Forum Innowacyjności

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

„Amoniak jako magazyn wodoru”

Antoni W. Morawski

Katedra Technologii Chemicznej Nieorganicznej i Inżynierii Środowiska,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

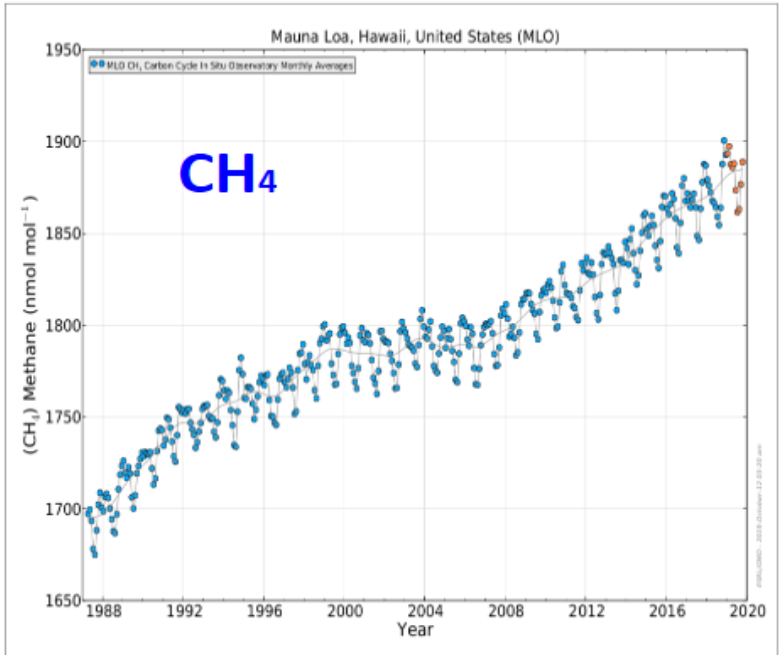
CO_2/MJ
Węgiel vs. Płynne vs. Metan vs. Wodór

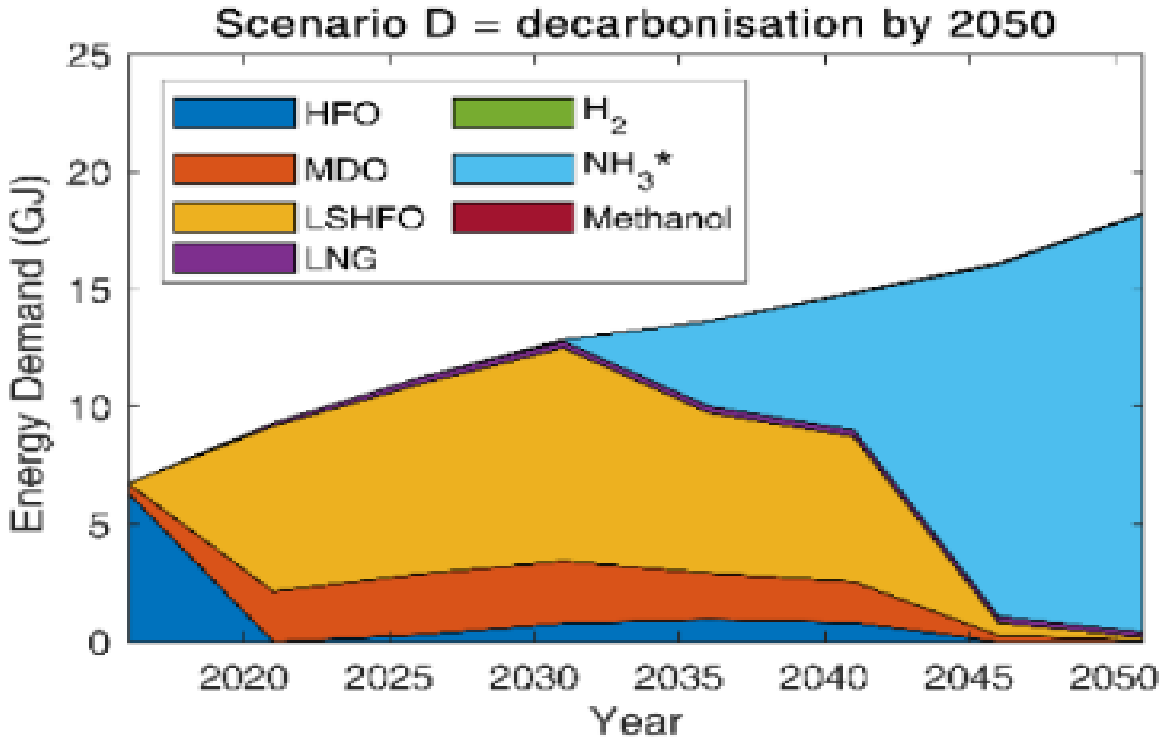
$C + O_2 \Rightarrow CO_2$ — 60 dm³ CO_2/MJ

$C_xH_y + (x+1/2y)O_2 \Rightarrow xCO_2 + 1/2y\ H_2O$ — ?? CO_2/MJ

$CH_4 + O_2 \Rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$ — 24 dm³ CO_2/MJ

$2H_2 + O_2 \Rightarrow + 2\ H_2O$

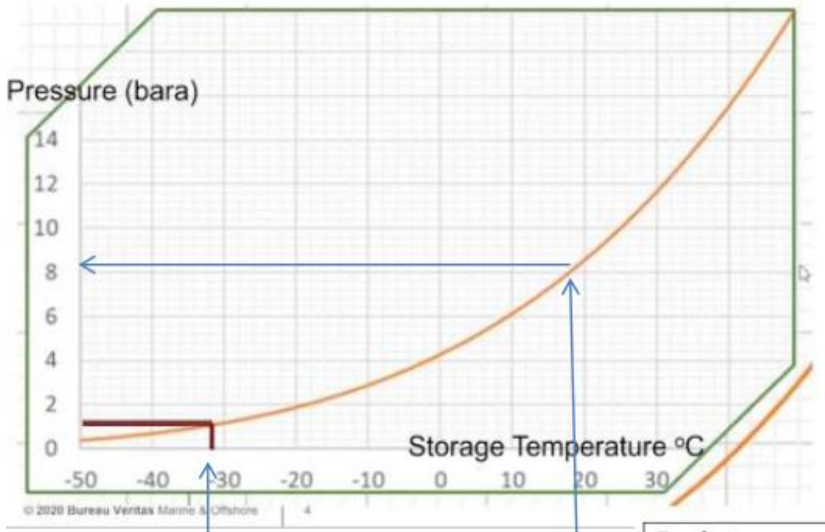




HFO –Heavy fuel oil
LSHFO –Low Sulphur HFO
MDO - Marine Diesel Oil

$$2NH_3 + 1.5\,O_2 \rightarrow 3\,H_2O + N_2\ (NO_x)$$

The thermodynamics of ammonia



Ciekły NH_3

Temp. otoczenia

Fuel type	Energy density [MJ/kg]	Volumetric energy density [GJ/m^3]	Storage pressure [bar]	Storage temperature [°C]	
Marine gas oil	42.7	36.6	1	20	
Liquid methane	50.0	23.4	1	**- 162**	
Ethanol	26.7	21.1	1	20	
Methanol	19.9	15.8	1	20	
Liquid ammonia	**18.6**	**12.7**	**1** or **10**	**-34** or **20**	Not highly flammable toxic
Liquid hydrogen	**120.0**	**8.5**	1	**- 253**	
Compressed hydrogen	**120.0**	**7.5**	**700**	20	

