



**Okresní hospodářská  
komora**  
v Chomutově



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU

# **Seminář EFEKT**

## **Alternativní zdroje energie – Vodík a jeho využití**

### **7. 10. 2021**

**Akce zaměřené na aktivní rozšiřování informací a vzdělávání v oblasti úspor energie.**

**Tato akce byla realizována s dotací ze státního rozpočtu v rámci Státního programu na podporu úspor energie na období 2017 – 2021 – Program EFEKT 2 na rok 2021.**



**Okresní hospodářská  
komora**  
v Chomutově



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



# Principy vodíkové ekonomiky

**Karel Bouzek a Martin Paidar**

**Ústav anorganické technologie,  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze**

**Technická 5  
166 28, Praha 6**



**„Tato akce byla realizována s dotací ze státního rozpočtu v rámci Státního programu na podporu úspor energie na období 2017 – 2021 - Program EFEKT 2 na rok 2021“**

„Čím se tedy bude topit, nebude-li uhlí?“ – „Vodou, ovšem rozloženou na její prvky,“ odpověděl Cyrus Smith. „Budou ji rozkládat snad elektřinou, která se stane mocnou a hybnou silou. Věřím, že vody bude využíváno jako paliva. Voda je uhlím budoucnosti.“

*Jules Verne: Tajuplný ostrov (L'île mystérieuse), 1874*

## „Green Deal“, dekarbonizace ekonomiky a vodík

### Politická podpora – „Clean Hydrogen Alliance“

*“Whilst around 280 companies are active in the production and supply chain of electrolyzers and more than 1 GW of electrolyser projects are in the pipeline, the total European production capacity for electrolyzers is currently below 1 GW per year. To reach the strategic objective of 40 GW electrolyser capacity by 2030, a coordinated effort with the **European Clean Hydrogen Alliance**, Member States and front-runner regions is needed as well as support schemes before hydrogen becomes cost-competitive.*



Brussels, 8.7.2020  
COM(2020) 301 final

COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN  
PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL  
COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS

A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe

## Green Deal / Plán EU na podporu oživení

„Rolling out renewable energy projects, especially wind, solar and kick-starting a **clean hydrogen economy** in Europe“

- **Dekarbonizace energetiky, dopravy a budov EU je závislá na intenzivním využití obnovitelných zdrojů ve všech oblastech.**
- **Vodík jako bezuhlíkaté palivo / redukční činidlo je jednou z alternativ současných procesů. I jako nástroj akumulace energie**

### EXHIBIT 3: BENEFITS OF HYDROGEN FOR THE EU

Ambitious scenario  
2050 hydrogen vision



**~24%**  
of final energy  
demand<sup>1</sup>



**~560 Mt**  
annual CO<sub>2</sub>  
abatement<sup>2</sup>



**~EUR 820 bn**  
annual revenue  
(hydrogen and  
equipment)



**~15%**  
reduction of local  
emissions (NO<sub>x</sub>)  
relative to road transport



**~5.4 m**  
jobs (hydrogen,  
equipment, supplier  
industries)<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Incl. feedstock

<sup>2</sup> Compared to the Reference Technology Scenario

<sup>3</sup> Excl. indirect effects

## EU strategie

**-2024**  
6 GW elektrolyzéry  
1Mt vodíku z OZE

**2025 - 2030**  
40 GW elektrolyzéry  
10 Mt vodíku z OZE

**2030 -**  
velkovýroba  
dekarbonizace klíčových  
výrob

## Zaměření H<sub>2</sub> strategií

Hydrogen use sectors	EU	DE	NL	FR	ES	IT	UK	NO	CH	UA	RU	JP	KR	CN	AU	CA	MO
Industry	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✗	✗	✓	(✓)	✗	✗	✓	(✓)	✓
Power	(✓)	(✓)	(✓)	✓	(✓)	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	(✓)
Transport	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)
Buildings	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	✗	✗	(✓)	✗	✗	(✓)	(✓)	✓	✓	✗	(✓)	(✓)	(✓)
Export	✗	✗	✗ <sup>1)</sup>	✗	✓	✗	✗	✗ <sup>2)</sup>	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓

✓ main sector    (✓) less relevant    ✗ not addressed

1) Hydrogen imports transit to other counties (e.g. Germany) considered.

2) For Norway, hydrogen is not targeted for direct export, but indirectly through the export of NG with local CCS.

## Základní cíle:

- redukce emisí skleníkových plynů,
- podpora hospodářského růstu

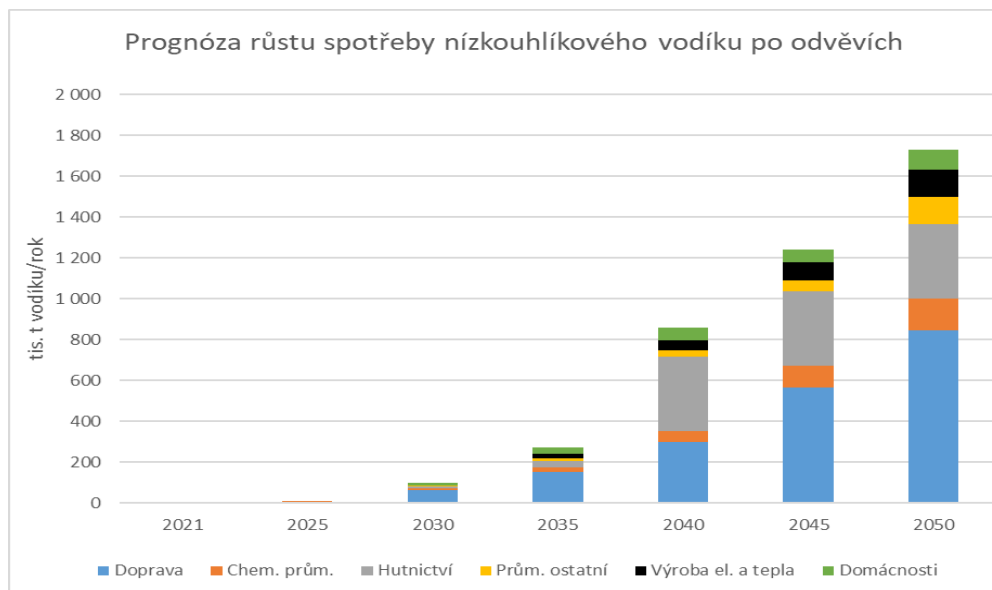
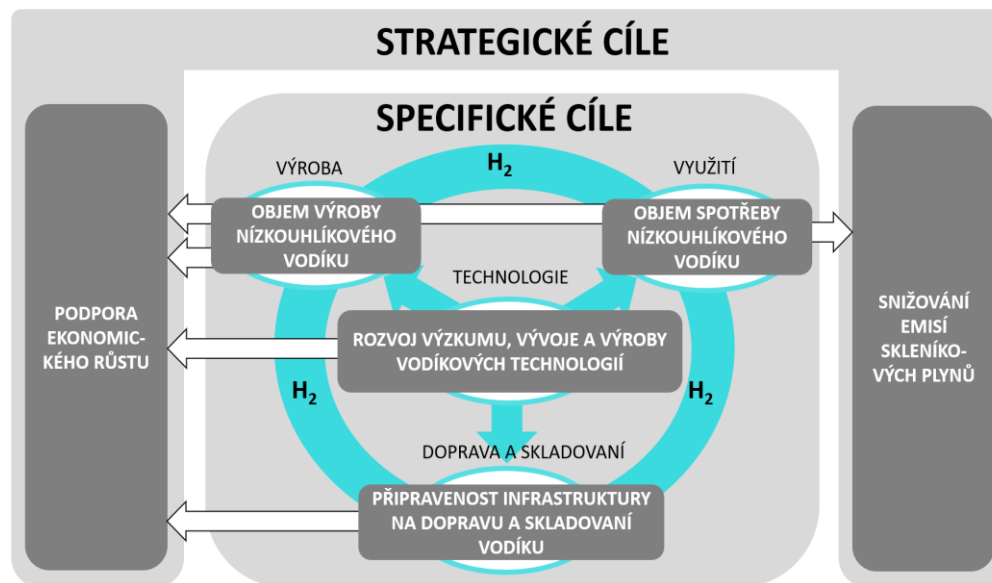
## Dva druhy vodíku

nízkouhlíkový vodík

ostatní vodík

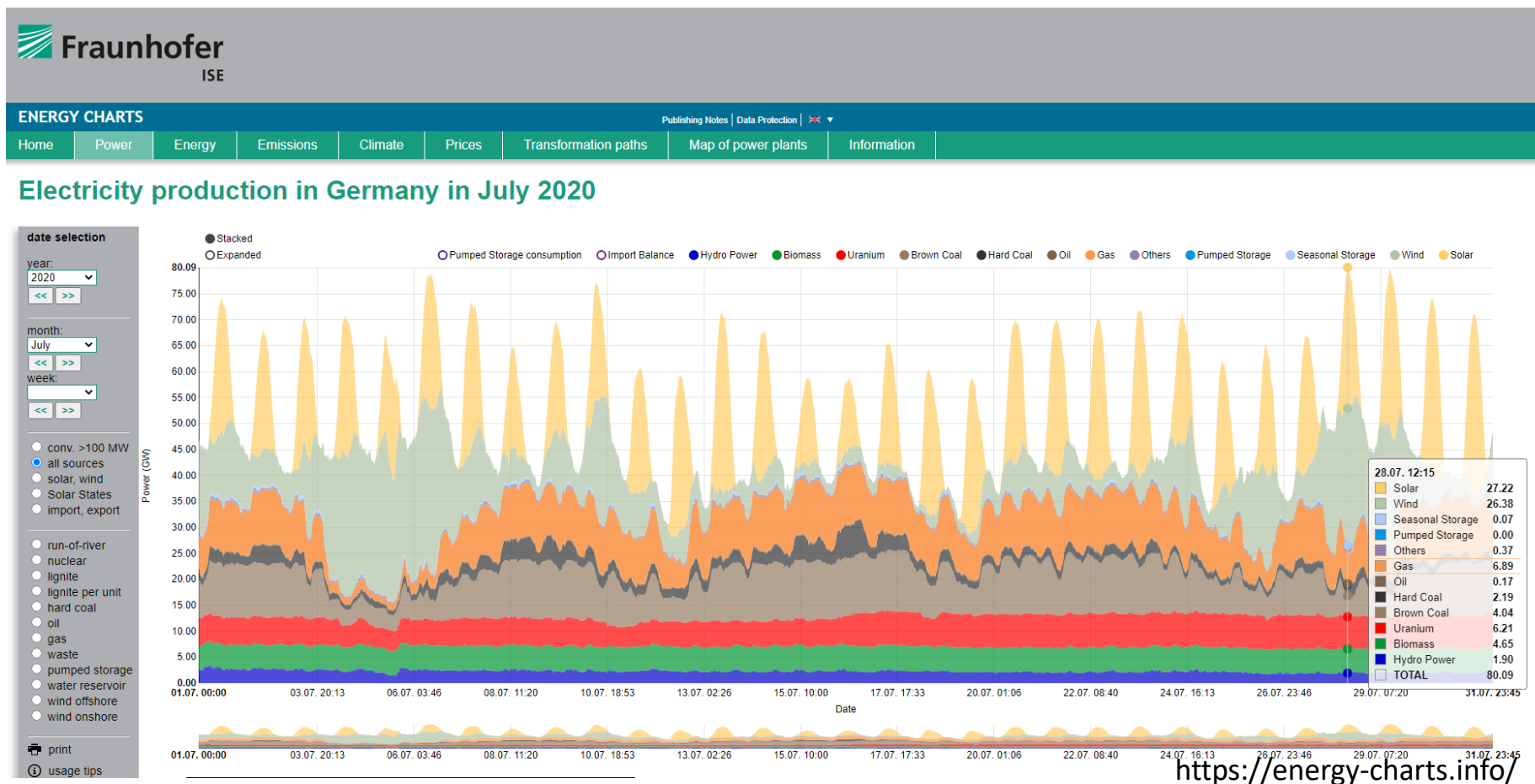
## Uvažované zdroje vodíku

- z obnovitelných zdrojů,
- ze zemního plynu s CCS/U,
- v jaderných elektrárnách,
- pyrolýzním rozkladem organického odpadu nebo zemního plynu.



# Původní motivace - energetika

## Příklad energetického mixu NSR pro červen 2020



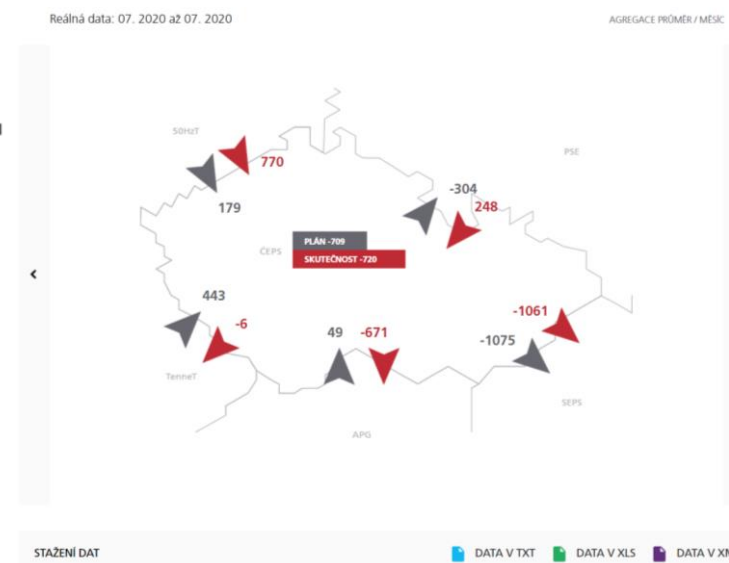


## Energetika a obnovitelné zdroje

### Dopady obnovitelných zdrojů na stabilitu dodávek elektrické energie



<https://www.epexspot.com/en>



Plánované a skutečné přeshraniční toky na jednotlivých mezistátních přenosových profilech.

<https://www.electricitymap.org/map>

## Energetika a obnovitelné zdroje

### Způsoby stabilizace distribuční sítě s nestabilními zdroji

Naddimenzování zdrojů	operativní vypínání nadbytečných kapacit ekonomicky obtížně udržitelné neřeší problém období s „nulovou“ produkcí nelze využít pro další odvětví
Ukládání energie	potenciálová energie vody další fyzikální metody různé druhy baterií vodíková ekonomika

## Proč právě vodík?



$$\Delta H = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

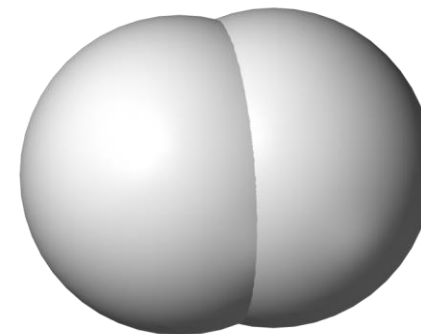
$$\Delta G = -237,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

### + proč ano:

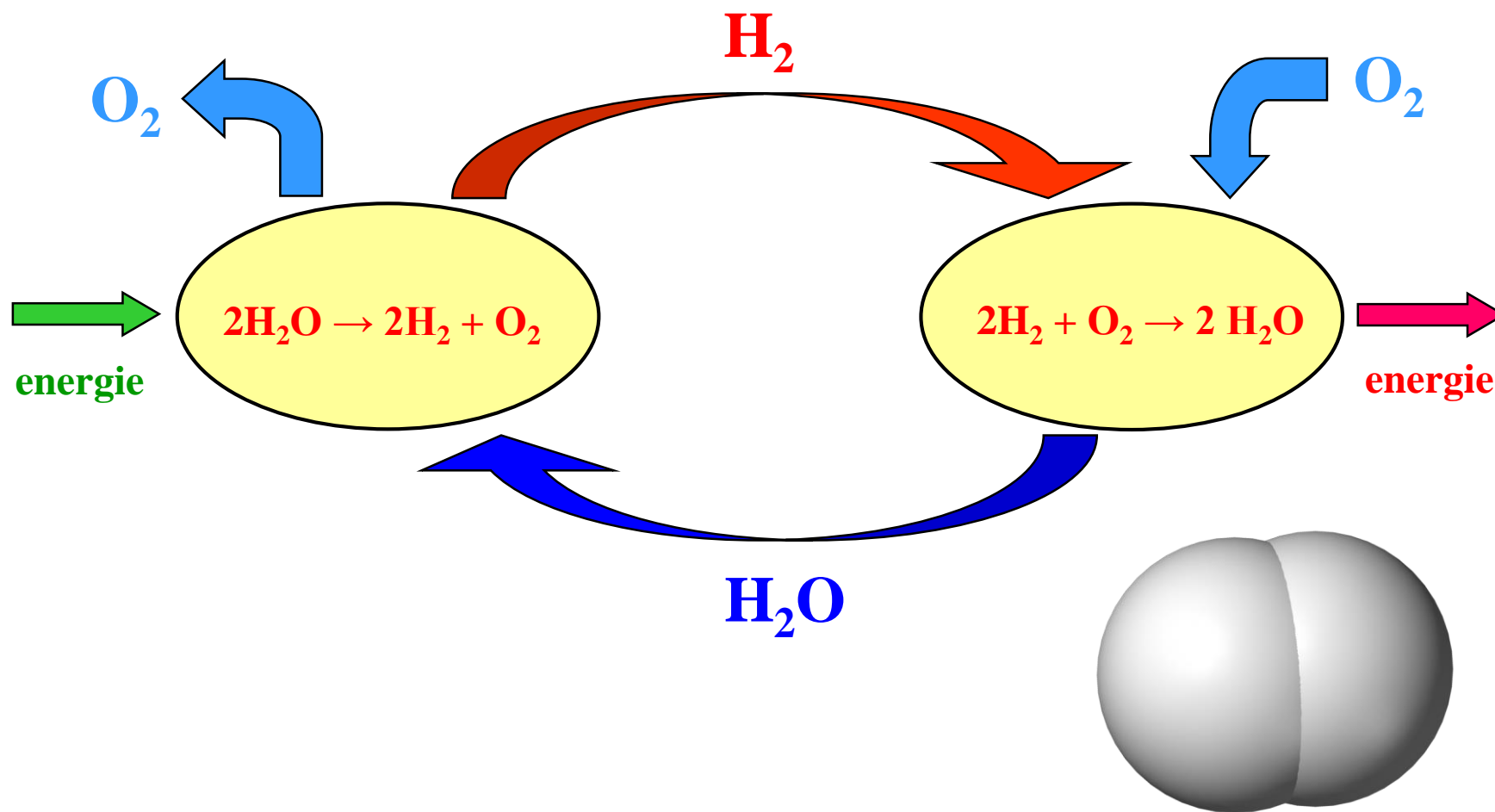
- ☞ hustota energie
- ☞ reaktivita
- ☞ produkt oxidace

