



Elektromobilitás - jelen és jövő

Horváth Csongor– Csapatvezető, Rendszerteljesítmény mérnök Robert Bosch Kft.

Mi az e-Mobilitás?



e-roller



e-motor



e-kerékpár



e-autó



e-busz

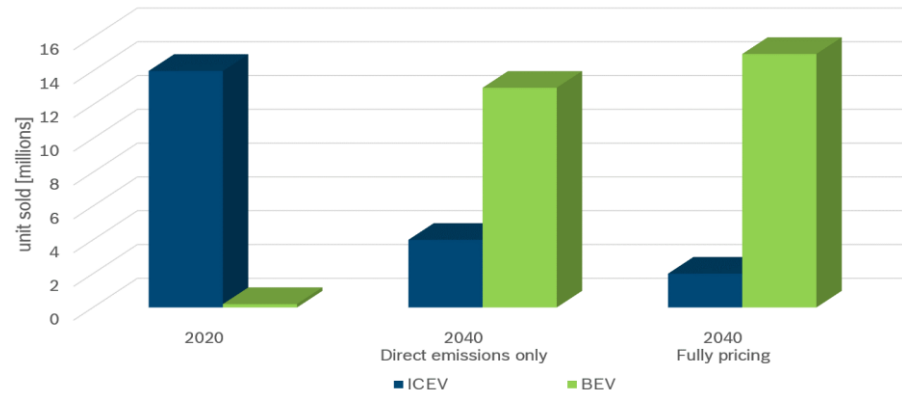


Múlt

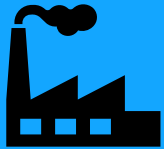
Jelen

e-Mobilitás: Minden olyan megoldás, ahol a kerekeket áttételen keresztül vagy közvetlenül villamos motor (is) hajtja (a hibrid is).

Fenntarthatóság és környezetvédelem



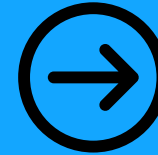
Forrás: Wolfram, P., Weber, S., Gillingham, K. et al. Pricing indirect emissions accelerates low—carbon transition of US light vehicle sector. Nature Communications 12, 7121 (2021).



Indirekt emisszió



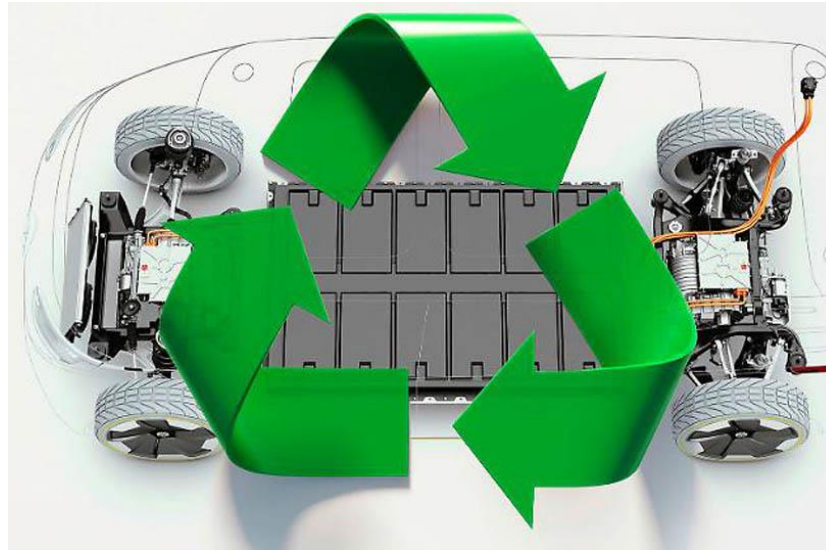
Direkt emisszió



Teljes emisszió

- ▶ **Tévhit: BEV kibocsátás > ICEV kibocsátás**
- ▶ **A jármű gyártása során keletkező kibocsátást a jármű "0 km-es lábnyomának" nevezzük.**

