

A hidrogén, mint hajtóanyag

POTENCIÁLOK A KARBONSEMLEGES MOBILITÁSBAN

Dr. Mészáros Virág

Debrecen, 2025. 03. 26.

Miről is lesz szó?

- 1) Elektrifikáció-tiszta technológiák-rugalmasság-hidrogén
- 2) Karbonsemleges megoldások nehézgépjárművekben
- 3) Dekarbonizációs alternatívák
- 4) H2 mobilitás mint szolgáltatás

A tiszta technológiák szerepe és a közlekedéshez kötődő kibocsátás

CO2 emissions in 2023, IEA

3

Figure 3: Change in CO₂ emissions from energy combustion and avoided emissions from deployment of major clean technologies, 2019-2023

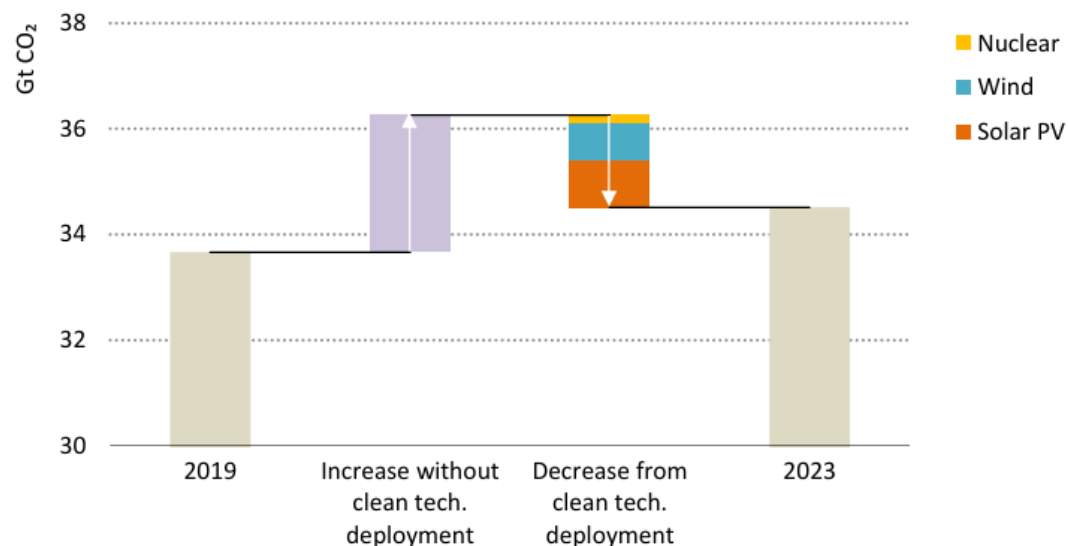
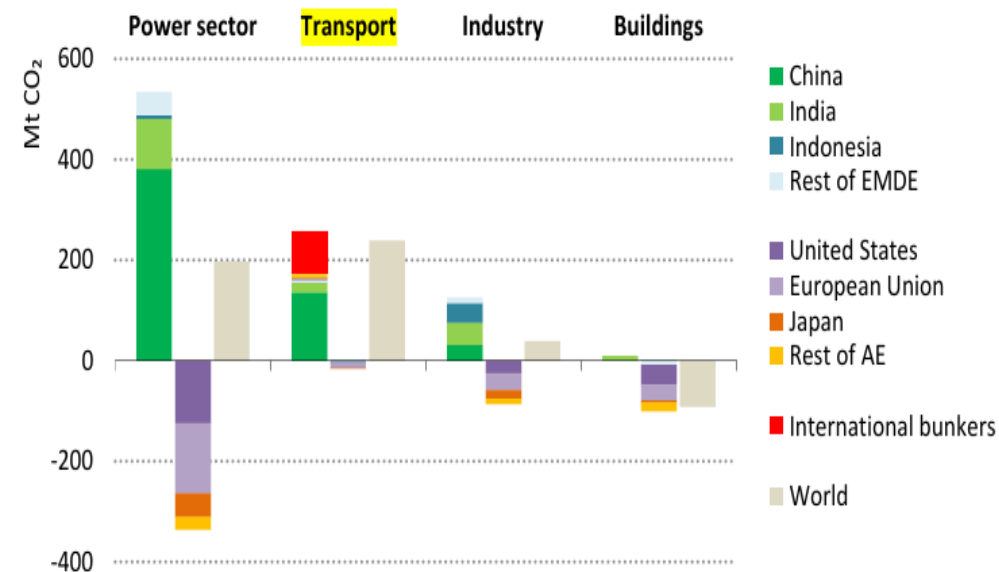


Figure 15: Change in CO₂ emissions from combustion by sector and region, 2022-2023



IEA. CC BY 4.0.

IEA. CC BY 4.0.

**Karbonsemleges közlekedés – karbonsemleges
közösségi közlekedés jelentősége**

Az elektromos áram iránti igény növekedési rátája meghaladja a megújulók terjedését

4

Figure 1.14 ▶ Global installed clean power capacity and electricity generation, 2010-2023

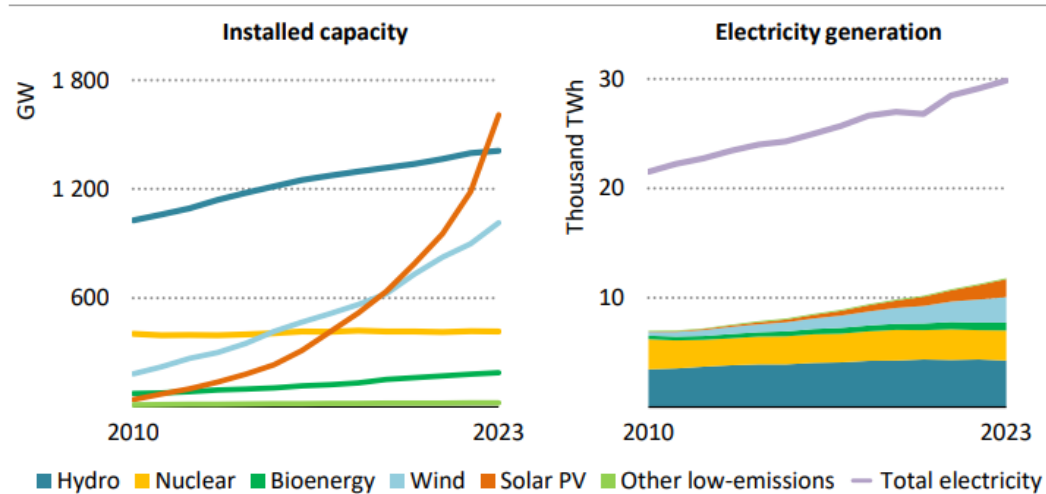
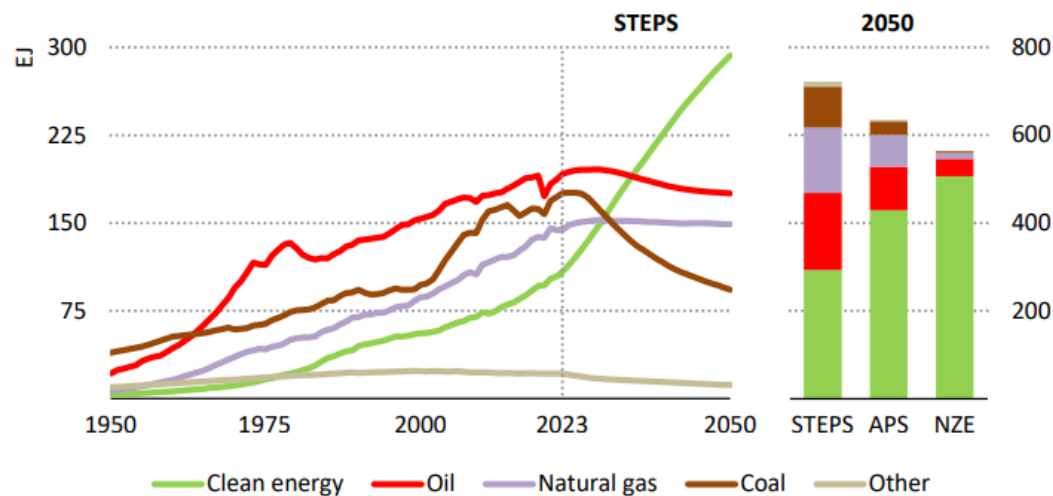


