

Vodík jako primární zdroj energie pro elektromobily

Petr Vysoký
Dopravní fakulta ČVUT

Vodík – „palivo budoucnosti“

- Sloučením vodíku s kyslíkem dojde k uvolnění energie, odpadem je voda
- Vodík není palivo, ale medium pro ukládání energie
- Vodík je nutno vyrobit se značnými požadavky na energii (zejména tepelnou či elektrickou)
- Fyzikální a chemické vlastnosti vodíku vyvolávají značné technologické komplikace při jeho použití

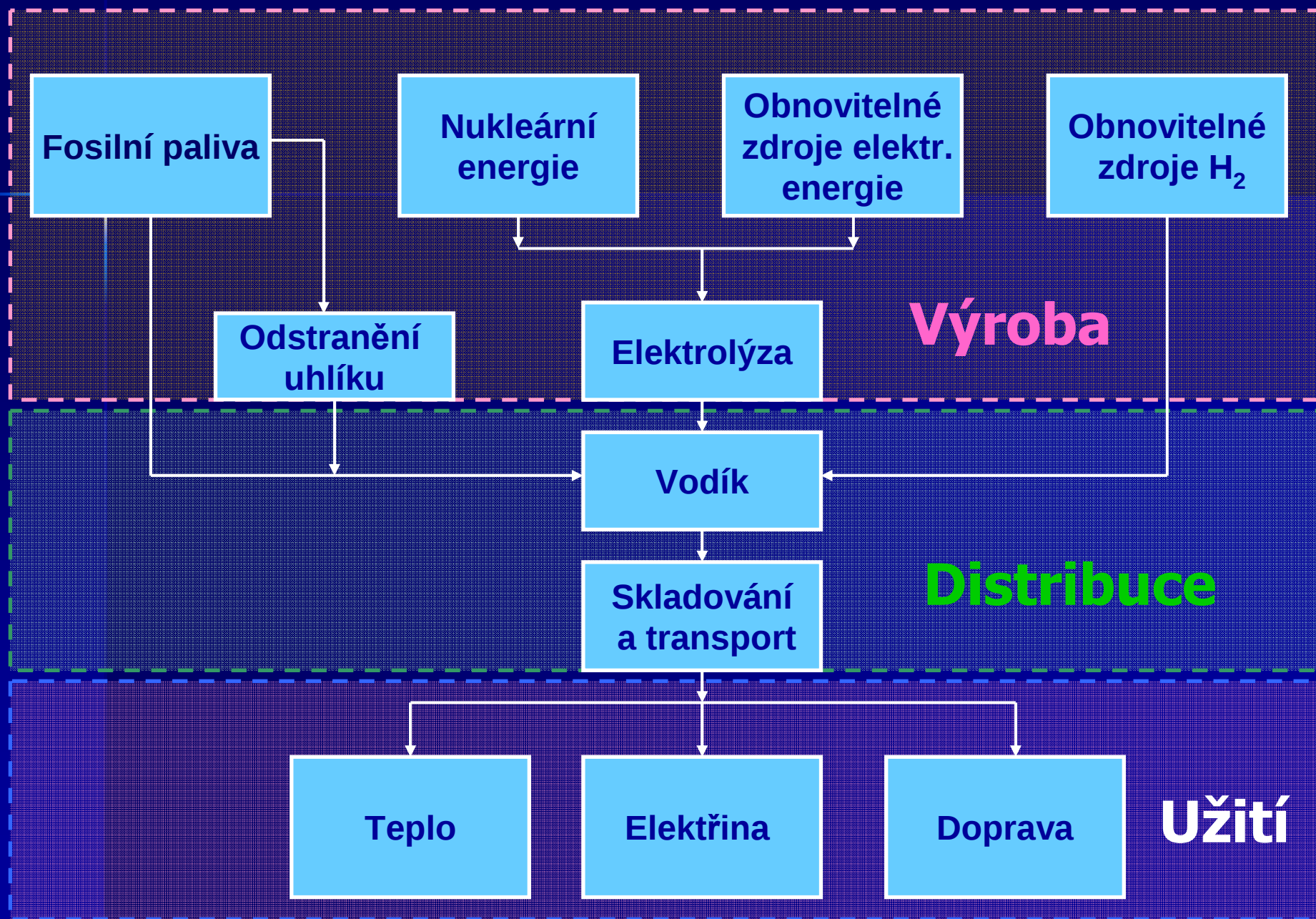
Fyzikální vlastnosti vodíku ve srovnání s jinými palivy

fuel	specific energy (kWh kg ⁻¹)	energy density (kWh dm ⁻³)
liquid hydrogen	33.3	2.37
hydrogen (200 bar)	33.3	0.53
liquid natural gas	13.9	5.6
natural gas (200 bar)	13.9	2.3
petrol	12.8	9.5
diesel	12.6	10.6
coal	8.2	7.6
LiBH ₄	6.16	4.0
methanol	5.5	4.4
wood	4.2	3.0
electricity (Li-ion battery)	0.55	1.69

Vodíkové hospodářství

- Výroba vodíku
- Transport vodíku
- Ukládání vodíku
- Použití vodíku jako zdroje energie pro dopravní prostředky
- Účinnost vodíkového pohonu a předpokládané trendy