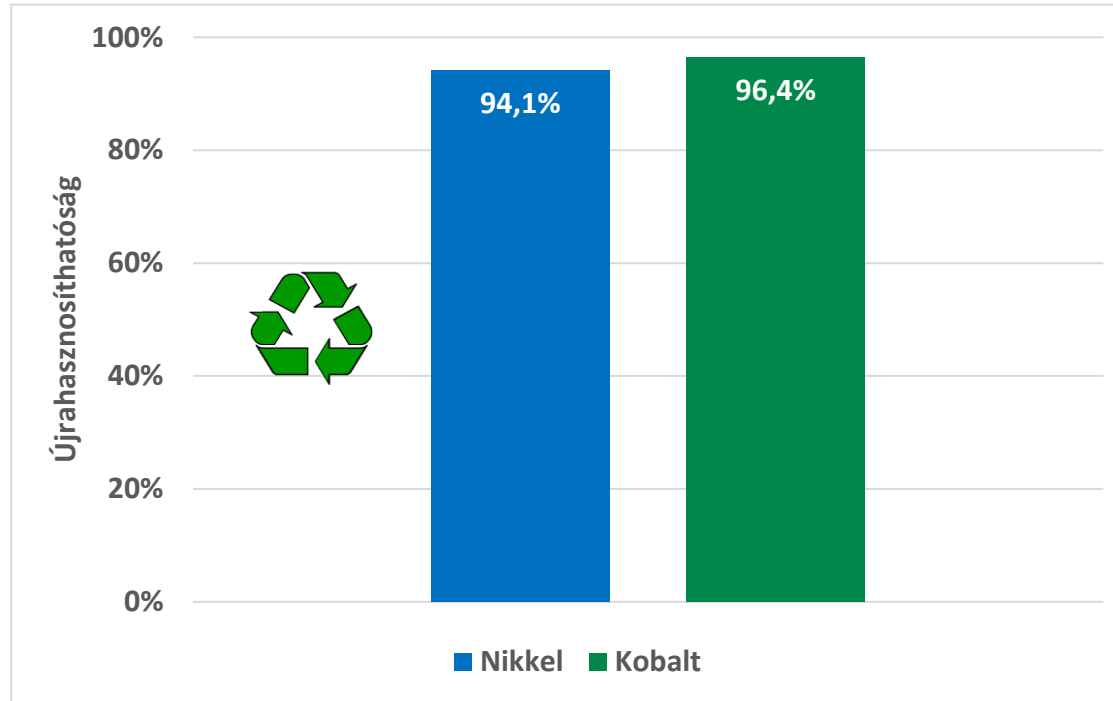
Akkumulátor újrahasznosítás



- ▶ A közhiedelemmel ellentétben a Li-ion akkumulátorok magas újrahasznosítási aránnyal rendelkeznek már most!
- ▶ Rengeteg különféle technológia létezik, amelyek többsége 90% feletti aránnyal hasznosítja újra az akkumulátorok fő elemeit!
- ▶ Ezen felül, számtalan cég épített vagy épít akkumulátor újrahasznosító gyárakat (Volkswagen, Mercedes, BASF).
- ▶ Jelentős törekvések vannak a Li-ion akkumulátorok nikkel- és kobalt tartalmának csökkentésére (a legköltségesebb elemek közé tartoznak.)

Akkumulátor újrahasznosítás – jelenleg (lítium-ion akkumulátor)

$$\text{Újrahasznosíthatóság [egy adott összetevőre nézve]} = \frac{\text{Kinyert nyersanyag}}{\text{Nyersanyag tartalom}}$$



Források:

<https://www.nature.com/articles/s41467-021-26814-7>

<https://chbe.illinois.edu/news/stories/43330>

Akkumulátor újrahasznosítás – jövő



Németország, Kuppenheim



>96 %-os alapanyag újrahasznosítási arány



2023-tól

Forrás: <https://group.mercedes-benz.com/company/news/recycling-factory-kuppenheim.html>



Németország, Salzgitter

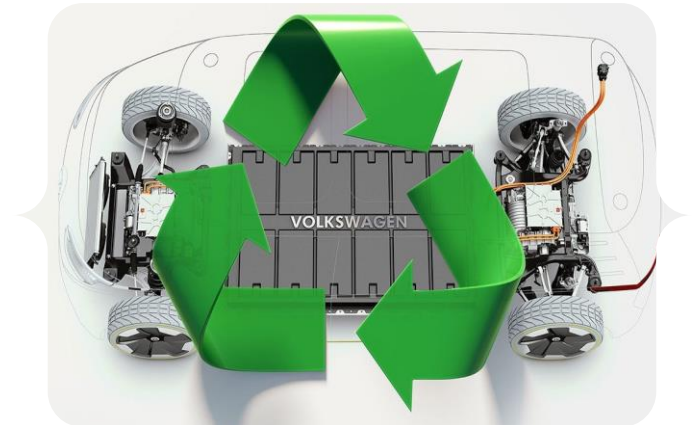


>97 %-os alapanyag újrahasznosítási arány



Hosszútávú terv

Forrás: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/lithium-to-lithium-manganese-to-manganese.html>



Akkumulátor-típusok, a jövő még csak most kezdődik...