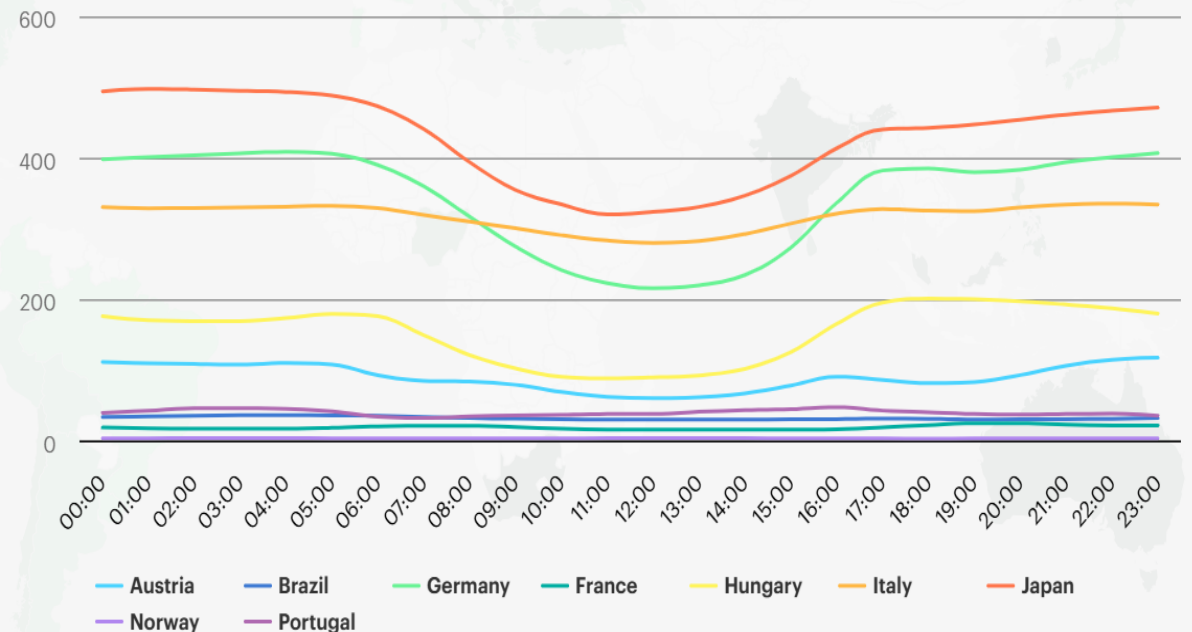
Figure 1.1 ▶ Global energy mix by scenario to 2050



Hálózati csatlakozással nyerhető áram CO2 intenzitása

Átlagos óránkénti CO2 intenzitási profil (gCO₂/kWh)

2025.02.22 -2025.03.23.



Source: www.iea.org

Rugalmasság nélkül nem lehet reziliens rendszereket építeni

1 \$ megújuló beruházás mellé 60 cent hálózatfejlesztési és tárolási beruházás szükséges

A világ villamosenergia-termelése a meghatározott politikák forgatókönyvében, 2010-2035

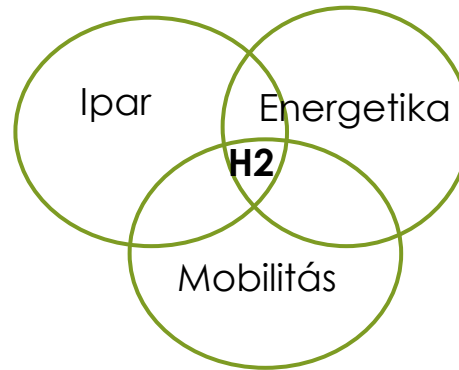
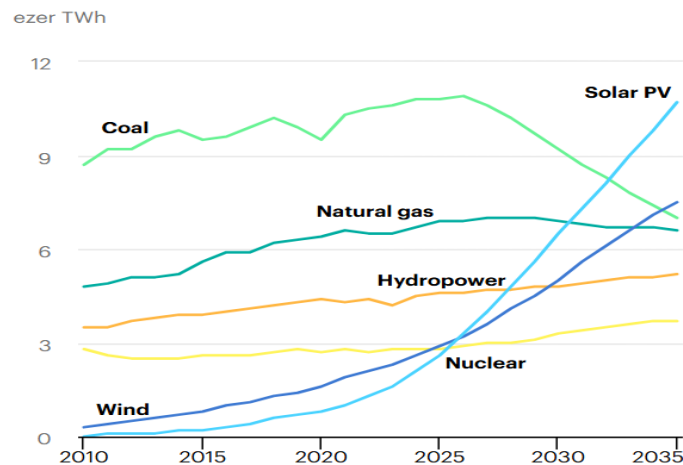
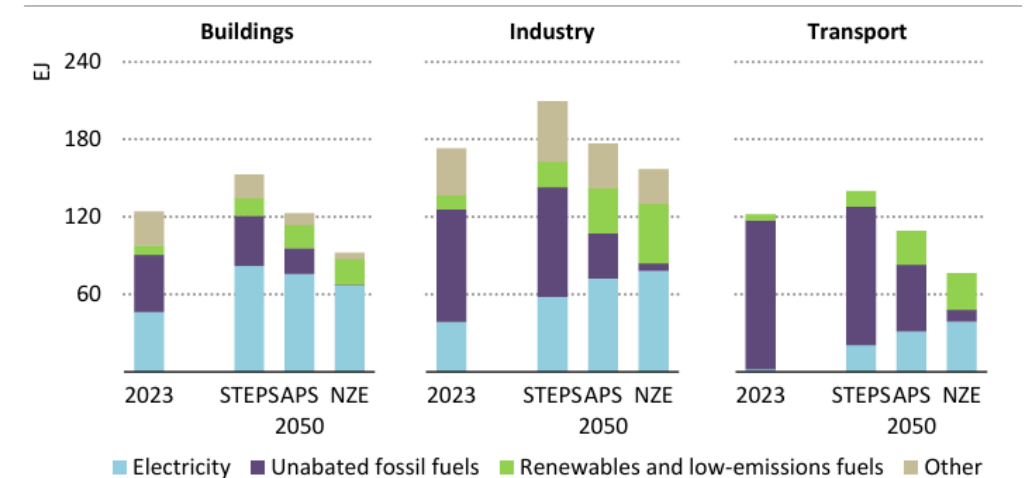


Figure 1.3 Total final consumption by energy source in selected sectors by scenario, 2023 and 2050



IEA. CC BY 4.0.

Electricity increases its share of TFC in all sectors, while additional efficiency measures in the APS and NZE Scenario hold down overall demand growth, and in some cases reverse it

● Napelemes PV ● Szél ● Szén ● Földgáz ● Nukleáris ● Vízenergia

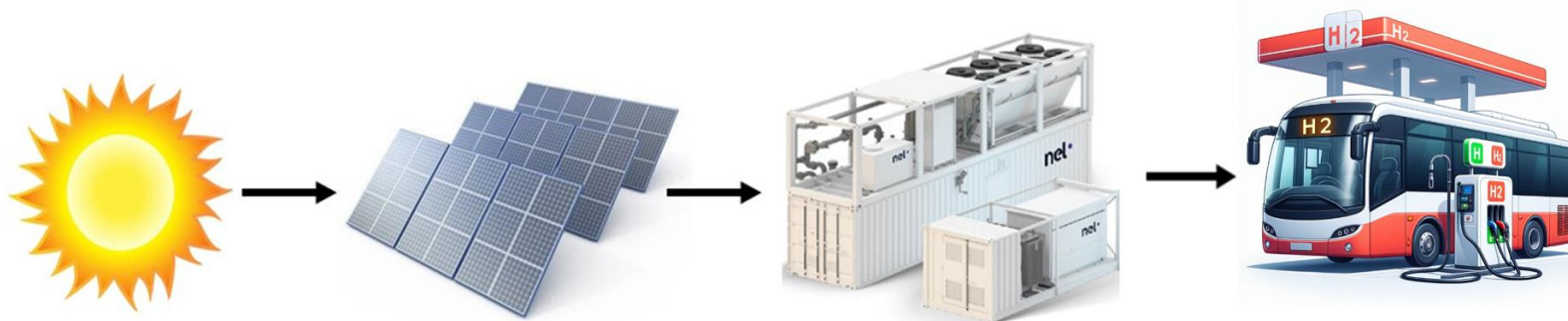
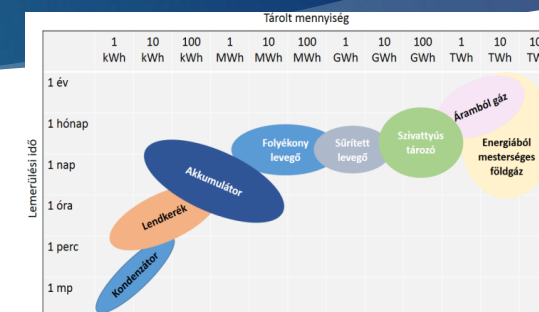
Energiabiztonság, Reziliencia, Rugalmasság

