



LEANCAT
HYDROGEN TECHNOLOGY

OBNOVITELNÝ VODÍK – základ udržitelné energetiky

Vladimír Matolín
LEANCAT s.r.o. www.lean-cat.com

Vodík

Vodík je nejlehčí a nejjednodušší plynný chemický prvek, je obsažen ve vodě, která pokrývá 70 % povrchu Země, a v každé organické látce. Vodík je v mnoha ohledech dokonalé palivo. Hoří nejčistěji a jeho hoření je nejúčinnější. Z vodíku lze získat elektrickou energii a s využitím elektrické energie lze vyrábět vodík, čímž vzniká energetická smyčka, která je obnovitelná a neškodná pro životní prostředí. Má široké praktické využití jako zdroj energie, redukční činidlo v chemické syntéze nebo metalurgii, ale nově se používá se i ve zdravotnictví.

Zatímco zásoby fosilních paliv se tenčí, vodík je všude kolem a vědci mu předpovídají velkou budoucnost.

Jaké jsou možnosti vodíku a jaká úskalí před lidstvem stojí, pokud jej chce začít využívat jako zdroj energie?

Strategie pro klimaticky neutrální Evropu

Evropská komise představila v prosinci novou evropskou strategii, která stanoví program, aby se Evropa do roku 2050 stala prvním klimaticky neutrálním kontinentem na světě. Tato zásadní transformace evropské ekonomiky na zelenou a konkurenceschopnou ekonomiku vyžaduje zásadní změny a průlomové technologie. Tato dohoda označila čistý **vodík** za prioritní oblast, protože vodík bude důležitým prvkem této strategie.

Válka na Ukrajině ale změnila priority, dnes je vodík jedním z pilířů energetické soběstačnosti

Green Deal ale není mrtev – uhlíkově neutrální = méně plynu a méně ropy

Transition to zero emission

S ohledem na stávající technologie a trendy jejich vývoje povede přechod na bezemisní systém ke schématu budoucího energetického systému s následujícími hlavními pilíři:

- **Obnovitelné zdroje energie**
- **Inteligentní distribuční síť**
- **Vyvažování sítí (balancing of grids) = zemní plyn**
- **Vyvážený energetický mix**

Přechod k nulovým emisím

Obnovitelné zdroje energie, zejména solární, větrná a vodní, budou představovat dominantní decentralizované zdroje energie s nulovým dopadem na emise CO₂.

Typickým problémem OZE je ale vysoká nestabilita produkce doprovázená nepřesnou předpovědí počasí a nadprodukcí v závislosti na povětrnostních podmínkách.

Přenosová a distribuční soustava elektřiny bude muset reagovat na nestabilitu výroby elektřiny a transformovat se na chytré sítě. Rozvoj decentralizované výroby energie z obnovitelných zdrojů a růst e-mobility bude vyžadovat *masivní investice do procesu přechodu*. Implementace digitálního měření a online řízení sítě bude nevyhnutelnou podmínkou pro udržení chodu celého systému.

Vodík jako alternativní zdroj energie

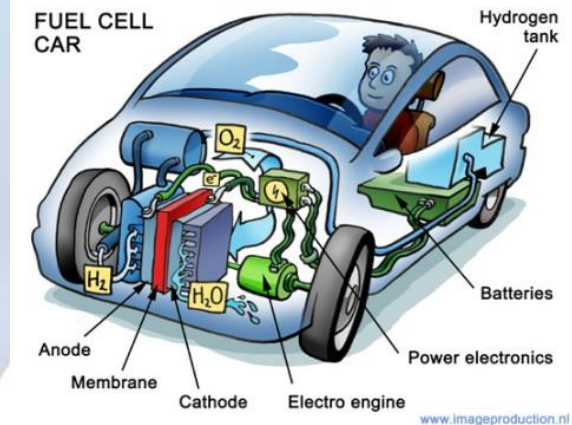
Vodík lze využít všude, kde je využívána elektrická energie:

- Ve stacionárních aplikacích např. k vytápění budov.
- V “ostrovních” systémech, kde je síťová elektřina nedostupná a kde vodíkové generátory nahrazují nežádoucí diesela agregáty
- Výkonové záložní zdroje (UPS)

Vodík jako alternativní zdroj energie

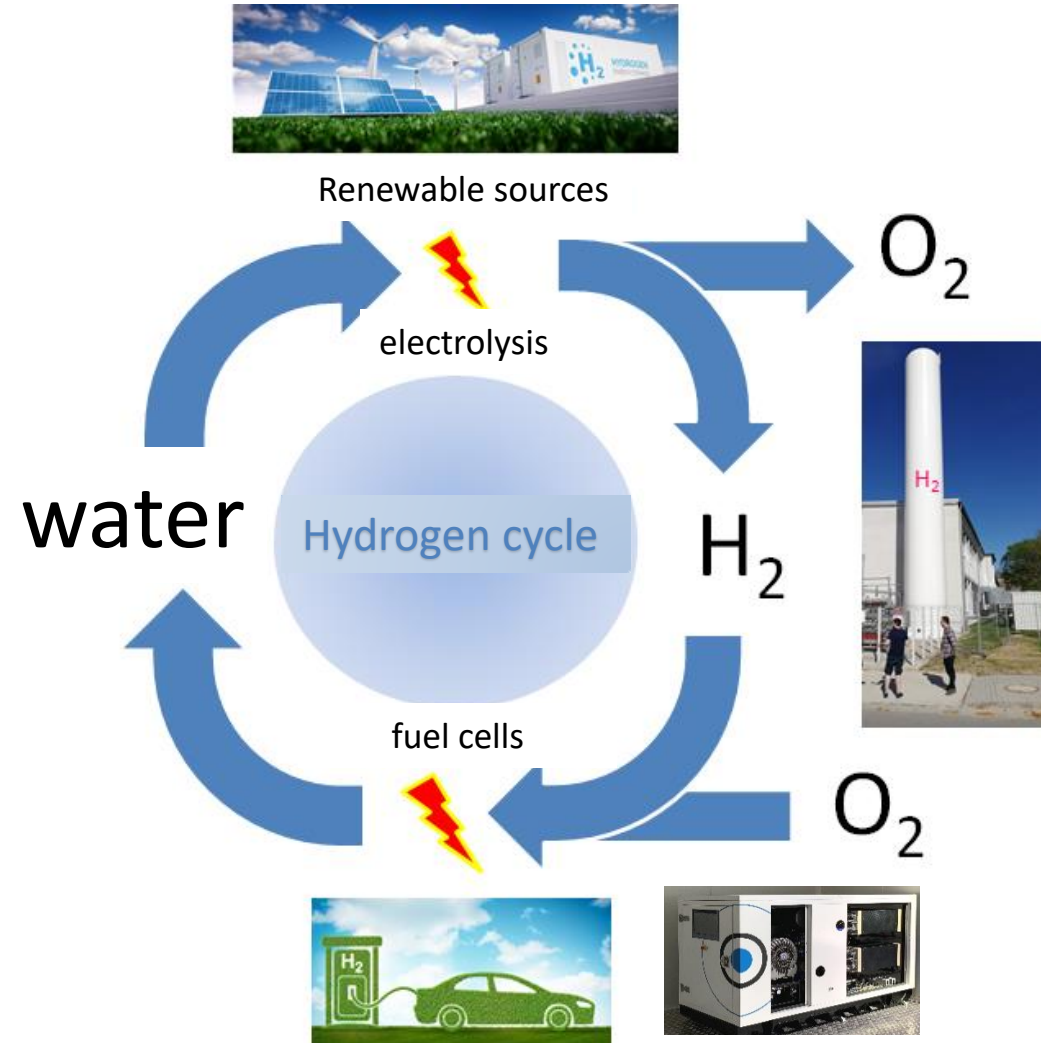
Se snahou snižovat emise se do popředí zájmu dostávají zejména **elektrické dopravní prostředky** a jejich zajímavou alternativou jsou hybridní mobilní systémy s vodíkovým pohonem - s palivovými články, které nejprve vyrobí z vodíku elektřinu pro elektrický pohon.

- Vodíkové elektromobily FCEV, FCEB,
- Vodíkové vlaky FCET
- Manipulační technika
- Velká budoucnost je předpovídána vodíkovým letadlům, kde velká hmotnost baterií neumožňuje žádaný dolet.



