

# Principy a perspektivy vodíkových technologií



Karel Bouzek a Martin Paidar

„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.*

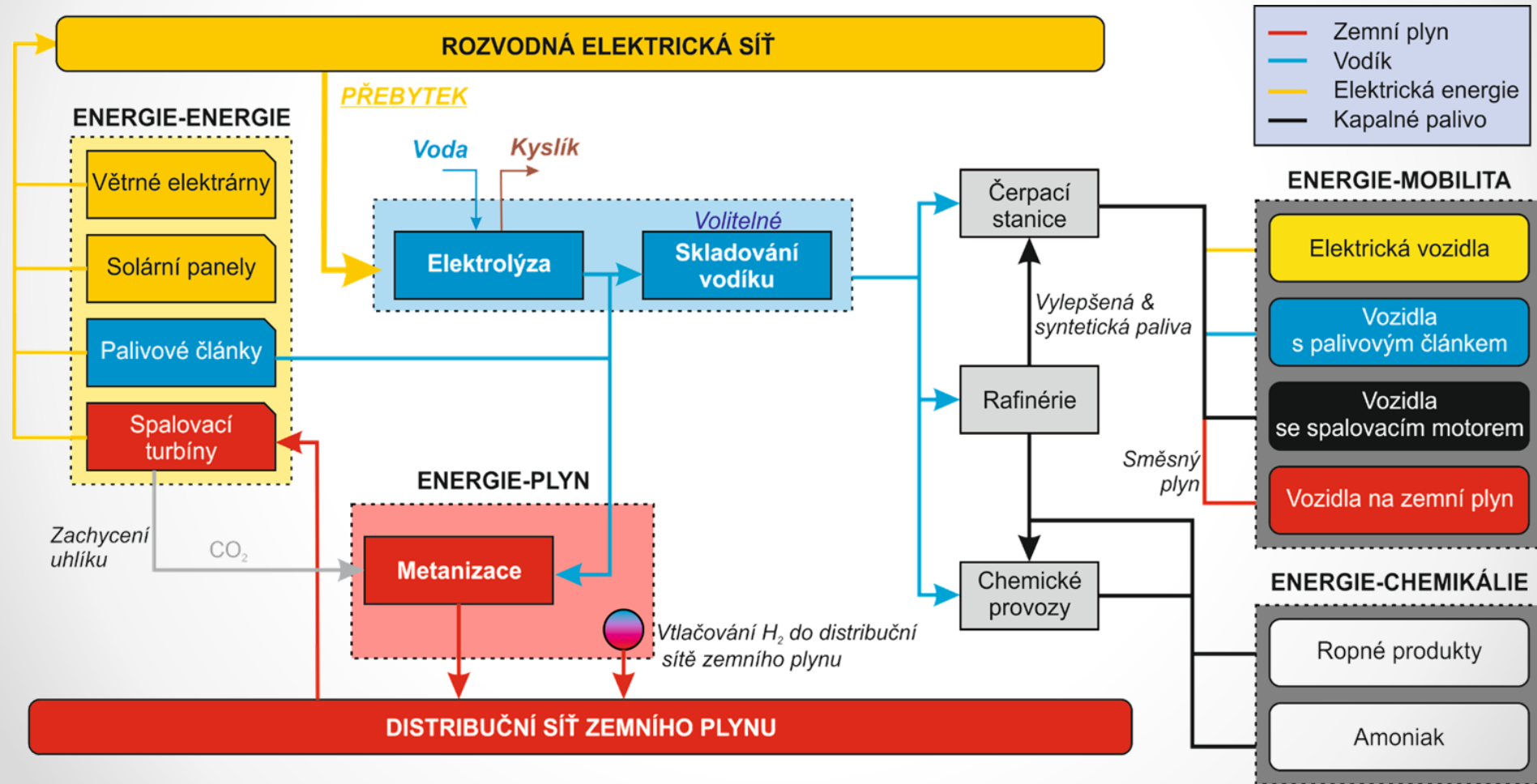


Brussels, 8.7.2020  
COM(2020) 301 final

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

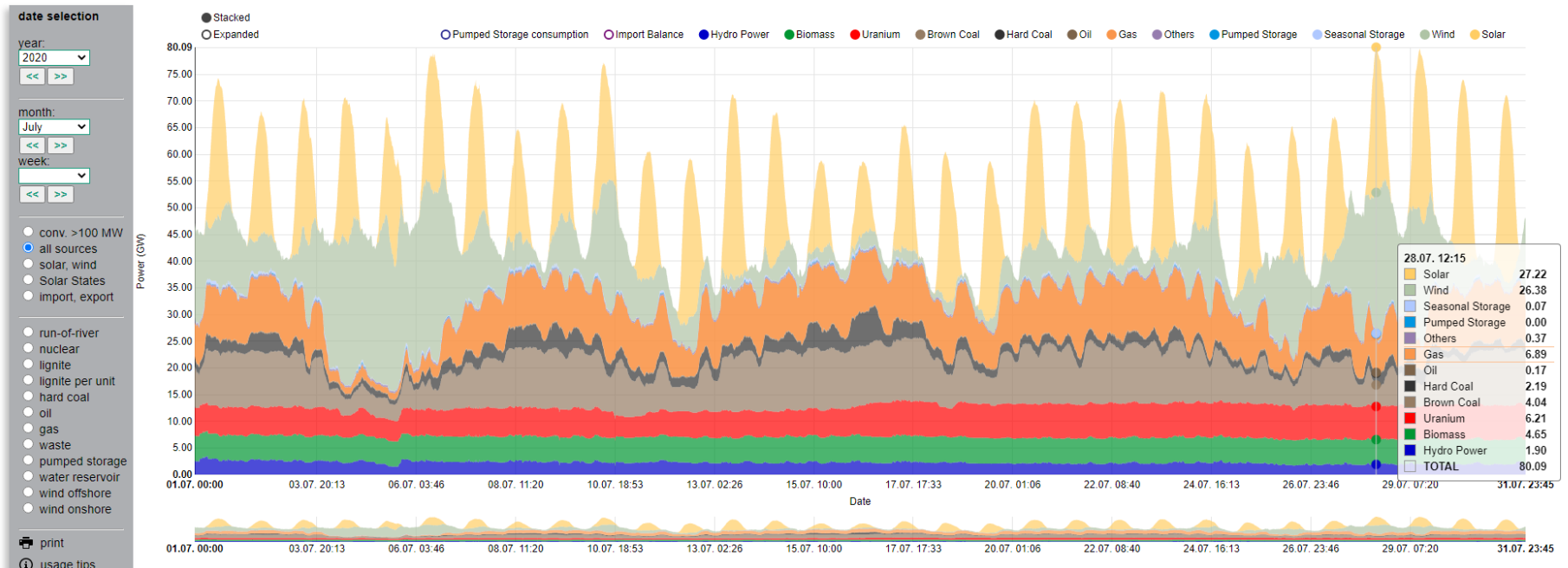
# Zjednodušené schéma vodíkové ekonomiky



