

Perspektywy energetyki wodorowej *wodorowej*

Henryk Figiel



Zakład Fizyki Ciała Stałego
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Kraków

Plan prezentacji

- *Dlaczego energetyka wodorowa*
- *Aktualne źródła energii*
- *Wodór jako nośnik (magazyn) energii*
- *Wodór w samochodach*
- *Energetyka wodorowa w USA*
- *Energetyka wodorowa w Japonii*
- *Energetyka wodorowa w UE*
- *Energetyka wodorowa w Polsce*

Juliusz Verne (1828 – 1905)



W powieści „Tajemnicza wyspa” (1874)

Inżynier Cyrus Smith:

*„Wierzę, że pewnego dnia wodór i tlen, z
których zbudowana jest woda, użyte razem
lub osobno dadzą niewyczerpane źródło
ciepła i światła”*

Prof. Bohdan Staliński

W książce „Wodór i wodorki”

wydanej w 1987 roku:

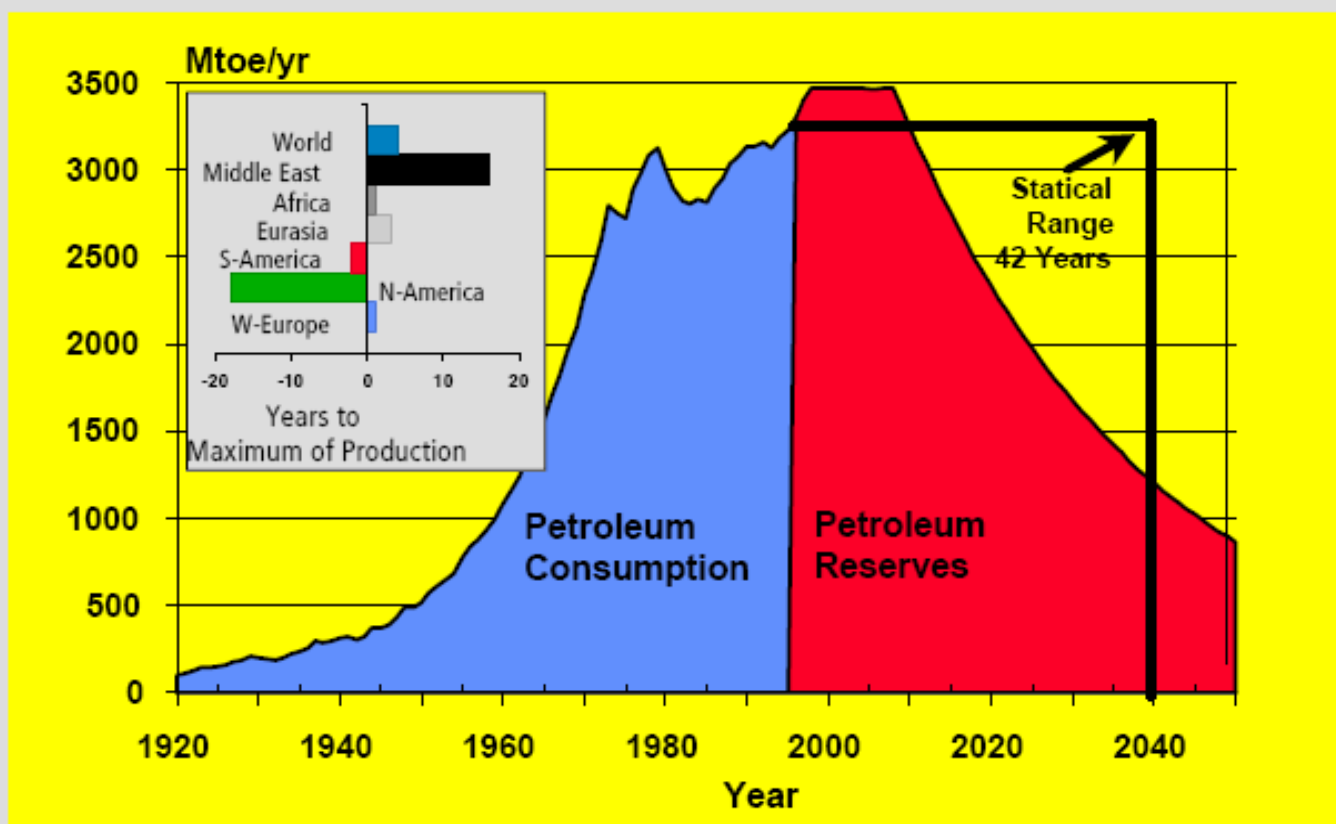
- *Czysty wodór, w tym także wodór otrzymywany z wodorków jest niewątpliwie paliwem przyszłości, szerszego jego zastosowania spodziewać się należy prawdopodobnie dopiero w XXI wieku.*

Ekonomia wodorowa

- *Ograniczone zasoby ropy naftowej i gazu ziemnego oraz wzrost zapotrzebowania na energię zmusza nas do poszukiwania nowych źródeł energii:*
 - ☛ *Odnawialne źródła energii*
 - ☛ *Energia jądrowa*
 - ☛ *Wodór (16% atomowych w skorupie ziemskiej)*

Zużycie ropy naftowej

Resource Depletion for Petroleum - 'The End of Cheap Oil'



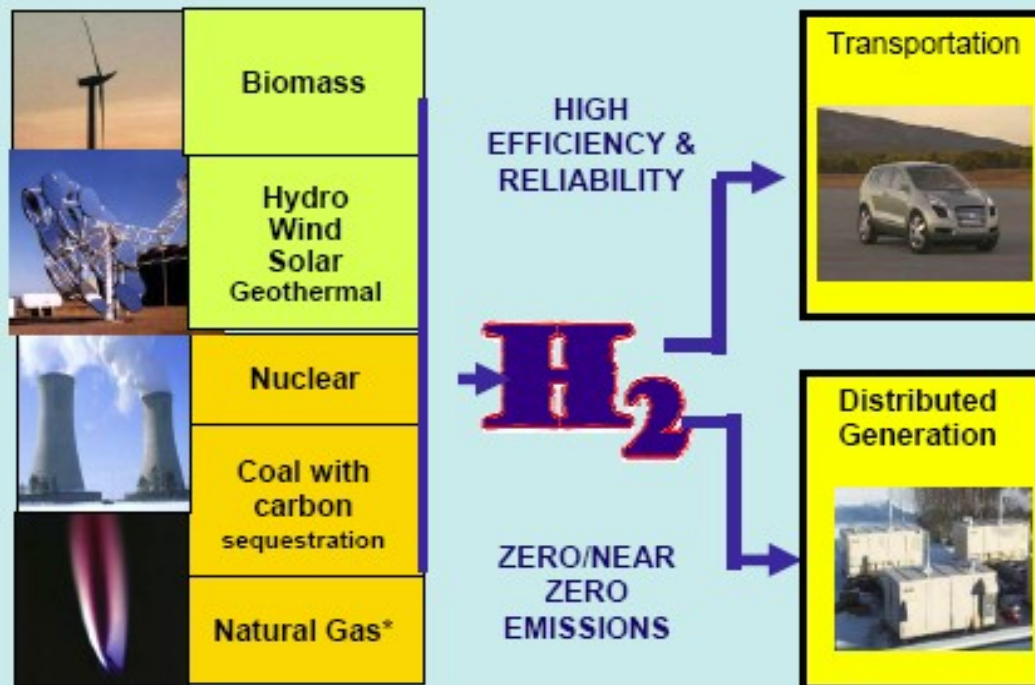
Sources: BP Statistical Review, Forecast: Petroconsultants

Dlaczego energetyka wodorowa

- *Molekuła wodoru łącząc się z molekułą tlenu oddaje 242 kJ/mol H_2O energii i tworzy wodę tzn. mamy dużo energii i produkt „ekologiczny” czyli wodę.*
- *Dwa sposoby: spalanie i ogniwo paliwowe*
- *Tlenu gazowego mamy pod dostatkiem ale musimy wytwarzać wodór gazowy i tu jest problem - techniczny i ekonomiczny.*
- *Dlaczego interesujemy się wodorem jako źródłem energii – bo jest to realna perspektywa po wyczerpaniu się złóż gazu i ropy*
- *Wodór nie jest źródłem pierwotnym, ale nośnikiem – magazynem energii, dlatego nie należy go traktować jako konkurencyjny dla energii jądrowej*
- *Może być najlepszym źródłem energii dla transportu gdy zabraknie benzyny*
- *Atrakcyjną i taną perspektywą wytwarzania wodoru w Polsce jest zgazowanie węgla.*



Why Hydrogen?



*Transition only

Source: DOE Hydrogen Program, S. Chalk et al

- Multiple domestic resources
- Non toxic
- Water vapor emissions
- Decouple carbon emissions from tailpipe
- Flexibility (transportation, stationary, portable)
- Efficiency of fuel cells
- Highest energy density by wt of all known fuels
- Alternatives?

Nothing's perfect. Issues:

- Energy carrier, not source
- Production, storage, delivery, safety, etc.

Energia z wodoru

Wykorzystując każde z tych źródeł energii można uzyskać wodór, ale taniej jest uzyskiwać z nich energię bezpośrednio (ciepło, spalanie, energia elektryczna)

Problem – energia elektryczna musi być natychmiast zużyta, a nasze potrzeby zależą od pory dnia i sposobu użytkowania – stacjonarny i do poruszania się.

Najlepsza metoda uzyskiwania wodoru - elektroliza ale ponieważ uzyskujemy energię przez reakcję odwrotną, jest to proces nieopłacalny, chyba że:

Do elektrolizy używamy energii słonecznej, jądrowej lub ze źródeł odnawialnych lub geo-termalnych i wykorzystujemy wodór do magazynowania energii np. dla celów transportowych czy też zaspokojenia zapotrzebowania szczytowego (jak elektrownie szczytowo-pompowe)

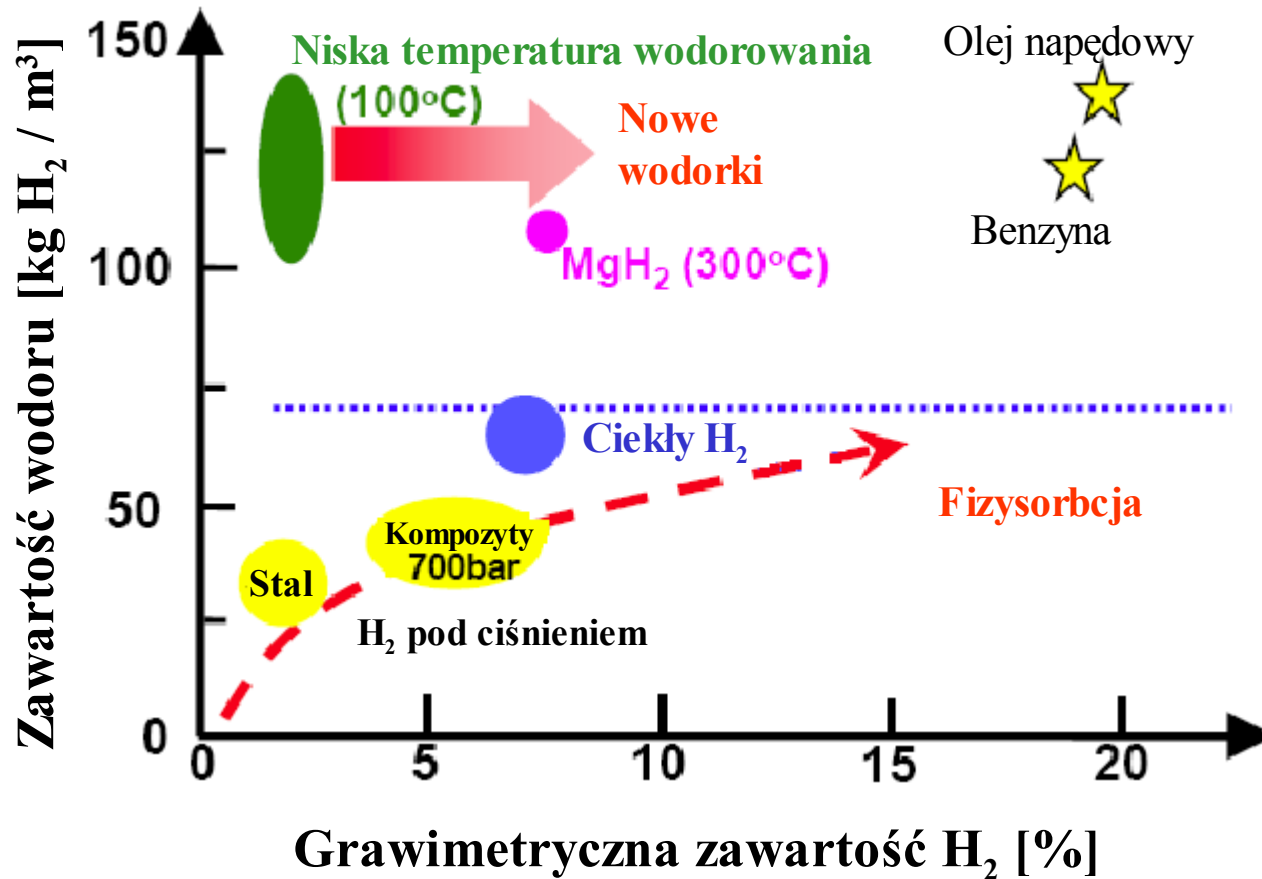
Energetyka wodorowa

- *Wdrożenie energetyki wodorowej napotyka na istotne problemy i trudności, a w szczególności:*
 - ☛ *opracowanie metod taniego uzyskiwania wodoru,*
 - ☛ *znalezienie sposobów i materiałów do bezpiecznego i taniego magazynowania oraz transportu wodoru*
 - ☛ *opracowanie silnika, ogniwa paliwowego lub baterii o jak najwyższej sprawności i odpowiednio taniego.*

Magazynowanie wodoru

- *W zależności od zastosowań potrzebujemy:*
 - *Zbiorniki stacjonarne*
 - *Zbiorniki do środków transportu*
 - o dużym gabarycie (np. cysterny, autobusy)*
 - do samochodów osobowych*
 - *Małe zbiorniki dla przenośnych urządzeń elektrycznych zasilanych ogniwami paliwowymi*

Gęstości - porównanie



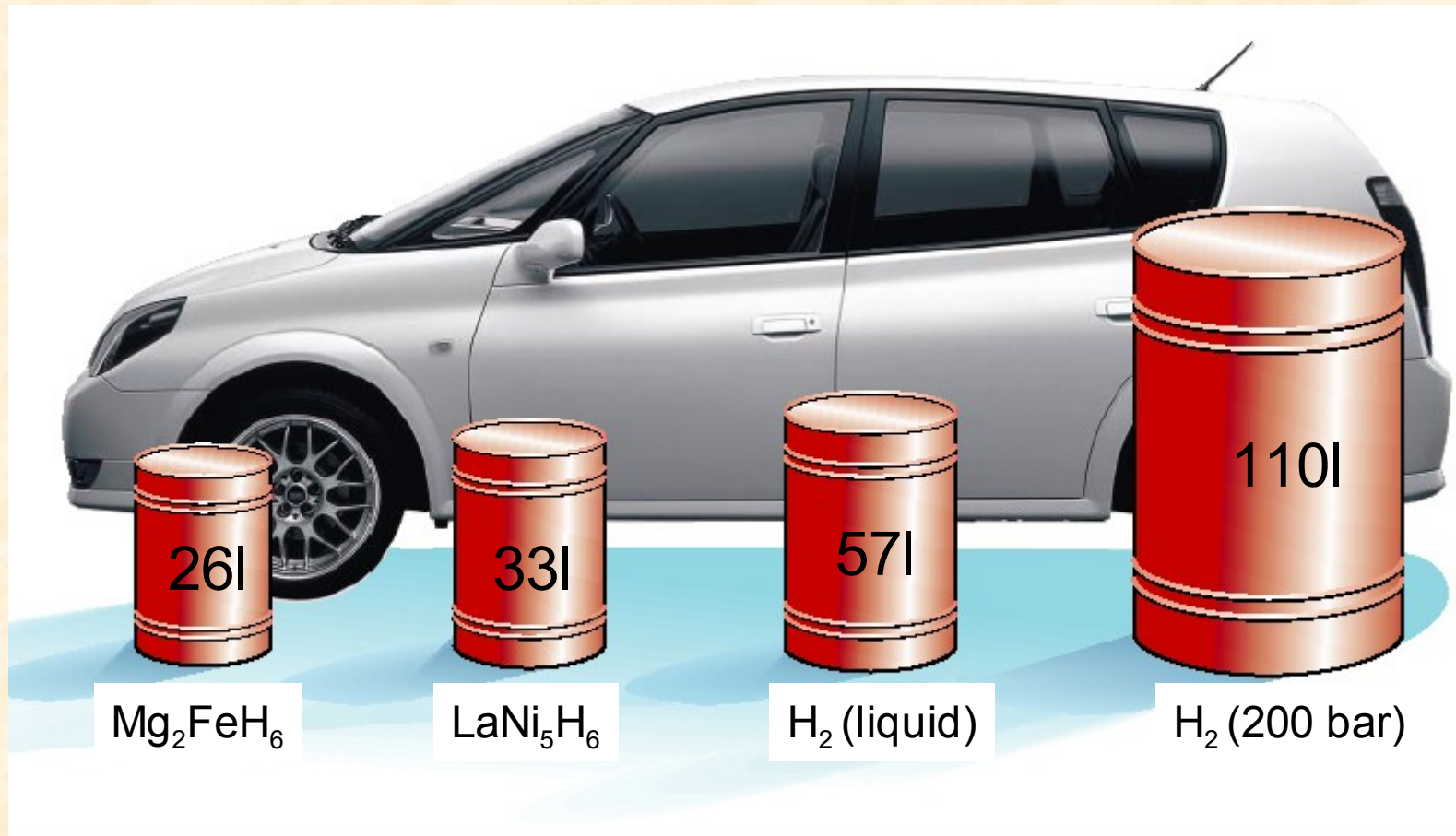
Wymogi dotyczące zbiorników na wodór dla samochodów osobowych

