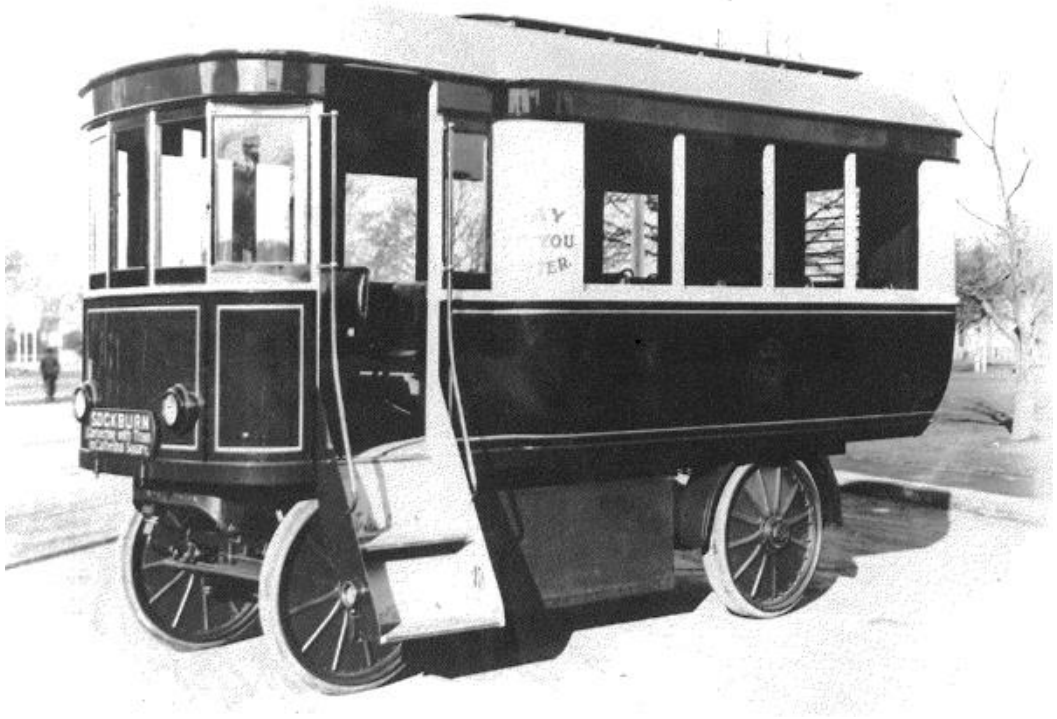
Az elektromos autóbuszok üzemeltetése a közforgalmú közlekedésben

Tartalom

1. Járművek jellemzői
2. Mobilitási szolgáltatás jellemzői
3. Nemzetközi gyakorlatok - tendenciák
4. Hazai gyakorlat
5. A töltési technológia és a töltési infrastruktúra jellemzői
6. Üzemeltetési sajátosságok
7. Környezeti hatások

1. Járművek jellemzői



1918

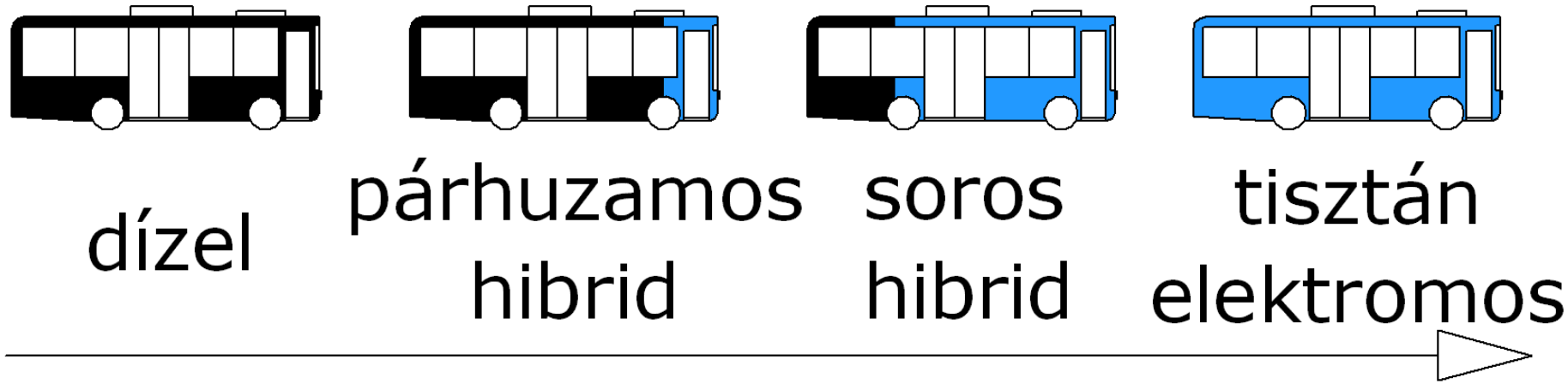
Elektromos autóbusz Amerikából

1. Járművek jellemzői

1933. december 16.

Vörösvári út – Óbudai temető

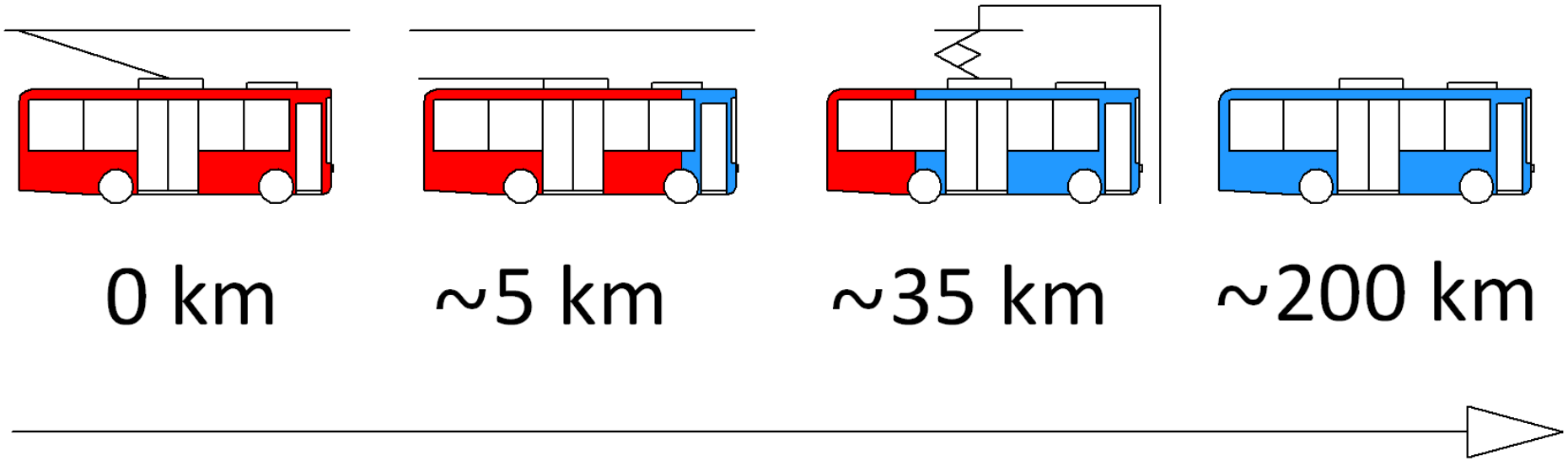
1. Járművek jellemzői



ENERGIAHATÉKONYSÁG

Az autóbusz energiahatékonysága az akkumulátor méretével együtt nő

1. Járművek jellemzői



ÖNJÁRÓ HATÓTÁVOLSÁG

Megjelennek a trolibusz és elektromos autóbusz közötti átmenetek

1. Járművek jellemzői

Önjáró: mozgáshoz szükséges energiát a fedélzeten tárolja
Nem-önjáró: az energiát mozgás közben, külső forrásból kapja (pl. trolibusz)

Energia tárolása:

- Akkumulátor
- Kondenzátor
- Hidrogén (tüzelőanyagcella)

✓ Alacsony üzemeltetési költség
✓ Magas hatásfok
✗ Magas beszerzési ár
✗ Töltő infrastruktúra hiánya/ hosszú töltési idő
✗ Technológia újszerűsége miatt alacsonyabb rendelkezésre állás

1. Járművek jellemzői

BYD K9

Akkumulátor: 324 kWh; hatótáv: 250 km; szállítható személyek: 59 fő

1. Járművek jellemzői

Skoda PERUN HE

Akkumulátor: kb. 220 kWh; hatótáv: 150 km; szállítható személyek: 82 fő

1. Járművek jellemzői

Siemens Rampini Alé El

Akkumulátor: 96 kWh, hatótáv: 60 km, szállítható személyek: 46 fő

1. Járművek jellemzői

Solaris Urbino 18 electric csuklós városi busz
Akkumulátor: 120kWh; hatótáv: kb. 100 km;
opcionális pantográf

1. Járművek jellemzői

BYD C10 távolsági autóbusz
Hatótáv: 321 km; szállítható személyek száma: 57+1;
töltési teljesítmény: 300kW

