

Vodík-budoucnost nebo slepá cesta

Tadeáš Ochodek, Jan Vereš



Výzkumné energetické centrum, CEET, VŠB TUO



Fakta o vodíku 1

- **Vodík je jedním z nejrozšířenějších prvků na planetě.**
- **Není primárním zdrojem energie, ale pouze jejím nositelem.**
- **Dekarbonizační ambice EU vedou k hledání nefosilní varianty zajištění výroby elektřiny, dopravy, akumulace, vytápění anebo nových průmyslových aplikací s využitím vodíku.**

Fakta o vodíku 2

- Objemová hustota vodíku je téměř 8x menší než zemního plynu (vysoká spotřeba energie na jeho kompresi i na dopravu, omezeně lze použít stávající potrubí a armatury).
- Objemová výhřevnost vodíku je 3x menší než u zemního plynu (pro stejný energetický obsah je nutno přepravit 3x větší objem vodíku než zemního plynu).
 - Pokud je vodík vyroben z OZE je téměř CO₂ neutrální.

Druhy vodíku

- Green deal (2020) → Fit for 55 (2021) → RepowerEU (2022) → RED III (2023)

Stav před balíčkem Fit for 55			
Terminologie	Technologie	Surovina	GHG stopa
Zelený		Vítr, slunce, voda, geotherm, biomasa	Minimální
Růžový/fialový	Elektrolýza	Čistá elektrická energie	Nízká
Žlutý		Elektrická energie ze sítě	Nízká Vysoká
Modrý	SMR/POX + CCUS	Zemní plyn, ropné zbytky, uhlí	Nízká
Tyrkysový	Pyrolýza	Zemní plyn, ropné zbytky	Pevný uhlík
Šedý	SMR/POX		Střední
Hnědý	Gasifikace	Hnědé uhlí	Vysoká
Černý		Černé uhlí	

Současný stav	
Terminologie	Definice
RFNBO	Možné vyrábět pouze z ne-biogenních OZE Pravidla výroby jsou detailně popsána v samostatném aktu přenesené pravomoci
Nízkouhlíkový	Momentálně nejsou zcela jasná pravidla pro nízkouhlíkový vodík – ta budou definována v rámci samostatného aktu v přenesené pravomoci.
Ostatní (šedý)	Vše, co nespadá do kategorií výše

RFNBO (renewable fuels of non-biological origin) se počítá ještě **vodík** vyrobený s pomocí čpavku, metanolu nebo syntetické náhrady benzínu a nafty.

Pravidla pro výrobu obnovitelného vodíku



Surovina

- OZE nebiogenního původu: **vítr, voda, slunce, geoterm, vlny**

- Nelze použít elektřinu z biomasy, odpady, jadernou energii
- Jedinou v výrobní technologii je elektrolýza**



Adicionalita

- Elektrolyzér nesmí využívat elektřinu z OZE uvedeného do provozu **dříve než 36 měsíců** před uvedením elektrolyzéro do provozu.
- Elektrolyzér **nesmí** být napojen na **provozně či investičně podpořený** OZE od roku 2028, do roku 2028 může.
- Pro elektrolyzéry **spuštěné do roku 2028 platí v ýjimka z adicionality**, která je platná až do prosince 2038.

- ČR se v produkci RFNBO vodíku bude muset spolehnout** převážně na **kombinaci větru a slunce**. V ČR bohužel nejsou příliš vhodné podmínky pro OZE (jedny z nejhorších v EU). Produkce RFNBO tak bude v ČR velmi drahá.
- Výjimka z adicionality vytváří alespoň dočasné využití stávajících zdrojů OZE pro výrobu vodíku.



Časová korelace

- Do roku 2030 měsíční, od roku 2030 pouze **hodinová korelace**

- Vede k **nízké utilizaci elektrolyzéro** – tedy k vyšší jednotkové ceně vodíku



Geografická korelace

- Elektrolyzér se musí nacházet ve **stejně obchodní zóně jako OZE z kterého čerpá elektřinu**
- Elektrolyzér může využívat elektřinu z vedlejších obchodních zón pouze pokud je cena elektřiny na vedlejším trhu stejná, nebo vyšší než v obchodní zóně, kde se elektrolyzér nachází.

- Druhá podmínka vede k zásadním obchodním rizikům pro provozovatele elektrolyzéro, využívajících elektřinu ze sousedních obchodních zón – z tohoto důvodu není **v využití elektřiny z vedlejších obchodních zón příliš pravděpodobné**.