### + proč ne:

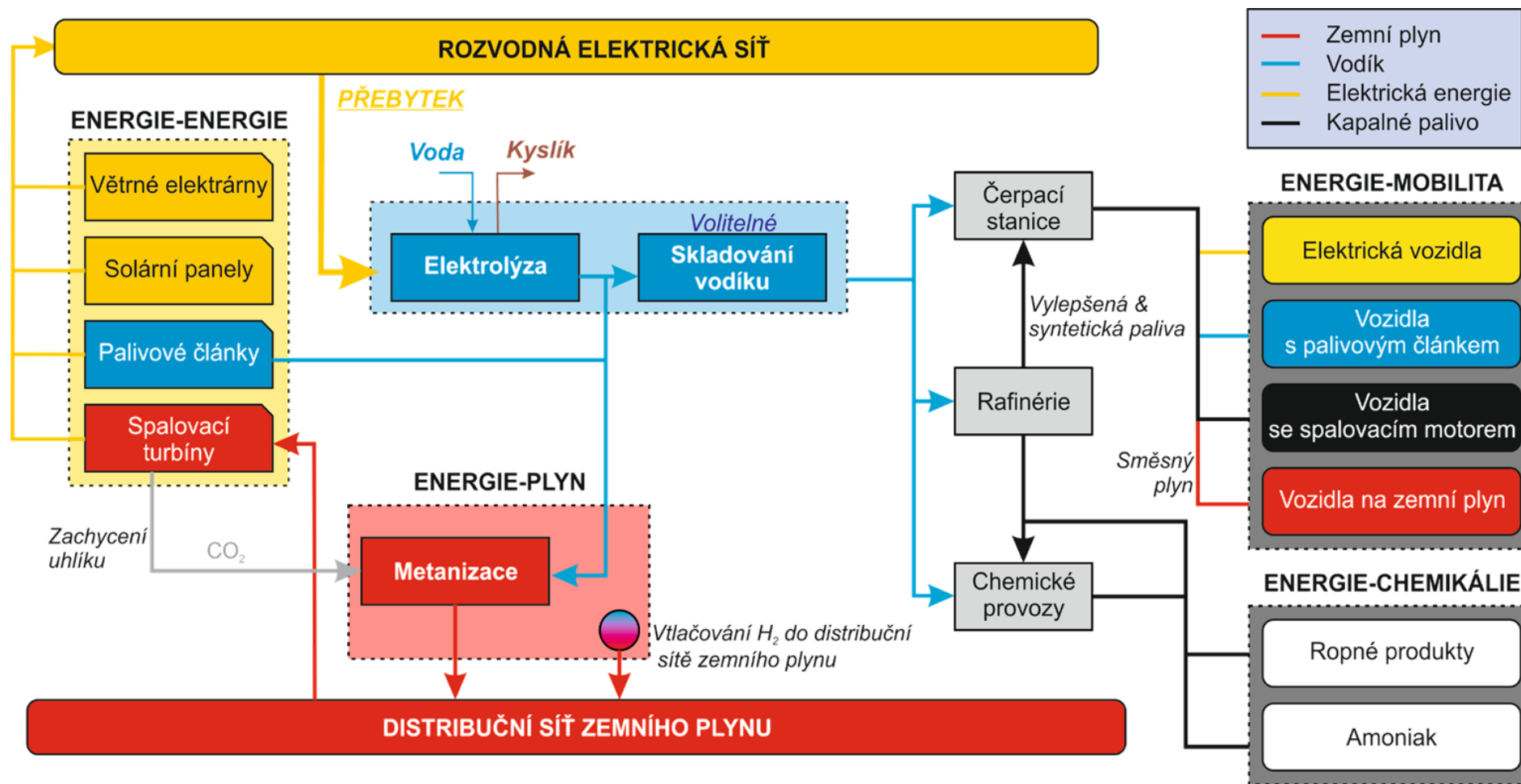
- ☞ reaktivita
- ☞ obavy veřejnosti
- ☞ hustota energie



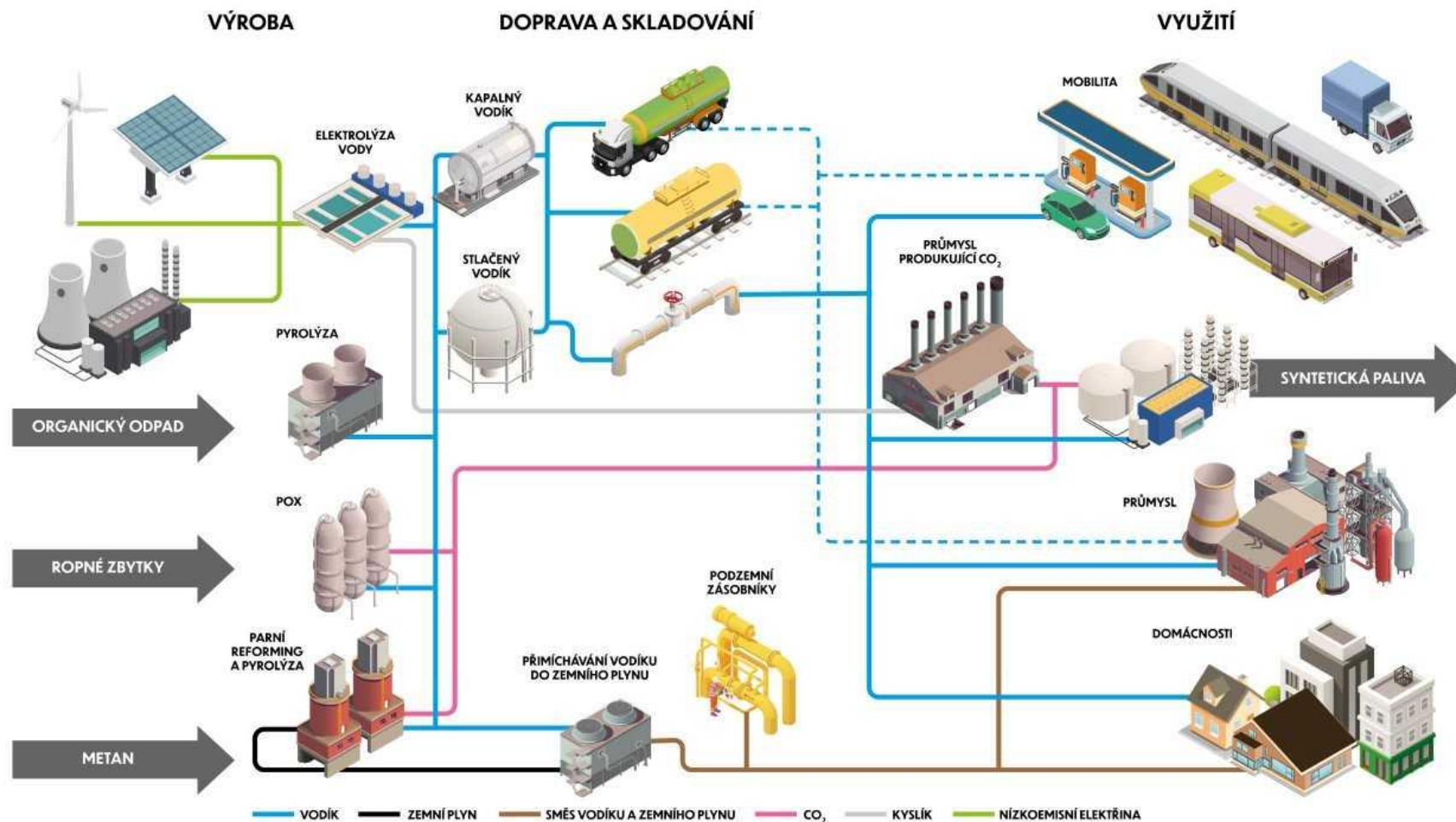
## Primární jednoduché schéma vodíkové ekonomiky



## Komplexnější schéma vodíkové ekonomiky



# Schéma vodíkové ekonomiky



## Výhody vodíkové ekonomiky

### Ukládání elektrické energie

Kapacita

dána kapacitou zásobníků  
velikost jednotek určuje momentální výkon

Minimální ztráty

nepodléhá samovybíjení  
umožňuje mezisezónní skladování

### Dekarbonizace ekonomiky

Doprava

zelené palivo pro FC poháněné elektromobily  
primárně pro dálkovou a „heavy duty“ dopravu

Průmysl

významná surovina pro chemický průmysl  
redukční činidlo v nových aplikacích

Energetika

# Základy procesů konverze energie

## Vodík jako energetický vektor

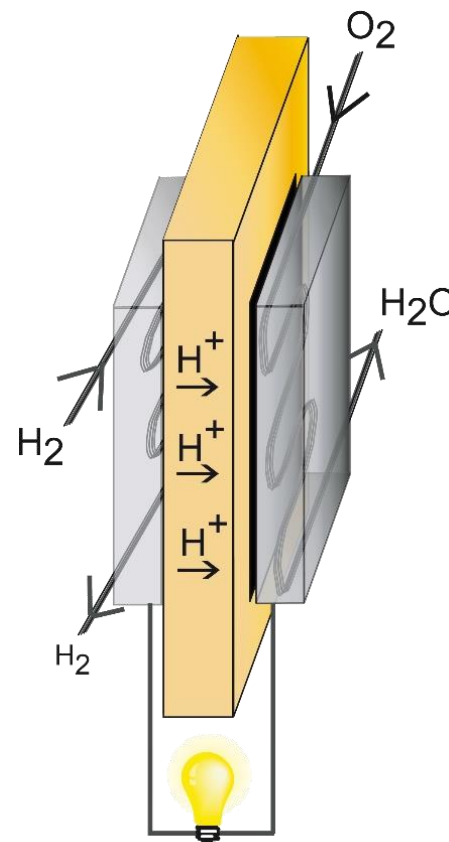
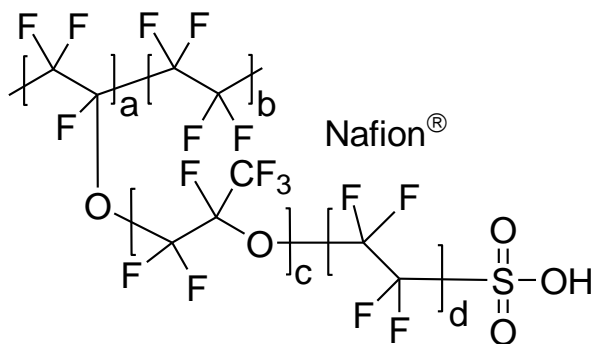
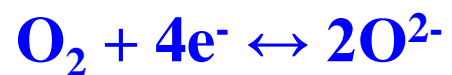
Karel Bouzek a Martin Paidar





## Princip konverze energie ve vodíkových procesech

### Základní princip a jeho modifikace



## Elektrolýza vody

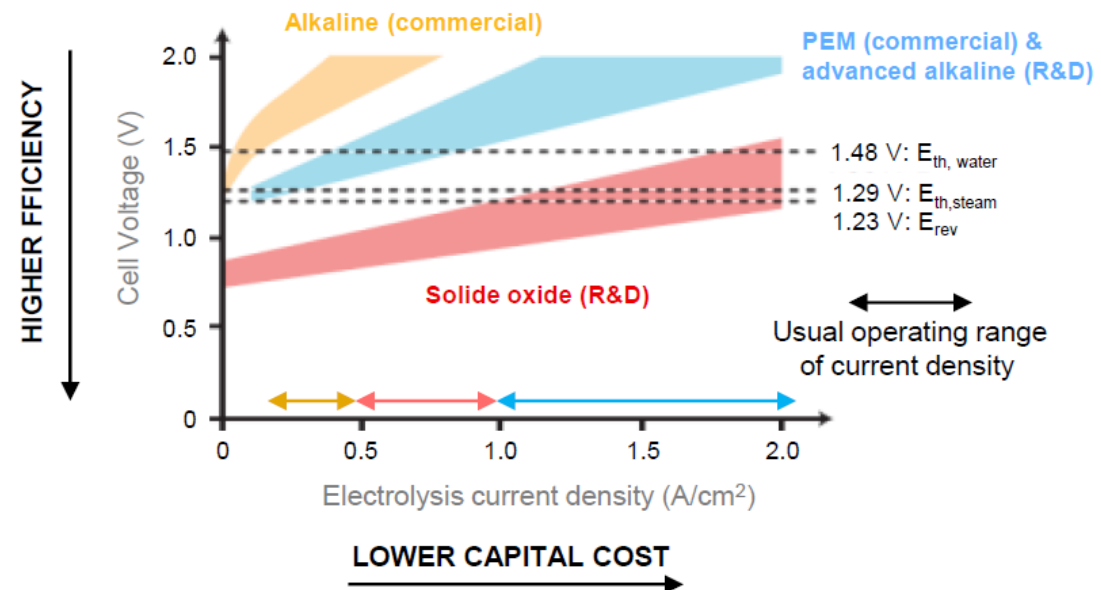
### V současnosti rozvíjené technologie

alkalická s kapalným elektrolytem

kyselá s protonově selektivní membránou

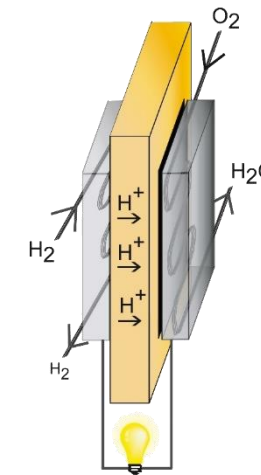
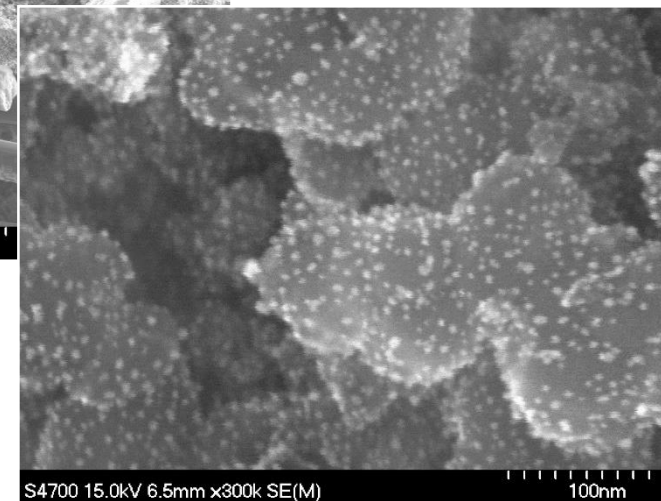
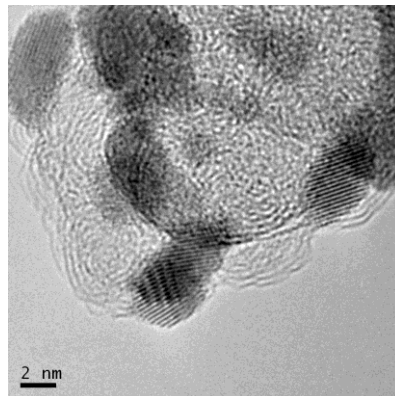
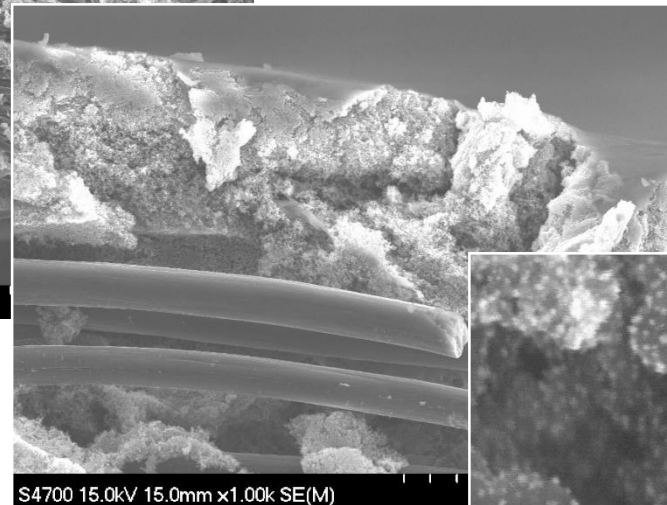
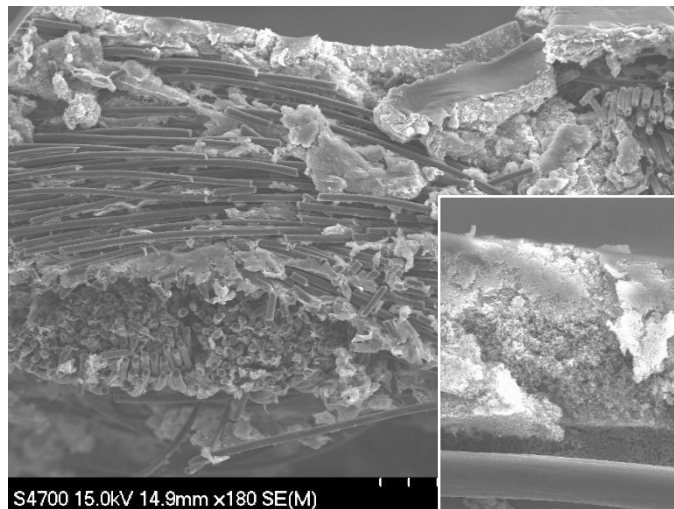
alkalická s polymerní anion selektivní membránou

vysokoteplotní s keramickou membránou



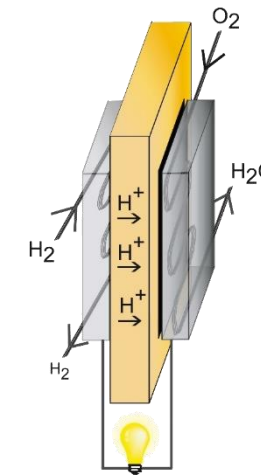
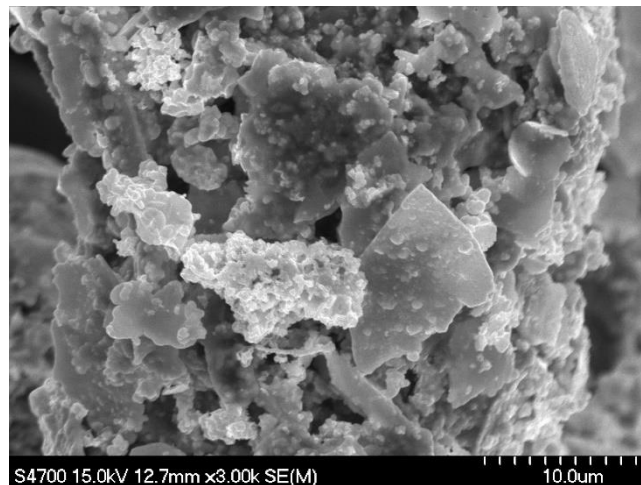
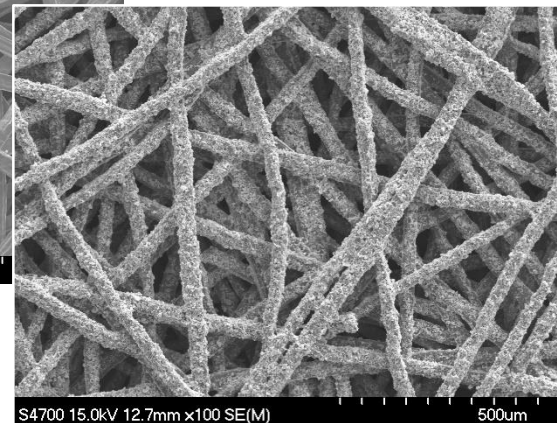
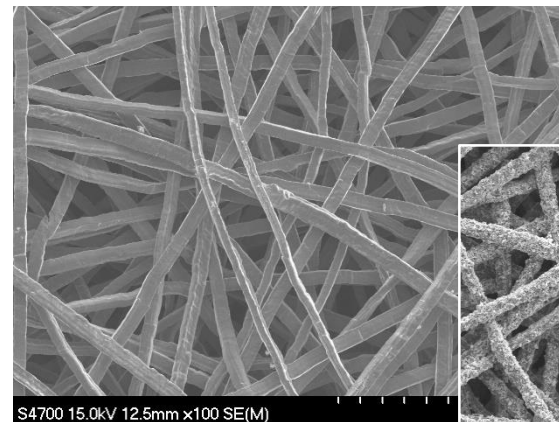
# Principy elektrolýzy vody

## Hlavní komponenty a jejich modifikace – vodíková GDE



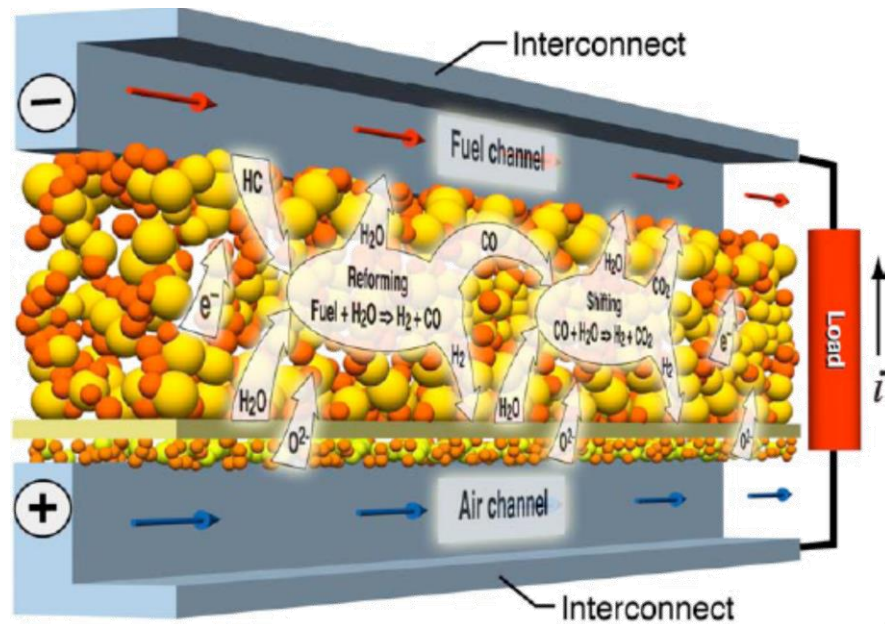
## Principy elektrolýzy vody

### Hlavní komponenty a jejich modifikace – kyslíková GDL

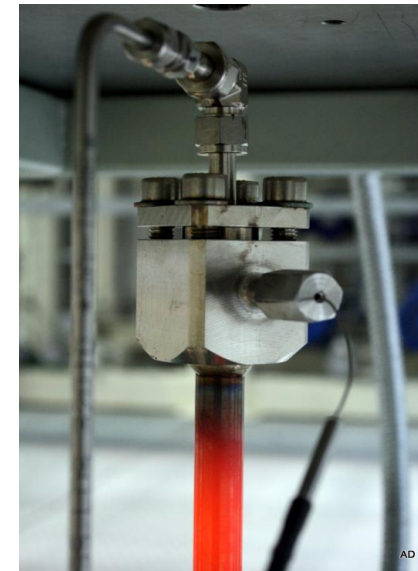


## Principy elektrolýzy vody

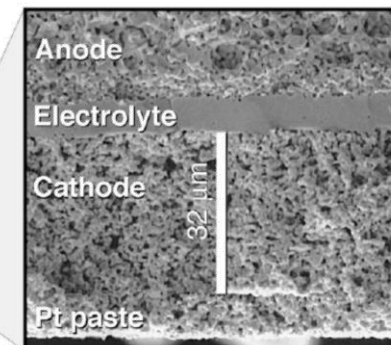
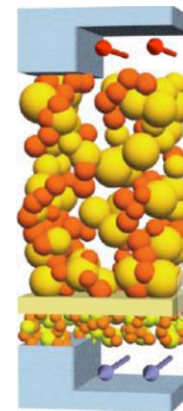
### Vysokoteplotní elektrolýza