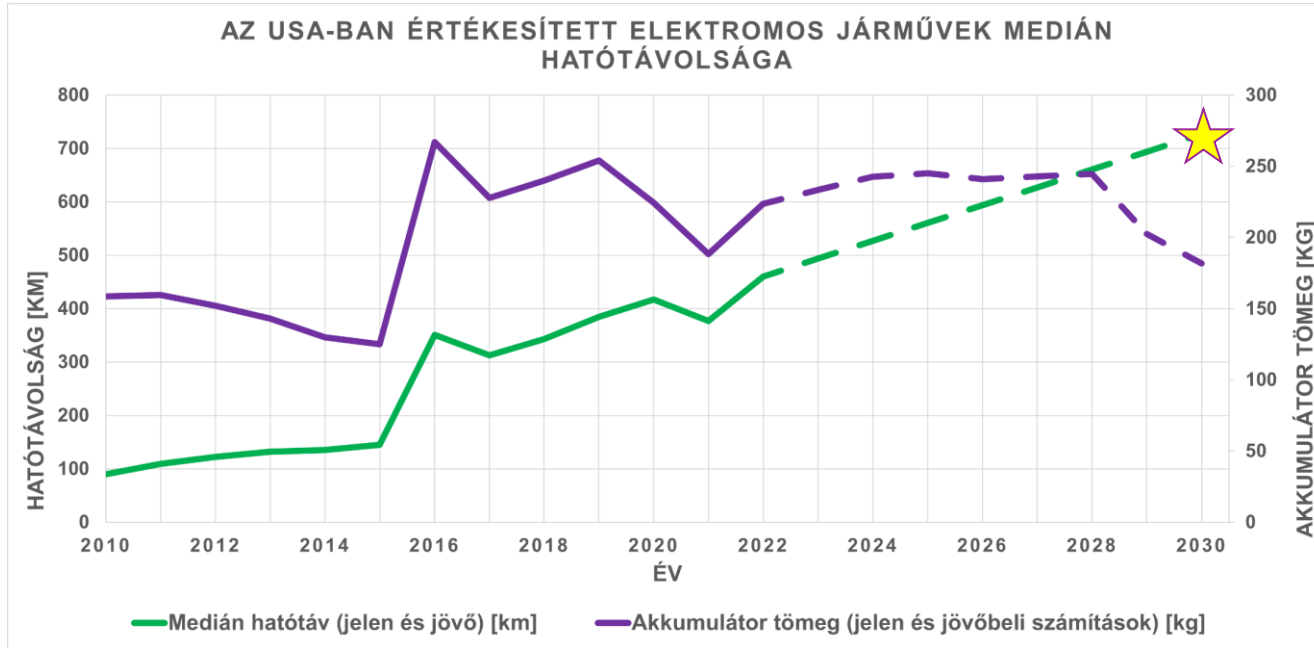
Ni & Co



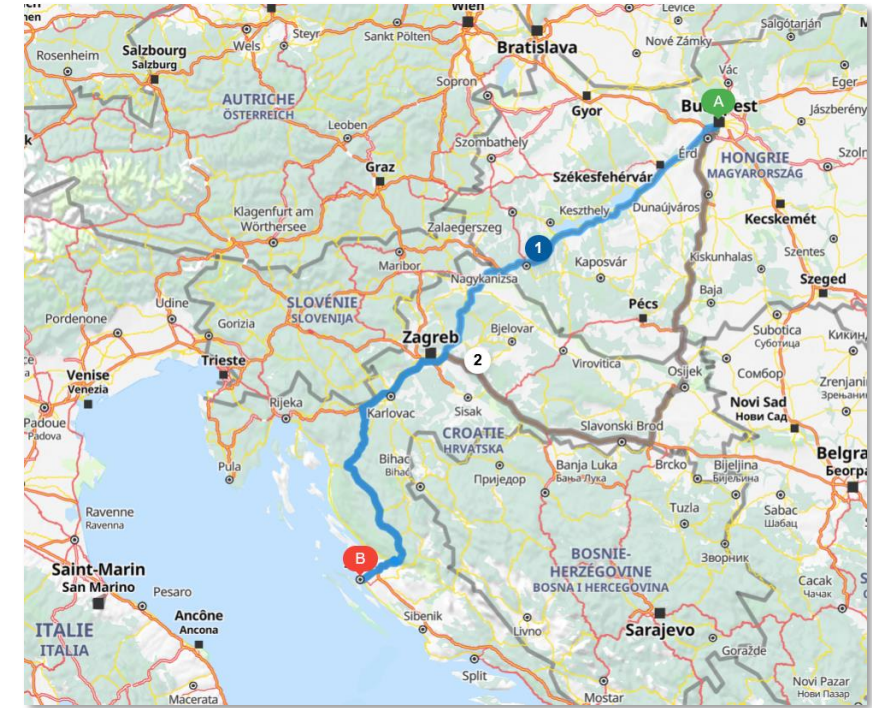
Alumínium-szulfát alapú akkumulátor



Várható hatótávolság lítium-alapú akkumulátorok esetén



Forrás: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/foiw-1220-january-10-2022-model-year-2021-electric-vehicle-longest-range>