Forrás: www.iea.org

Naperőművek menetrendtartásával összefüggő leszabályozás során előállítható H₂ mennyisége Magyarországon

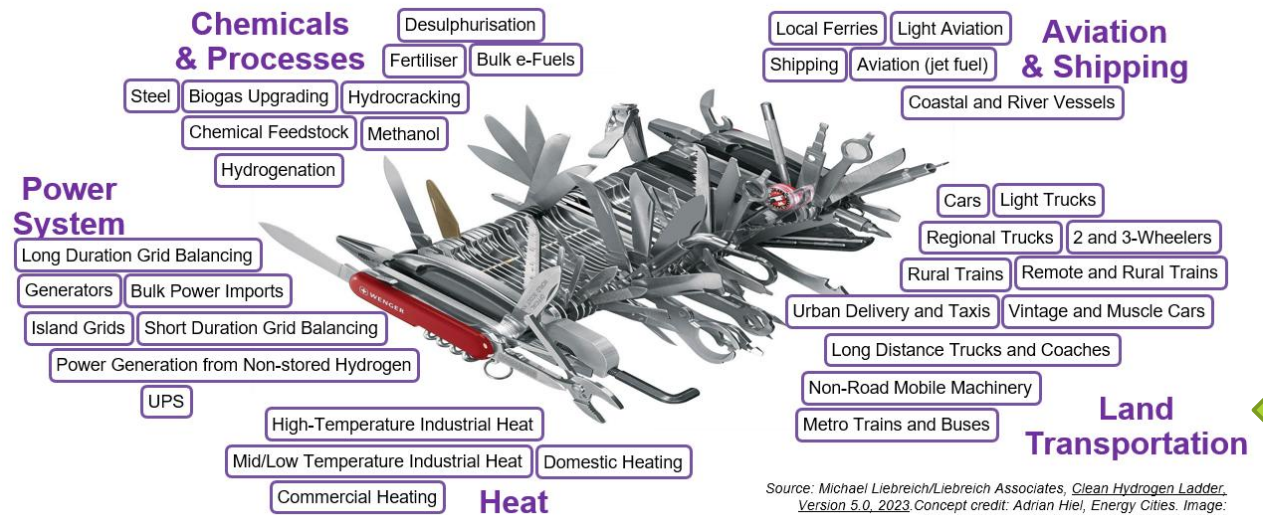
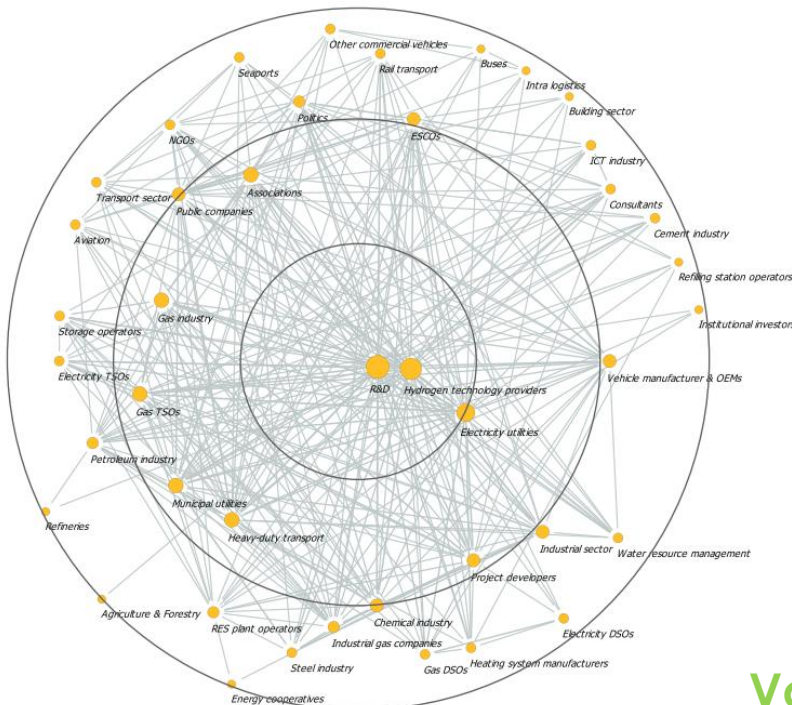
6

- ▶ **1 MW_p** naperőmű, csak leszabályozásból származó
- ▶ H₂ előállítás: **1,6 t/év H₂**
- ▶ 10 db üzemanyagcellás buszhoz **11 napnyi tüzelőanyag**
- ▶ **3,67 GW** (összes magyar naperőmű, 2024 júniusig), csak leszabályozásból származó H₂ előállítás: **5 916 t/év H₂**
- ▶ → **1 100 db** üzemanyagcellás buszhoz **359 napnyi tüzelőanyag**



Az alacsony karbonintenzitású hidrogén, ipari dekarbonizáció és üzleti kihívások

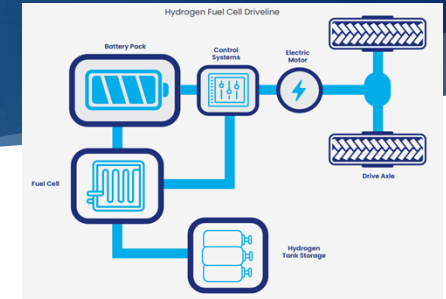
„Elemzésünk azt mutatja, hogy az **alacsony kibocsátású hidrogénnek, a fenntartható repülési üzemanyagoknak és a közvetlen légbefogásnak** egyaránt döntő szerepe van, ha a globális felmelegedést 1,5 °C-ra akarjuk korlátozni, de jelenleg a **mögöttes közgazdaságtan kihívást jelent.**” **Tim Gould, IEA**



Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder*, Version 5.0, 2023. Concept credit: Adrian Hiei, Energy Cities. Image: Wenger (concept credit: Paul Martin). CC-BY 4.0

Karbonsemleges megoldások nehézgépjárművekben

The hydrogen engine Why H₂-engine for commercial applications?



Goal

Fast, resilient and sustainable contribution to a holistic CO₂ reduction

Use Case - Technologies

Battery

Fuel-Cell

+ liquid renewable fuels

Hydrogen-Engine



Commercial vehicle applications are highly heterogeneous (load, power, range, terrain, ...)
We need all technologies, to meet customer and societal needs of all applications



Dekarbonizációs Alternatívák

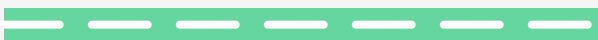
Tisztán elektromos (BEB) vagy
Üzemanyagcellás (FCEB)

HATÓTÁV ÉS HATÉKONYSÁG

9



A tisztán elektromos buszok jól teljesítenek a rövid és mérsékelt menetrendű útvonalakon.