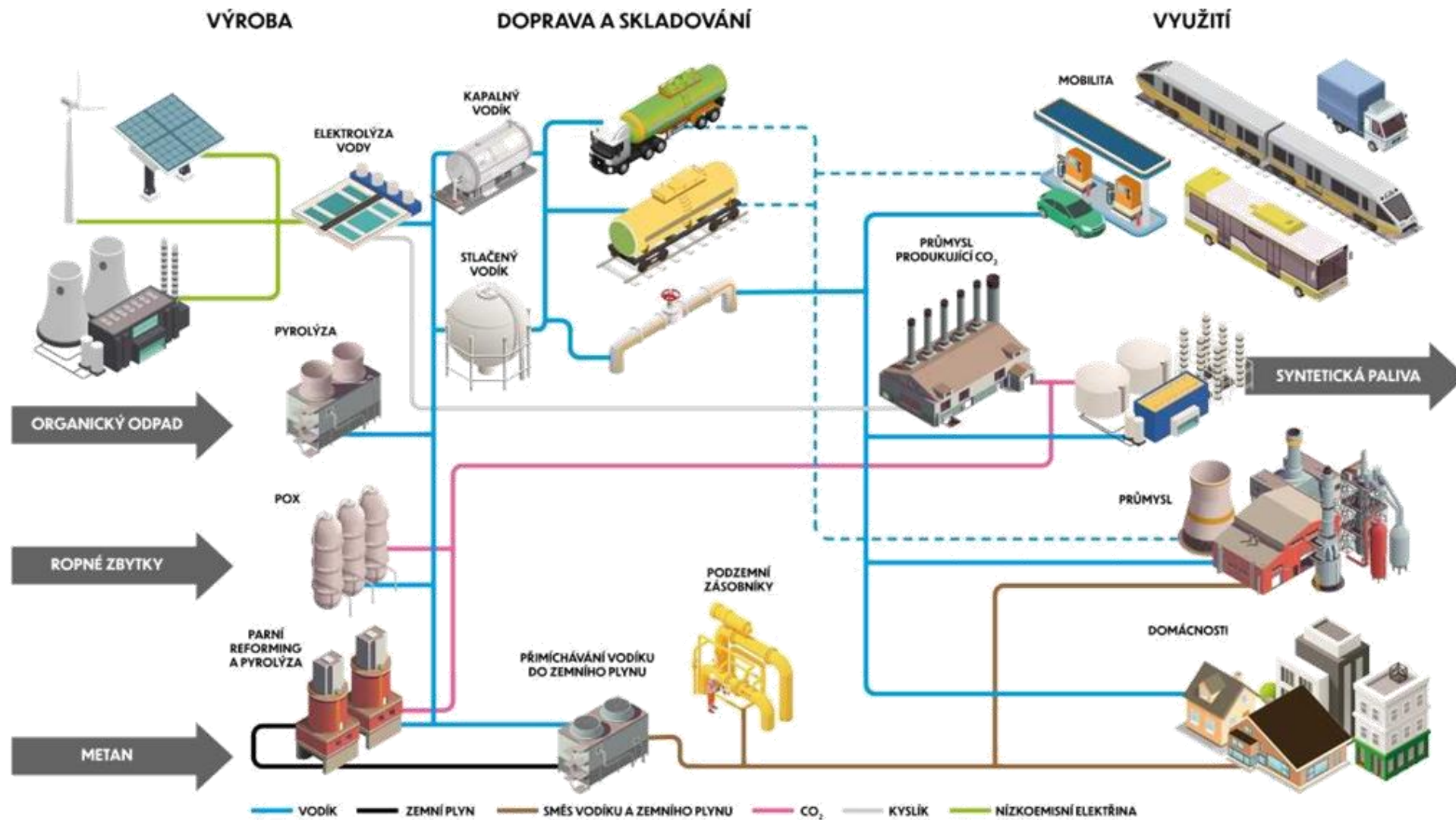


Emisní stopa

- K výpočtu úspory emisí při použití RFNBO a recyklovaných paliv s obsahem uhlíku je nutné použít metodologii definovanou v samostatném delegovaném aktu. **Uhlíková stopa** RFNBO vodíku **nesmí přesáhnout 28,2g CO₂ / MJ** po započtení emisí spojených s přepravou, kompresí, chlazením atd.

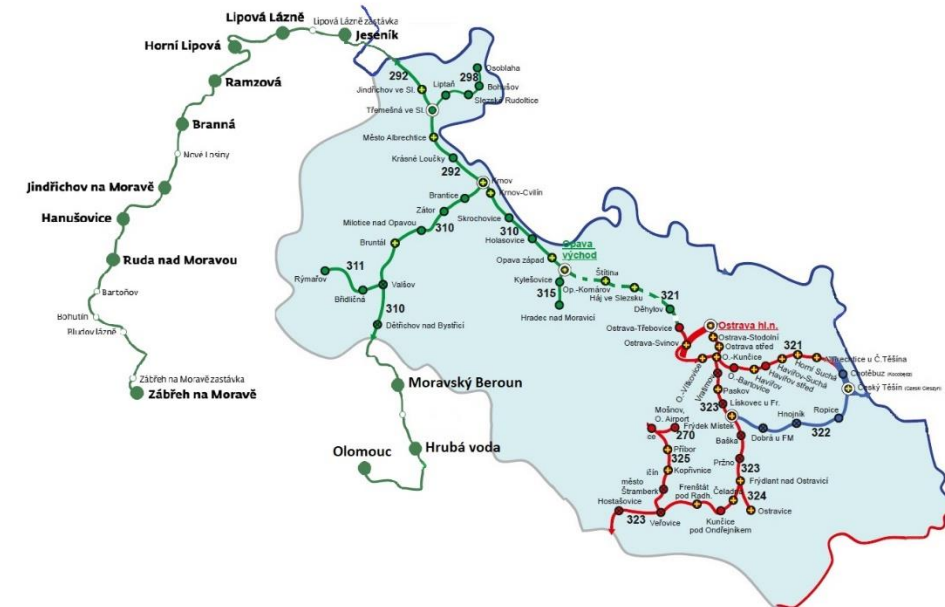
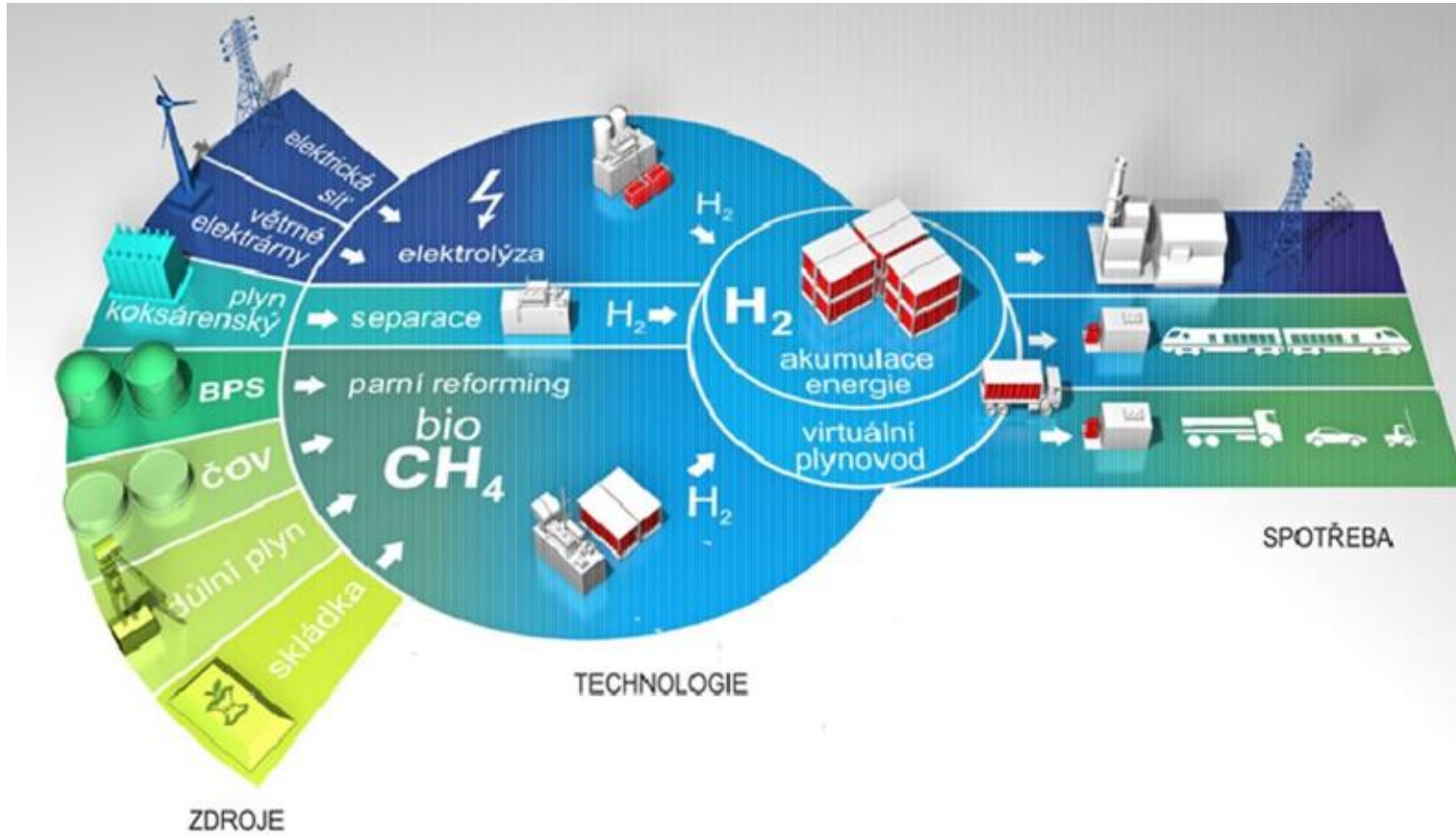
- Emisní strop představuje další optimalizační problém – vykazování bude probíhat na měsíční úrovni a pokud firma pochybí a emisní stopa vyrobeného vodíku přesáhne hranici 28,2g CO₂ / MJ, tak celá měsíční produkce bude mít v zásadě hodnotu šedého vodíku.