Zhu et al., J. Electrochem. Soc. 152 (2005) A2427



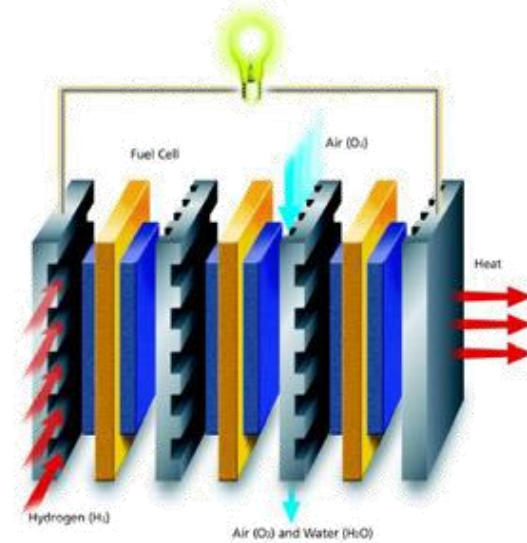
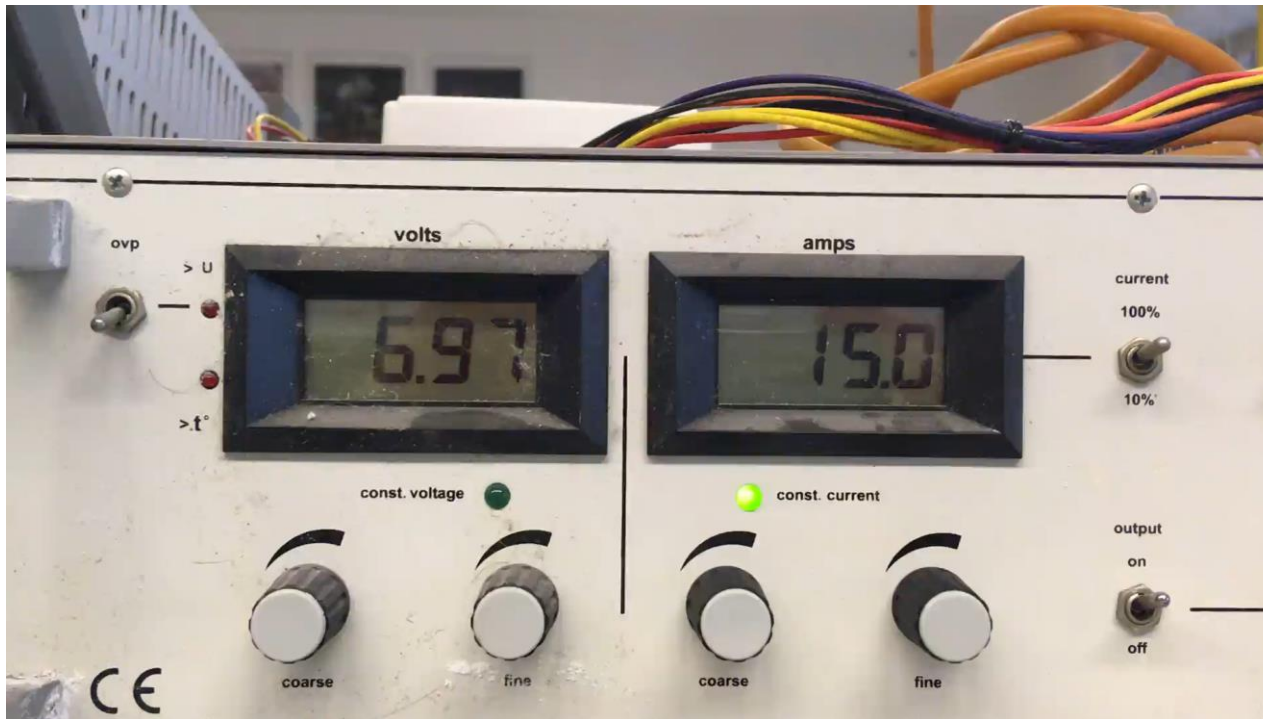
CV Řež



MEA fabricated by ITN energy Systems

# Principy elektrolýzy vody

## Svazek a aspekty jeho použití



© h-tec GmbH

## Elektrolýza vody

Nejvhodnější technologie pro konverzi (zelené) energie

přímá konverze v jednom technologickém kroku

voda jako vstupní surovina

vyšoká čistota produktu

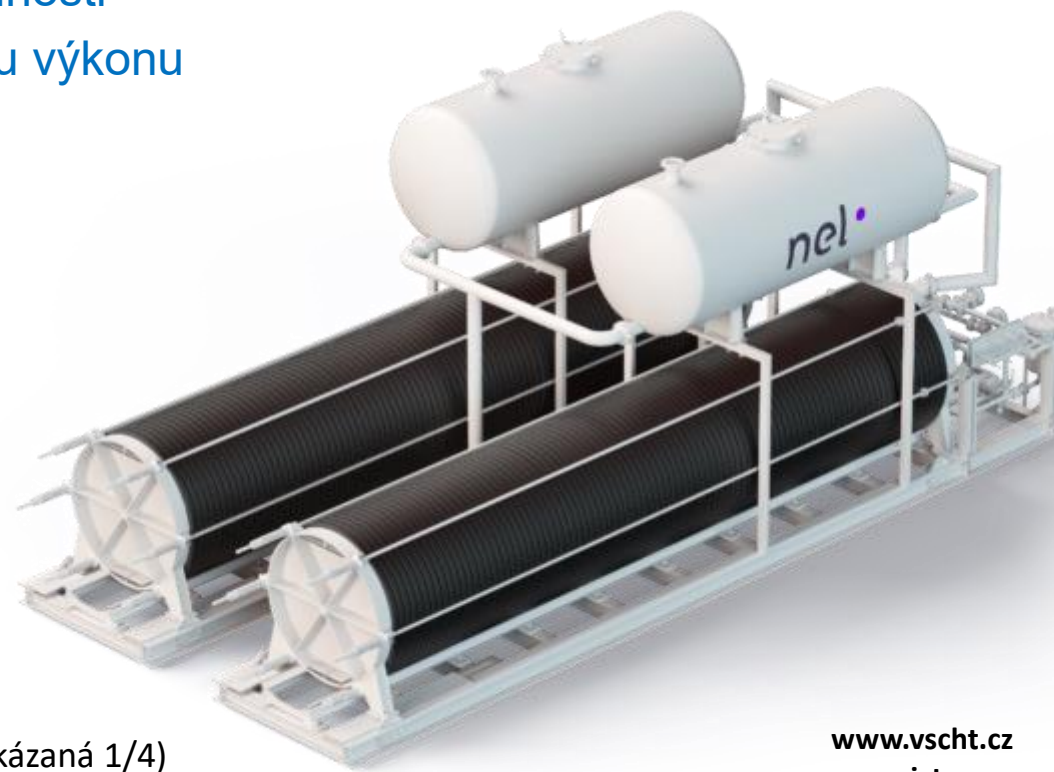


IHT, Lurgi, 3 MPa, capacity 760 Nm<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, 5 MW

## Alkalická elektrolýza s kapalným elektrolytem

### Tradiční ověřená technologie

výzkum zaměřen na adaptaci pro obnovitelné zdroje  
zvýšení flexibility and účinnosti  
odolnost vůči nestabilnímu výkonu  
separátor a elektrody  
automatizace



NEL; 3.880 Nm<sup>3</sup>/h; 4,5 MW; 20 MPa (ukázaná 1/4)

[www.vscht.cz](http://www.vscht.cz)  
[www.ict-prague.eu](http://www.ict-prague.eu)



## Kyselá elektrolýza s polymerní membránou

Vnímána jako moderní, vysoce progresivní technologie

výzkum zaměřen na „scale-up“  
vysoká flexibilita a hustota energie  
materiálové nároky  
automatizace



SIEMENS; 225 Nm<sup>3</sup>/h; 1,25 MW; 3 MPa

## Vysokoteplotní elektrolýza s keramickou membránou

Vysoce účinná technologie s širším spektrem možností

výzkum zaměřen na stabilní materiály a konstrukci

vysoká flexibilita a hustota energie

vysoká účinnost

možnost tzv. koelektrolýzy



SUNFIRE; 200 Nm<sup>3</sup>/h; 750 kW; 0,1 MPa

[www.vscht.cz](http://www.vscht.cz)  
[www.ict-prague.eu](http://www.ict-prague.eu)

## Jsou tyto technologie využívány v praxi?

### Tři základní případy

#### dlouhodobě využívány

- alkalická elektrolýza vody s kapalným elektrolytem
- vodík jako chemická surovina (amoniak)
- lokality s přebytkem elektrické energie
- podíl na kapacitě menší než 1 %

#### demonstrační fáze

- nová generace alkalického procesu a procesu s protonově selektivní membránou
- ověření provozu za průmyslových podmínek a v průmyslovém měřítku
- sběr nezbytných provozních dat a zkušeností

#### vývojová fáze

- zejména vysokoteplotní procesy

## Vybrané demonstrační projekty EU

### AUDI e-GAS

demonstrace technologie P2G

6,3 MW alkalický elektrolyzér

vyrobený vodík použit k metanizaci CO<sub>2</sub>

Audi, E-ON, ThyssenKrupp, ...

Werlte, Německo, 2013

**ETOGAS**  
smart energy conversion



<https://www.greencarcongress.com/2013/06/audi-20130625.html>

[www.vscht.cz](http://www.vscht.cz)  
[www.ict-prague.eu](http://www.ict-prague.eu)

## Vybrané demonstrační projekty EU

### Energiepark Mainz

pilotní testovací jednotka

6 MW PEM elektrolyzér

vývoj a ověření funkce nových technologií

SIEMENS, Linde

Mainz, Německo, 2015

**ENERGIE  
PARK MAINZ**

<https://www.energiepark-mainz.de/>



## Vybrané demonstrační projekty EU

### BigHit

system generace a využití obnovitelné energie

1 + 0,5 MW PEM elektrolyzéry

ostrovní systém založený na obnovitelné energii

komplexní řešení ukládání a využití energie

Orkneyské ostrovy, UK, 2017

**BIGHIT**

<https://www.bighit.eu/>



[www.vscht.cz](http://www.vscht.cz)  
[www.ict-prague.eu](http://www.ict-prague.eu)

## Vybrané demonstrační projekty

### Projekty financované mimo EU

#### Fukushima Hydrogen Energy Research Field

10 MW elektrolyzér  
ověření využití v dopravě energetice, ...  
Fukushima (Japonsko), 2018



[https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020\\_0307.htm](https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020_0307.htm)

#### Foshan City

6 MW PEM elektrolyzér  
vodík pro plnicí stanice  
Čína, 2018



[http://en.foshannews.net/ec/mf/201912/t20191203\\_6324843.html](http://en.foshannews.net/ec/mf/201912/t20191203_6324843.html)

#### řada dalších

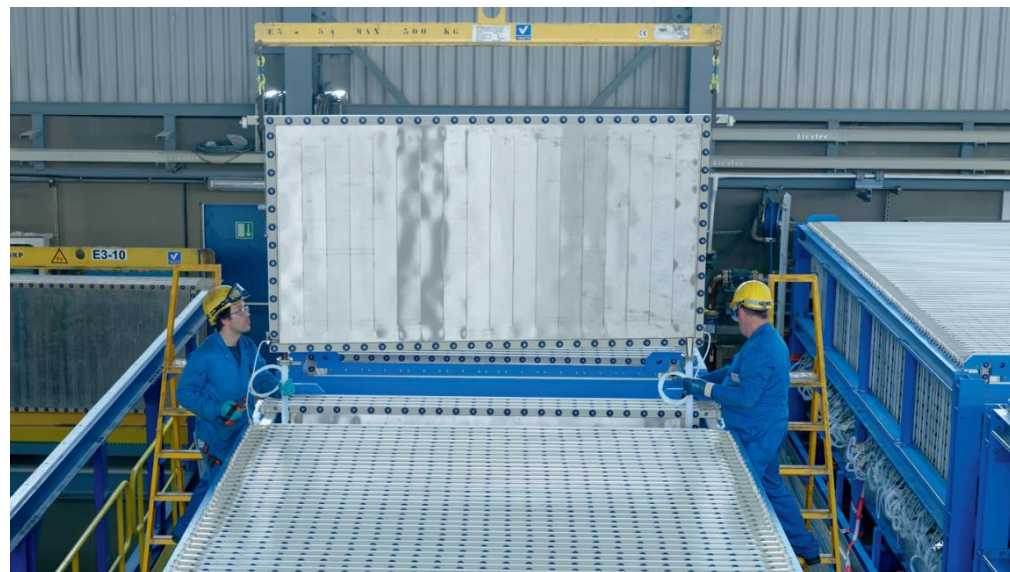
GreenHydroChem (DE, 100 MW)  
Centurion (UK, 100 MW)  
Olympijské hry v Tokiu, ...

## Nejvýznamnější dodavatelé elektrolyzérů

### Rozdělení podle typu technologie

#### Alkalická elektrolýza

NEL	(NO)
IHT	(CH)
McPhy	(FR)
Hydrogenics	(CA)
NextHydrogen	(CA)
PERIC	(CN)
THE	(CN)
ThyssenKrupp	(DE)
Uralhimmash	(RU)



<https://www.chemengonline.com/green-hydrogen-thyssenkrupp-expands-production-capacities-for-water-electrolysis-to-gigawatt-scale/>



# Nejvýznamnější dodavatelé elektrolyzérů

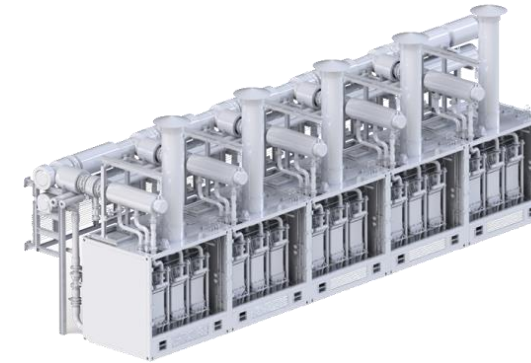
## Rozdělení podle typu technologie

### PEM elektrolýza

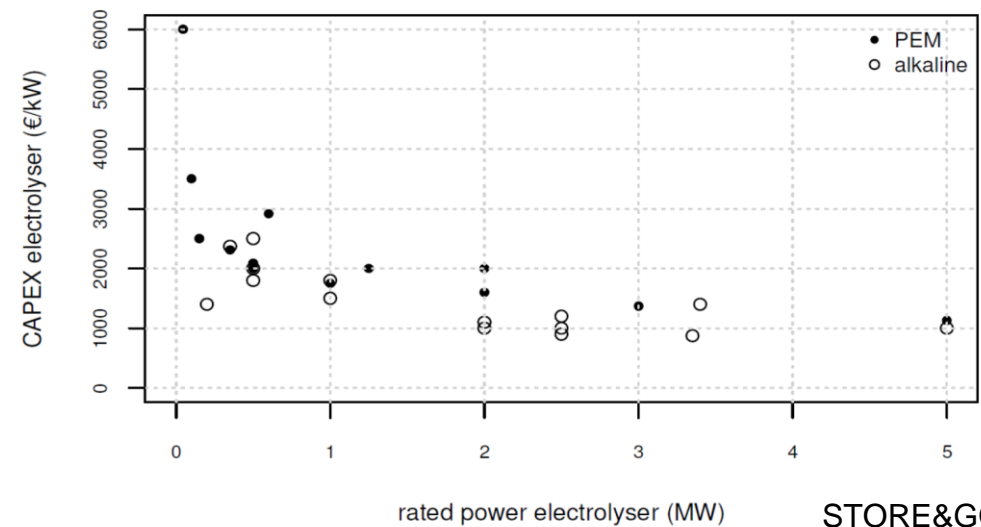
NEL	(NO)
Siemens	(DE)
ITM Power	(UK)
Hydrogenics	(CA)
PERIC	(CN)

### SOEC

Sunfire	(DE)
---------	------



ITM Power, HGasXMW



## Závěry

### vodíkové technologie

silný tlak na rozšíření ze špičkových aplikací do běžného života  
motivace dána možností přímého propojení s obnovitelnými zdroji energie  
široké potenciální uplatnění

### směry rozvoje jednotlivých technologií

dány zejména snahou o snížení investičních nákladů a zvýšení životnosti  
atraktivní alternativu představuje rovněž cesta efektivní recyklace  
probíhající demonstrační aktivity představují významný krok k široké aplikaci  
některé technologie se již dočkaly omezeného komerčního nasazení

v nejbližším období lze očekávat prudký rozvoj zejména demonstračních aktivit  
(2 x 40 GW do 2030)

výchova odborníků dosud zaostává za plány implementace vlastní technologie

Děkuji za pozornost!



Karel.Bouzek@vscht.cz



**Okresní hospodářská  
komora**  
v Chomutově



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



# Bezpečnost práce a nakládání s vodíkem

Martin Paidar, Karel Bouzek

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze



VYSOKÁ ŠKOLA  
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ  
V PRAZE

„Tato akce byla realizována s dotací ze státního rozpočtu v rámci Státního programu na podporu úspor energie na období 2017 – 2021  
Program EFEKT 2 na rok 2021“

# Vodík

- nejlehčí a nejmenší prvek
- bezbarvý
- bez chuti
- bez zápachu
  
- hoří se vzduchem bezbarvým plamenem
- teplota samovznícení nad 580 °C
  
- vodík jako bezuhlíkaté palivo / redukční činidlo je jednou z alternativ současných procesů. I jako nástroj akumulace energie



<https://h2world.store/products/realh2>

# Paliva - srovnání

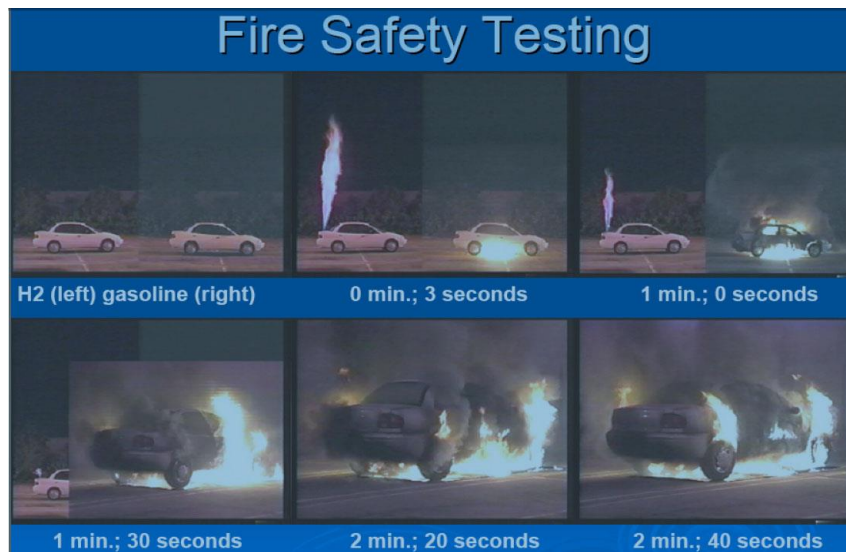
Vlastnost\ látka	Vodík H <sub>2</sub>	Metan CH <sub>4</sub>	Benzín
Bod varu (při 1bar) (°C)	-253	-162	37 – 205
Skupenství 25°C, 1bar	plyn	plyn	kapalina
Výhřevnost LHV (kJ g <sup>-1</sup> )	120	50	44,5
Spalné teplo HHV (kJ g <sup>-1</sup> )	142	55,5	48
Meze hoření (obj. % se vzduchem)	<b>4,0 – 75</b>	<b>5,3 – 15</b>	<b>1,0 – 7,6</b>
Mr (g mol <sup>-1</sup> )	2,02	16,0	~107
Teplota palmene na vzduchu (°C)	2045	1875	2200
minimální iniciační energie (mJ)	0,02	0,29	0,24
hustota (g L <sup>-1</sup> )	0,089	0,676	~700

Vodík je veřejností vnímán, jako vysoce nebezpečný plyn, se kterým je velmi obtížné manipulovat.