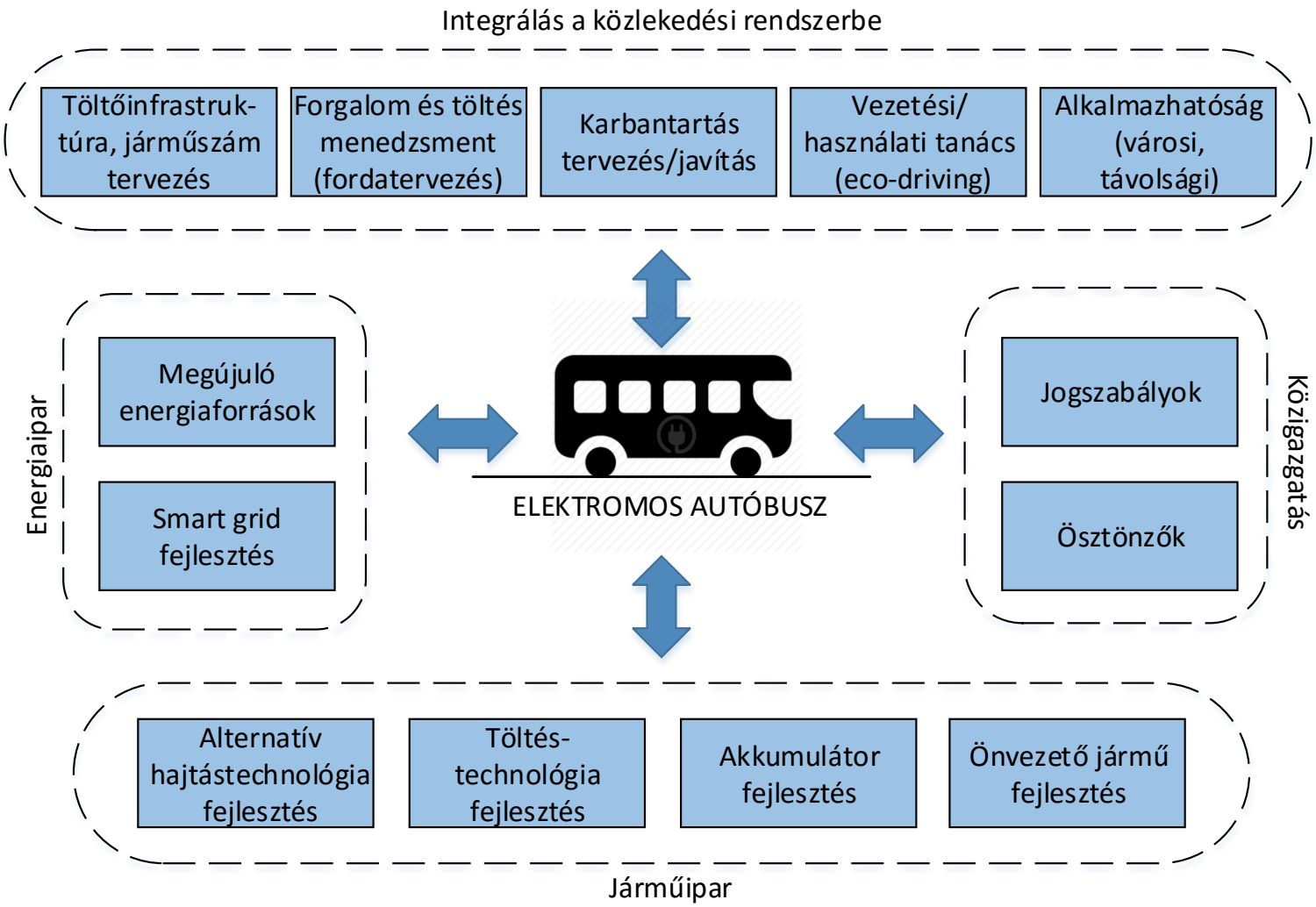
1. Járművek jellemzői

Dízel elektromos hibrid, OppCharge töltővel
(3-4 perc, akár 450kW teljesítmény)

1. Járművek jellemzői

	Autóbusz	Személyautó
Akkumulátor kapacitás	90-300kWh	20-50kWh (Tesla 90kWh)
Hatótáv	60-250 km	100-200 (Tesla 400 km)
Átlagos energiafogyasztás	1-1,5 kWh/km	0,15-0,2 kWh/km
Töltési teljesítmény	Akár 300kW	Akár 60 kW (Tesla 150 kW)

2. Mobilitási szolgáltatás jellemzői



2. Mobilitási szolgáltatás jellemzői

városi használathoz előnyös

- alacsony sebesség – kevesebb energia fogyasztás
- sűrű megállások – fékenergia visszatáplálás, töltési lehetőség
- lokális szennyezés minimális (károsanyagkibocsátás, zaj)
- sűrű beépítettségű területeken – környezetbarát jelleg fokozott előny
- hegyvidéki üzemeltetés – lejtmenetben minimálási energiafogyasztás, visszatáplálás

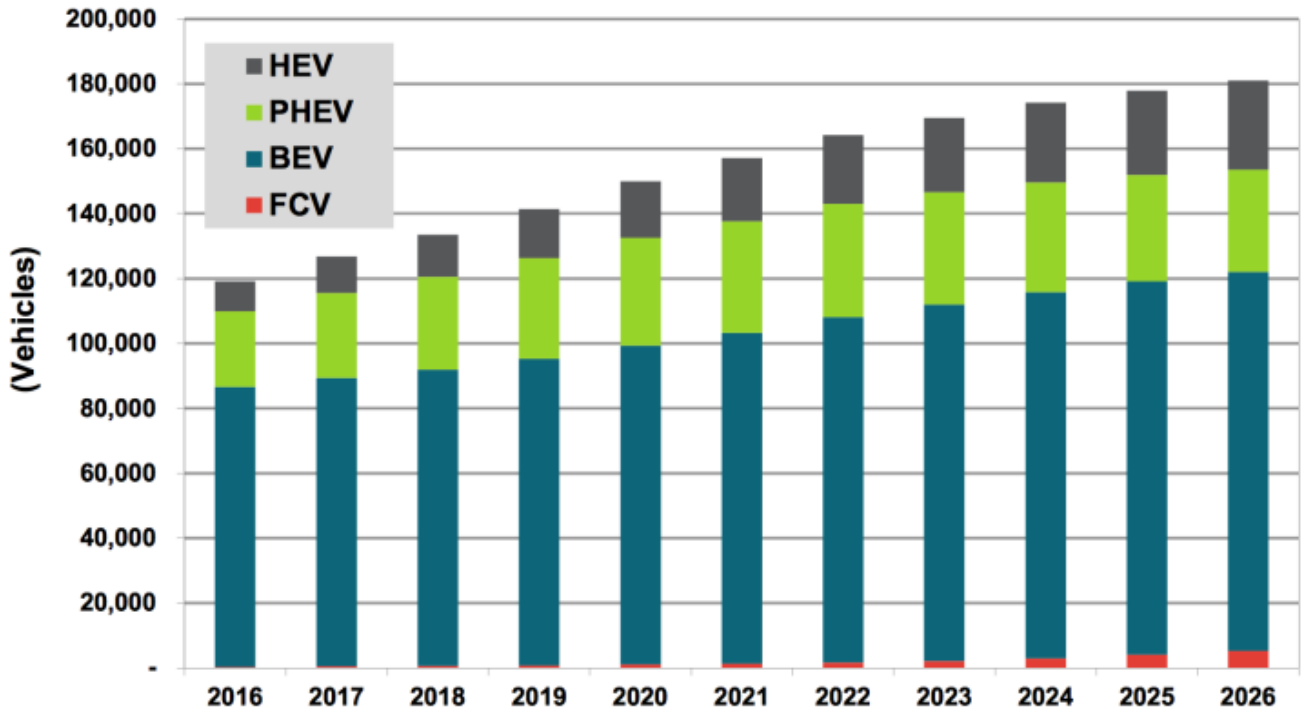
távolsági használat

- nem jellemző (akkumulátor kapacitása, töltési idő)

utas szempontjából komfortos (halkabb), de lényegi szolgáltatás-beli különbség nincs

3. Nemzetközi gyakorlat - tendenciák

Chart 1.1 Electric Drive Bus Sales by Powertrain Type, World Markets: 2016-2026



(Source: Navigant Research)