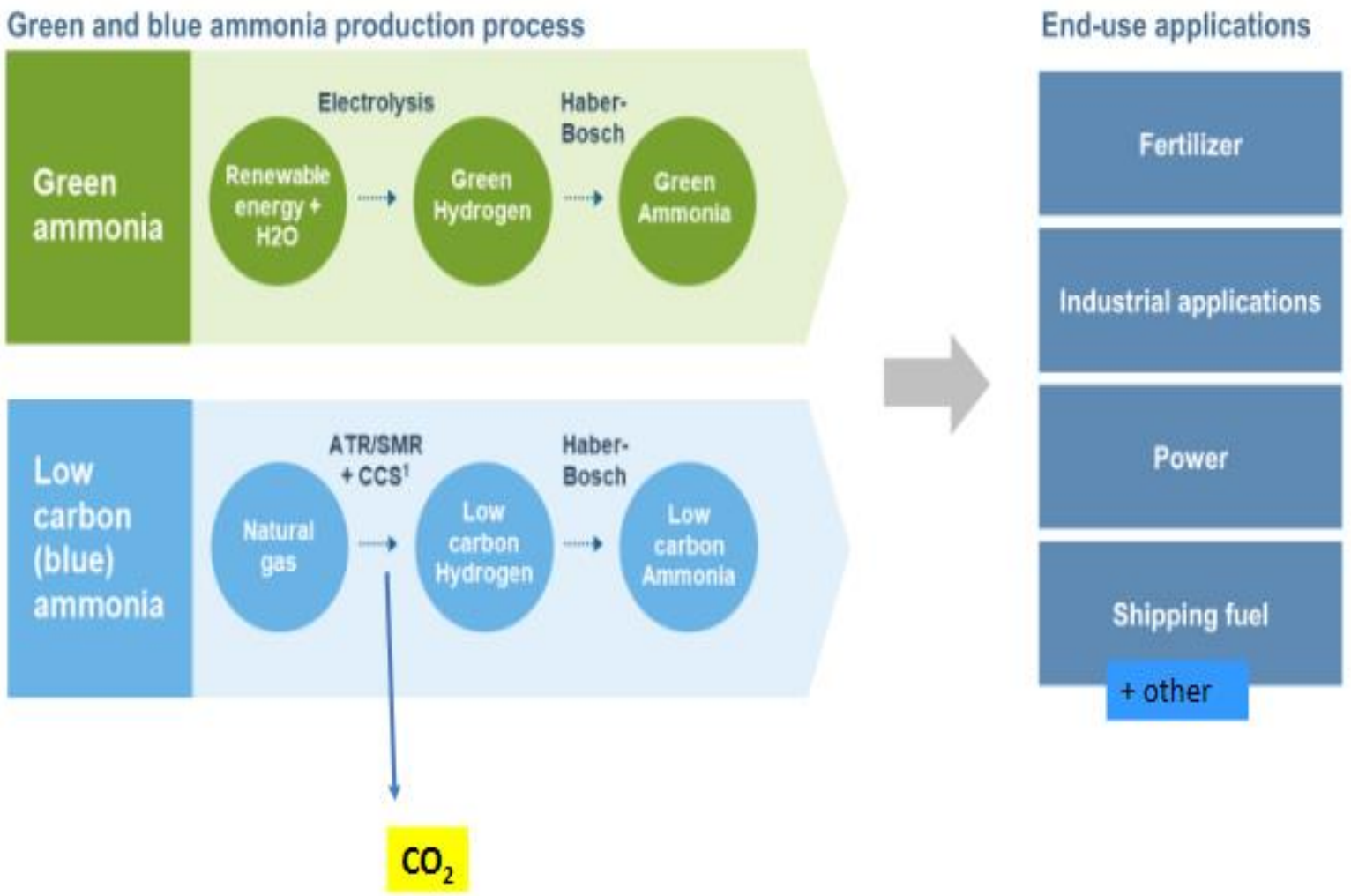
Skąd H_2 ?

Reforming metanu, Zgazowanie węgla

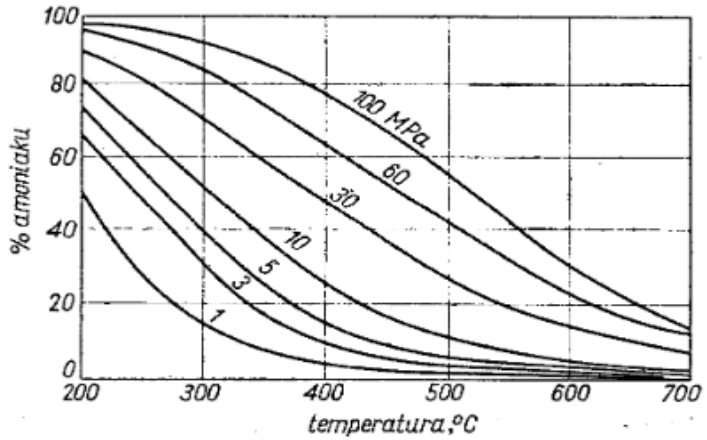
Nieodnawialne, Wychwyt CO_2

Grupa Azoty????

1) OZE +elektroliza (np. fototowoltaika+ elektroliza wody)
2) Wiatr, inne...
3) Fotokataliza


Green and blue ammonia production process
Green ammonia
Electrolysis
Renewable energy + H2O
Green Hydrogen
Haber-Bosch
Green Ammonia
Low carbon (blue) ammonia
ATR/SMR + CCS[1]
Natural gas
Low carbon Hydrogen
Haber-Bosch
Low carbon Ammonia
CO2
End-use applications
Fertilizer
Industrial applications
Power
Shipping fuel
+ other

Wpływ temperatury i ciśnienia na wydajność reakcji syntezy NH_3



Reforming parowy:

$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow CO + 3H_2$

$CH_4 + 2H_2O \Leftrightarrow CO_2 + 4H_2$

Problemy środowiskowe:

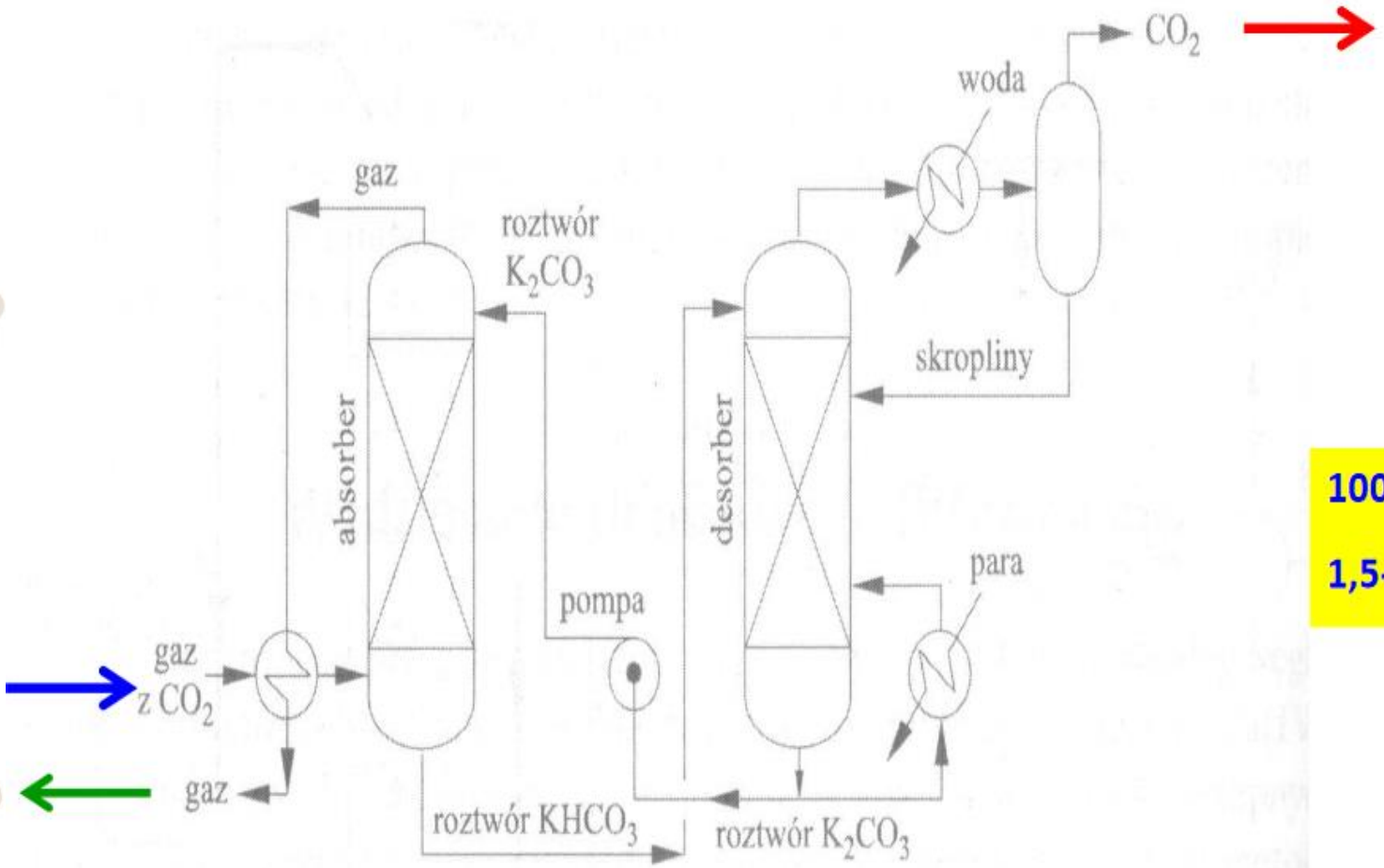
1. Energia (recykling gazu+ciśnienie)
2. CO_2
3. Katalizator

$1/2\ N_2 + 3/2\ H_2 <==> NH_3 \quad deltaH = -46.05\ kJ$

Temperatura [°C]	Wydajność (% obj.)					
	p = 1MPa	p = 5 MPa	p = 10 MPa	p = 30 MPa	p = 60 MPa	p=100 MPa
200	50,6	74,3	81,5	89,94	85,3	98,29
300	14,7	39,4	52,0	70,96	84,2	92,55
400	3,85	15,2	25,1	47,00	65,2	79,82
500	1,21	5,56	10,6	26,44	42,1	57,47
600	0,49	2,26	4,52	13,77	23,1	31,43
700	0,23	1,05	2,18	7,28	12,6	12,83

WYMYWANIE CO_2 Z GAZU DO SYNTEZY - Węzeł Benfielda

$$K_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2KHCO_3$$



100-120 °C

1,5-3 MPa

Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

CO_2 Produkcja mocznika

Forum Innowacyjności

Hydrolityczny rozkład mocznika w glebie z udziałem ureazy:

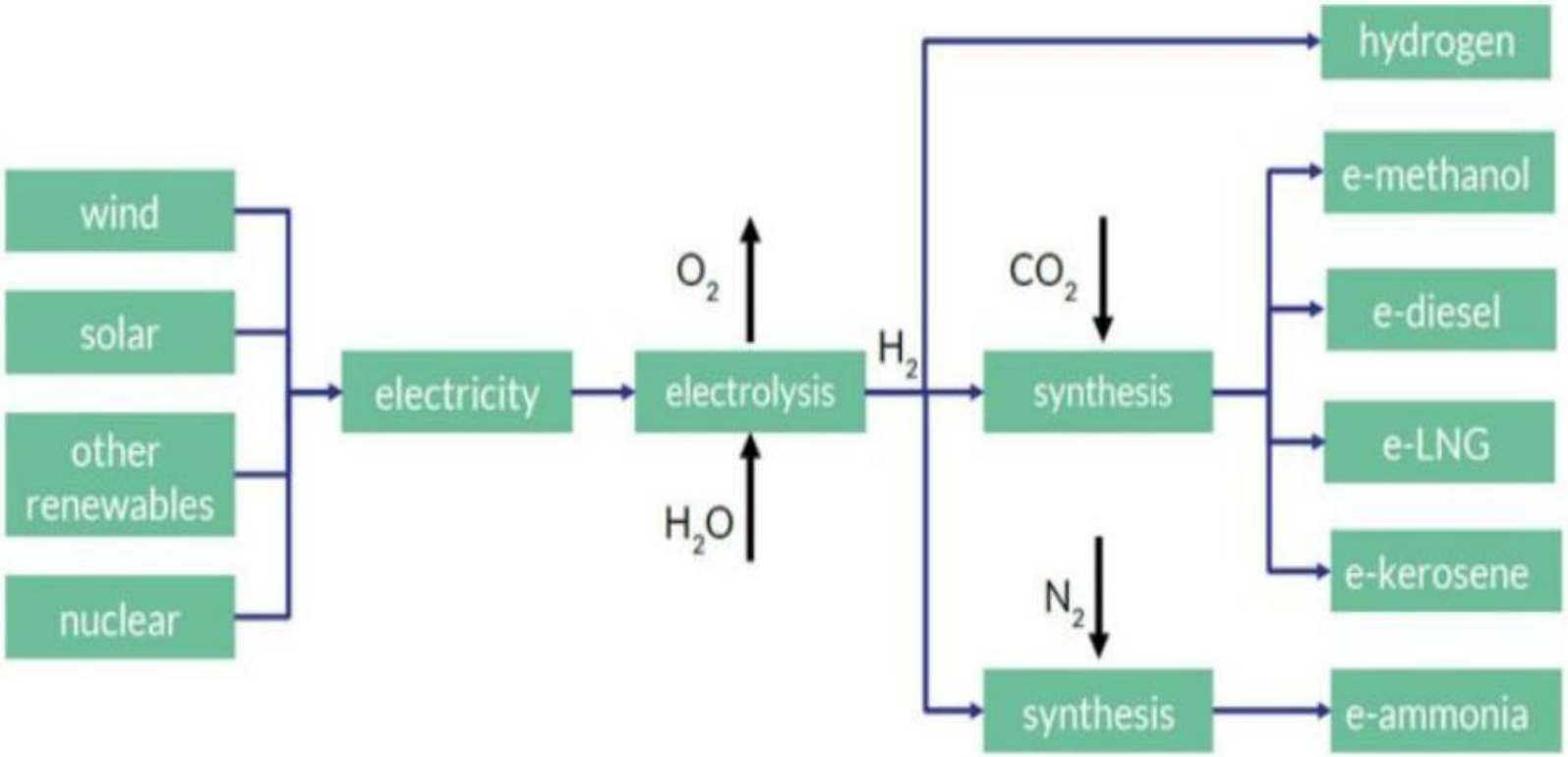
$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3 \rightarrow 2NH_3 + CO_2$$

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

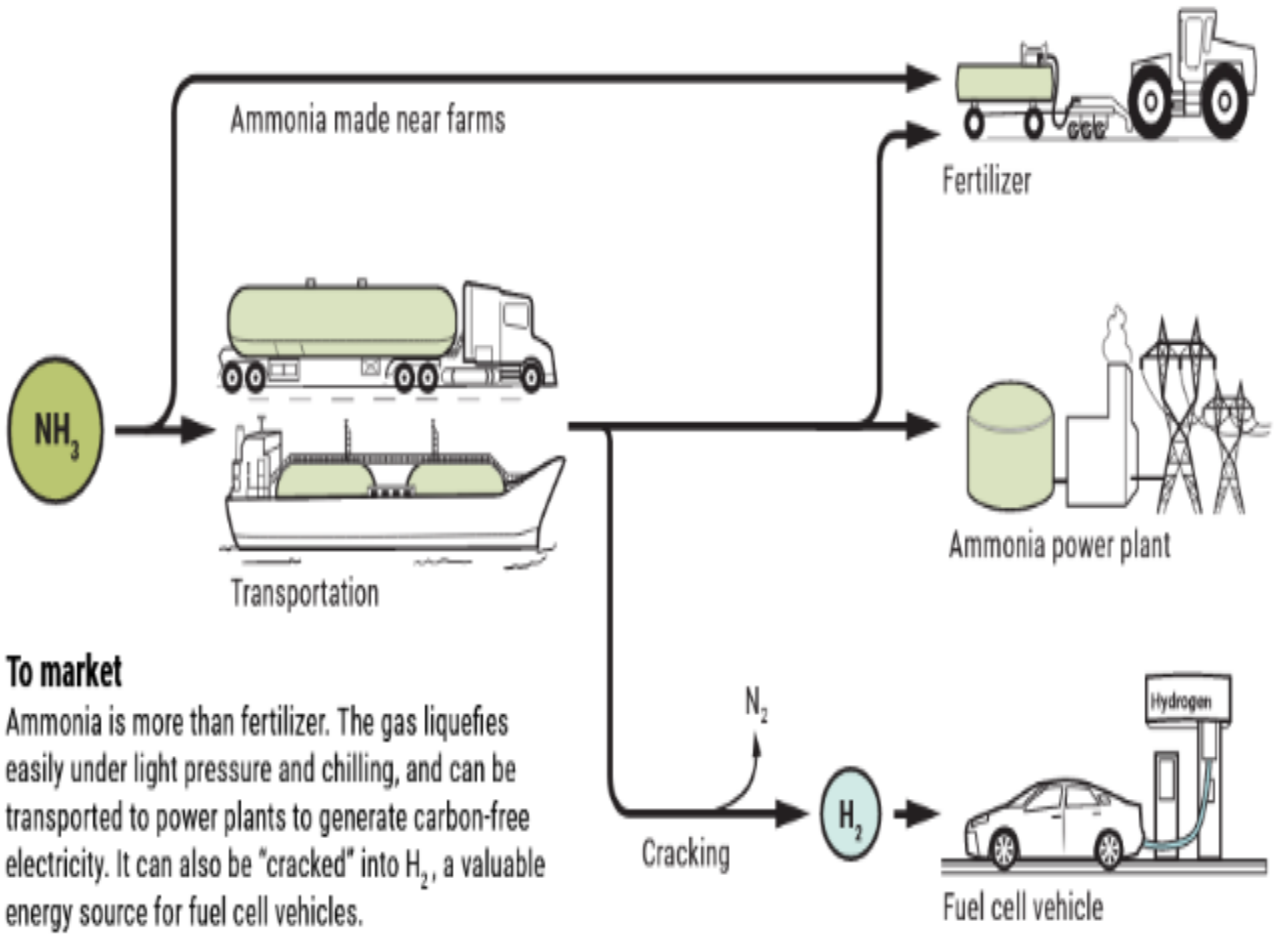
Hydrogen Europe

Forum Innowacyjności



Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



To market

Ammonia is more than fertilizer. The gas liquefies easily under light pressure and chilling, and can be transported to power plants to generate carbon-free electricity. It can also be "cracked" into H_2, a valuable energy source for fuel cell vehicles.

“Hydrogenewables”: a case for reaping RES-H2 synergies and developing offshore infrastructure

Offshore platform electrolysers directly connected to offshore wind power production.

Repurposed/retrofitted offshore pipelines transporting H2 to shore to hydrogen valleys or further along the EU hydrogen network.

Offshore platform as a hydrogen hub at sea supplying hydrogen to ships in transit.