Ve srovnání s jinými plyny není výrazně více nebezpečný.



Hindenburg 1937



Z 97 osob na palubě při této katastrofě zahynulo 13 pasažérů a 22 členů posádky, navíc zemřel jeden člen pozemního personálu. Celkem si katastrofa vyžádala 36 životů.

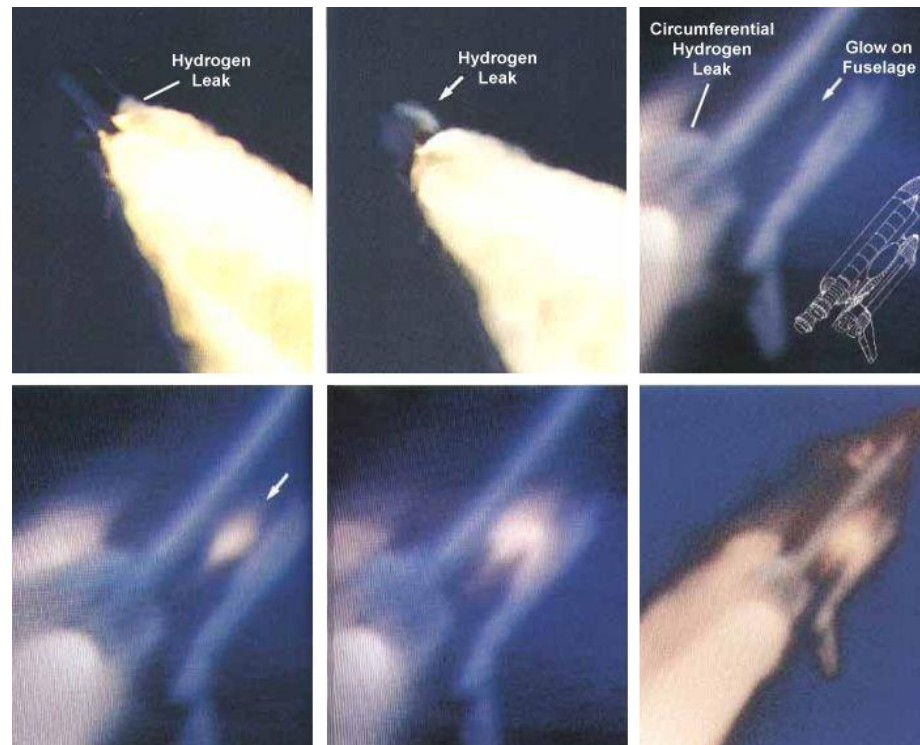
Wikipedie

CO zaujímá první místo mezi náhodnými otravami v Evropě i Severní Americe. Jen v USA je každoročně 30 000–56 000 osob ošetřeno, 600–1000 osob zemře na náhodnou a 3000–6000 na úmyslnou otravu.

Wikipedie

28. Leden 1986  
Raketoplán Challenger (7 obětí)

Vadné těsnění způsobilo únik vodíku s následným rozlomením nosných raket. Masivní expanze kapalného vodíkového paliva vedla k výbuchu. Klasický případ podcenění bezpečnosti.





# Manipulace a zacházení s H<sub>2</sub>

Díky specifickým vlastnostem je nutné při práci s vodíkem zohlednit nejen bezpečnostní aspekty, ale i dodržet postupy tak, aby prováděná činnost vedla k požadovanému výsledku.

Prevence havárií / úrazů /  
nouzového odstavení

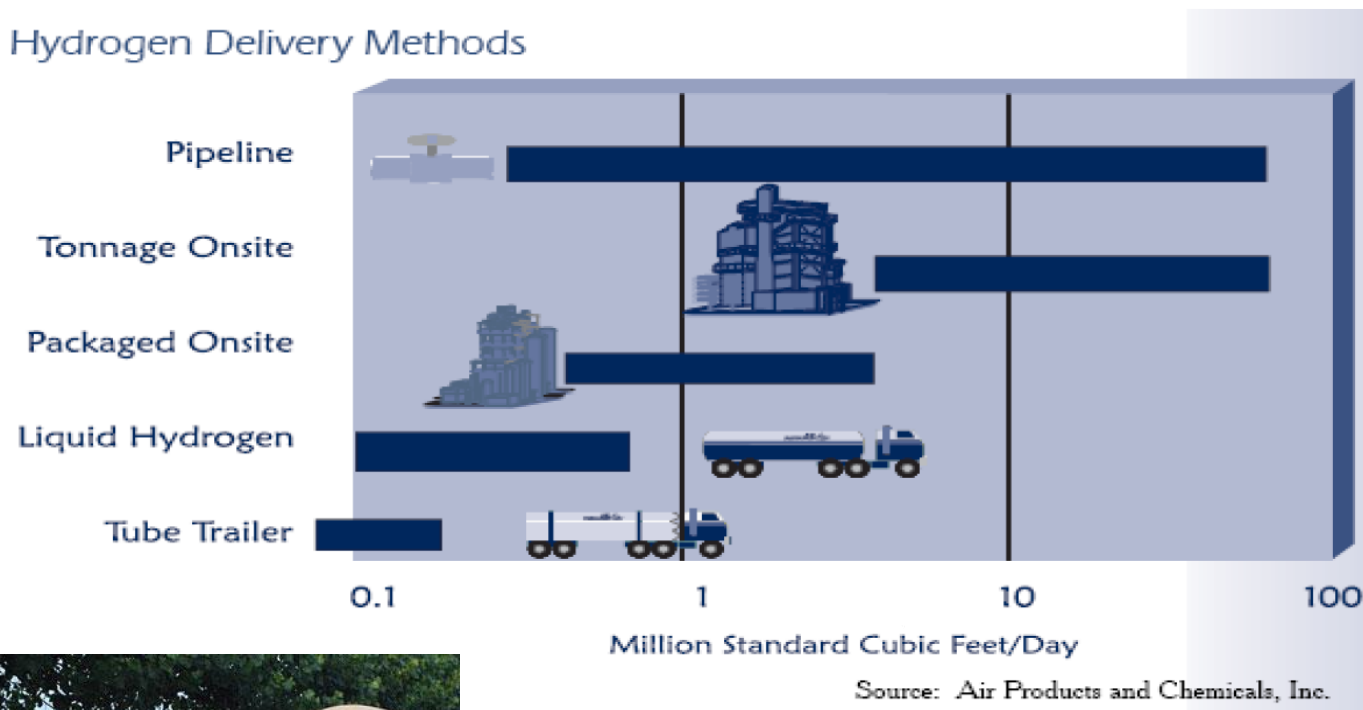
Eliminace úniků/ztráty H<sub>2</sub>

Prevence poškození majetku



## Transport H<sub>2</sub> z místa produkce na místo spotřeby - dle objemu a dle vzdálenosti

Hydrogen Delivery Methods



## Forma skladování H<sub>2</sub> - dle požadované kapacity, plánu spotřeby a bezp. požadavků

Stlačený plyn -

tlakové lahve/svazky nejčastější forma provozní tlaky 150-200 bar  
velkoobjemové zásobníky 30-200 bar  
pro dopravu 350 / 700 bar

Kapalný H<sub>2</sub>

kryogenní zásobníky  
( do 5 bar a cca -250°C)

Chemické sloučeniny

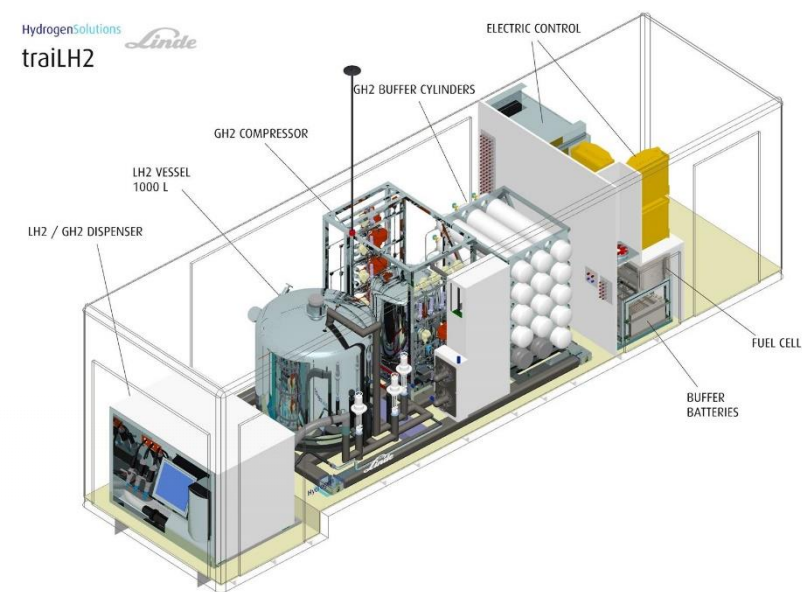
sorbované ve formě hydridů

LOHC

bohohydrid

amoniak

.....



Linde



# Rizika použití H<sub>2</sub>

- **Tvorba výbušného prostředí** - lehčí než vzduch – stoupá může se akumulovat u stropu  
- snadná iniciace (osvětlení)
- **Permeace** - snadno proniká materiály (polymery)
- **Reakce s materiály** - tvorba hydridů (např titan)  
- vodíkové křehnutí oceli
- **Zahoření** - neviditelný plamen  
- Joule–Thomsonův jev (inverzní teplota H<sub>2</sub> - 80°C)
- **Výbuch** - v uzavřeném prostoru  
- snadná iniciace
- **Omrzliny** - armatury s kryogenním vodíkem

# Detekce H<sub>2</sub>

**Mýdlová voda** - univerzální detekce úniku plynu

## Přenosné detektory

- pracují na principu katalytického spalování (detekuje i CH<sub>4</sub>)
- nízké koncentrace do 5% (vyšší koncentrace jej může poškodit)

## Statické detektory/alarmy

- stejný princip jako přenosné
- často napojené na centrální STOP

## Analyzátory

- pro přesné stanovení koncentrace
- pokročilá analytika např. GC

**Vizuální kontrola** - bublačky, větrníky, rotametry



# Závěr

- H<sub>2</sub> vzbuzuje spíše emoce než racionální přístup
- má specifické vlastnosti, které je nutné respektovat
- při dodržení základních pravidel je manipulace s H<sub>2</sub> snadná a bezpečná (bez roušek, štítů apod.)
- i v případě většího úniku je dobré nepanikařit a vyvětrat



Siemens Mireo-H s vodíkovým pohonem. Zdroj: Siemens

# Emisní / bezemisní Vodík výroba + definice



Ústav anorganické technologie,  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze  
Technická 5  
166 28, Praha 6

## Emisní stopa vodíku

- Pro dekarbonizaci je klíčové snížení emisní stopy tj. zohlednění způsobu výroby vodíku
- Taxonomie vodíku
  - obnovitelný/dekarbonizovaný/fosilní vodík
  - bezemisní/nízkoemisní/fosilní vodík
  - barevné označení

**zelený H<sub>2</sub>**  
H<sub>2</sub> = 0 g CO<sub>2</sub>/MJ  
bezemisní  
pro výrobu využity výhradně  
obnovitelné zdroje  
(primárně sluneční a větrné)



**modrý H<sub>2</sub>**  
H<sub>2</sub> < 36,4 g CO<sub>2</sub>/MJ  
nízko-emisní  
pro výrobu využity zemní  
plyn (včetně CCS) nebo jádro

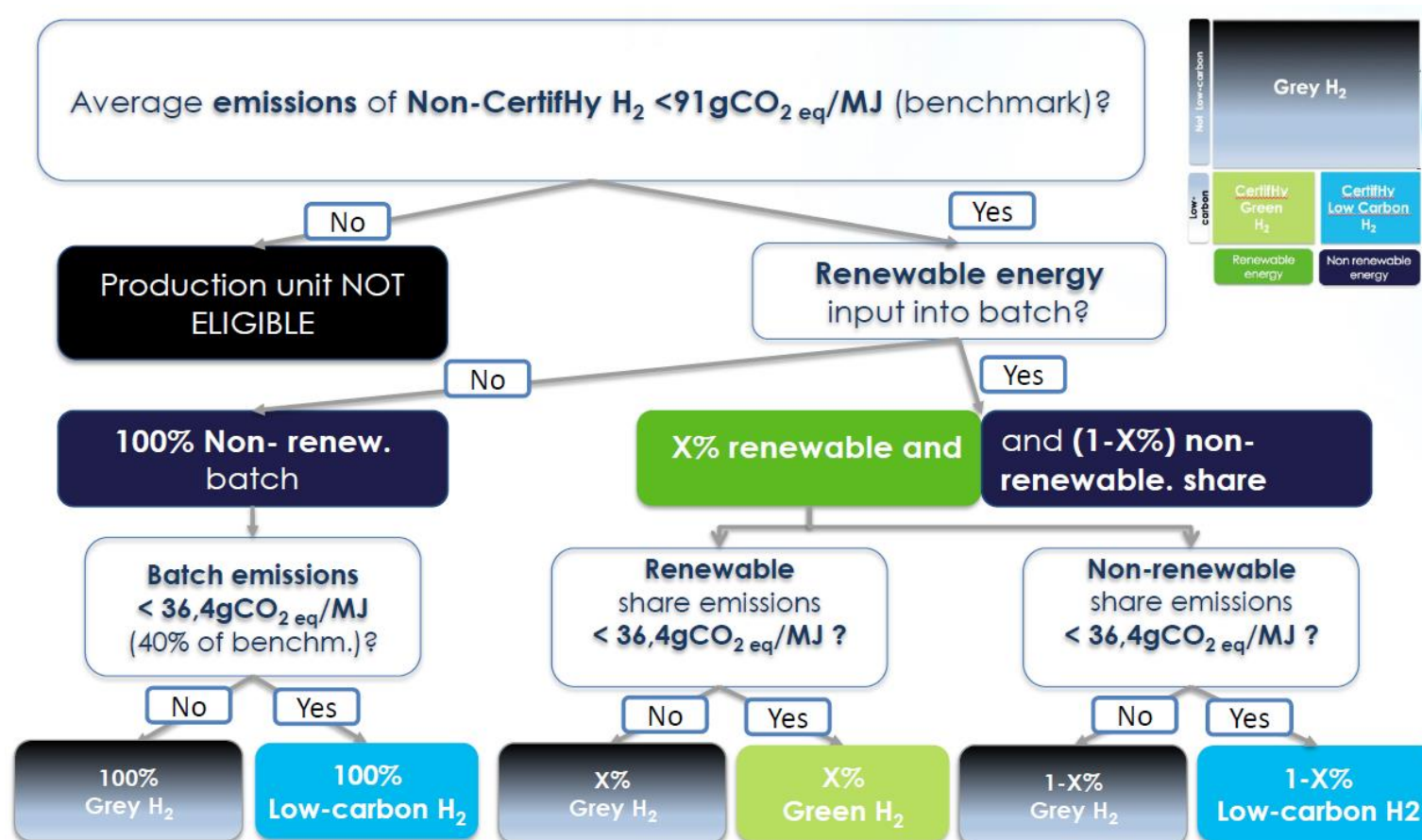


**šedý H<sub>2</sub>**  
H<sub>2</sub> > 36,4 g CO<sub>2</sub>/MJ  
fosilní  
pro výrobu využita fosilní  
paliva (bez CCS)





- závisí na vstupech do výroby
- CertifHy metodika

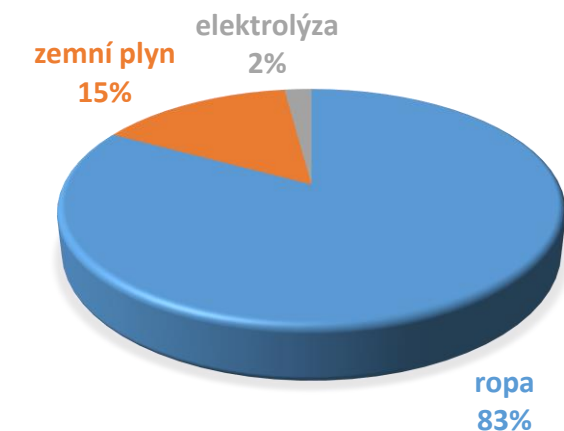


H<sub>2</sub> je doposud využíván pouze v chemickém průmyslu - petrochemie  
- amoniak

Současní výrobci jsou zpravidla i spotřebitelé

V ČR je v současnosti pouze šedý vodík tj. emisně zatížený

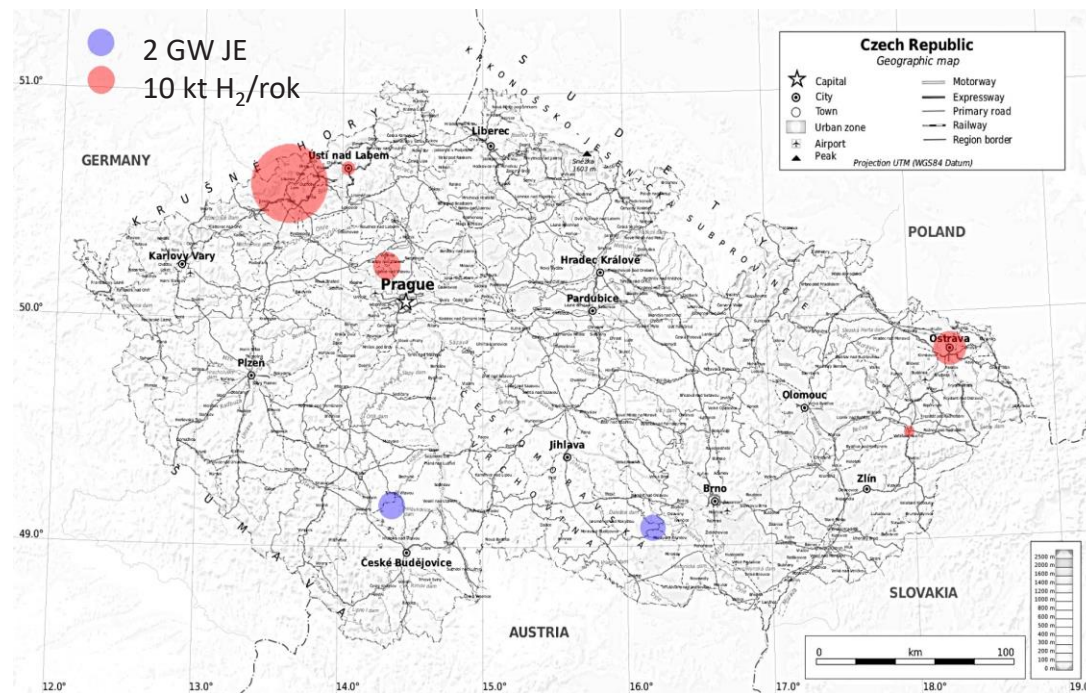
jednotka	t/rok	technologie
Unipetrol Litvínov POX	55000	POX
Unipetrol Litvínov EJ	7000	EJ
Unipetrol Litvínov Reforming	12000	Kont. Reforming benzínu
Unipetrol Kralupy	7000	Semikont. Reforming benzínu
Synthos Kralupy	2500	Dehydrogenace Ethylbenzenu
BC-MCHZ Ostrava	13650	Parní reforming ZP
DEZA Valašské Meziříčí	1400	Parní reforming ZP
Spolchemie Ústí n. Labem	2100	Elektrolýza Na/K Cl



Zřejmá budoucí poptávka po H<sub>2</sub> pro dopravu

Využití H<sub>2</sub> v ostatních sektorech zatím nejasné - chybí poptávka

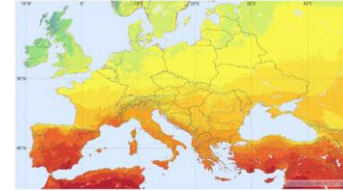
- Výroby jsou lokalizovány v regionech s chemickým průmyslem - H<sub>2</sub> jako meziprodukt pro další zpracování
- dostatečné kapacity (přebytky) pro rozjezd vodíkových aplikací (mobilita)
- omezený potenciál pro „ozelenění“



Geographic map of Czech Republic, (Wikimedia Commons user: Ikonact)

# Potenciál H<sub>2</sub> v transformaci ČR

- Klimatické podmínky ČR nemohou konkurovat offshore větrným na severu a PV elektrárnám na jihu Evropy ev. Ukrajině



Green Hydrogen Initiative  
2x40 GW in 2030

- ČR má rozvinutý průmysl, který bude potřebovat dostupnou energii v souladu s GreenDeal i ve formě H<sub>2</sub>.
- Vedle výroby v rámci ČR bude významný i import

## H<sub>2</sub> v ČR

**současné zdroje** - emise CO<sub>2</sub> ??

**elektrolýza** (PV+JE, přetoky) → nízkoemisní/bezemisní H<sub>2</sub>

**pyrolýza org. odpadu**

**import** → součást NG / čistý

CCS/U → močovina, bio procesy,??

