

Vodík a jeho využití v kogeneračních jednotkách

Martin Paidar

Česká vodíková technologická platforma

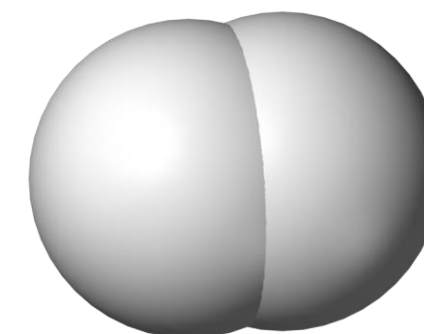
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Proč vodík?



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

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



+ proč ano:

produkt oxidace

reaktivita

hustota energie

+ proč ne:

hustota energie

reaktivita

obavy veřejnosti

Je to energeticky bohaté palivo



Paliva - srovnání

Vlastnost\ látka	Vodík H_2	Metan CH_4	Benzín
Bod varu (při 1bar) (°C)	-253	-162	37 – 205
Skupenství 25°C, 1bar	plyn	plyn	kapalina
Výhřevnost LHV ($kJ\ g^{-1}$) Spalné teplo HHV ($kJ\ g^{-1}$)	120 142	50 55,5	44,5 48
Meze hoření (obj. % se vzduchem)	4,0 – 75	5,3 – 15	1,0 – 7,6
Mr ($g\ mol^{-1}$)	2,02	16,0	~107
Teplota palmene na vzduchu (°C)	2045	1875	2200
minimální iniciační energie (mJ)	0,02	0,29	0,24
hustota ($g\ L^{-1}$)	0,089	0,676	~700

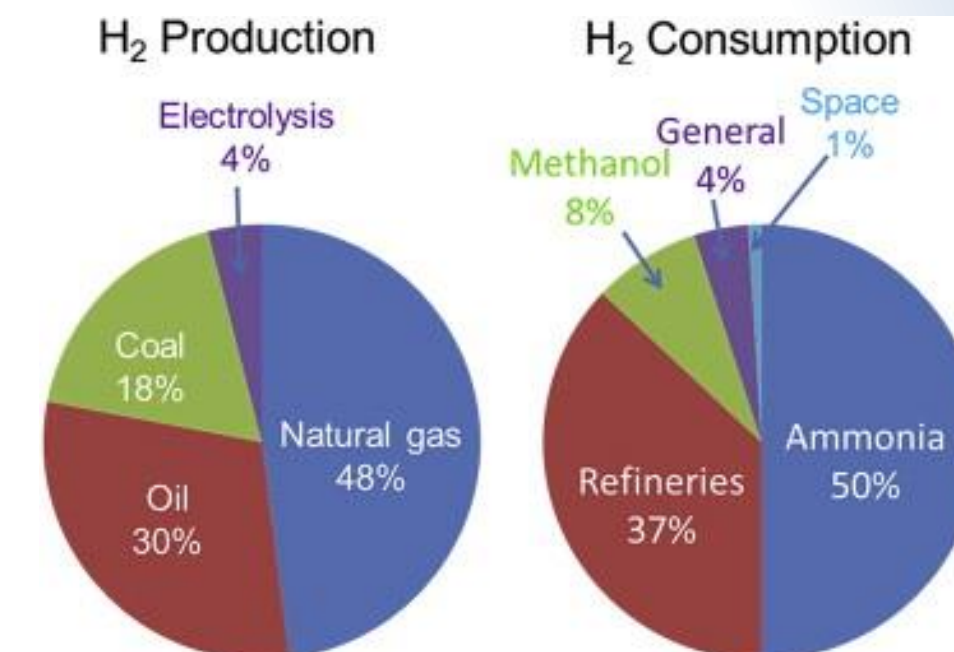
Využití vodíku

Zavedené > 80 Mt ročně (svět)

- Chemický průmysl – petrochemie, amoniak,...
- Potravinářství
- Kosmické aplikace

Nové

- Doprava
- Energetika – kogenerační jednotky, záložní zdroje
- Ukládání energie
- Transformace průmyslu (železářny,...)
- Medicínské aplikace



Lan, R., Irvine, J.T.S., Tao, S. Int J Hydrogen Energy 37, 2012, 1482



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

Využití vodíku v kogeneraci – nic nového

Palivový článek s taveninou uhličitánů (MCFC)