- Możliwość zmagazynowania 5 – 7 kg wodoru pozwalająca przejechać 500 – 700 km
- Mała objętość zbiornika (maks. ~200 l)
- Jak najlżejsze
- Niskie ciśnienie pracy (~25 atm)
- Niska temperatura pracy maks. ~80°C
- Małe ciepło wydzielane przy ładowaniu/rozładowaniu
- Duża gęstość wodoru w stosunku do masy całego zbiornika
- Wytrzymałość mechaniczna
- Bezpieczeństwo
- Krótki czas ładowania ~ 5 min

Objętość zmagazynowanego wodoru

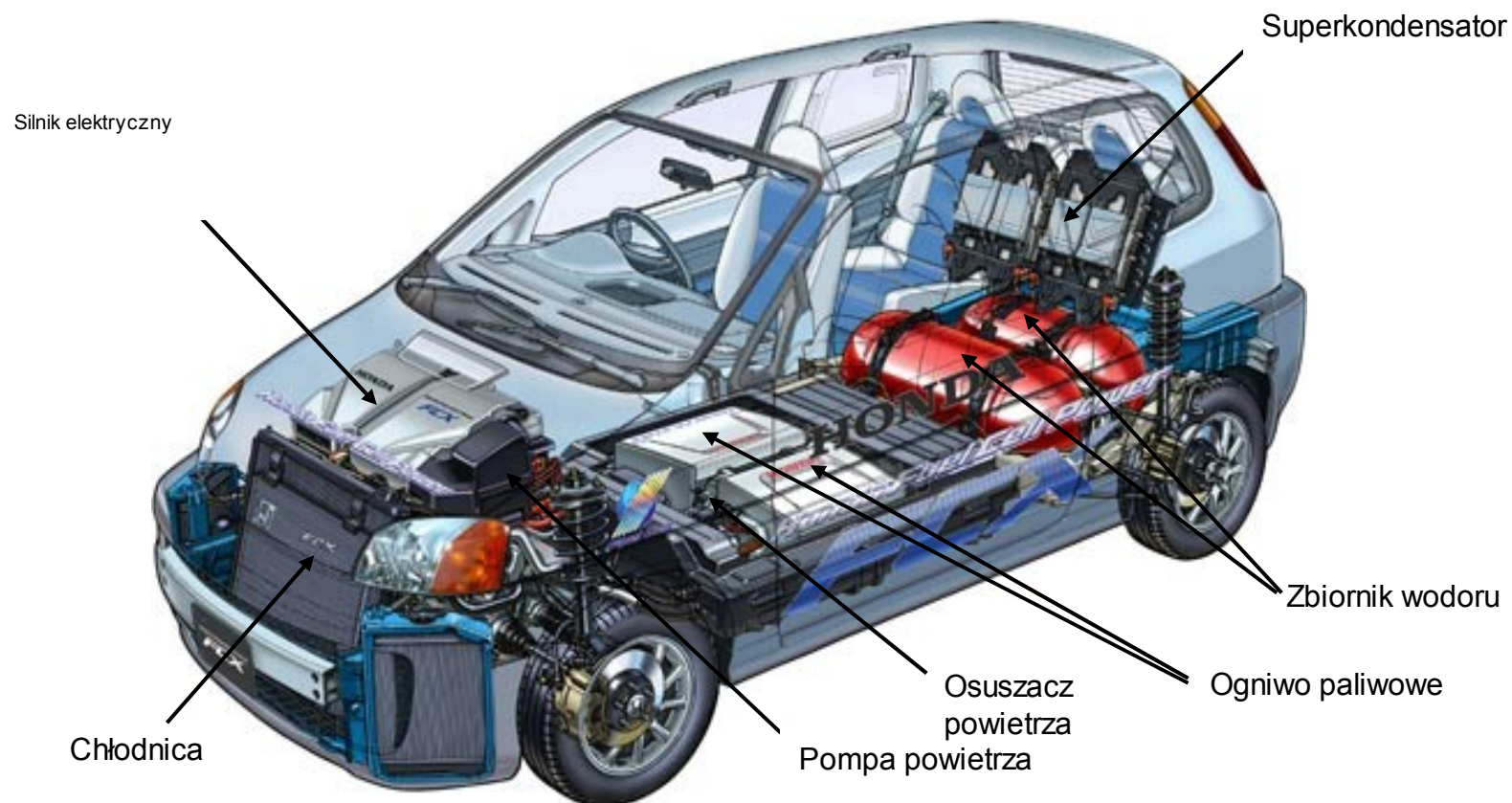
4 kg wodoru

3 l benzyny / 100 km = 0.3 kWh / km



Ref.: Louis Schlapbach & Andreas Züttel, NATURE | VOL 414 | 15 NOVEMBER 2001 | pp. 353-358

Budowa samochodu napędzanego wodorem FCX firmy HONDA



Samochody ze zbiornikami na ciekły i gazowy wodór

HydroGen3 liquid



Top Speed: 160 km/h

Power Fuel Cells: 94 kW

- Fuel: 4.6 kg LH_2
- Range (EDC): 400 km

HydroGen3 compressed 700



- Fuel: 3.1 kg CH_2
at 700 bar (10,000 psi)
- Range (EDC): 270 km

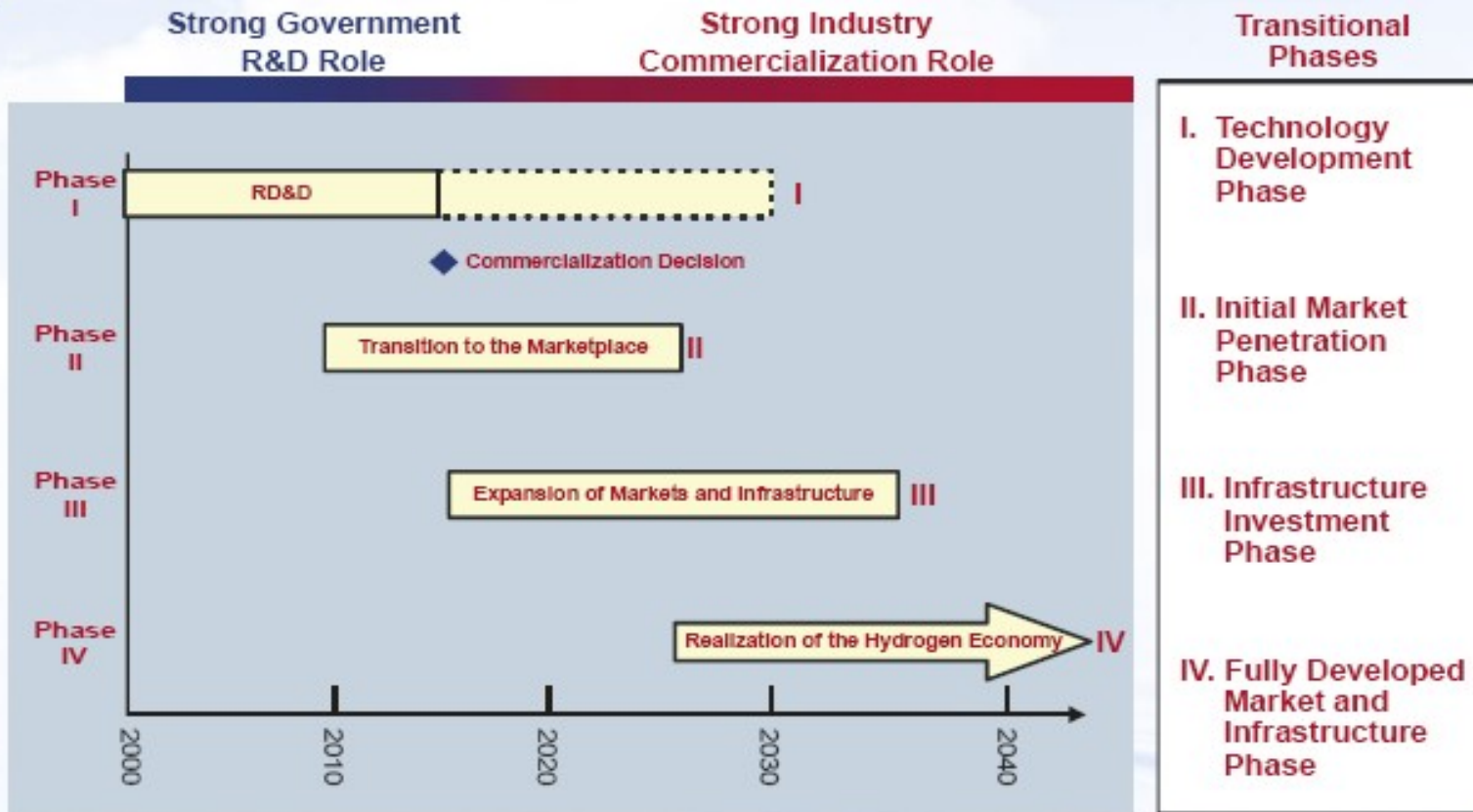
EDC – European Driving Cycle

Energetyka wodorowa w USA

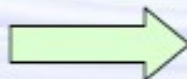
- *Departament Energii USA realizuje od lat program wdrażania energetyki wodorowej*
- *Głównym celem jest zastosowanie wodoru jako paliwa w samochodach*
- *Prezydent USA w roku 2004 zainicjował program „Paliwo wodorowe”, na który przeznaczono 1.2 miliarda USD na 5 lat*
- *Przemysł jest przygotowany do produkcji wodoru dla potrzeb energetycznych i transportowych*
- *Przemysł ma opracowane ogniwa paliwowe i samochody na wodór*
- *Głównym problemem jest dystrybucja i magazynowanie wodoru w samochodach oraz obniżenie kosztów do poziomu opłacalności*



Hydrogen Economy Timeline



Focus now: critical path barriers for commercialization decision in 2015.



Production (\$2-\$3/gge)
Storage (3 kWh/kg, 2.7 kWh/l, \$2/kWh)
Fuel cells (\$30/kW, 5000 hrs)

U.S. Department of Energy



Where will the hydrogen come from?

Approximate amounts needed for 20% demand of 64 M tons/yr (2040)

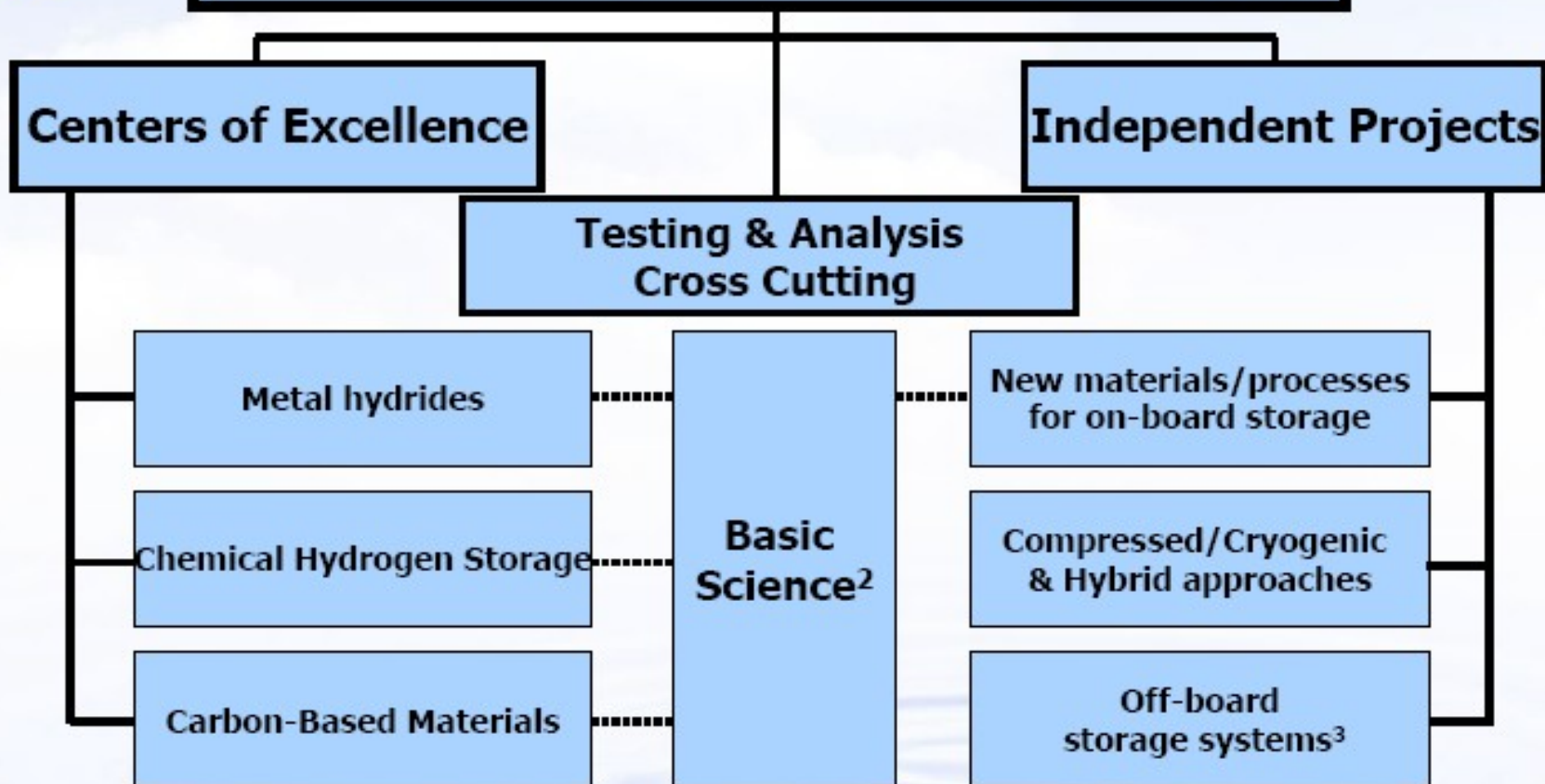
Carbon Neutral Resource	Needed for H ₂ ^{a, g}	Availability	Current Consumption	Consumption with H ₂ Production (factor times current)
Reforming and/or Partial Oxidation ^h (million metric tons per year)				
<i>Biomass</i>	140-280	800 (biomass residue and waste) + 300 (dedicated crops ^c)	200 (3 quads for heat, power & electricity)	1.7-2.4
<i>Coal (with sequestration)</i>	110	115,000 (recoverable bituminous coal)	1000 million (all grades)	1.1
Water Electrolysis ^a (gigawatts of electricity)				
<i>Wind</i>	200	3250	4	51
<i>Solar</i>	260	Southwest US: 2,300 kWh/m ² -year	<1	>260 times current
<i>Nuclear</i>	80	345,000 metric tons ^e	100	1.8
Thermo-Chemical (gigawatts thermal energy)				
<i>Nuclear</i>	110	345,000 metric tons ^e	310 ^f	1.3

Current H₂ production (M tons/yr): ~ 9 (U.S.) and ~ 50 (global)

From Hydrogen Posture Plan (www.hydrogen.energy.gov)



U.S. National Hydrogen Storage Project¹



1. Coordinated by DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies

2. Basic science for hydrogen storage conducted through DOE Office of Science, Basic Energy Sciences

3. Coordinated with Delivery program element

Grand Challenge applied R&D planned at \$150M/5 yrs (subject to appropriations)

Total (2006): ~ 40 universities, 15 companies, 10 federal laboratories

U.S. Department of Energy

Za zgodą Pani Sunity Satyapal DOE



Hydrogen Storage: Challenges & Targets

Challenge: How to store hydrogen on-board to meet performance (wt, vol, kinetics, etc.) , safety and cost requirements and enable > 300 mile range, without compromising passenger/cargo space.

Targets: Developed through



These
Are
System
Targets



Material
capacities
must be
higher!