Současný rozvoj vodíkových a elektrických sítí

Vodíkový cyklus – energetické řešení budoucnosti



Výroba vodíku



OBNOVITELNÉ ZDROJE



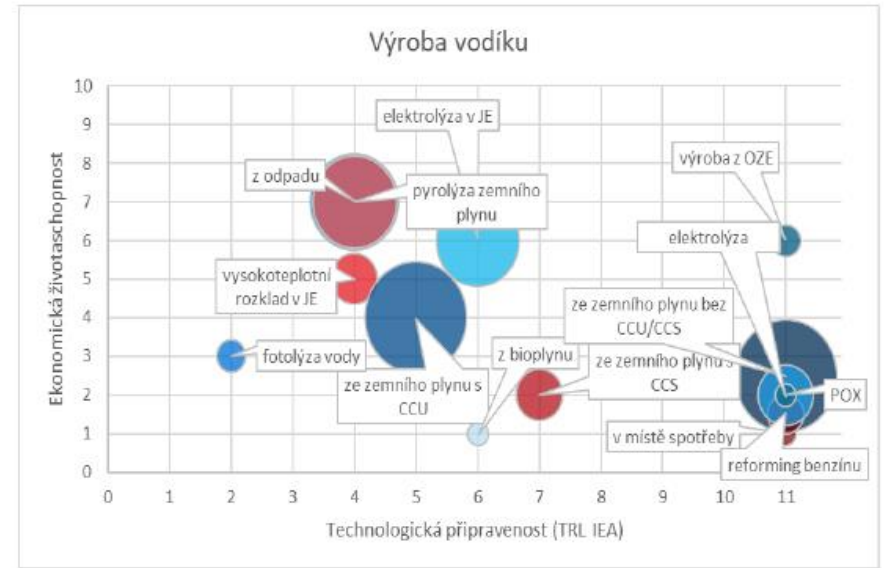
JADERNÉ ELEKTRÁRNY



**PYROLÝZA A PLAZMATICKÝ
ROZKLAD ODPADU**

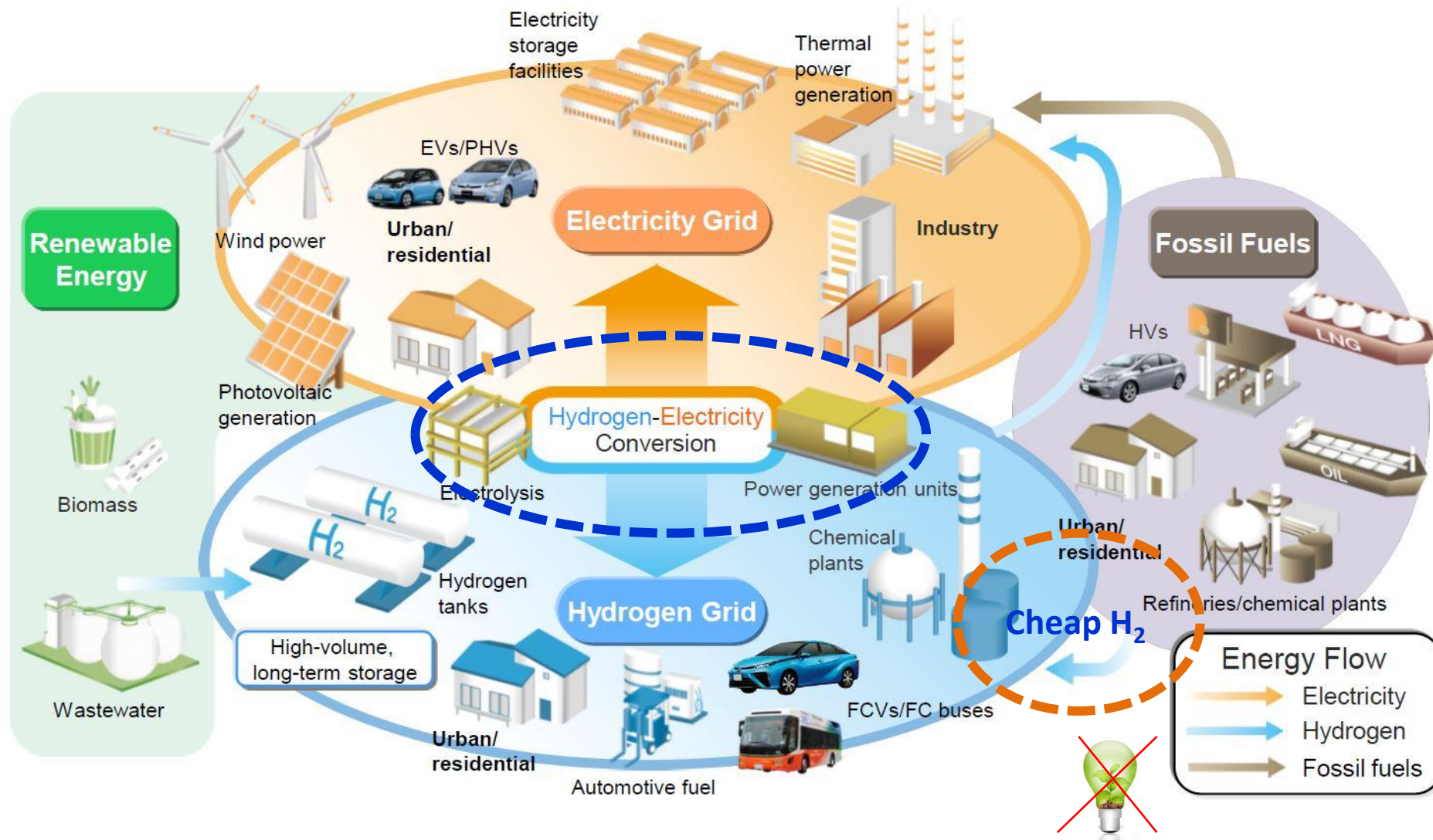


ZEMNÍ PLYN S CCU

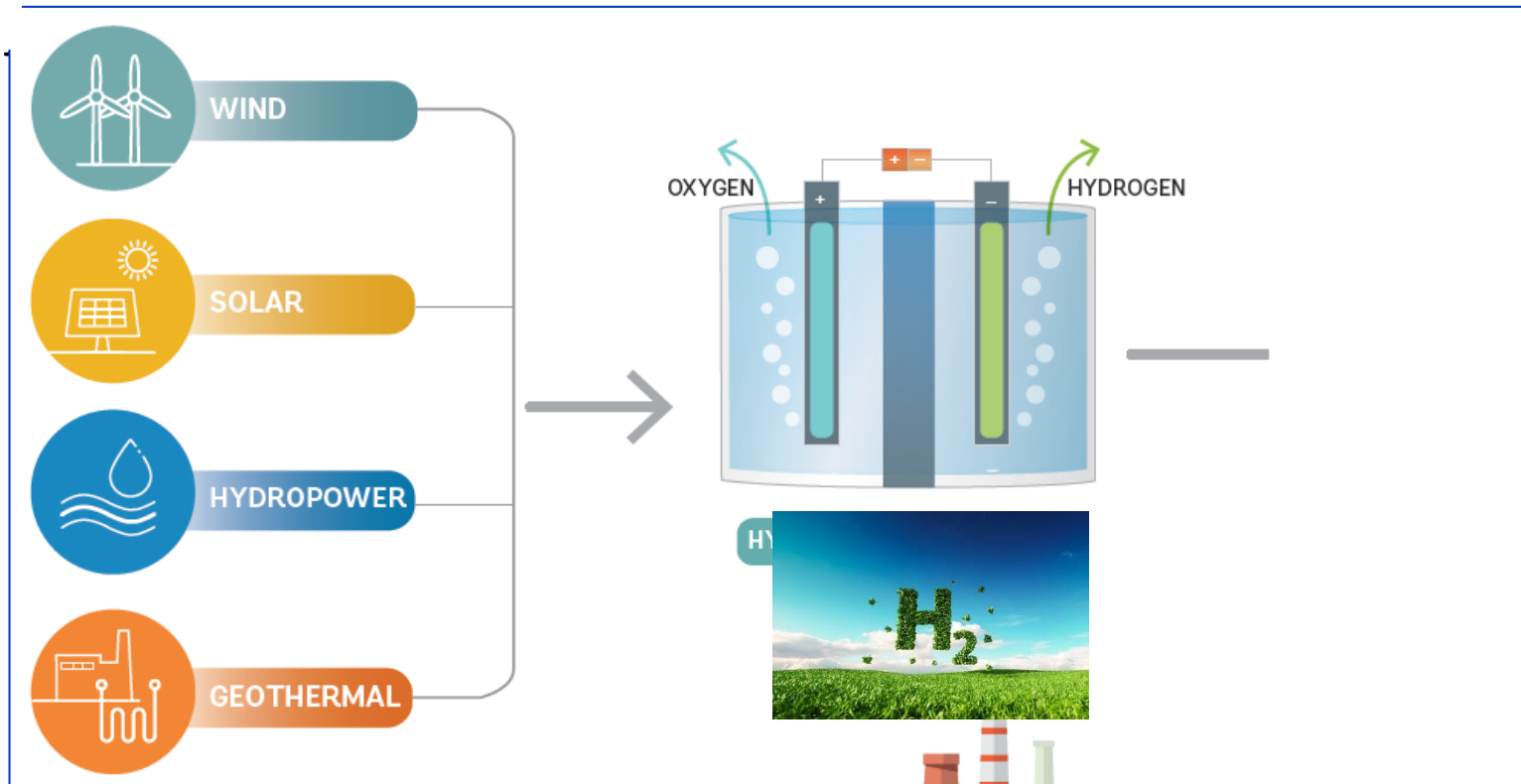


Současný rozvoj vodíkové a elektrické sítě

Energetické řešení budoucnosti



Výroba vodíku – definice různých druhů vodíku



- Největší budoucnost má pak **zelený vodík** – při jeho výrobě nevznikají žádné emise - je vyráběn elektrolýzou pouze z obnovitelných zdrojů.

Výroba vodíku – definice různých druhů vodíku

Vzhledem k předpokládanému masivnímu rozvoji výroby vodíku z OZE, ukazuje se potřeba nové definice různých druhů vodíků v rámci evropské legislativy z důvodu nastavení podmínek pro poskytování státní podpory v oblasti vodíkových projektů

Definice různých druhů vodíku

- 1) Obnovitelný vodík
- 2) Nízkouhlíkový vodík
- 3) Bílý vodík neboli vodík vznikající jako odpadní látka
- 4) Vodík vyrobený pomocí jaderné elektřiny
- 5) Vodík vyrobený pomocí kombinace různých obnovitelných i „špinavých“ zdrojů.