**chemický průmysl**

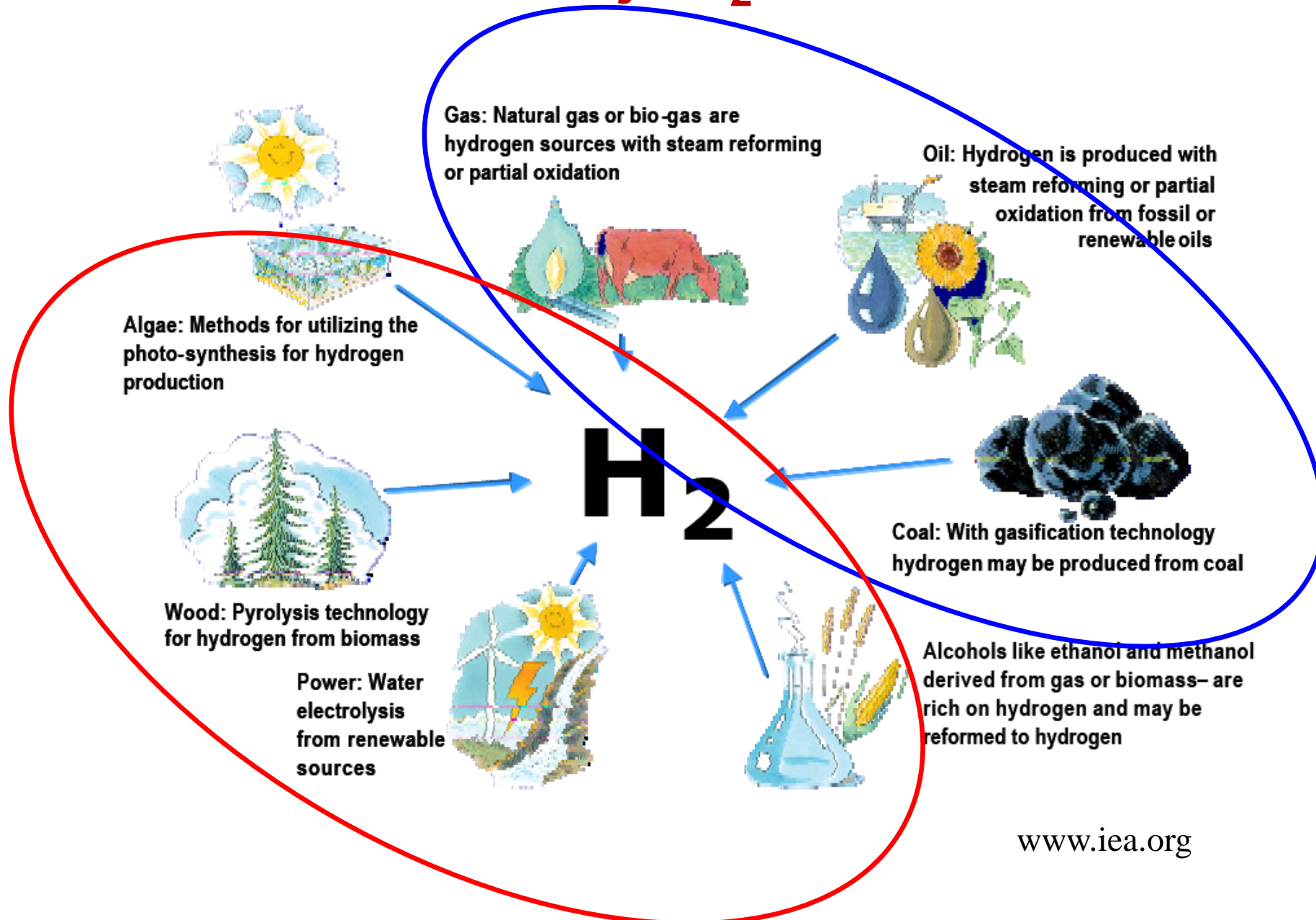
**mobilita**

**bioplyn + H<sub>2</sub> → biometan**

lokální akumulace energie P2G + G2P (ostrovní systémy)

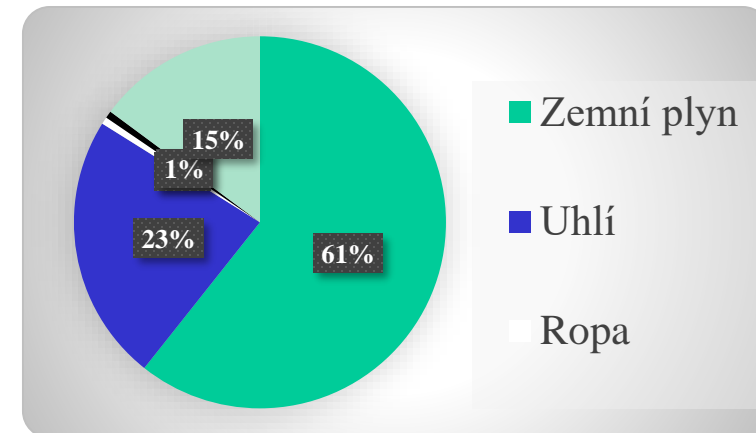
kogenerace FC-CHP (NG+ H<sub>2</sub>)

# Zdroje H<sub>2</sub>

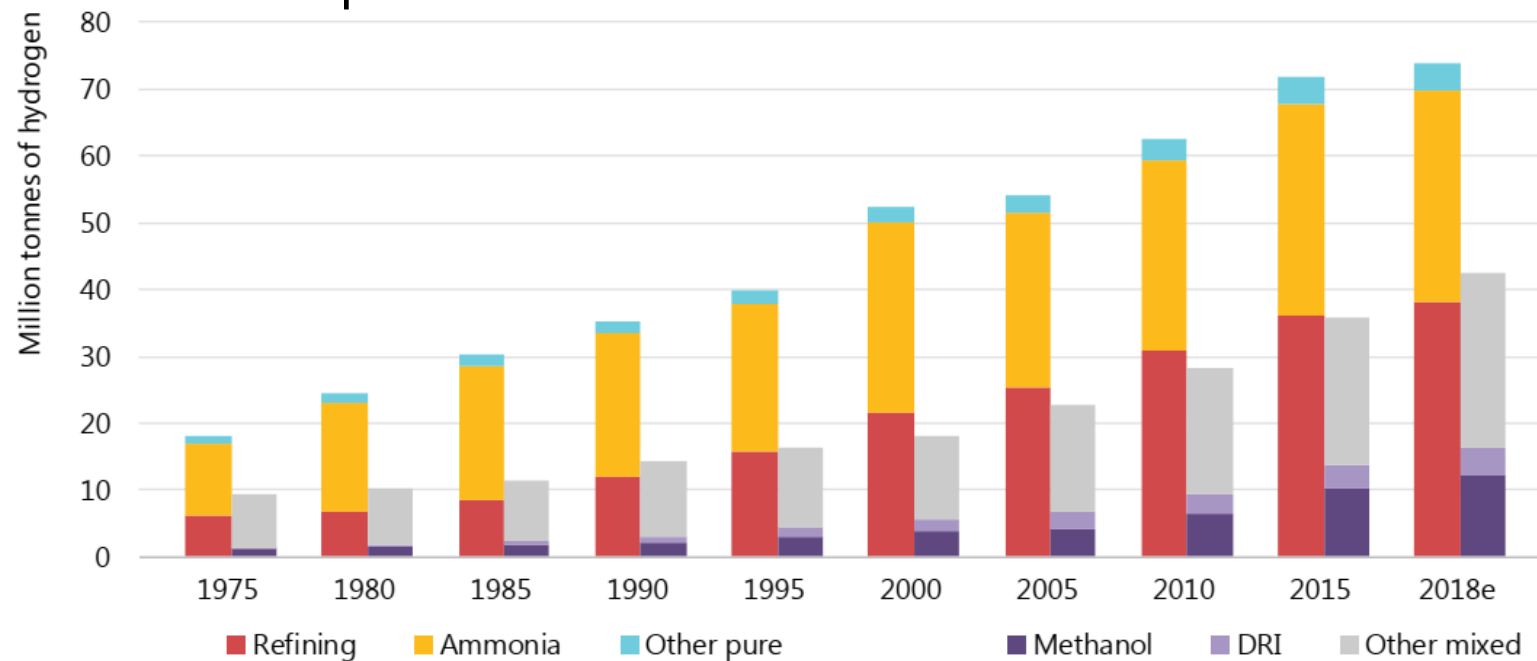


## Technologie výroby H<sub>2</sub>:

parní reforming,  
zplynování uhlí,  
parciální oxidace,  
elektrolytické procesy



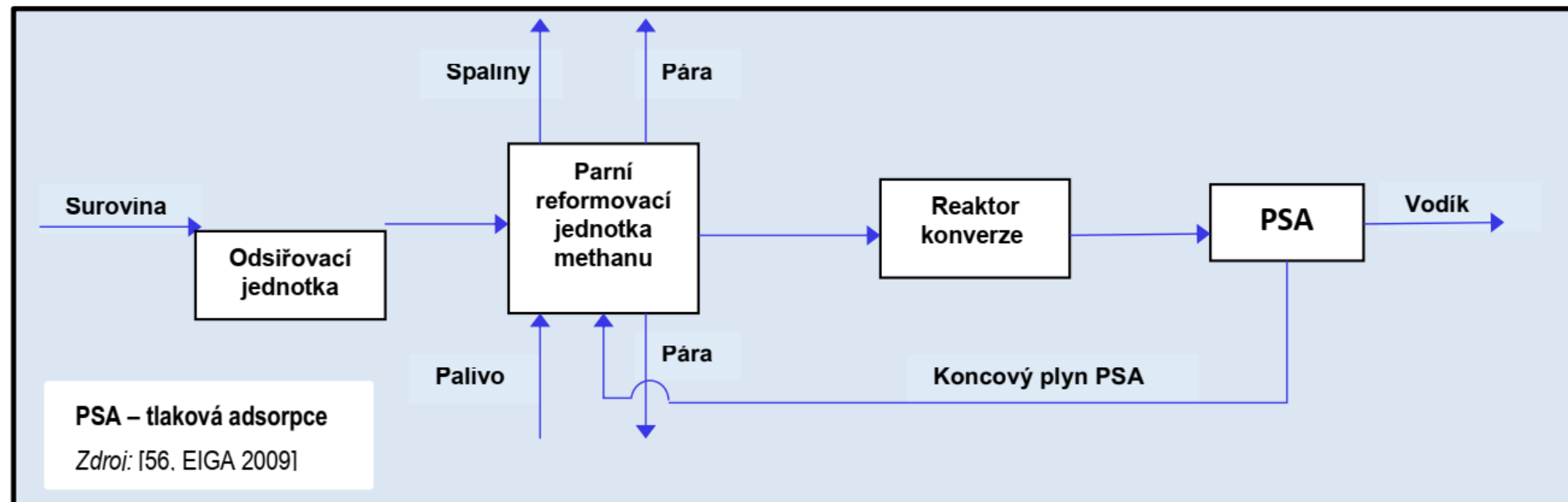
## Světová spotřeba vodíku



technologie vhodná pro lehké uhlovodíky bez větších obsahů nežádoucích nečistot

- 1. krok 800°C, katalyzátor:  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$
- 2. druhý krok 300°C, katalyzátor:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$

separace CO<sub>2</sub> od H<sub>2</sub>



Separace  $CO_2$

- Fyzikálně:

  - PSA

  - absorpce v metanolu

  - PURIZOL - N-metylpyrolidon

- Chemicky:

  - reakce s uhličitánem draselným

  - reakce s monoethanolaminem





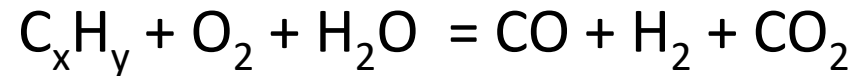
- lokální produkce pomocí parního reformingu z bio- metanu (bioplynu) nebo zemního plynu



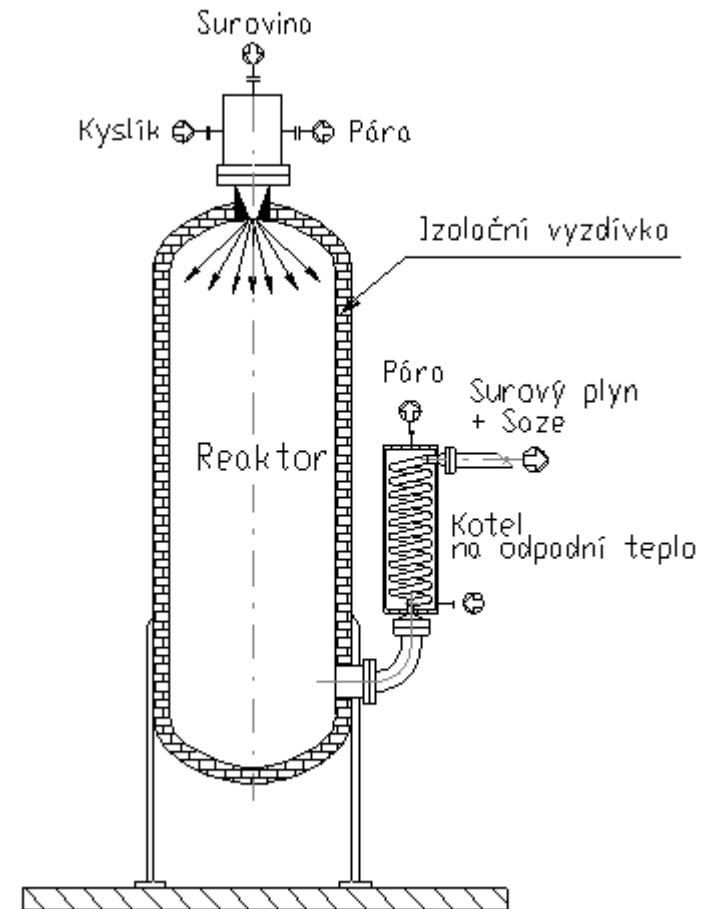
- Momentálně bioplynové stanice – kogenerační jednotky spalující bioplyn za výroby tepla a elektrické energie
- Možná konverze CNG čerpacích stanic

# Parciální oxidace POX

- zpracování odpadních ropných frakcí



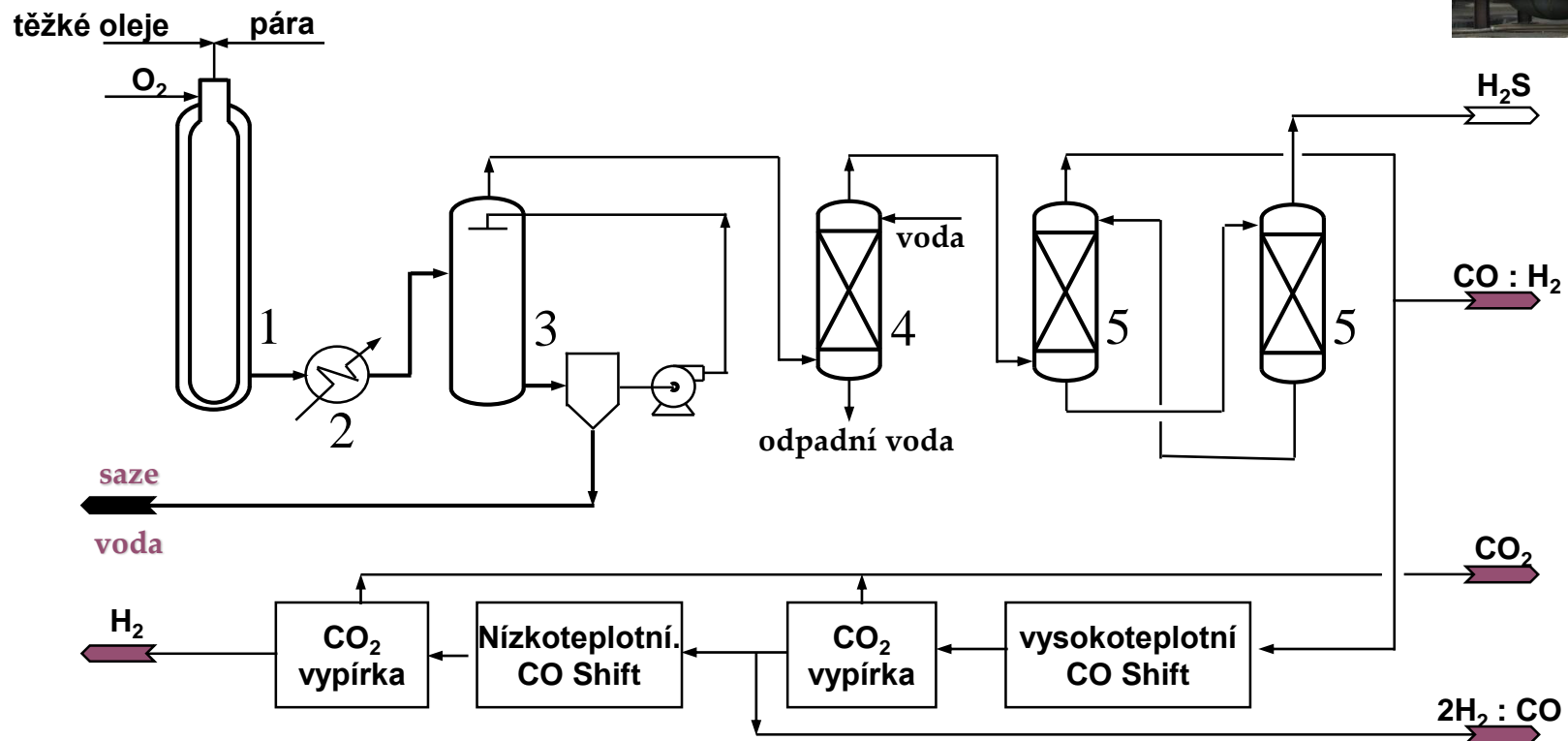
- největší produkce  $H_2$  v ČR 55 kt/rok
- využití suroviny, která by jinak byla spalována
- vysoce tolerantní technologie ke kvalitě suroviny
- nelze zařadit jako nízkoemisní  $H_2$
- nahrazení suroviny organickým odpadem např. UCO - nízkoemisní vodík



technologie vhodná pro těžké oleje (ropné frakce)

- 1. krok 1600°C:  $C_nH_m + n/2 O_2 = n CO + m/2 H_2$   
 $C_nH_m + n H_2O = n CO + (m/2+n) H_2$
- 2. druhý krok 300°C, katalyzátor:  $CO + H_2O = CO_2 + H_2$

separace CO<sub>2</sub> od H<sub>2</sub>



# Výroba H<sub>2</sub> pyrolýzním rozkladem odpadu

vysokoteplotní rozklad organického materiálu (>1000°C)



separace H<sub>2</sub> od ostatních příměsí (z pyrolýzního plynu)

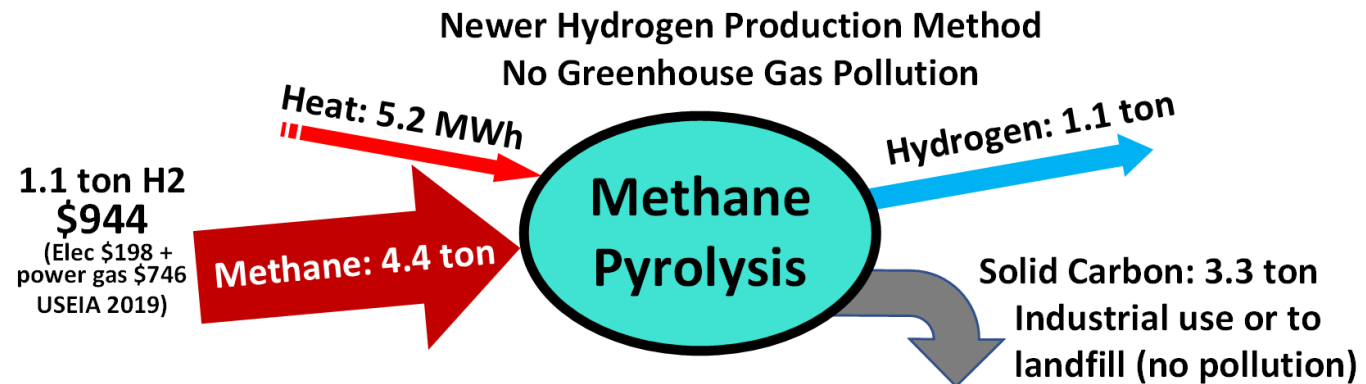
Koksárenský plyn: vodík (až 60 %), methan a oxid uhelnatý (až 10 %)