A meghajtás típusokon belül a tisztán elektromos autóbuszok dominálnak

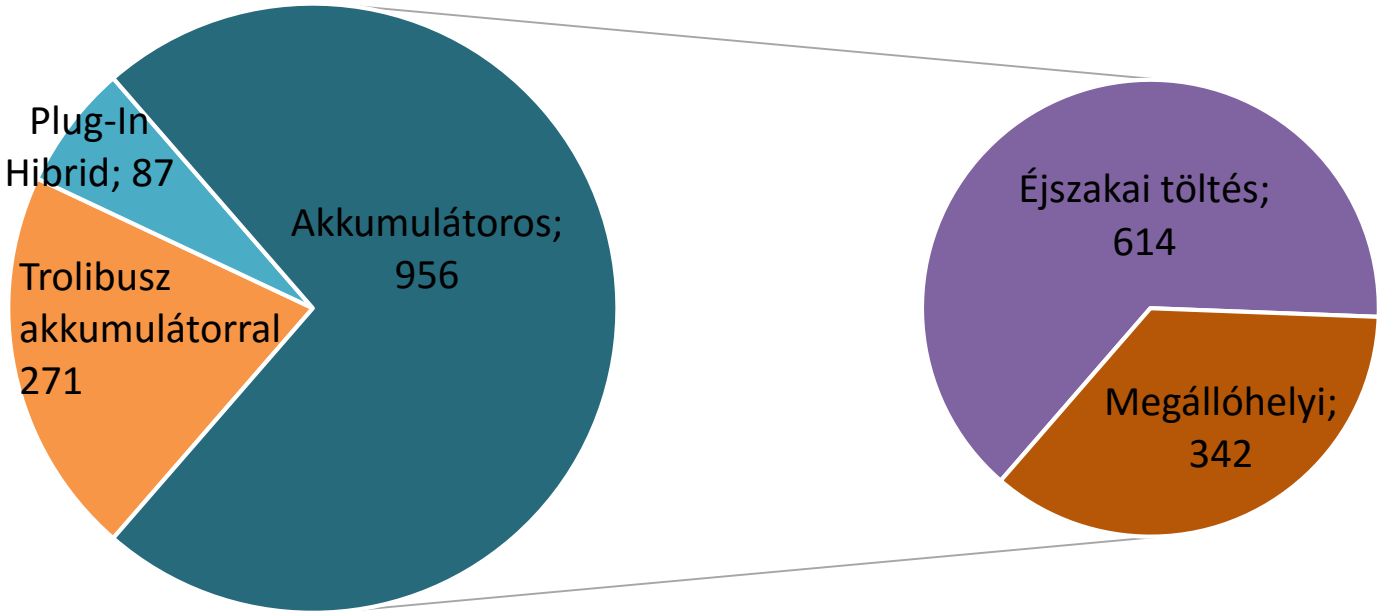
3. Nemzetközi gyakorlat - tendenciák

2015: 173 000 elektromos autóbusz, ebből 170 000 Kínában

Az élenjáró országokban ösztönzőkkel támogatják a terjedést

Európában: Egyesült Királyság, Hollandia, Svájc, Lengyelország, Németország

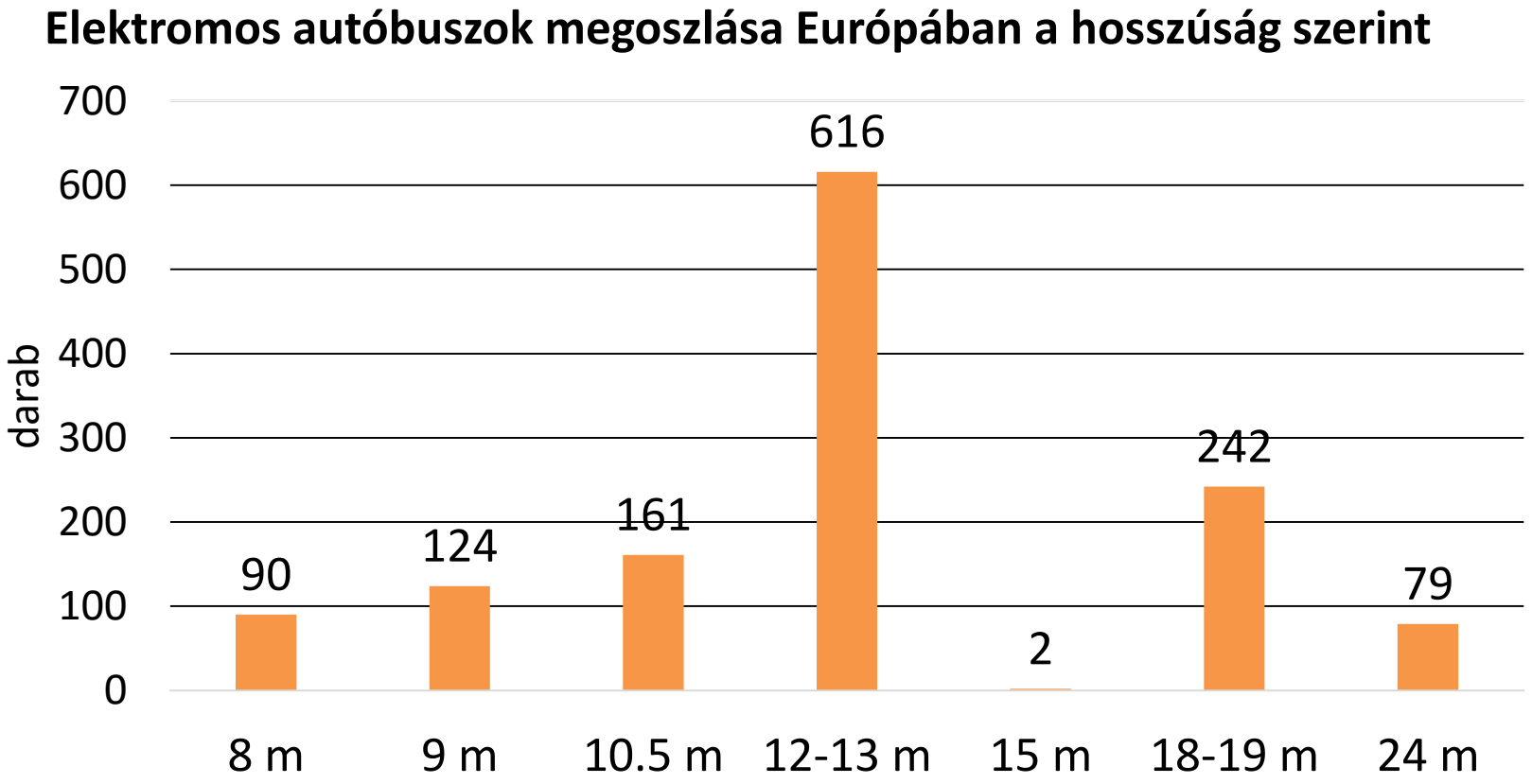
Elektromos autóbuszok megoszlása Európában a meghajtás módja szerint



Elsősorban az akkumulátoros önjáró autóbuszok dominálnak

Forrás: ZeEUS eBus Report, 2017

3. Nemzetközi gyakorlat - tendenciák



Elsősorban a 12-13 méter hosszú elektromos autóbuszok a népszerűek

Forrás: ZeEUS eBus Report, 2017

4. Hazai gyakorlat

Budapest

20 db evopro akkumulátoros autóbusz,
töltés: telephelyen

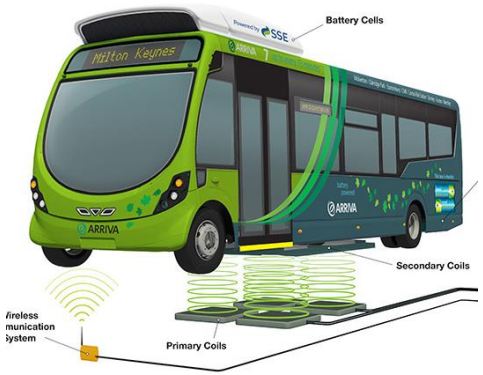
Szeged

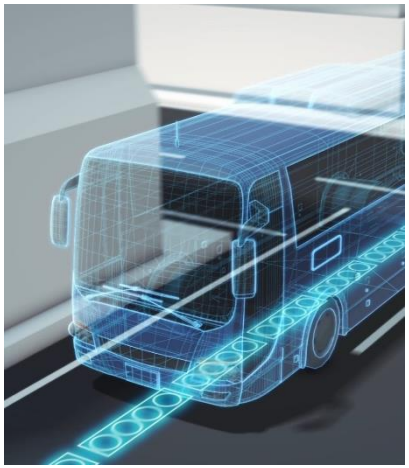
13 db Ikarus-Skoda akkumulátoros trolibusz,
tölthető felsővezetékről és töltőállomáson is

Komárom: BYD elektromos autóbuszgyár megnyitása 2017 áprilisában, szeptemberre elkészült az első 2 db Komáromban gyártott elektromos autóbusz

5. Töltési technológia és infrastruktúra jellemzői

- Pontbeli
  - Vezetékes
  - Vezeték nélküli
- Vonalmenti
  - Vezetékes
  - Vezeték nélküli





A töltési teljesítmény: **vezetékes:** 450kW, **vezeték nélküli:** 200 kW.
A vezeték nélküli töltés hatásfoka állóhelyzetben elérheti akár a 95%-ot, jelenleg kb. 85%.

5. Töltési technológia és infrastruktúra jellemzői

5. Töltési technológia és infrastruktúra jellemzői

5. Töltési technológia és infrastruktúra jellemzői

Töltő infrastruktúra kialakítása:
optimumkeresés a helyi jellemzők szerint

Éjszakai töltés telephelyen

- ✓ Töltőállomás helyszínek adottak
- ✓ Nincs szükség speciális töltőpontokra
- ✗ Nagy akkumulátor kapacitású autóbuszok
- ✗ Időigényes nappali töltés
- ✗ Koncentrált töltési teljesítmény

Éjszakai lassú és napközbeni villám vagy vonalmenti töltés

- ✓ Kisebb akkumulátor kapacitású autóbuszok
- ✓ Decentralizált töltési teljesítmény
- ✓ Kisebb telephelyi rezsimenet
- ✗ Költséges töltőberendezések
- ✗ Helyszínek?

6. Üzemeltetési sajátosságok

Előnyök	Hátrányok
✓ olcsóbb üzemeltetés (karbantartás, hajtóanyag)	✗ magasabb beszerzési ár
✓ kisebb karbantartási igény	✗ kiforratlan technika (több meghibásodás, hosszabb szerelés)
✓ jármű rendelkezésre állása nagyobb	✗ kevés üzemeltetési tapasztalat
✓ energia visszatáplálás	✗ jármű napon belüli kihasználhatósága alacsony (alacsony hatótáv, lassabb töltés)
✓ jobb menetdinamika	✗ töltés miatti üresfutások száma nő
✓ egyszerűbb vezethetőség	✗ fordatervezés összetettebb
✓ lokális környezetszennyezés csekély (zaj és levegő)	✗ globális környezetszennyezés (energia előállítása)

6. Üzemeltetési sajátosságok

Tervezés - Fordatervezés

- összetettebb, több szempont:
  - statikus jellemzők
    - töltéstípus, jármű hatótáv
    - vonali adottágok – domborzat, úthálózat, megállóhelytávolság
  - dinamikus jellemzők
    - időjárás (hőmérséklet, hó)
    - forgalmi viszonyok (torlódások)
    - utasforgalom nagysága (terheltség)
    - járművezető vezetési stílusa
- műszak közbeni töltési idő/helyszín tervezése

ugyanazon forda teljesítéséhez több elektromos autóbusz szükséges

6. Üzemeltetési sajátosságok

Töltéstervezés - töltés

- töltéstípus meghatározása
- telephelyi töltőpontok számának meghatározása – járműszám
- vonali töltőhelyszínek meghatározása - tartózkodási idő

<u>Dízel autóbuszok</u>

- telephelyen (töltőállomáson)
- külön töltőszemélyzet
- egy-két töltőállomás telephelyenként

  soros kiszolgálás
- időtartam: pár perc

<u>Elektromos autóbuszok</u>

- telephelyen (töltőállomáson)
  + végállomásokon, megállóhelyeken
- járművezető (személyzet)
- telephelyenként több töltőpont

  párhuzamos kiszolgálás
- időtartam:
  - telephelyen: több óra
  - megállóhelyeken: pár perc
  - végállomáson: fél óra

6. Üzemeltetési sajátosságok

Üzemeltetés – karbantartás/javítás

✓ egyszerűbb technika, kevesebb kopó alkatrész

✓ nem szükséges: olaj, kenőanyag csere; más féktechnika

✕ kiforratlan technika
meghibásodások száma nagyobb, összetettebb, hosszabb szerelési idő

✕ kevés tapasztalat, szakképzett karbantartó

✕ új szaktudás: elektroműszerész

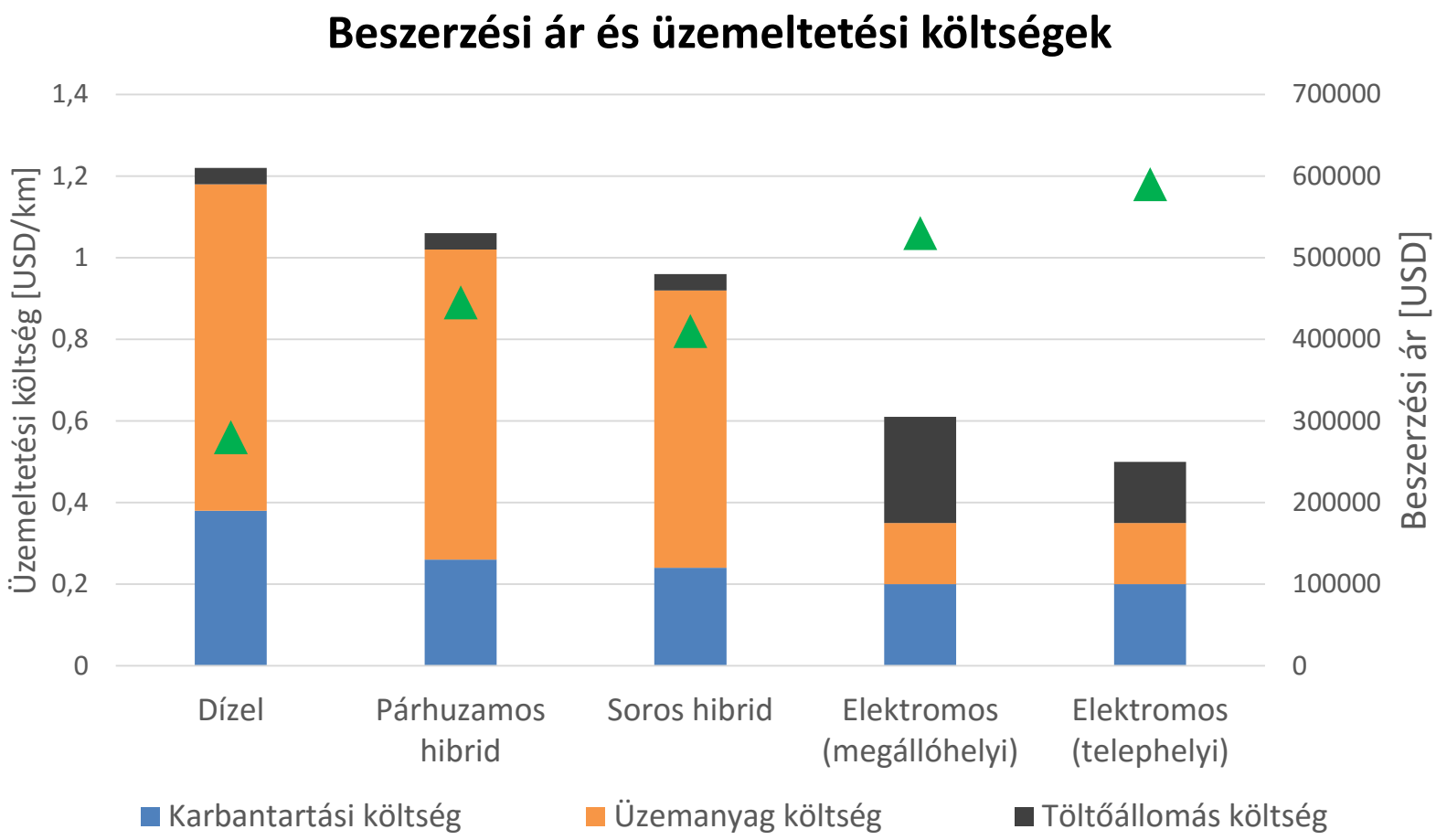
Kína, Hangzoo[1]:

- 70% rendelkezésre állás, dízel buszokhoz képes
- 1,4 elektromos busz szükséges ugyanazon szolgáltatási szint eléréshez

nagy flotta → nagyobb tapasztalat → gyorsabb javítás, nagyobb rendelkezésre állás

[1] Forrás: Real World Performance of Hybrid and Electric Buses, REPIC Final Report, Grütter Consulting AG, 2015

6. Üzemeltetési sajátosságok



Drágább beszerzés, olcsóbb üzemeltetés

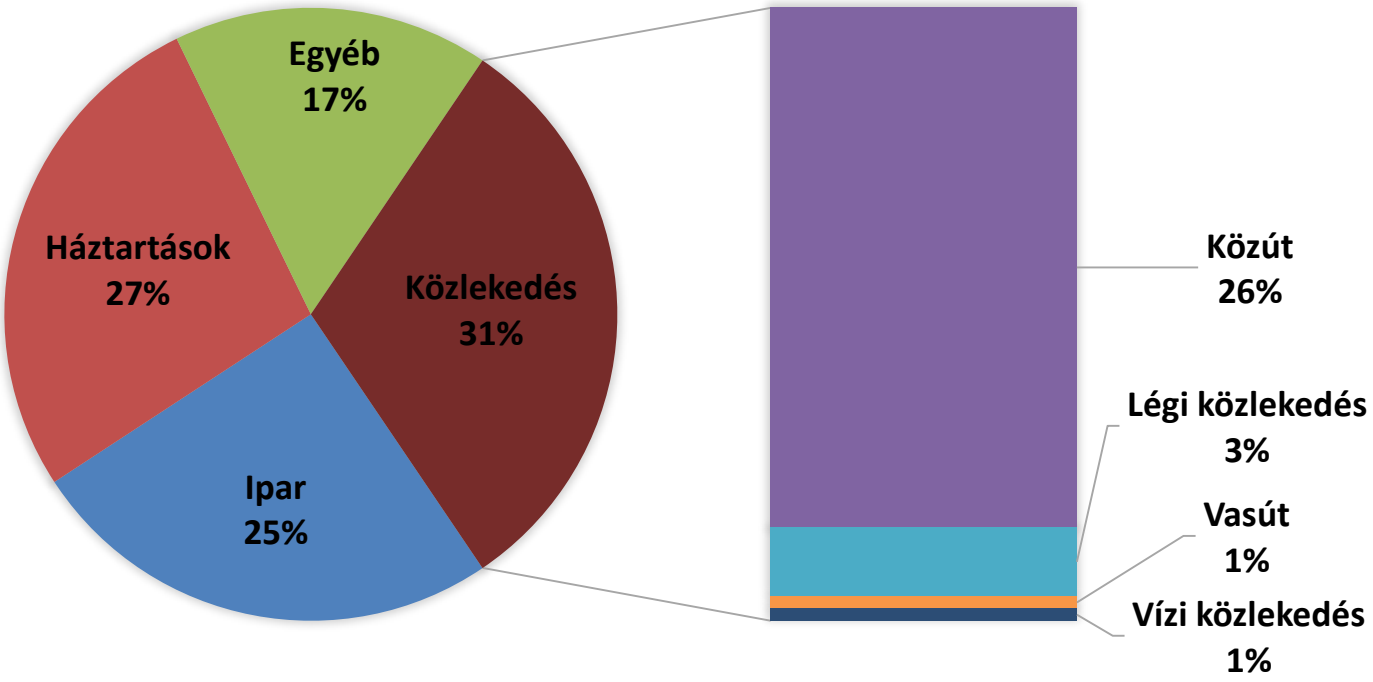
megtérülés becslés: 9-10 év

Adatok forrása: Mahmoud M., Garntt, R., Ferguson, M., Kanaroglou, P. (2017) Electric buses: A review of alternative powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 673-684.

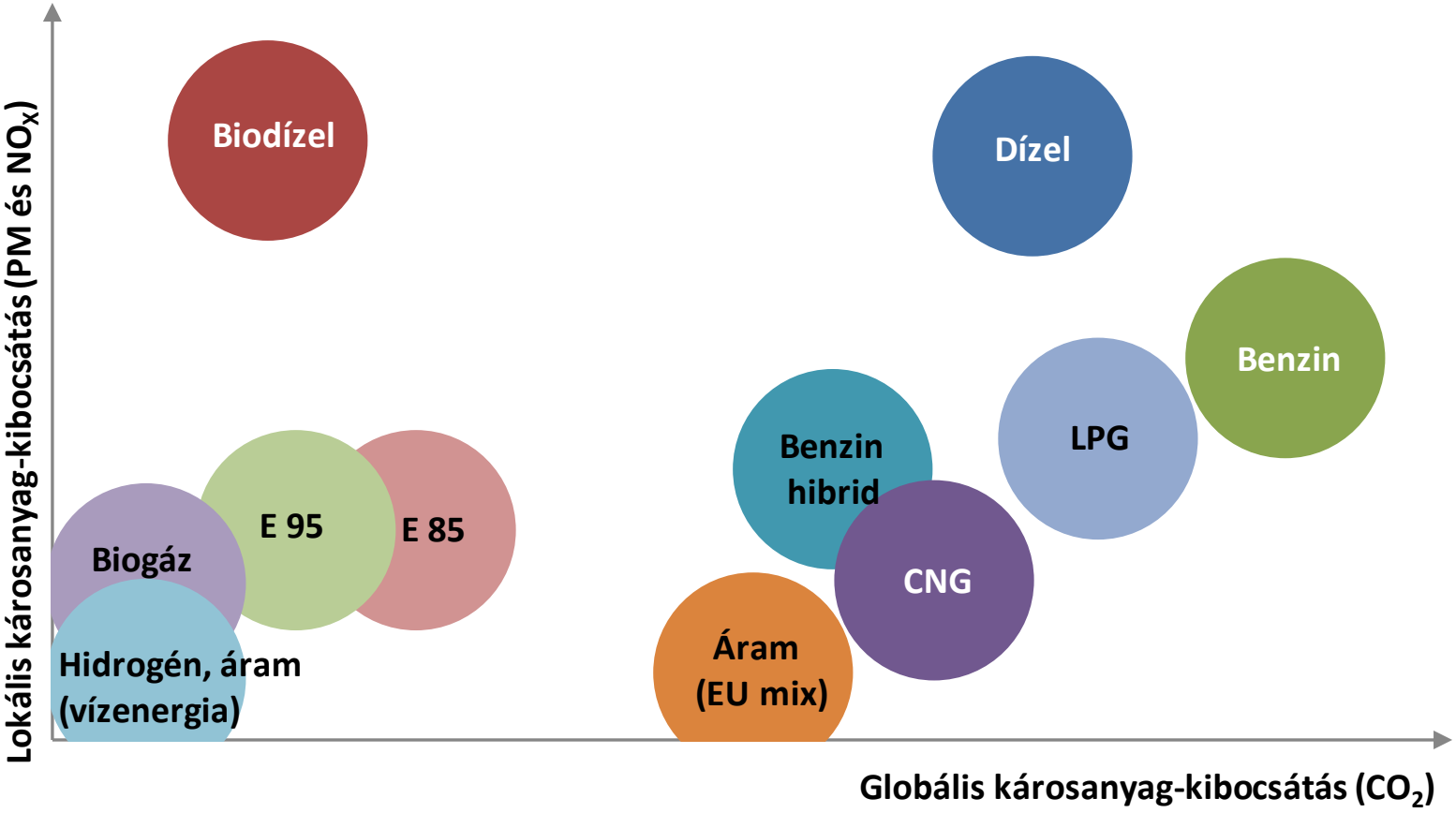
7. Környezeti hatások

- Korlátos kőolaj készletek, energia függőség: kőolaj 90%-a import az EU-ban
- Környezetszennyezés globális és lokális hatásai
- 2030: CO_2 kibocsátás csökkentése 40%-kal az 1990-es bázis évhez képest
- 2050: CO_2 kibocsátás csökkentése 60%-kal az 1990-es bázis évhez képest

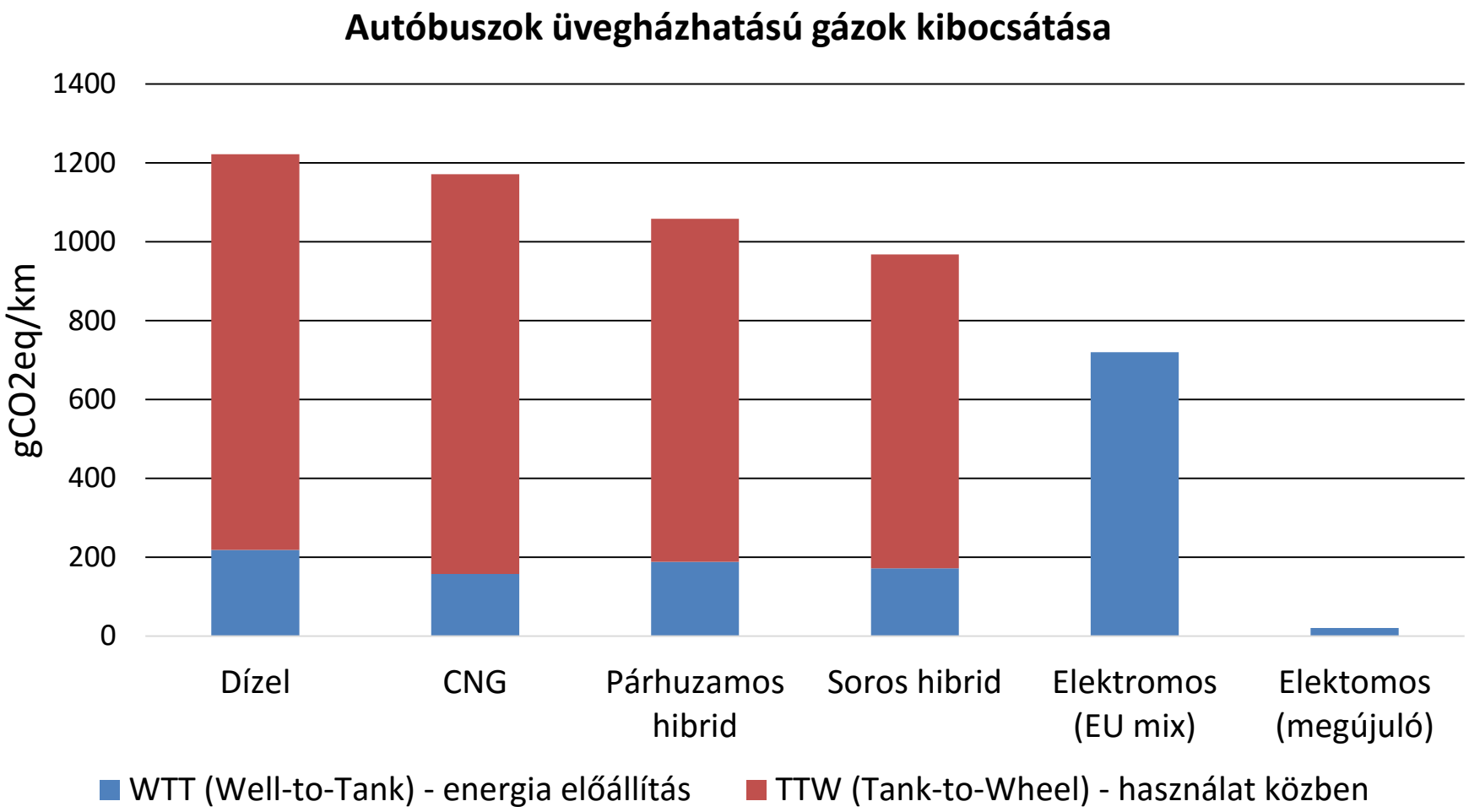
Energia fogyasztás szektoronként EU28, 2013 (EUROSTAT)