Aby vodík spadl do definice obnovitelných paliv nebiologického původu (RFNBO - Renewable Fuels of Non-biological Origin), musí být tzv. obnovitelný vodík vyráběn elektrolýzou vody za použití elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (kromě biomasy).

Využití vodíku



MOBILITA



PRŮMYSL – NÁHRADA
ŠEDÉHO VODÍKU



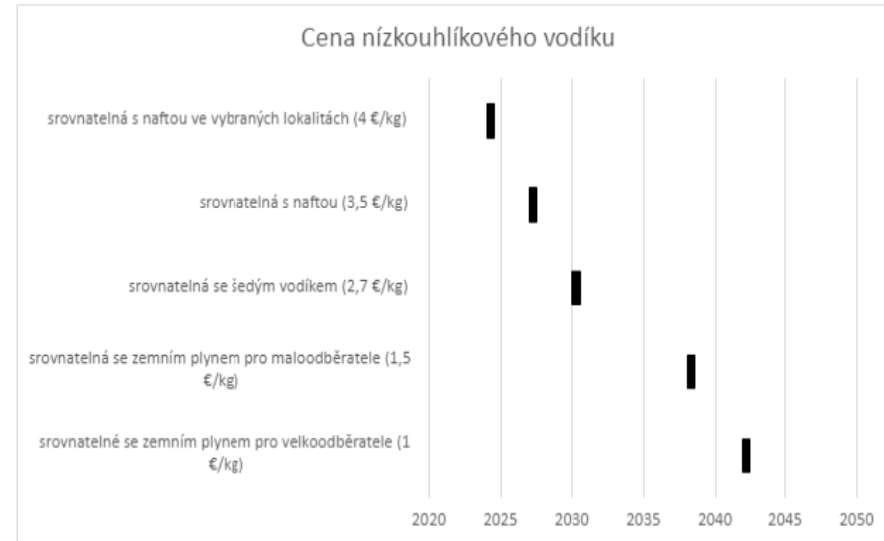
PRŮMYSL – NÁHRADA
ZEMNÍHO PLYNU



PRŮMYSL – NÁHRADA
UHLÍ



UKLÁDÁNÍ ENERGIE



Ukládání vodíku

1 kg H₂ = 33 kWh

~15 kWh^{el} + ~15 kWh^T

Objem potřebný k uskladnění 1 kg stlačeného vodíku při 20°C.

Tlak (bar)	Objem (L)
1	11934,0
200	68,4
350	42,7
700	25,7

Objem potřebný k uskladnění
1 kg kapalného vodíku je 14,2 L

osobní automobil při využití vodíku v palivovém článku dojede cca 100 km



Je možný přechod k nulovým emisím v ČR

OZ 11 %



Jádro 34 %



Fosilní paliva 47 %



Český energetický mix
Produkce: 90 TWh/year

Je možný přechod k nulovým emisím v ČR??

OZ 11 %



Jádro 34 %



Fosilní paliva 47 %



Kromě toho je nutná dekarbonizace průmyslu, velké množství CO₂ vzniká při výrobě oceli a cementu



~~Řešení – zvýšit produkci jaderné energie 2x a použít ji pouze na výrobu H₂~~



~~Řešení – 4x zvýšit výrobu obnovitelné energie a částečně ji použít na výrobu H₂~~



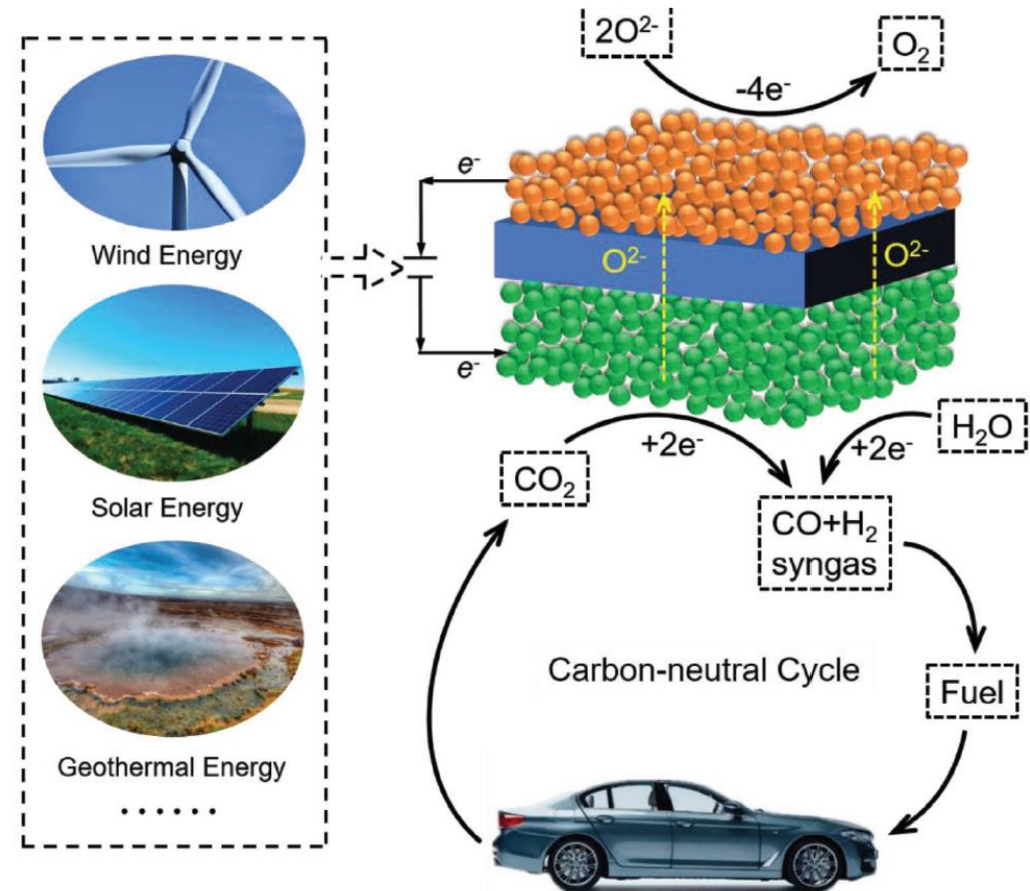
TECHNOLOGIE BUDOUCNOSTI

- **Recyklace plastů a výroba vodíku**
- **Fotokatalýza – výroba vodíku, efektivnější využití slunečního záření**
- **Dekarbonizace výroby energie, vysokoteplotní elektrolýza do úvah musí být zahrnuta výroba syntetických paliv**
- **Solární elektrárny - ukládání energie do roztavených solí**

Dekarbonizace – SOEC

Elektrolyzér s pevným oxidem (SOEC) je palivový článek, který umožňuje následující procesy :

- Elektrolýza $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$
- nebo
- Elektrolýza $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{syngas} (\text{CO} + \text{H}_2)$



Carbon-neutral cycle based on CO_2 electrolysis in SOECs.

Vodíkové generátory elektrické energie

1. Palivové články
2. Svazky palivových článků
3. Moduly palivových článků
4. Integrace modulů do reálných aplikací

1. Vodíkový palivový článek

Palivový článek s polymerní iontově vodivou membránou

PEMFC – Proton exchange membrane fuel cell

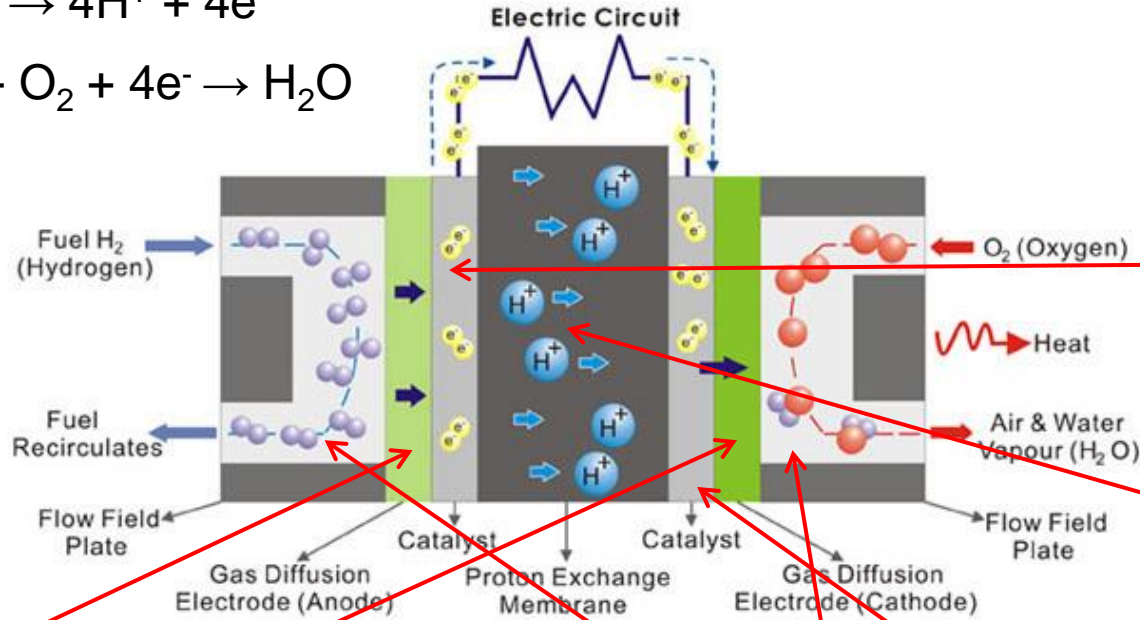
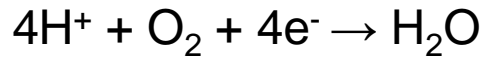
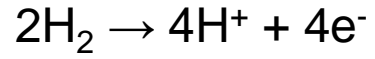
Výhody