## Suroviny:

Biologické odpady

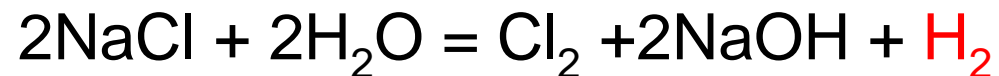
Plasty

Zemní plyn



<https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrolysis>

- chlor - alkalická elektrolýza roztoku NaCl a KCl
- prioritně výroba Cl<sub>2</sub> a NaOH resp. KOH
- nepřetržitý provoz - neřeší změny cen el. energie
- obtížné napojení na OZE



BlueStar NBZ 2.7 - 4 x 5,6 MW roční kapacita cca 3 000 t H<sub>2</sub>/rok

# Možnosti produkce nízkouhlíkového H<sub>2</sub>

- využití nízkouhlíkové elektřiny – jaderné elektrárny + OZE
- bio-suroviny pro konvenční produkci - parní reforming + POX
  - bioplyn resp. biomethan
  - org. odpady oleje, tuky
- pyrolýza / plazmatický rozklad organických odpadů – nutný zdroj tepla (OZE) + řešení nakládání s tuhými produkty uhlík, ale i nebezpečný odpad (podle vstupní suroviny)
- zavedení technologií CCS / CCU (výroba močoviny, methanolu, skladování v podzemních zásobnících)



Okresní hospodářská  
komora  
v Chomutově



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU

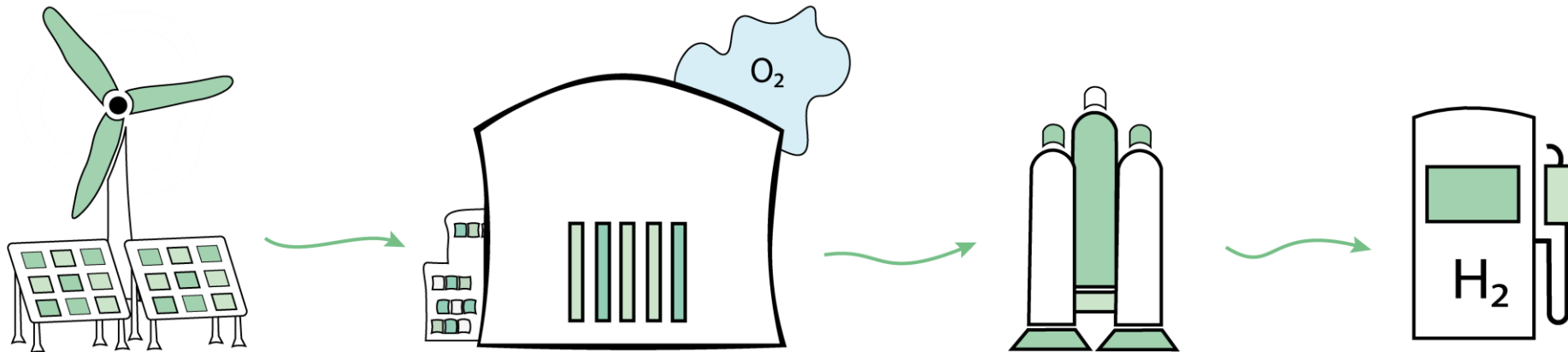
# Cheminvest - úvod

Vladimír Zemánek, MSc.

# CHEMINVEST – kdo jsme

= Projekční, inženýrská a dodavatelská společnost z Litvínova s dlouholetou působností zejména v petrochemickém průmyslu

- Vodíkem se zabýváme již od r. 2014 s důrazem na zelený vodík a integrované projekty
- Jsme partnery strategických projektů **H2 Triangle** a **SYNERGYS**
- Podílíme se na zpracování **Regionální vodíkové strategie Ústeckého kraje**
- Jsme aktivními členy asociací **HYTEP (ČR)** a **Hydrogen Europe (EU)**





# CHEMINVEST – kdo jsme



# Využití vodíku

Ing. Miloš Kadlec

Ing. Petr Kubal

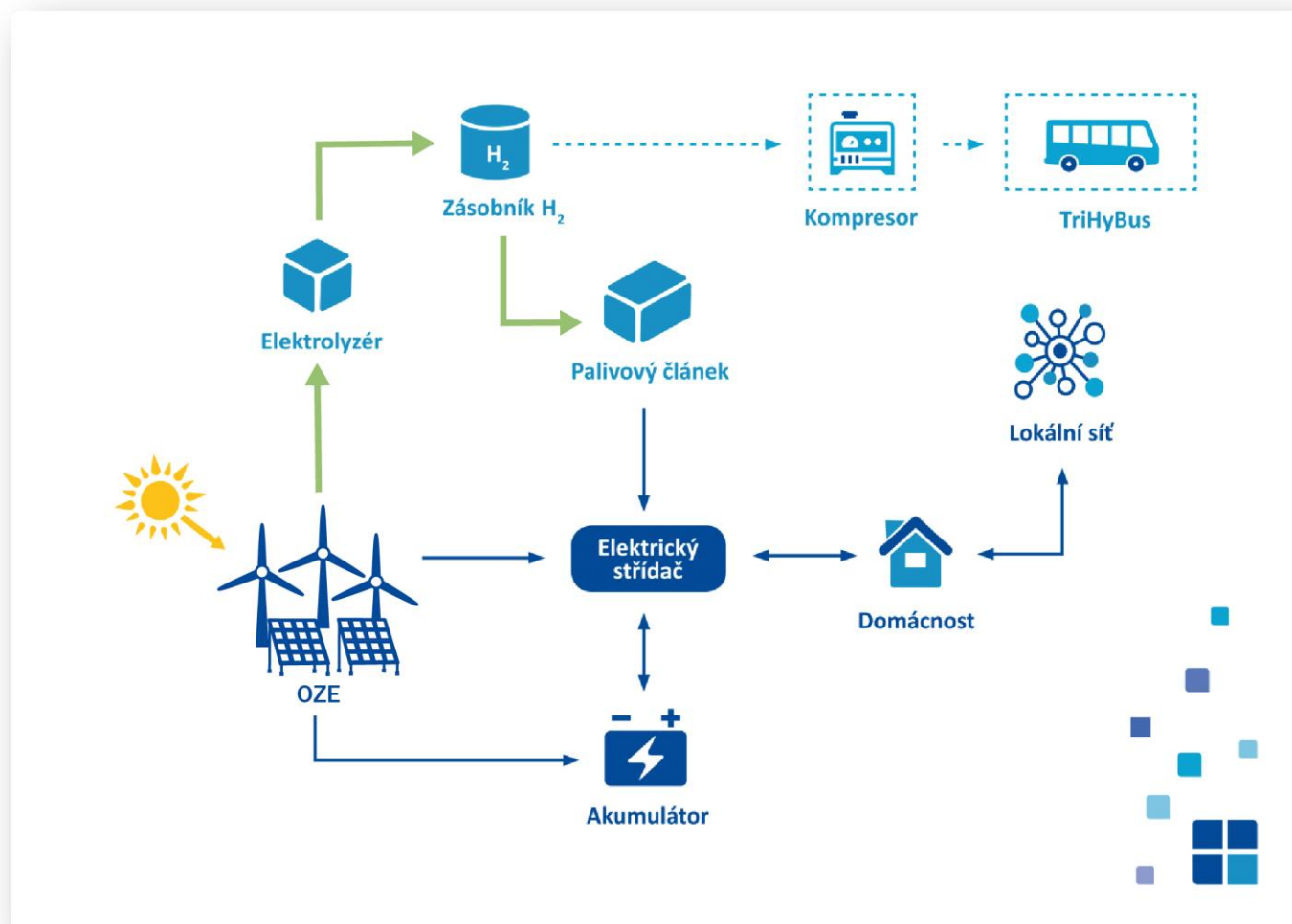
# Obsah prezentace

1. CHEMINVEST – kdo jsme
2. Vodík jako palivo / nosič energie
  - I. Domácnosti
  - II. Doprava
  - III. Průmysl
3. Vodík jako surovina
  - I. Chemický průmysl
  - II. Hutnictví
  - III. Sklářský průmysl
  - IV. Potravinářský průmysl, kosmetika, lékařství

# Vodík jako palivo / nosič energie



# I. Domácnosti



# I. Domácnosti

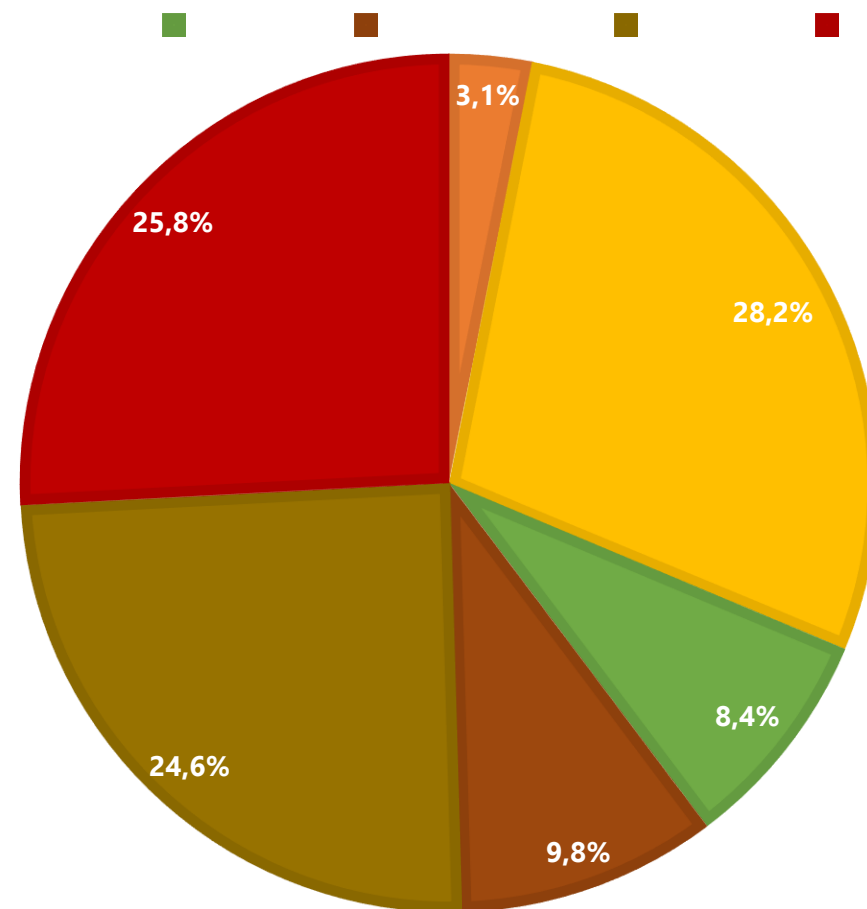
- Nosič energie pro vytápění a ohřev
- Postupná náhrada zemního plynu
  - a) Ve směsi se zemním plynem (2 %, svítiplyn až 50 %)
  - b) Čistý vodík
    - Záloha el. energie
    - Energetické palivo



# II. Doprava

- Doprava = třetí největší znečišťovatel
  - Za výrobou a distribucí energií a domácnostmi
- Negativní vliv na zdraví obyvatelstva
- V ČR až 11 000 předčasných úmrtí ročně vlivem PM 2,5
- Ústecko a Mostecko = nejvíce znečištěné oblasti v ČR

**Vodík = bezemisní alternativa!**



# Vodík pro mobilitu – nic nového

- První palivové články vyvinuty již v roce 1839
  - Britský fyzik Sir William Robert Grove
- 1952 - první prakticky použitelný H<sub>2</sub> článek (5 kW)
  - Anglický vědec Francis Thomas Bacon
- 1959 - prvním vozidlem poháněným H<sub>2</sub> články se stal traktor (15 kW)
  - Traktor Allis Chalmers Comp., USA





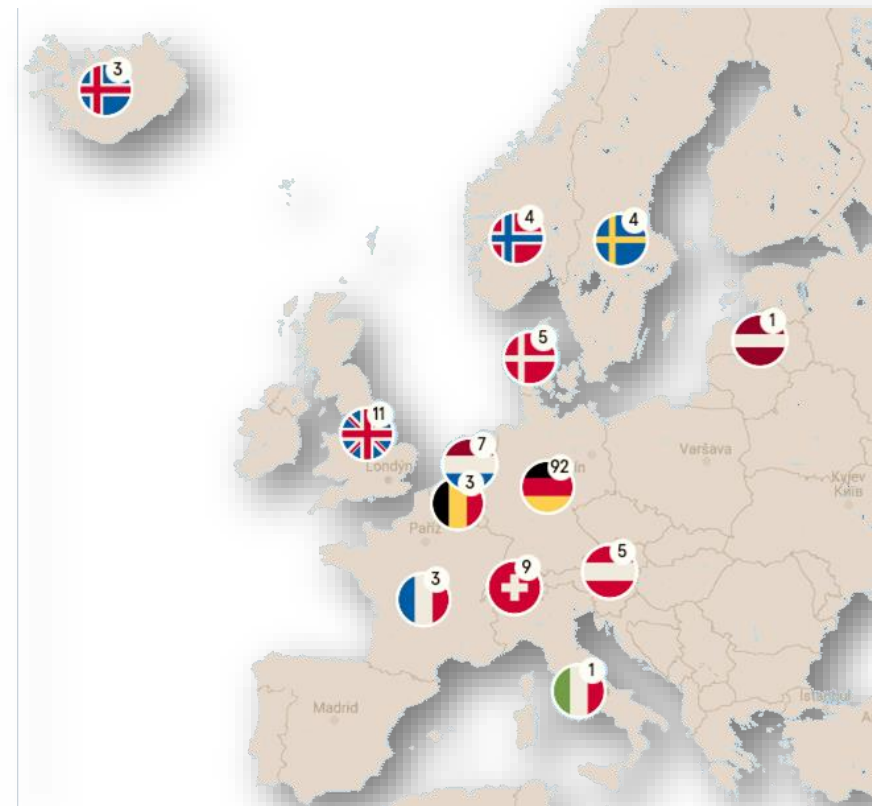
# Vodík jako palivo

- Příklady prvních dopravních prostředků poháněných H<sub>2</sub> palivovými články:
  - První autobus od Mercedes-Benz – Madrid, 2003
  - První ponorka – SRN, 2004
  - První sériově vyráběný osobní automobil Toyota Mirai – Japonsko, 2014
  - První vlak od Alstom - SRN, 2018

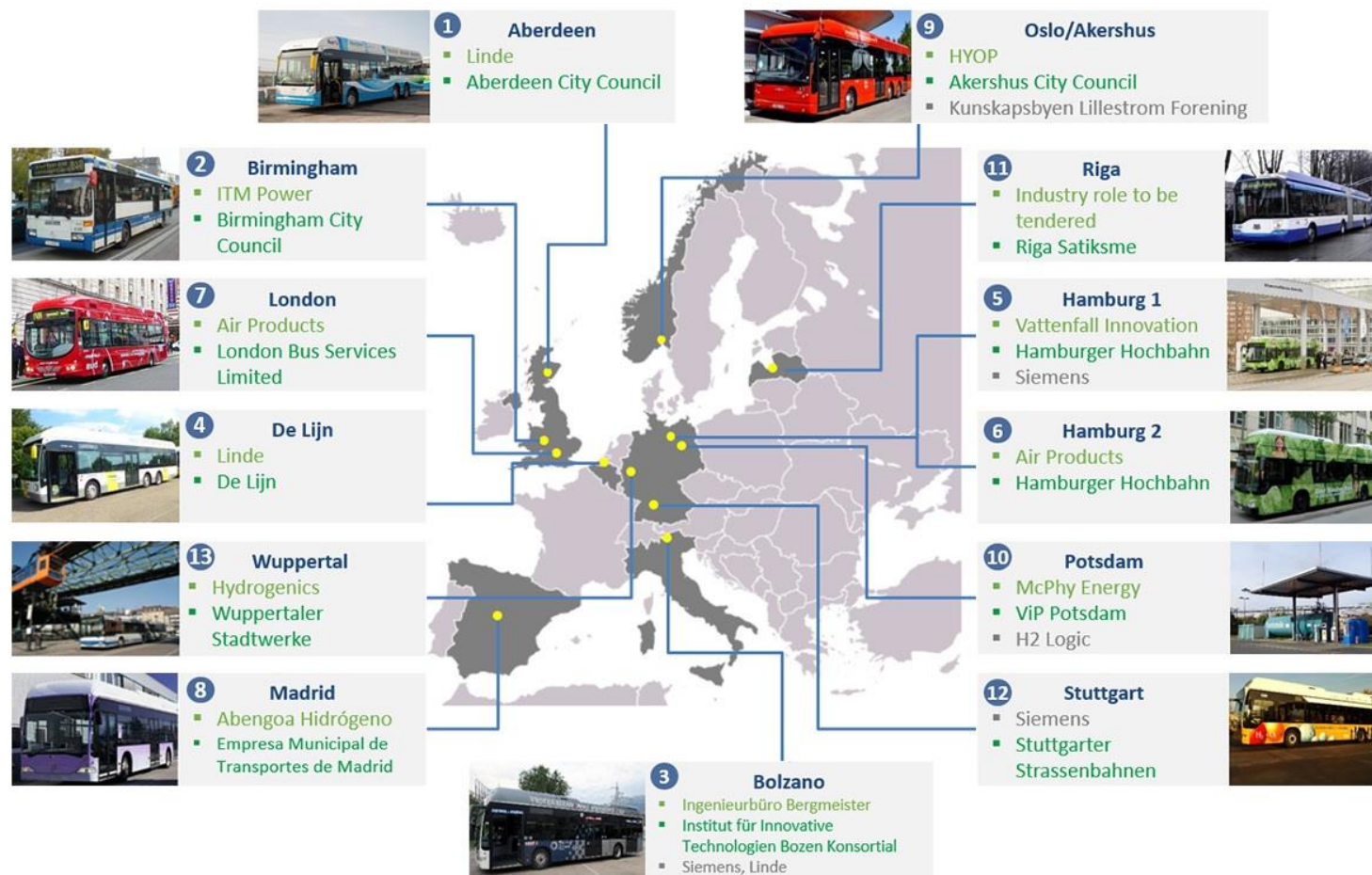


# Vodík pro bezemisní mobilitu v EU

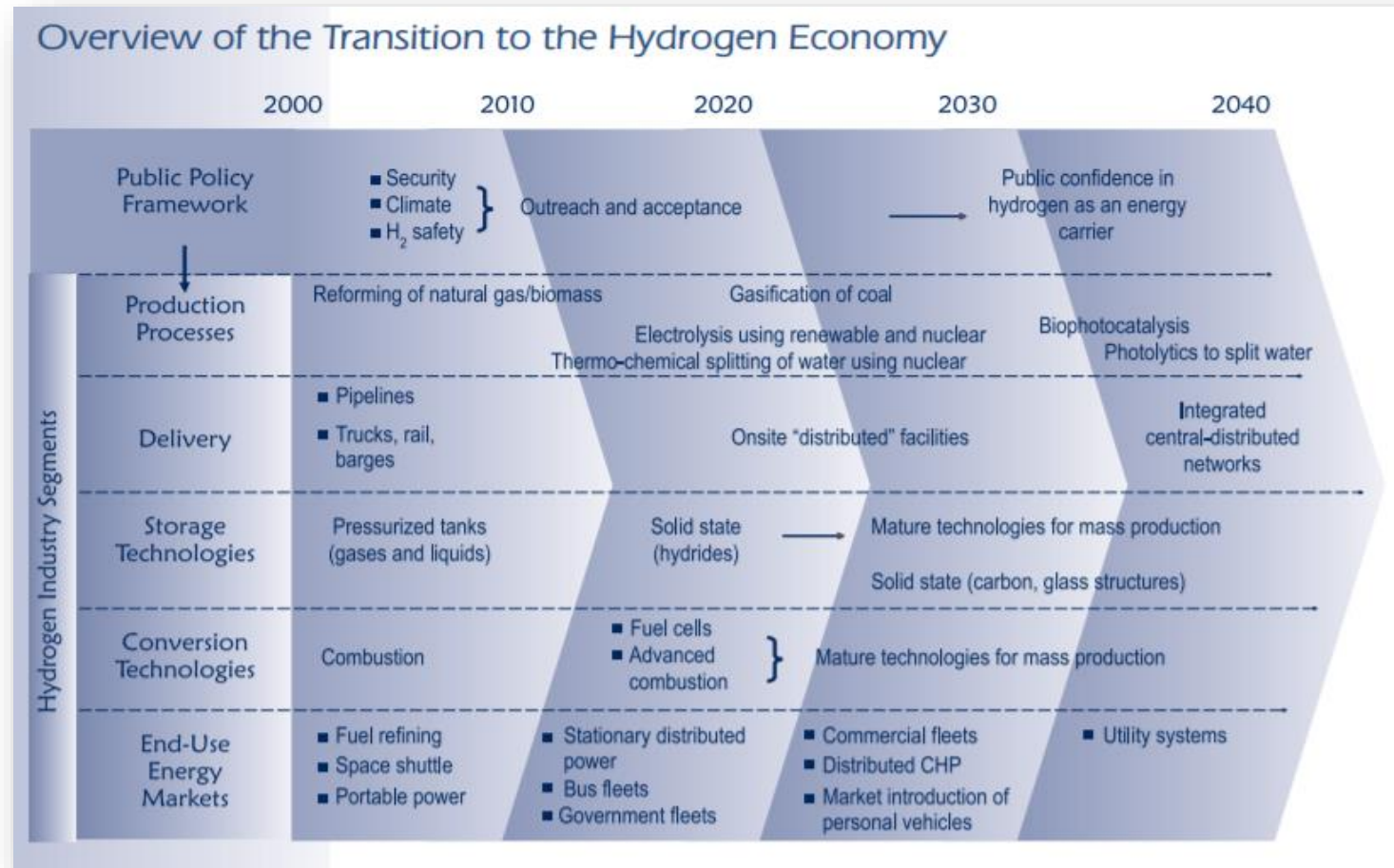
- **Zelená dohoda pro Evropu** – dosažení uhlíkové neutrality do r. 2050
- Klimaticko-energetický legislativní balíček **Fit for 55**  
= snížení emisí o 55 % (oproti 1990) do r. 2030
- **Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu**
  - 6 GW elektrolyzátorů a 1 milion tun vyrobeného zeleného H<sub>2</sub> do r. 2024
  - 2025 – 2030: 40 GW elektrolyzátorů a 10 milionů tun vyrobeného zeleného H<sub>2</sub>
- Podpora EU na projekty pro reálný provoz
- MHD = ideální aplikace pro rozvoj bezemisní dopravy
- ~ **150 vodíkových autobusů uvedeno v provozu do r. 2020**  
plánováno 1 200 do r. 2025
- V současnosti **148 otevřených vodíkových plnicích stanic v Evropě**