7. Környezeti hatások



7. Környezeti hatások



~~Szennyező~~ tiszta előállítás, tiszta üzemeltetés

Adatok forrása: Mahmoud M., Garntt, R., Ferguson, M., Kanaroglou, P. (2017) Electric buses: A review of alternative powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 673-684.

Hydrogen and fuel-cell technology in transport

Basic definitions

Hydrogen:

Colourless, non-toxic gas, wide flammability range, density: 0,09g/L. It is energy carrier, not energy source.

Steam reforming process:

Method for producing hydrogen from hydrocarbon fuels such as natural gas.

Electrolysis of hydrogen:

A technique that uses direct electric to decompose water to hydrogen and oxygen.

Fuel Cell:

Electrochemical device that converts chemical energy to electric energy.

Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle (FCHEV):

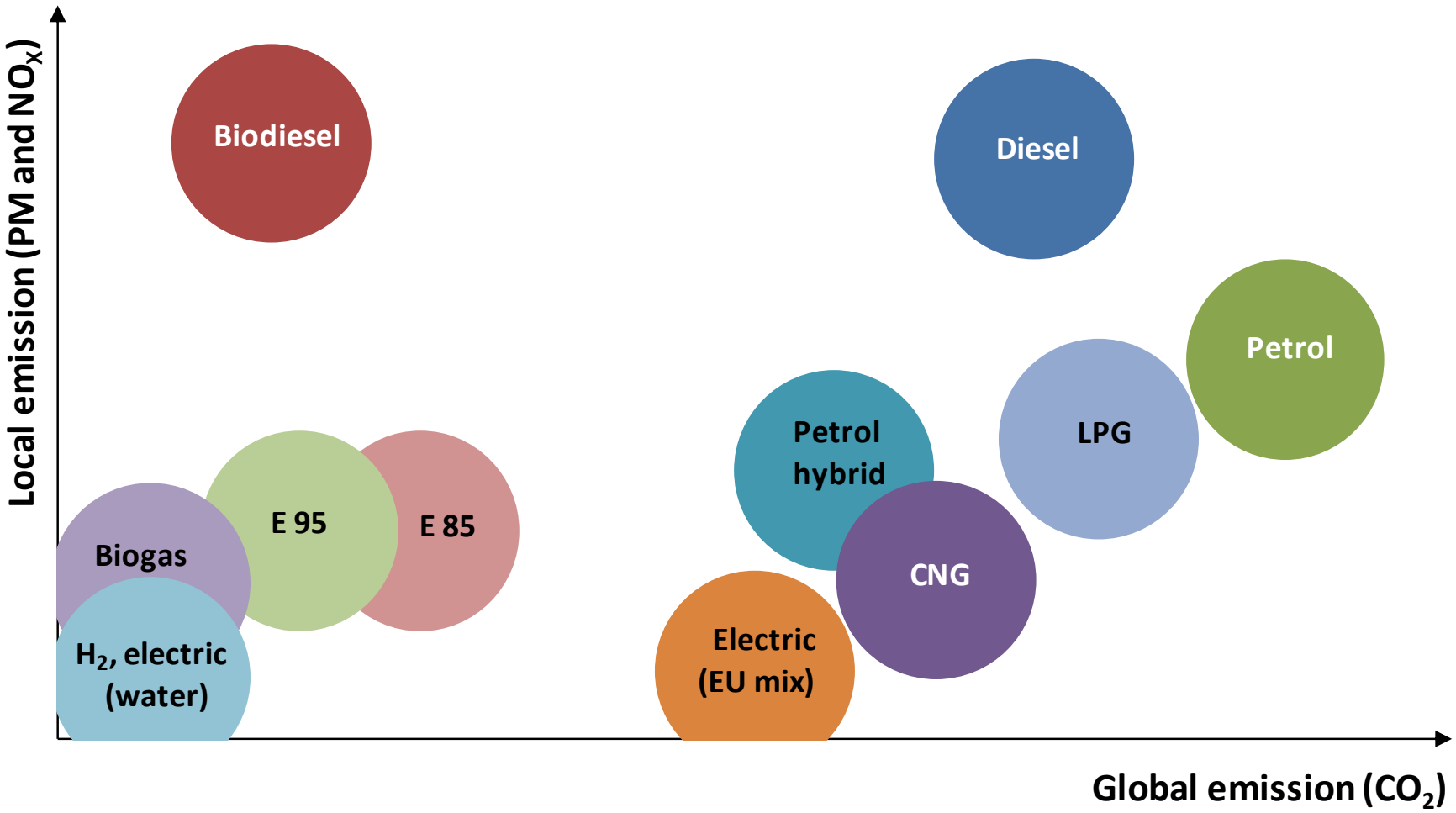
A type of electric vehicle which uses a fuel cell to power the on-board electric motor. The vehicle is also equipped with a battery.

Hydrogen vehicles with internal combustion engines (H_2ICE):

Vehicles that use hydrogen in internal combustion engines. The engine also should run on petrol.

1806: First internal combustion engine – powered by mix of oxygen and hydrogen

Local and global effects of alternative fuels in transport



Characteristic of hydrogen

Pro

- High energy content on a weight basis (33 kWh/kg) compared to petrol (11kWh/kg)
- Variety of methods to produce hydrogen
- Variety of methods to produce energy from hydrogen
- High efficiency of use
- Zero local emission

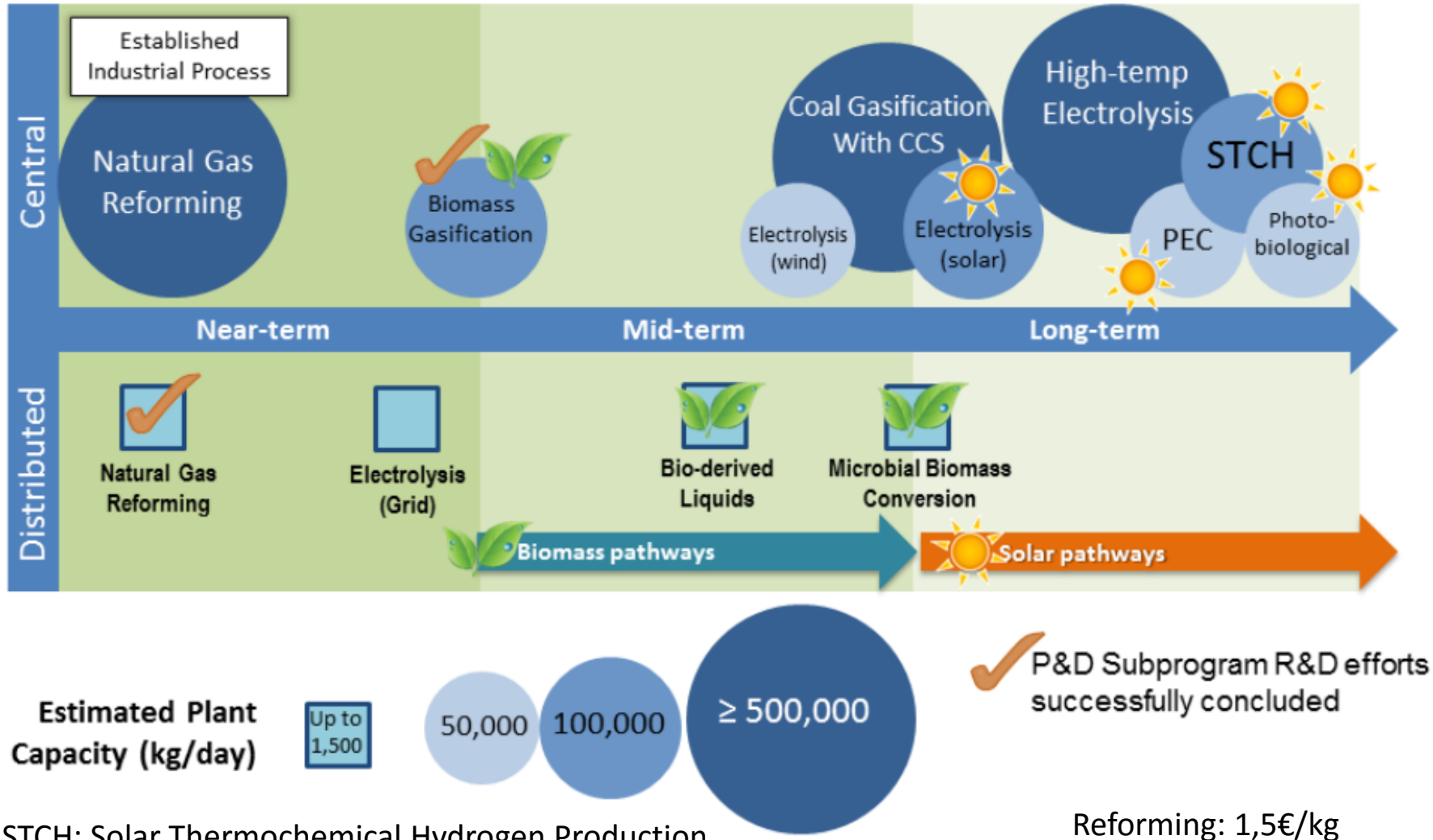
Only fuel-cell vehicles:

- Simplicity of powertrain, easy to maintenance (no transmission, no oil)
- Possible support of Smart Grid systems

Con

- Electrolisys is expensive
- Energy content on a volume basis is low 1kWh/l (700 bar!) compared to petrol (9kWh/l)
- On-board vehicle storage
- Distribution (lack of hydrogen network)