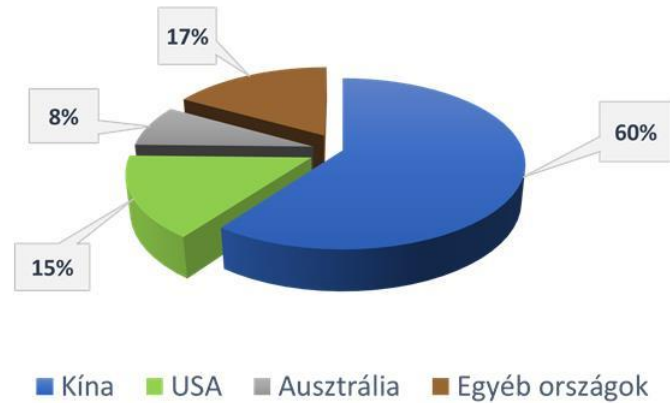
Budapest (H) – Zára (HR): 627 km



- ▶ 2030-ra a 700 km fölötti hatótávolság mindennapos lesz az elektromos személygépjárművek területén
- ▶ Praktikusan ez azt jelenti, hogy egyetlen töltéssel leutazhatunk az Adriára

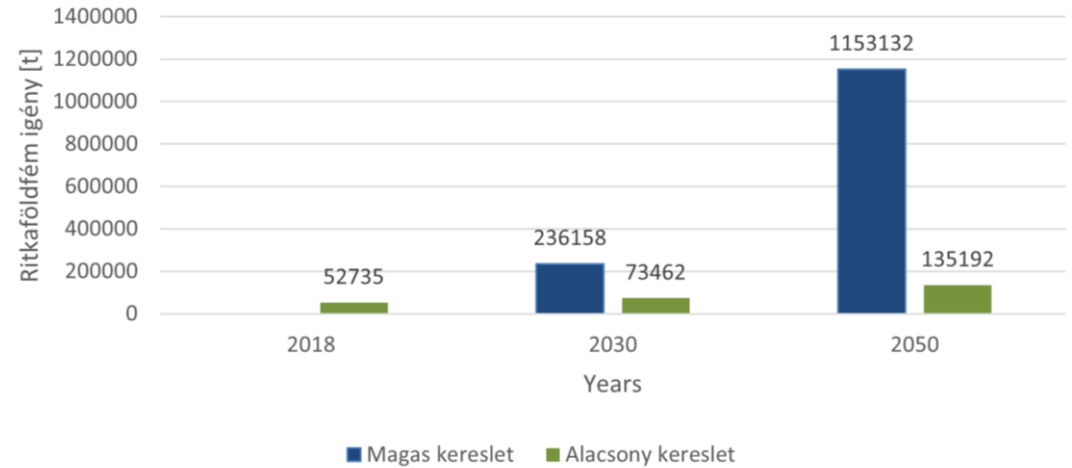
Ritkaföldfémek felhasználása

Ritkaföldfém bányászat eloszlása 2021-ben



Forrás: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2022

A ritkaföldfémek iránti piaci kereslet különböző forgatókönyvek esetén

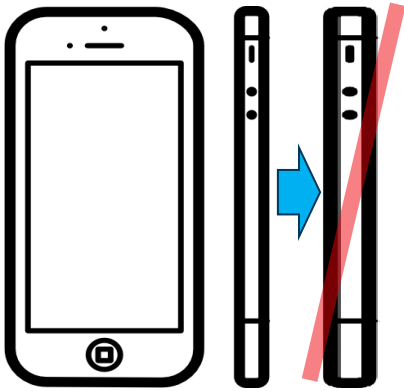


Forrás: Alves Dias, P., Bobba, S., Carrara, S. and Plazzotta, B., "The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility", EUR 30488 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020

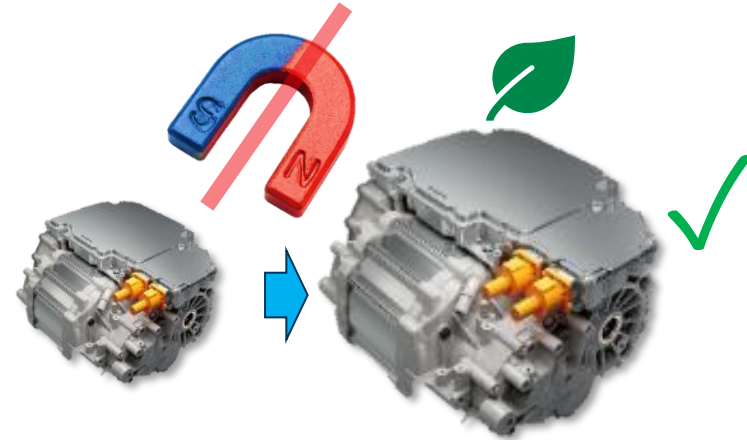
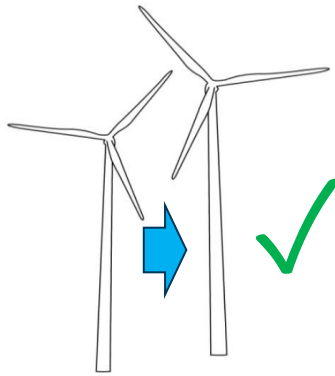
- ▶ A jövőben várhatóan drasztikusan növekedni fog a ritkaföldfémek iránti kereslet világpiaci szinten.
- ▶ Geopolitikai kérdés, monopolhelyzet problémák és piaci diverzitás hiánya.
- ▶ Főbb felhasználási területek:
 - **Elektromobilitás villamos hajtásai**, telekommunikáció, mikroelektronika, orvosi illetve katonai alkalmazások

Tervezési szabadságfokok különböző felhasználások esetén

A kevésbé kritikus helykorlátoknak köszönhetően az e-mobilitás és a szélgenerátorok területén megengedhető a **ritkaföldfém mágnesek** használatának **mellőzése**.