- elektrolyt - taveniny uhličitánů alkal. kovů v porézní matrici $\text{LiAlO}_2 : \text{Li}_2\text{CO}_3 + \text{K}_2\text{CO}_3$ (Na_2CO_3) v g- LiAlO_2
- katalyzátor - na bázi Ni, Ni-Cr, Ni-Al
- provozní teplota ~ 650°C
- účinnosti až 60%, při využití tepla až okolo 85%
- interní reformování - tj. lze použít rovnou uhlovodíky např: CH_4
- silně korozivní prostředí - degradace materiálů
- sloučeniny síry - katalytický jed

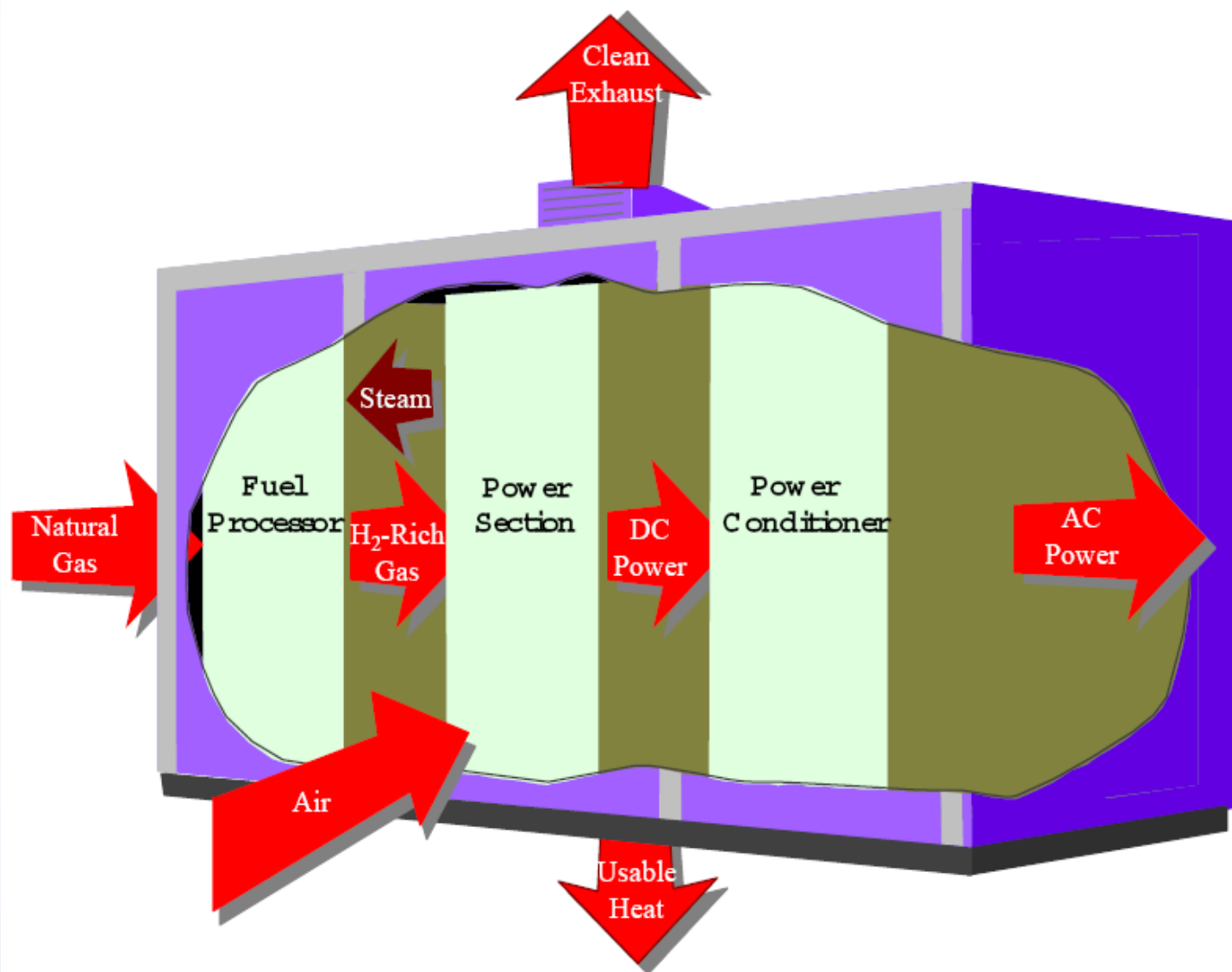


250-kilowatt MCFC power plant: www.utcfuelcells.com
2007

Využití vodíku v kogeneraci

Vodík, jako vstupní palivo do kogeneračních jednotek

Vodík generovaný z jiných paliv (metan) pro palivové články



významný vliv má velikost jednotky

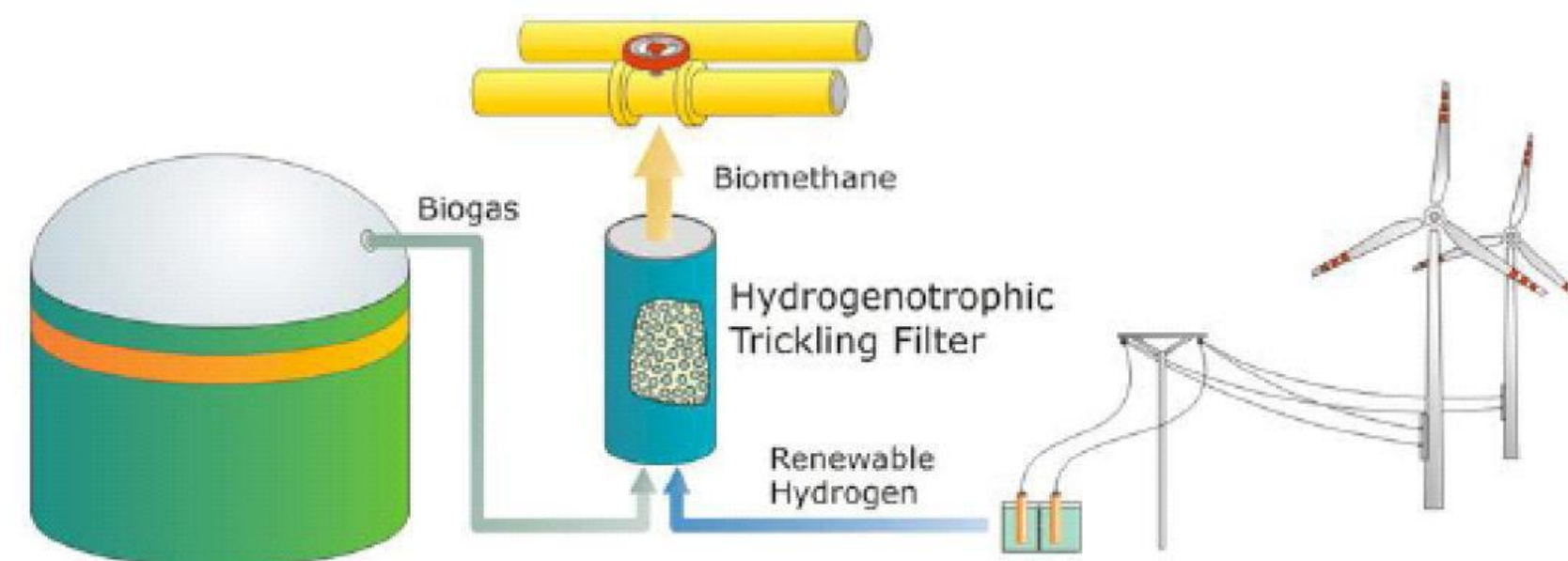
Typ	η_{el}	η_{th}	$\eta_{celková}$
Plynový motor	30 - 40%	42 - 55%	80 - 90 %
Dieselův motor	34 - 45%	40 - 48%	80 - 90 %
Parní motor	12 - 17 %	50 - 72%	75 - 85%
Parní turbína	12 - 20 %	50 - 70%	75 - 85 %
Plynová turbína	20 - 38%	45 - 65%	75 - 85%
Stirlingův motor	15 - 25%	60 - 70%	80 - 90 %
ORC-turbína	11 - 15%	50 - 75%	75 - 85%
Palivové články	25 - 55%	35 - 60%	75 - 90 %

Využití vodíku pro KVET

**Zdroje vodíku omezené – emisní stopa („zelený, modrý, šedý“)
Distribuční síť pro H₂ – limitované kapacity**

Bioplynové stanice – možnosti pro využití vodíku

- Upgradování bioplynu – vtlačování nebo KVET
- Blending biometan + H₂ – vtlačování nebo KVET
- Produkce e-fuels
- Výroba bio-vodíku



Legislativní pojmy

Green gas – obnovitelné a nízkouhlíkové plyny (biometan, vodík)

RFNBO – obnovitelné palivo nebiologického původu (vodík, e-metan) RED III zavádí povinné cíle pro spotřebu obnovitelného vodíku v průmyslu (42 %) a v dopravě (1 % z celkové spotřeby energie) do roku 2030.