Hydrogen production

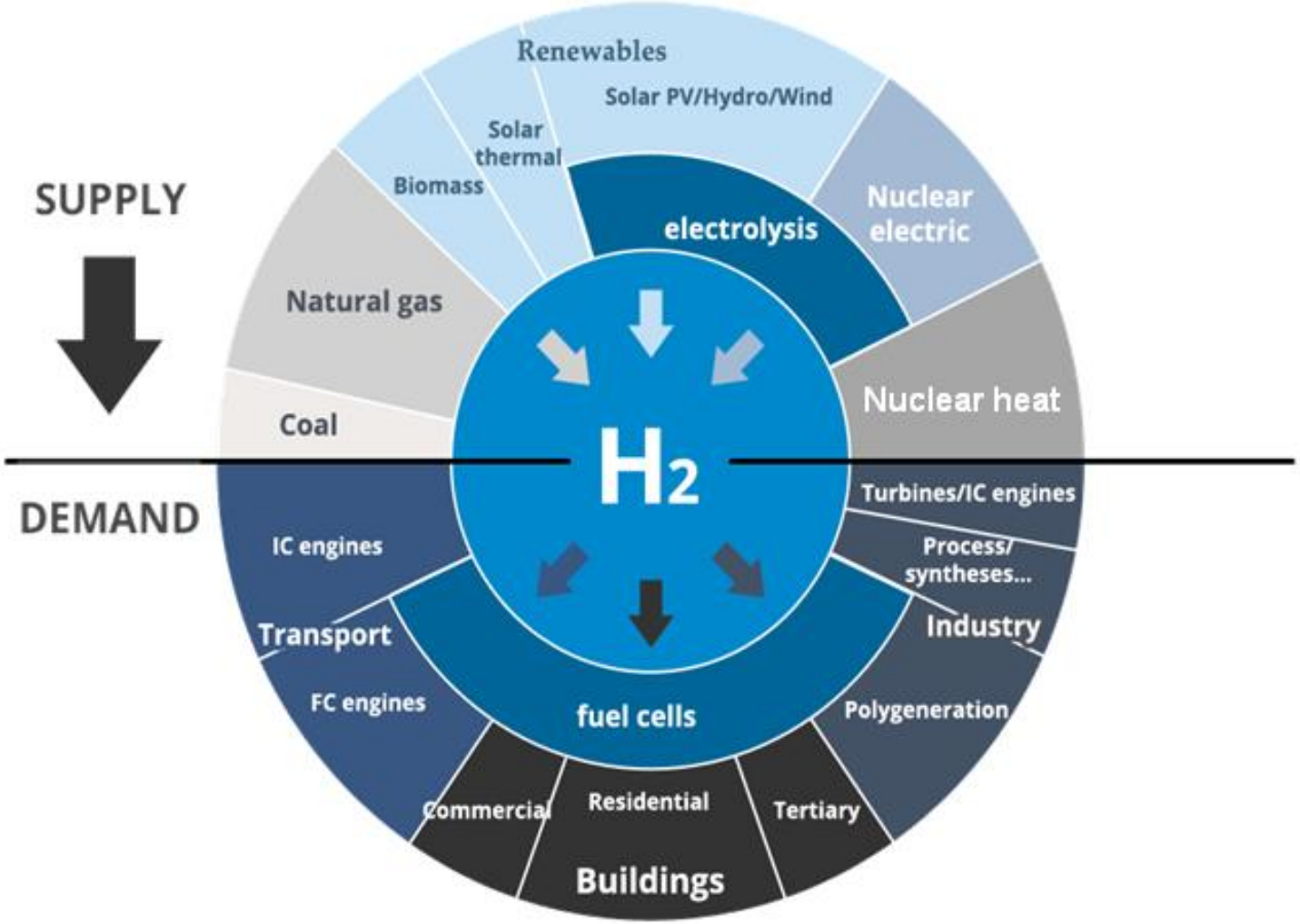


STCH: Solar Thermochemical Hydrogen Production
PEC: Photoelectrochemical water splitting

Reforming: 1,5€/kg
Electrolysis: 4€/kg

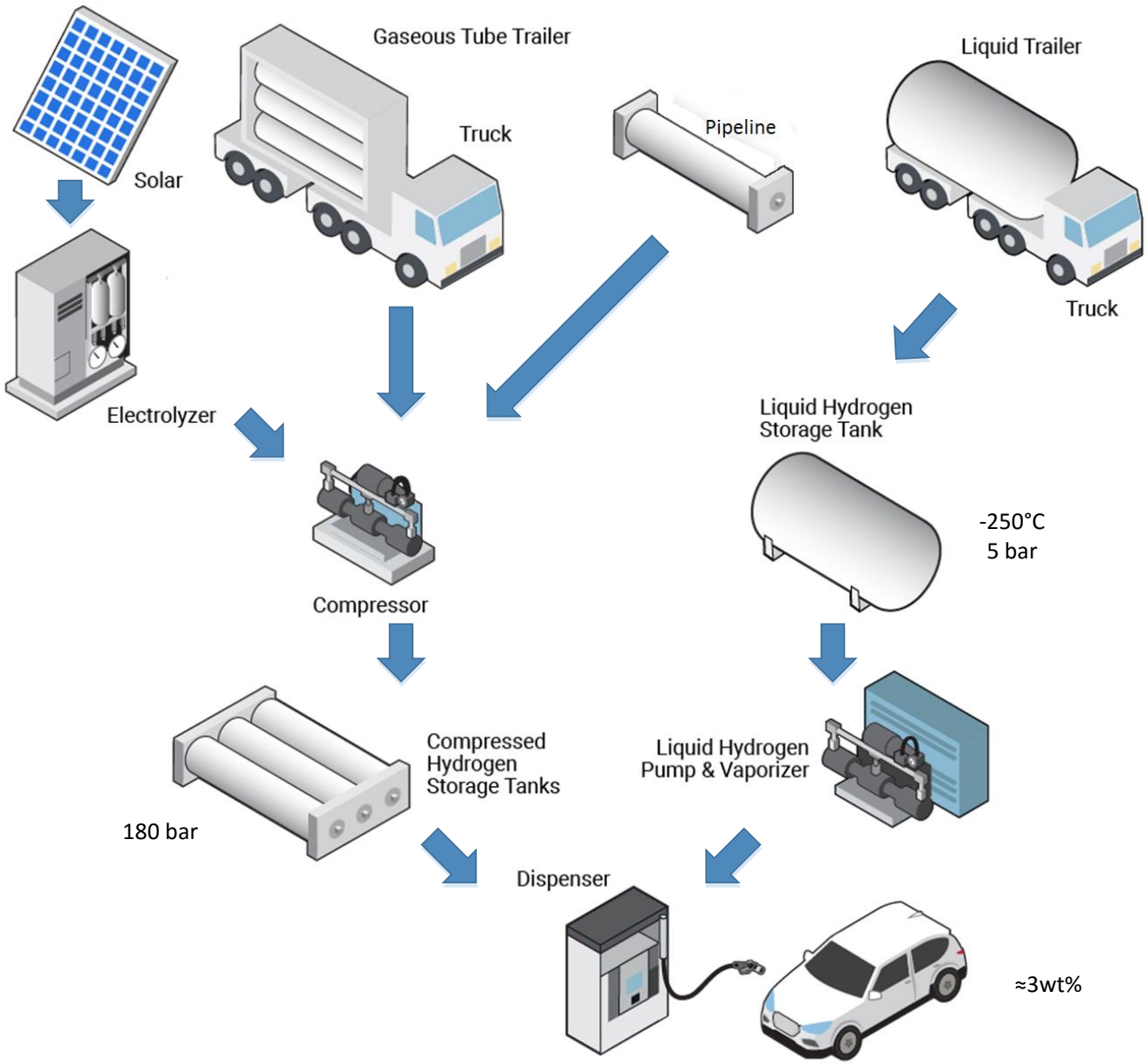
Source: www.energy.gov

Hydrogen supply and demand



Wide range of demand – not just transportation related use
Hydrogen network instead of actual gas network?

Distributed production and hydrogen delivery



Distributed production:

- 120kg/day
- 3,2M $

Delivered as gas:

- 180kg/day
- 2M $
- 180 bar

Delivered as liquid:

- 350kg/day
- 2,8M $
- Requires energy to store H_2 as liquid (30% of energy content of H_2)

Dispensing to vehicles

- Protocols for filling and pressures: SAE J2601
- Lack of component standardization
- Dispensing time: ≈5 minutes

On-board storage

- Cars: 700 bar
- Buses: 350 bar
- Aim: 6,5wt% in commercial use

Novel carriers:

- Solid state hydrogen fuel storage
- Absorption in the interstices of metals and metallic alloys (Mg-based hydrides are promising: 7,5wt%)
- Adsorption on high surface area materials such as activated carbons

Fuel cells

Parts:

- Polymer electrolyte membrane
- Catalyst layers
- Gas diffusion layers

Aims:

- Reduce cost (platinum)
- Performance
- Durability

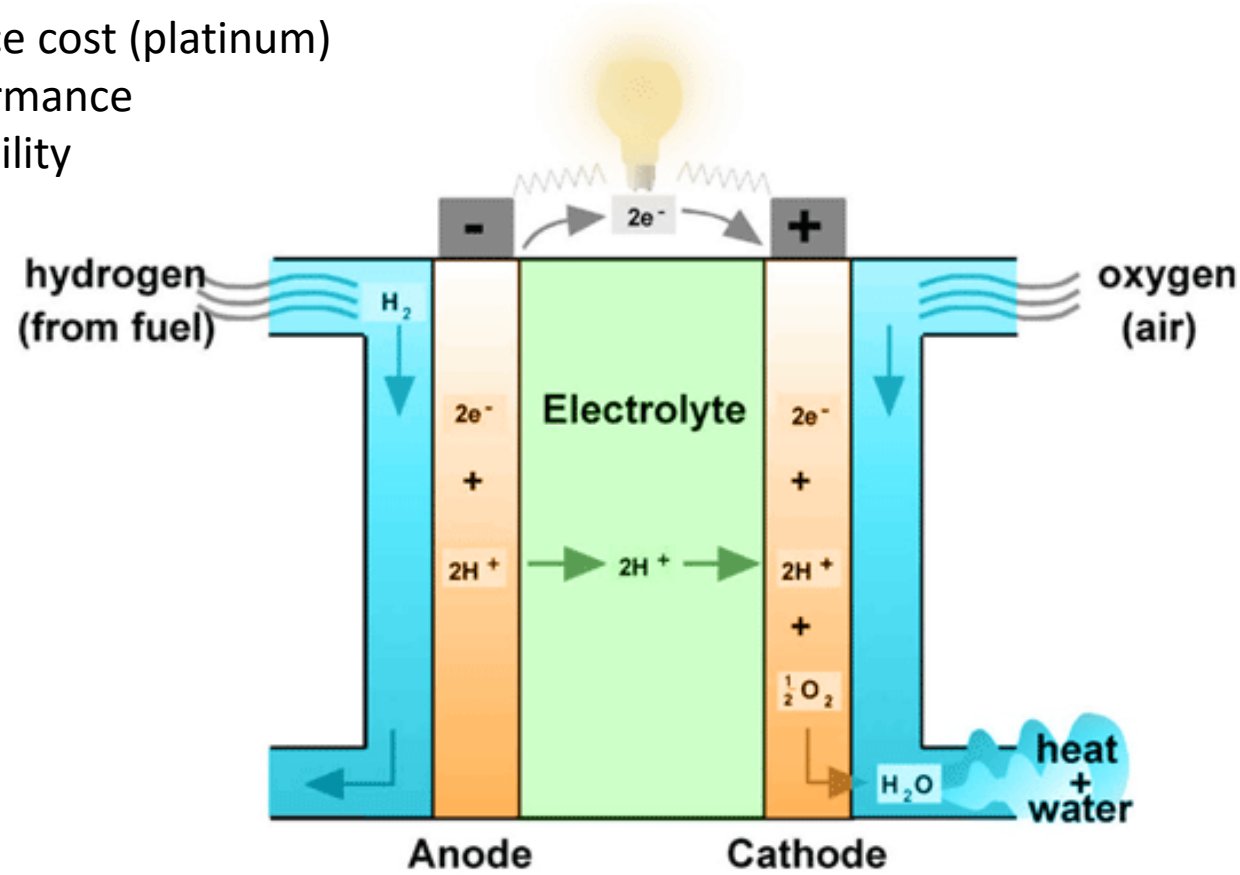
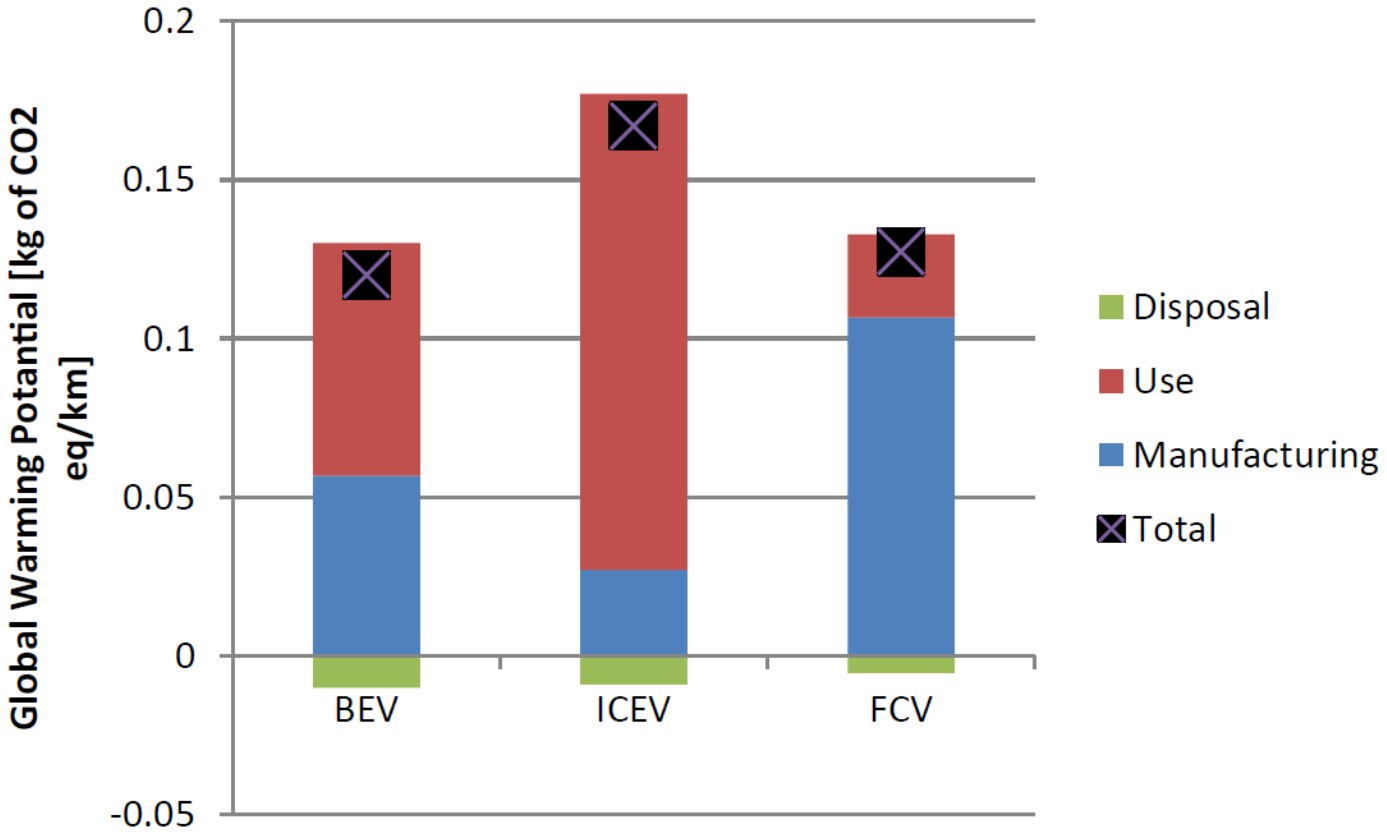


Fig. 2. Schematic of a PEM fuel cell operation. Source: World Fuel Cell Council.

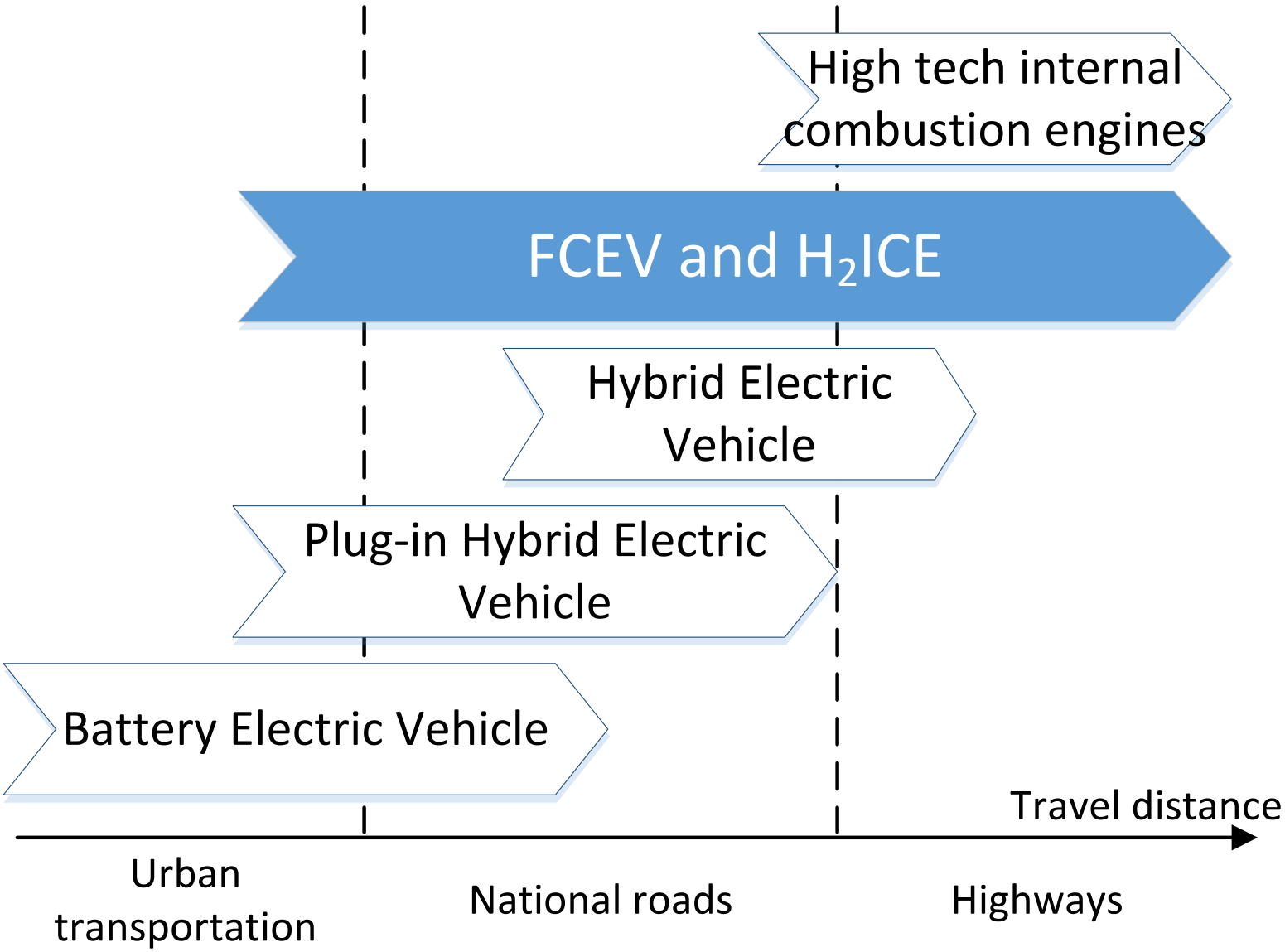
Environmental effects

- FCHEV: decrease in energy consumption and green house gas emission compared to petrol and natural gas. CO_2 emissions can be 75% less than the equivalent diesel vehicle in 2030.
- H_2ICE: increase in both, however by 2045 the energy consumption of a H_2ICE is almost the same as the consumption of FCHEV.



Source: Sara Evangelisti, Carla Tagliaferri, Dan J.L. Brett, Paola Lettieri (2017): Life cycle assessment of a polymer electrolyte membrane fuel cell system for passenger vehicles. Journal of Cleaner Production. 147: 4339-4355.