- Nízká provozní teplota: 60 – 80°C
- Nízká hmotnost
- Rychlý start i při teplotách pod 0°C

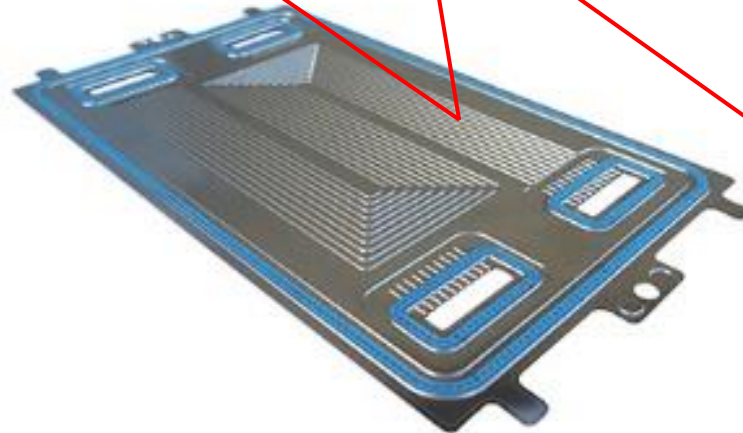
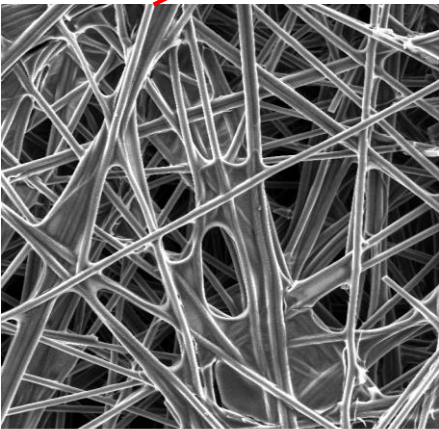
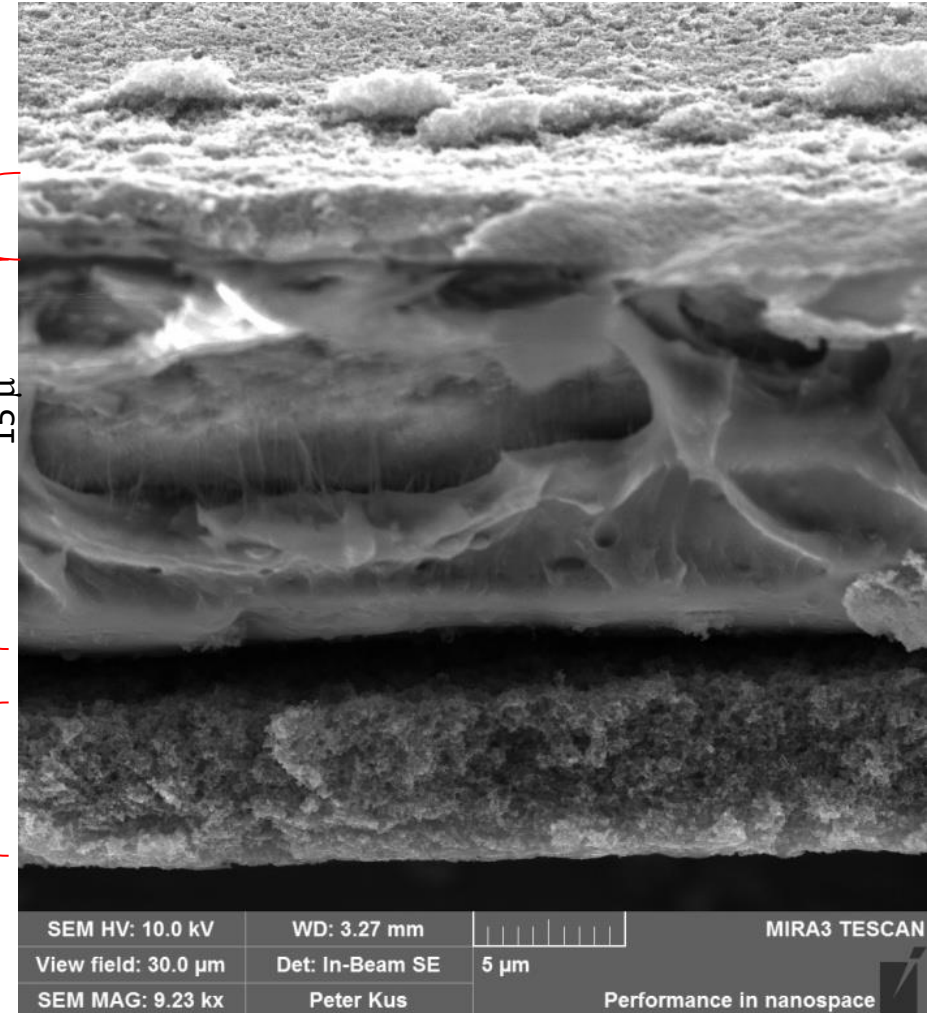
Nevýhody

- Obsahuje drahou platinu
- Vyžaduje čistý vodík s obsahem CO a dalších pro reakci na platině toxických plynů ≤ 100 ppm

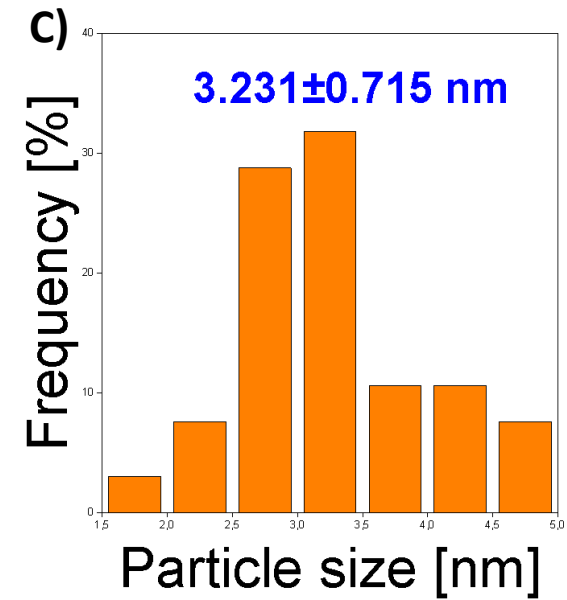
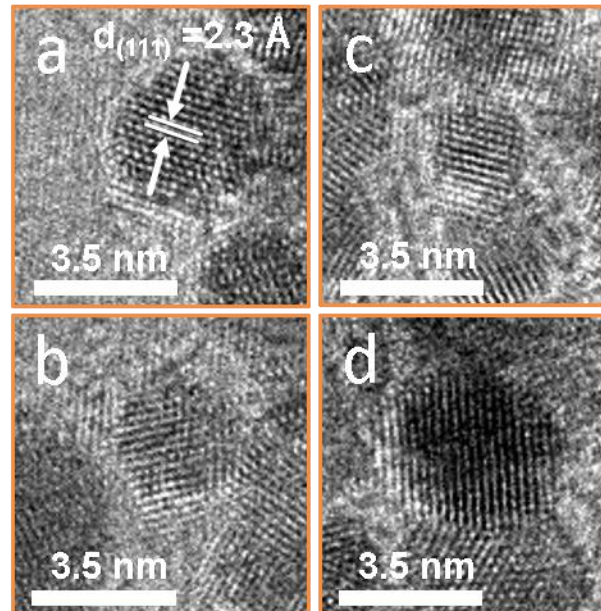
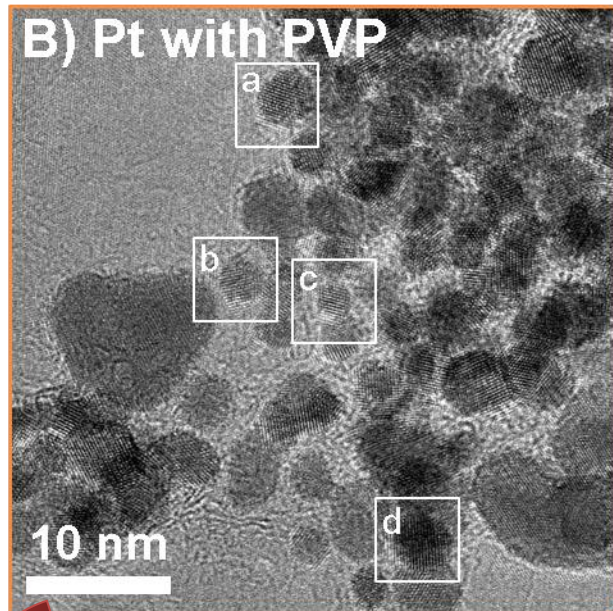
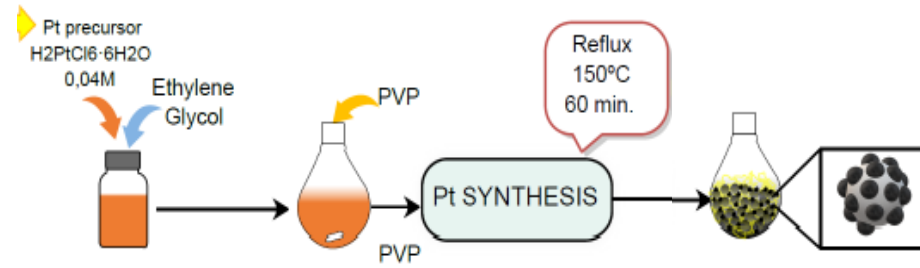
Palivové články typu PEMFC