Obnovitelný vodík - Dnes dle legislativy vyráběn jen elektrolýzou vody za použití elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (s výjimkou biomasy)

Nízkouhlíkový vodík - Méně podporovaný, ale přesto v legislativě nadefinovaný typ vodíku. Takovýto vodík je vyráběn, pokud emise výroby nepřesáhnou 3,38 kg CO₂ na 1 kg.

Adicionalita – pro PPA kontrakty nutnost souběhu OZE a produkce H₂ (časová a geografická) do 2030 měsíční pak hodinová

– ze sítě si lze vybírat jen OZE, které nejsou starší 36 měsíců od spuštění/výstavby elektrolyzéru, tyto OZE nesmí být podpořeny investičně či provozně

- na adicionalitu u OZE ze sítě dala Komise EU výjimku u projektů spuštěných do 2028, která trvá až do roku 2038, výjimka platí i na pravidlo s investiční či provozní podporou

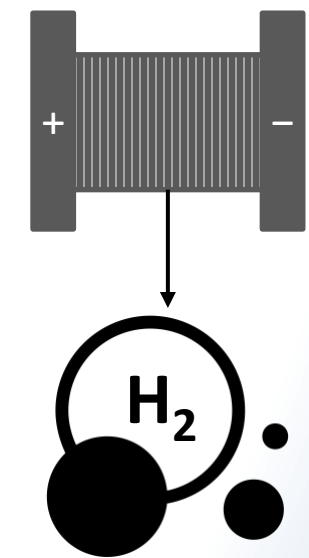
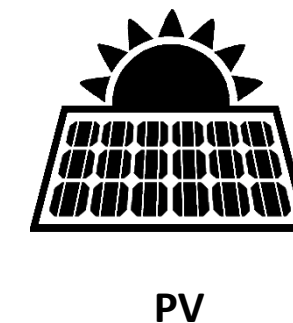
Možnosti výroby H₂ z OZE

Ize v ČR zajistit dodávku H₂ z OZE ?

sezónnost – nároky na skladování?

potřebná velikost elektrolyzáru (investiční náročnost)

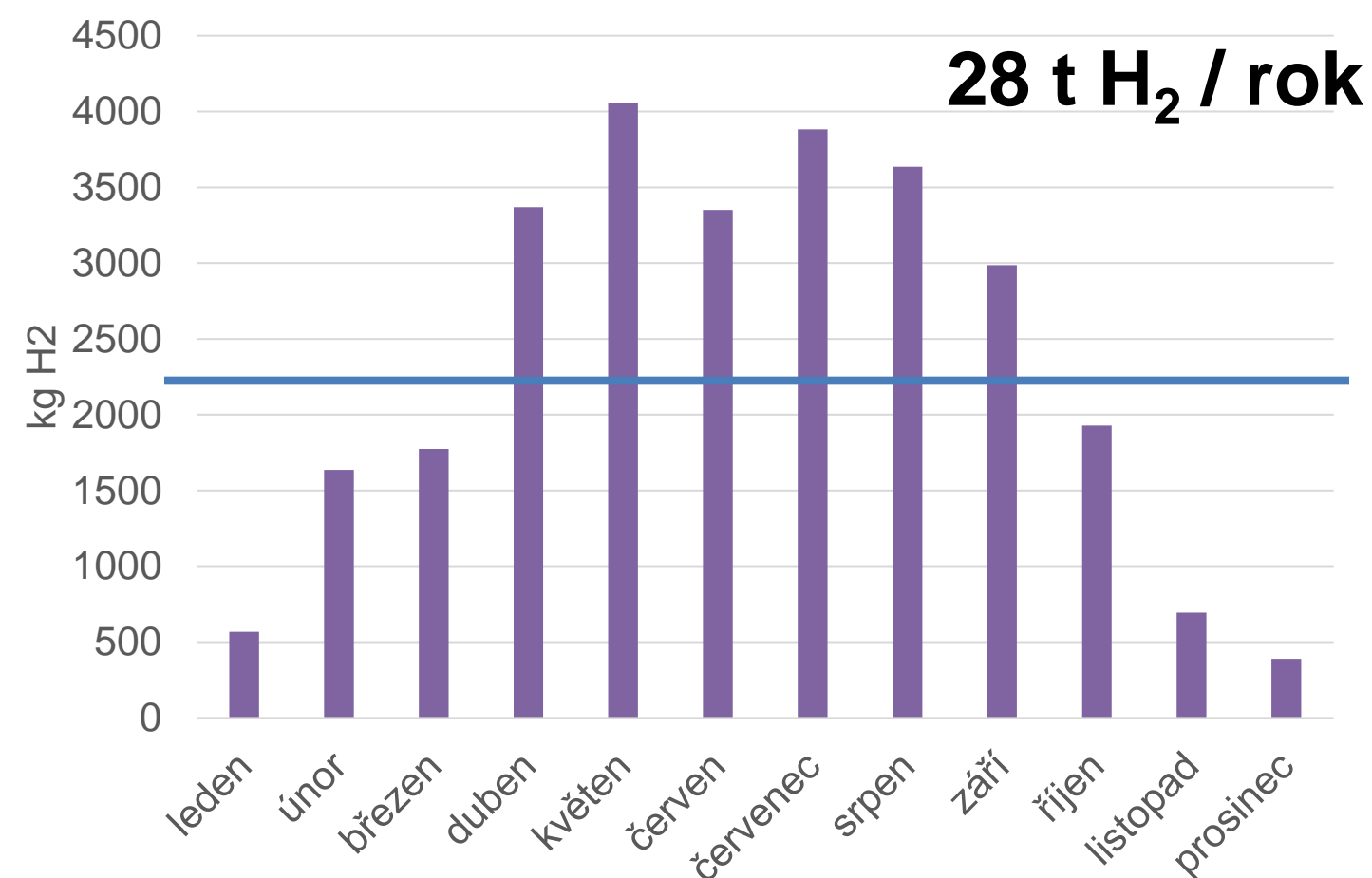
- PV elektrárna + WE
- Větrná elektrárna + WE
- Kombinace PV+Větrná + WE
- PV + grid (PPA) + WE