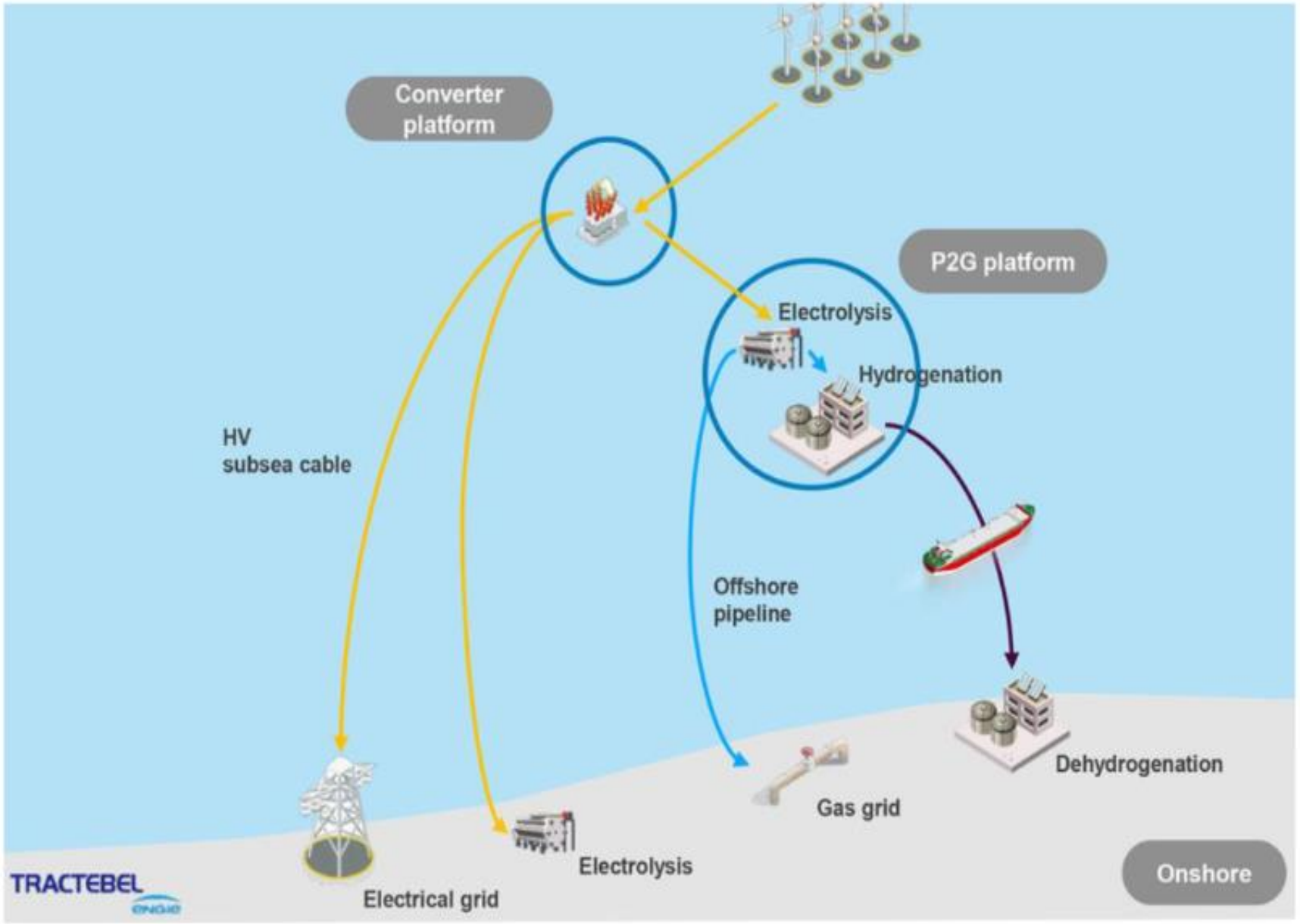
Renewable energy and hydrogen industries are strategic partners to materialise the EU Hydrogen Strategy's target for a 40 GW electrolysis capacity by 2030 and to achieve the EU's updated 55% greenhouse gas emission reduction target.

#H2ACT LAUNCH - 26.05.2021

Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej


Converter platform
P2G platform
Electrolysis
Hydrogenation
HV subsea cable
Offshore pipeline
Dehydrogenation
Gas grid
Electrolysis
Electrical grid
Onshore
TRACTEBEL

Forum Innowacyjności

Demonstration of CO_2-free Ammonia Synthesis using Renewable Energy-Generated Hydrogen

Oct. 31st, 2018

(JGC Corporation)

M.Kai, Y.Fujimura, T.Fujimoto,

(National Institute of Advanced Industrial Sceience and Technology)

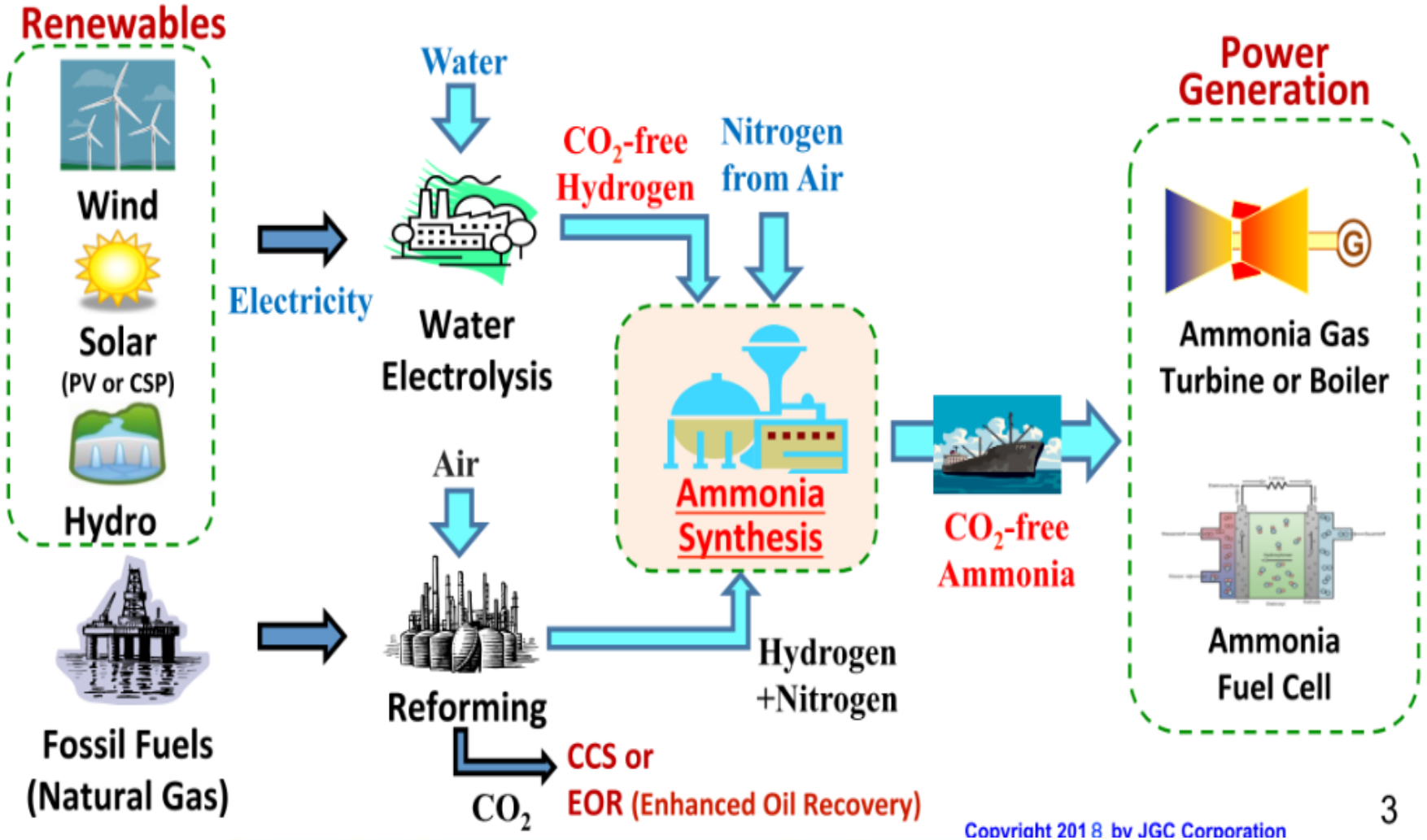
H.Takagi, T.Nanba, Y.Manaka

Copyright 2018 by JGC Corporation

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

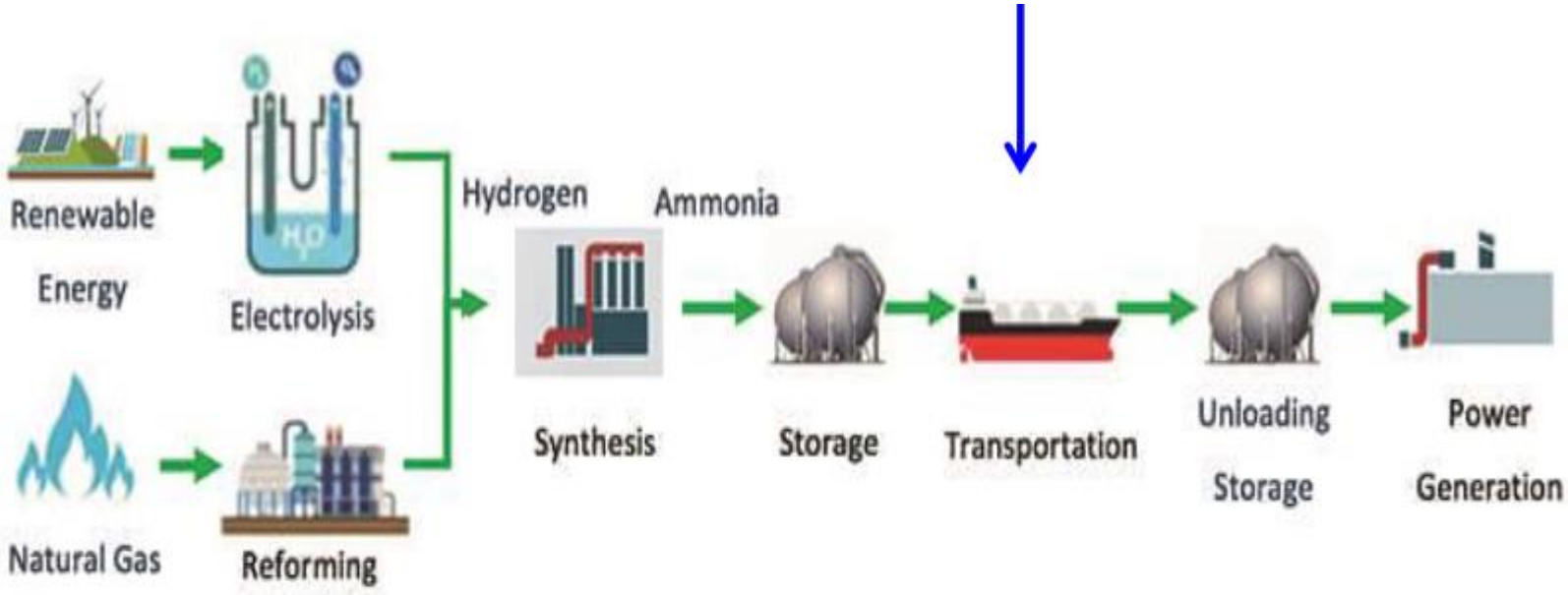
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Supply Chain of CO_2-free Ammonia