Az üzemanyagcellás buszok a hosszú és a sűrűn közlekedő útvonalakon kiválóak



HŐMÉRSÉKLET



Jelentős hatótáv csökkenés
télén



A hőmérséklet nem
befolyásolja a működést

TÖLTÉS



EB | több óra



FC | 10 to 20 perc

Dekarbonizációs alternatívák

ÜZEMELTETÉS

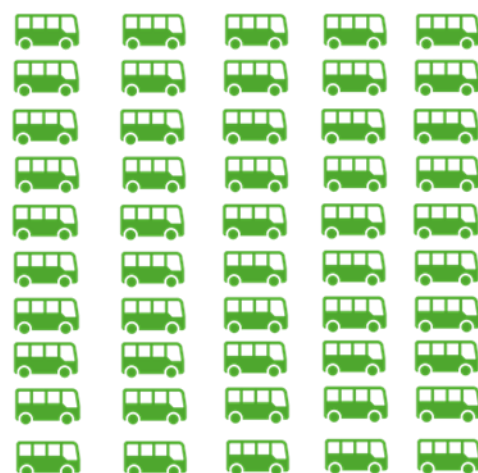


HELYIGÉNY! Megfelel **50** dízelbusz elhelyezési helyigényének:

A HIDROGÉN ÜZEMANYAGCELLÁS BUSZ A DÍZELBUSZHOZ
HASONLÓ ÜZEMELTETÉST TESZ LEHETŐVÉ



50
FCEB



65 (+30%)

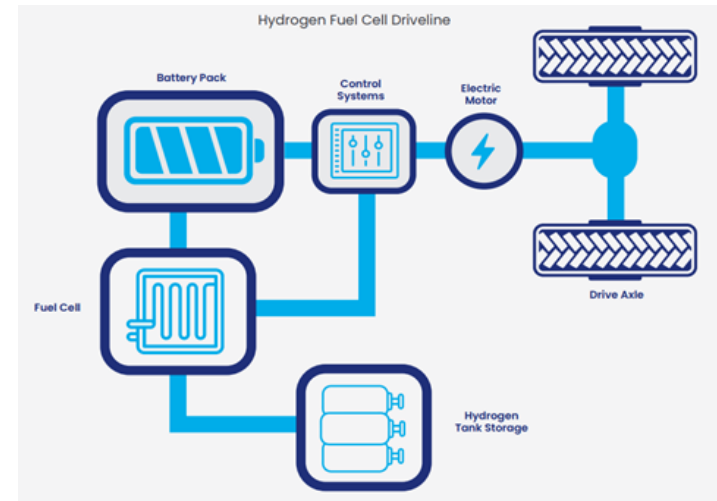
BEB

- Hatótáv
- Biztonsági
távolság

+29 töltő

Dekarbonizációs Alternatívák

Technológiai környezetvédelmi előnyök

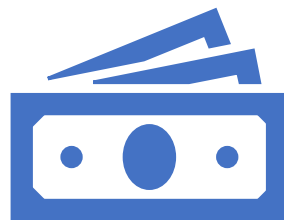


- Lokálisan zéró emissziós üzemeltetés
- Csendes üzem, elektromos hajtás
- Nagy hatótáv: 1 tankolással 5-600 km
- Alacsony karbantartási költségek
- Gyors tankolás: kb. 10-20 perc

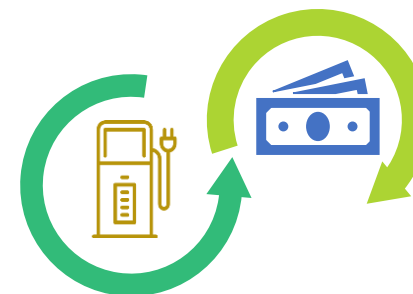


Dekarbonizációs alternatívák

A HIDROGÉN TECHNOLÓGIA KIHÍVÁSAI



Árversenyképesség - Drágább, mint az akkumulátoros elektromos buszok, de nincs szükség extra tartalék buszokra.



Az infrastruktúra és a létesítmények hiánya.
Korlátozott számú hidrogén töltőállomás.
Korlátozott beszállítók és gyártókapacitás.

Hogyan lehet leküzdeni ezeket a kihívásokat?

Dekarbonizációs alternatívák

A KIHÍVÁSOK LEKÜZDÉSE Versenyképes hidrogén ár Igényvezéreltség

BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK CSÖKKENTÉSE

méretgazdaságosság, Ft/km alapú elszámolás

INTEGRÁLT STRATÉGIA AZ ÉRDEKELT FELEK KÖZÖTT

A KERESLETNEK MEGFELELŐ TERMELÉS BIZTOSÍTÁSA

GLOBÁLIS

LOKÁLIS

A hosszabb járatú üzemanyagcellás buszoknál láthatóak a technológia előnyei

A közösségi közlekedésnek meg kell érteni a tisztán elektromos járművek határait és a hidrogén hajtás bevezetési pontját

Üzleti megoldás – teljeskörű km alapú szolgáltatás a töltési infrastruktúra kiépítésével

Hidrogén ökoszisztémákhoz csatlakozás – komplex projektek, diverzitás, méretgazdaságosság

Hidrogén mobilitás mint szolgáltatás

Nagyobb, hosszú hatótávú flották hidrogén alapú dekarbonizációjához szükséges TÖBB MILLIÓ EURÓS BERUHÁZÁST KM ALAPÚ ELSZÁMOLÁSRA LEHET VÁLTANI

Ki a versenytárs hosszú távon?

FUTÁSI PARAMÉTEREK : 65.000 KM – 15 ÉVEN KERESZTÜL

INFRASTRUKTÚRA FEJLESZTÉS KÖLTSÉGEI NÉLKÜL

7 EUR/KG HIDROGÉN ÁR

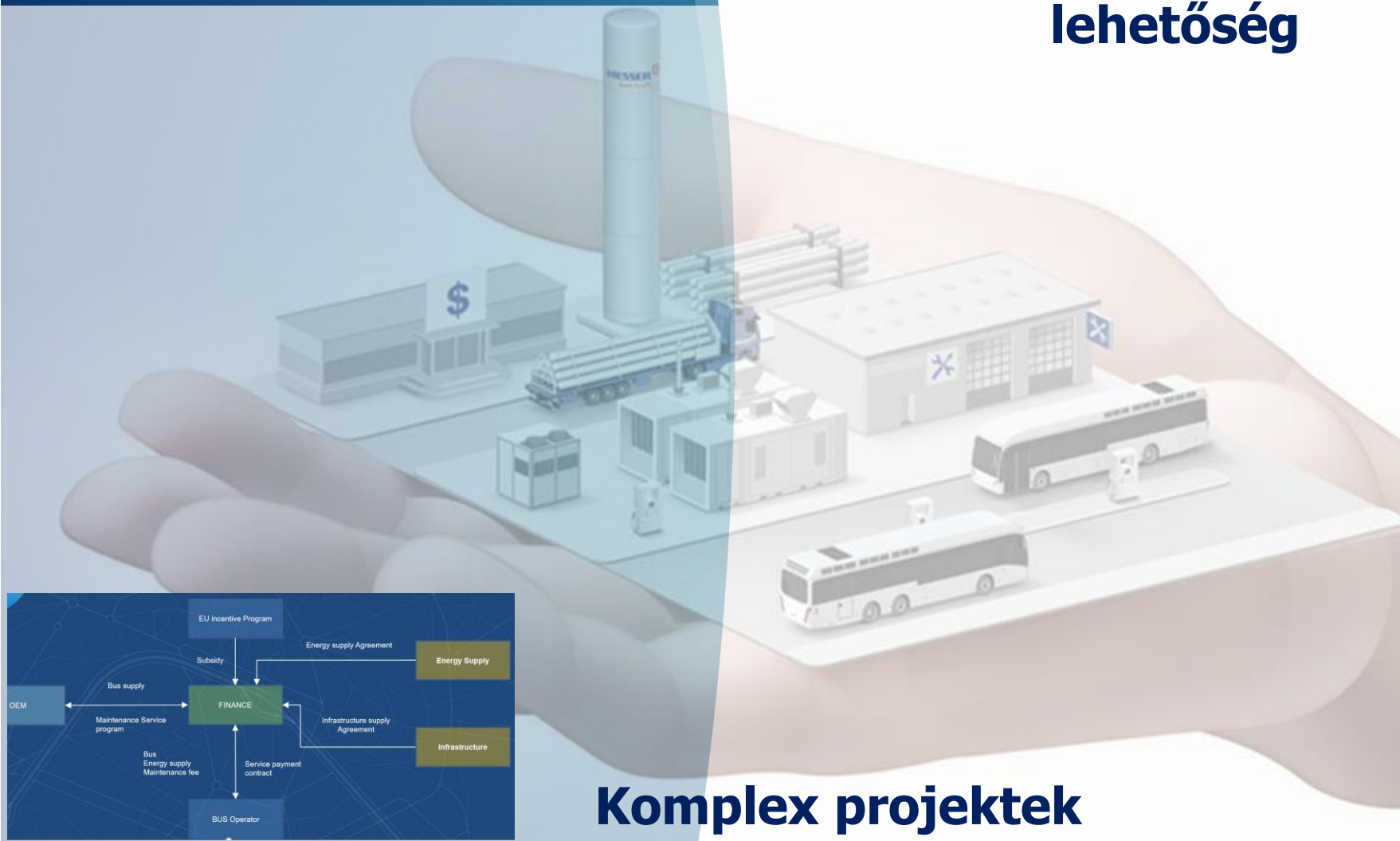
üzemanyagcellás busz=100%	dízel	elektromos
korrigált busz CAPEX/km	41%	150%
karbantartás OPEX/km	149%	143%
üzemanyag OPEX/km	171%	1%
teljes OPEX/km	160%	58%
jármű üzemeltetés ktg/km	104%	101%