# Distribuční síť a její zdroje

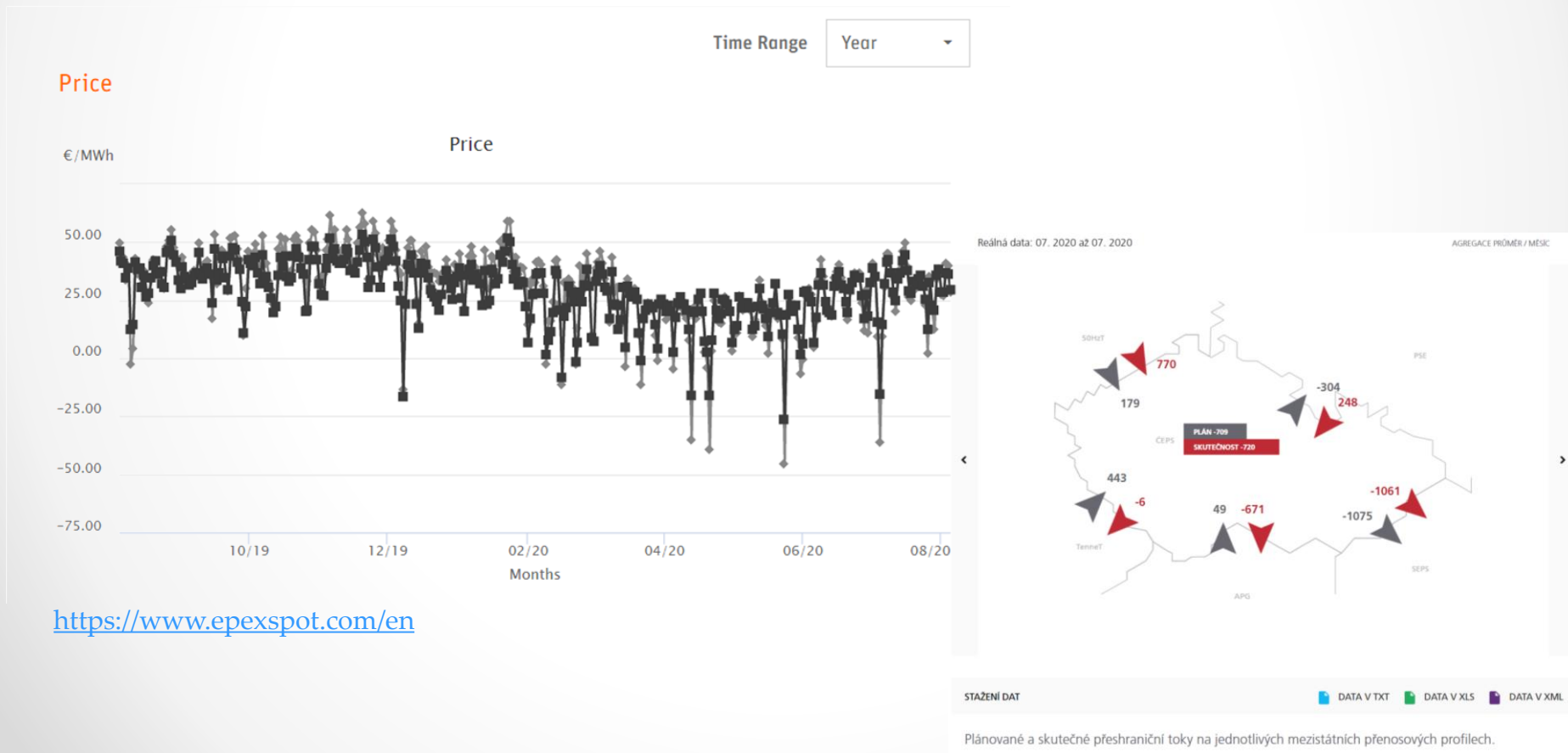
## Příklad energetického mixu NSR pro červen 2020

### Electricity production in Germany in July 2020



# Energetika a obnovitelné zdroje

## Dopady obnovitelných zdrojů na stabilitu dodávek elektrické energie



## Otázka dne – zdroje energie

### „Taxonomie“ vodíku

zelený  
modrý  
tyrkysový  
šedý  
černý  
nějaký další?