	2010	2015
System Gravimetric Capacity= Specific Energy (net)	2.0 kWh/kg (7.2 MJ/kg) (6 wt%)	3.0 kWh/kg (10.8 MJ/kg) (9 wt%)
System Volumetric Capacity=Energy Density (net)	1.5 kWh/L (5.4 MJ/L) (0.045 kg/L)	2.7 kWh/L (9.7 MJ/L) (0.081 kg/L)
Storage system cost	\$4/kWh (~\$133/kg H ₂)	\$2/kWh (\$67/kg H ₂)

Explanations at www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/

U.S. Department of Energy

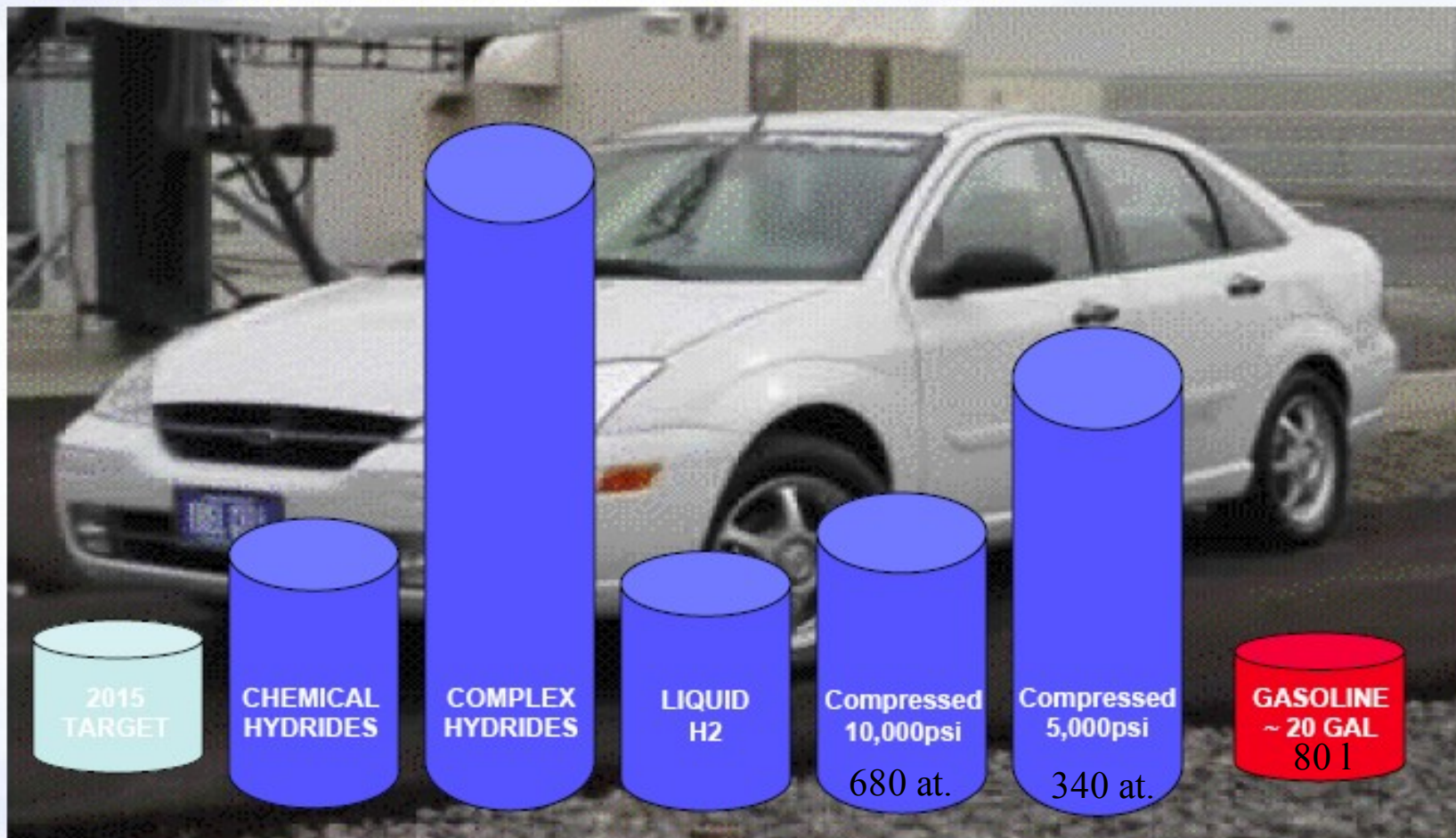
Za zgodą Pani Sunity Satyapal DOE



Storage System Volume Comparison...

Where we are, where we need to be

System Volume Estimates- Based on 5 kg hydrogen



Fuel Cell Vehicle- Photo from www.caafcp.org



Safety



3 seconds

- Fuel leak simulation
 - hydrogen on left
 - gasoline on right
 - equivalent energy release



1 minute

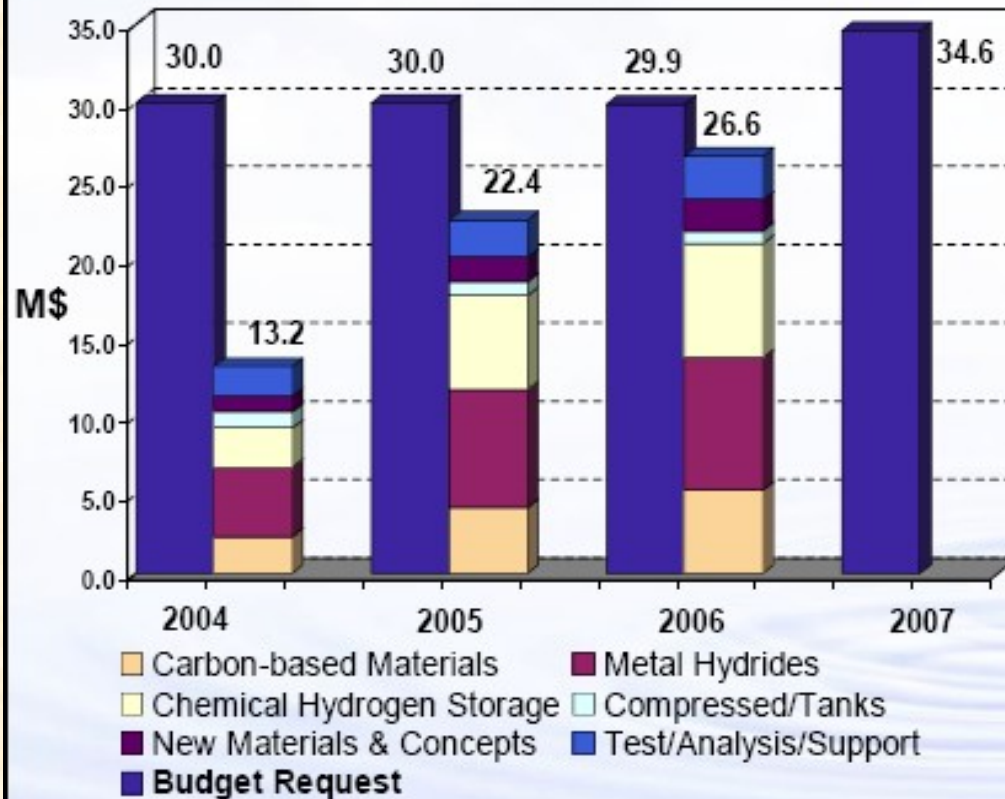


DOE Hydrogen Storage Budget

DOE- EERE

FY2007 Budget Request = \$34.6M

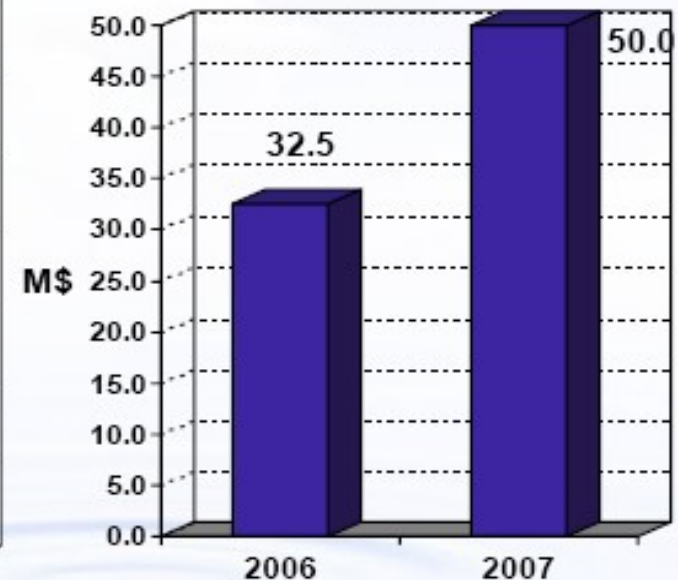
FY2006 Funding = \$26.6M



DOE- Office of Science

FY2007 Budget Request = \$50.0M*

FY2006 Funding = \$32.5M*



* For Basic Science within the Hydrogen Fuel Initiative, including hydrogen storage, membranes, catalysts, etc.

Planned funding for Basic Science in Hydrogen Storage in FY06: \$7.13M

U.S. Department of Energy

Za zgodą Pani Sunity Satyapal DOE



Continued Support of International Collaboration International Partnership for the Hydrogen Economy



Russian Federation



USA



New Zealand



Canada



Iceland



Japan



South Korea



China



India

IPHE Partners' Economy:

- Over \$35 Trillion in GDP, 85% of world GDP
- Nearly 3.5 billion people
- Over 75% of electricity used worldwide;
- > 2/3s of CO₂ emissions and energy consumption



United Kingdom



France



Germany



Italy



Australia



Brazil



Norway



European Commission



U.S. Department of Energy

Energetyka wodorowa w Japonii

Prospect of Energy demand and supply in 2030

It contains global issues of politics, economy, resources, energy, population, environment, etc.

Population of Japan decreases dramatically from 2006.

Energy demands of Japan will reach the maximum around 2021.

Fuel cell and hydrogen technology will be developed.

Targets in 2030

15 million Fuel Cell vehicles on road

8,500 Hydrogen refueling stations

Stationary Fuel Cells 12.5 million kW



Who initiated the Project on Fuel cell & Hydrogen?

ANRE, METI (Government)

"Policy Study Group for Fuel Cell Commercialization"
(**PSGFCC**) was established in Dec. 1999.

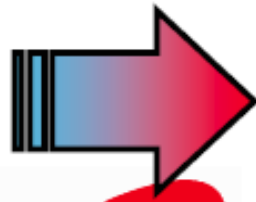


Cooperation

Industries

"Fuel Cell Commercialization Conference of Japan"
(**FCCJ**) was established in Mar. 2001.

- Examinations, Discussions, and Suggestions on the commercialization and widespread use of fuel cells.



Program on Polymer Electrolyte Fuel Cells and Hydrogen Energy Utilization Technology (Aug. 2001) -> New Energy R&D Program

The Japanese big projects on FC & H₂ was launched.



Fuel Cell Commercialization and Diffusion Scenario



1: Now to 2005 (Basic R&D and technology demonstration stage)

- Drawing up FC R&D Strategy and its Implementation
- Soft-infrastructure/Codes & Standards (Millennium project)
- Demonstration

2: 2005 to 2010 (Introduction stage)

- Acceleration of the Introduction and Gradual Establishment of Fuel Supply System
- Leadership of Public Sectors as well as FC Industries in Promotion of FCV and Buses

3: After 2010 (Diffusion stage)

- Establishment of Fuel Supply System and Self-sustained Growth of the Market
- Private Sector's Promotion of the Introduction

Forecast of Fuel Cell Introduction

	2010 FY	2020 FY	2030 FY
FCV	50,000 vehicles	5,000,000	15,000,000
Stationary FC	2.2 million kW	10 million	12.5 million

R,D&D Formation of Fuel Cell & Hydrogen in Japan

ANRE (Agency of Natural Resources and Energy)

PSGFCC

FCCJ

Research &
Development

NEDO (New Energy and Industrial Technology
Development Organization)
Research & Development on Fuel Cells and Hydrogen
Establishment of Codes, Regulations and Standards

Demonstration

NEF (New Energy Foundation)
Field test of Stationary Fuel Cell Systems (~FY2005)

JHFC (Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project)

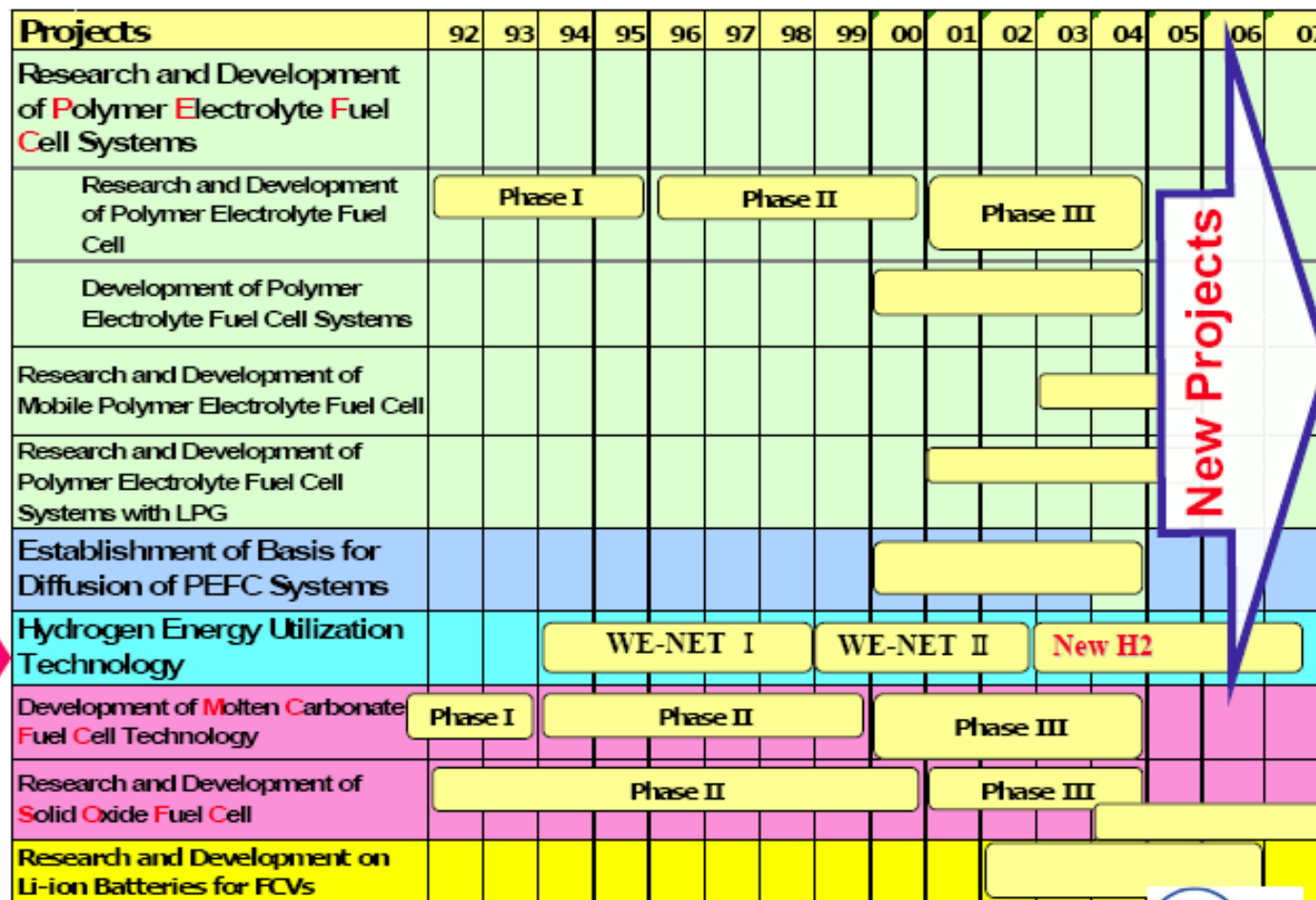
JARI (Japan Automobile Research Institute)
Demonstration of FCV Driving
Data Collection and Analysis on FCV

ENAA (Engineering Advancement Association of Japan)
Demonstration of H₂ Infrastructure

Private Sectors, Universities, National Institutes



FC/Hydrogen Energy Utilization Projects in NEDO



Budget Trend for Fuel Cells & H₂ R&D

Billion Yen

Categories	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PEFC	3.10	5.82	5.50	5.58	5.08	6.18
MCFC	2.10	2.32	1.80	1.88	1.66	-----
SOFC	0.40	0.71	1.50	1.72	2.67	3.29
Codes & Standards	2.11	2.79	3.10	3.89	2.42	3.58
H₂ Safety & Utilization	1.66[#]	2.70[#]	2.90[#]	4.55	6.35	4.10
Demo. (PEFC, H ₂)	-----	-----	2.50	3.84	2.94	4.34
FC&H₂ Total*	9.37	14.3	22.0	30.7	32.9	35.4

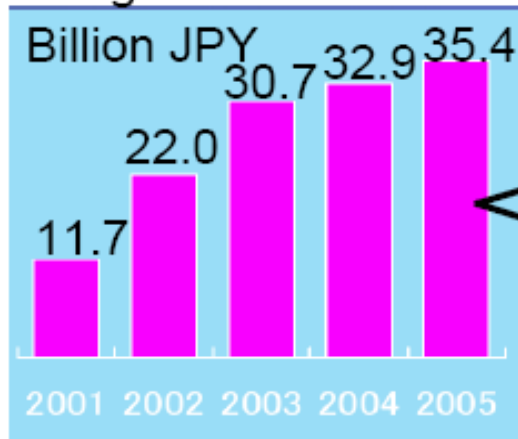
* Other related projects are included.