- Fenntarthatóság nem csak a lokális CO2 kibocsátással mérhető
- Üzemeltetési hatékonyság és dekarbonizáció együtt jelenjen meg
- Teljes életciklus-, és rendszerszemlélet

Hidrogén mobilitás mint szolgáltatás

Dekarbonizációs és energetikai üzletfejlesztési lehetőség

15



Komplex projektek

TŐKE

ÜZEMANYAGCELLÁS
JÁRMŰVEK

FLOTTA SZOLGÁLTATÁSOK

HIDROGÉN SZÁLLÍTÓK ÉS
TÖLTÉSI INFRASTUKTÚRA

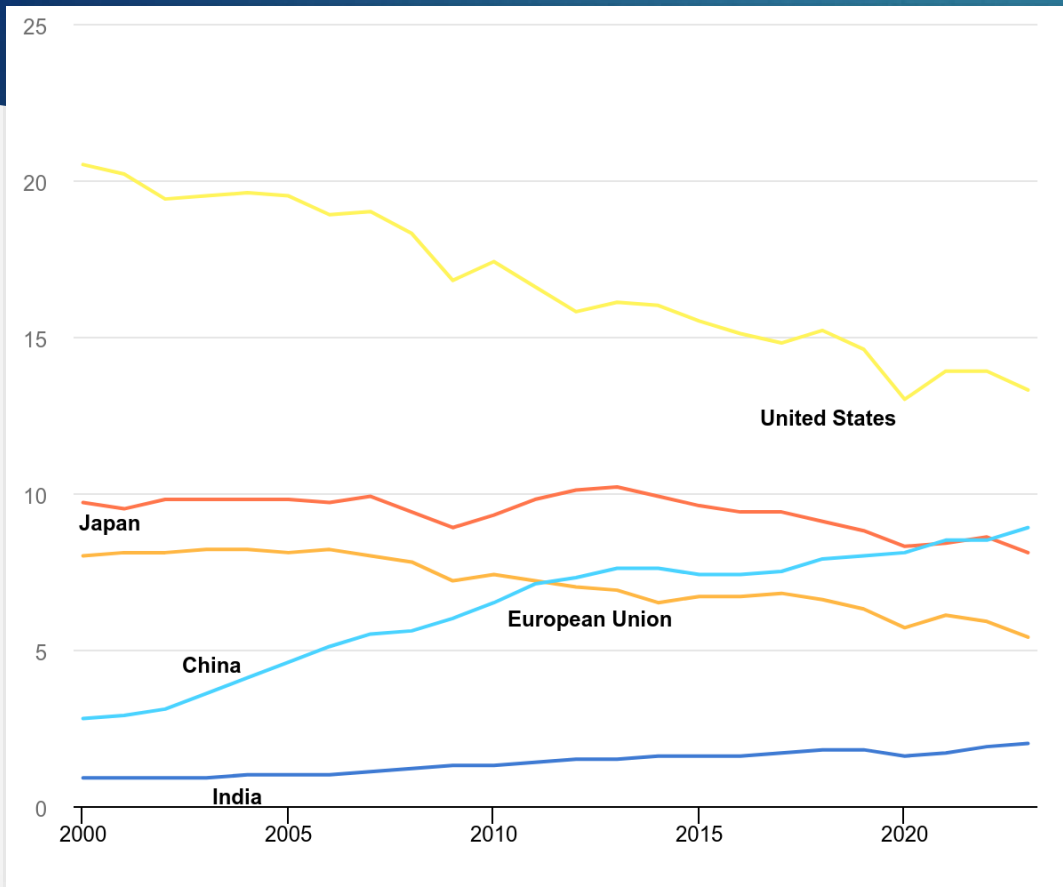
**KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ
FIGYELMET!**