Výroba H₂ z OZE

1,4 MW_{peak} PV + 1 MW WE

PV

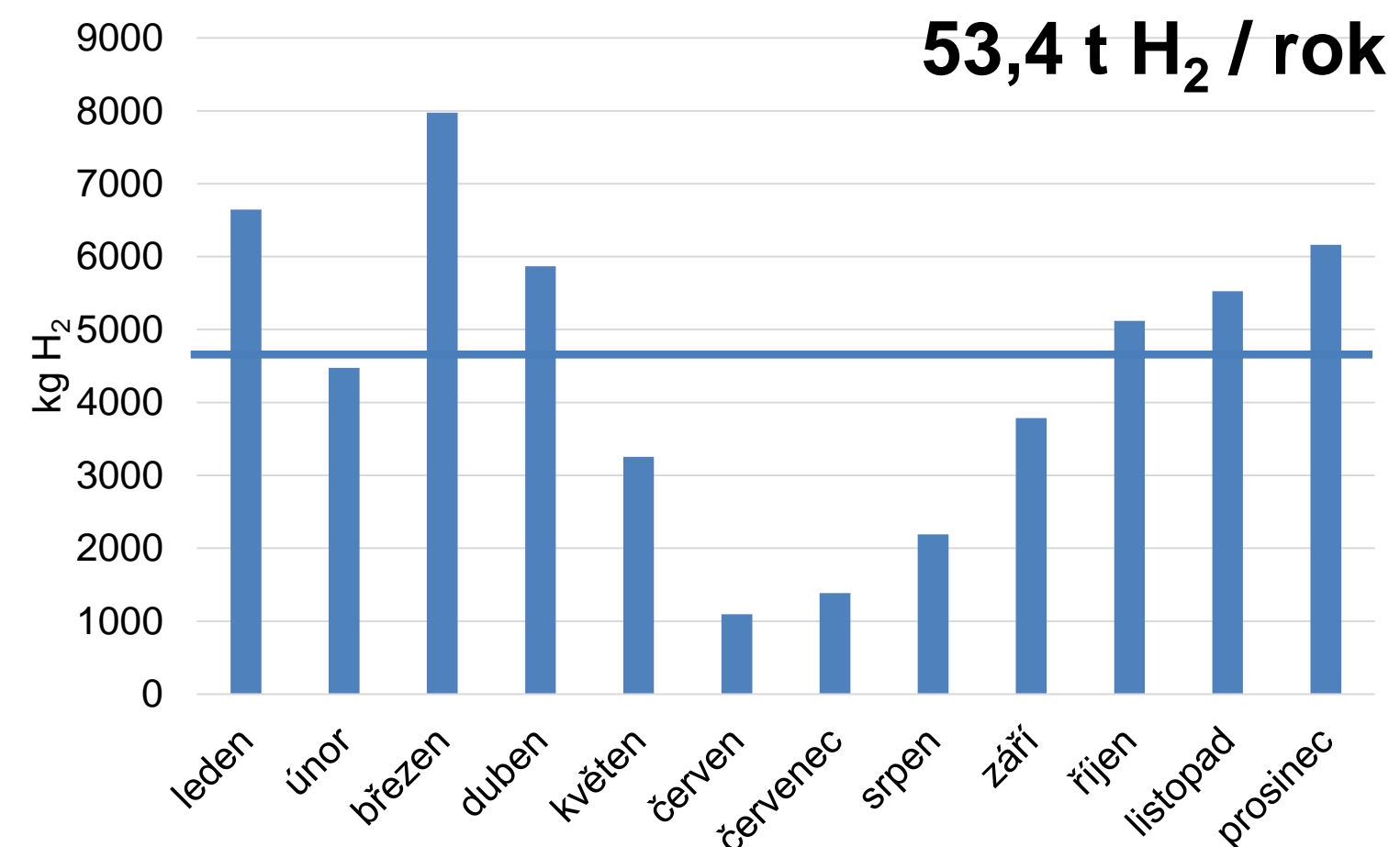


na 100 t/rok

**cca 5,5 MW PV + 4 MW WE +
27 t H₂ sklad.**

2 MW_{peak} VE + 1,6 MW WE

Wind



na 100 t/rok

**cca 4 MW VE + 3 MW WE +
18 t H₂ sklad.**

Možnosti produkce H₂

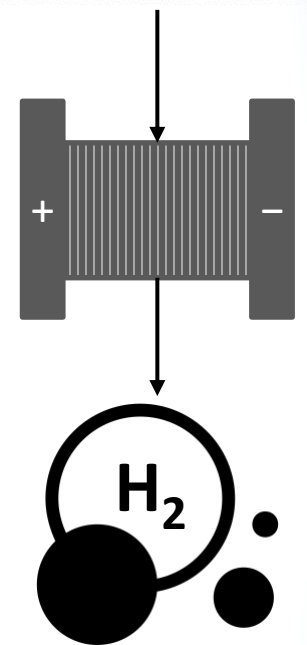
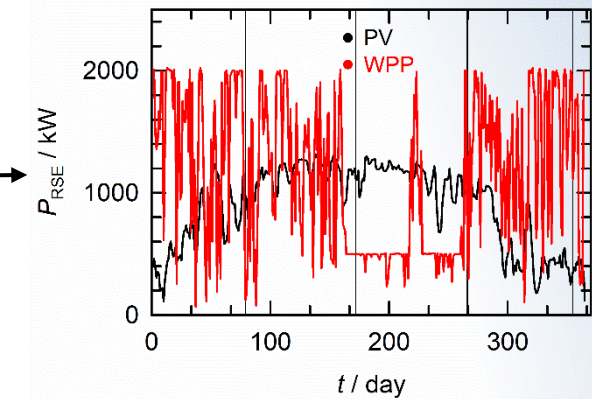
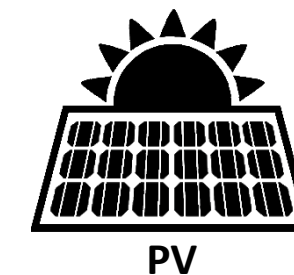
- **kombinace různých OZE**

- zásadně zvyšuje utilizaci elektrolyzáru
- snižuje nároky na skladovací kapacity

- **100 t H₂ pokrývá spotřebu na zpracování 550 t CO₂
a produkci 200 t CH₄ (29500 m³)**

- **lokální produkce**

- bez poplatků přenosové soustavy
- nezatěžuje rozvodnou síť
- pro 15 let odpis CAPEX cca 10EUR/kg H₂ (bez dotací)