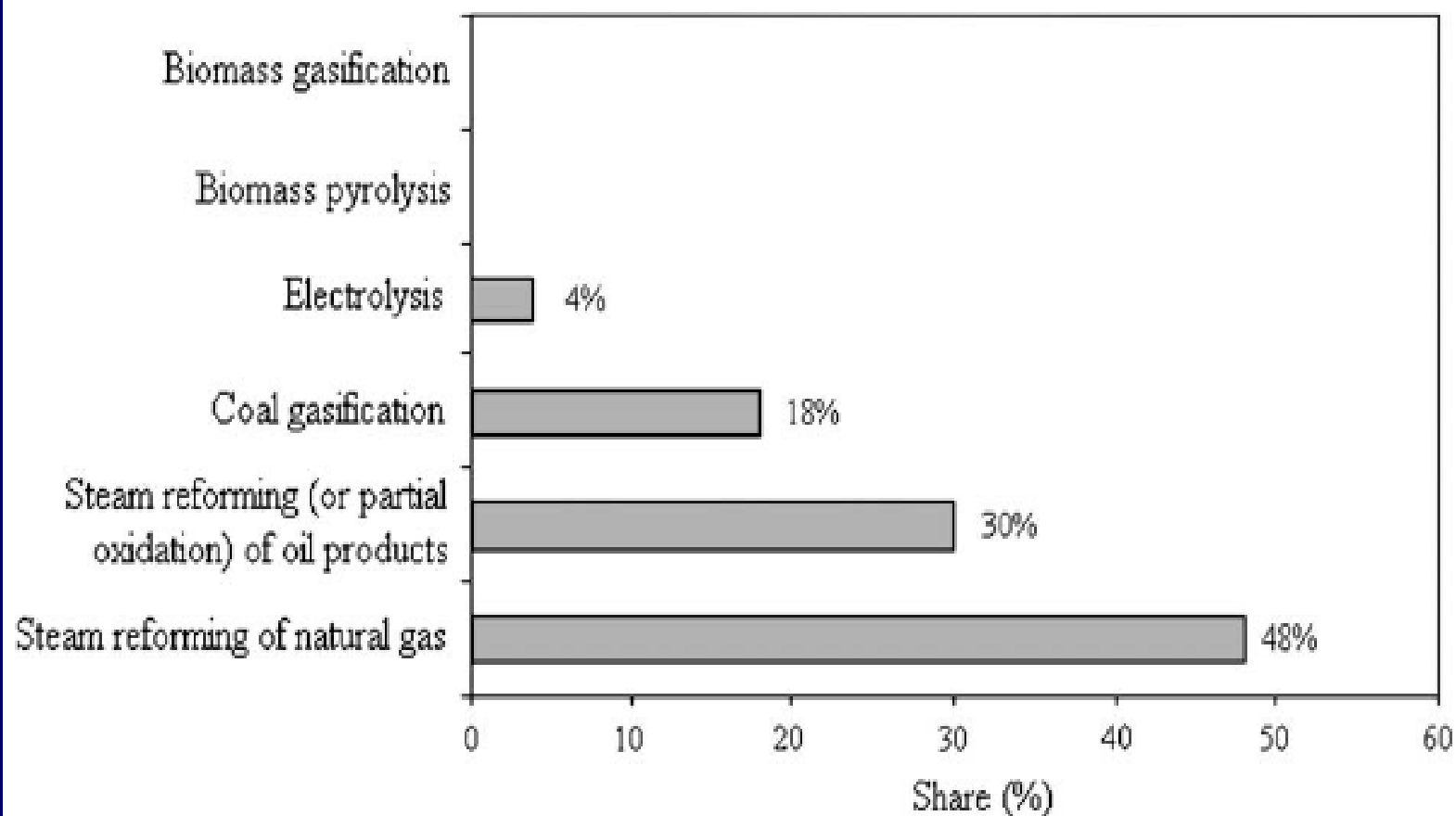
Vodíkové hospodářství



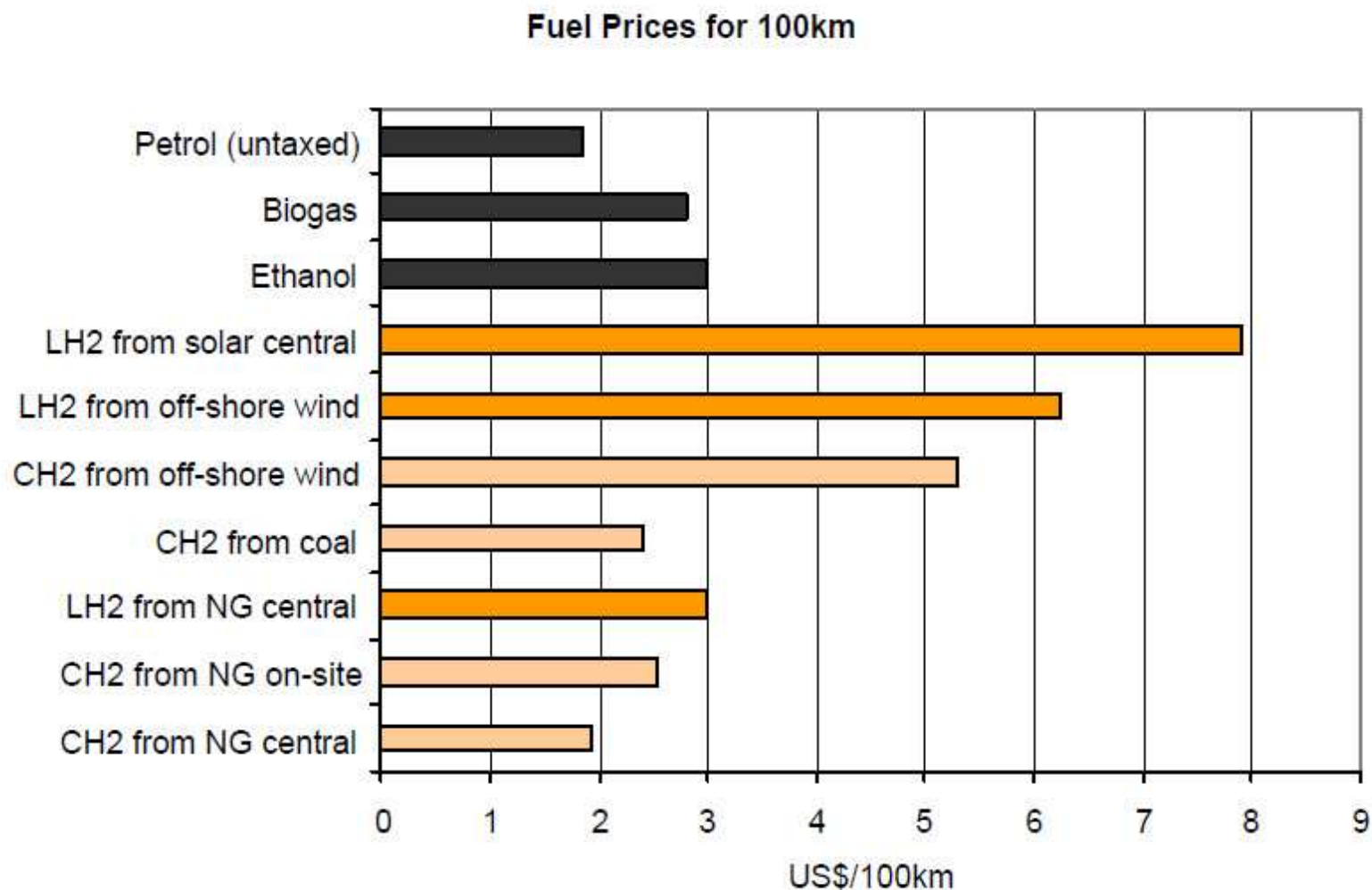
Základní způsoby výroby vodíku

- Reforming uhlovodíků pomocí vodní páry (zemní plyn, vodní plyn atd.)
- Metoda „kvaerner“
- Elektrolýza (vysokoteplotní elektrolýza)
- Rozklad vody ve vysokoteplotních jaderných reaktorech
- Fotolýza vody, fermentační procesy atd.

Současné způsoby produkce vodíku



Cenové relace z hlediska výroby H_2

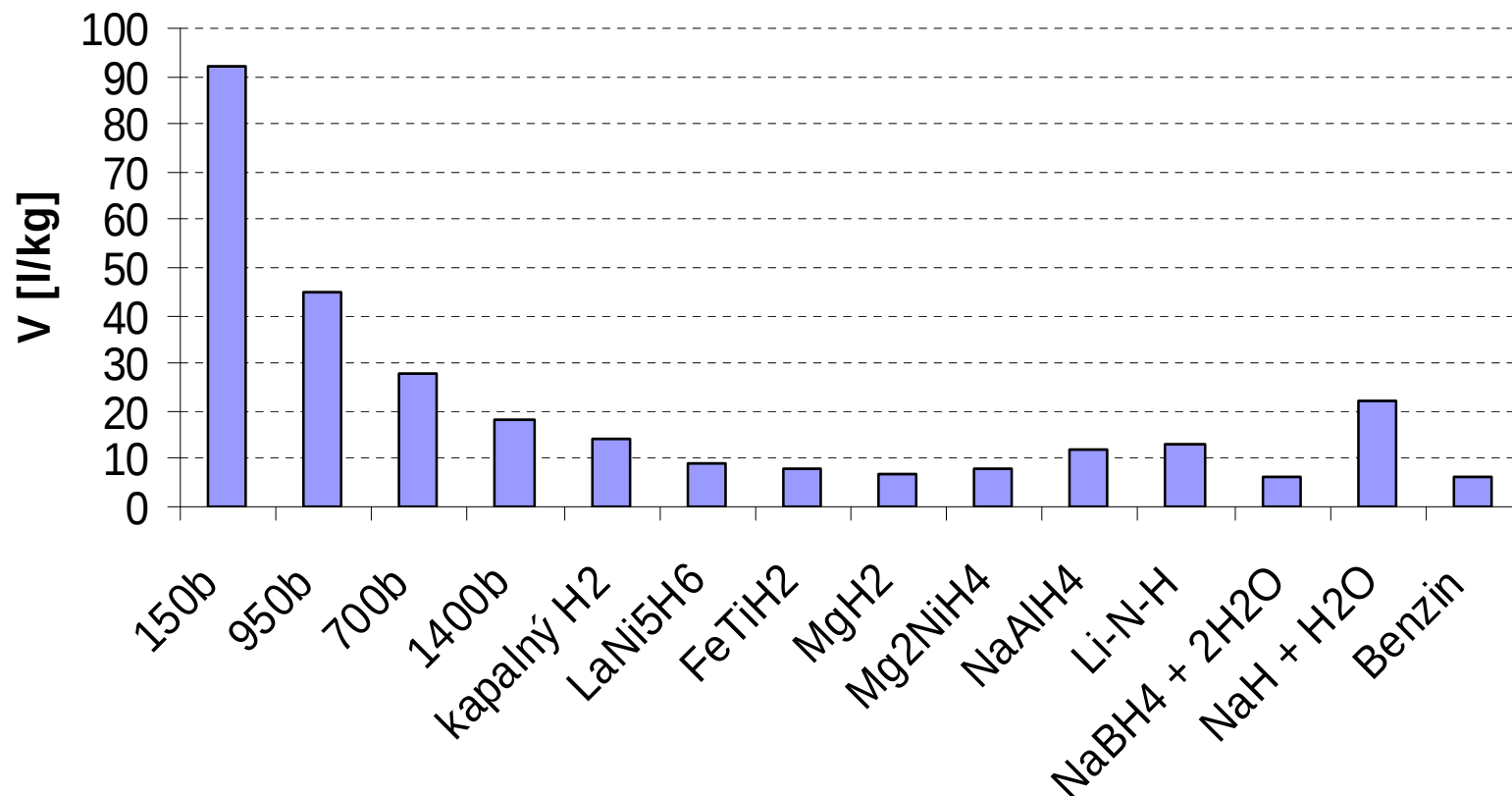


Skladování a transport vodíku

- Stlačený vodík v plynném stavu (350 – 700 bar)
- Zkapalněný vodík ($-252,9^{\circ}\text{C}$)
- Chemicky vázaný vodík ve sloučeninách, ze kterých se uvolňuje zahřátím (hydridy kovů, komplexní hydridy)