Zdroj: Studie: připravenost ČR na vodíkové hospodářství (pwc, Svaz průmyslu a dopravy ČR, ORLEN Unipetrol, únor 2024)



Zdroj: Národní H₂ strategie, MPO ČR

Vodíkové údolí MSK koncepce – komplexní řešení



Zdroj: www.chytrejsikraj.cz

Vodíkové strategie ČR a MSK a realita

- Aktualizace vodíkové strategie ČR byla schválena vládou ČR 17.7. 2024
- Strategie rozvoje vodíkových technologií MSK byla aktualizována 13.5.2024

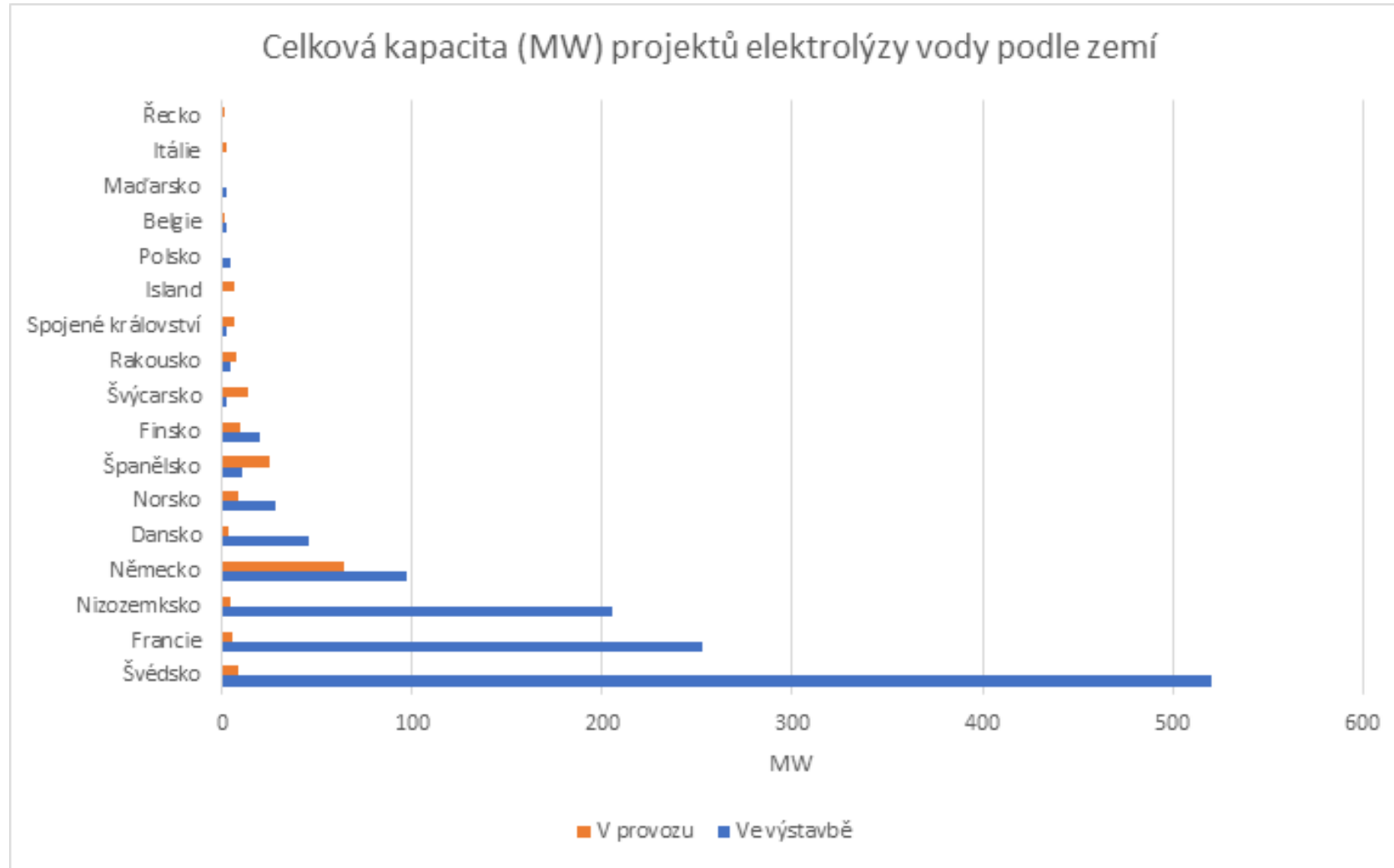
Dílčí cíle:

- Dle směrnice RED spotřebovat v roce 2030 20 000 t RFBNO vodíku v průmyslu a dopravě.
- Vybudovat min 400 MW_e kapacity elektrolyzérů s využitím 30% - 50%.
- Nastavit investiční a provozní podporu pro lokální výrobu vodíku v ceně pod 8€/kg (zejména pro projekty s realizací do konce roku 2027). Výrobní cena ≠ prodejní cena, viz čerpací stanice USA, Rakousko, Německo.
- **Doprava**