Fields of alternative propulsions



Hydrogen vehicles in use

Fuel cell buses

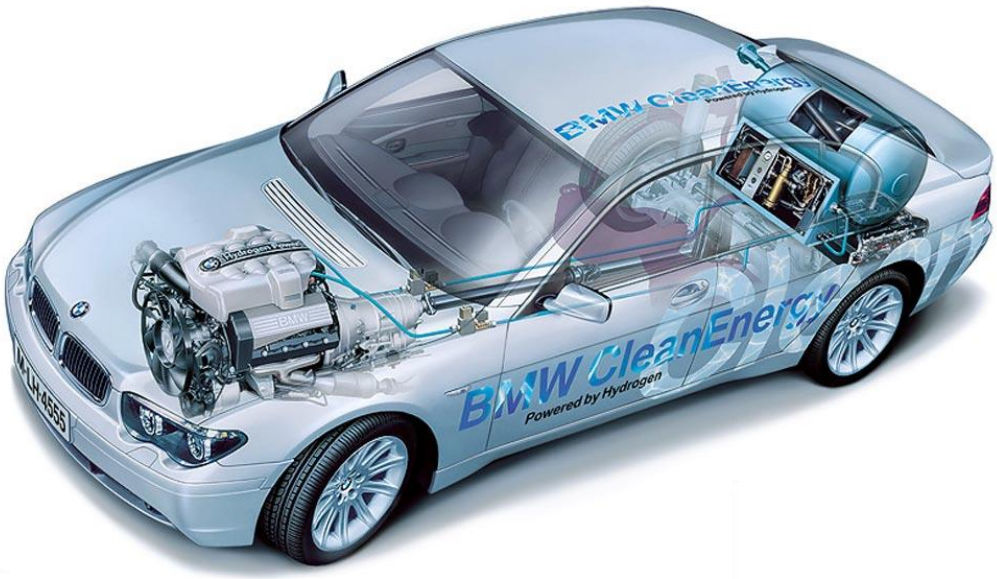
- Oakland, California, USA

Data	Fuel Cell	Diesel
Availability (85% is target)	74%	89%
Fuel economy (miles/kg)	5,47	-
Fuel cost ($/mile)	1,58	0,44
Total maintenance cost ($/mile)	1,15	0,47
- Propulsion only	0,65	0,14
Purchase price ($)	2,5M	330 000

Source: Zero Emission Bay Area (ZEBA) Fuel Cell Bus Demonstration Results: Fifth Report

Hydrogen vehicles in use

Cars



Publicly available (2016):

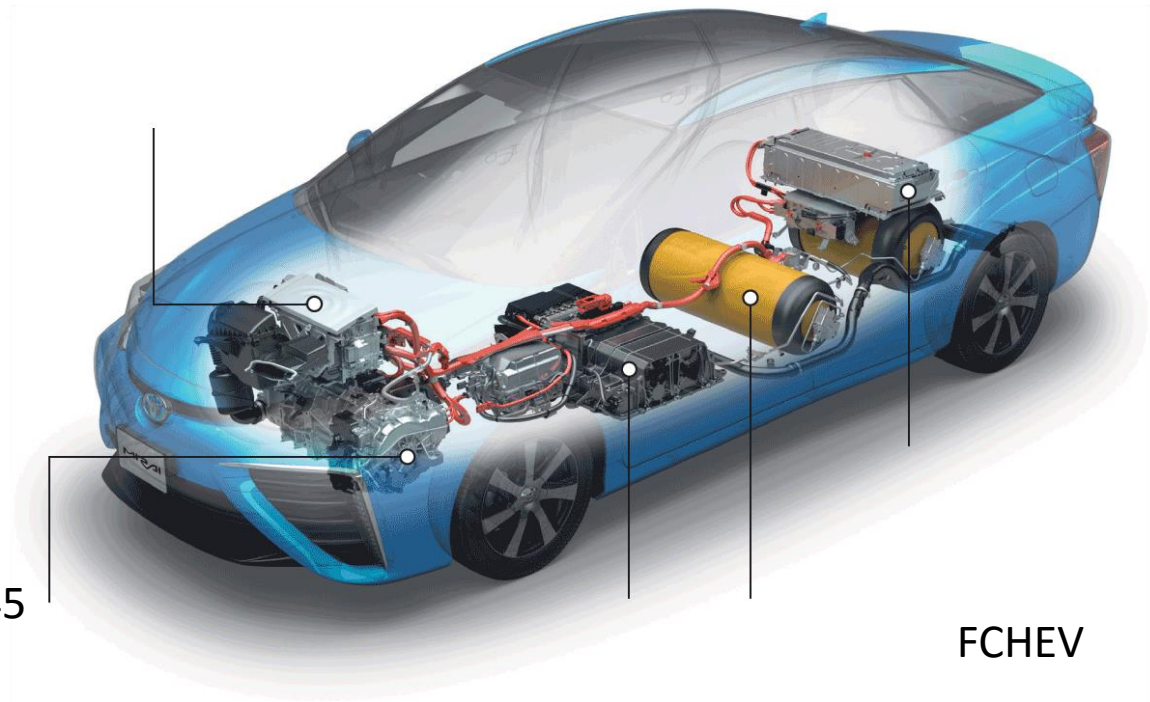
- Toyota Mirai (5kg H_2, 500 km, 78000 €)
- Hyundai ix35
- Honda Clarity (4,1kg H_2, 386 km)

H_2ICE

In development:

- BMW
- Ford
- Nissan
- Daimler

Widespread appearance: 2035-2045



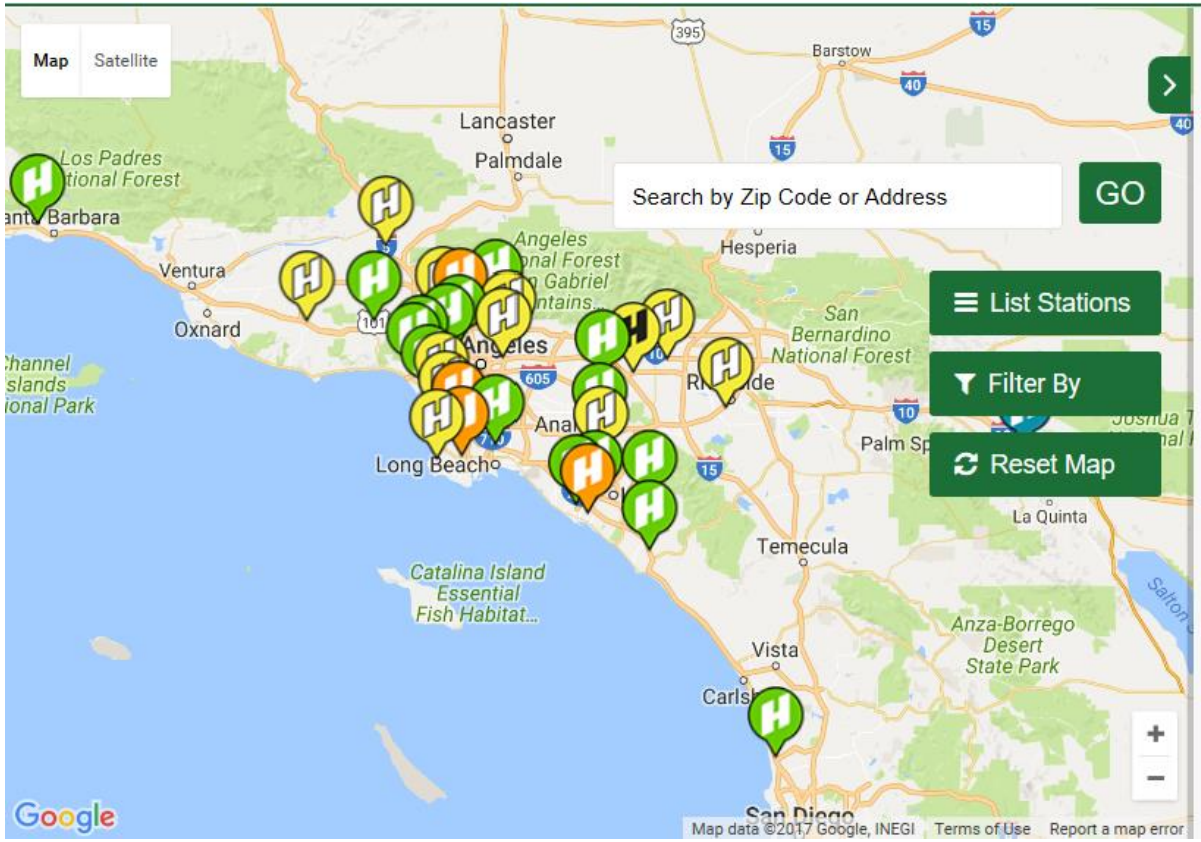
FCHEV

Hydrogen vehicles in use

Trains

Stations

USA



Chino

12600 East End Ave., Chino, CA 91710

Station Type	Retail - In development
Development Status	Approval to Build
Expected to Open	Q1 2017
Hydrogen Source	Electrolyzer
Supply Capacity	100 kg/day
Station Customer Service	(951) 741-3631

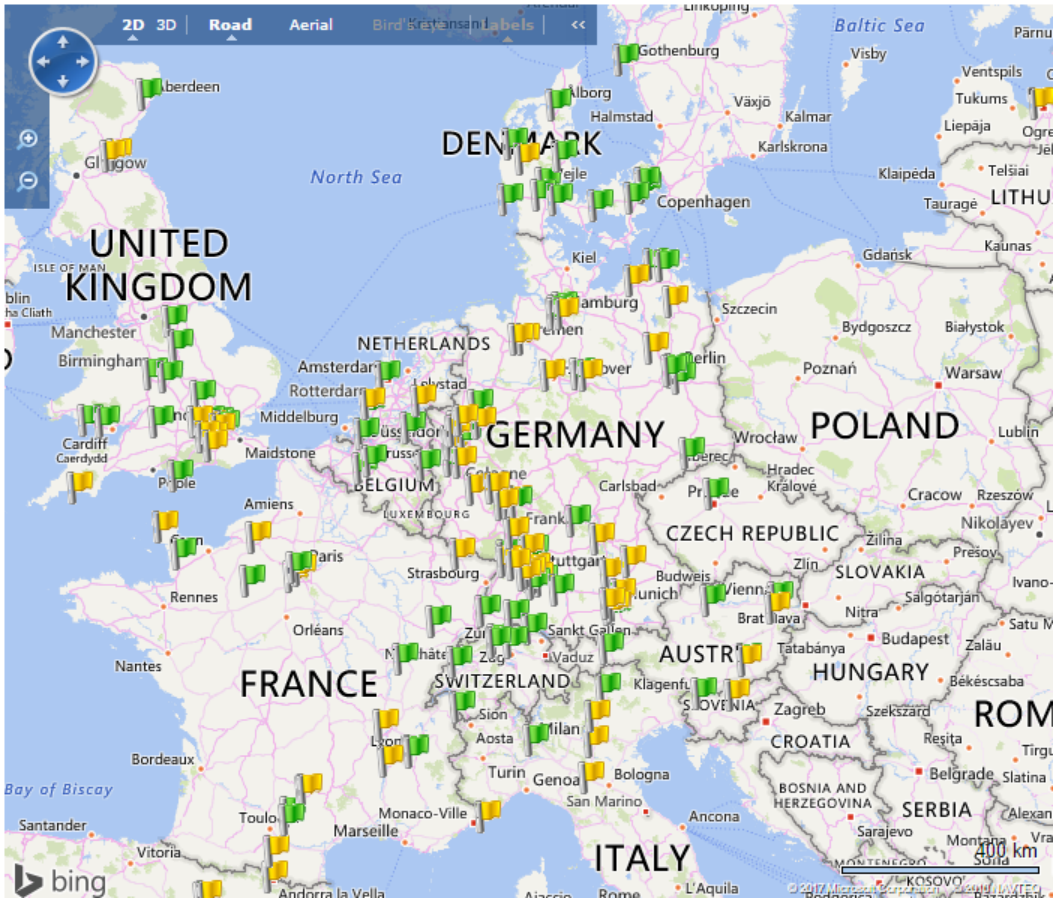
Renewable

Hydrogen: 100%

www.h2stationsmaps.com

Stations

Europe



www.netinform.net/

Leading countries:

- USA
- Germany
- United Kingdom

Hungary:

- 0 station
- ≈0 vehicle
- some initiatives

Stations