# Některé projekty bezemisní MHD v Evropě



# Pro srovnání Ambiciózní program H<sub>2</sub> ekonomiky v USA



# III. Průmysl

- Náhrada topných plynů
  - Sklářský průmysl
  - Průmysl stavebních a izolačních hmot
    - Vyzdívky
    - Skelné a minerální vaty



# III. Průmysl

- Slévárství
  - Tavení v kuplovnách
  - Tavení v nístějových a kelímkových pecích



# Vodík jako surovina



# I. Chemický průmysl

- **Výroba amoniaku** ( $\text{NH}_3$ ): 175 mil. tun (2018)
- **Výroba metanolu** ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ): 50 - 110 mil. tun (2015)
  - Metanol + čpavek spotřebují 49 % světové produkce  $\text{H}_2$
- **Rafinerské procesy**
  - Hydrogenační krakování
  - Hydrogenační rafinace
  - Hydrokonverze
- **Odsiřování + odkysličování**
  - Čištění látek od síry a kyslíku





# II. Hutnictví

## Výroba surového železa a oceli

- Redukční žíhací atmosféry
- **HYBRIT** – Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology
  - Společný projekt mezi SSAB, LKAB a Vattenfall, Švédsko
- ThyssenKrupp, Salzgitter, Německo
- Voestalpine, Rakousko

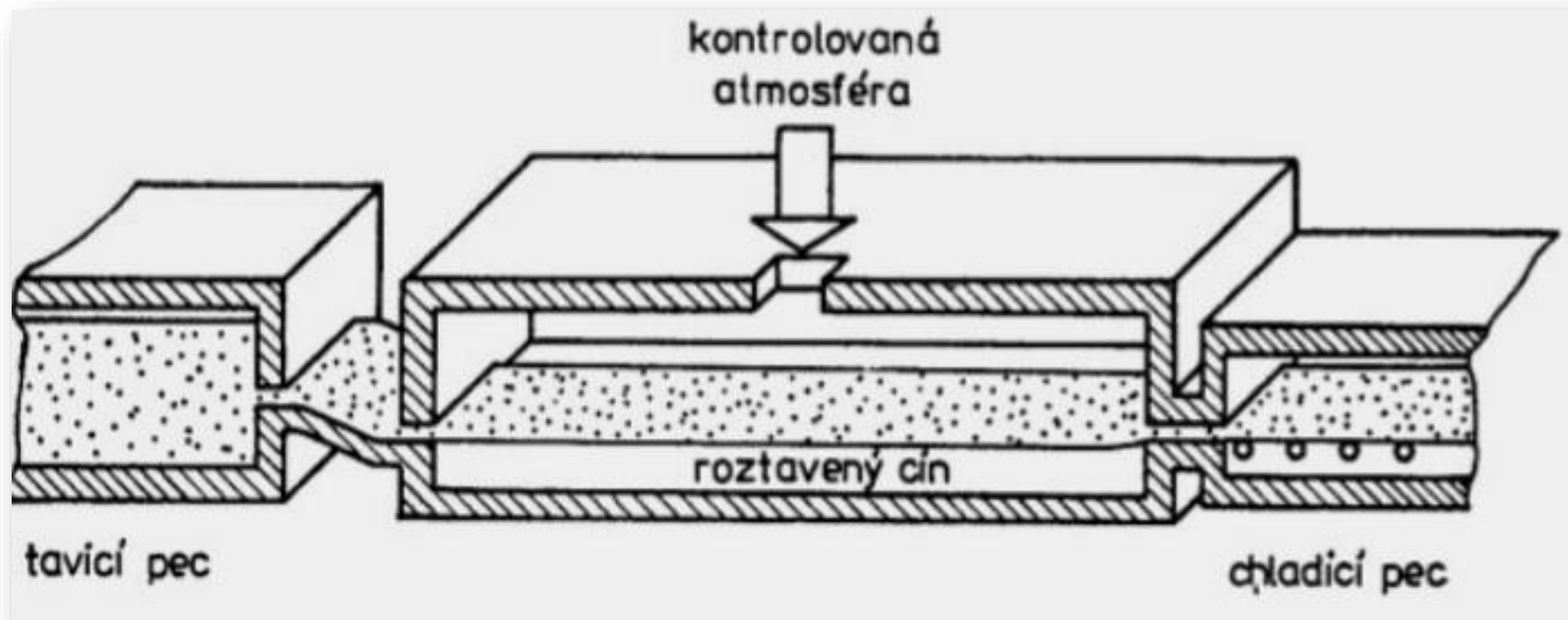


# II. Hutnictví

- Výroba surového železa a oceli
- Redukční a žíhací atmosféry
  - Lesklé žíhání nerezavějících ocelí a niklových slitin - atmosféra složená z dusíku s vodíkem
  - Tvrdé pájení mosaznými a stříbrnými pájkami v pecích - atmosféry dusíku s vodíkem
  - Pájení na měkko ve směsi argonu s vodíkem
  - Ochranné atmosféry pro svařování a plazmové řezání

# III. Sklářský průmysl

- Výroba plochého skla



## IV. Potravinářský průmysl, kosmetika, lékařství

- Ztužování tekutých rostlinných olejů
- Výroba margarínů
- Výroba mýdel
- Výroba mastí a pomazánek
- Lékařství – mol.  $H_2$  i další aplikace



# Děkujeme za pozornost!

Ing. Miloš Kadlec

Ing. Petr Kubal

Vladimír Zemánek, MSc.

[www.cheminvest.cz](http://www.cheminvest.cz)





Okresní hospodářská  
komora  
v Chomutově



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU

# VODÍK PRO AUTOMOBILY

Václav Zikmund  
Produktový manažer  
Toyota Central Europe - CZ

# Toyota v české republice

- **TOYOTA** CENTRAL EUROPE CZECH – zastoupení značek Toyota a Lexus
- **TOYOTA** MOTOR MANUFACTURING CZECH – výrobní závod v Kolíně
- **TOYOTA** FINANCIAL SERVICES – leasingová společnost
- **TOYOTA** MATERIAL HANDLING – manipulační technika
- **TOYOTA** logistické centrum - velkosklad náhradních dílů v
- **TOYOTA** „ASSOCIATED COMPANIES“ – CELKEM 21 SPOLEČNOSTÍ
- **9,800 ZAMĚSTRNANCŮ**



# Pořadí Značek na trhu

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	01-08 2021
1	Škoda	Škoda	Škoda	Škoda	Škoda	Škoda	Škoda
2	Volkswagen	Volkswagen	Volkswagen	Volkswagen	Volkswagen	Volkswagen	Volkswagen
3	Hyundai	Hyundai	Hyundai	Hyundai	Hyundai	Hyundai	Hyundai
4	Ford	Ford	Ford	Dacia	Dacia	Peugeot	<b>TOYOTA</b>
5	Dacia	Dacia	Dacia	Ford	Peugeot	<b>TOYOTA</b>	Peugeot
6	Renault	Renault	Renault	Peugeot	Renault	Dacia	Mercedes
7	Peugeot	Peugeot	Peugeot	Renault	Ford	Renault	Kia
8	Opel	Mercedes	Mercedes	Kia	<b>TOYOTA</b>	Ford	Ford
9	Kia	Kia	Kia	<b>TOYOTA</b>	Kia	Kia	Renault
10	Seat	Opel	<b>TOYOTA</b>	Citroen	Mercedes	Mercedes	Dacia
11	Citroen	Seat	Opel	Mercedes	Citroen	Citroen	Seat
12	Fiat	Citroen	Seat	Opel	Seat	BMW	Citroen
13	Mercedes	BMW	BMW	Seat	Opel	Seat	BMW
14	BMW	Audi	Citroen	BMW	BMW	Opel	Opel
15	Nissan	Fiat	Nissan	Nissan	Fiat	Fiat	Fiat
16	Audi	<b>TOYOTA</b>	Fiat	Fiat	Suzuki	Suzuki	Audi
17	<b>TOYOTA</b>	Nissan	Audi	Suzuki	Mazda	Audi	Volvo



# Globální megatrendy

• SÍLY FORMUJÍCÍ PŘEROD AUTOPRŮMYSLU



ZMĚNY  
KLIMATU



KVALITA  
OVZDUŠÍ



NOVÉ  
TECHNOLOGIE



NÁRŮST  
POPULACE



ENERGETICKÁ  
BEZPEČNOST

ŽIVOTNÍ  
STYL



# Toyota environmental challenge

• 2050



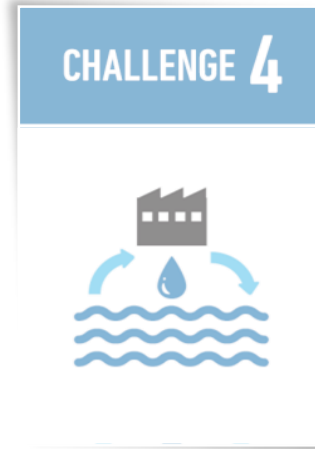
**Nulové emise CO<sub>2</sub> nových vozů**



Nulové emise CO<sub>2</sub> během životního cyklu vozu



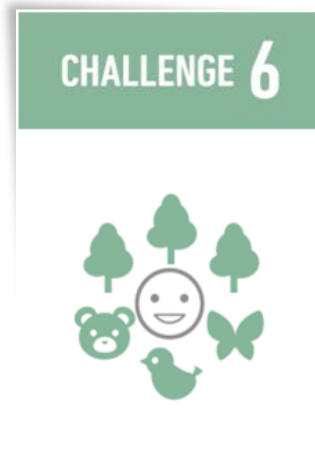
Nulové emise z výroby CO<sub>2</sub>



Snížení spotřeby a recyklace vody na maximum



Nastavení systémů a společnosti na principu recyklace

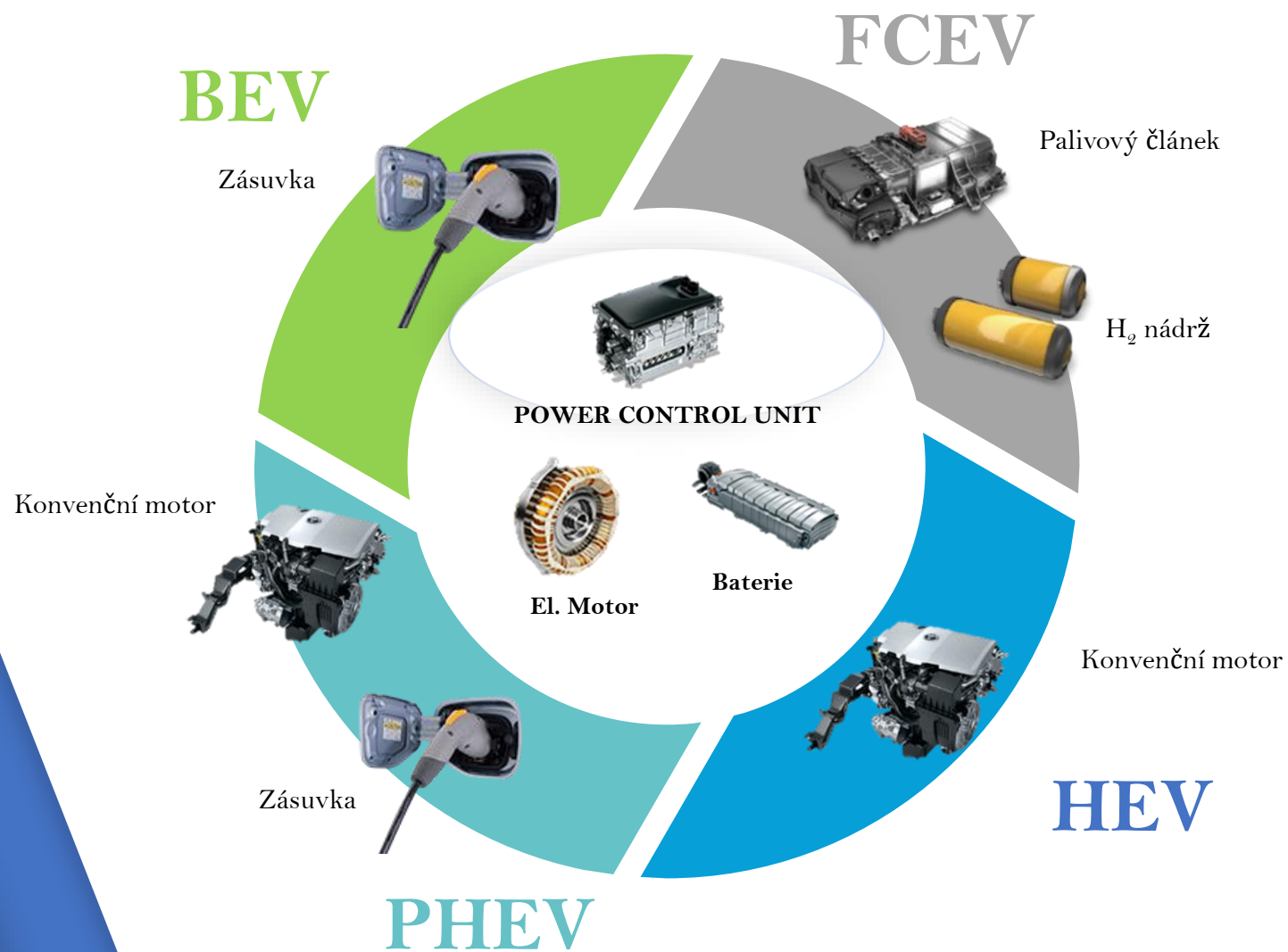


Základy pro vytvoření společnosti existující v souladu s přírodou

Toyota Charta pro Zemi 1992



# Strategie elektrifikace dle Toyoty



# POUŽITÍ VODÍKU

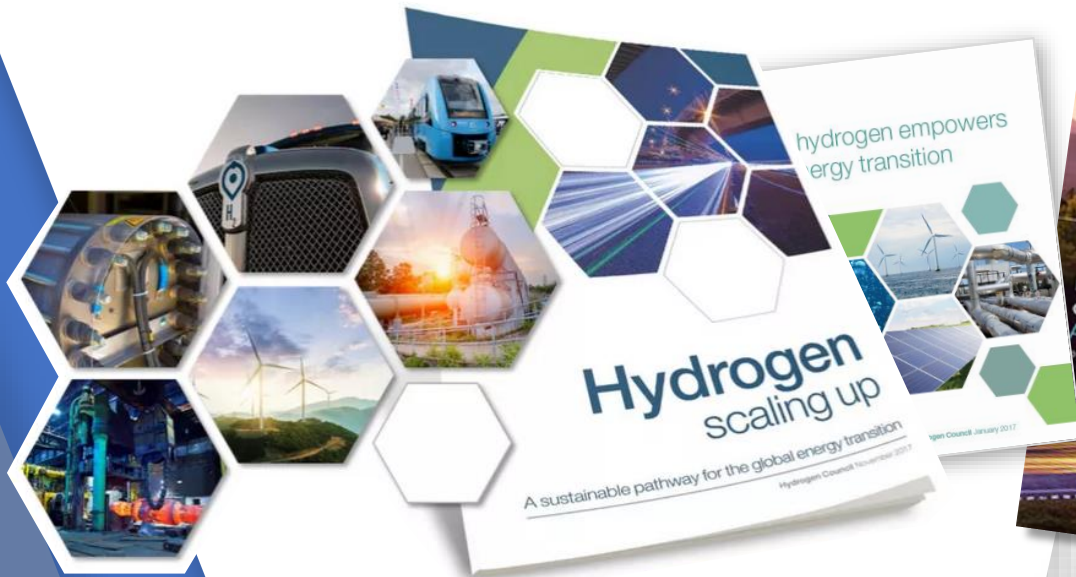
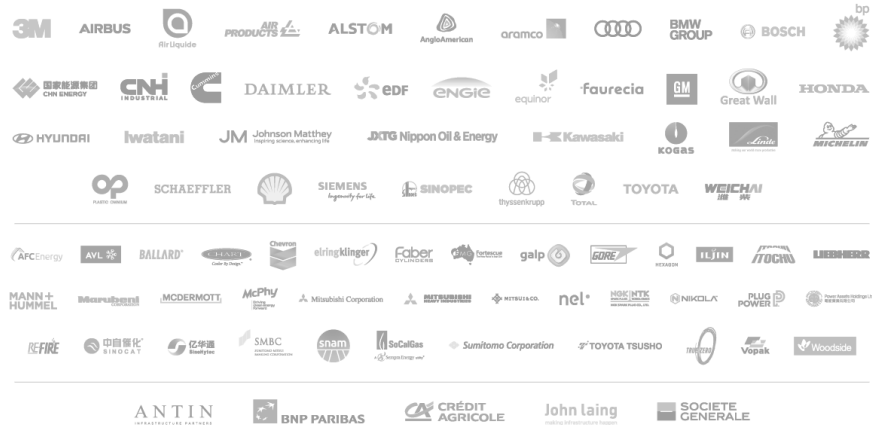
# Domáci Zdroj energie

- VÝROBA & SPOTŘEBA



# Hydrogen Society

## • HYDROGEN COUNCIL



Založeno 01/17 v Davosu

109 členů  
(původně 13 zakl. členů)