WE-NET Project

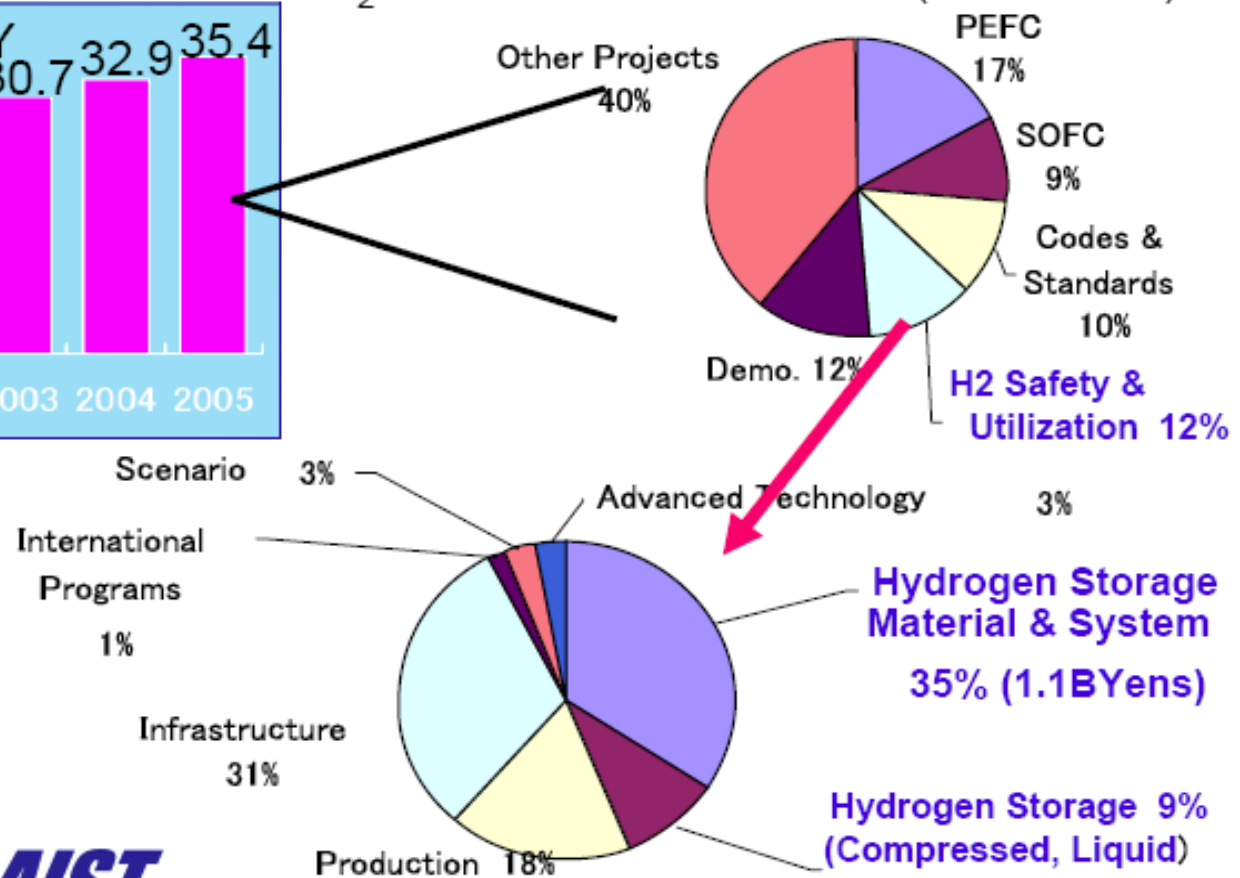
1 billion Yen = 9 million US\$

Overview of Hydrogen Storage R&D: Funding

Budget for Fuel Cell and H₂



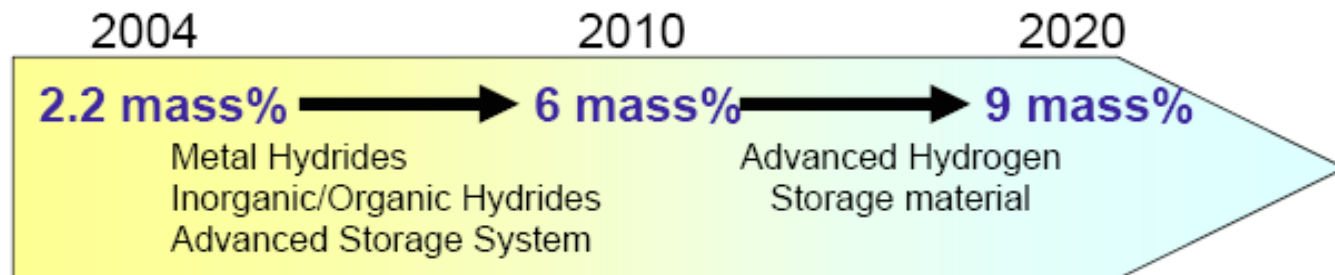
Details of FY2005 (Billion JPY)



Gordon Research Conference, Hydrogen -metal Systems 14 July 2005

Overview of Hydrogen Storage RD&D: Targets & Timeline

Timeline for Hydrogen Storage (PSGFCC/ANRE/METI)



NEDO Targets (2007) for Hydrogen Storage Materials

<Hydrogen Storage Material for **On-Board Storage**>

Hydrogen Density : **5.5 mass% below 423K**

Durability : 90% of initial capacity after 2000 cycles

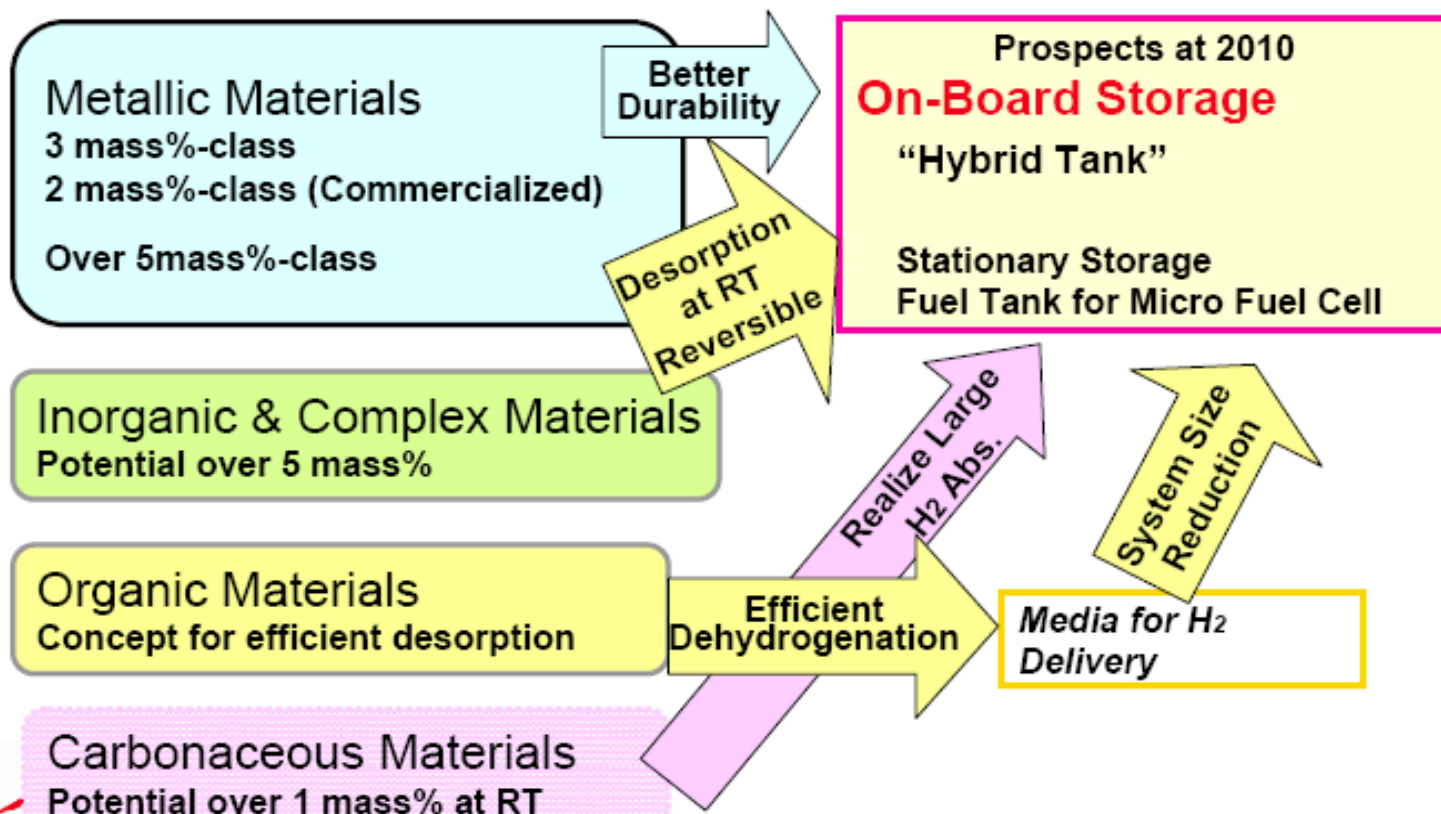
<Hydrogen Storage Material for **Stationary Storage**>

Hydrogen Density : **3 mass% below 373K**

Durability : 90% of initial capacity after 5000 cycles

Future Prospects (NEDO)

Prospects for Materials (METI) : 6 mass% (2010), 9 mass% (2020)





A Wind-Solar-Hydrogen-FC Hybrid System

by a METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) Project, Japan in 2004.

- Nasu-Denki-Tekko Co Ltd.**
- Tokai University**
- Tokyo Metropolitan Government**

1. A Windmill (1kW)

2. Solar cells (1kW)

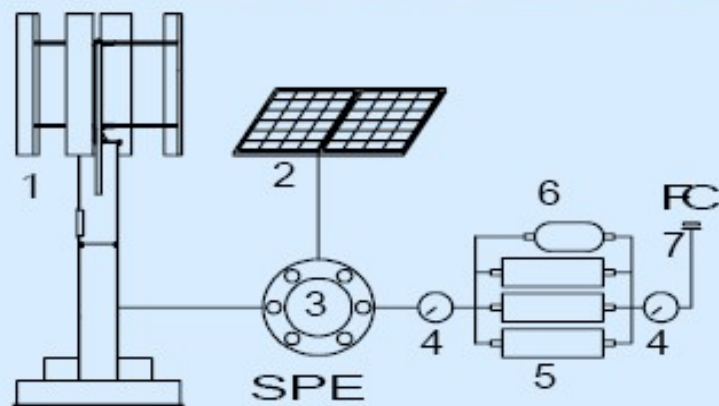
3. S.P.E (2.2kW)

4. pressure gauge

5. MH tank (0.9kg nano-FeTi × 3)

6. reservoir

7. Fuel cells (850W)

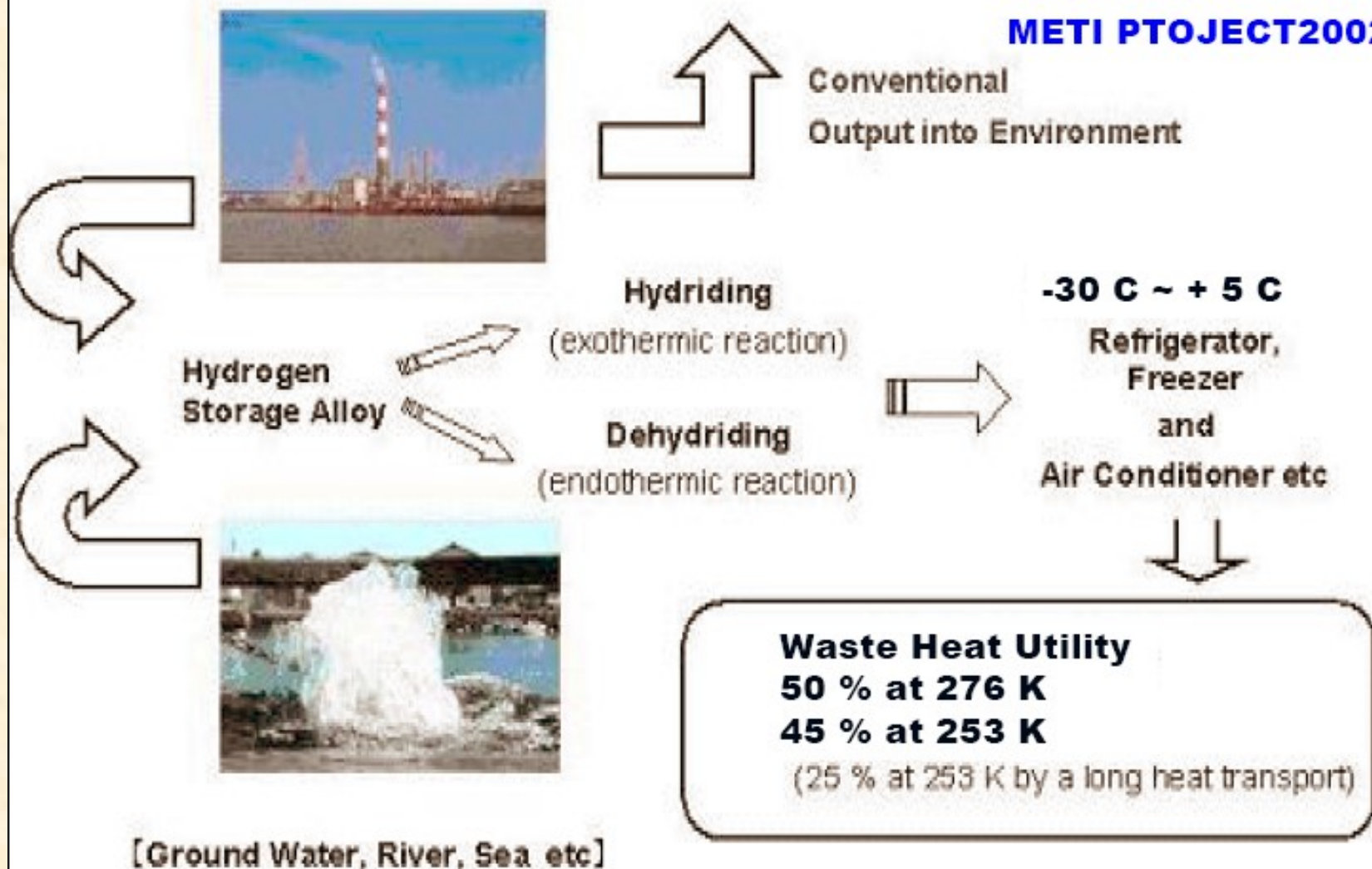


H.Uchida et al, *Proc. Int. Hydrogen Energy Congress & Exhibition IHEC2005*, Istanbul, Turkey, 13-15 July 2005, pp.41-44.

[Waste Heat of Plants, Incinerators etc]

An Example in City Saijo

METI PTOJECT2002



H.Uchida et al, *Proc.6th Int.Conf. on New Energy Systems and Conversion (NESC2003)*,
Nov.9-13,2003, Busan, Korea, pp.34-38.



F- CLASS < - 30 °C 67 m³

C-CLASS 0 ~ 5 °C 67 m³

5m x 5m x 3.3 m (H) x 2 FREEZERS

METI PROJECT 2002

HUGE EFFECT IN ENERGY CONSERVATION & CO₂ REDUCTION

-30 °C

COOLING CAPACITY 7500 kcal/h

< MH FREEZER >

< CFC GAS FREEZER >

DRIVING GAS H₂
gas)

R22 (Freon

ENERGY

CONSUMPTION 2.39 kW (←30% ! →) 8 kW

ENERGY CONSERVATION 70% !!

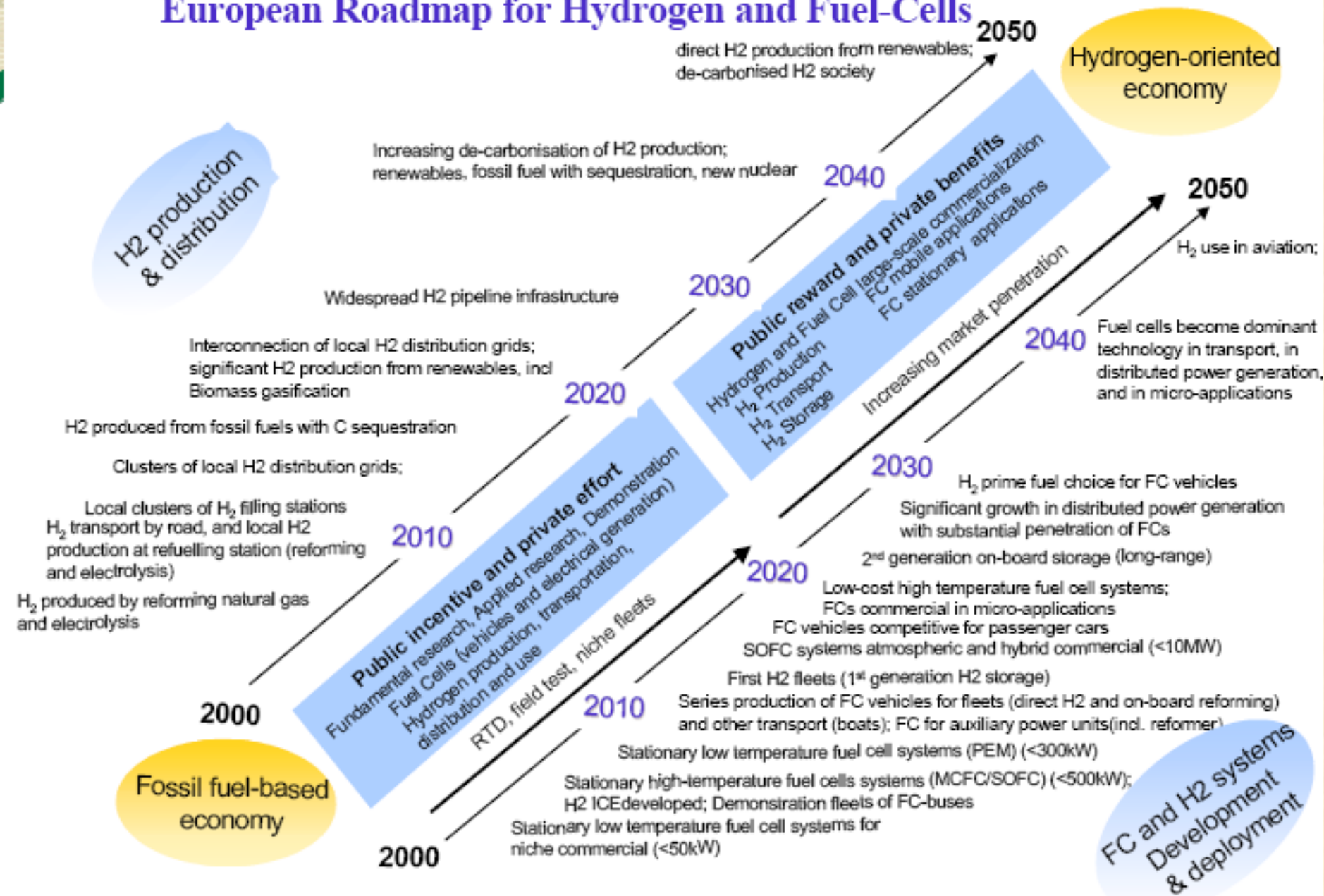
CO₂ EMISSION 8.4 tons-CO₂/y ← 28 tons-CO₂/y

H.Uchida et al, *Proc.6th Int.Conf. on New Energy Systems and Conversion (NESC2003)*,
Nov.9-13,2003, Busan, Korea, pp.34-38.