CCM Catalyst Coated Membrane



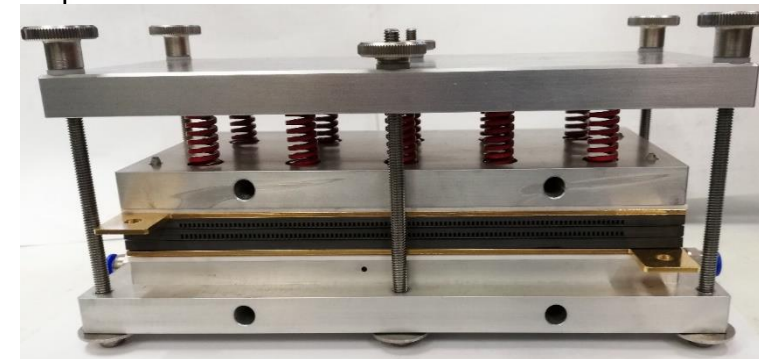
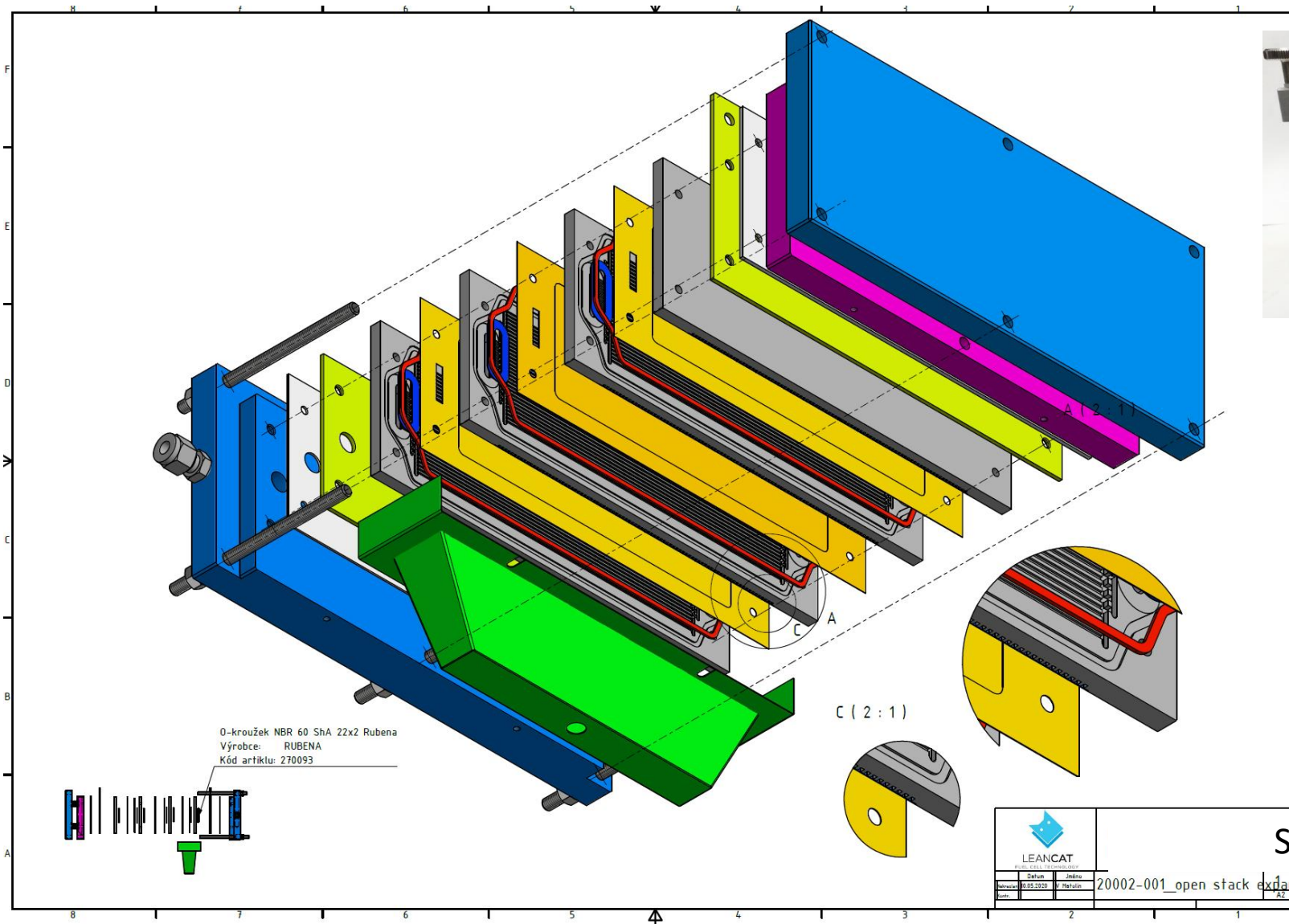
Syntéza Pt nanočástic



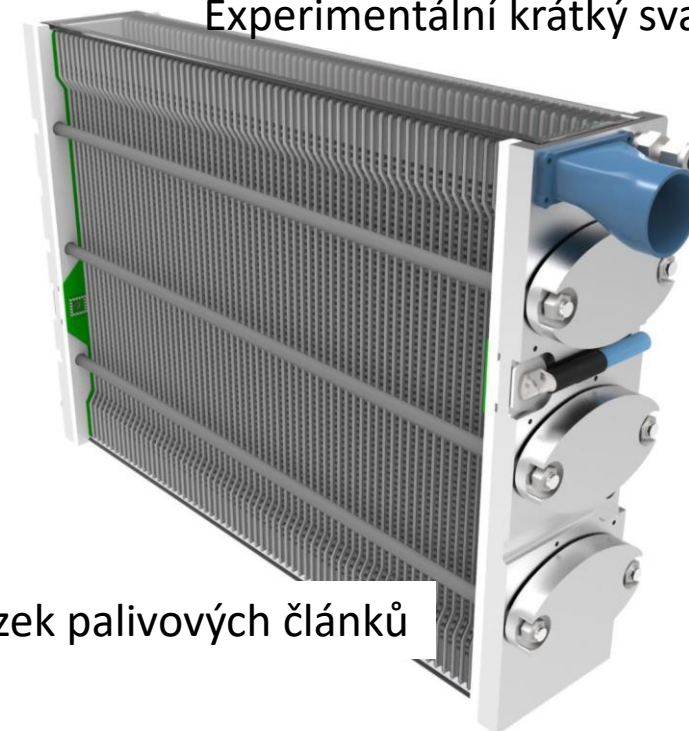
TEM images of Pt NPs synthesized, and particle size distribution of Pt (C).

Formation of stable and better dispersed NPs with polycrystalline arrangement and an average particle size of 3.2 nm.