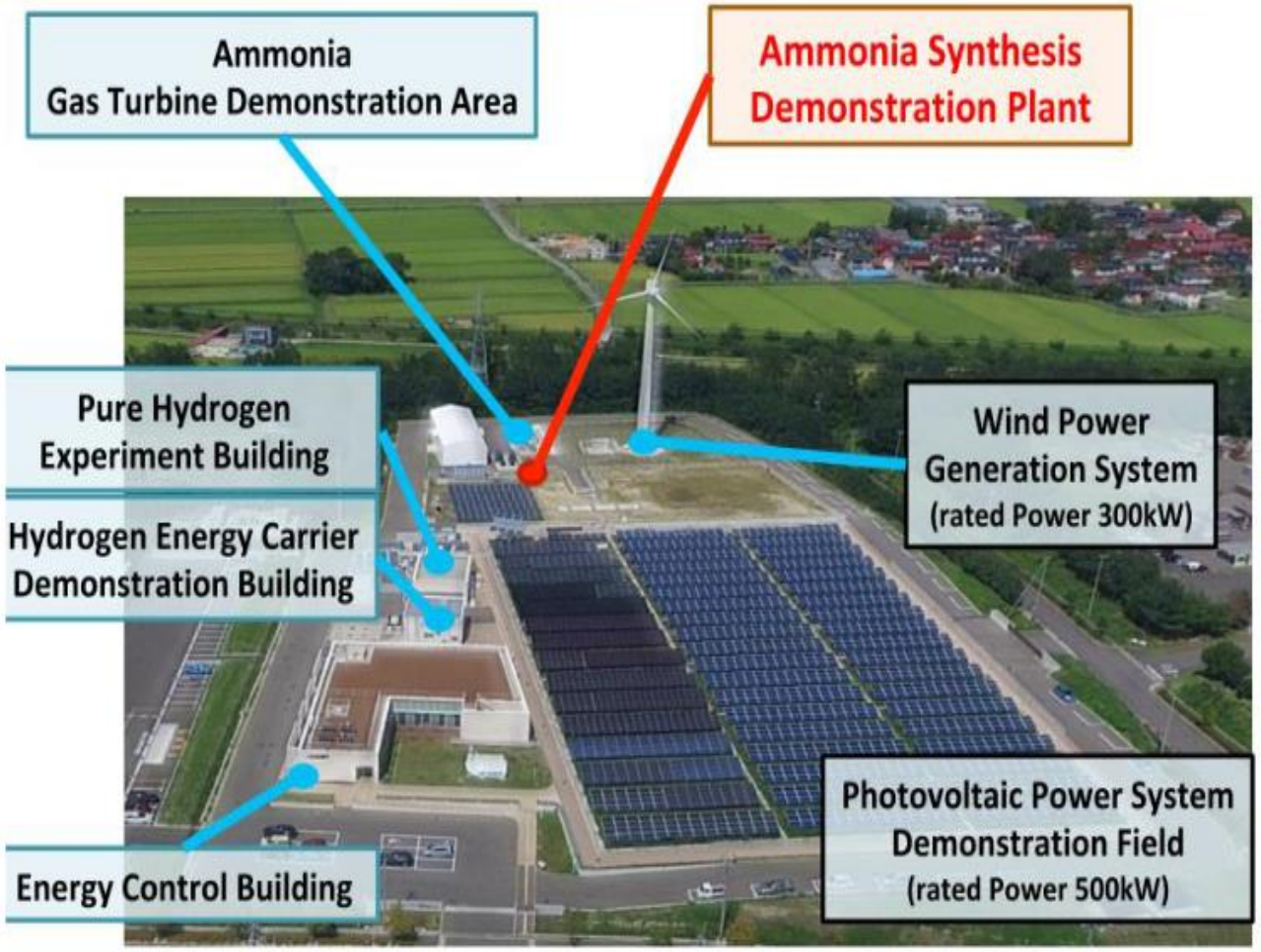
Copyright 2018 by JGC Corporation

Forum Innowacyjności
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



A March 2020–launched feasibility study being conducted ***by three major Japanese coal generators and an Australian gas produce****r, in collaboration with Japan's New Energy and Industrial Technology Development Organization, will evaluate all aspects of ammonia-coal co-firing from production to power generation. Courtesy: JERA*

Fukushima Renewable Energy Institute, AIST (FREA)

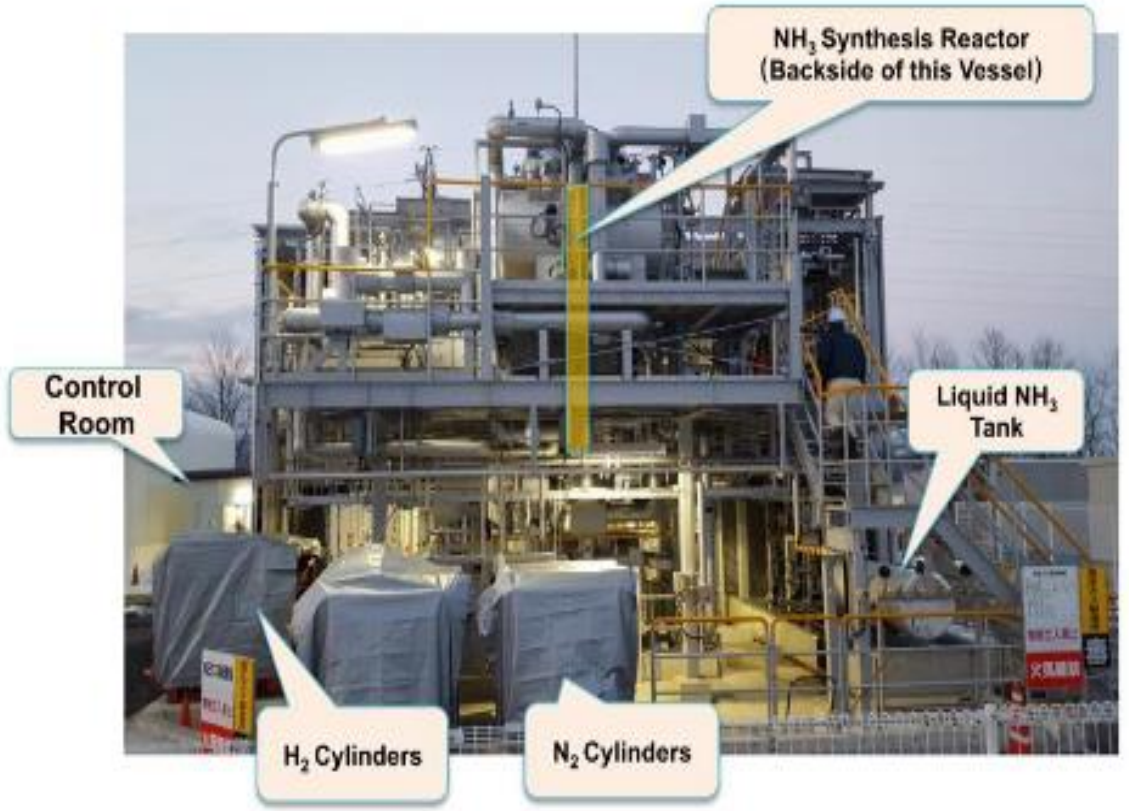


"Courtesy of AIST"

Copyright 2018 by JGC Corporation

Forum Innowacyjności
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Ammonia Demonstration Plant