Energetyka wodorowa w UE

- *Projekt HYPOGEN (2004 –2015) 1.3 mld €*
- *Projekt HYCOM (2004 –2015) 1.5 mld €*
- *Do tej pory wydano łącznie 0.5 mld € (bez nas)*
- *W 7 PR do dyspozycji na lata 2007 –2012
1.5 mld €*

European Roadmap for Hydrogen and Fuel-Cells



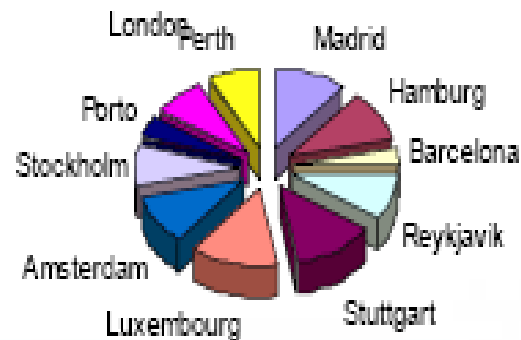
Autobusy na wodór *30 w Europie*

Stan: luty 2006

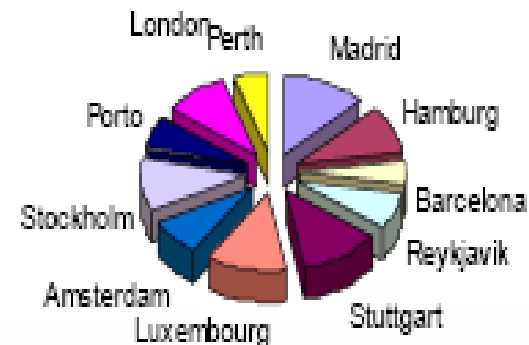
Kilometers
Hours

total
>1.000.000 km
>70.000 hrs

TOTAL KILOMETERS



TOTAL HOURS



Belgian LH₂-Bus



Refueling Station Artist's View by Hydrogen Systems [Photo: LBST - Hannover Fair 2000]

Demonstration of Hydrogen Systems' ICE LH₂ City Bus in the Belgian City of Hasselt in October 2000; Technology Partners: Hydrogen Systems, Messer Griesheim [Photos: Hydrogen Systems]

Italian FC-Bus by Irisbus



The IRISBUS vehicle, a 12-meter transit bus, will roll-out in the 2nd quarter of 2001. It will be demonstrated in Torino, Northern Italy, 2nd half of 2001.

It incorporates a hybrid-drive system with a 60kW fuel cell power plant by IFC.

[Source: Irisbus]

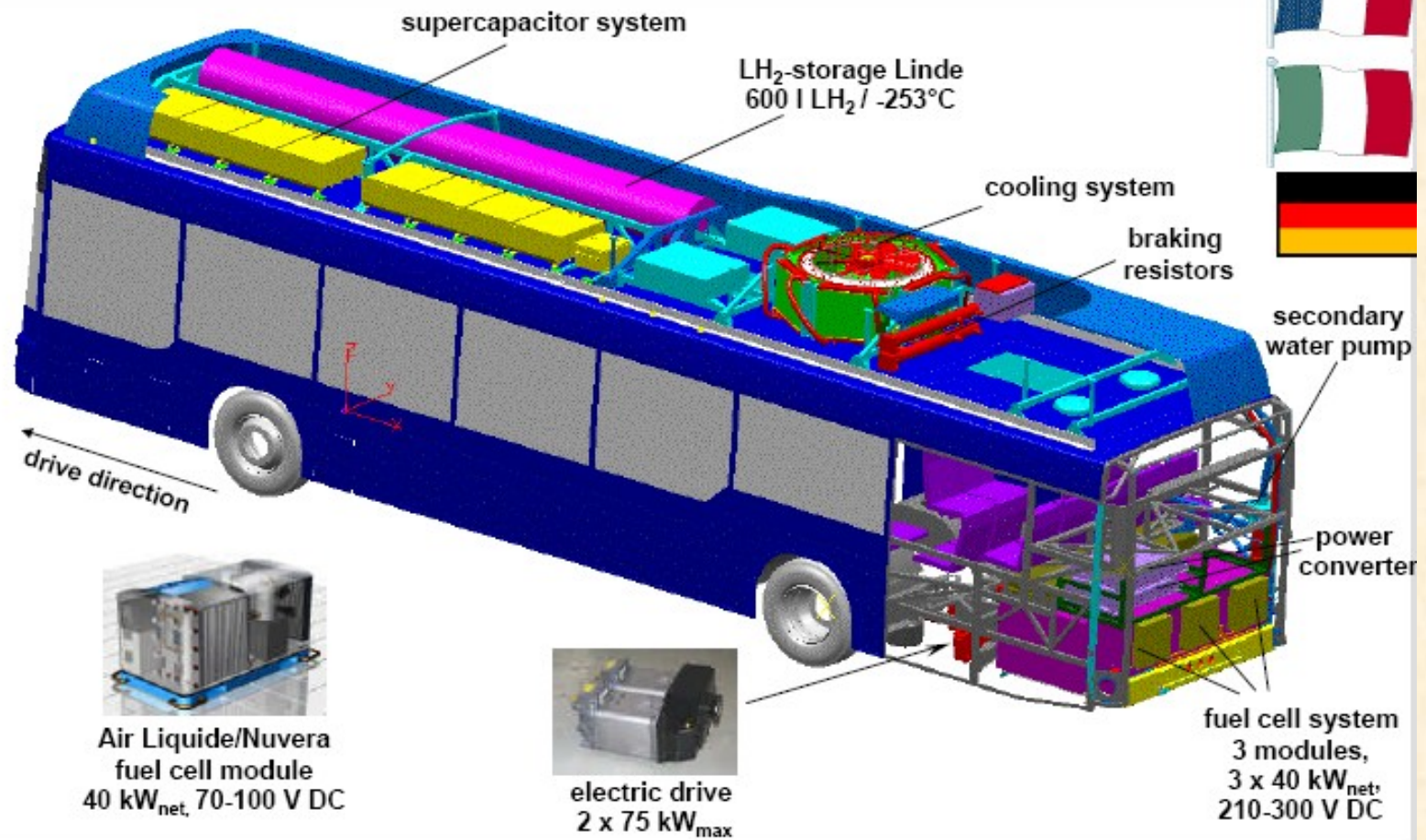
European CGH₂ FC-Hybrid-Electric Midi-Bus by Scania



Project Partners:
Scania (S),
Air Liquide (F),
Nuvera (I),
SAR (D),
Genova University (I)

[Source: Scania]

MAN FC-Bus with Air Liquide/ Nuvera PEMFC System and LH₂ Storage



DaimlerChrysler NECAR + NEBUS



Sources:
DC, NH₂F,
BSTJ

30 CUTE Buses in 8 European Countries
and 3 Buses in Perth (Australia)

Energetyka wodorowa w Niemczech

SWB - Solar Hydrogen Bavaria Project [1986-1999]



[Source: SWB]

SWB -
Bayernwerk AG,
Siemens AG,
BMW AG, Linde AG]



Energetyka wodorowa w Niemczech

Solar Hydrogen Activities in Germany



HYSOLAR, Stuttgart
PHOEBUS, Jülich
Solar House Freiburg

Sources:
DLR, FhG, FZJ



Energetyka wodorowa w Niemczech

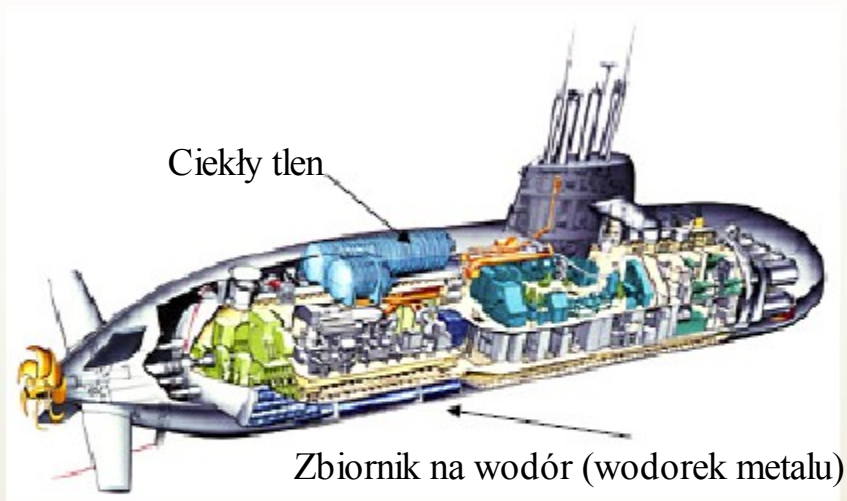
EQHHPP - Bavarian LH₂-Bus



LH₂ ICE City Bus Demonstration in
Erlangen

[Sources: MAN, ESTW, Linde]

Zastosowanie napędu wodorowego w łodzi podwodnej



Wodorek
Pojemność zbiornika

$\text{Ti Zr (Mn V Fe X)}_2$
ca. 1.5 wt.-%

HYDRA - AFC Propelled Boat with MH, Onboard Storage



Specifications:

- Length overall: 12 m
- Beam: 3 m
- Draught: 0.52 m
- Weight: 4 tonnes
- Fuel-cell: ZeTek MkII
- Power rating: 7.5 kW
- Max speed: 6 knots (11 km/h)

[Sources: ZeTek, ETAing 2000]



Stacja wodorowa na lotnisku w Monachium

Dystrybutory

Zbiornik LH2



Zbiornik z wodorkiem

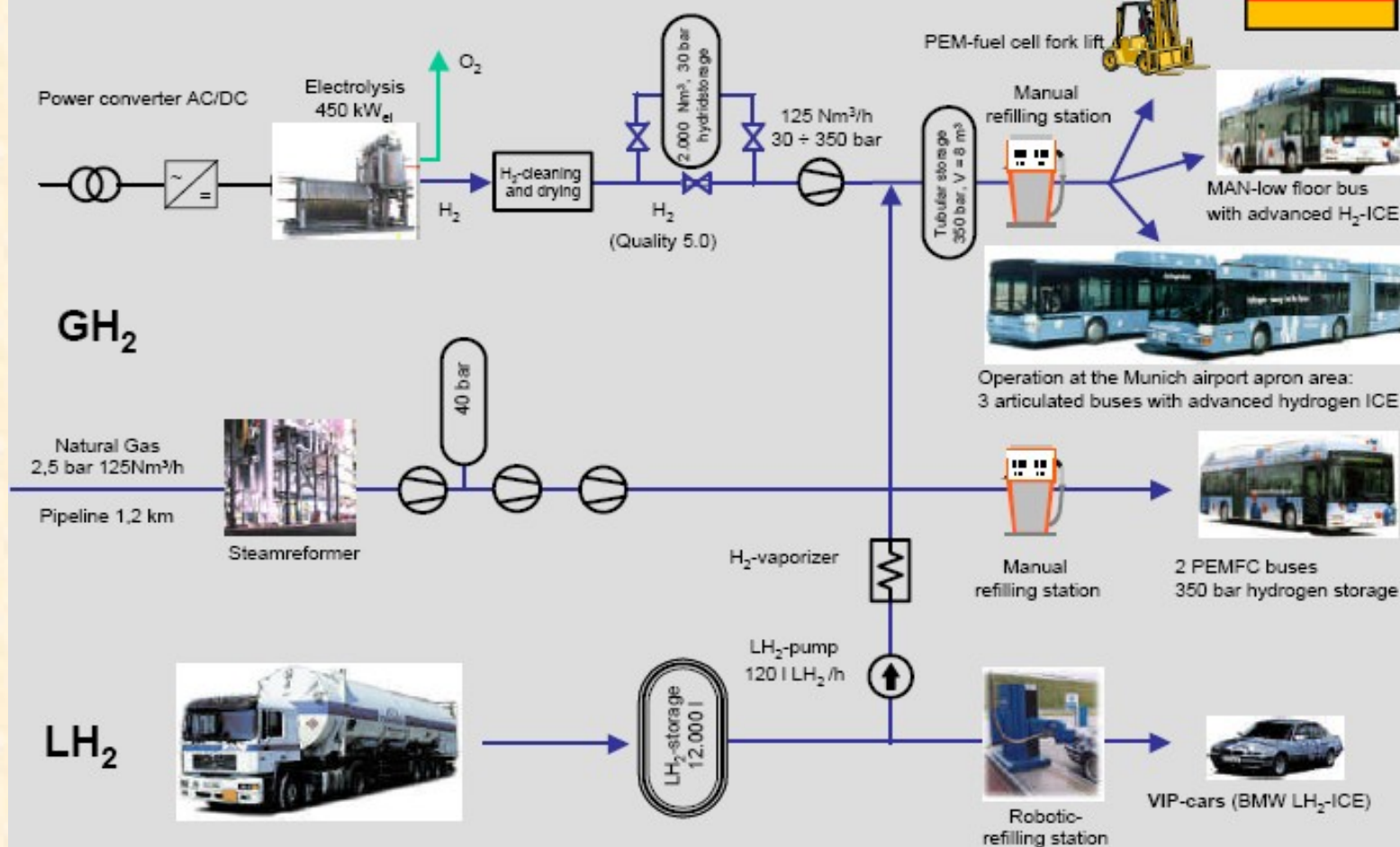
Zbiorniki wysokociśnieniowe

Stacja wodorowa na lotnisku w Monachium

H2MUC - Hydrogen Project Munich Airport - Second Phase



Energy supply Hydrogen production Hydrogen storage Hydrogen consumption



Na stacji paliw „ARAL” w Berlinie



Na stacji paliw „ARAL” w Berlinie



Na stacji paliw „ARAL” w Berlinie



Fot. K. Wierzbowski

*Końcówka do wlewania
ciekłego wodoru*



*Końcówka do tankowania
gazowego wodoru*



Licznik pobranego wodoru gazowego



Koszt eksploatacji samochodu

Przyjmując 1.2 €/l benzyny i 8 €/kg wodoru mamy koszty:

3. Koszt 1 kWh energii

z benzyny – 0.1 €,

z wodoru – 0.04 €,

2. Koszt przejechania 400 km

na wodór – 37,8 €

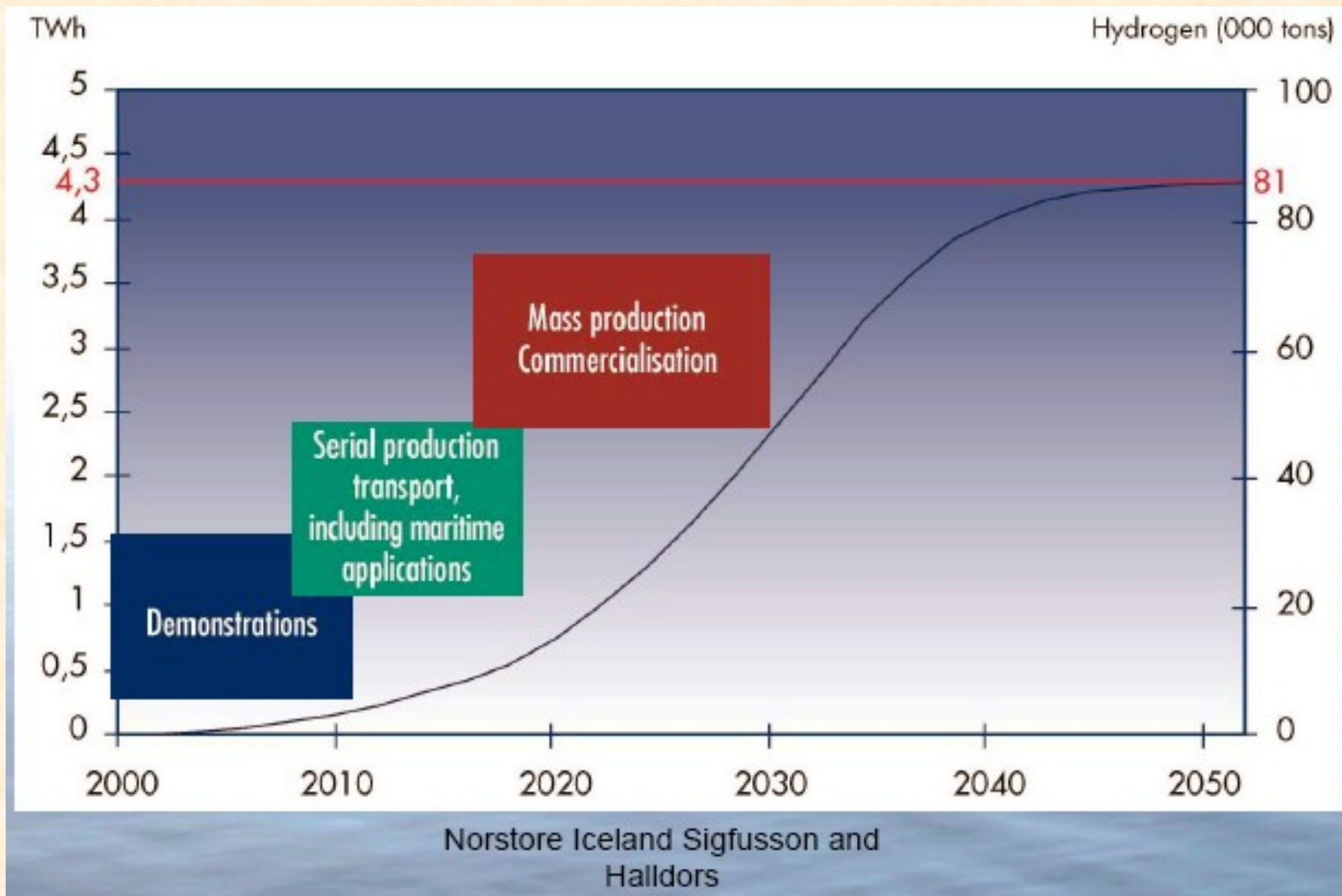
na benzynie – 33,6 €



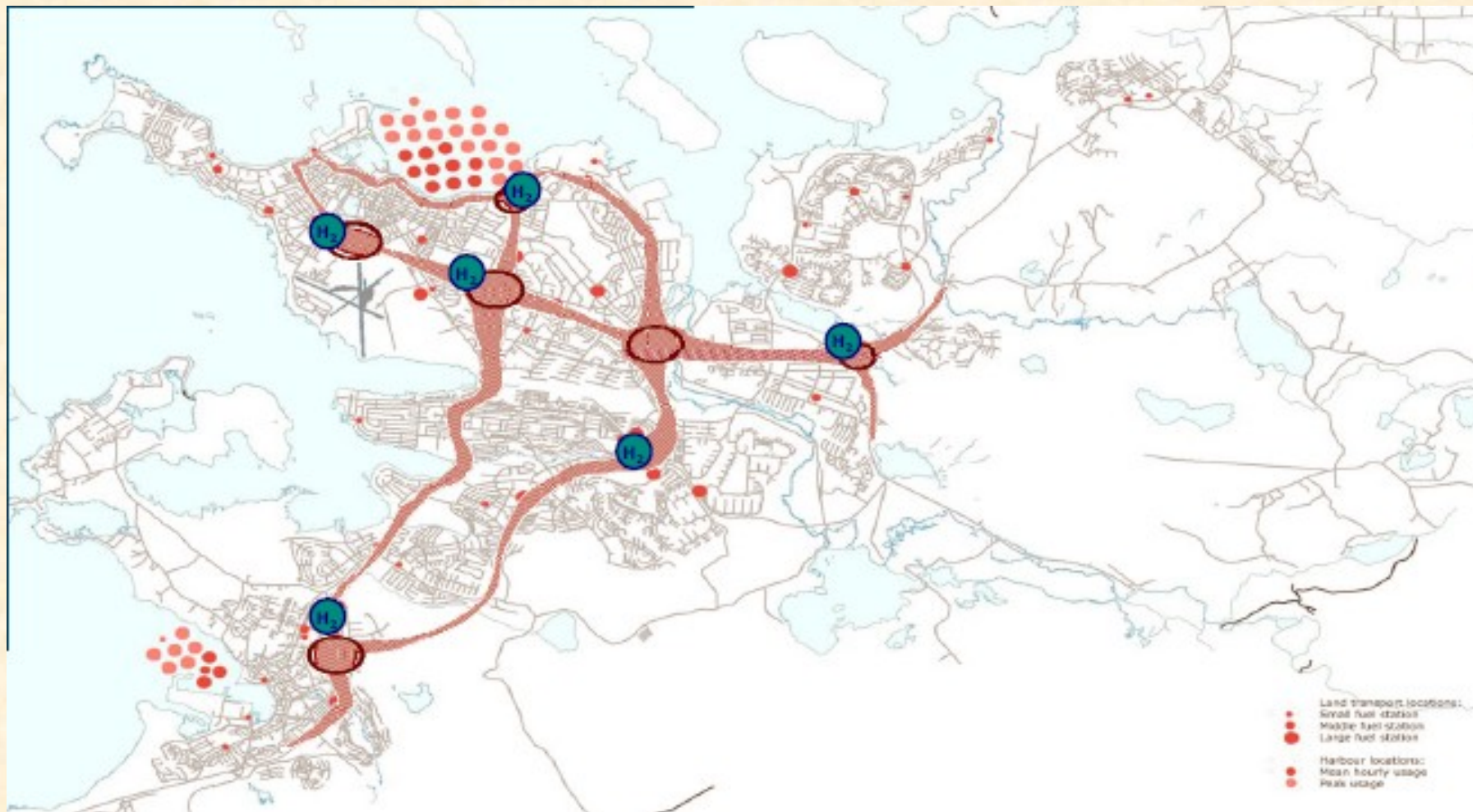
The home-fuelling concept

- One of the concepts in the Icelandic Roadmap towards a hydrogen economy involves infrastructure.
- A backbone of the infrastructure would be a network of hydrogen fuelling stations similar to the gasoline/diesel network already in place.
- There is, however, a unique opportunity to utilize geothermal heat and hydrogen with the aid of metal hydrides and use this technology to provide a basis for home fuelling stations.
- Geothermal compression has been addressed within NORSTORE 

Prognoza produkcji wodoru w Islandii



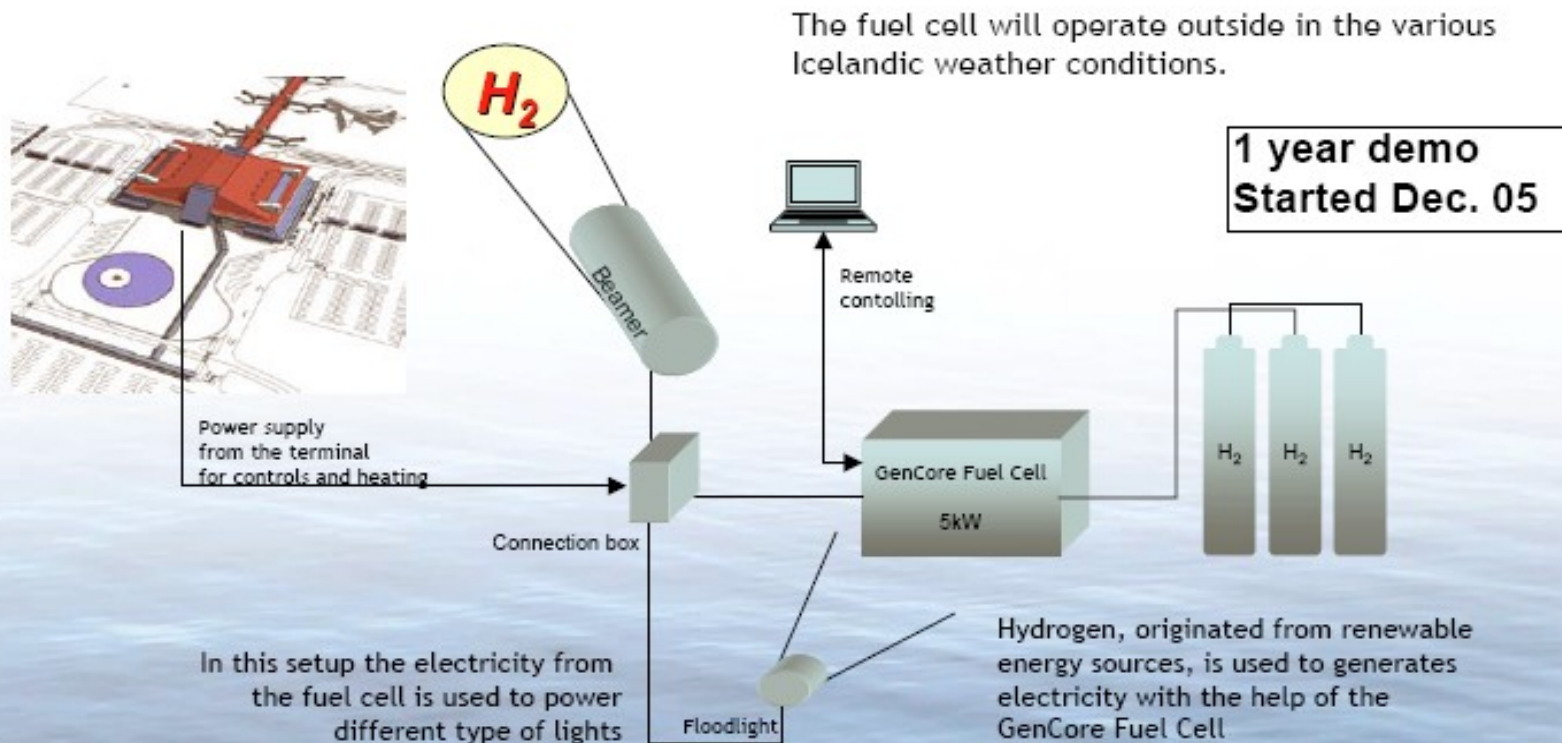
*W Islandii planowana jest sieć stacji z wodorem dla samochodów,
Koszt ok. 20 – 30 mln €*





UNIVERSITY OF ICELAND

Keflavik airport US_e H₂ backup



Energetyka wodorowa w Polsce

- *Polska Platforma Technologiczna Wodoru i Ogniw Paliwowych (2005)*
- *Ministerstwo Nauki – projekt zamawiany 2005: „Materiały i technologie dla rozwoju gospodarki wodorowej w oparciu o przemysłowe gazy procesowe”*
- *Kłaster śląski – uzyskiwanie wodoru pod ziemią – sekwestracja CO₂*
- *W ramach krakowskiego klastra energetycznego – nowa inicjatywa AGH*
- *Brak szerszej koordynacji i nakładów państwowych*
- *Samochody na wodór w Polsce?*

Polski samochód wodorowy adaptacja MELEXu z z silnikiem Fiata 126p

25 km/godz, 5,5 m³/1h jazdy



Rys. 5. Wózek MELEX z napędem wodorowym¹⁾

M. Rudkowski „Polskie silniki i pojazdy wodorowe”,
Przemysł Chemiczny”, 84/11(2005)873-875

Polska

Tanie wytwarzanie wodoru – prace studyjne:

- 2. GIG – podziemna gazyfikacja wodoru*
- 2. Wytwarzanie wodoru w procesie koksowniczym*
- 3. Energetyka Jądrowa – AGH*

Magazynowanie wodoru:

Badania podstawowe – AGH, WAT, IChF, Pol Pozn.

Wykorzystanie wodoru:

Ogniwa Paliwowe – AGH, INTiBS Wrocław, UW

Samochód – Inst. Nafty i Gazu, Kraków

Oczekiwania

W świecie

- jest i będzie istniał silny rozwój badań mający na celu wdrożenie energetyki wodorowej a w szczególności:
- wykorzystania wodoru do napędu samochodów
- rozpowszechnienie wodoru jako pośredniego nośnika energii
- nastąpi to w latach 2010 –2040

W Polsce

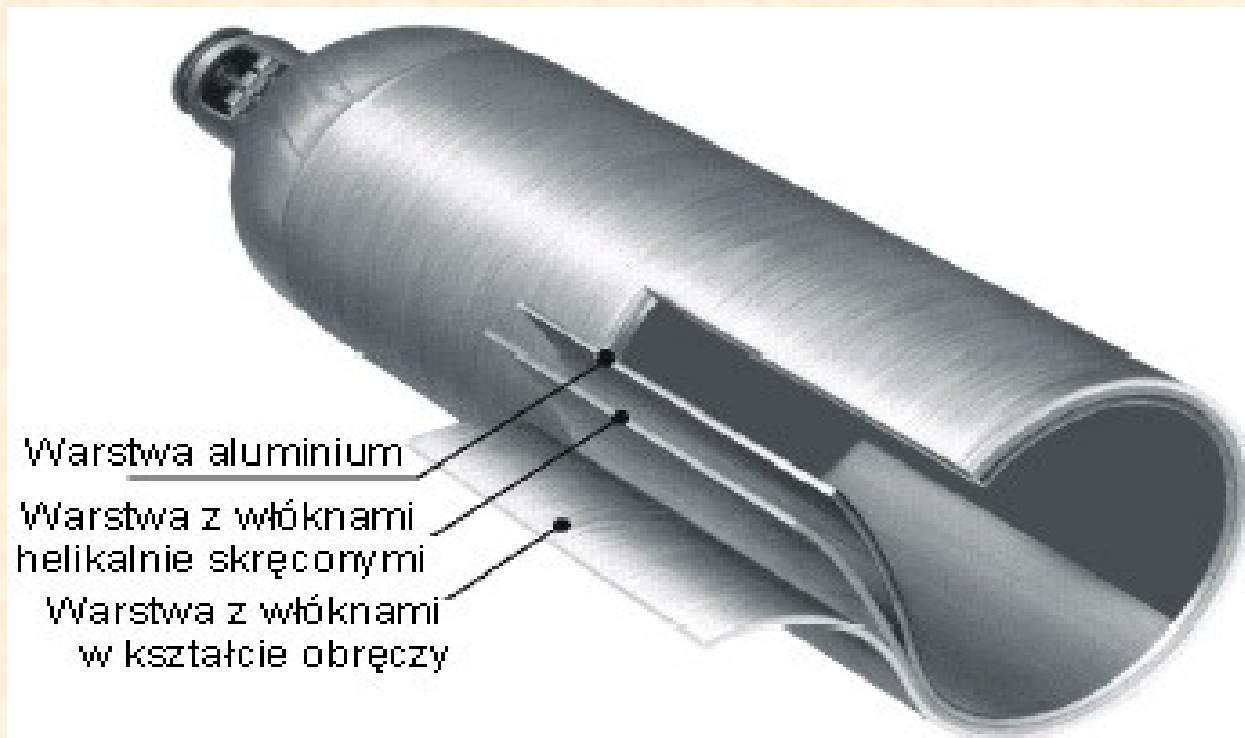
- mamy szansę włączyć się w badania poprzez 7 Ramowy Program UE
- brak spójnej polityki energetycznej uwzględniającej wodór jako nowy nośnik energii – „Platforma wodorowa” na razie nic nie wnosi
- bez istotnego dofinansowania przez państwo fazy „rozruchowej”, pomimo udziału w programach finansowanych przez UE raczej nie należy oczekiwać szybkiego upowszechnienia energetyki wodorowej

Źródła

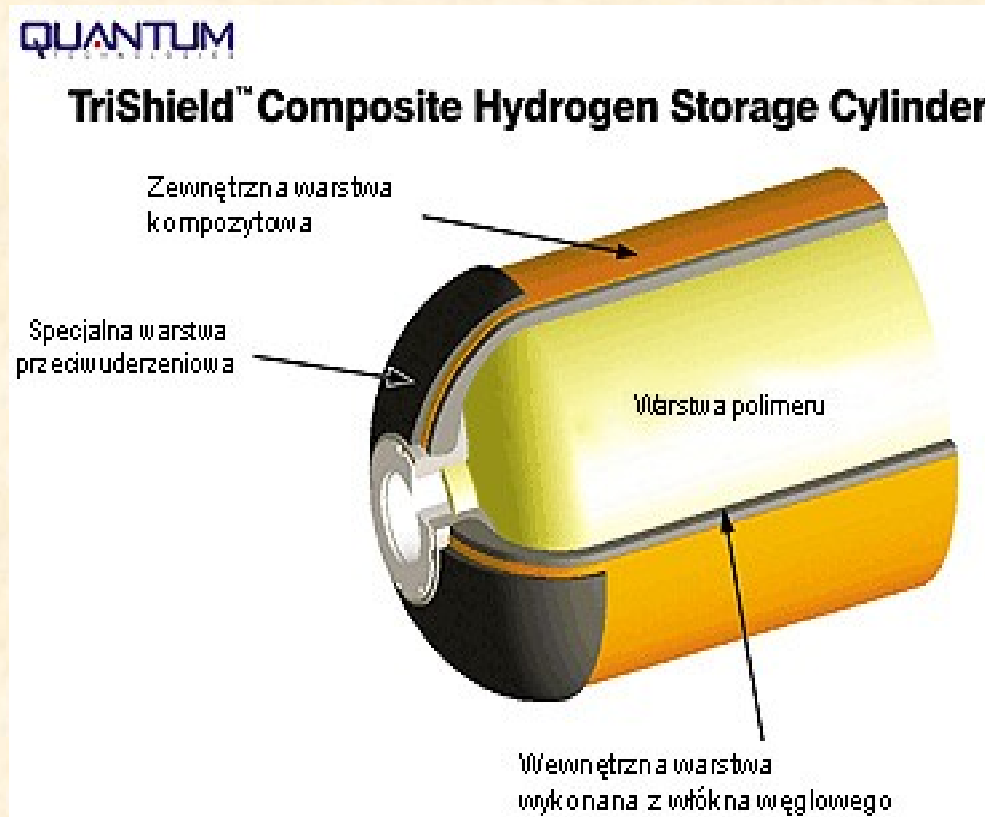
1. *Prace cytowane na planszach*
2. *H-Workshop, Bad Honnef 2005, Materiały z wykładów: W Eberhardt, U. Eberle, M. Felderhof, C. Jensen, T. Klassen,*
3. *Workshop NORSTORE Jillingen, 29 – 31 Maj 2006, Materiały z wykładów: T. I Sigfuson, S. Satyapal*
4. *E. Akiba, „Japans Global vision for Hydrogen Storage Technology and the Hydrogen Economy”, Gordon Conf, Hydrogen-Metal Systems, 2005*
7. *J. M Bermejo „Fuel cells and hydrogen research” Piladephia 2004*
8. *European Union Compendium on Hydrogen and Fuell cell projects*

Dziękuję za uwagę

Zbiornik wysokociśnieniowy.