Kategorie vozidel	2025	2030	2035
Osobní vozidla	200	3 000	8 000
Městské i dálkové autobusy	10	200	350
Lehká užitková vozidla	50	800	3 500
Nákladní automobily typu N2 a N3	10	380	1 500

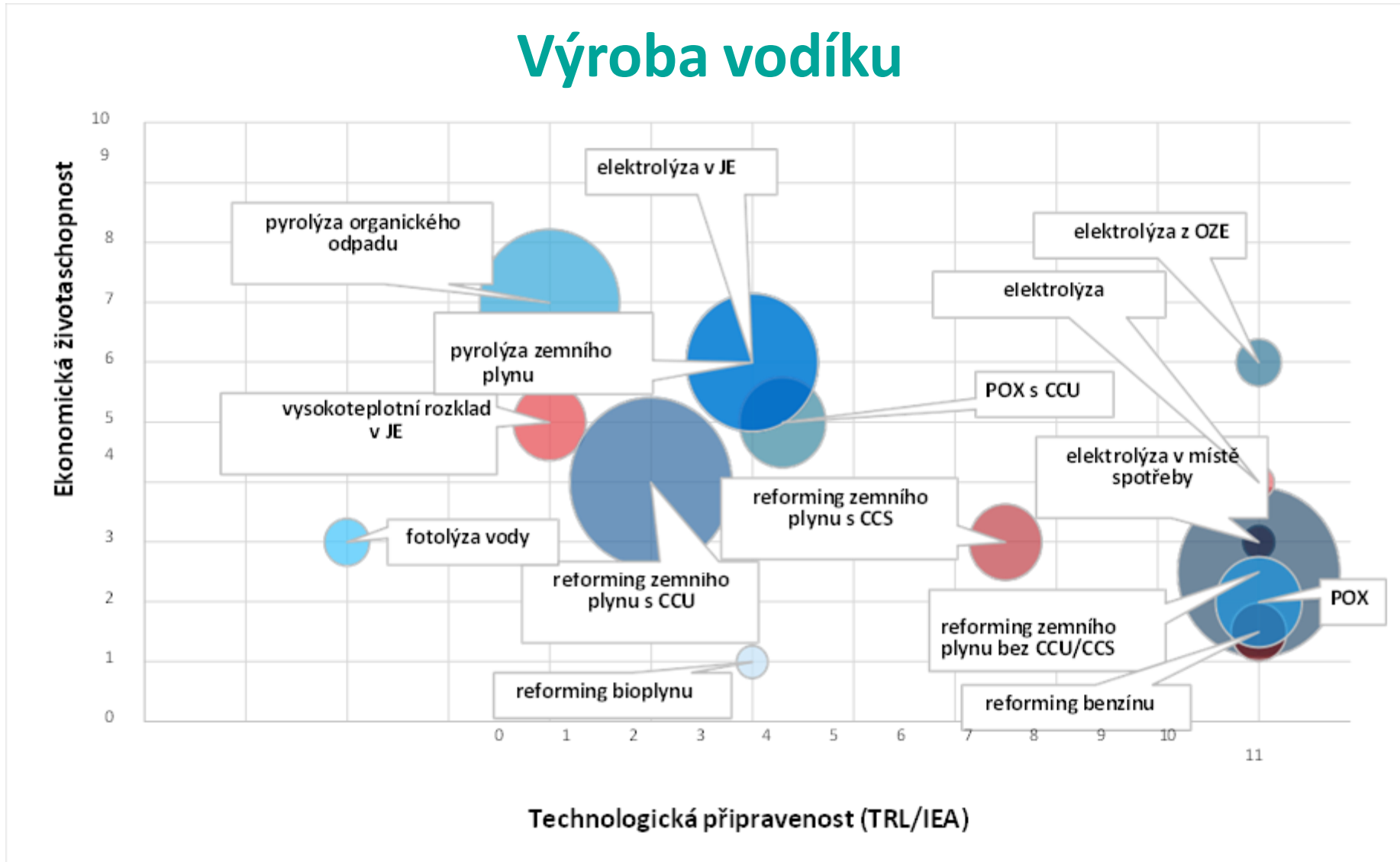
Vodíkové strategie ČR a MSK a realita

Kategorie vodíkové čerpací stanice	2025	2030	2035
Veřejné čerpací stanice podél hlavní sítě TEN-T podle podmínek AFIR každých 200 km	1	10	20
Veřejné stanice v městských uzlech i mimo ně (do 300 kg denně)	4	30	50
Neveřejné čerpací stanice pro potřeby podnikatelů a hromadné dopravy	5	10	30