Porovnání způsobů ukládání vodíku

Objem potřebný na kg vodíku



Názorné porovnání potřebného objemu pro uložení 4 kg vodíku

48 m³



MgH₂
52.6 kg

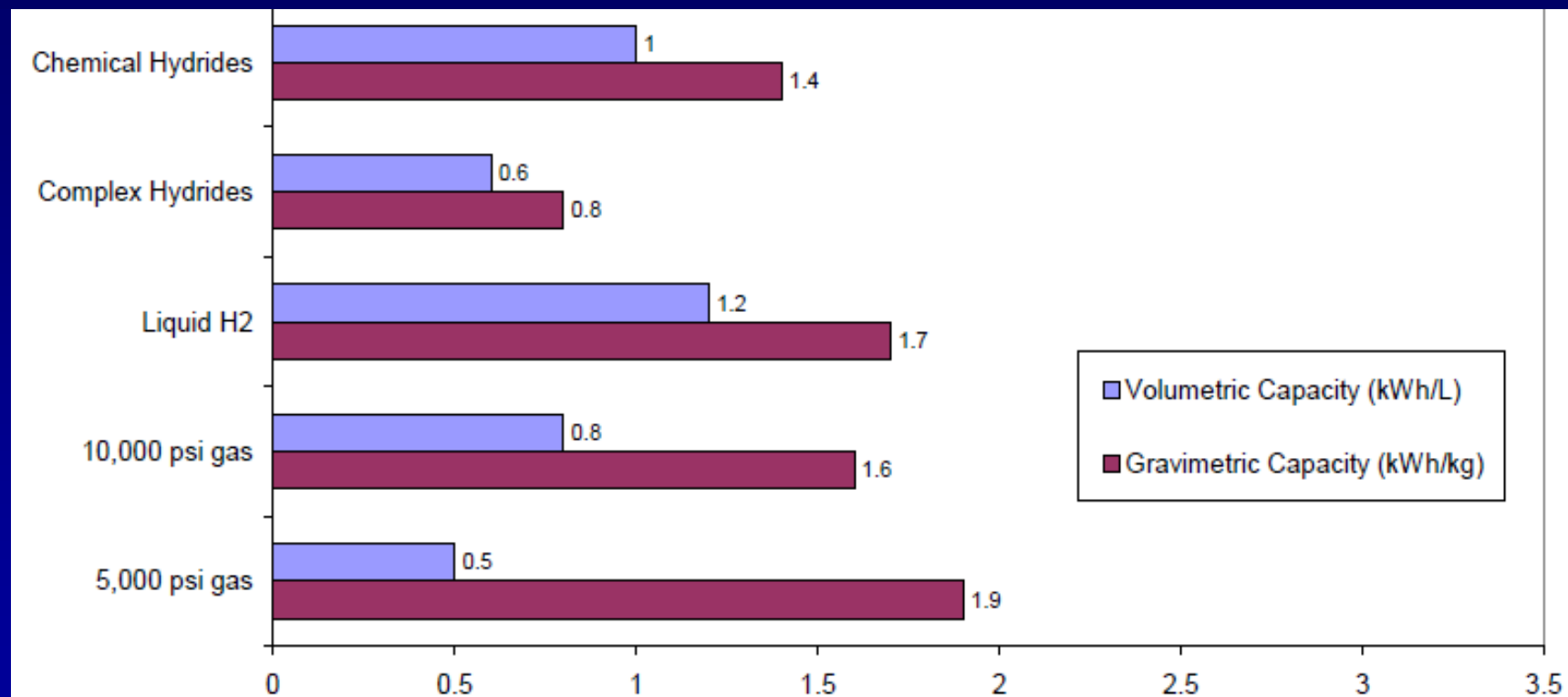
Mg₂NiH₄
111.3 kg

H₂ (liquid)
4 kg

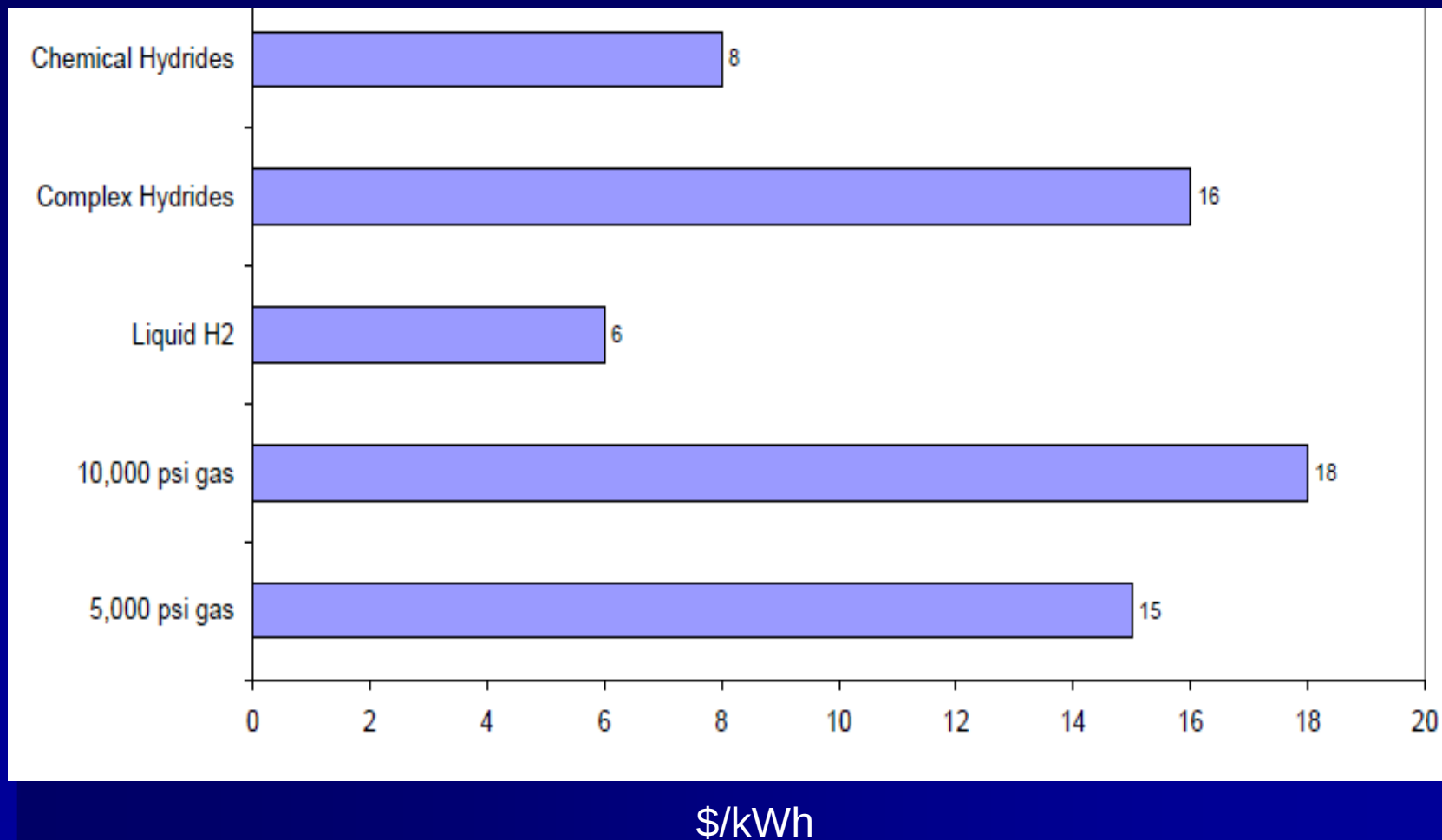
H₂ (200 bar)
4 kg



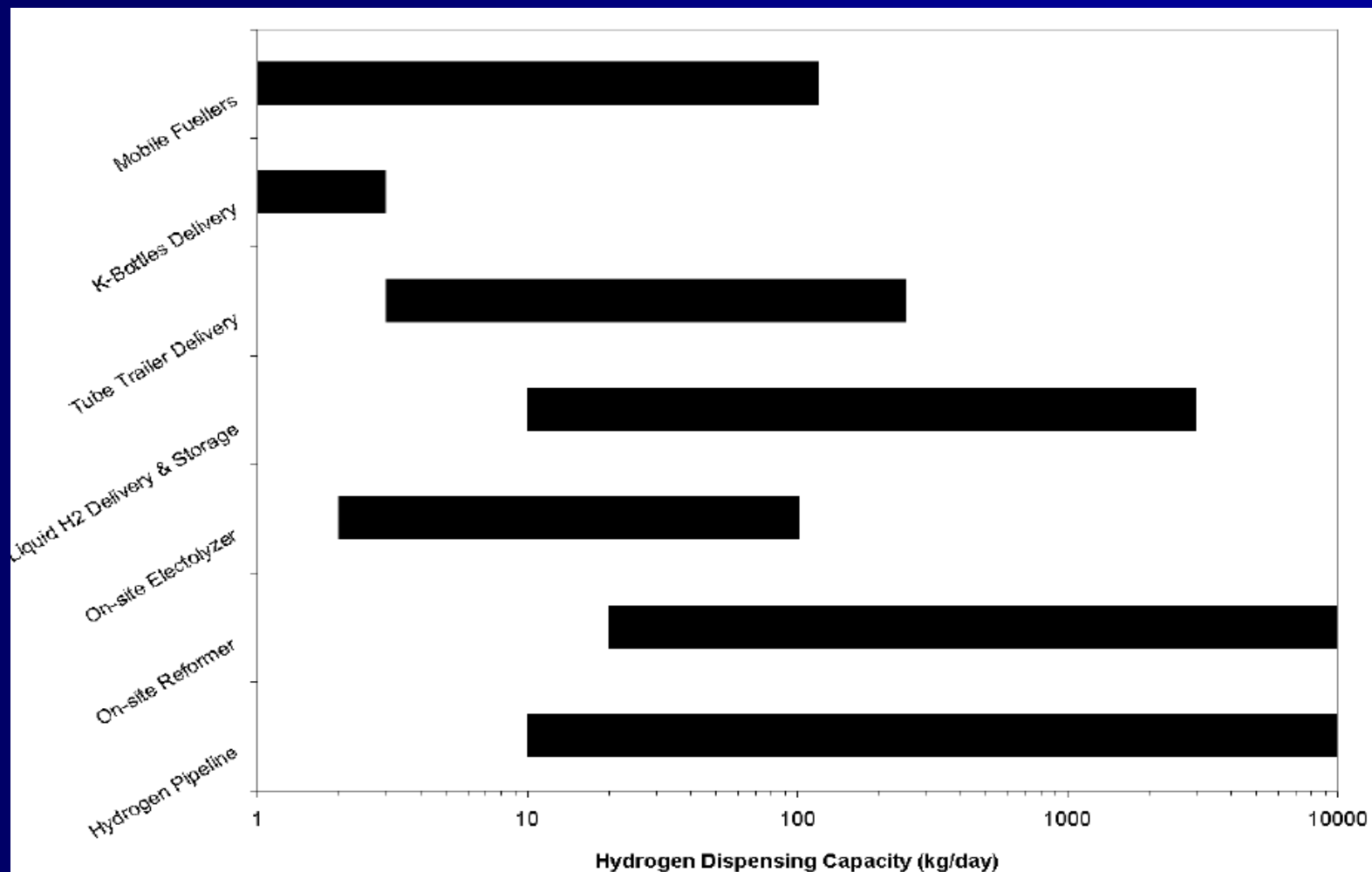
Porovnání volumetrické a gravimetrické kapacity pro různé způsoby ukládání