Konstrukcja zbiornika



Kompozytowy zbiornik firmy Quantum.

Właściwości fizyczne wodoru

- Energia jonizacji: $\text{H(g)} \rightarrow \text{H}^+(\text{g}) + \text{e}^-$ 13,595 eV
- Powinowactwo elektronowe $\text{H(g)} + \text{e}^- \rightarrow \text{H}^-$ 0,75 eV
- Promień atomu H, 0,053 nm
- Promień atomowy kowalencyjny, 0,037 nm
- Promień H^+ 0,15
- Promień H^- w wodorkach jonowych 0,13-0,15 nm
- Entalpia ΔH_{298} reakcji $2\text{H(g)} \leftrightarrow \text{H}_2(\text{g})$ -436,26 kJ/mol
- Gęstość (293 K, 1 atm) 0.08376 kg/m³
- Gęstość (20 K, 1 atm) 70,8 kg/m³
- Temperatura wrzenia (1 atm) 20,55 K
(-252,6 °C)
- Energia chemisorpcji E_{ch} 50 kJ/mol H_2
- Energia 120 MJ/kg



Fot. K. Wierbanowski

Mobil mit Wasserstoff

Die Clean Energy Partnership (CEP) ist ein Zusammenschluss von neun internationalen Unternehmen. Schon heute versorgen sie die Menschen täglich mit Energie und Mobilität. Um beides auch für die Zukunft zu garantieren, haben sie es sich gemeinsam mit der Bundesregierung zur Aufgabe gemacht, die wegweisende Wasserstoff-Technologie weiter zu entwickeln. An dieser Tankstelle erprobt die CEP verschiedene Herstellungsverfahren und Verwendungsmöglichkeiten, um Wasserstoff als sauberen und effizienten Kraftstoff für Fahrzeuge zu etablieren.

Die CEP ist Teil der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik Deutschland und weltweit eines der wichtigsten Projekte auf dem Weg in eine nachhaltige Mobilität.



Wasserstoff-Infrastruktur:



Tankstelle



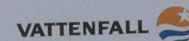
Wasserstoff-Servicestation



Gasförmiger Wasserstoff



Betankungstechnologie und flüssiger Wasserstoff



Erneuerbare Energie

Wasserstoff-Fahrzeuge:



DAIMLERCHRYSLER



Aufbau der CEP-Tankstelle



Linde
Hydrogen Solutions
Antriebsmotor



Mobil mit Wasserstoff

Die Clean Energy Partnership (CEP) ist ein Zusammenschluss von neun internationalen Unternehmen. Schon heute versorgen sie die Menschen täglich mit Energie und Mobilität. Um beides auch für die Zukunft zu garantieren, haben sie es sich gemeinsam mit der Bundesregierung zur Aufgabe gemacht, die wegweisende Wasserstoff-Technologie weiter zu entwickeln. An dieser Tankstelle erprobt die CEP verschiedene Herstellungsverfahren und Verwendungsmöglichkeiten, um Wasserstoff als sauberen und effizienten Kraftstoff für Fahrzeuge zu etablieren.

Die CEP ist Teil der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik Deutschland und weltweit eines der wichtigsten Projekte auf dem Weg in eine nachhaltige Mobilität.

GEFÖRDET VON
 Die Bundesregierung

Wasserstoff-Infrastruktur:



Tankstelle



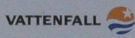
Wasserstoff-Servicestation



Gasförmiger Wasserstoff



Betankungstechnologie und flüssiger Wasserstoff



Erneuerbare Energie

Wasserstoff-Fahrzeuge:



DAIMLERCHRYSLER







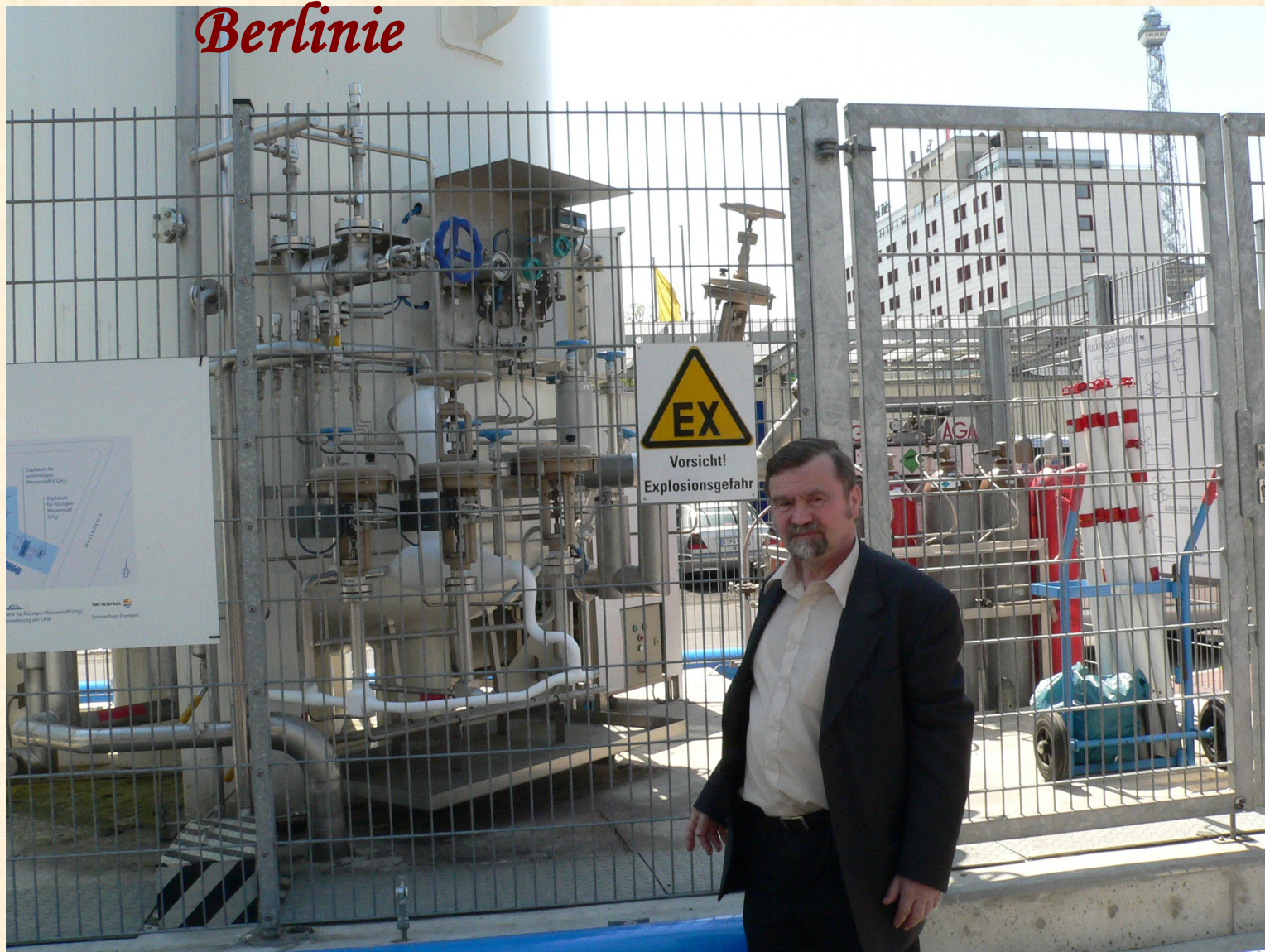
Füllleitung

*Na stacji paliw „ARAL”
w Berlinie*

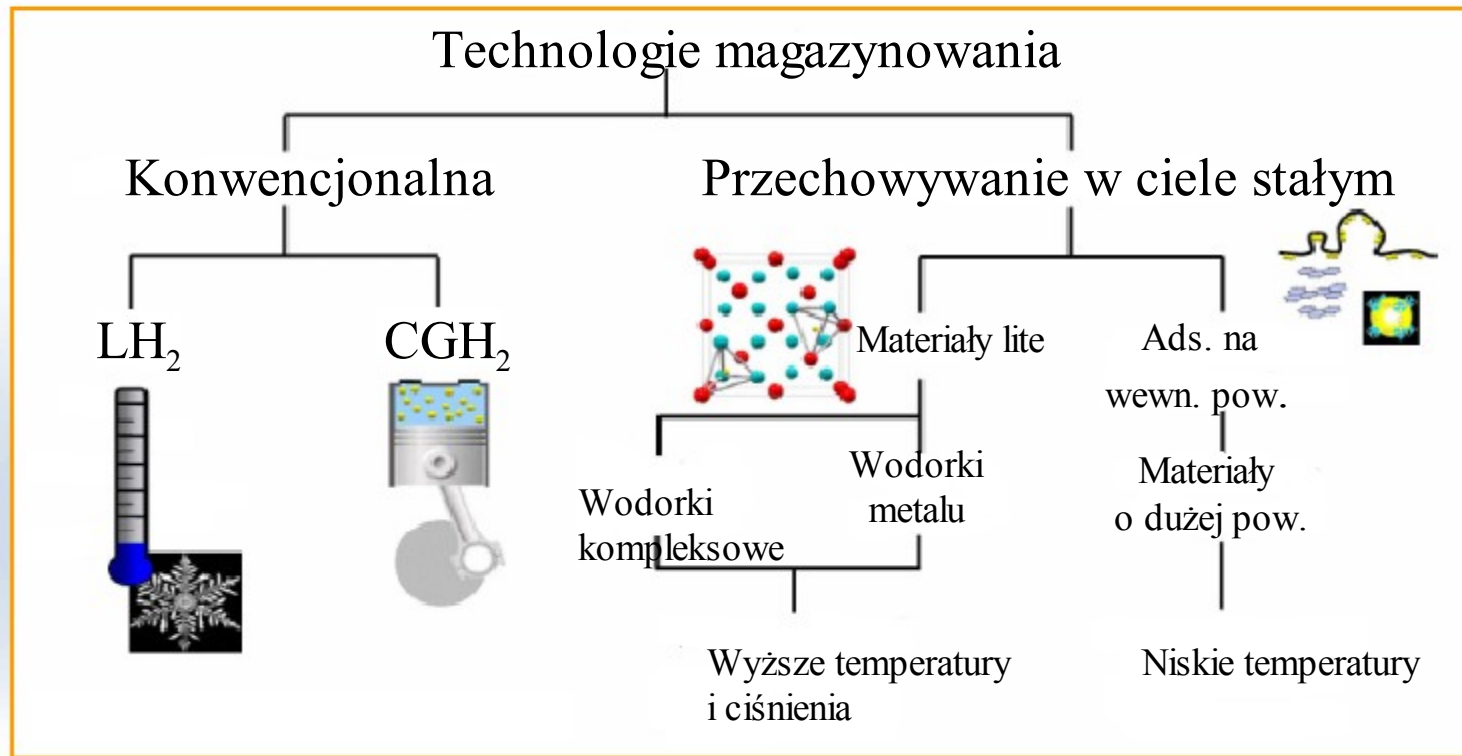


Fot. K. Wierzbowski

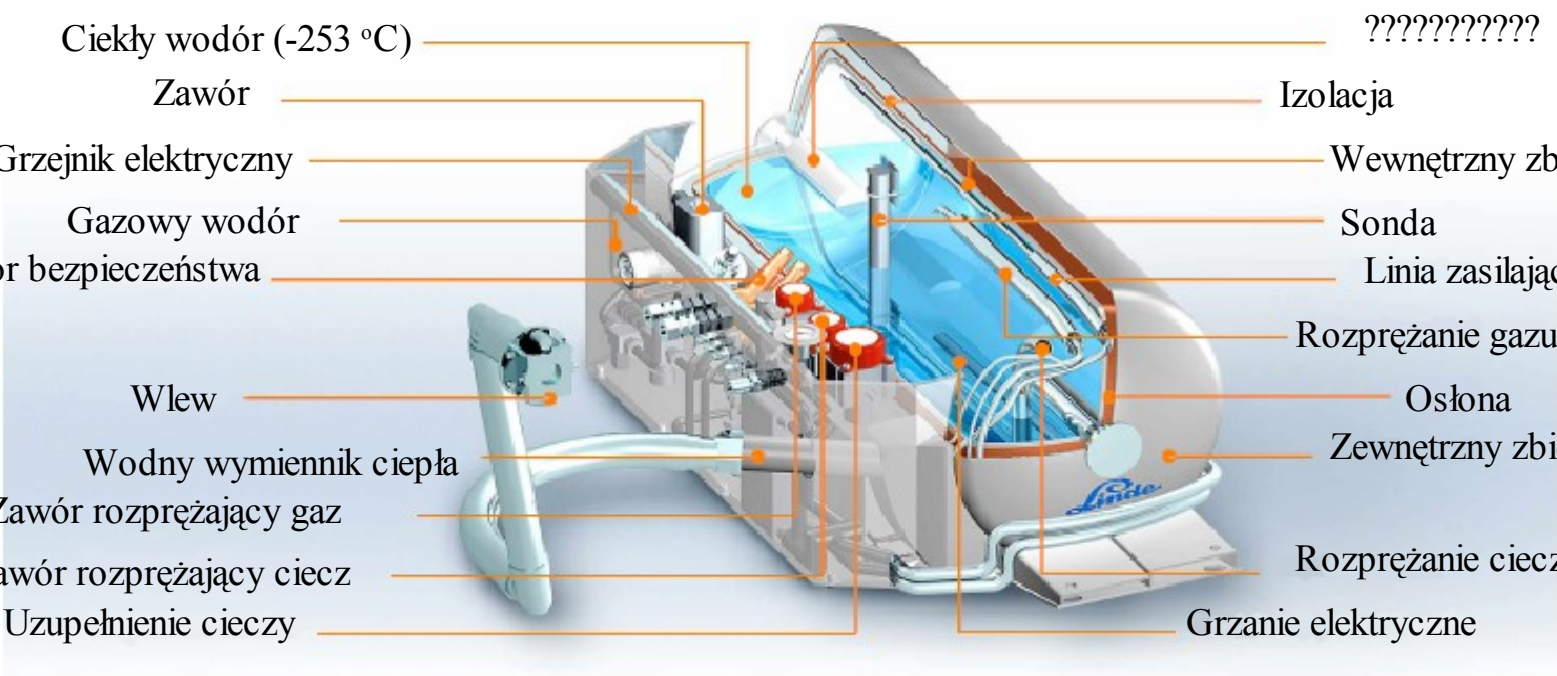
Na stacji paliw „ARAL” w Berlinie



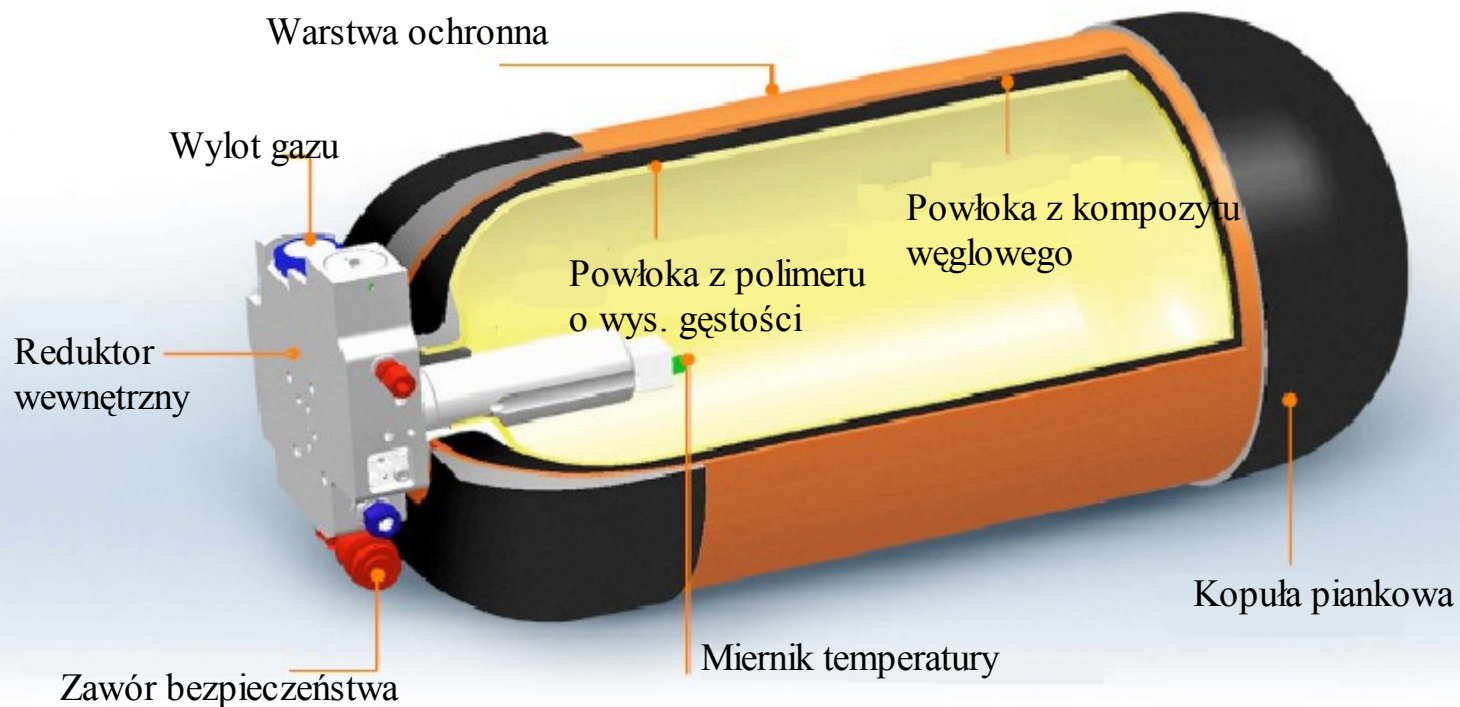
Technologie magazynowania H_2



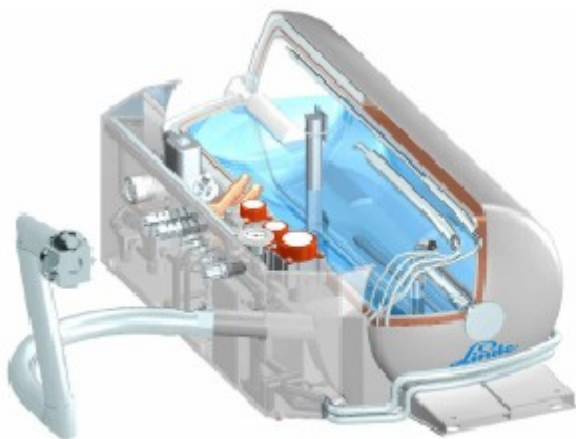
Magazynowanie ciekłego wodoru



Magazynowanie wodoru w zbiornikach ciśnieniowych



Konstrukcja zbiorników



Ograniczenie dopływu ciepła (300K-20K)



Optymalizacja rozmiaru / Wskaźnik pow.