Reactor
Top Elevation

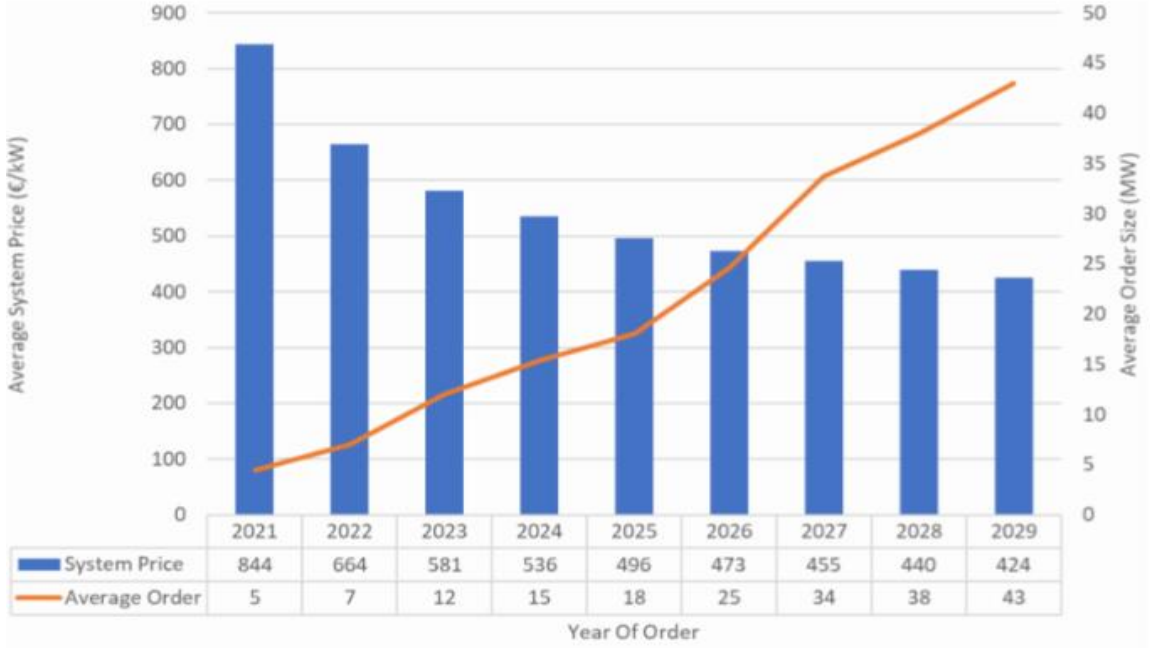
Ru/REO_2 catalyst produced on a semi-industrial scale By JGC C&C

Copyright 2018 by JGC Corporation

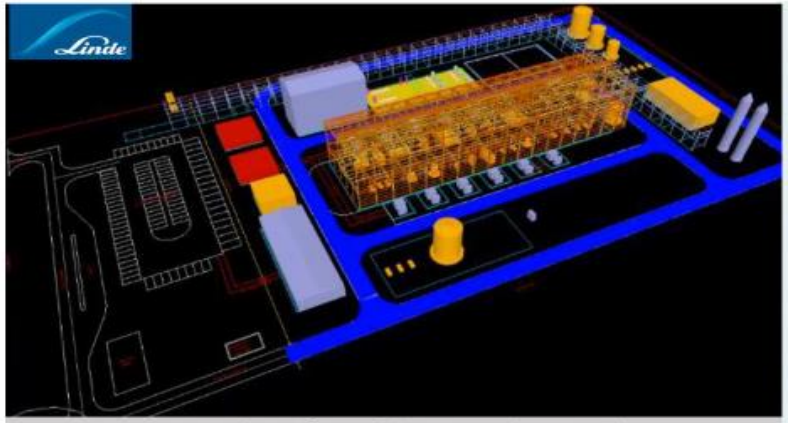
Forum Innowacyjności
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

ITM Power | Green H_2 @ Scale | Feb 2021

ITM Power | Green H_2 @ Scale | Feb 2021



	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
System Price	844	664	581	536	496	473	455	440	424
Average Order	5	7	12	15	18	25	34	38	43



100MW design | Part of the Gigastack FEED study

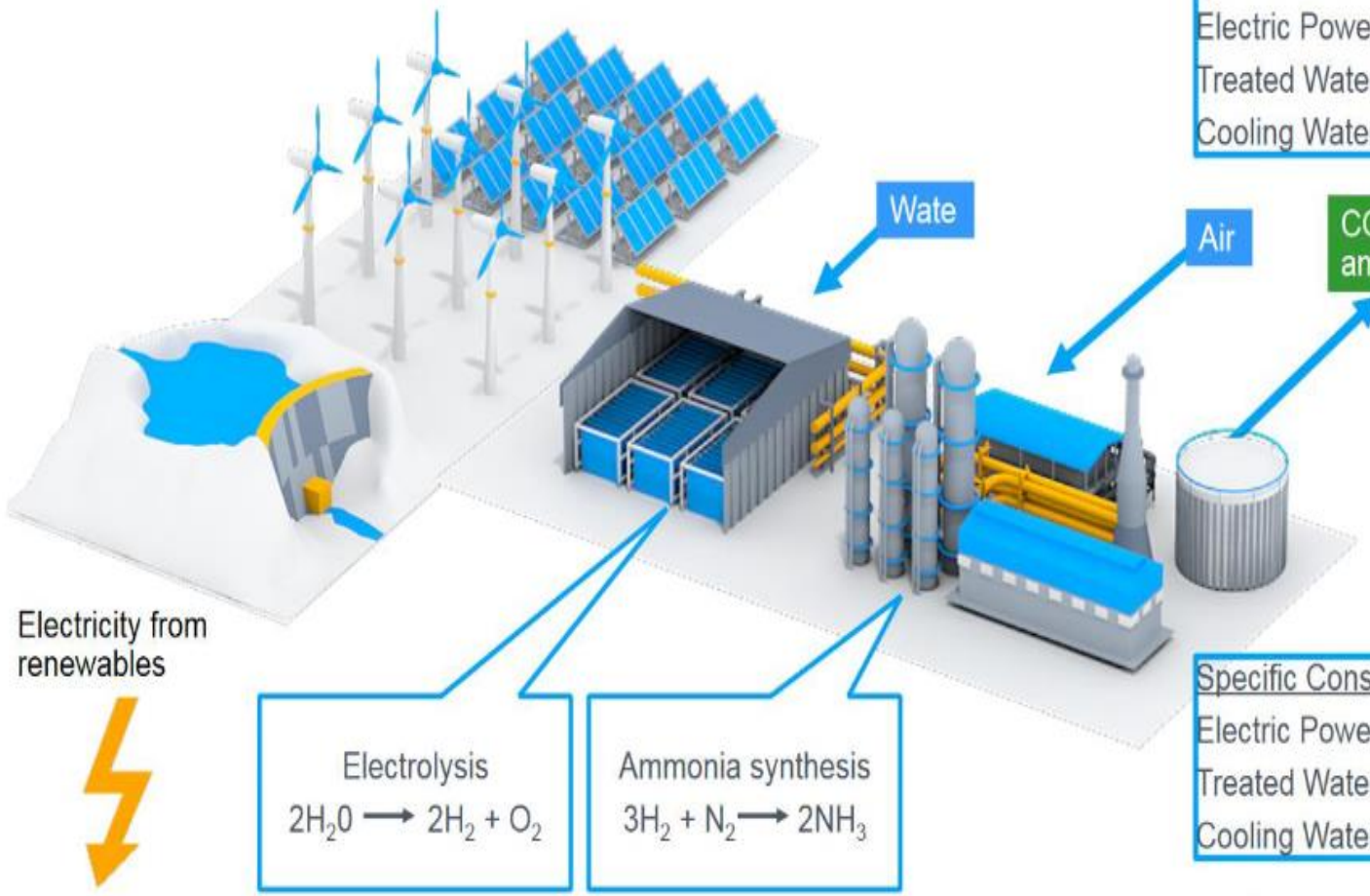
ITM Power Bessemer Park | 1GW pa Capacity Electrolyser Factory

Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Introducing renewable ammonia by thyssenkrupp



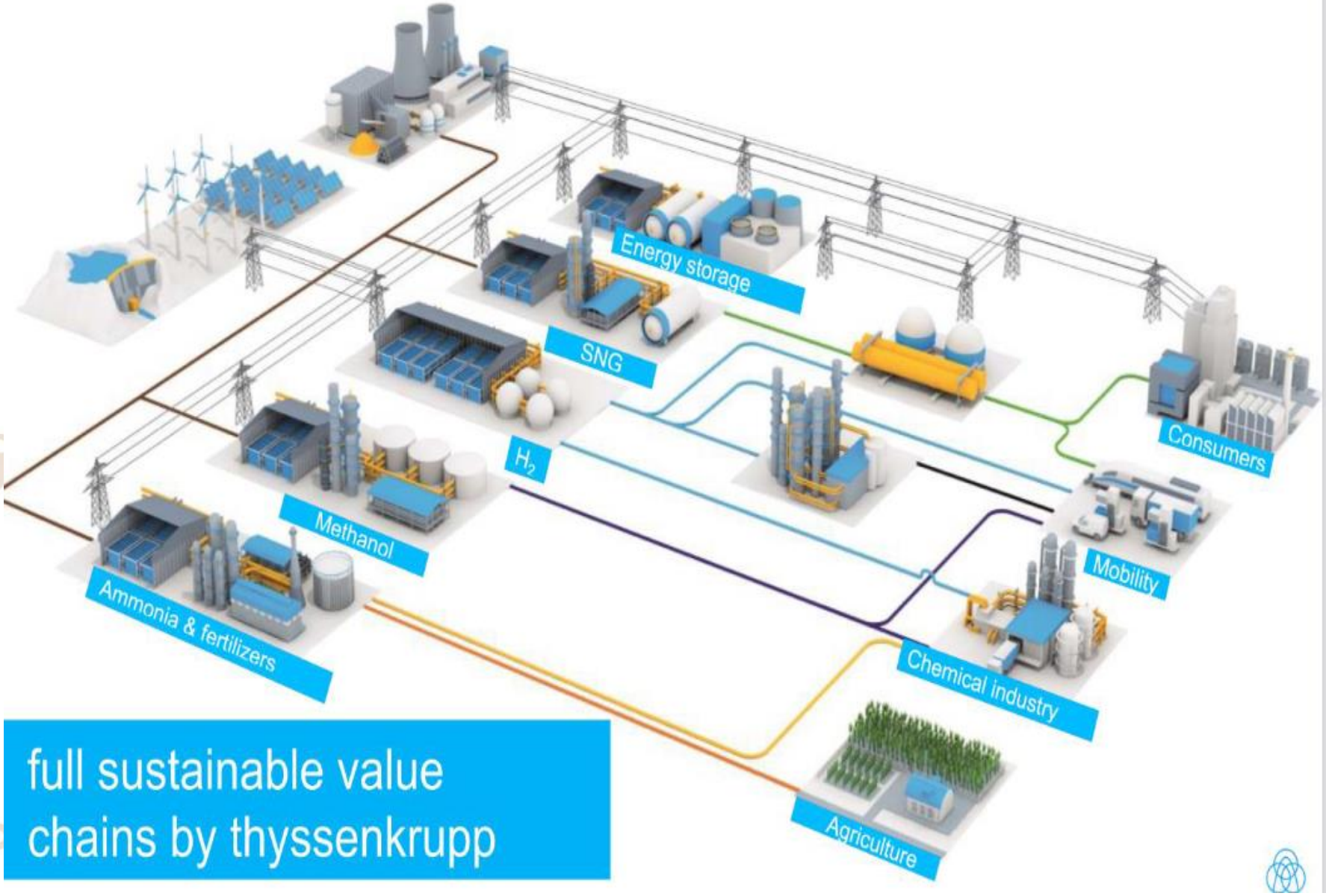
Specific Consumption 50 mtpd plant	
Electric Power:	~ 10 MWh/t_{NH3}
Treated Water:	~ 1.6 $tons/t_{NH3}$
Cooling Water*:	~ 240 $tons/t_{NH3}$