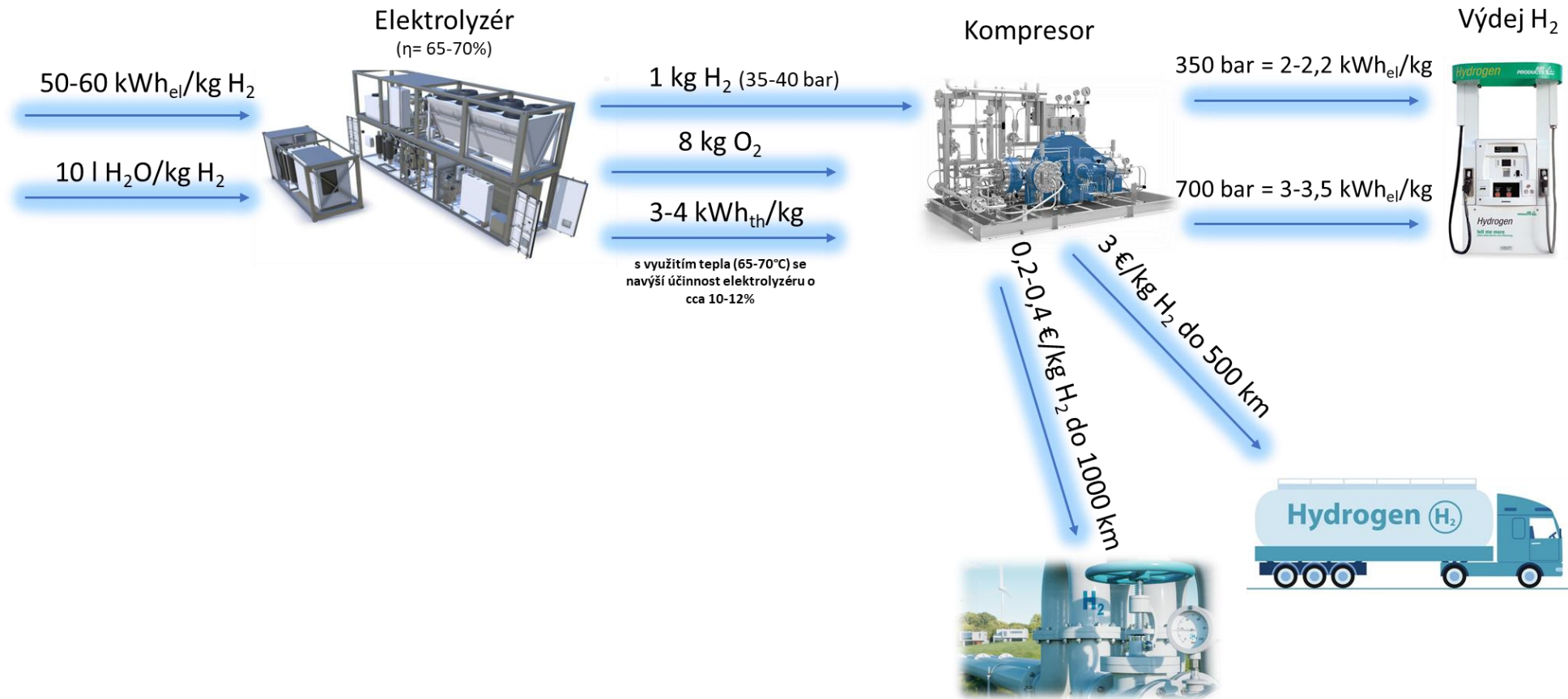


Zdroj: The European hydrogen market landscape, November 2023, Clean Hydrogen JU

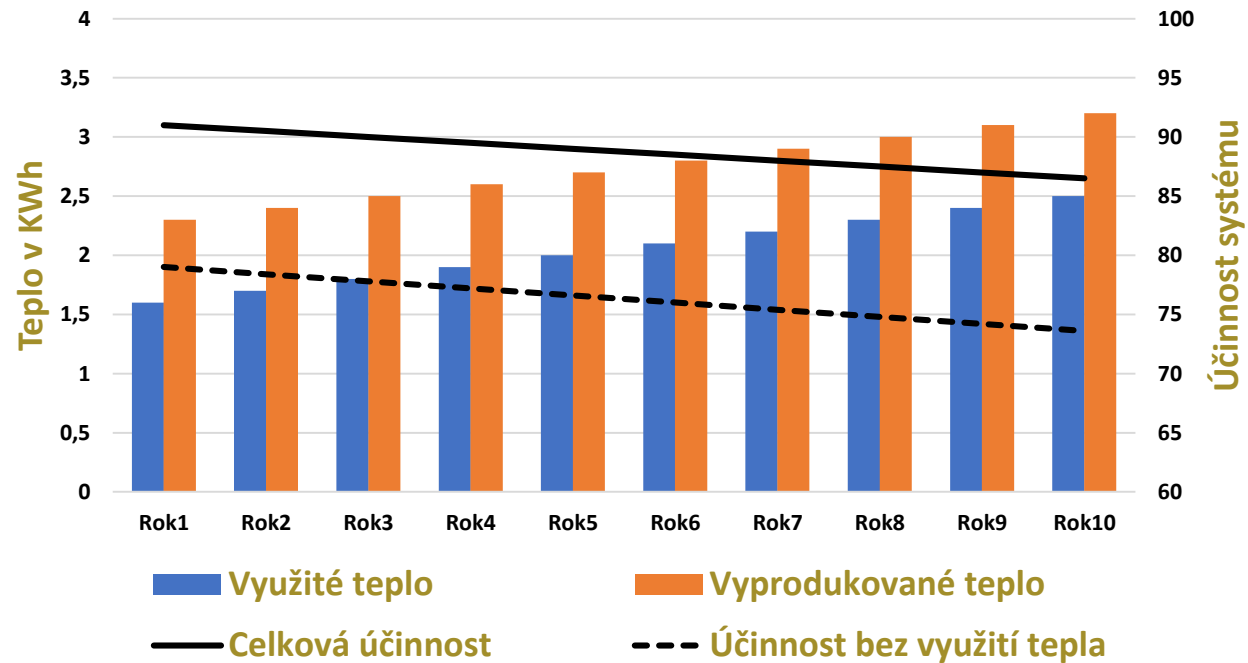
Výroba vodíku



Energetická bilance výroby a dopravy vodíku z elektrolyzátoru



Vliv využití tepla na účinnost elektrolyzáru



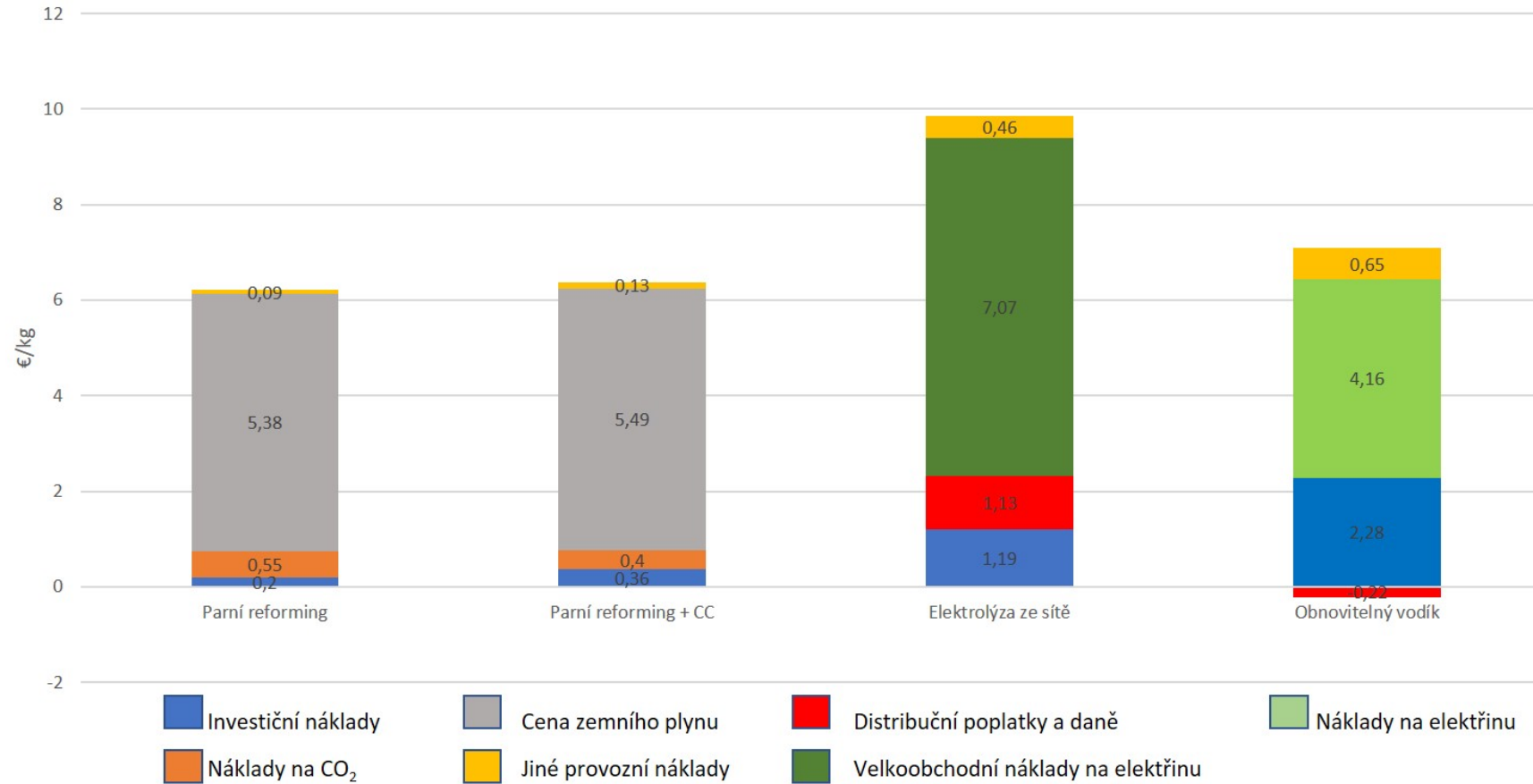
Zdroje:

