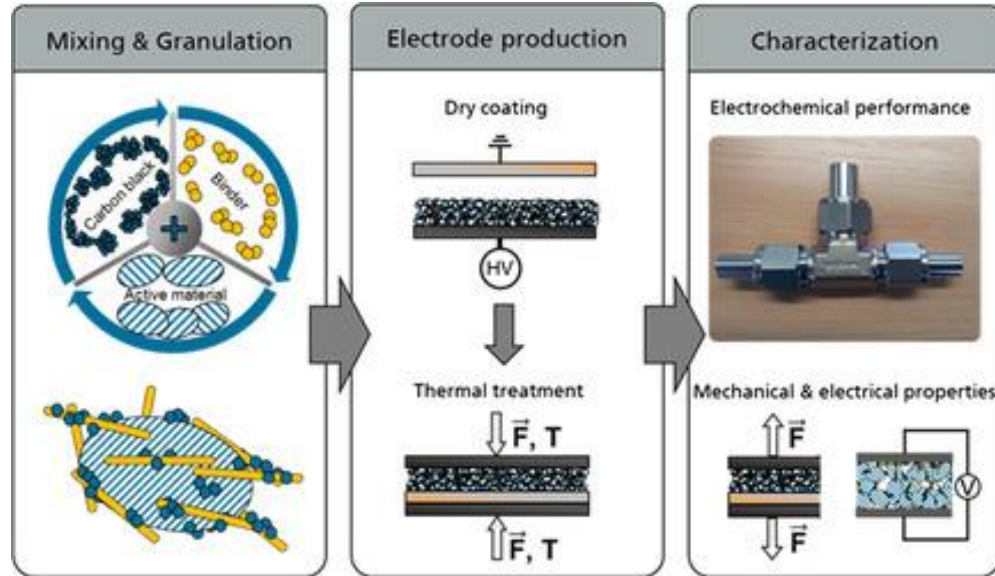
Elektródagyártás



- főként lean-eszközökkel a keletkezett hulladék mennyiségének csökkentése
- folyamatos ellenőrzés (óriási sebességgel halad a fólia, 10 másodperc is kilométerben mérhető)



Oldószermentes



Schälicke et al. (2019) elektrosztatikus elektródagyártást tanulmányozta

Oldószer elhagyásával az összes potenciál javul

Víz elhagyásával a water scraity hatáskategória értéke is javul

Wiley Online Library

Se

Energy Technology

Generation, Conversion, Storage, Distribution

Full Paper

Solvent-Free Manufacturing of Electrodes for Lithium-Ion Batteries via Electrostatic Coating

Gerrit Schälicke ✉, Inga Landwehr ✉, Alexander Dinter ✉, Karl-Heinz Pettinger, Wolfgang Ha
Arno Kwade

First published: 17 June 2019 | <https://doi.org/10.1002/ente.201900309> | Citations: 27

Újrahasznosítás

Reddy et al. (2020) kimutatta, hogy sorba kapcsolt cellák esetén ha legalább 2 cella között eltérő a töltési kapacitás, az anódréz oldódni kezd, majd a szeparátoron és katódon lerakódva felületi károsodást okoz, viszont már ez is óriási kapacitásvesztést okoz. Az újrahasznosítás gazdaságtalanná teszi 1 ppm alatti réz koncentrációnál (az elektrolitban 8 ppm körül stabilizálódik).

Kumar and Dwivedi, 2021: nikkeltávolítása szennyvízből

Mohr et al., 2020: Li-ion akkumulátor újrahasznosítás életciklus-elemzése

Samsung újrahásznosítási ciklus