Cenové relace z hlediska ukládání H₂



Možnosti vodíkové infrastruktury



Transport stlačeného vodíku

Nutnost převážet obrovskou hmotnost tlakových nádob

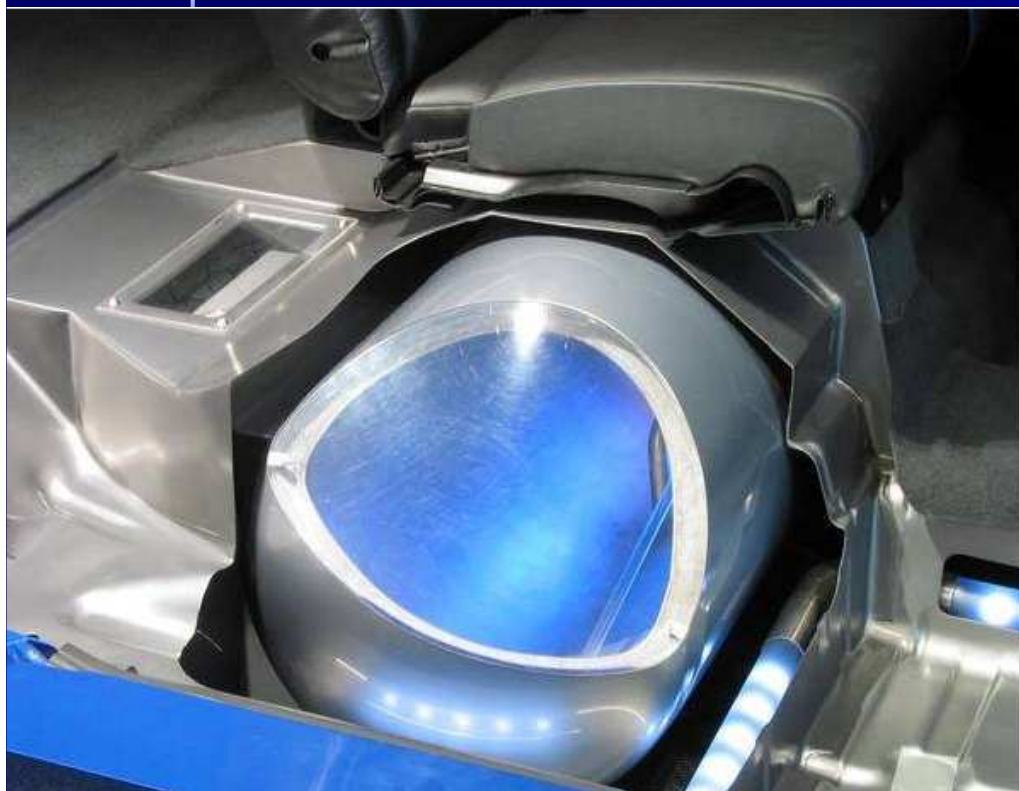


Trailer vezoucí
2000–3000 m³ vodíku

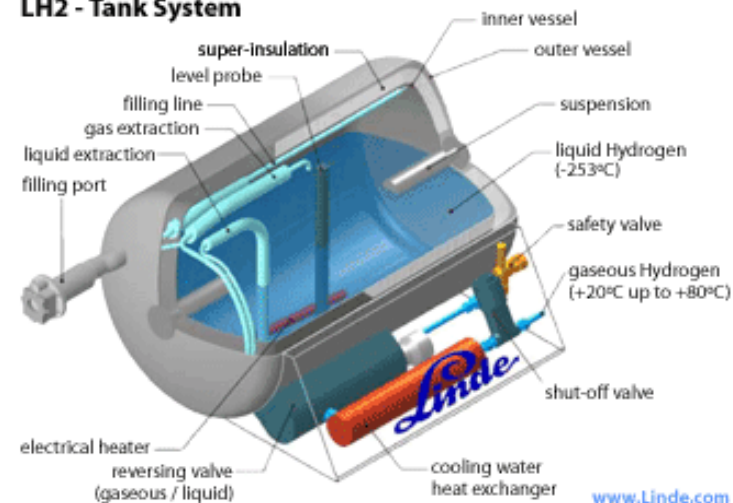


Trailer pro 6200 m³ vodíku
(užitečný náklad
pouze 540 kg vodíku)