Els van der Roest, Ron Bol, Theo Fens, Ad van Wijk: Utilisation of waste heat from PEM electrolyzers – Unlocking local optimisation, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 48, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.374>.

Mithran Daniel Solomon, Wolfram Heineken, Marcel Scheffler, Torsten Birth-Reichert: Cost Optimization of Compressed Hydrogen Gas Transport via Trucks and Pipelines, Energy Technology, Volume 12, 2024. <https://doi.org/10.1002/ente.202300785>

DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record

Průměrné náklady na výrobu vodíku podle technologie v Evropě



Zdroj: The European hydrogen market landscape, November 2023, Clean Hydrogen JU

Předpokládaná cena vodíku RFNBO v ČR z elektrolyzáru v roce 2030 bez dodatečných dopravních nákladů

Podle studie Leef technologies, s.r.o. reálně předpokládaná výrobní cena* RFNBO vodíku v ČR bude mezi **8-15 eur/kg**.
Níže jsou uvedeny změny předpokladů o odhadované výrobní ceně RFNBO vodíku v roce 2030.

Referenční cena výroby	4.7	Spotřeba el. energie: 55 kWh/kg, Faktor zatížení: 50 %. cena el. energie 35 EUR / MWh*. CAPEX elektrolyzáru: 0.9M EUR/MW
CAPEX elektrolyzáru – vyšší	3.0	CAPEX elektrolyzáru zvýšen na: 1.2M EUR/MW
CAPEX další položky	0.7	CAPEX akumulace
Nižší účinnost	0.8	Nižší účinnost výroby: 61 kWh/kg
Cena elektřiny z OZE - vyšší	2.2	Zvýšení ceny elektřiny z OZE: až 70 EUR/MWh
Připojení k síti	2.5	Distribuční poplatky; Předpoklad, že 90 % je odebíráno z veřejné sítě.
Lepší faktor zatížení	1.1	Zvýšení zátěžového faktoru na 90 % díky většímu instalovanému výkonu OZE a připojení k síti
Dotace	1.8	50% dotace na CAPEX
Realistická výrobní cena	11.0	Tato analýza vznikla pod záštitou ORLEN Unipetrol, Veolia, ENETIQ, ČEPS.

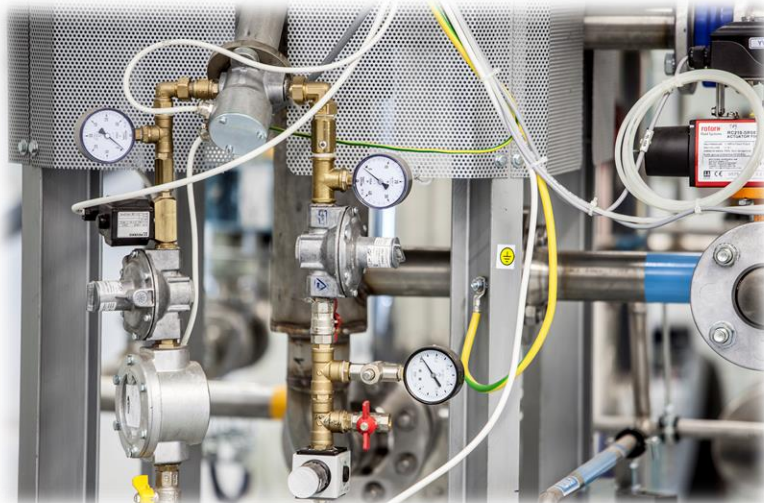
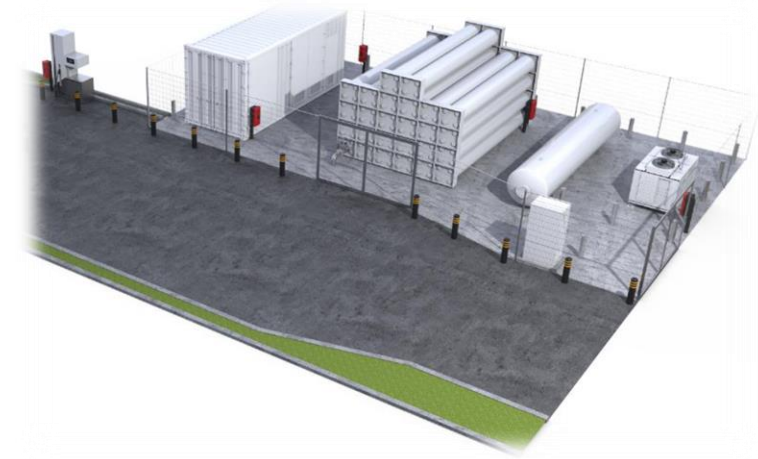
*Dle předpokladů thinktank společnosti EMBER, region CEE může do roku 2030 snížit ceny elektřiny o třetinu díky ambicióznímu nasazení větru a solární energie