Specific Consumption 300 mtpd plant	
Electric Power:	~ 9.4 MWh/t_{NH3}
Treated Water**:	~ 1.62 $tons/t_{NH3}$
Cooling Water*:	~ 170 $tons/t_{NH3}$

*CW loop flowrate
** incl. steam generation

Forum Innowacyjności
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

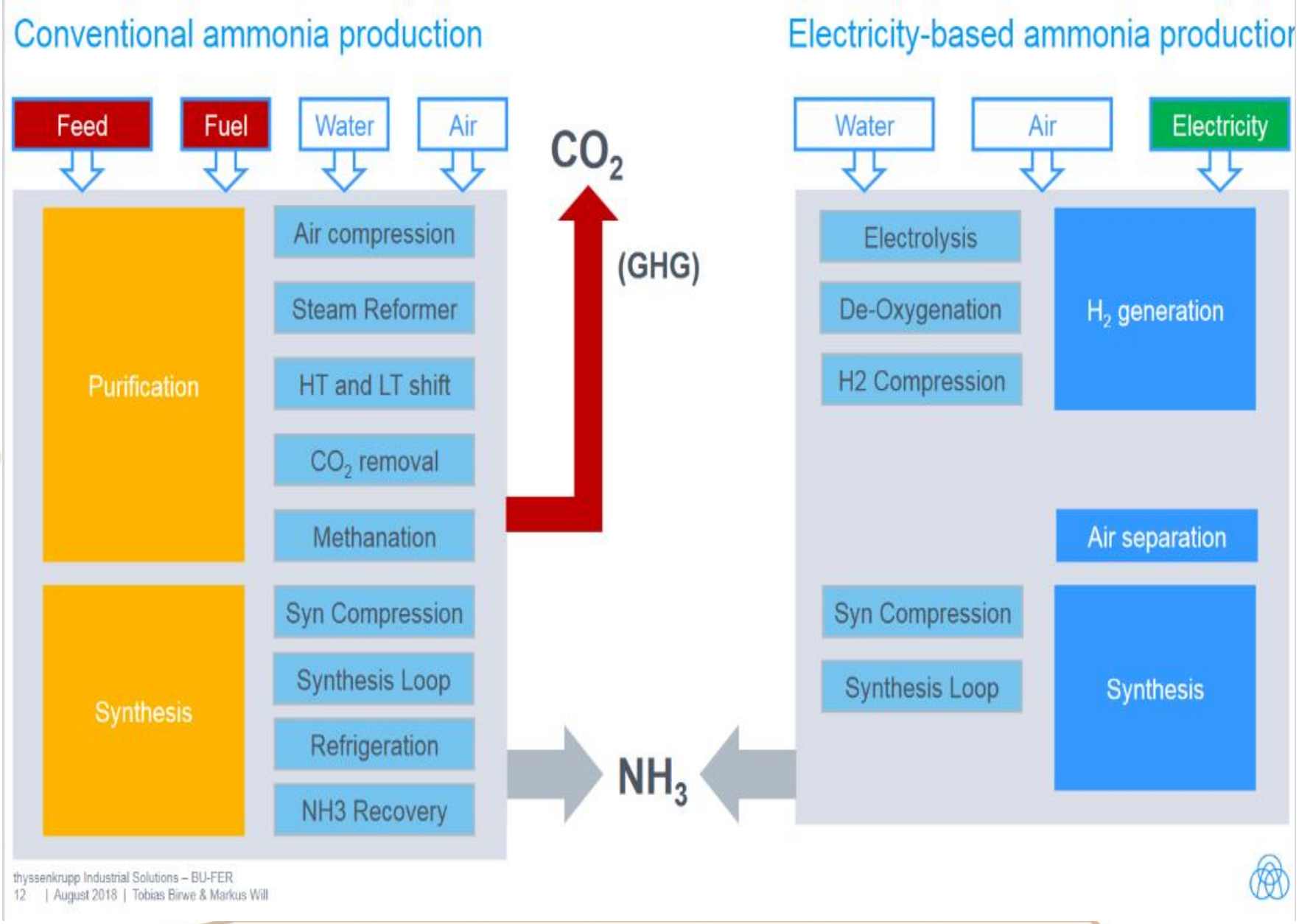
Forum Innowacyjności



full sustainable value chains by thyssenkrupp

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

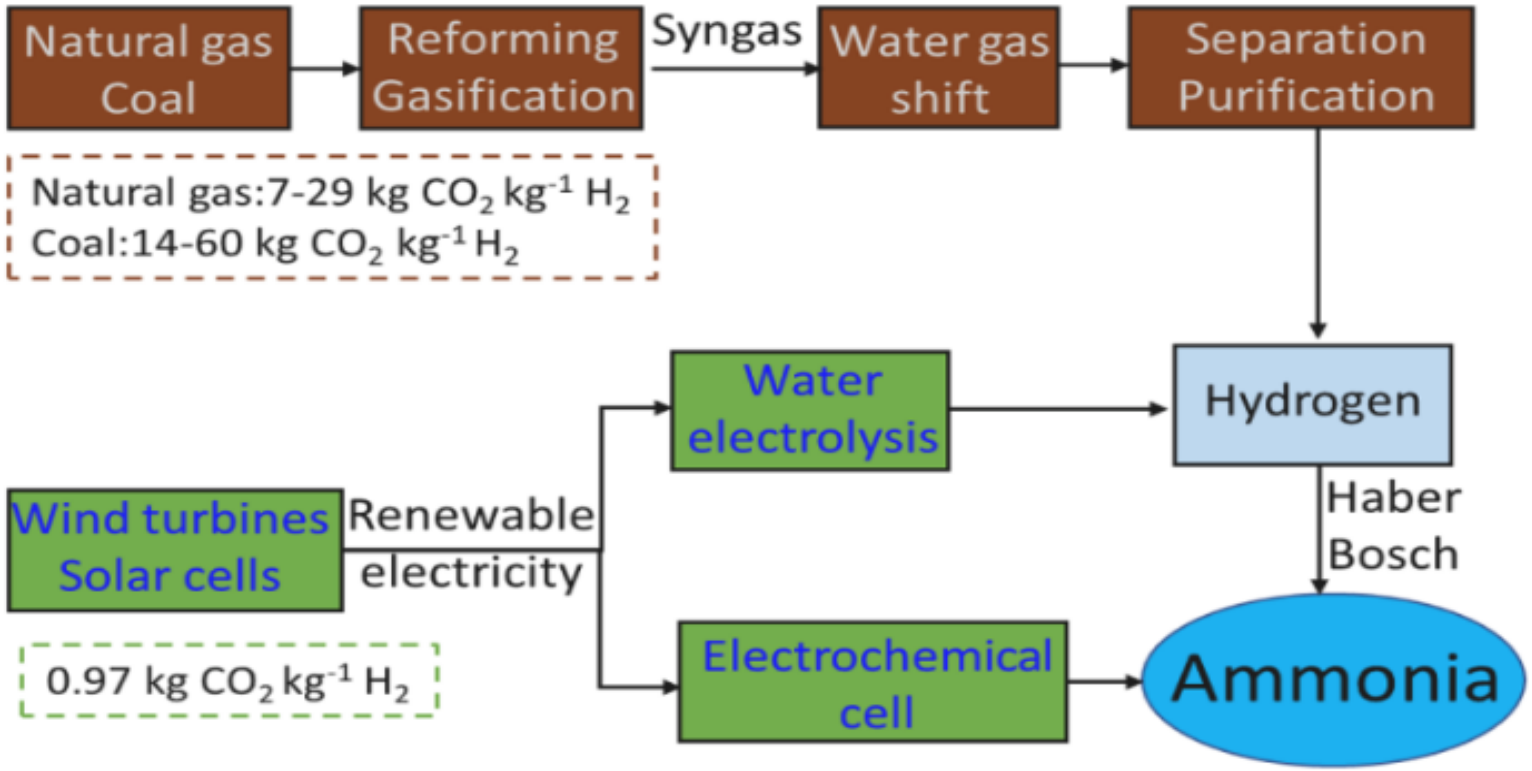


Fig. 2. Schematics of ammonia production in renewable approaches and associated CO_2 emissions compared to the conventional method.