Obrat více než **20 Bilionů** EURO

Více než **7.5 MIO** zaměstnanců

# Vodík v dopravě



BYCICLES



BUSES



PLANES



OTHER USAGE



FORKLIFTS



CARS



TRUCKS

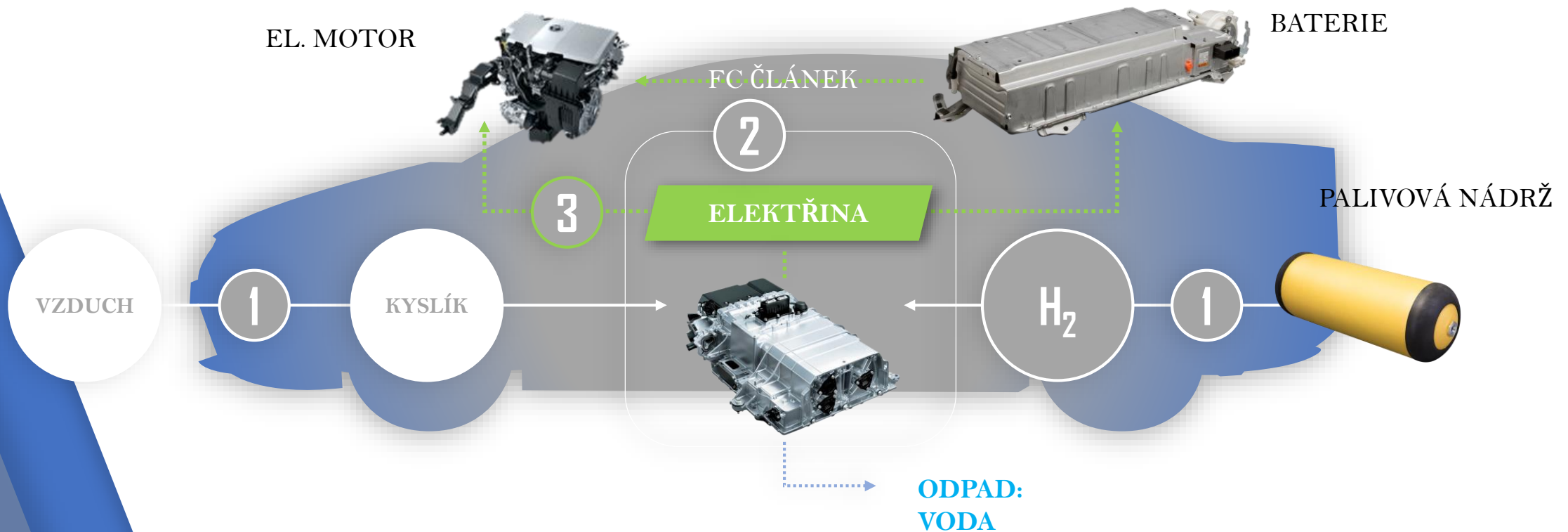


SHIPS

# fuel cell electric vehicle

## • CO TO ZNAMENÁ

- *“VŮZ, KTERÝ JE POHÁNĚN ELEKTRICKOU ENERGIÍ VYROBENOU CHEMICKOU REAKCÍ VODÍKU A KYSLÍKU PŘÍMO NA PALUBĚ VOZU”*





# ROZDÍLNÉ POUŽITÍ – Mirai i. Generace 2015

- PŘÍKLADY





# Mirai i. v evropě

## • VODÍKOVÁ INFRASTRUKTURA



> 800 MIRAI  
v provozu



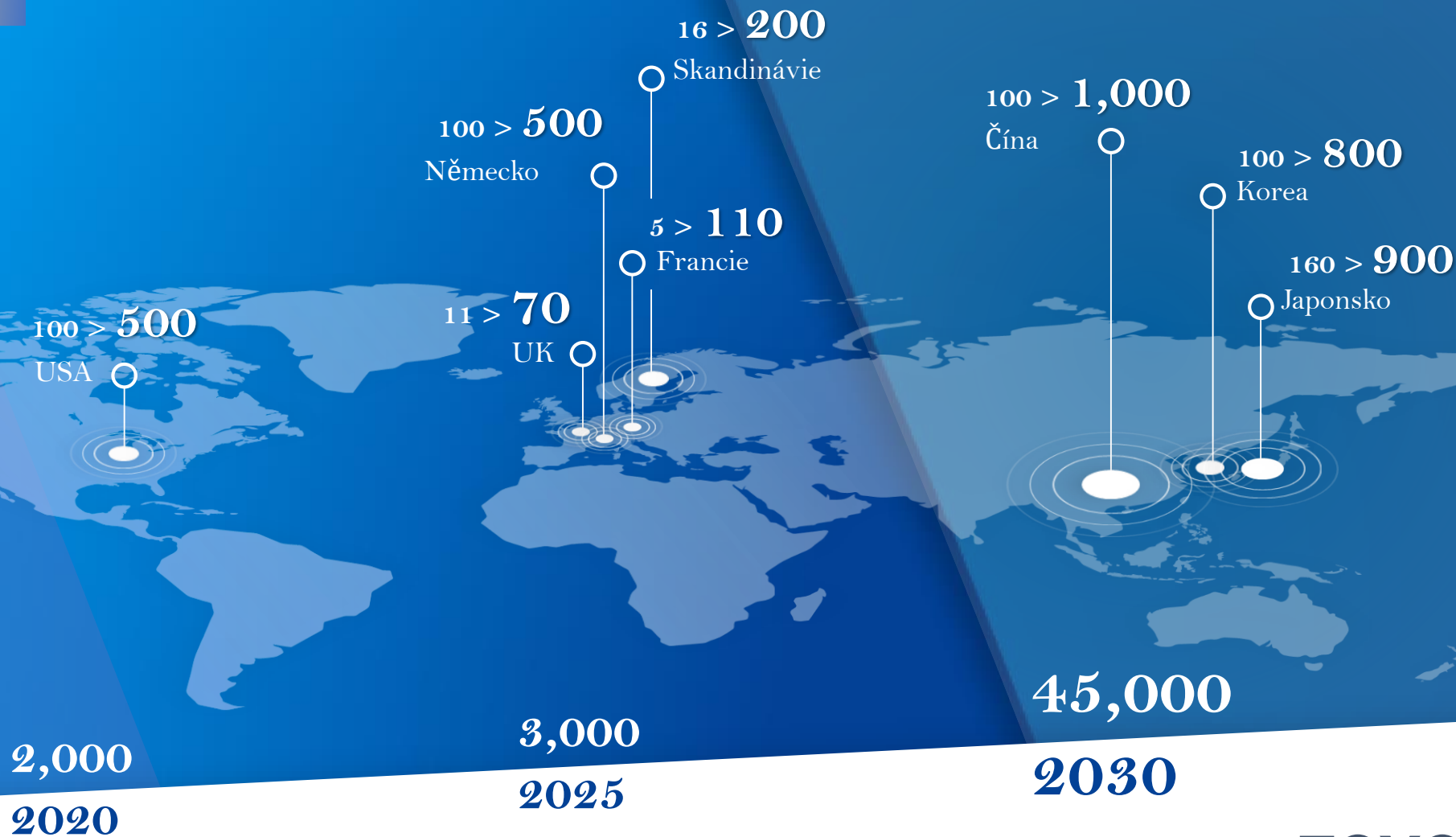
> 145 vodíkových stanic



TOYOTA

# Vodíkové stanice celosvětově

• 2021 – 2030



TOYOTA

# MIRAI





# Toyota Mirai

- STEJNĚ JEDNODUCHÉ JAKO KONVENČNÍ A



**0 emise**  
pouze voda



tankování 3 – 5 minut  
plynný vodík / 700bar  
spotřeba 0,9kg/km  
kapacita 6kg



výkon systému 182koní  
předvídatelný dojezd 650km

ŠIRŠÍ

**+70**

mm CELKOVĚ

NIŽŠÍ

**-65** mm

LINIE STŘECHY

DELŠÍ

**+145**

mm ROZVOR



**TNGA** Toyota  
New  
Global  
Architecture

**PLATFORMA**

**-L**





# SILUETA VE TVARU KUPÉ



interiér prémiového segmentu



# 2. GENERACE PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ



VÝKON

**+10 %**

VYŠŠÍ

ÚČINNOST

**+10 %**

VYŠŠÍ

DOJEZD

**+30 %**

DELŠÍ

0-100 KM/H

**0,4 s**

RYCHLEJŠÍ

40-70 KM/H

**2,8 s**

AGILNÍ

# POP RVÉ U TOYOTY TECHNOLOGIE

## SYSTEM ČIŠTĚNÍ VZDUCHU



### „ČISTÍ VZDUCH BĚHEM JÍZDY“

Mirai čistí vzduch tím, že stabilizuje a pohlcuje oxidy síry a oxidy dusíku (NOx) produkované jinými vozidly.



ŽIVOTNÍ  
PROSTŘEDÍ



# POP RVÉ U TOYOTY TECHNOLOGIE

POKROČILÉ AUTOMATICKÉ PARKOVÁNÍ  
TEAMMATE

**„BEZPEČNÉ A RYCHLÉ PARKOVÁNÍ, ZCELA AUTOMATICKY“**

Brzdy i řízení ovládá Mirai automaticky – v klidu sedíte a pouze sledujete situaci.



PARKOVÁNÍ



# POPRVÉ U TOYOTY TECHNOLOGIE

DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ KLIMATIZACE  
přes MyT



**‘VYHŘÁTÍ NEBO VYCHLAZENÍ KABINY JEŠTĚ PŘED NÁSTUPEM DO VOZIDLA’**

Pomocí mobilní aplikace MyT pro chytré telefony



KONEKTIVITA



# Výbavy a ceny

## COMFORT

1,7 mil Kč s DPH

- Vnitřní zpětné zrcátko s automatickou clonou
- Automatická klimatizace dvouzónová
- Dálkové ovládání klimatizace
- Elektricky nastavitelná, vyhřívaná, sklopná vnější zrcátka
- Parkovací kamera s vodícími čarami
- Smart Entry & Start
- Vyhřívané stěrače předního okna
- Bi-LED přední světlomety
- Zadní kombinovaná světla LED
- 19" litá kola, stříbrná, pneumatiky 235/55 R19
- Kožený volant
- Vyhřívaná přední sedadla
- Nastavitelné sedadlo řidiče (8 směrů) a spolujezdce (4 směry)
- Multimediální systém Toyota Touch® 2 (12,3") s barevnou dotykovou obrazovkou a navigací GO
- JBL soundsystém, 14 reproduktorů
- TSS

## EXECUTIVE

1,8 mil Kč s DPH

- Panoramatický monitor
- Elektricky výškově a podélně nastavitelný volant
- Bezdrátové nabíjení mobilního telefonu
- Systém zabránění nárazu do překážky (ICS) (4 senzory vpředu a 4 vzadu)
- Aktivní potlačení hluku
- Zatmavená zadní okna (Privacy Glass)
- Přední Bi-LED světlomety s funkcí adaptivních dálkových světel (AHS) (2 LED segmenty)
- Směrová světla MultiLED
- 19" litá kola, lesklá stříbrná, pneumatiky 235/55 R19
- Vyhřívaný volant
- Premiové osvětlení vozu (8 barevných kombinací)
- Čalounění sedadel syntetická kůže černé
- Kapsa na zadní straně sedadla řidiče a spolujezdce
- Systém monitorování slepého úhlu (BSM)



# Výbavy a ceny

## PAKET VIP

200 000 Kč s DPH

- Automatická klimatizace třízónová
- Elektricky výškově a podélně nastavitelný volant s paměťovou funkcí
- Head-up display
- Parkovací asistent – plně automatické parkování
- 20" litá kola v černém designu, pneumatiky 245/45 R20
- Panoramatická prosklená střecha
- Čalounění sedadel perforovaná kůže černé / světlé
- Paměťová funkce sedadla řidiče
- Vyhřívaná přední a zadní boční sedadla
- Ventilovaná přední a zadní sedadla
- Zadní loketní opěrka s ovládním rádia, regulace teploty a zadní rolety
- Vnitřní zpětné zrcátko s digitálním displejem
- Ostřikovač kamery vnitřního zpětného zrcátka
- Osvětlený prostor pro nohy





## mirai V ČR

- TOYOTA MIRA OFICIÁLNĚ UVEDENA NA TRH V ČR (1.7mil – 1.8mil)
- PRVNÍ VŮZ FCEV OFICIÁLNĚ PRODÁVANÝ V ČR



- ALOKACE 30 - 100 VOZŮ PRO ROK 2021
- VYSOKÝ ZÁJEM ZE STRANY ODBORNÉ I LAICKÉ VEŘEJNOSTI
- „VIP MIRAI CLUB“

# VODÍK V DOPRAVĚ



BICYCLES



BUSES



PLANES



OTHER USAGE



FORKLIFTS



CARS

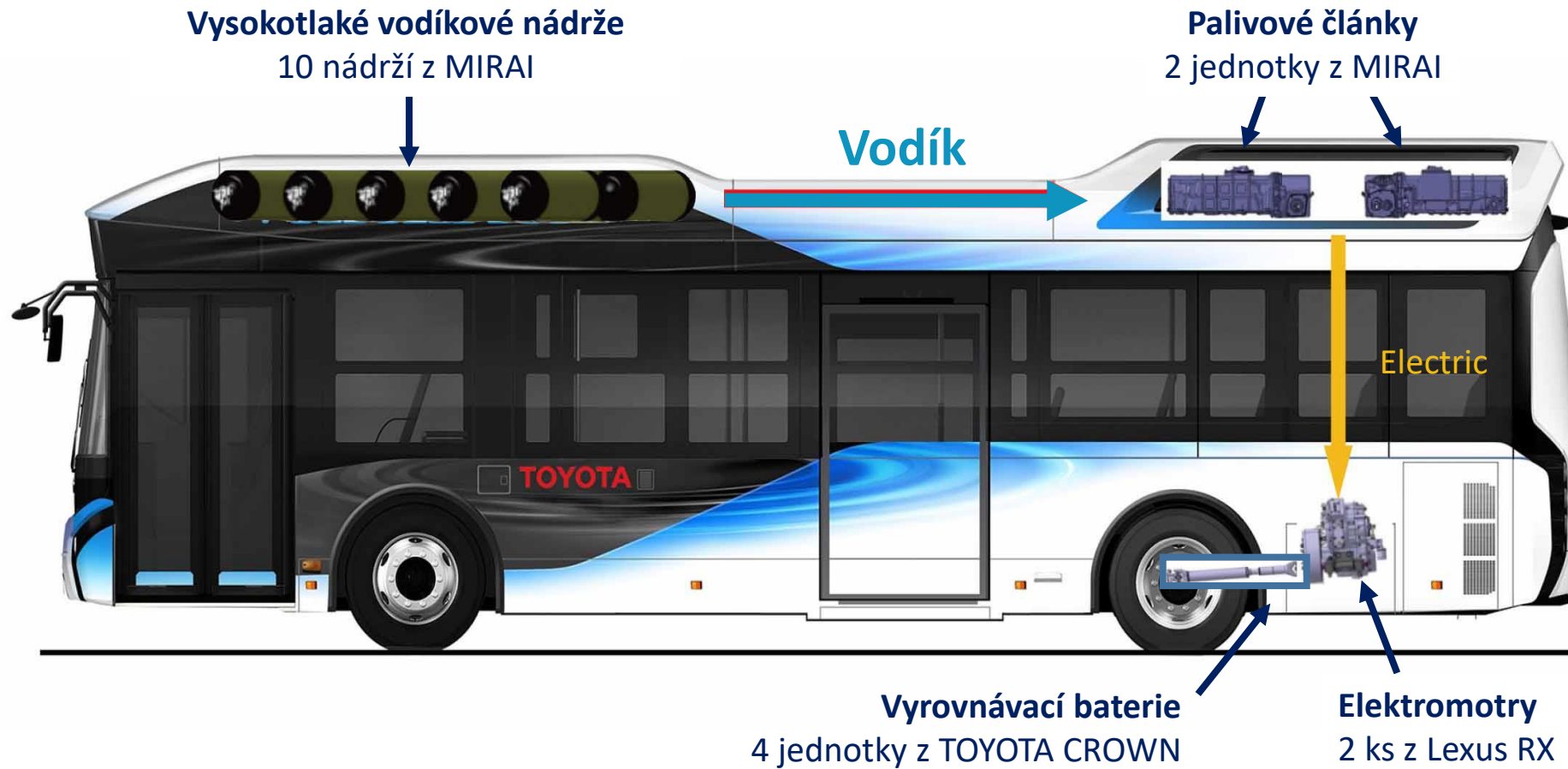


TRUCKS



SHIPS

# TOYOTA FCV autoBUS - SORA



# FC autobusy v evorpě

## • SPOLUPRÁCE S CAETANO BUS - PORTUGALSKO

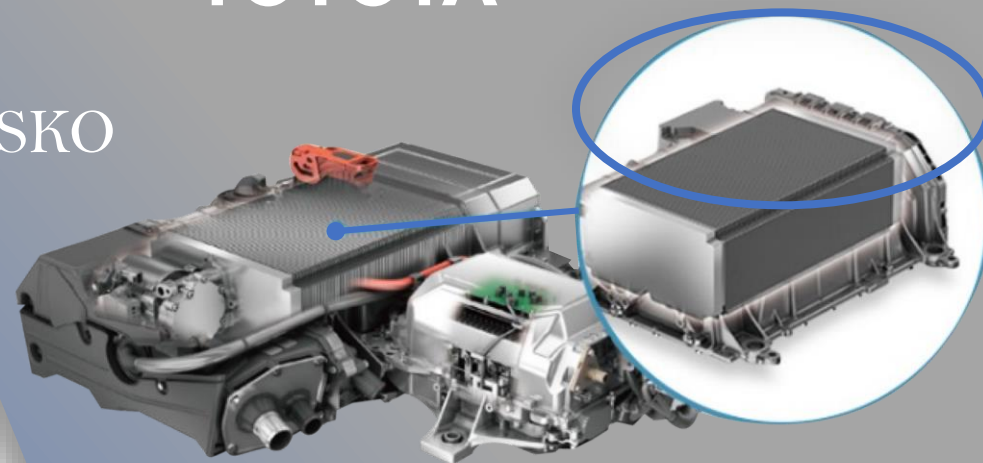
- Vývoj a výroba FUEL-CELL autobusů



**CAETANOBUS**  
GRUPO SALVADOR CAETANO



# TOYOTA



Dodavatel komponentů

Palivový článek &

Další části systému

Lisbon, Portugal, 26 September 2018

### **Toyota to supply its Hydrogen Technology to Caetanobus SA (Portugal) in Europe**

- Toyota fuel cell system to be used in Caetanobus' first FCEV\* city buses
- Caetanobus to launch first hydrogen demonstration city bus in autumn 2019

# FC nákladní vozy

- PROJEKT „PŘÍSTAV SE

Začátek v dubnu 2017 s vozem „Alfa“

Aktuálně již 3. generace

Dojezd až 500 Km

„Ve službě“ 24/7

**NO LIMITATION AT LONGTERM-  
OPERATION AND PAYLOAD**

Používáno spol. UPS a TOYOTA LOGISTICS

Další krok: dokončení „TRI-GEN“

**POWER PLANT** v přístavu LONG BEACH (výroba H<sub>2</sub> z biomasy)



**TOYOTA**

# FC nákladní vozv

- PROJEKT HINO HYDROGEN



## Vysokozdvížné vozíky TOYOTA FC



Možný zdroj energie  
při výpadku proudu  
(stejně jako autobusy  
SORA)



# Hydrogen FC Vlakové soupravy

ALSTOM



TESTOVÁNO  
V  
ČECHÁCH

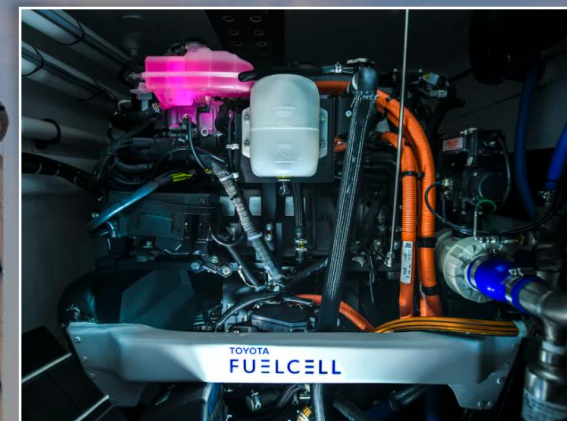


# Lodě na palivový článek

• ENERGY OBSERVE

Milníky:  
2017: Francie  
2018: Středozemní moře  
2019: Severní Evropa  
2020: Atlantic  
2021: Pacific

84/101



03 February 2020

**Toyota develops specially designed Fuel Cell System for Energy Observer's 2020 Tour**

# FC měsíční vozidlo

## • VODÍK A PRŮZKUM VESMÍRU

Spolupráce **TOYOTA**  
a japonská vesmírná agentura **JAXA**

**Lunární vůz až pro 4 astronauty s  
pohonem na palivový článěk**

**Používání bez nutnosti skafandru**

Ovládaný řidičem, dálkově, nebo v režimu  
autonomního provozu

**Plánovaný dojezd až 10,000 Km**



**TOYOTA**

## BUDOUCNOST -> ELEKTRIFIKACE: X-EV

- Neexistuje jednoznačné řešení
- FHEV & BEV & FCV & . . . .



- Rozhodnou vždy zákazníci / uživatelé

“Jde o to být připraven s tím správným řešením, na správném místě, ve správný okamžik!”

DĚKUJI  
ZA POZORNOST