Transport kapalného vodíku



LH2 - Tank System



„Nádrž automobilu“ využívající ukládání vodíku do hydridů



Tlakové nádoby z kompozitních materiálů

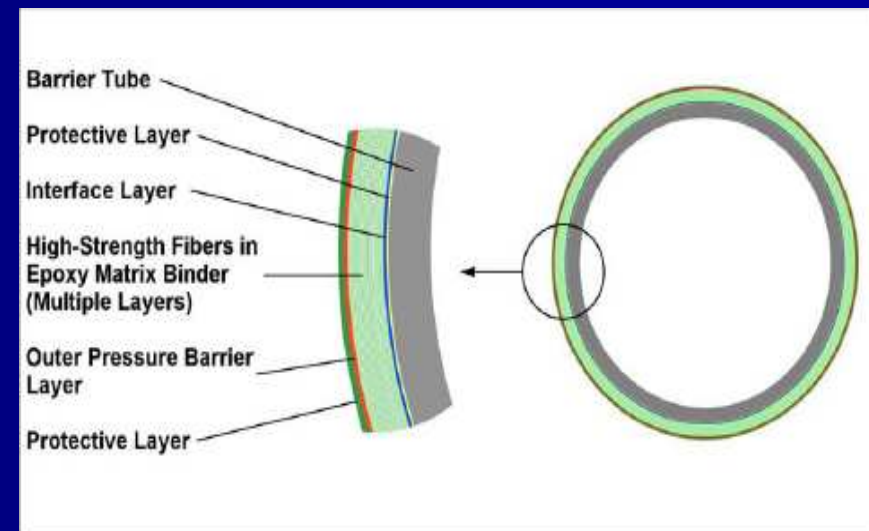


Ocelové tlakové nádoby na 875 bar vycházejí 3 x těžší

Výroba nádrží a potrubí z kompozitních materiálů



Výroba potrubí z kompozitů

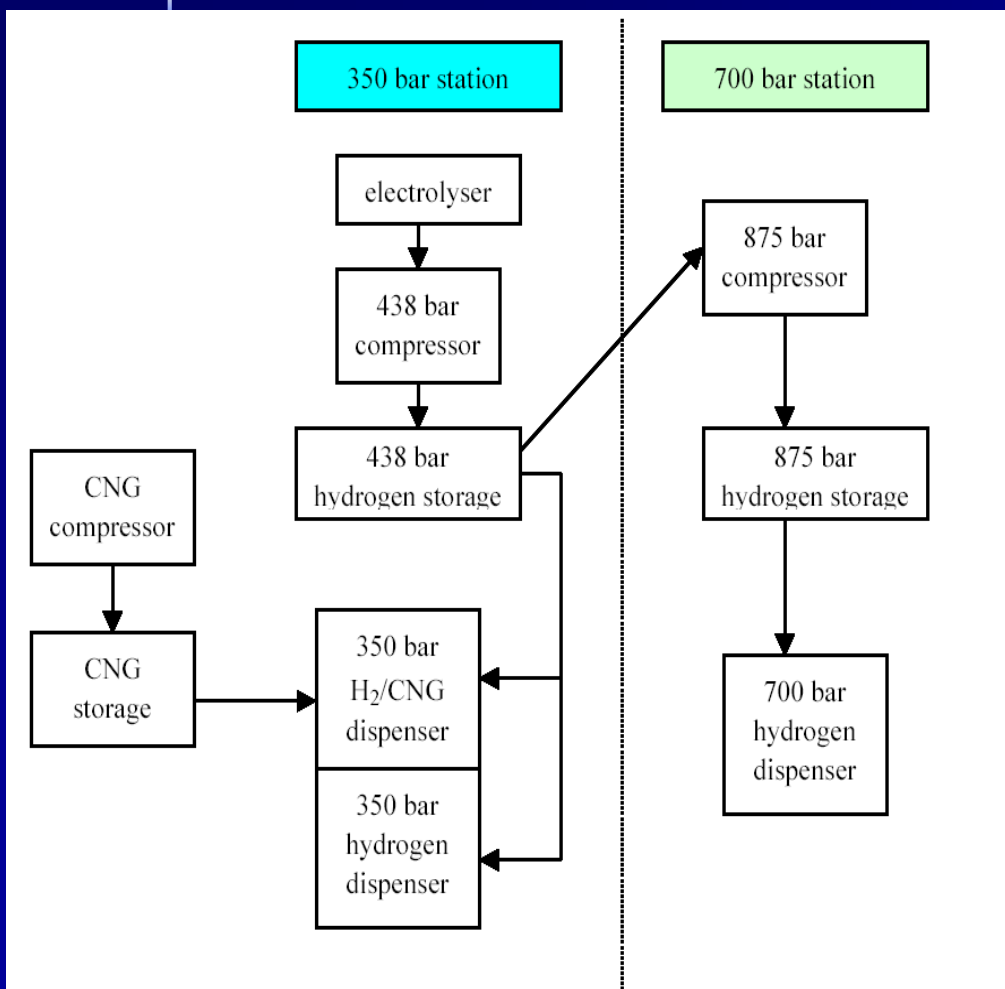


Struktura potrubí z kompozitů

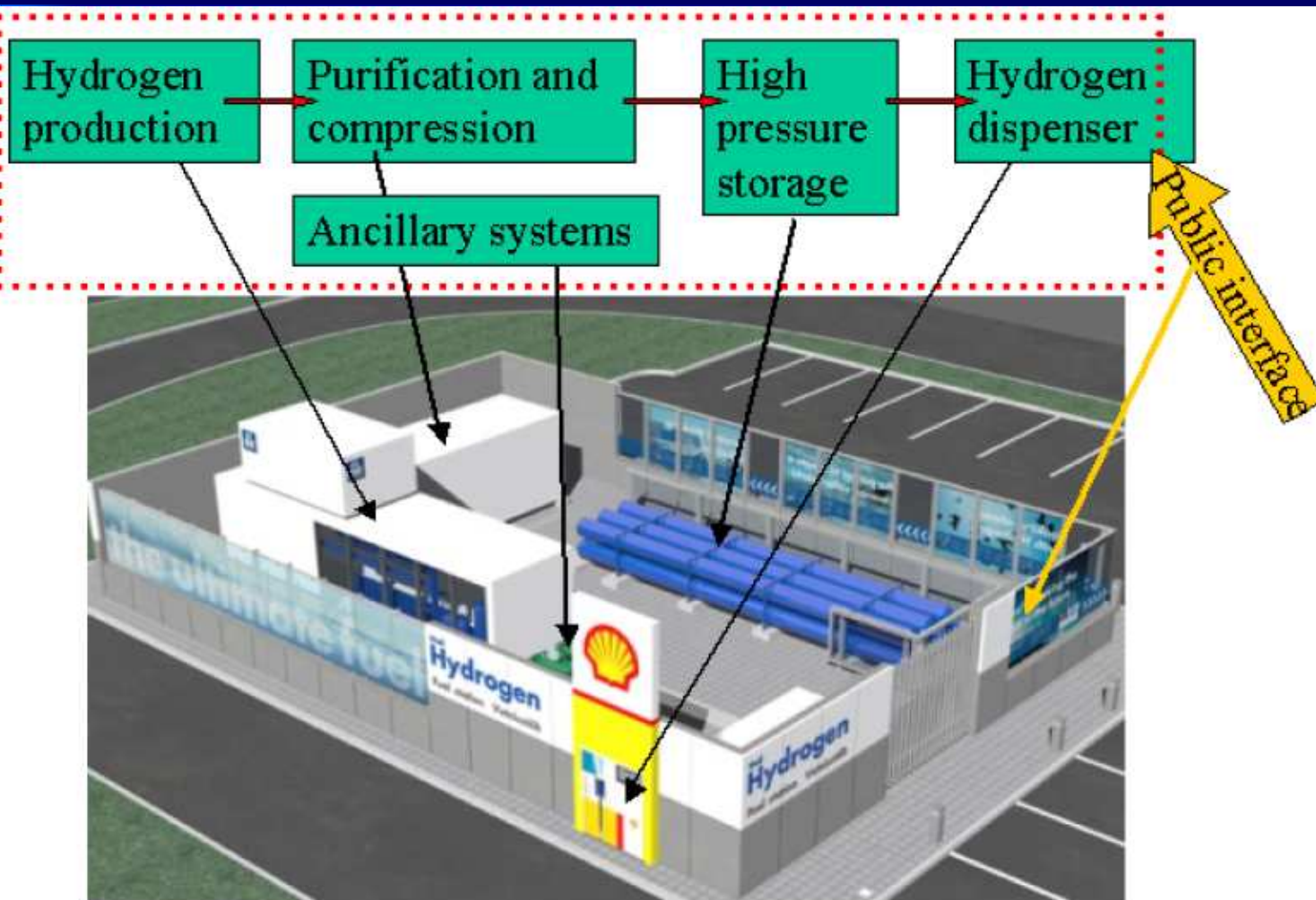
Plnicí stanice se zásobníkem na kapalný vodík