Szigorú helykorlátok!



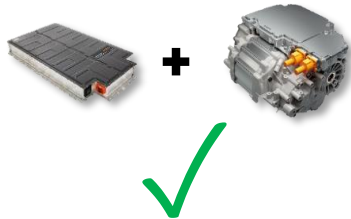
$$P_{\text{állandó mágneses}} = P_{\text{mágnesmentes}}$$

$$V_{\text{állandó mágneses}} < V_{\text{mágnesmentes}}$$

Tervezési szabadságfokok különböző felhasználások esetén



Városi kisautók



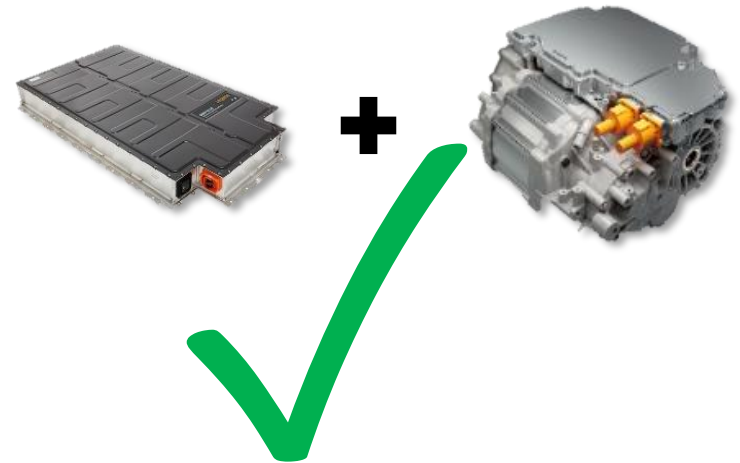
Lényegesen nagyobb
rendelkezésre álló
hely

Nagyobb tervezési
szabadságfok,
könnyebb
beépíthetőség

Ritkaföldfém
mentesség még
jobban megengedhető
buszok esetében

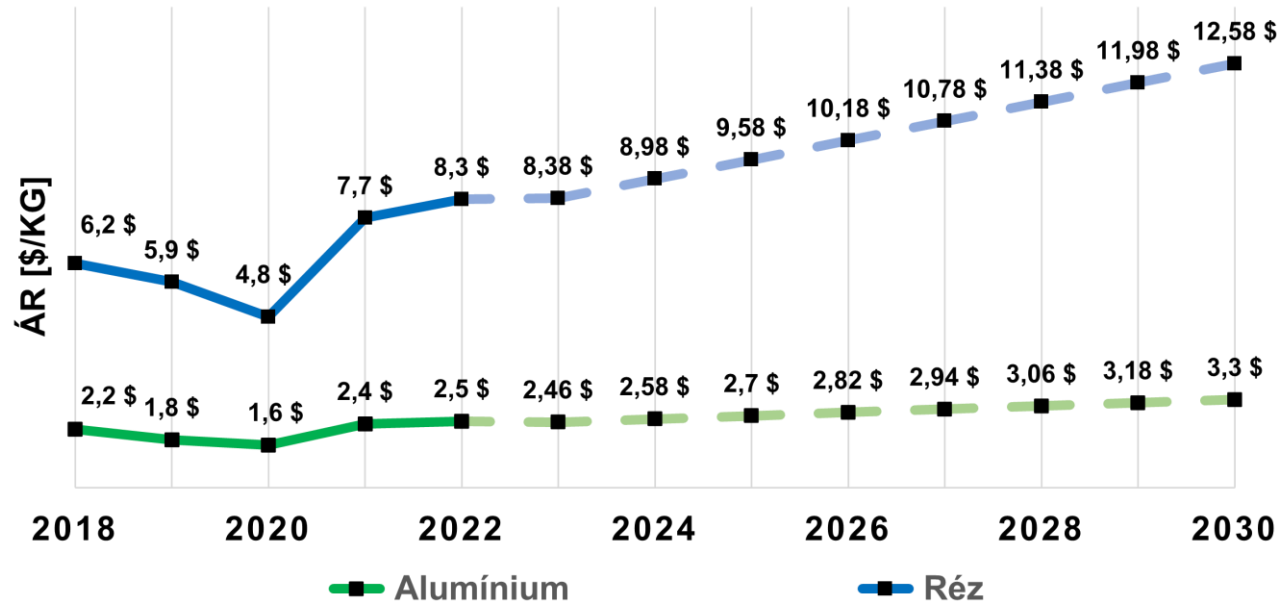


Közösségi közlekedés, buszok



Alumínium és réz összehasonlítása

ALUMÍNÍUM ÉS RÉZ KILOGRAMMONKÉNTI ÁRA: MÚLT, JELEN ÉS JÖVŐBELI ELŐREJELZÉSEK



Források: <https://tradingeconomics.com/commodity/copper> , <https://tradingeconomics.com/commodity/aluminum>