- Jedná se o cenu vodíku vyrobeného v ČR elektrolyzou – na výstupu z elektrolyzáru
- Prodejní cena na plnicí stanici pro veřejnost by v realitě mohla dosahovat až 16 EUR vč. logistických nákladů.
- Přepravní náklady (přeprava vodíkovým odem) se odhadují na 0,11 – 0,21 € na 1 kg vodíku na 1 000 km.
- Náklady na kompresi a skladování vodíku, náklady na úpravu vody pro elektrolyzáru, možné dočištění na požadovanou čistotu nejsou součástí tohoto výpočtu.
- Cena vodíku z dovozu se může pohybovat od 4,5 – 12 EUR za kg v závislosti od místa výroby a dalších logistických nákladů

Zdroj: Studie: připravenost ČR na vodíkové hospodářství (pwc, Svaz průmyslu a dopravy ČR, ORLEN Unipetrol, únor 2024)

Unikátní balíček služeb pro vodíkové hospodářství

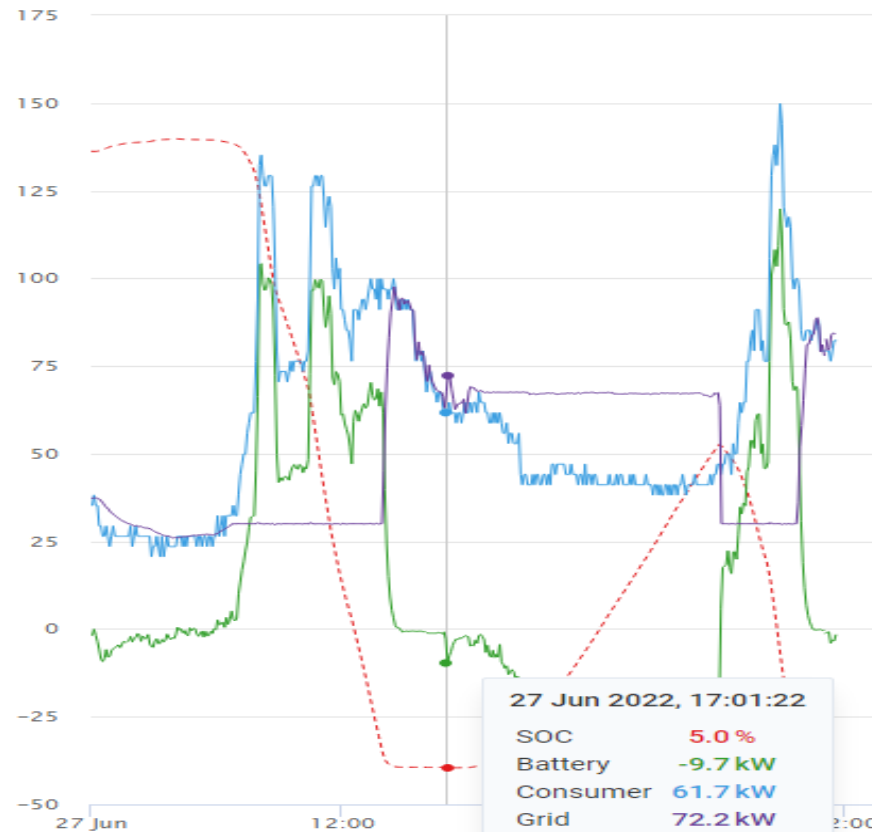
- Zpracování technicko-ekonomických studií se zaměřením na vodíkové technologie
- Energetický monitoring a optimalizace, energetický management
- Monitoring obnovitelných zdrojů
- Komplexní projekční a konstrukční činnost v oblasti vodíku



Technická analýza výroby vodíku pomocí elektrolýzy s využitím fotovoltaických panelů a bateriového úložiště

Optimalizace systému výroby vodíku obsahující následující technologické části:

- FV instalace
- Bateriové uložení
- Elektrolýza
- Kompresor
- Skladování vodíku
- Čerpací stanice



PV panels



Production 2 050,3 MWh

BAT



Overflow 392,5 MWh

Electrical grid



Overflow
217,9
MWh

Directly from
PV
1 440,0
MWh

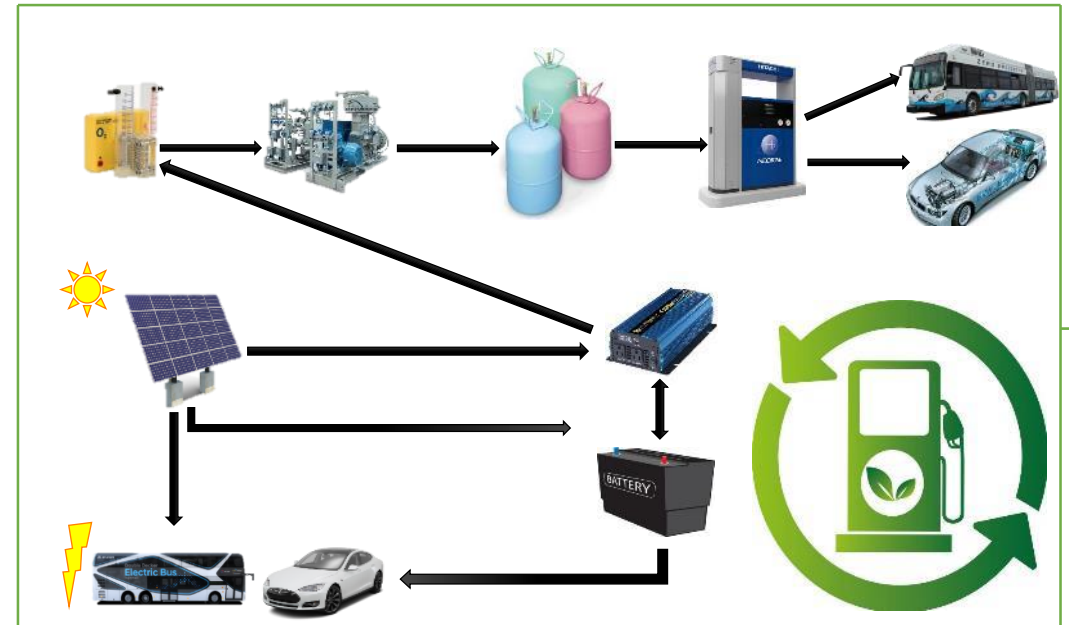
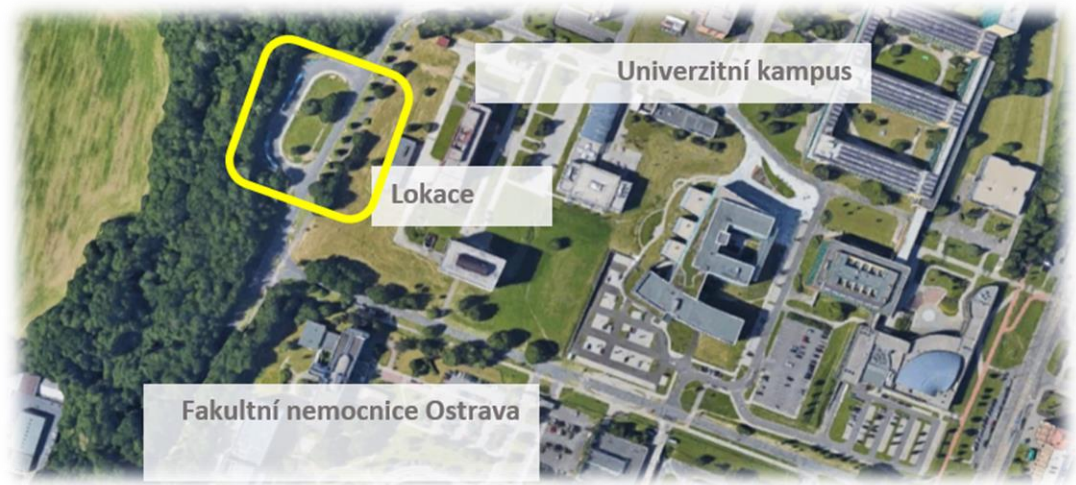
From the grid
2 344,4 MWh