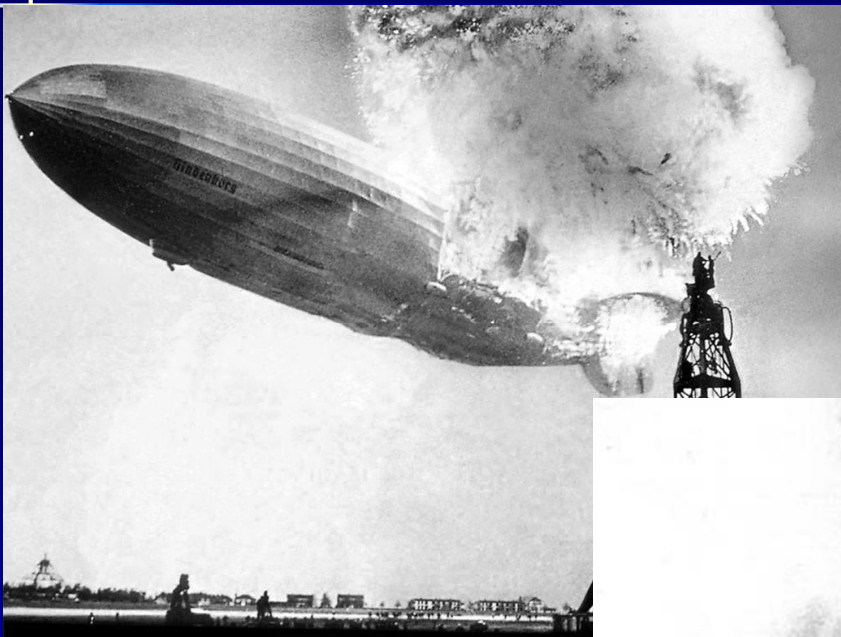
Plnicí stanice s vlastní výrobou pomocí elektrolyzéru



Plnicí stanice s výrobnou vodíku



Bezpečnost vodíku



Hindenburg 1937

Z 97 lidí na palubě
62 přežilo



Bezpečnost vodíku jako paliva

- Vodík je díky své malé specifické hmotnosti bezpečnější než uhlovodíková paliva
- Vodík nevytváří saze (ohrožení dýchacích cest)



Účinnost při použití plynného vodíku jako paliva pro palivový článěk

- 30% ztráty při elektrolýze (0,7)
- 10% ztráty při stlačování (0,1)
- 13% ztráty při distribuci a transportu vodíku (0,13)
- 50% ztráty v palivovém článku při konverzi na elektrickou energii (0,5)
- 10% parazitní ztráty u palivového článku (0,1)
- 10% ztráty v měniči a pohonu

Výsledek $\eta = 22\%$

Účinnost při použití kapalného vodíku jako paliva pro palivový článěk

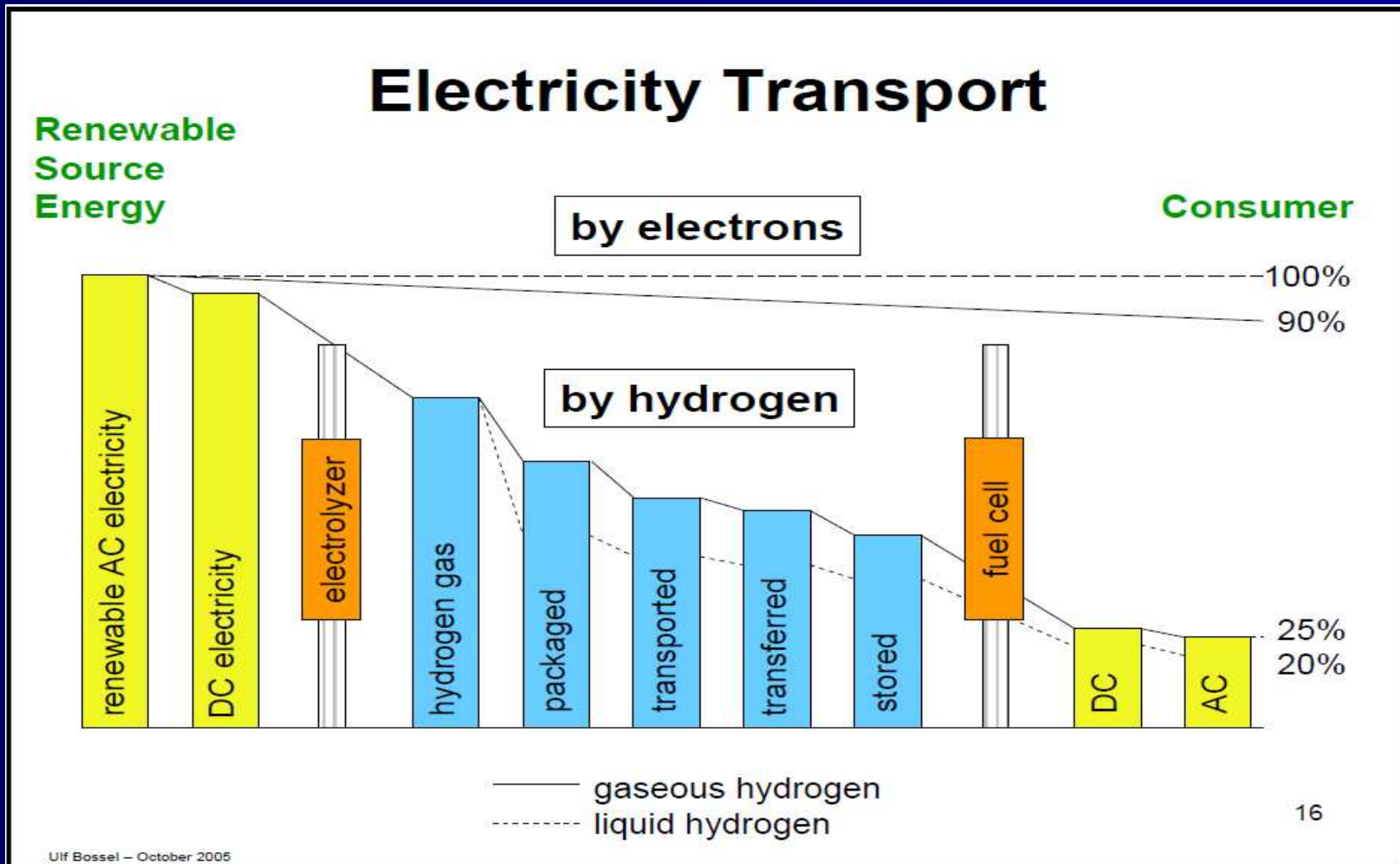
- 30% ztráty při elektrolýze (0,7)
- 35% ztráty při zkapalnění (0,65)
- 7% ztráty při distribuci a plnění (0,93)
- 50% ztráty v palivovém článku při konverzi na elektrickou energii (0,5)
- 10% parazitní ztráty u palivového článku (0,9)
- 10% ztráty v měniči a pohonu (0,9)