CO2 emissions in 2023, IEA

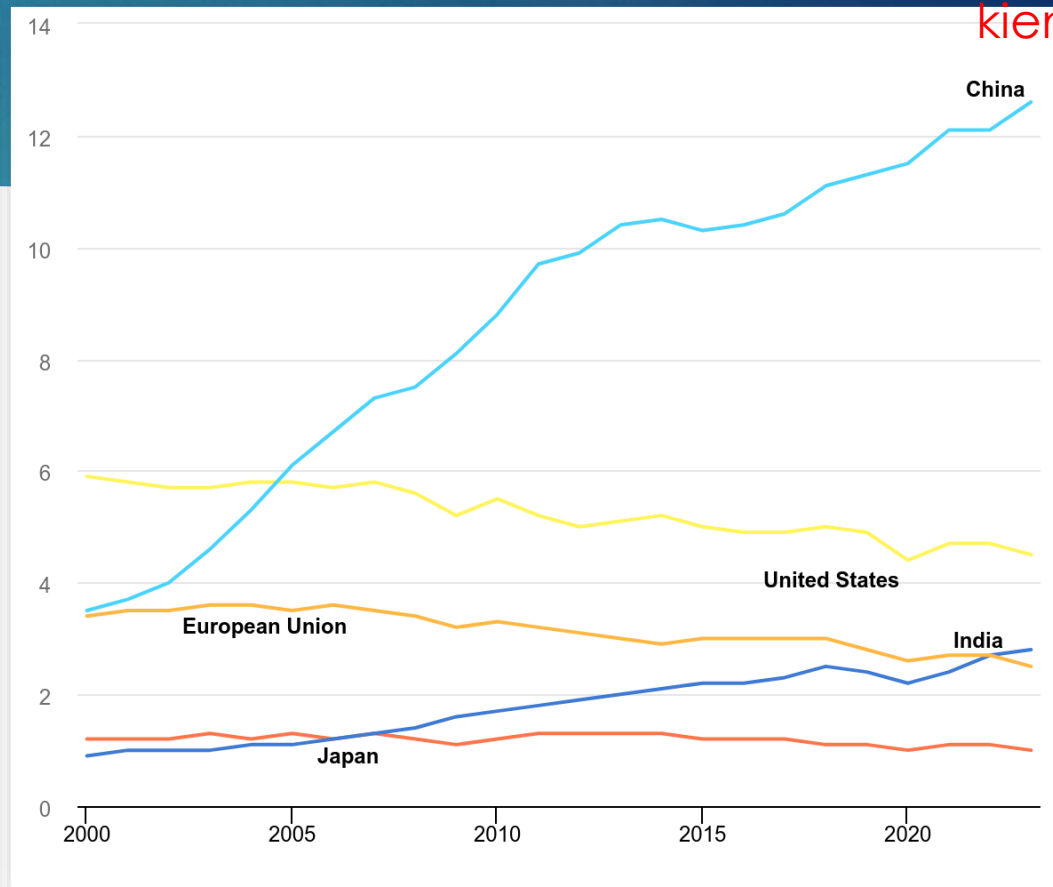
2023

Kína
megújuló
termelése
kiemelkedő

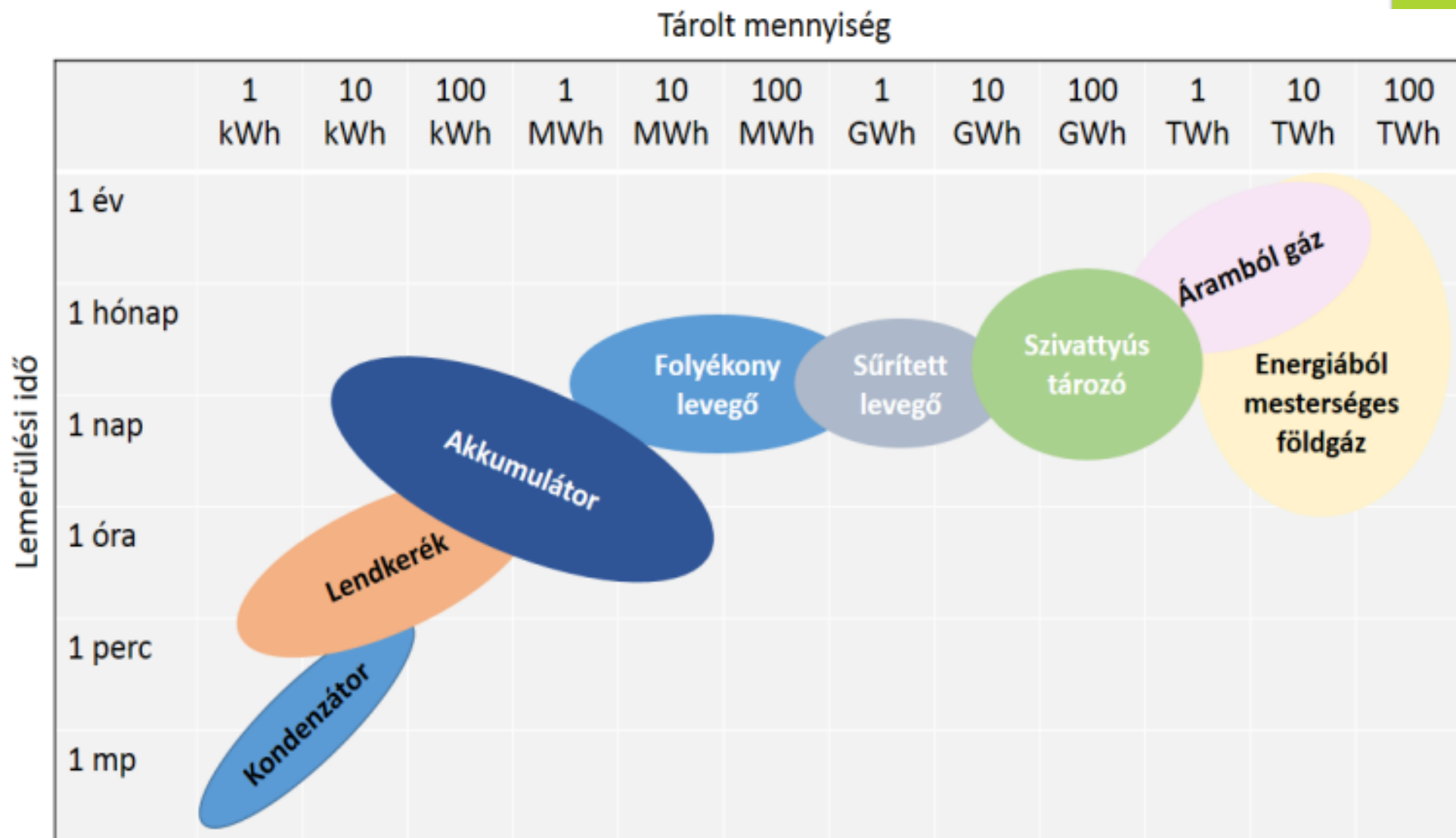
M tons CO2 total emissions per capita by region, 2000-2023



M tons of CO2 total emissions by region, 2000-2023



Forrás: www.iea.org



EV or FC?

EV and FC?



Flexibility

Charging vs. H2 refueling



EV | 4 to 6 hours



FC | 10 minutes

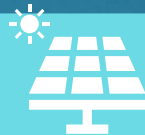
A Fuel Cell Bus allows similar operation conditions as the ones provided with Diesel buses
Depot space availability. H2 Infrastructure for FC buses require less space than EV charging



EV | Charging Protocol and electrical power availability



FC | Refuelling flexibility



Temperature



BEs excel in moderate temperatures.



FCEBs in all types of climates, from cold winters to warm summers

Cold temperatures reduces the available power and energy on traction batteries. (BTMS). The BTMS draws energy from the batteries enables the batteries to optimally perform in all conditions.

Lower/higher temperatures require higher consumption from thermal comfort

Operational operating temperature range from -40°C up to 55°C



Range and Efficiency



BEs stand out on short routes and routes with moderate schedules.



FCEB's stand out on long routes and routes with frequent service.

Urban



EV | Max 320 km



FC | Min 450 km

Coach



EV | Max 450 km



FC | Max 1000 km

Urban 422



EV | 398 km



EV | 250 km



Fuel Cell Buses

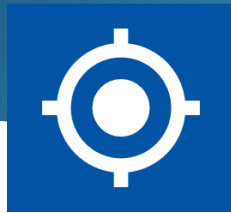
Konkrét projektek



Country and legal strategies

- Lack of legal and homologation framework
- Some undefinition around National strategies around H2
- Subventions process do not establish a clear definition between H2 and EV

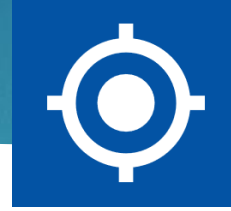
Mobilitás mint szolgáltatás



CAPEX

- FC buses still have a higher CAPEX than EV
- Traditional business model still very present between operators
- Traditional business model do not fit as before for fleet renewal

H2 völgy – komplex projektek



Infrastructure availability

- Infrastructure for refueling still quite unavailable
- Infrastructure licensing is a long-term process and not all the municipalities do not have a framework for approval process
- H2 Production capacity
- Fleet vs. H2 production capacity – perfect match and pilot projects

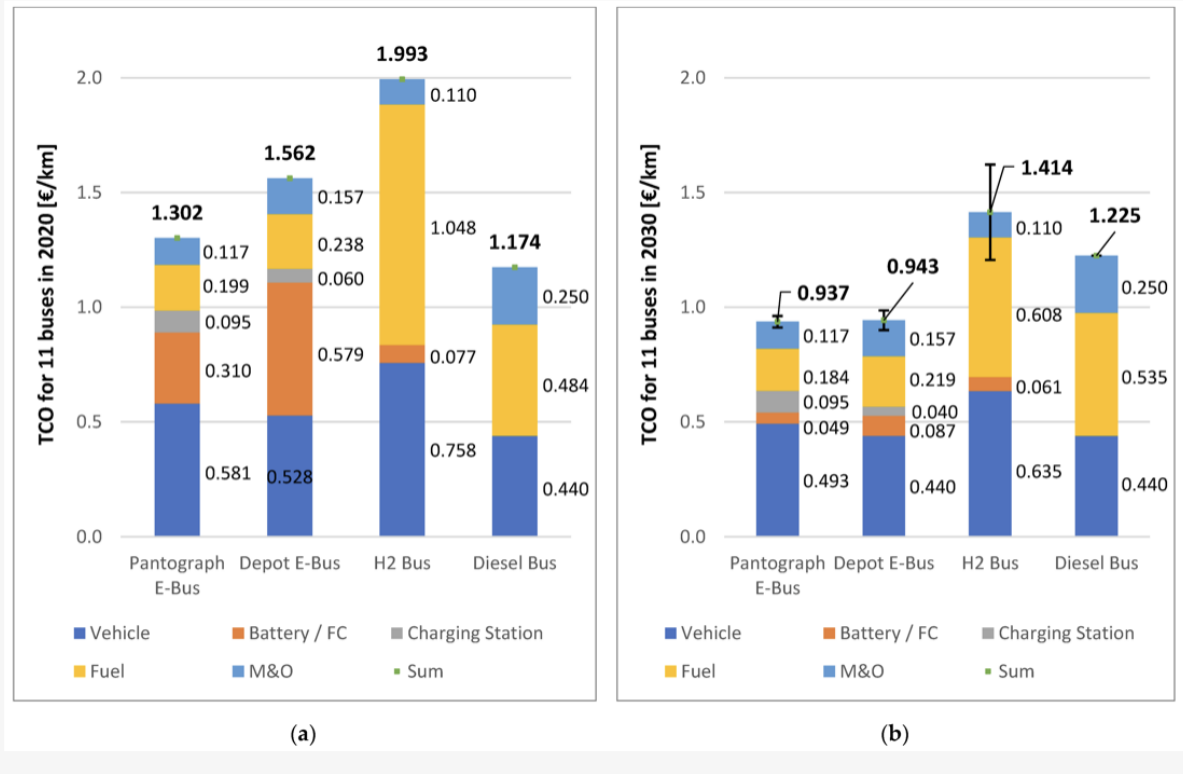
RFNBO és H2 völgyek



Hydrogen price

- High fluctuation between H2 prices 6 EUR/kg – 16 EUR /kg
- Green H2 availability – price stability
- H2 price does not match with reduced number of off takers and on Production capacity
- Type of infrastructure and investment required. H2 filling station or H2 production on site. Public or private infrastructure