	g CO <sub>2</sub> ekv./kWh	Podíl nízkoemisních	Z toho obnovitelných
Česká republika	380	50 %	13 %
Německo	294	62 %	49 %
Francie	48	94 %	22 %
Polsko	740	6 %	6 %
Norsko	30	100 %	100 %

Electricity map Live, 5.8. 2020, 9:00

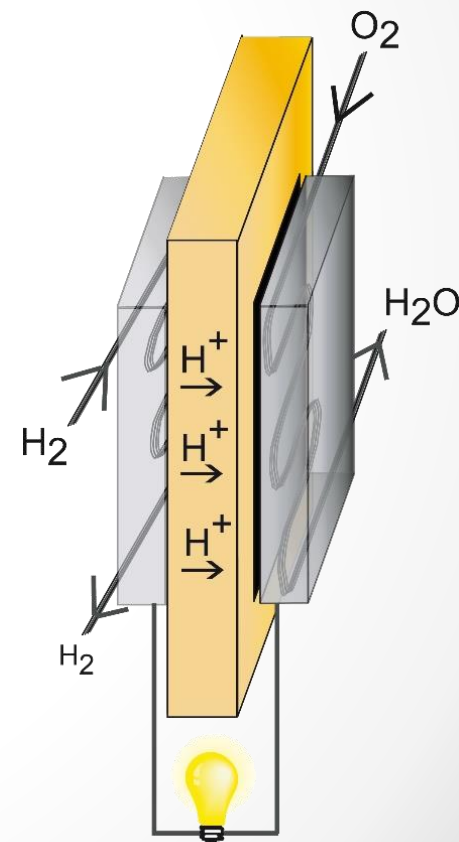
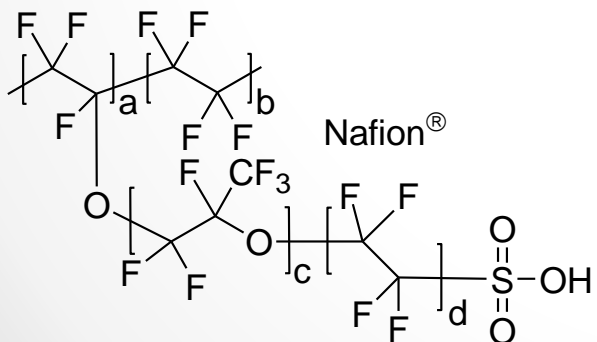
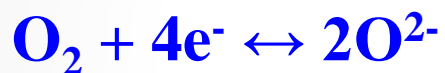
### Úsměvná hra úředníků, nebo vážný problém?

důležité dopady do plnění dekarbonizačních závazků  
potenciálně rovněž důležité dopady do podpory z veřejných prostředků  
kompatibilita s národní energetickou strategií  
na národní úrovni otevřená otázka certifikační strategie



# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

## Základní princip a jeho modifikace

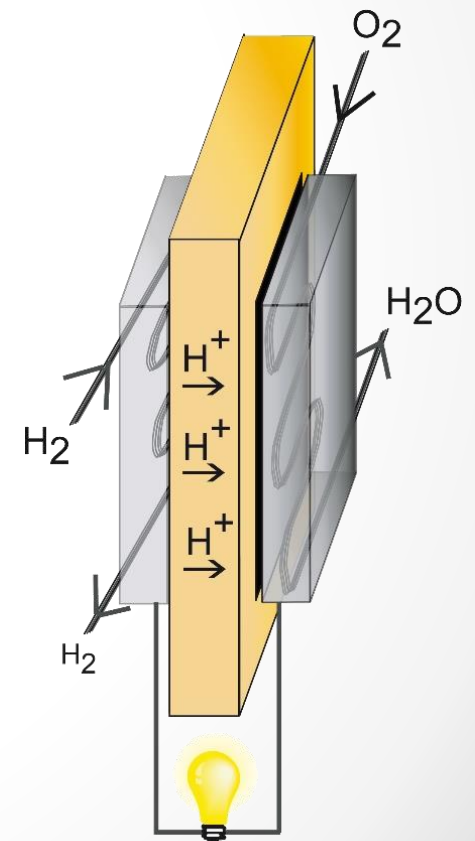




# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

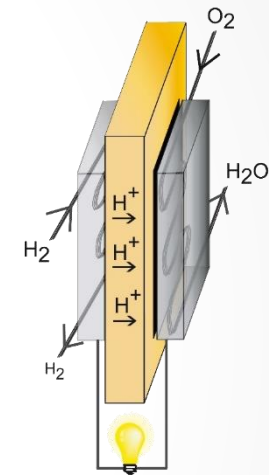
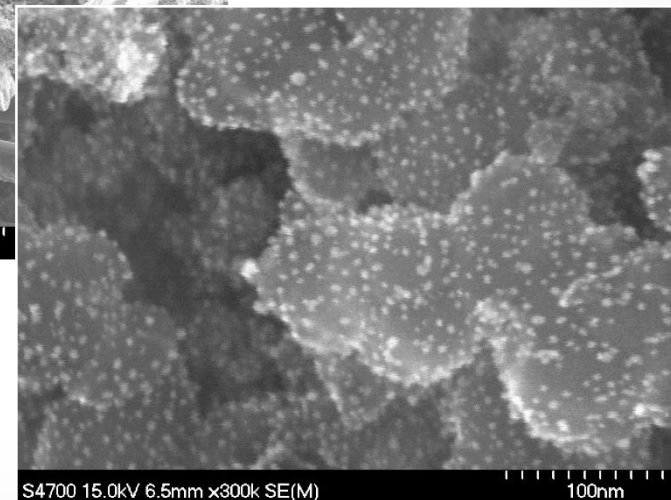
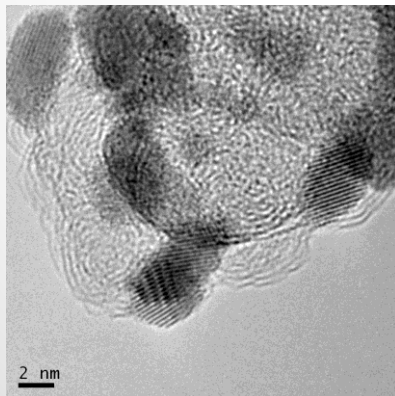
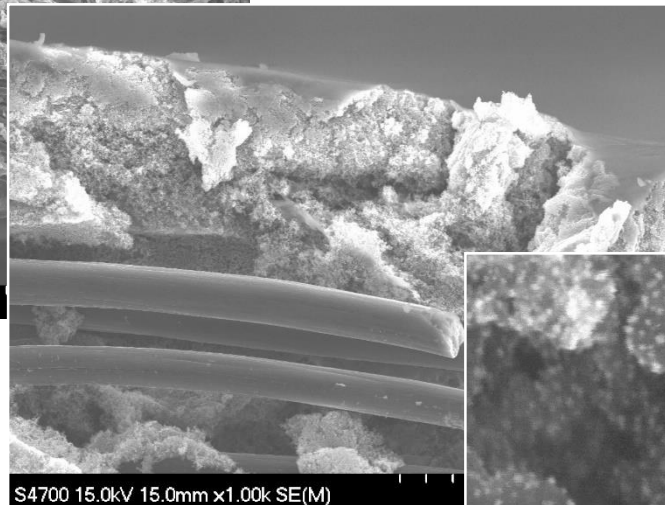
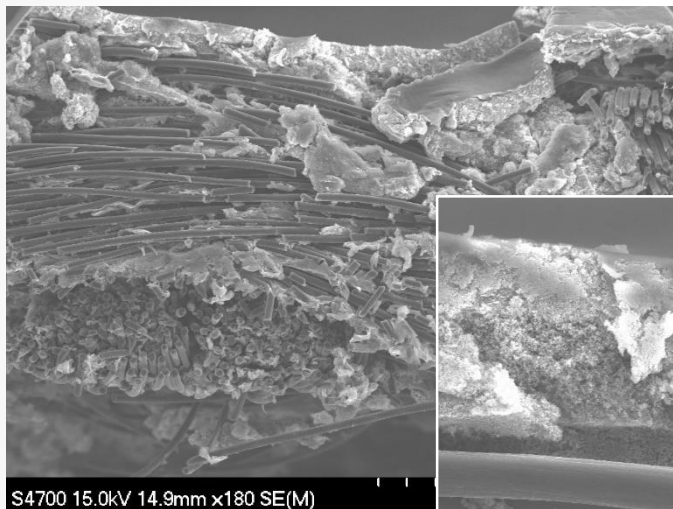
## Základní dělení podle provozní teploty

nízkoteplotní	kyselé (PEM) alkalické
středněteplotní	kyselé (HT PEM) alkalické
vysokoteplotní	tavené uhličitany pevné oxidy



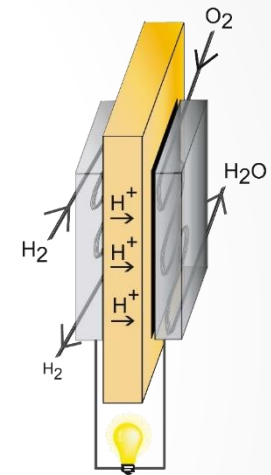
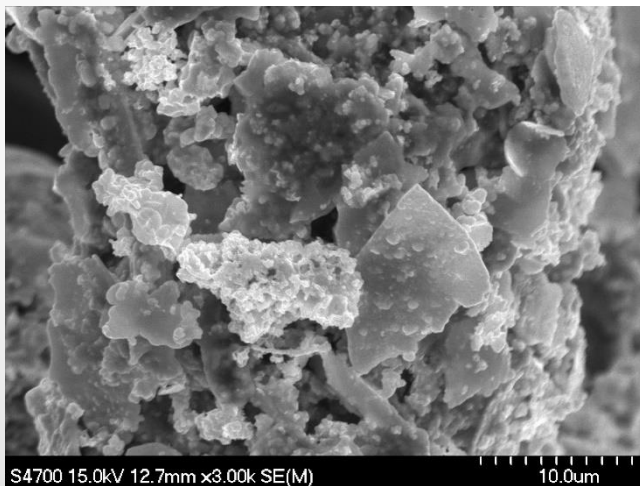
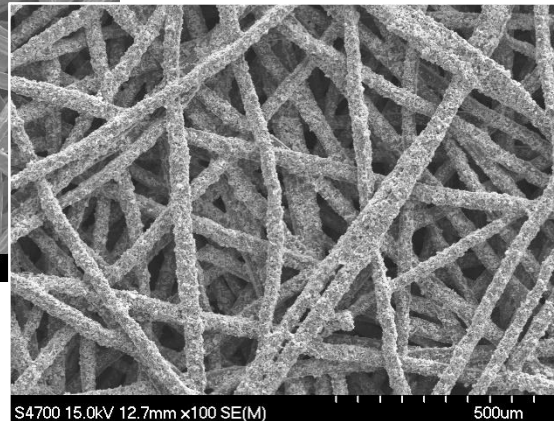
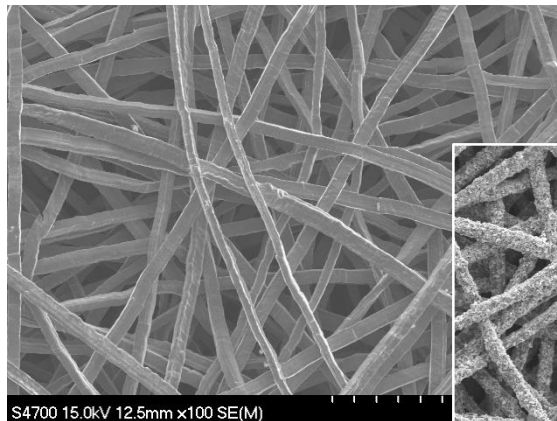
# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