2. Svazky palivových článků



Experimentální krátký svazek



Svazek palivových článků

Vodíková mobilita - FCEBs

Deklarovaný zájem o FCEBs v krajích

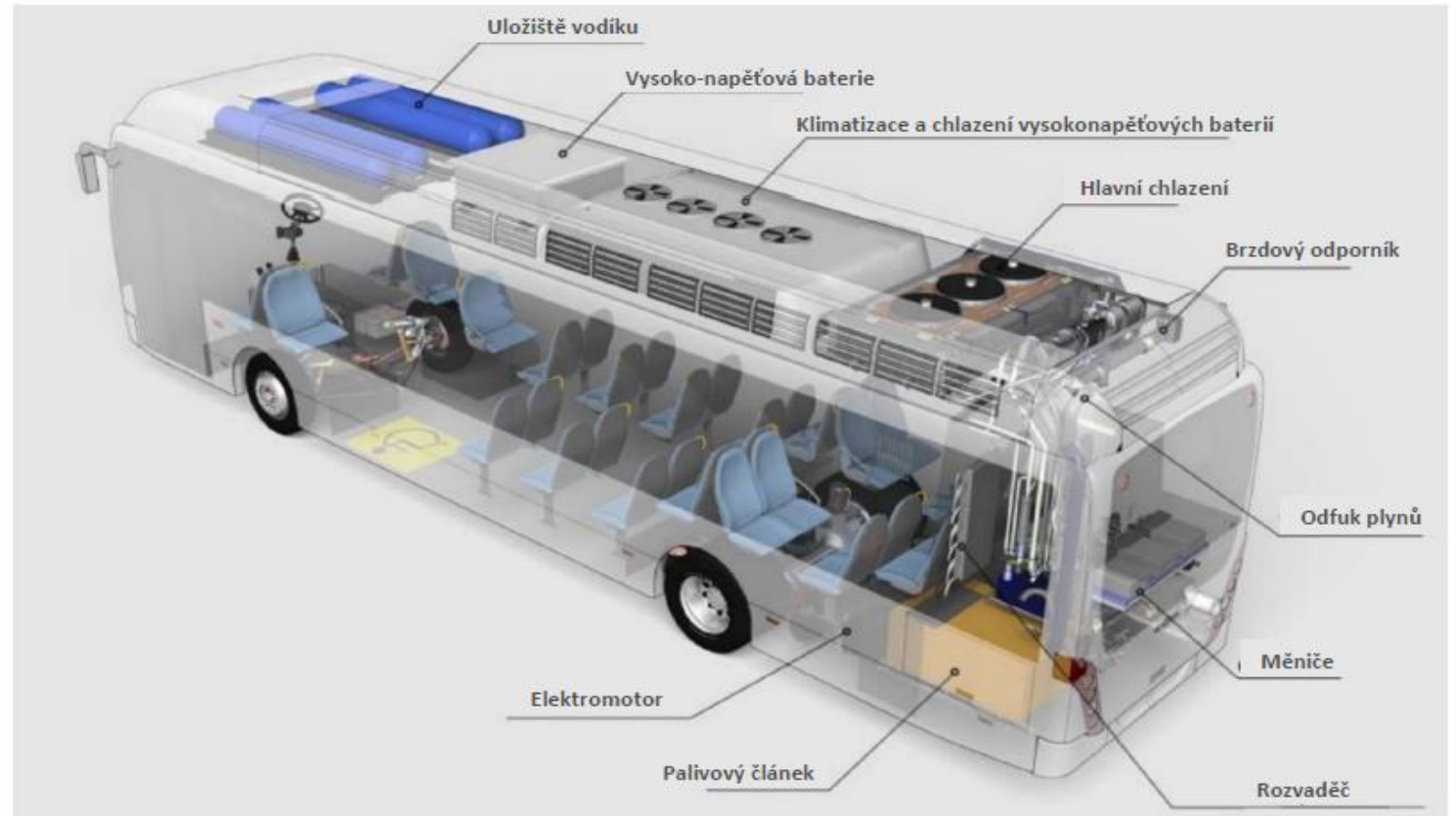
Karlovarský
Ústecký
Liberecký
Pardubický
Moravskoslezský

PRODUCT SPECIFICATIONS

Rated Power	56 kW
Rated current	360 A
Rated Voltage	156 V
Mass (dry)	33.7 kg
Length	612 mm
Width	425 mm
Height	109 mm
Fuel	SAE J2719
Oxidant	Air up to 2.5 bara
Coolant	DI water or Fuel Cell grade glycol
Max Coolant Temperature	82°C
Minimum Start Temperature	-25°C

FCEBs v Evropě

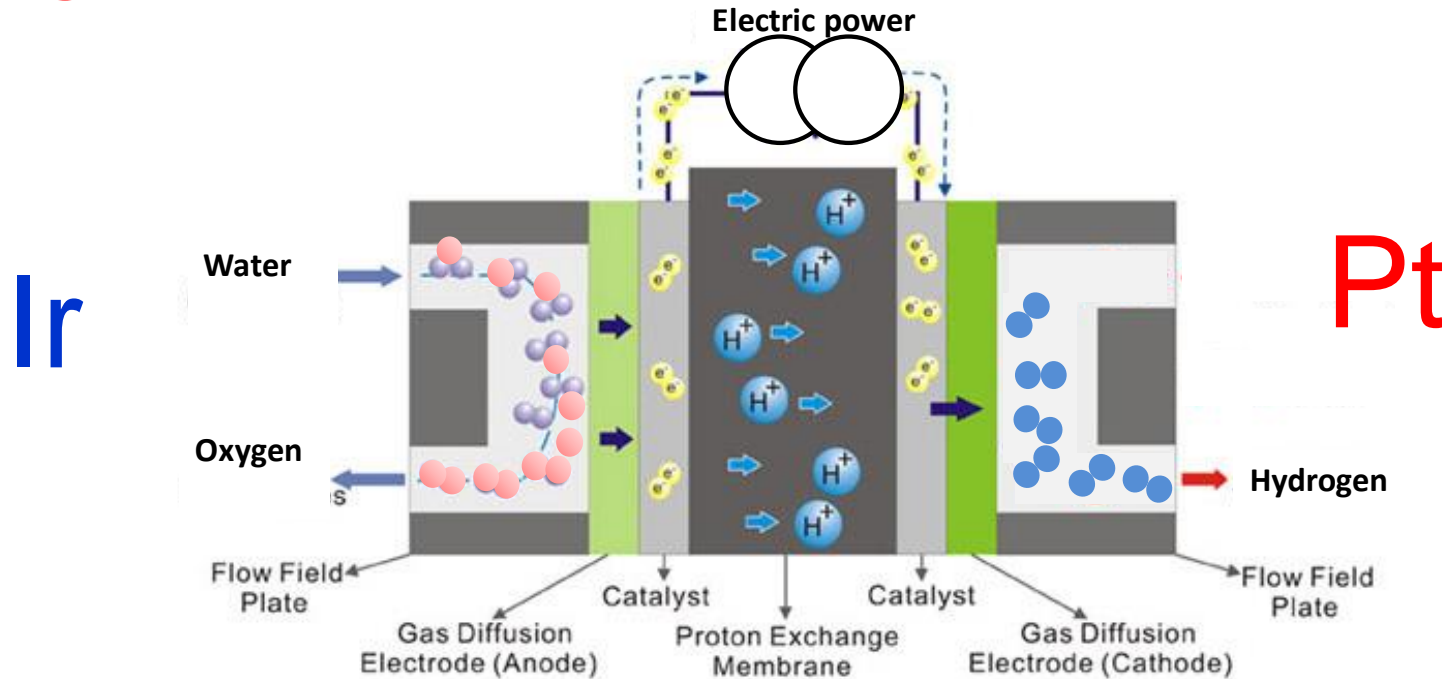
90 ks v roce 2017
224 ks v roce 2019
350 ks v roce 2020



Zdroj:

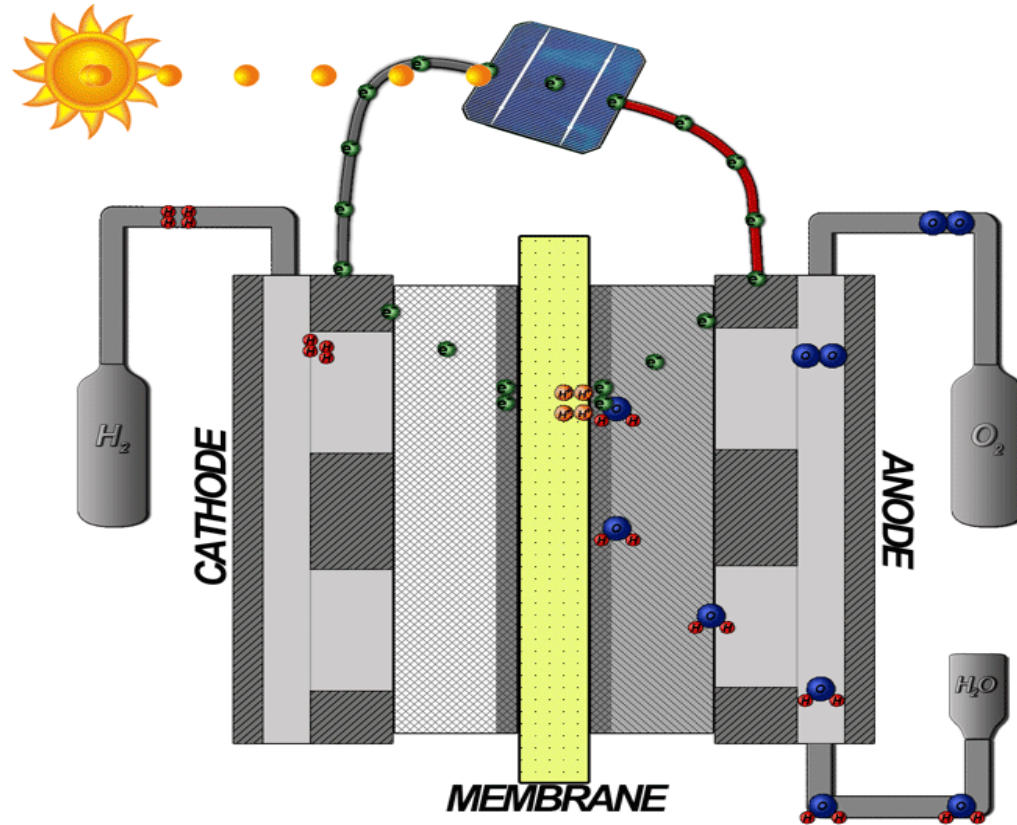
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/7._presentation_van_hool.pdf

Elektrolýza vody – základ výroby zeleného vodíku



Do popředí se dostávají PEMWE – elektrolyzéry s protonově vodivou membránou
Fungují jako obrácený PEMFC

Vodní elektrolyzátor s protonově vodivou membránou (PEMWE)