A hagyományos dízel -, az elektromos -, és a hidrogén buszok teljes tulajdonosi költségeinek (TCO) várható alakulása és az OPEX



A. Estrada Poggio et al. Journal of Energy Storage 72 (2023) 108411

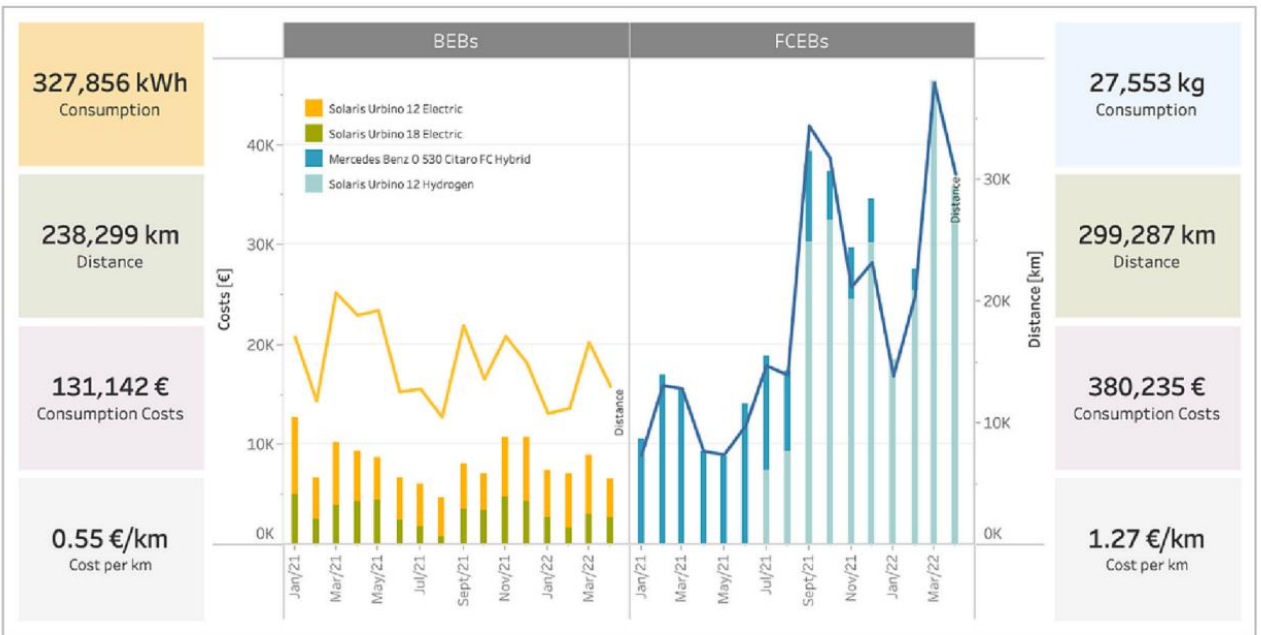
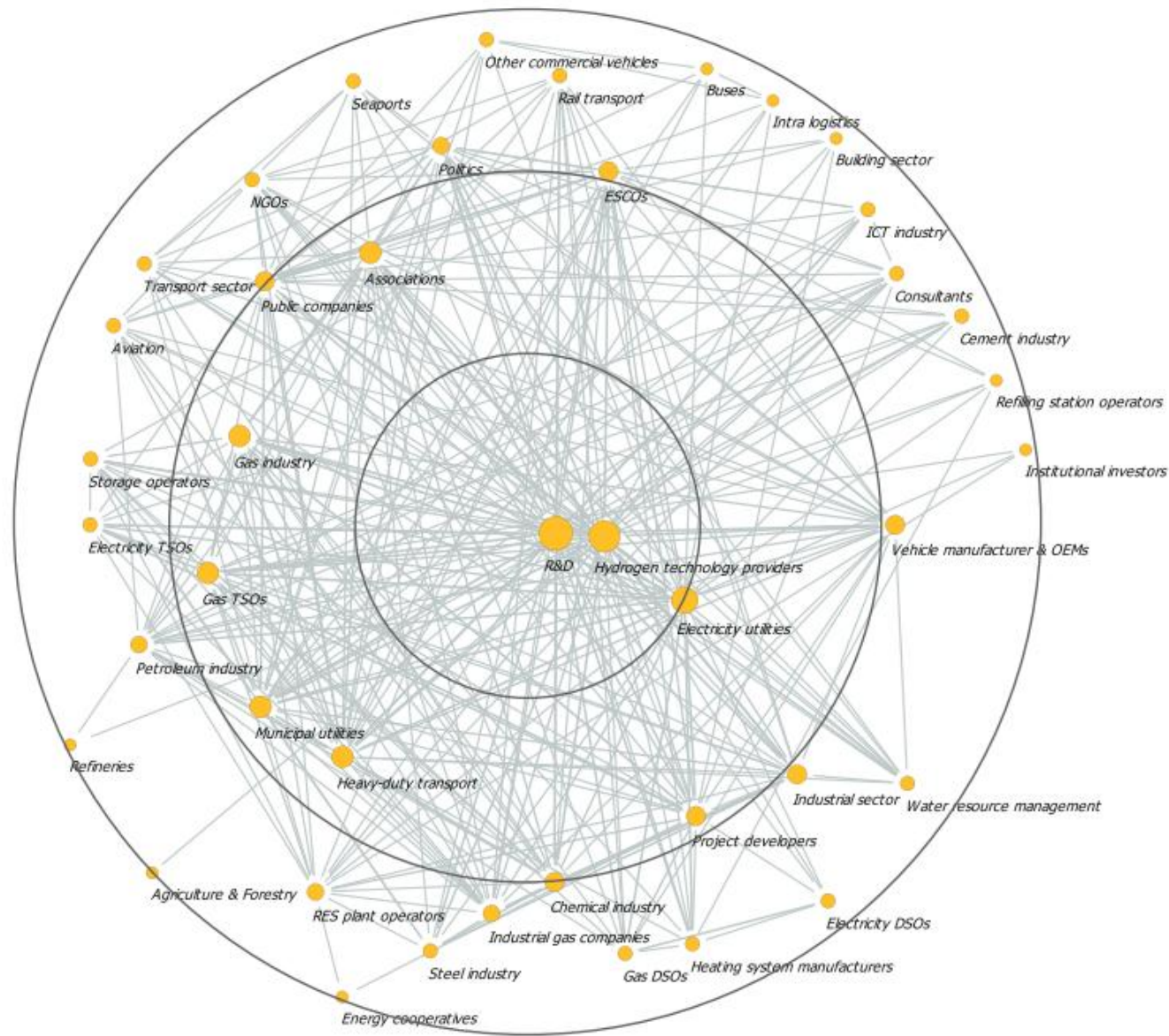


Fig. 17. Consumption, distances, and operational costs from January 2021 to April 2022 for the analysed ZEB fleet. The following cost figures were used in combination with the monitored data: costs: (i) 13.80 €/kg H2 in IIT's station [49]; (ii) 0.40 €/kWh for recharges in public streets [62].

Típus	Fogyasztás		Átváltás	Fogyasztás (kWh/km)	Üzemanyag ár (Ft/kg; Ft/l; Ft/kWh)	Költség (Ft/km)	Hajtás CO2 kibocsátása/km
CNG	47	kg/100 km	14	6,58	900	423,0	1812
Dízel	52,2	l/100 km	11	5,742	625	326,3	1119
FCEB	6	kg/100 km	33,3	1,998	3980	238,8	0
BEB	110	kWh/100 km	1	1,1	100	110,0	0

(TISZTA) HIDROGÉN PROJEKTEK STAKEHOLDER TÉRKÉPE

Van létjogosultsága a
közlekedésben?