## Hlavní komponenty a jejich modifikace - GDE



# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

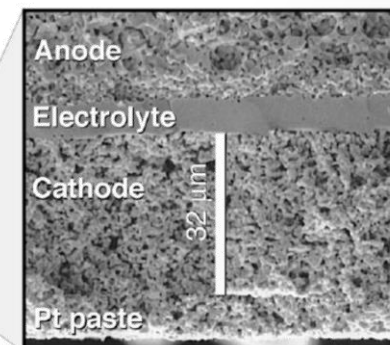
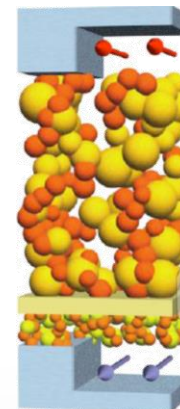
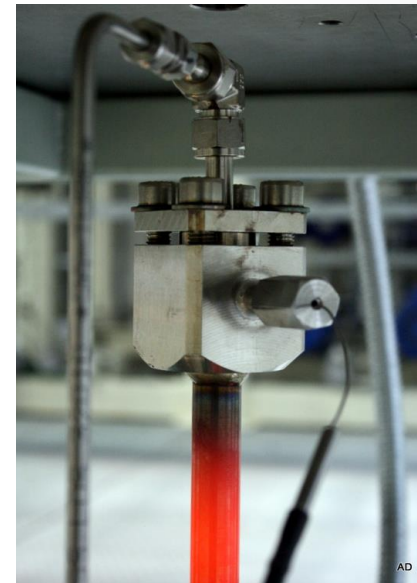
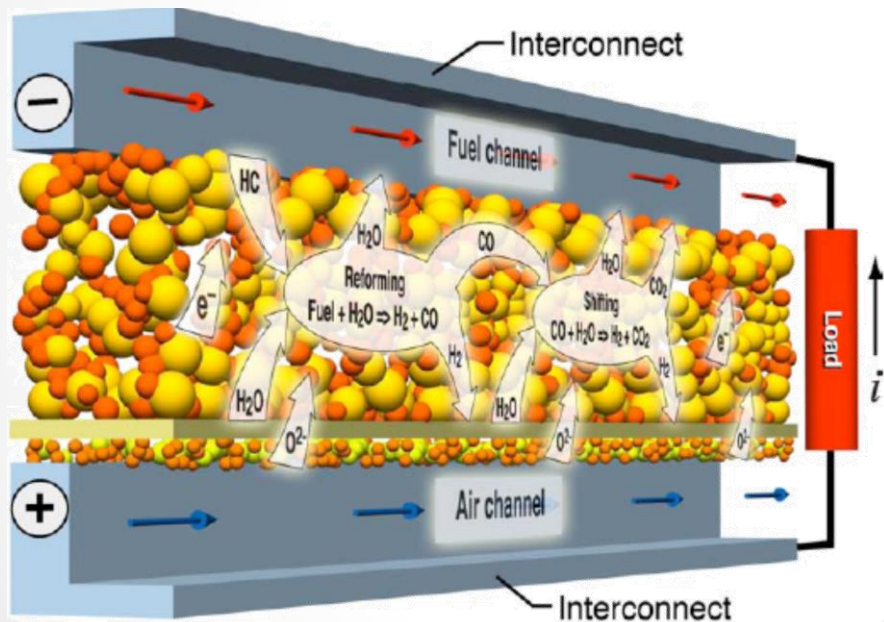
## Hlavní komponenty a jejich modifikace – Ti PTL





# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

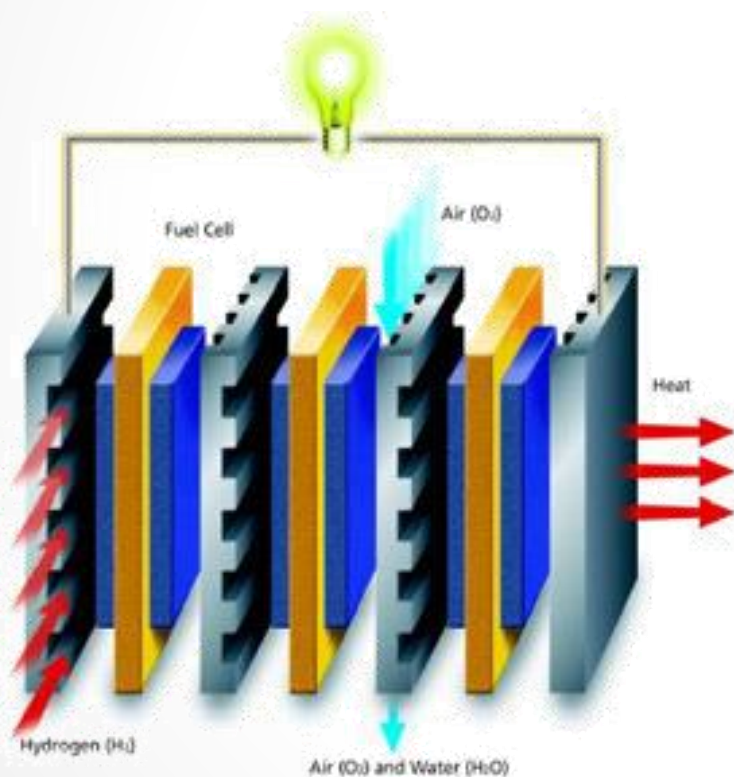
## Hlavní komponenty a jejich modifikace