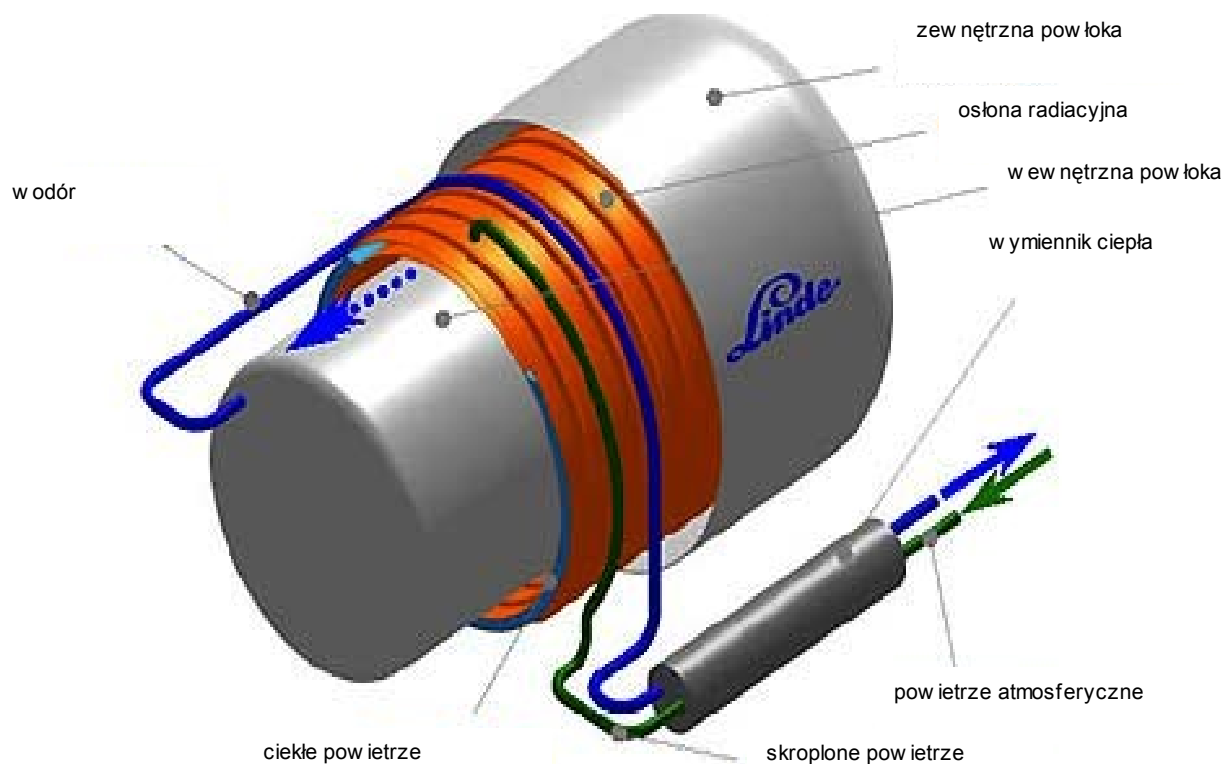
Pojemnik pod ciśnieniem (700 bar)



Optymalizacja kształtu

→ Oba zbiorniki LH_2 i CGH_2 mają cylindryczny kształt

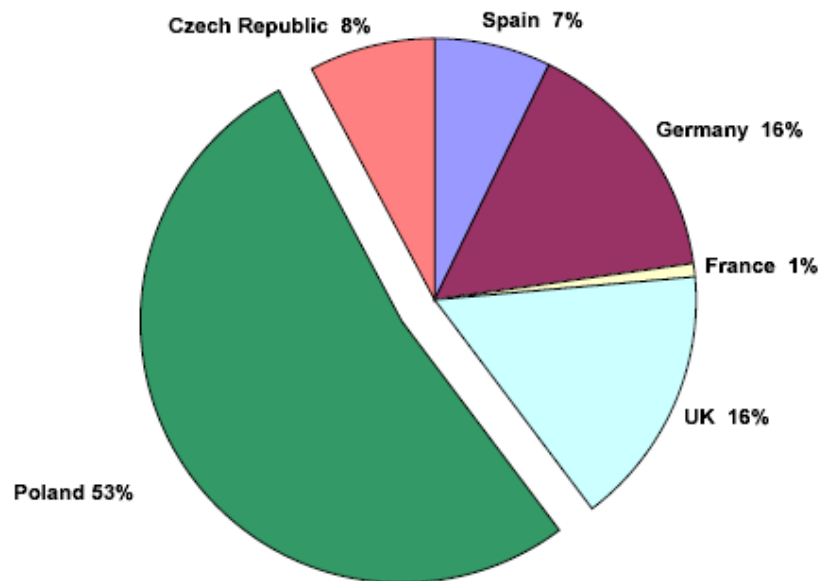
Hybrydowy zbiornik firmy Linde



Produkcja wodoru w Polsce przez zgazowanie węgla



Security of supply in Europe and the role for coal **Considerations : enlargement**

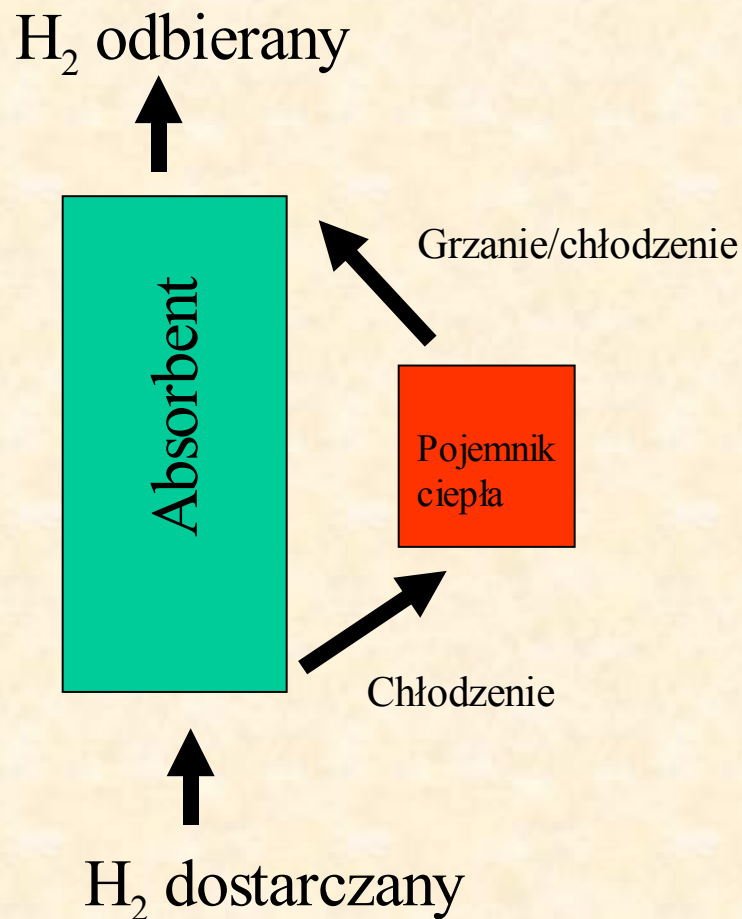


Poland

- bigger than the entire existing EU industry
- restructuring to continue

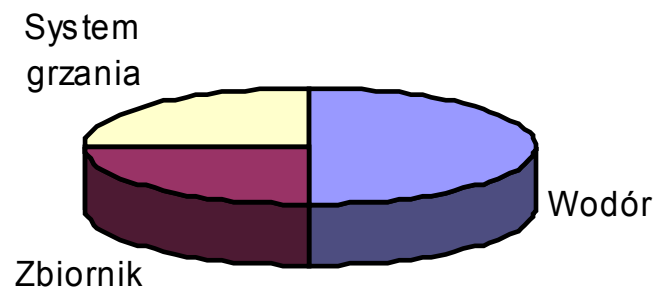


Problem ciepła związany z ładowaniem i rozładowaniem zbiornika z wodorem

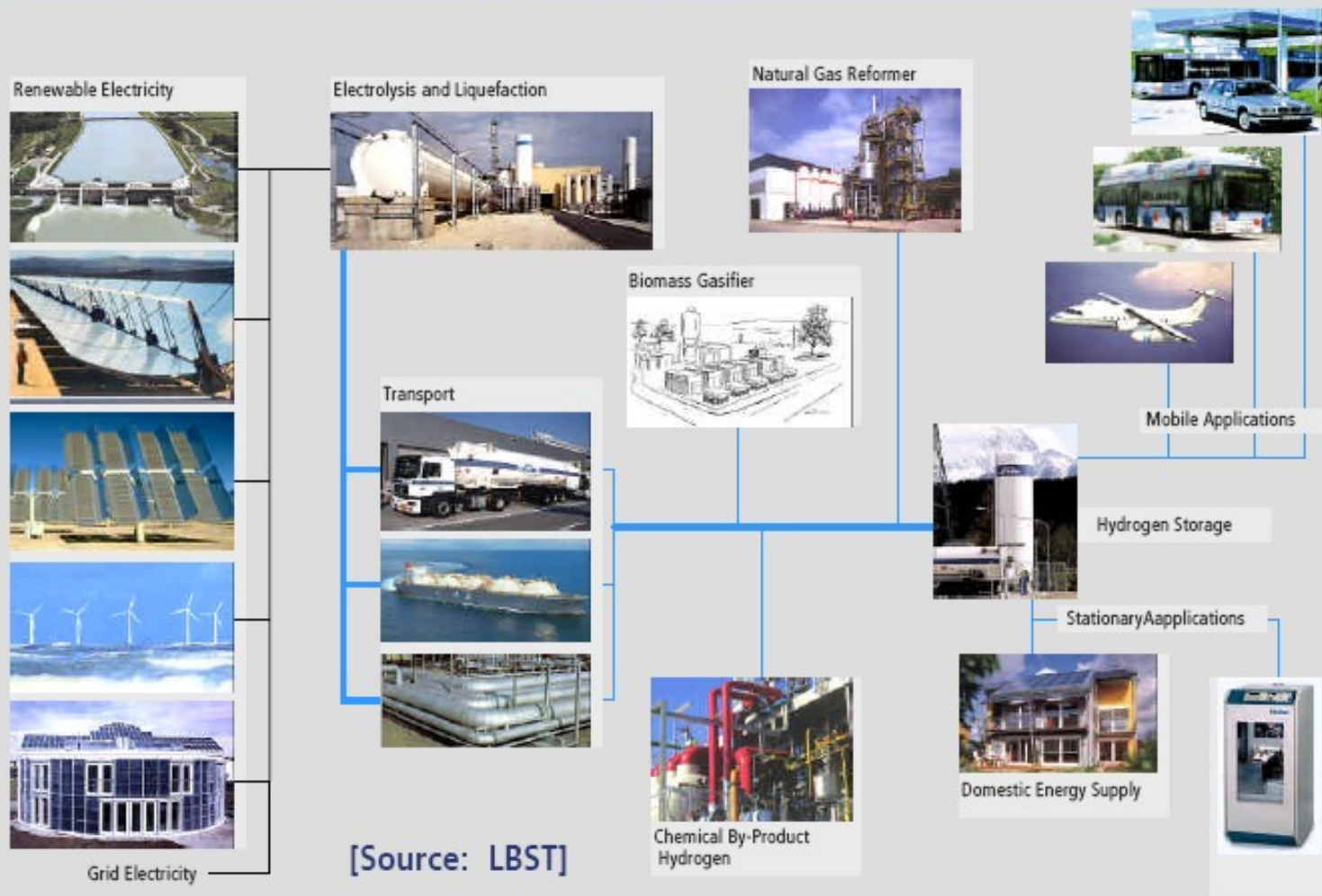


Naładowanie 5 kg H₂ w ciągu 5 minut
powoduje wydzielenie 420 kW,
Użycie 2 g/s wodoru wymaga dostarczenia
50 kW

Rozkład masy



Hydrogen Production, Supply and End-Use Pathways - A Realistic Vision





Hydrogen Production and Delivery

Distributed Reforming

Using Natural Gas and Renewable Liquids

- Develop intensified, lower capital cost, more efficient NG reformer technology
- Develop improved catalysts and technology for renewable liquids reforming (e.g. ethanol, sugar alcohols, Bio-oil)
- Lead Partners: GE, APCi, H2Gen, Virent, Ohio State Research

Electrolysis

- Develop low cost and high efficiency materials and system designs
- Integrated compression
- Integrated wind power/electrolysis systems
- Lead partners: Teledyne, Giner, Materials and Systems Research

Biomass Gasification

- Developed integrated gasification, reforming, shift and separations technology to reduce capital and improve efficiency.
- Lead Partners: GTI, UTRC, SRI, Ceramtec, Arizona State U.

Solar/Photolytic

- Develop durable materials for direct photo-electrochemical solid state water splitting using sunlight
 - Lead Partners: Univ. of California, MV Systems, U. of Hawaii, Midwest Optoelectronics
- Research microorganisms that split water using sunlight
 - Lead Partners: Univ. of California, Craig Venter Inst.
- Research thermochemical cycles that split water using heat (600 – 2100 C) from solar concentrators
- Lead Partners: UNLV, U. of Colorado, SAIC



Delivery

- Infrastructure options and trade-offs analysis
- Develop lower cost and robust technology for pipelines, compression, off-board storage, carriers, and liquefaction
- Lead Partners: Nexant, Gas Equipment Engineering Corp., NCRC Corp., APCI, SECAT, U. of Illinois



Results: Examples of Progress (2005-2006)

New materials with higher capacities being found

Material Capacities for Hydrogen Storage

Advanced Metal Hydrides	Chemical H ₂ Storage	Carbon/ Sorbents & New Materials
Li Mg Amides ~5.5wt%, ~2.8 kWh/L (>200 C) Alane ~7-10 wt%, ~5 kWh/L (<150 C) Li borohydrides >9 wt%, ~3.5 kWh/L (~350 C) Destabilized Binary hydrides ~5-7wt%, ~2-3 kWh/L (250 C) LiMgAlane, M-B-N-H ~ 7-8.8 wt%, > 1.3 kWh/L (~150-340 C)	Phenanthraline/ organic liquids ~7 wt%, ~1.8 kWh/L (>150 C) Ammonia Borane/Scaffolds ~6 wt%, ~2-4 kWh/L (<100 C)	Metal/carbon hybrids, MetCars 6 to > 8wt%*, ~1.3* kWh/L (*theory) Bridged catalysts IRMOF-8 ~1.8 wt%, ~0.3 kWh/L (room T) Metal-Organic Frameworks IRMOF-177 ~7 wt%, ~1 kWh/L (77 K)

Note: Material capacities only. No balance of plant. Estimates for volumetric capacities.

We are excited by these results but there are still issues...
Next steps: Operability (Temperature, pressure, kinetics, etc.)



U.S. Department of Energy

Za zgodą Pani Sunity Satyapal DOE