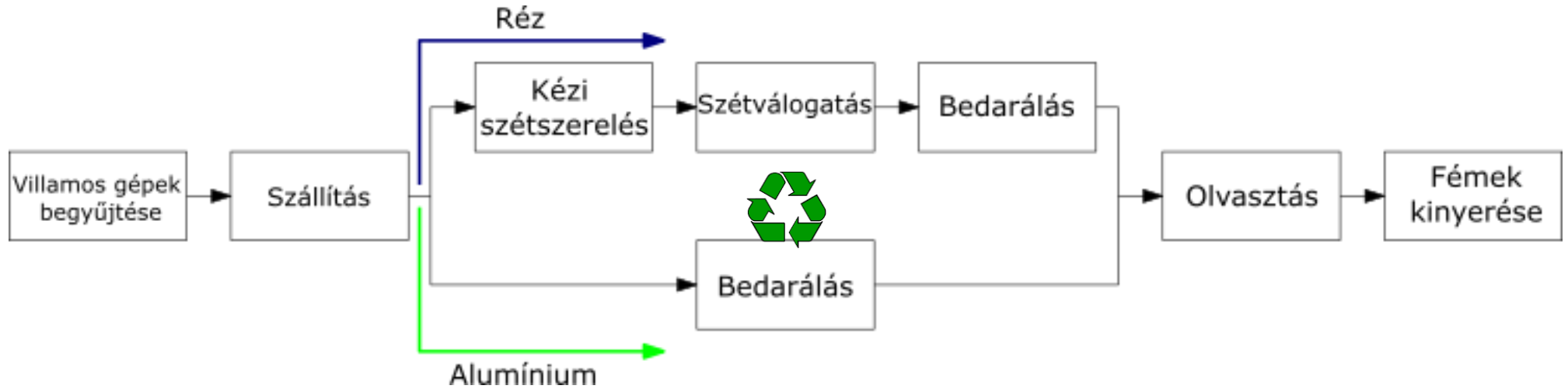
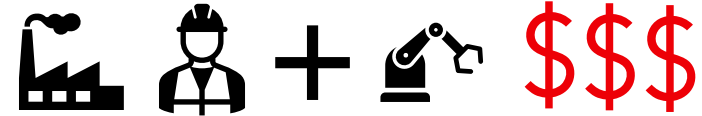
- ▶ Az e-mobilitás szélesebb körű elterjedésével a réz iránti kereslet jelentősen megnő, ezért a világpiaci ára drasztikusan emelkedni fog.
- ▶ Az alumínium tekercseléssel készült gépek költséghatékony alternatívát jelentenek.
- ▶ A tekercselési folyamat is lényegesen egyszerűbb tud lenni az alumíniumnak köszönhetően.

Alumínium és réz újrahasznosíthatósága



Alumínium

Réz

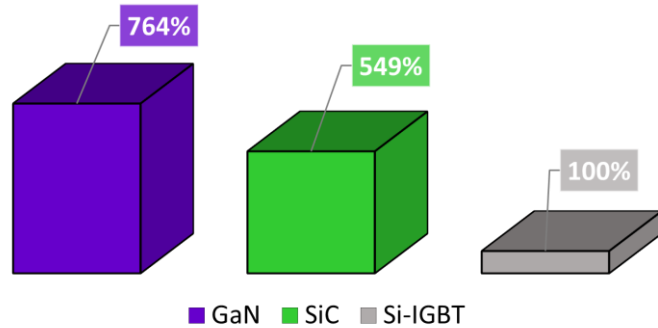


Forrás: Rassõlkin, Anton & Kallaste, Ants & Orlova, Svetlana & Gevorkov, Levon & Vaimann, Toomas & Belahcen, Anouar. (2018). Re-Use and Recycling of Different Electrical Machines. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 55.