Výsledek $\eta = 17 \%$

Pro porovnání

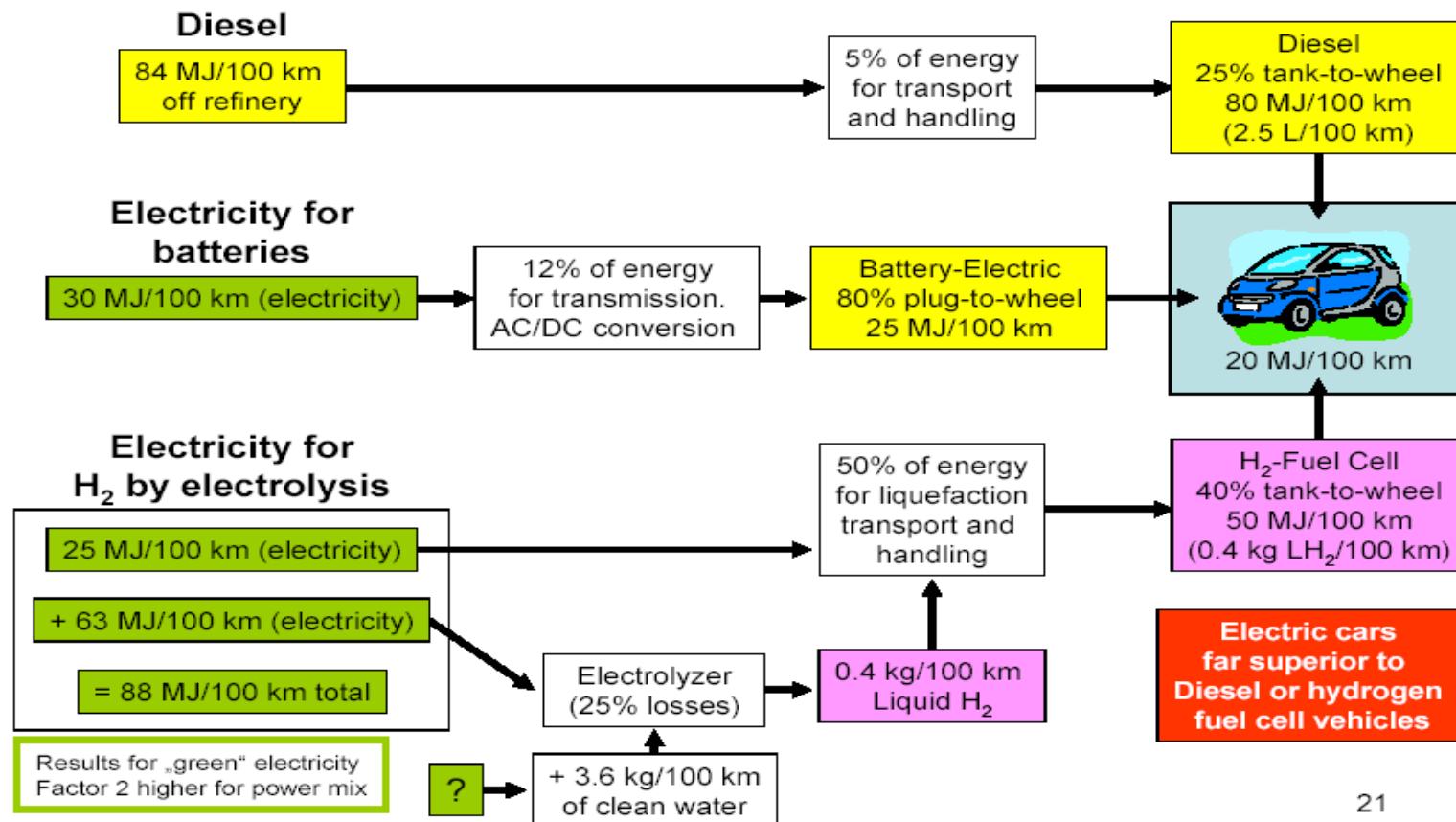
- Současný automobil s dieslovým motorem $\eta = 25 \%$
- Možnosti dieslového pohonu
- $\eta = 33 \%$
- Čistě elektrický pohon $\eta = 65 \%$

Účinnost přímého elektrického pohonu a elektrického pohonu zprostředkovaného vodíkem

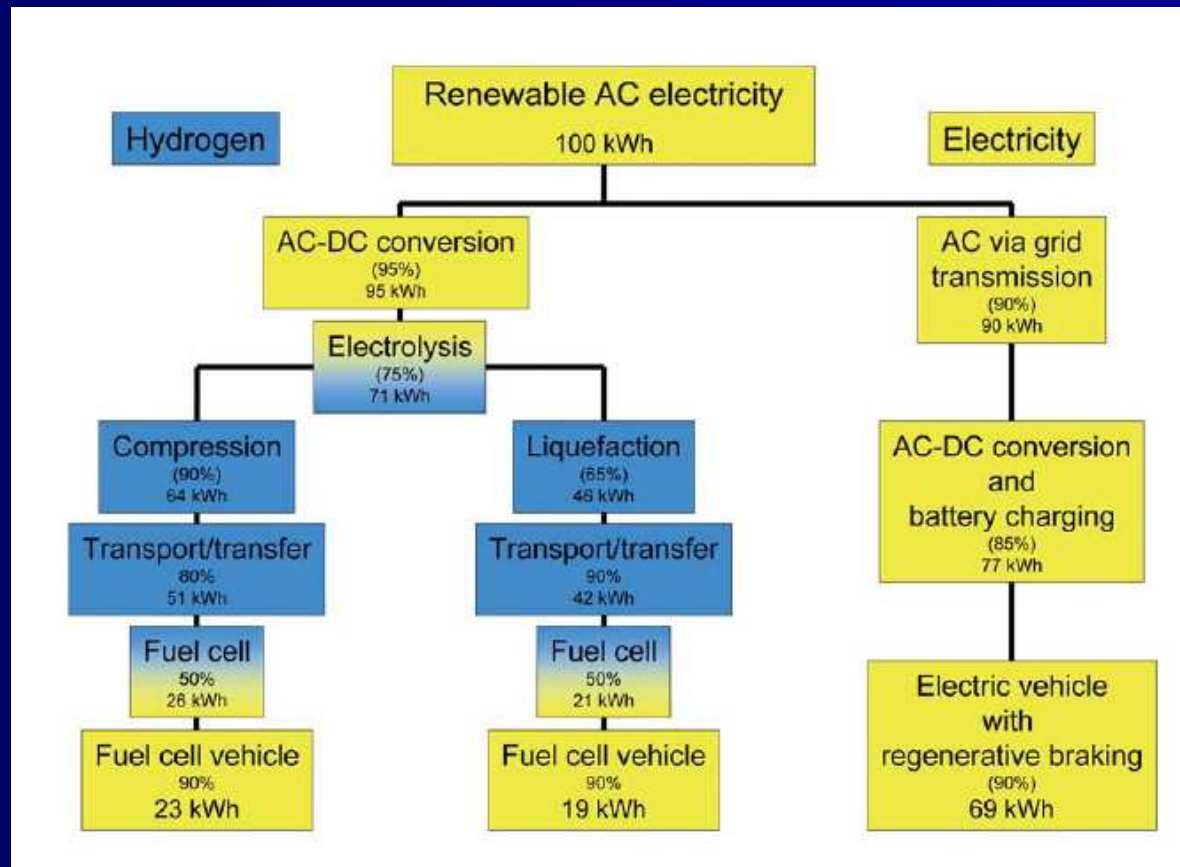


Porovnání účinnosti různých typů pohonu

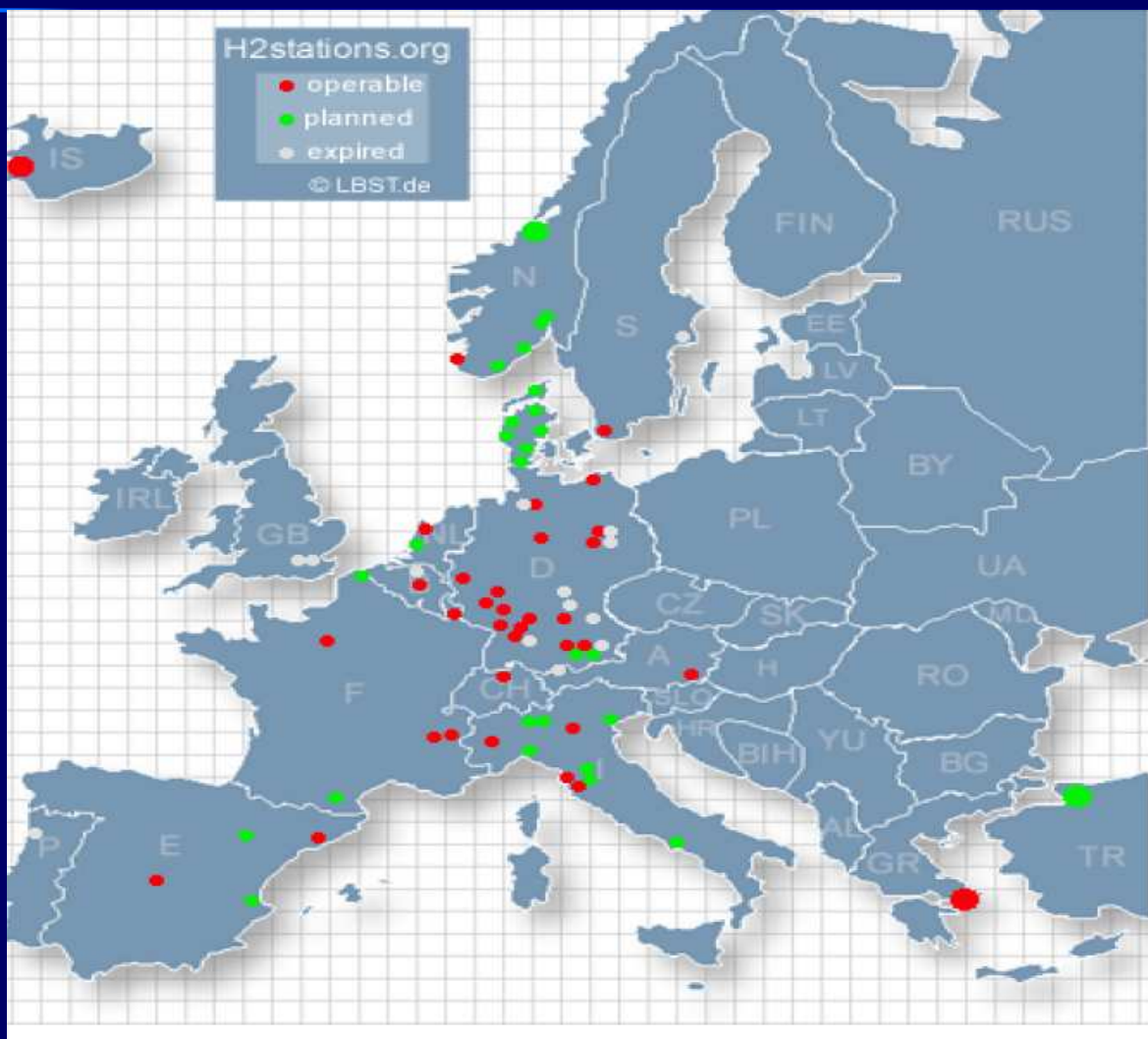
Energy Options: Diesel vs. Electricity for Cars