MEA fabricated by ITN energy Systems

# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

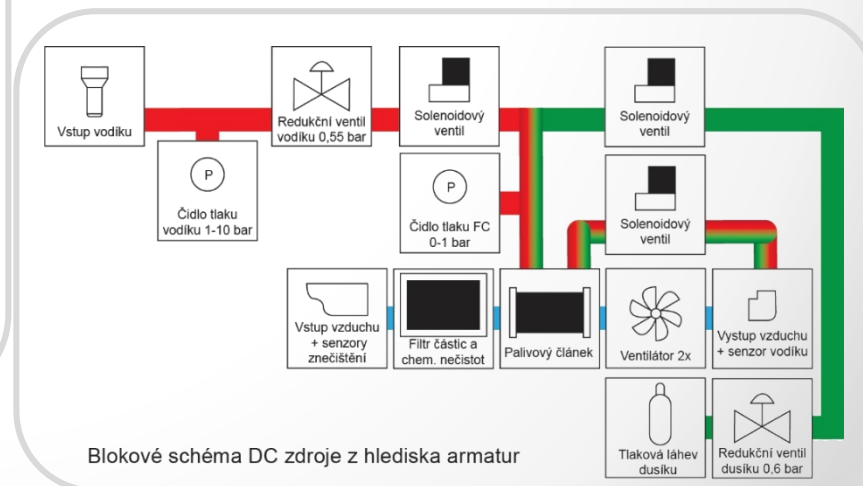
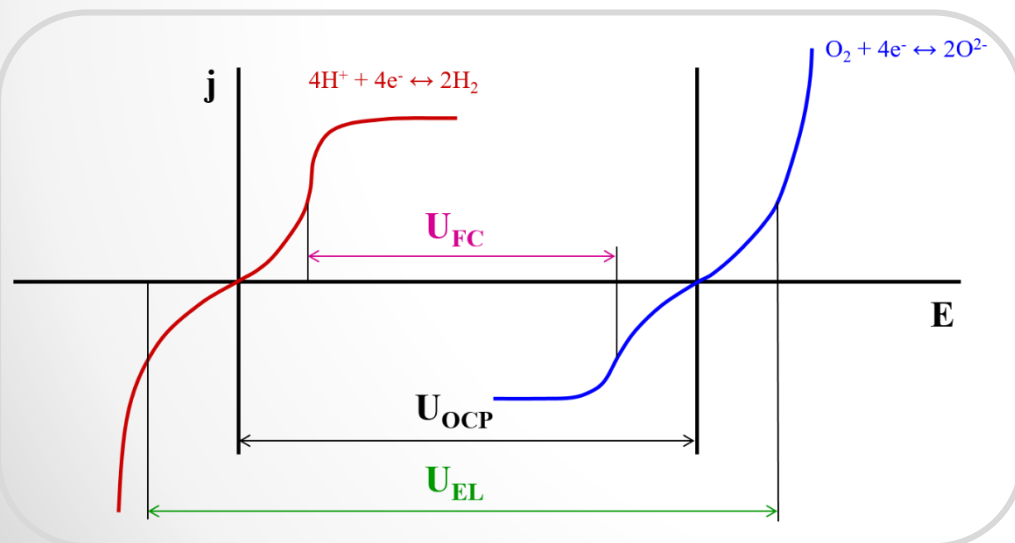
Svazek a aspekty jeho použití



# Princip konverze energie ve vodíkových procesech

## Palivový článek vs. elektrolytický rozklad vody

formálně identické děje lišící se pouze směrem průběhu reakce  
klíčový vliv kinetiky elektroodových reakcí odrážející se v potenciálu elektrod  
výrazné dopady na volbu konstrukčních materiálů a katalyzátorů  
otázka takzvaných reverzibilních jednotek