Consumption 4 177,8 MWh

Zelené inovace v průmyslu

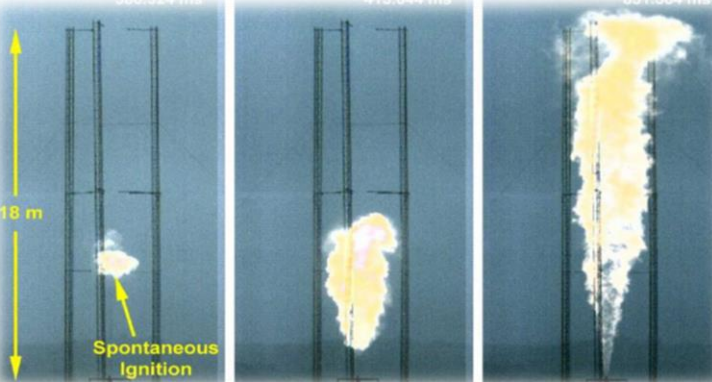
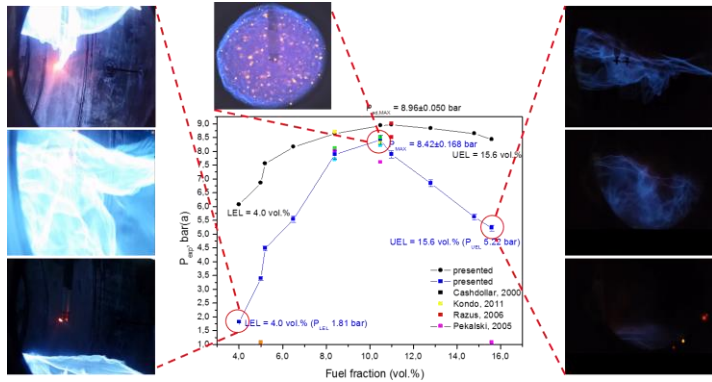
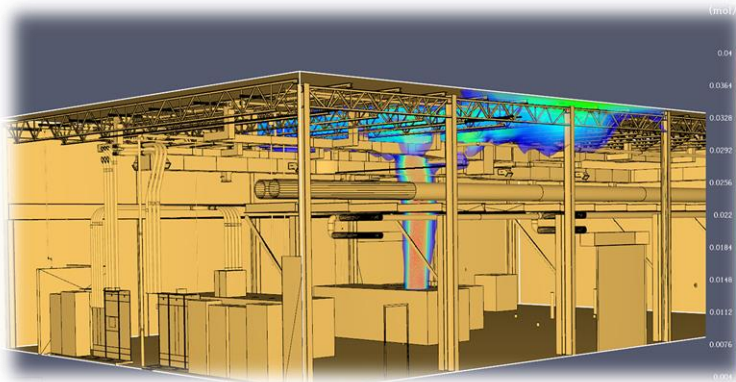
- Ekologická stanice pro vozidla s alternativním pohonem
- Vodík pro automobily a autobusy
- Výkonné nabíjecí stanice pro elektromobily a autobusy



Energy
management
VSB-TUO

Stanovení technicko-bezpečnostních parametrů vodíku

- Analýza experimentálních faktorů ovlivňujících stanovení parametrů výbuchu.
- Dostupné nástroje pro modelování výzkumu vodíkových směsí (EFFECT, ALOHA).
- Experimentální ověření mezí hořlavosti a výbušnosti.



Bariéry rychlé záměny ZP za vodík

- **Legislativní-složitost procesu výstavby (viz případová studie výstavby elektrolyzéro, zdroj: Česká vodíková technologická platforma+ PwC, březen 2023)**
- **Technologické (výroba-stav technologii, doprava potrubím a nákladní doprava, skladování-tlakové láhve).**
- **Ekonomické (kromě podpory výstavby, bude nutno řešit i provozní podporu).**

Chybí však zásadní odpověď: Kde se vyrobí plánované množství ekonomicky akceptovatelného vodíku?

Závěry

- **Vodík může v budoucnu hrát důležitou roli v dekarbonizaci energetiky, teplárenství a průmyslu.**
- **Harmonogram rozšíření jeho uplatnění je však třeba stavět na realistických scénářích. Rozhodující úlohu bude hrát legislativní zázemí, technické možnosti a ekonomika vodíkových aplikací.**
- **Je nutno zásadně zvýšit prostředky do vývoje vodíkových technologií a dále podpořit výstavbu velkých pilotních instalací, které budou následně předmětem podrobné analýzy.**

Děkuji za pozornost



doc. Dr. Ing. Tadeáš Ochodek

+420 603 565 921

tadeas.ochodek@vsb.cz

Ing. Jan Vereš, Ph.D.

+420 731 664 268

jan.veres@vsb.cz

<https://ceet.vsb.cz/vec>