100 t H₂/ rok

PV	VE	WE	zásobník
MW	MW	MW	t H ₂
5.5	-	4	27
-	4	3	18
2	2	2.6	10

PV – 34 000 m² → 1 MW_{peak}

Upgrading bioplynu

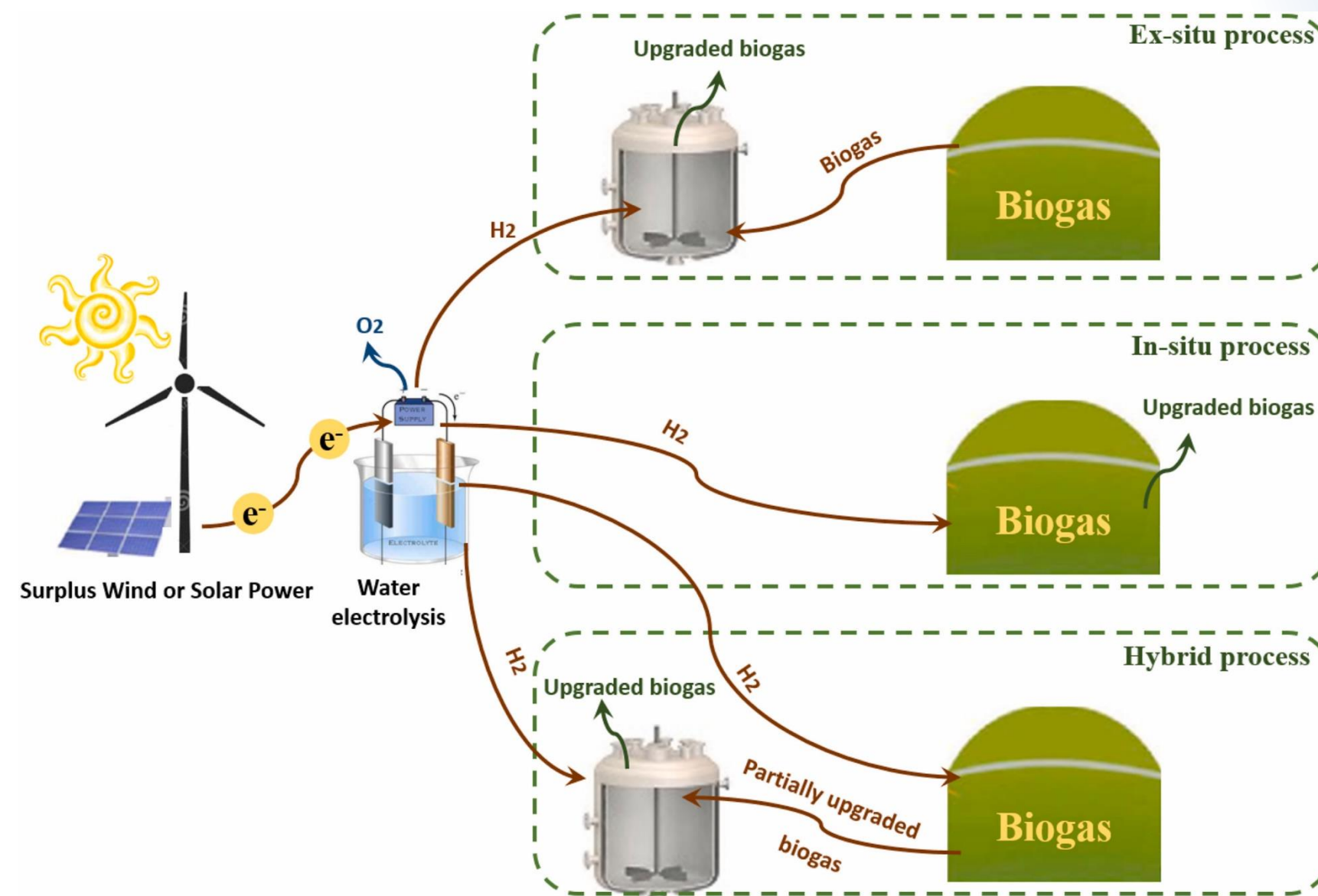
Bioplyn + H₂ → metan

Biometan + H₂ → blend

Možné vtlačení

Využití pro KVET

- + nejjednodušší kombinace s OZE
- + možnost (negativní/pozitivní) SVR
- + dotační možnosti
- souběh SVR a produkce OZE
- investiční náročnost
- certifikačně stále bioplyn (není RFNBO)



L. Wu et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews 150,(2021), 111448

Produkce e-fuel / bio H₂

Bioplyn → biometan + CO₂

CO₂ + H₂ → e-metan (RFNBO)