## Elektrolýza vody

Nejvhodnější technologie pro konverzi (zelené) energie

přímá konverze v jednom technologickém kroku

voda jako vstupní surovina

vyšoká čistota produktu



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



## Elektrolýza vody

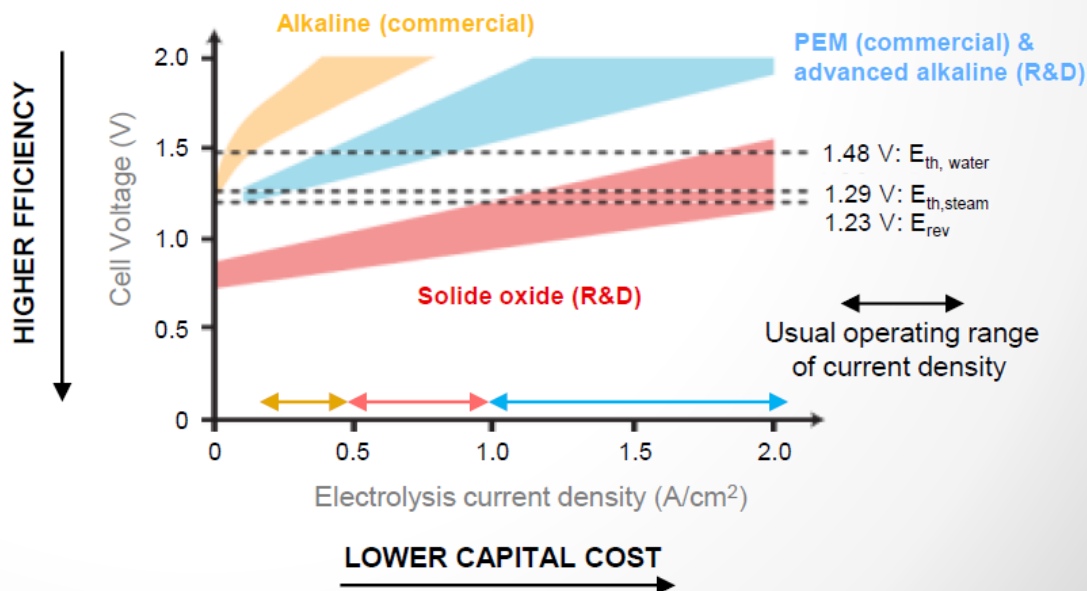
### V současnosti rozvíjené technologie

alkalická s kapalným elektrolytem

kyselá s protonově selektivní membránou

alkalická s polymerní anion selektivní membránou

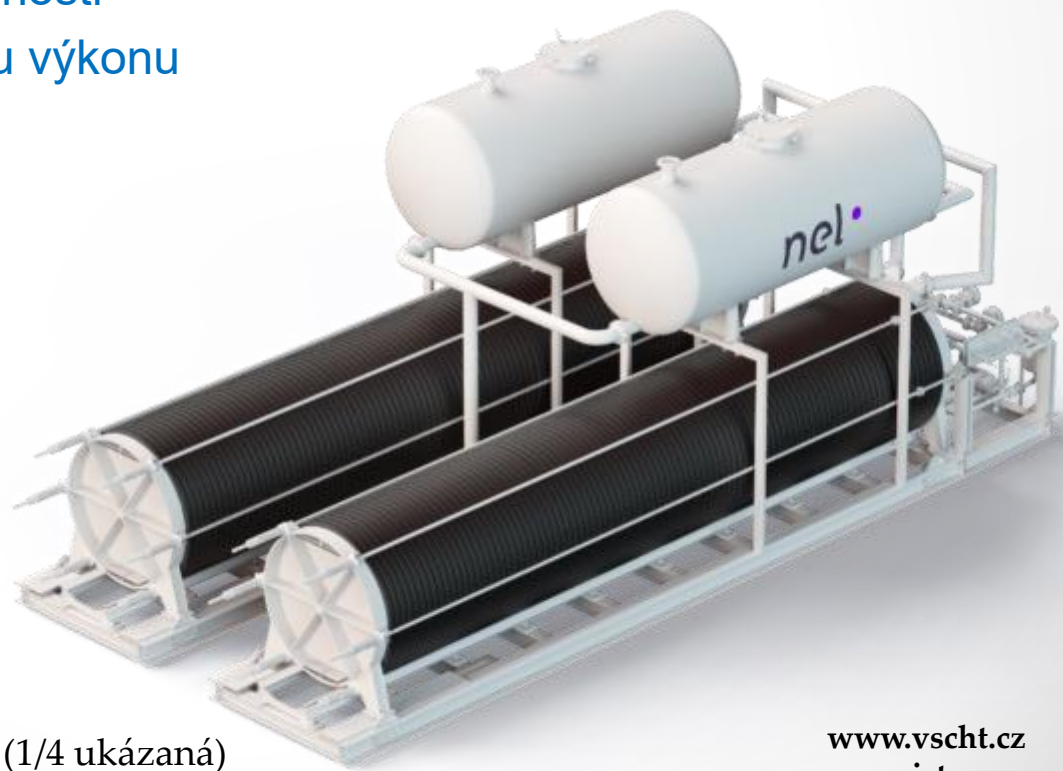
vysokoteplotní a keramickou membránou



# 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 (1/4 ukázaná)

[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





## 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/>



## Vybrané demonstrační projekty

### Projekty financované mimo EU

#### Fukushima Hydrogen Energy Research Field

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



#### Foshanu City

6 MW PEM elektrolyzér  
vodík pro plnicí stanice  
Čína, 2018

#### 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)



# Nejvýznamnější dodavatelé elektrolyzérů

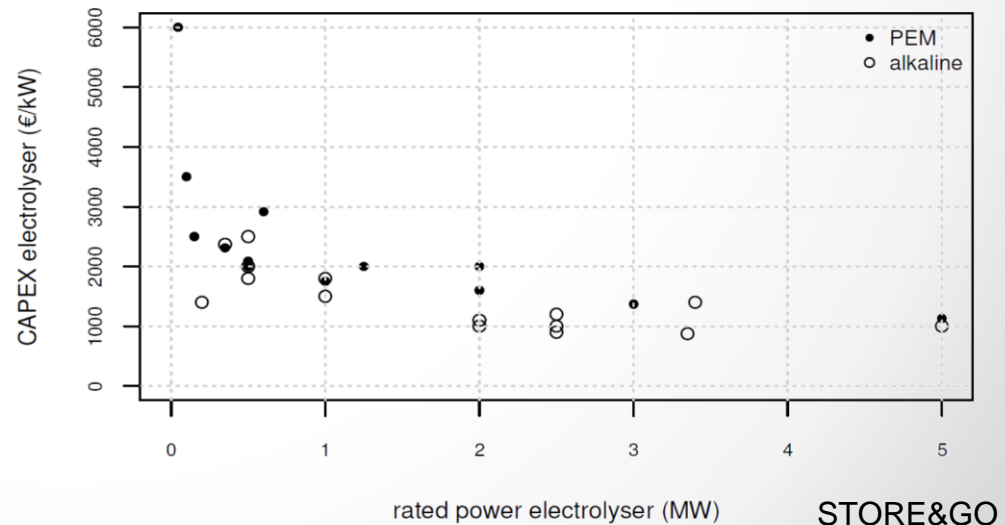
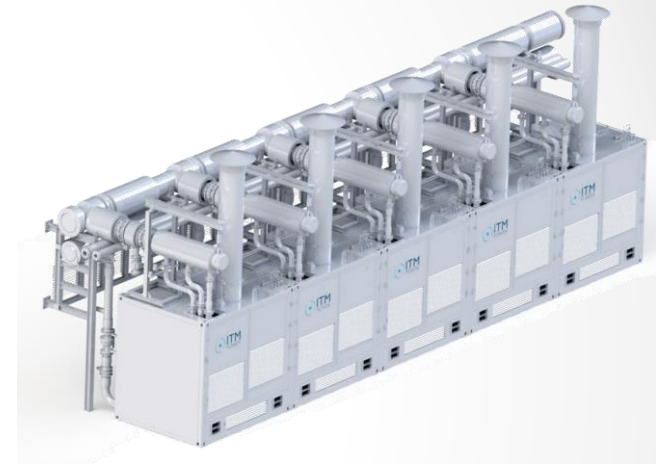
## Rozdělení podle typu technologie

### PEM elektrolýza

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

### SOEC

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