Reakce vývoje kyslíku:
 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

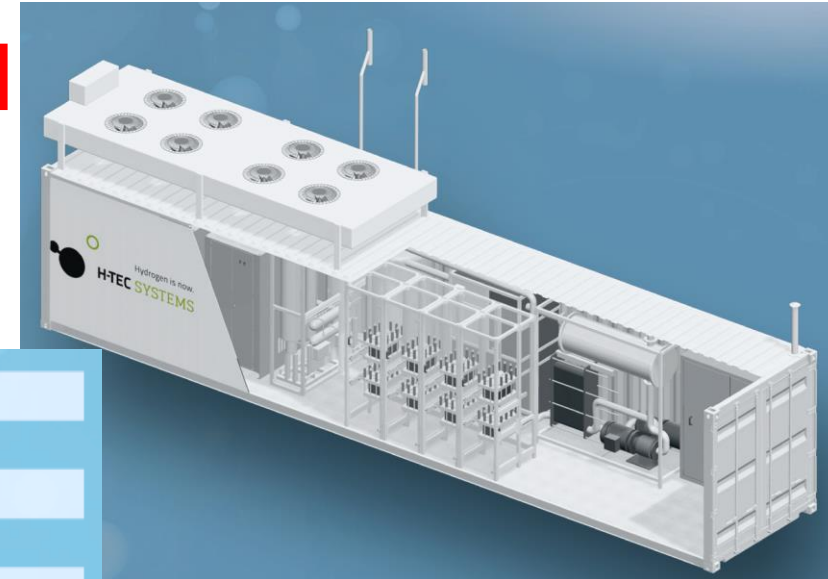
Reakce vývoje vodíku:
 $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$

Dohromady:

$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

Ukládání energie do vodíku

Elektrolyzér 1 MW – 450 kg H₂/den @ 30 bar

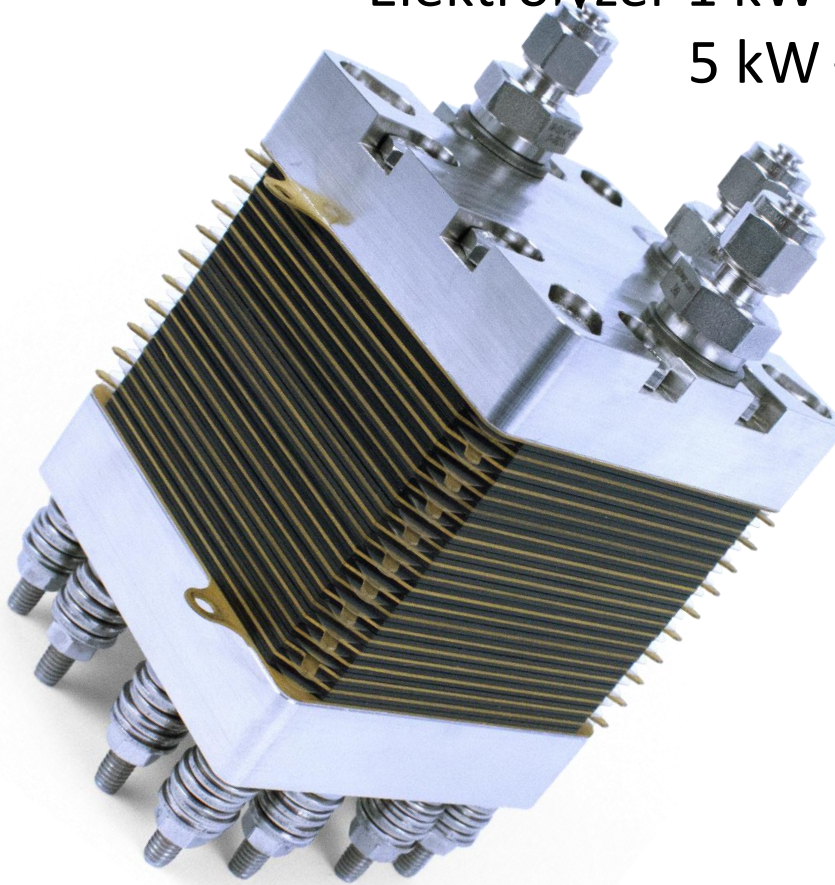


Parameter	ME 450/1400	
H ₂ nominal production	450 kg d ⁻¹	210 Nm ³ h ⁻¹
H ₂ production range	25-210 Nm ³ h ⁻¹	
H ₂ purity	3.0, with adsorption drying: 5.0	
Nominal energy consumption	4.9 kWh Nm ⁻³	
Nominal load	1 MW	
Electrolyser power	0.2-1.4 MW	
Nominal system efficiency	74 %	
Load change	Partial load to nominal load = 30 s	
Heat extraction	max. 65 °C outlet temperature and 55 °C return temperature	
Operating pressure H ₂	unpressurised - 30 bar	
Operating pressure O ₂	unpressurised	
Feed water quality	Drinking water, nominal 350 kg h ⁻¹	
Grid connection	Voltage: 3x 400 V/ 50 Hz + N + PE in accordance with IEC 60038, Connected load: 2 MVA	
Dimensions	40' container, approx. - ca. 12 m x 3 m x 3.5 m	
Weight	approx. 25 t	
Ambient temperature	-15 °C to +35 °C	

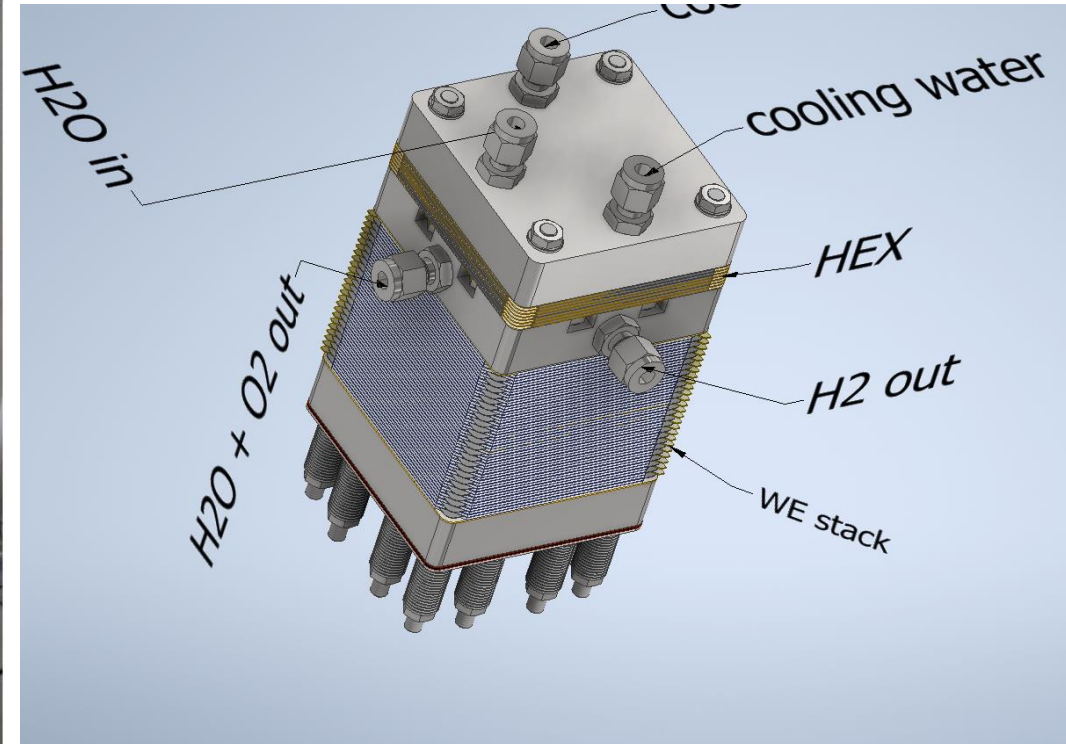


Ukládání energie do vodíku – distribučované zdroje

Elektrolyzér 1 kW – 220 N litrů H ₂ /h @ 20 bar	174 x 107 x 110 mm	3.8 kg
5 kW – 1100 N litrů H ₂ /h @ 20 bar	297 x 107 x 110 mm	5.6 kg



Svazek článků PEMWE



Ukládání energie “na zimu” do vodíku



LEANCAT
HYDROGEN TECHNOLOGY

HOME BACKUP will use two technologies to make electricity available exactly when it is needed



Short-term storage Day | Night

With the proven battery technology, solar power from the daytime is stored and made available in the evening. During the day, the sun charges the battery so that enough solar power is available in the evening.



Long-term storage Summer | Winter

To compensate for the lack of solar yield in winter, picea uses hydrogen (H₂). picea utilises surplus electricity in summer to produce hydrogen from water. In winter, this process is reversed and electricity is regenerated from hydrogen. The storage and use is completely emission-free.



Vodík v letecké dopravě

Dnešní spalovací motory v letadlech lze upravit tak, aby fungovaly na alternativní paliva, aby se zlepšily ekologické vlastnosti. Nyní se v tomto ohledu ukazuje jako jedna z nejslibnějších možností spalování kapalného vodíku. Airbus zkoumá potenciál této technologie v rámci přípravy na svůj program letadel s nulovými emisemi.



Dnes vodíkové spalovací motory prokázaly svou schopnost úspěšně pohánět řadu vozidel, od automobilů po autobusy. Zítra může spalování vodíku pohánět budoucí komerční letadla.

Spalování vodíku již bylo použito k pohonu letadel. Ve skutečnosti v roce 1988 vzletlo k nebi první experimentální komerční letadlo na světě provozované na kapalný vodík (a později na zkapalněný zemní plyn): Tupolev Tu-155. Uskutečnilo přibližně 100 zkušebních letů a poté bylo uloženo do skladu.