+ RFNBO forma prosazovaná RED III

+ možnost (negativní) SVR

+ dotační možnosti

- nutný stupeň separace

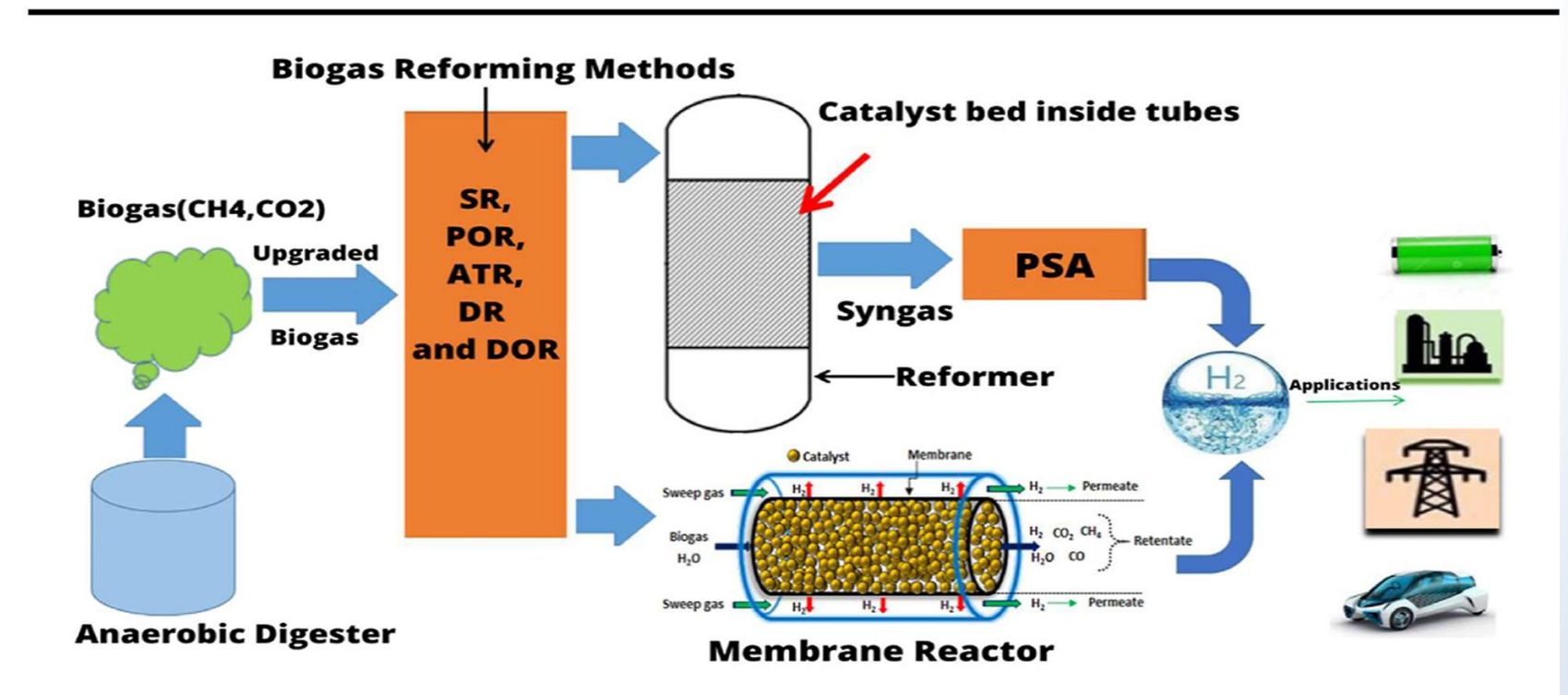
- investiční náročnost

- nejasný trh

Biometan + H₂O → bio H₂

+ jednoduchá technologie

- pouze tam, kde je nutný H₂



- **Bioplynové stanice dnes umožňují snadnou integraci WE + OZE tj. výrobu + využití vodíku**
- **WE+OZE zůstává investičně náročné – vysoká cena generovaného metanu**
- **Kombinace bioplynu, KVET a WE+OZE umožňuje zapojení do SVR (negativní i pozitivní)**
- **Klíčová je utilizace WE a certifikace vznikajících produktů**
- **Současné regulace EU a přístup ČR zásadně ztěžují výrobu a využitelnost H₂ - často ztráta ekonomické relevance realizací**

DĚKUJI ZA POZORNOST



doc. Ing. Martin Paidar, Ph.D.
paidarm@vscht.cz

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