Porovnání účinnosti elektrického pohonu



Rozložení plnicích stanic v západní Evropě



Skandinávská „vodíková dálnice“



Plnicí stanice pro vodík v Kalifornii



Vodík jako zásobník energie v odlehlých krajinách

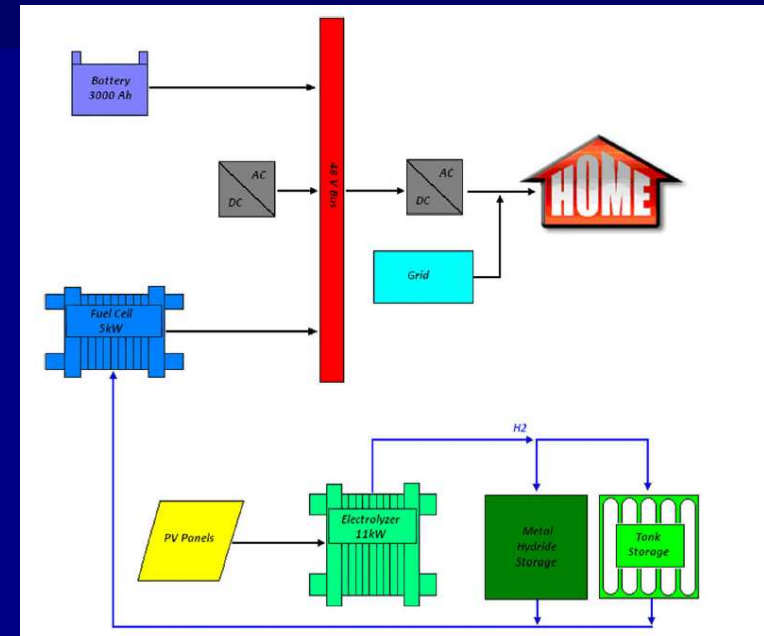
Wind Power Control and Electrolysis Container

3 x 48 W solar panels for additional battery charging

Distilled water tank for the electrolysis



Hydrogen pipeline - the top riser



Air-X
400 W



U nás...

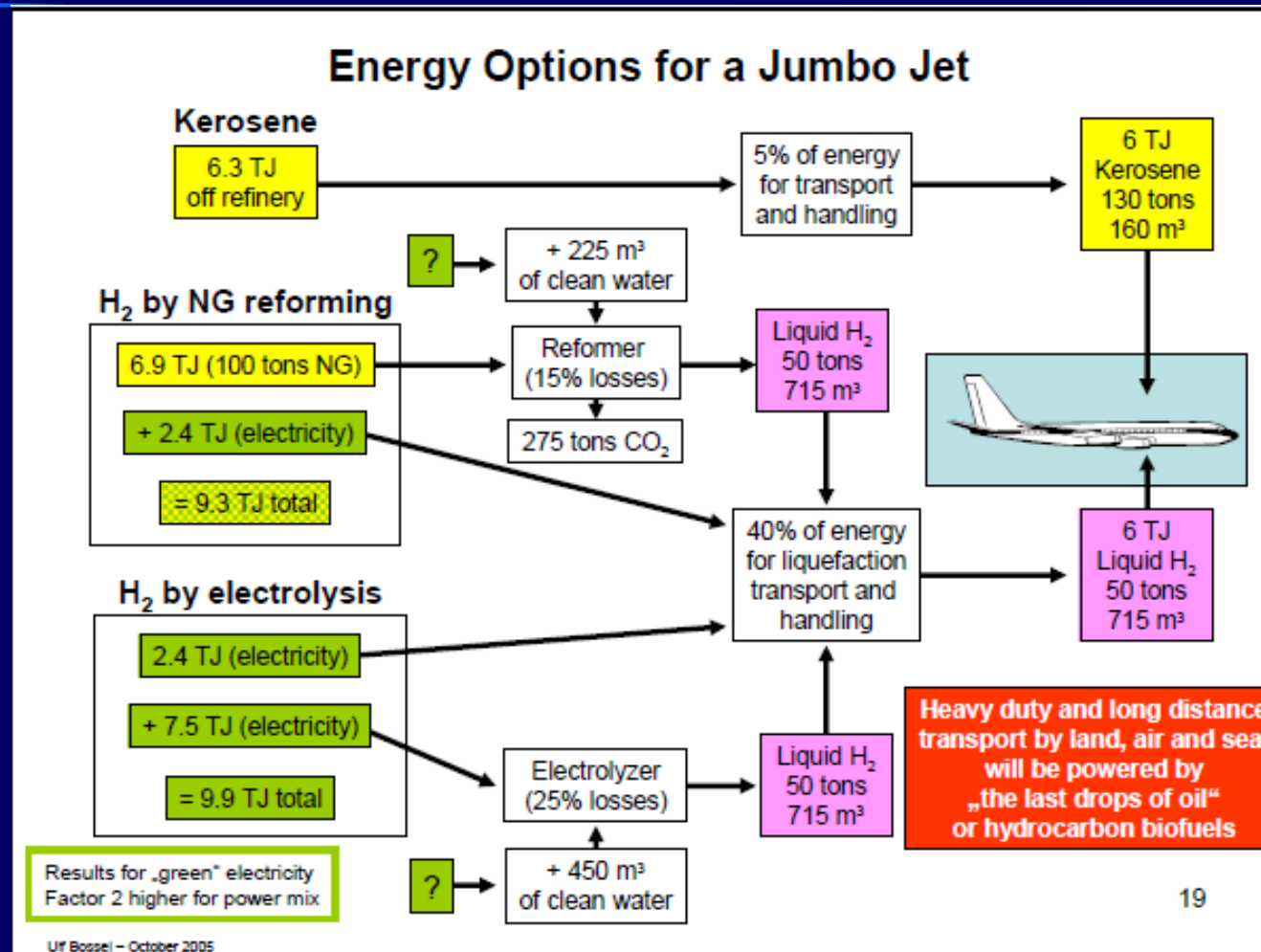


Neratovice

Ostrava



Příklad na závěr



Příklad na závěr

- Letiště Frankfurt 520 letadel/den z toho 50 jumbo
- Jumbo tankuje 130t kerosinu
- Převeďeno na vodík 50t kapalného H_2 / jumbo
- Celkem 2500t kapalného nebo 36 000 m^3 plyn. H_2
- Pro výrobu elektrolýsou 22500 m^3 vody a 8GWh
- Pro obsluhu dalších letadel 20 GWh + 54 000 m^3
- 54 000 m^3 H_2O /24 hod ... průtok 21 m^3 /s
- Průtok Otavy v Písku či Berounky v Plzni