Vodík v letecké dopravě

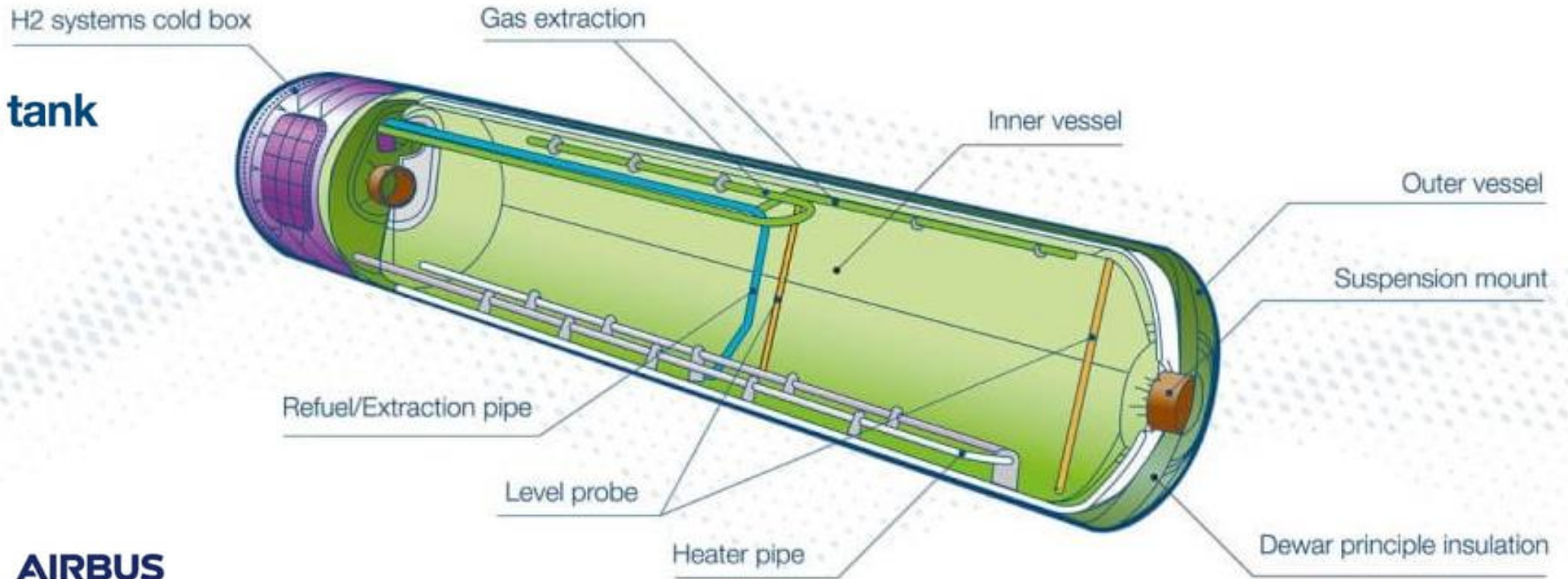


LEANCAT
FUEL CELL TECHNOLOGY

Aby spalování vodíku fungovalo, musí být kapalný vodík bezpečně uložen při teplotě -253°C na palubě letadla.

- Nádrže musí být izolovány, aby se zabránilo odpařování.
- Bude nutný vývoj a průmyslová výroba kryogenních nádrží pro skladování kapalného vodíku.
- Vesmírný průmysl používá nádoby pro skladování kapalného vodíku po celá desetiletí, máme tedy mnoho odborných znalostí v oblasti pokročilých výrobních technologií kryogenních nádob, což je vše klíčové pro podporu vývoje nádrží na kapalný vodík pro budoucí pohonné systémy letadel.

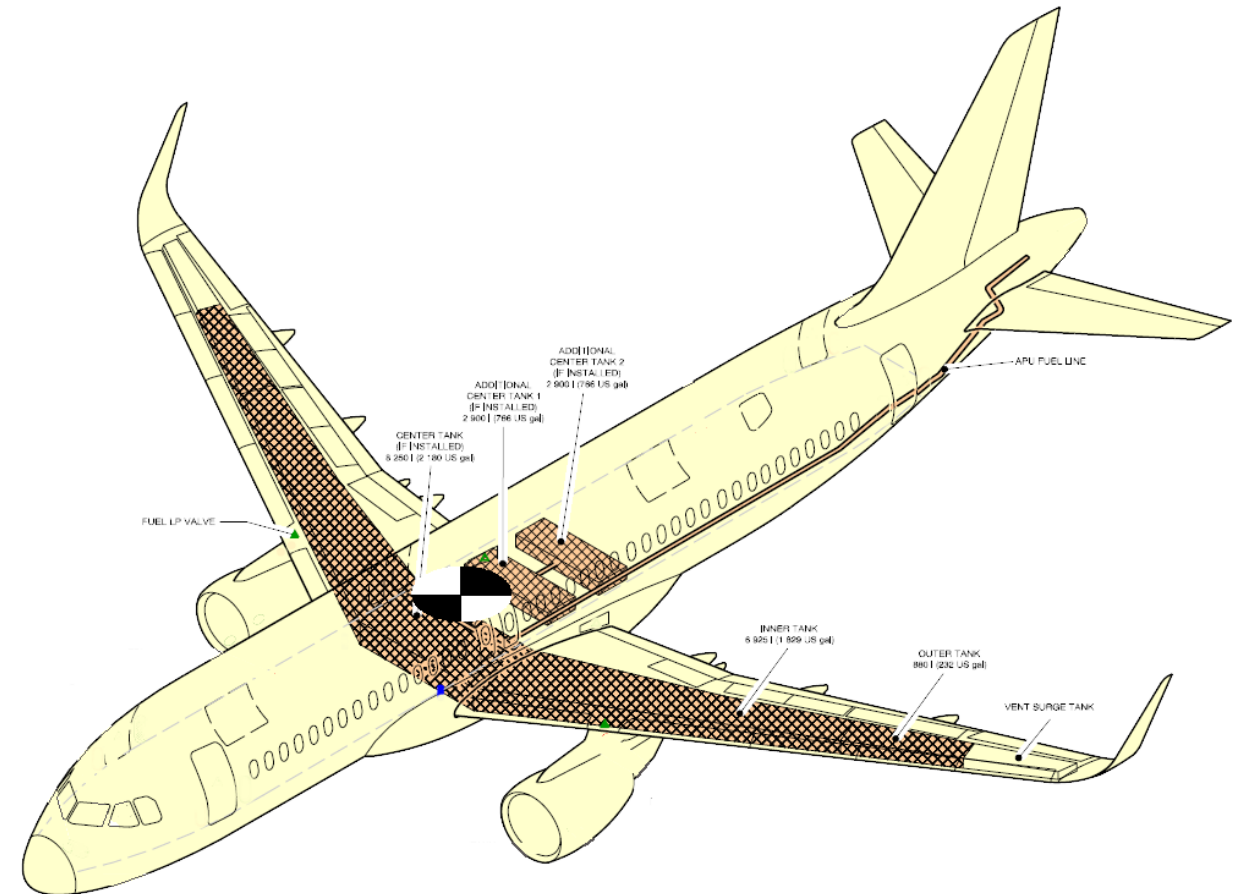
Liquid H₂ tank



AIRBUS

Vodík v letecké dopravě

- Typický dvouhodinový let A320/737-8 (800NM=1500 km) spotřebuje **4 tuny** paliva, zatímco čtyřhodinový let potřebuje **7,5 tuny** (vzdálenost 1500 NM=2770 km).
- Vodíková verze takového letadla spotřebuje 35 % hmotnosti paliva vzhledem k tomu, co spotřebovává letadlo poháněné kerosenem, máme tedy spotřebu **1,4 tuny LH₂** na krátkou cestu a **2,6 tuny** na dlouhou cestu.
- Hmotnost kryogenní nádoby je zhruba 3 x větší než hmotnost paliva.
- 1 litr LH₂ má hmotnost 0,07 kg,
- 1 litr leteckého benzínu má hmotnost 0,8 kg.
- Hmotnostní hustota energie LH₂ je 3x větší než kerosenu, požadovaný objem skladování surového paliva je ale 3,8 x vyšší než u leteckého paliva.



Závěr -Shrnutí základních informací

Hydrogen physics

- 1 kg \leftrightarrow 11,1 Nm³ \leftrightarrow 33,3 kWh (LHV) and 39,4 kWh (HHV)
- High mass energy density (1 kg H₂ = 3,77 l gasoline)
- Low volumetric density (1 Nm³ H₂ = 0,34 l gasoline)

Hydrogen production from water electrolysis (~5 kWh/Nm³ H₂)

- **Power:** 1 MW electrolyser \leftrightarrow 200 Nm³/h H₂ \leftrightarrow \pm 18 kg/h H₂
- **Energy:** +/- 55 kWh of electricity \rightarrow 1 kg H₂ \leftrightarrow 11.1 Nm³ \leftrightarrow \pm 10 liters demineralized water

Power production from a hydrogen PEM fuel cell from hydrogen (+/- 50% efficiency)

- **Energy:** 1 kg H₂ \rightarrow 16 kWh

Cars and buses

FCEV	H ₂ tank	H ₂ consumption	Driving range	Annual driving distance	Annual H ₂ consumption
Car (passenger)	5 kg	1 kg/100 km	500 km	15.000 km	150 kg
Bus (12 m)	35 kg	8 kg/100 km	350 km	60.000 km	5 tons

Děkuji za pozornost



Hledáme nové spolupracovníky
matolin@lean-cat.com