Alapjogszába (módosítás alatt): Regulation (EU) 2019/1242 as regards strengthening the CO₂ emission performance standards for **new heavy-duty vehicles**...*

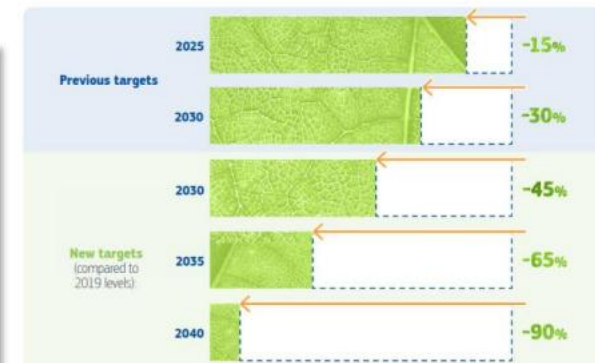
érintett járműszegmensek (HDV): N1*, N2, N3, M2, M3, O3, O4

Néhány kiemelten fontos fogalom a HDV emissziós rendeletről:

- **nehézgépjármű** (*heavy-duty vehicle, HDV*) – 2. cikkely a) pont: a szabályozás értelmében „nehézgépjármű (HDV)” definíció alatt a fent megadott a), b) és c) pontban megadott járművek bármelyike értendő,⁶
- **kibocsátásmentes nehézgépjármű** (*zero-emission heavy-duty vehicle, ZEV*) – 3. cikkely 11.) pont: a következő járművek bármelyike:
 - a) nehézgépjárművek, amelyek CO₂-kibocsátása legfeljebb 3 g/(tkm) vagy 3 g/(pkm)⁷,
 - b) belsőégésű motorral nem rendelkező nehézgépjárművek (*ezek gyakorlatilag a BEV / FCEV járművek) vagy olyan belsőégésű motorral rendelkező nehézgépjárművek, amelyek szén-dioxid-kibocsátása legfeljebb 1 g_{CO2}/kWh (itt további kiegészítő feltételek szerepelnek még),
 - c) olyan pótkocsik, amelyek meghajtásukat aktívan támogató berendezéssel vannak felszerelve, de nem rendelkeznek belső égésű motorral, vagy rendelkeznek belső égésű motorral, de annak széndioxid-kibocsátása kevesebb mint 1 g_{CO2}/kWh,

ZEV HDV a magyar jogban: 6/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet 2. § (27) - ez visszahivatkozik a HDV-CO₂ rendeletről

CO₂ emissions reduction targets for HDV



2030-ra az új városi autóbuszok 90%-ának kell kibocsátásmentesnek lennie, és

2035-re kell elérni az új városi autóbuszok esetében a 100%-os kibocsátásmentes részarányt. Távolsági buszok: HDV ált. cél.

Ezt a jobb dual-fuel H2-ICE motorok tudják teljesíteni!

*: * NEM ÖSSZETÉVESZTENDŐ a személygépjárművekre vonatkozó „híres-hírdet” (EU) 2019/631 Rendelettel („2035”)!

RED-III irányelv: (EU) 2023/2413 irányelv a megújuló energiaforrásokból előállított energia előmozdítása ...

„25. cikk

A megújuló energia növekedése és a kibocsátásintenzitás csökkenése a közlekedési ágazatban

- (1) Minden egyes tagállam kötelezettséget ír elő az üzemanyag-forgalmazók számára annak biztosítására, hogy:
- a) a közlekedési ágazat számára szolgáltatott megújuló üzemanyagok és megújuló villamos energia mennyisége következtében:
 - i. a megújuló energiának a közlekedési ágazat végső energiafogyasztásán belüli résaránya 2030-ig legalább 29 %-ra emelkedjen; vagy
 - ii. a tagállam által meghatározott indikatív ütemtervnek megfelelően – 2030-ig a 27. cikk (1) bekezdésének b) pontjában meghatározott alapértékhez képest legalább 14,5 %-kal csökkenjen a kibocsátásintenzitás.
 - b) a közlekedési ágazat számára szolgáltatott energiamennyiségben belül a IX. melléklet A. részében felsorolt alapanyagokból előállított fejlett bioüzemanyagok és biogázok és a nem biológiai eredetű megújuló üzemanyagok együttes részaránya 2025-ben legalább 1 %, 2030-ban pedig 5,5 %, és ebből 2030-ban legalább 1 százalékpontos részarány a nem biológiai eredetű megújuló üzemanyagokból ered.

RFNBO: Renewable Fuel from Non-biological Origin („zöld hidrogén”)

- (2) Az (1) bekezdés első albekezdésének a) pontjában említett célértékek és az (1) bekezdés első albekezdésének b) pontjában említett részarányok kiszámítása tekintetében a tagállamok:
- a) akkor is figyelembe veszik a nem biológiai eredetű megújuló üzemanyagokat, ha azokat köztes termékként használják fel a következők előállításához:
 - i. hagyományos közlekedési üzemanyagok; vagy

FCEV vs. H2-ICE ? – neves gyártók eltérő koncepciók, közös cél

MAN Truck & Bus: 2025-től 200 darabos H2-ICE kamion tesztflotta.

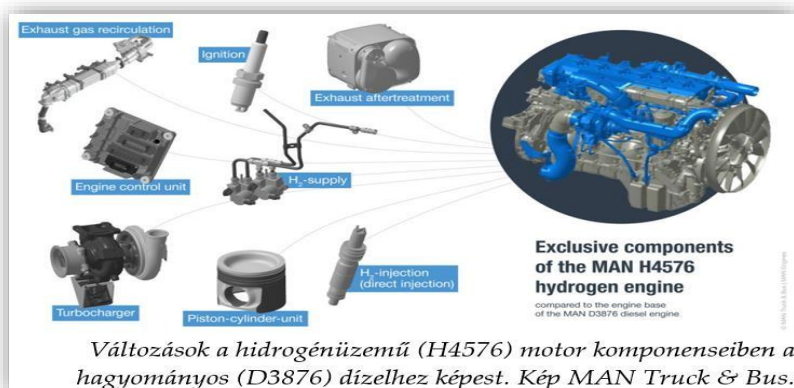
- ▶ A MAN H4576 hidrogénüzemű (16,8 literes) motorja a D3876 dízelmotoron alapul, és ezért viszonylag könnyű a hidrogén-specifikus alkotókat integrálni a már bizonyított motorba. A dízelmotor alapvető **alkatrészeinek ~80%-át**, például a forgattyúházat, a forgattyústengelyt, a hajtórudakat, valamint a hűtési és olajköroket, beleértve a szivattyúkat, az olajteknőt és a szűrőt is, megosztja az új hidrogénmotorral, azaz **a hidrogénmotor is ezeket használja.**
- ▶ A két belsőégésű motor – azaz a tradicionális dízel és a H2-ICE motor - **közel azonos méretei** megkönnyítik a gépgyártók számára, hogy a meglévő járműkonceptiókba integrálják a hidrogénüzemű motort.
- ▶ (Ez szikragyújtású! A MAN H4576 hidrogénüzemű (16,8 literes) motorja a D3876 dízelmotoron alapul.)

FCEV vs. H2-ICE ? – neves gyártók eltérő koncepciók, közös cél

Gyártás felfuttatása, időigénye + meglévő ICE szakértelem (szervizelési, garanciális kérdések) oktatási hagyományok

Dual-fuel esetében: nincs „kilométerfrász” – bátrabban vásárolnak a végfelhasználók

Gyorsabban megjelenő, felfutó H₂ igény □ HRS-ek jobb kihasználtsága



Kép: MAN,
Liebherr



FCEV vs. H2-ICE ? – neves gyártók eltérő koncepciók, közös cél

► dual-fuel H2-ICE – a „köztes lépcső”

- Volvo Truck 2026-tól H2-ICE kamion közúti tesztelése, egyes ügyfelein keresztül; 2030-tól kereskedelmi forgalom

Koncepció: HDPI (*High-pressure direct injection*) technológia + Westport Fuel Systems

Kiindulási alap: CNG-s teherautók, két típusa:

- szikragyújtású: jelenleg a piac ~90%-a
- kompressziós gyújtású: egyelőre kevés és csak kettős üzemanyagú rendszer lehet □ ennek altípusai:
 - a) HDPI: elégetett üzemanyag csak 5%-a dízel (CNG + dízel keverék □, dízel OK, de nem hatékony)
 - b) helyettesítő (*substituion*, 0-65%) rendszerek (CNG + dízel keverék □, dízel □, csak CNG Ø)