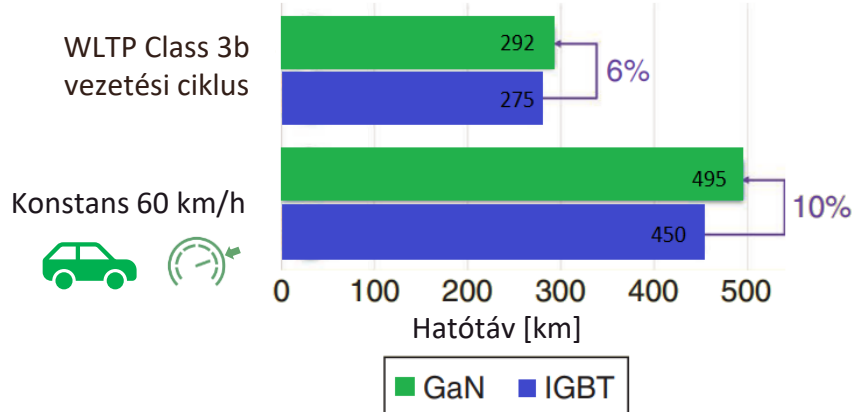
- ▶ Az alumínium tekercselést alkalmazó villamos gépek könnyebben újrahasznosíthatóak:
 - ▶ Az alumínium természetes módon szétválik a többi anyagtól (pl.: vas) az olvadékban, ellentétben a rézzel.
 - ▶ Emiatt az újrahasznosítás a villamos gép kézi szétszerelését és az ehhez szükséges emberi erőforrást nem igényli, ellentétben a réz-alapú megoldásokkal.
 - ▶ Az alacsonyabb olvadáspont miatt gazdaságosabb az olvasztási folyamat és a CO₂ kibocsátás is kevesebb.

Különböző teljesítmény félvezetők összehasonlítása

Teljesítmény félvezetők jelenlegi árának összehasonlítása

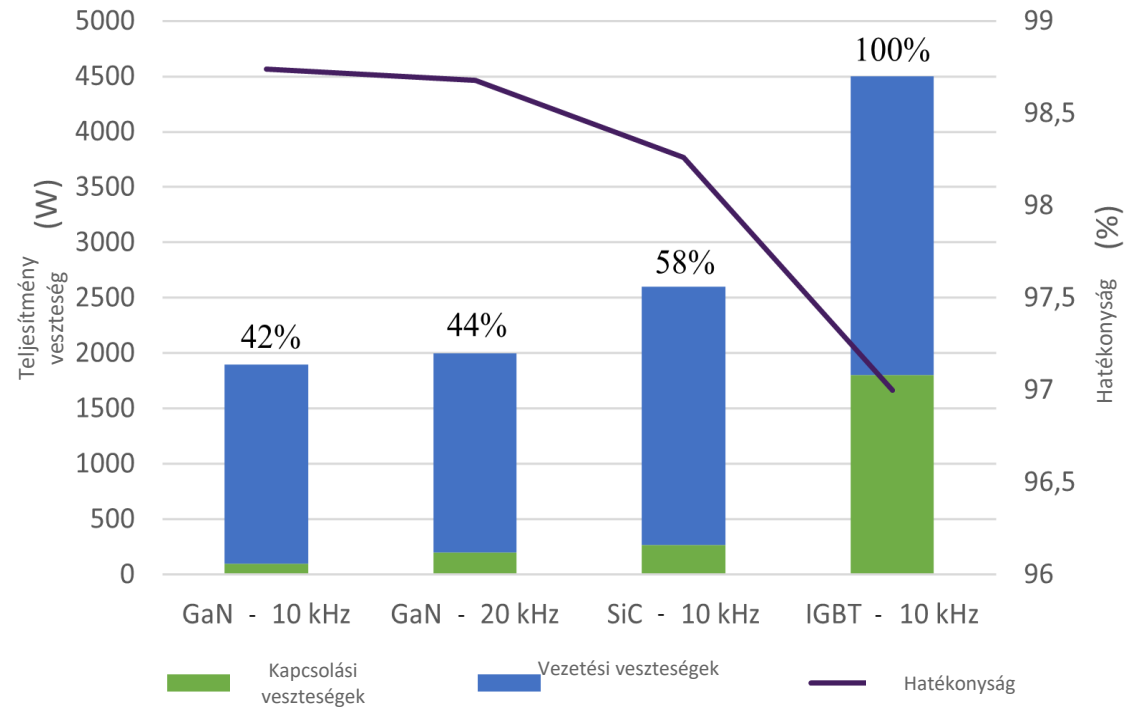


Források: www.farnell.com, www.mouser.com



Forrás: G. Longobardi, L. Efthymiou and M. Arnold, "GaN power devices for Electric Vehicles State-of-the-art and future perspective," 2018 IEEE International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference, 2018

150 kW teljesítményű inverter veszteségei GaN, SiC és Si-IGBT alapú kapcsolóelemek alkalmazása esetén



Forrás: J. Liu, "GaN Semiconductors Driving More Efficient Automotive Traction Inverters [Expert View]," in IEEE Power Electronics Magazine, vol. 8, no. 4, pp. 48-53, Dec. 2021

A GaN jelenleg kísérleti fázisban jár nagyteljesítményű (>100 kW) alkalmazások esetében.