## Palivové články

Nejúčinnější technologie konverze chemické energie na elektrickou

přímá konverze v jednom technologickém kroku

absence pohyblivých částí

nízké riziko škodlivých emisí

Stávající domény uplatnění

mobilita

kogenerační jednotky

záložní zdroje

ostrovní systémy



Ballard fuel cell stack

## Palivové články

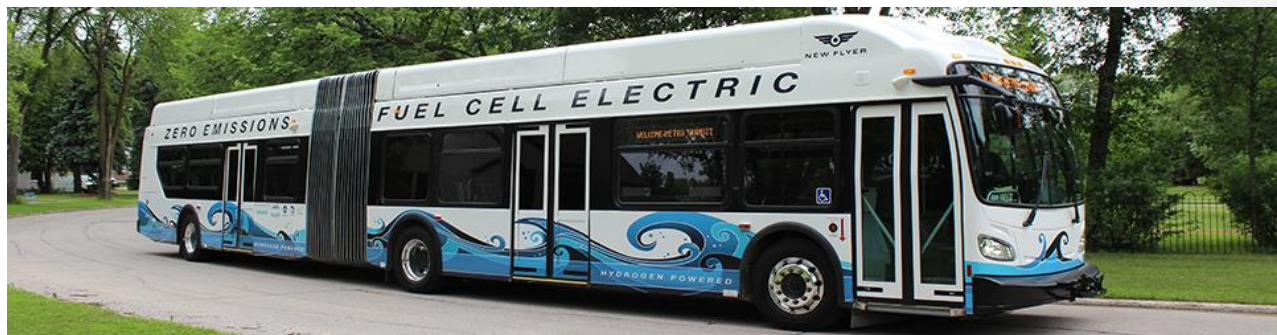
### Komerční realizace

vysokozdvížné vozíky  
kogenerační jednotky



## Palivové články

Komerční realizace  
osobní doprava





## Palivové články

### Komerční realizace

záložní zdroje energie  
vojenské aplikace



# Nejvýznamnější dodavatelé palivových článků

## Rozdělení podle typu technologie

### PEM FC

Ballard Power Systems	(CA)
Nedstack fuel cell tech. B.V.	(NL)
ElringKlinger AG	(DE)
PowerCell Sweden AB	(S)
Intelligent Energy Ltd.	(UK)
Nuvera Fuel Cells, LLC	(USA)
Doosan Fuel Cell America	(USA)
Toshiba Co.	(JP)

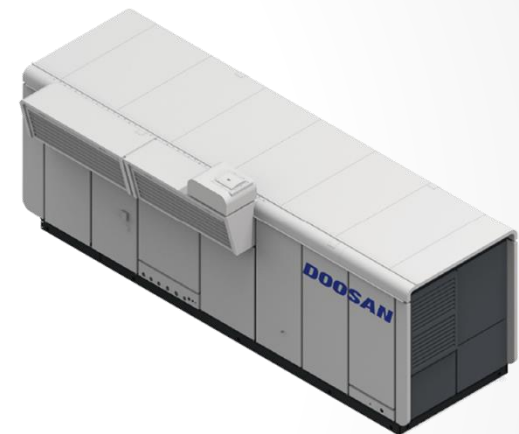
.....

### SOFC

Sunfire	(DE)
Bloom Energy	(USA)
Ceramic Fuel Cells Ltd	(AU)
Mitsubishi Heavy Industries	(JP)

### MFC

FuelCell Energy, Inc	(USA)
Gyeonggi Green Energy Co Ltd	(KR)



440kW PureCell® Model 400 NG  
[www.doosanfuelcell.com](http://www.doosanfuelcell.com)

## 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](mailto:Karel.Bouzek@vscht.cz)