Bór-arzenid – a teljesítmény-félvezetők lehetséges jövője

A BaS esetében **mind az elektronok, mind a lyukak mozgékonyasága** kiváló.

A lyukak mozgékonyasága több mint **háromszor akkora**, mint a Si esetében.

Az MIT kutatóinak számításai szerint a **lyukak mozgékonyasága** elérheti akár a **3000 cm²/Vs** értéket is!

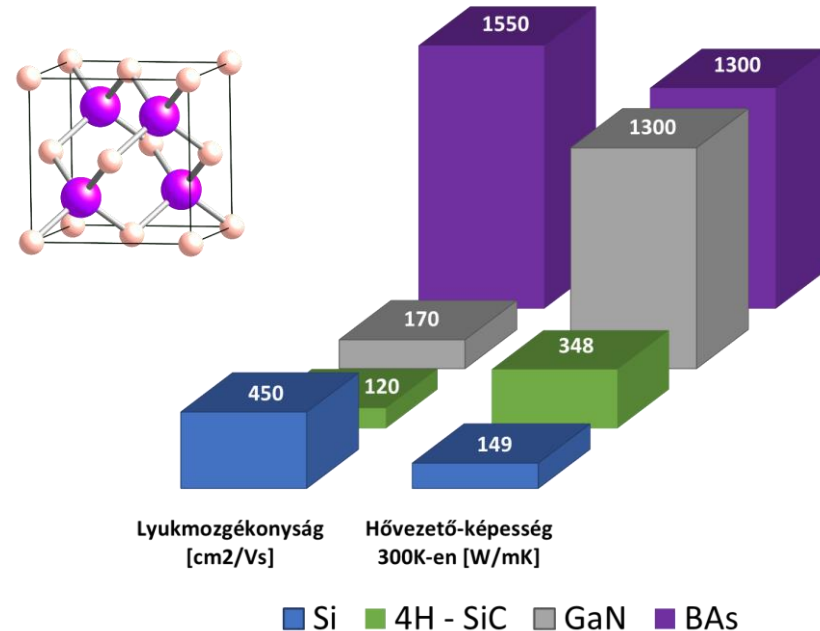
Rendkívül jó hővezető-képesség.

Nagyteljesítményű alkalmazásokra ideális.

Ellátási lánc tekintetében **sokkal szerteágazóbb:**

- ▶ Bór: USA, Törökország, Oroszország
- ▶ Arzén: Peru, Marokkó, Kína

ÖSSZEHASONLÍTÁS A SI, 4H-SiC, GAN ÉS A BAS KÖZÖTT HŐVEZETŐ-KÉPESSÉG ÉS LYUKMOZGÉKONYSÁG SZEMPONTJÁBÓL



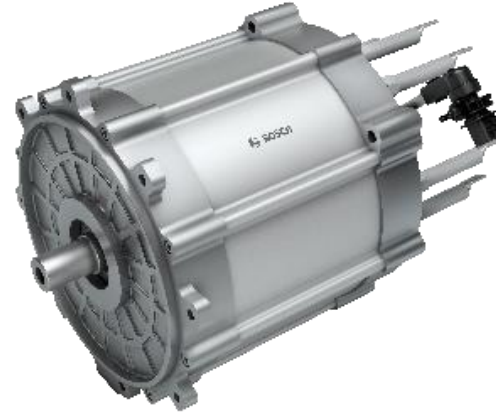
Források:

Choi, Charles. "Is This The Best Semiconductor Ever Found?". IEEE Spectrum, 2022,
Di Giovanni, F., "How the unique properties of wide bandgap materials improve application performance", 2021

Fenntartható megoldások villamos gépek esetében

Ritkaföldfém
tartalom csökkentése

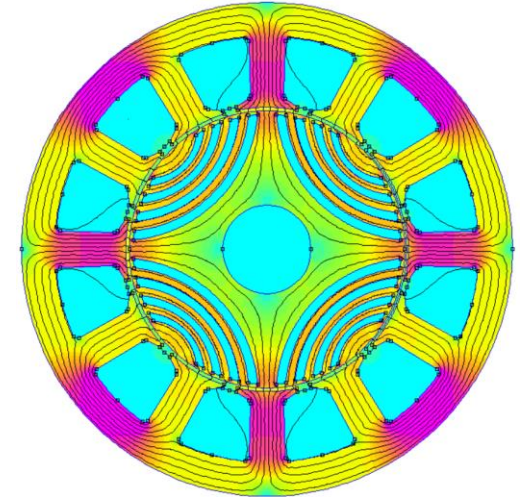
- ▶ Drága
- ▶ Nehezen újrahasznosítható
- ▶ Geopolitikai aggályok



Mágnesmentes gép
használata

Alumínium állórész-
tekercselés

Hajtómű nélküli
megoldás



- ▶ Hajtómű okozta veszteségek megszűnnek
- ▶ Alacsony fordulatszámú megoldás

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!