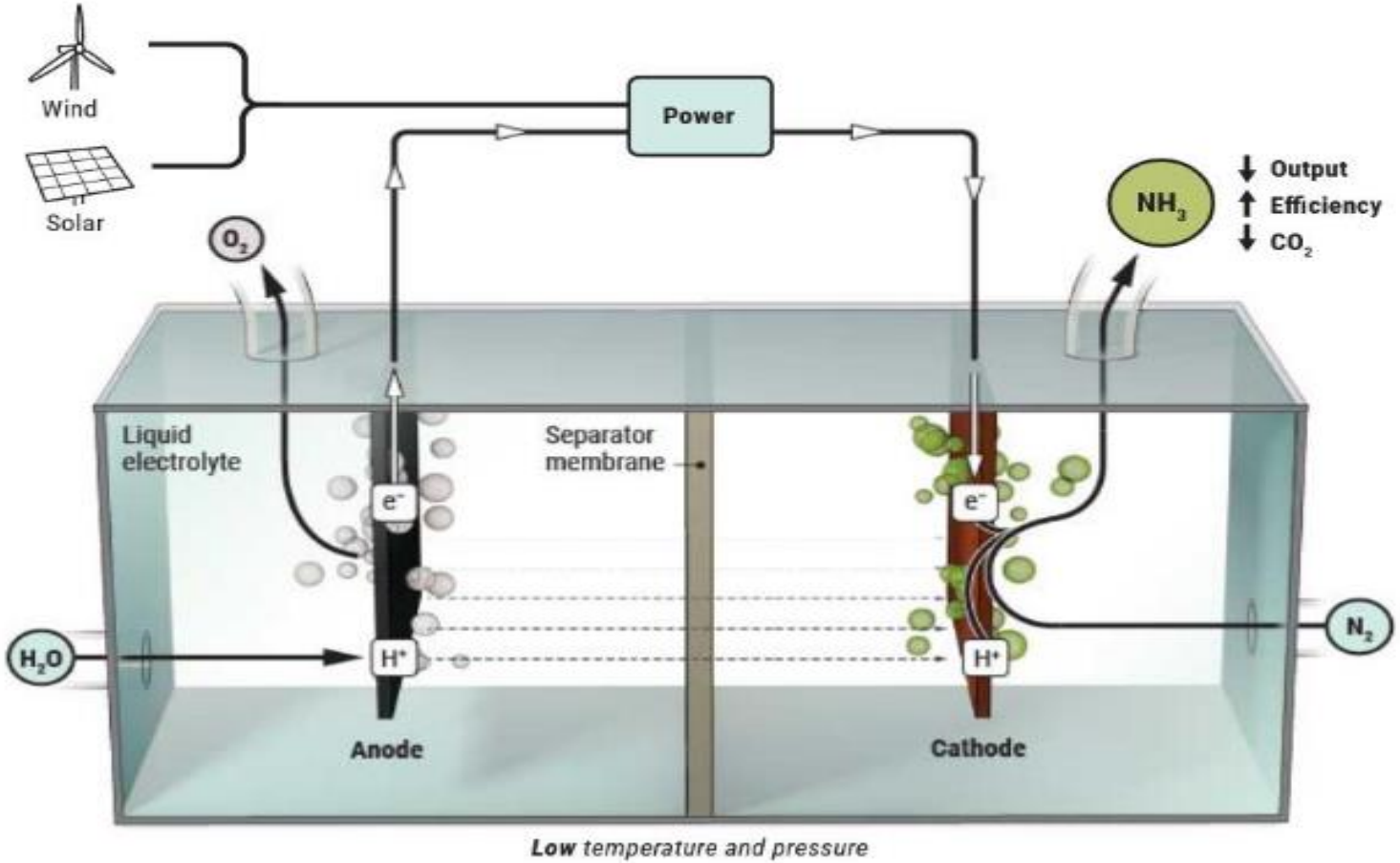
Energy Conversion and Management 228 (2021) 113729

Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Green ammonia



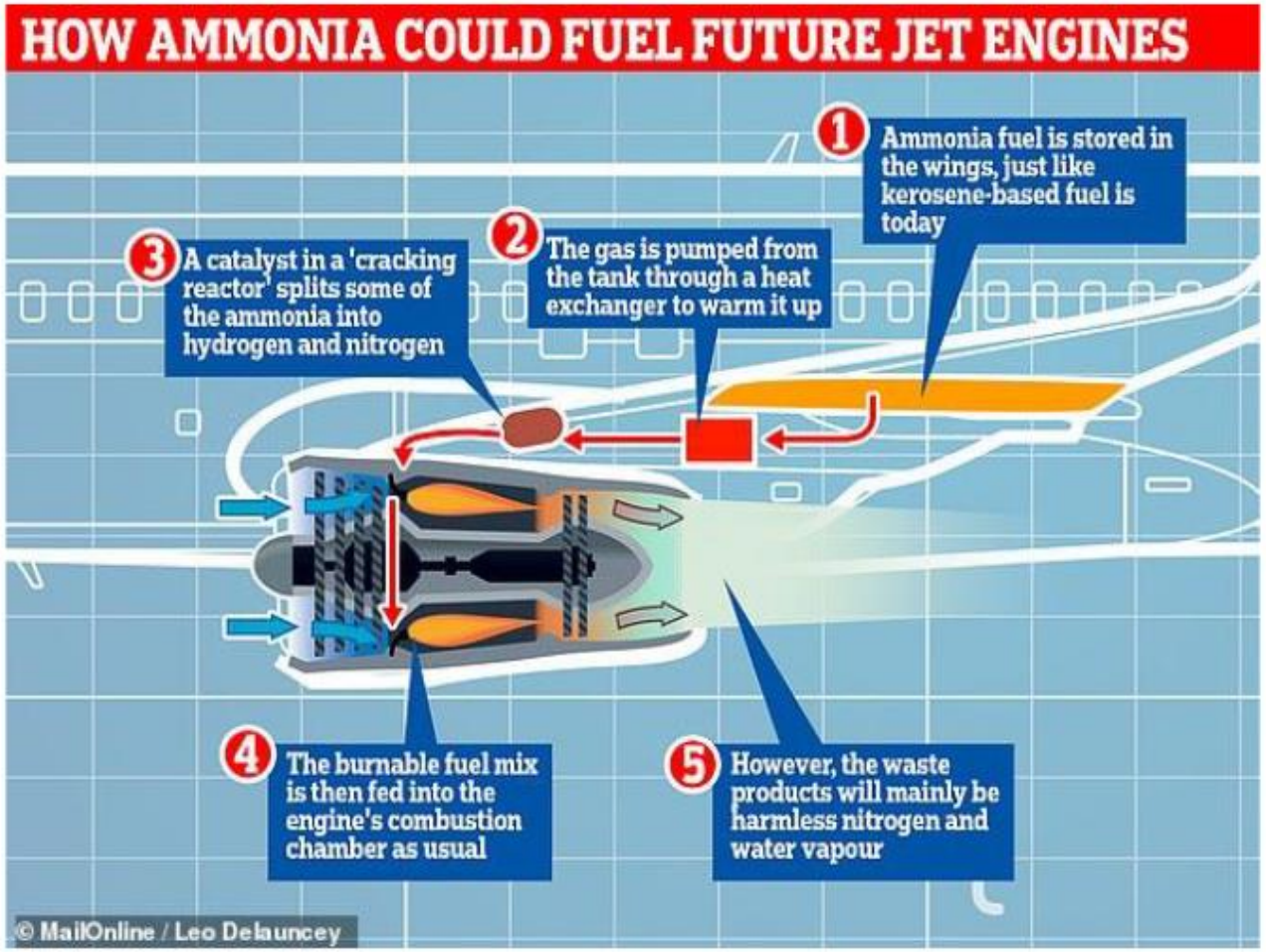
***Low** temperature and pressure*

Forum Innowacyjności

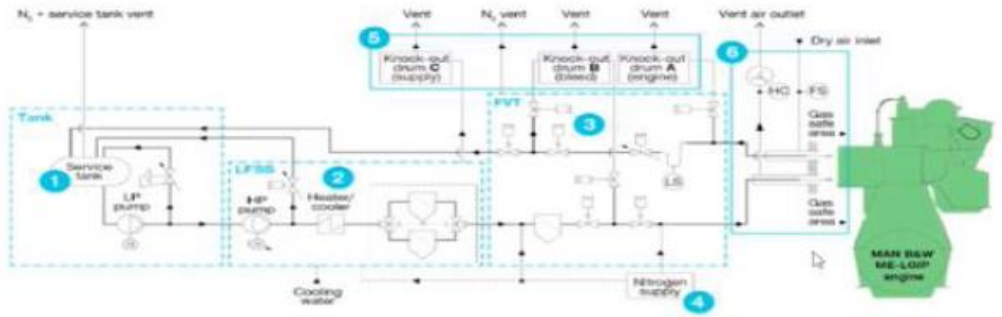
Ministerstwo Klimatu i Środowiska

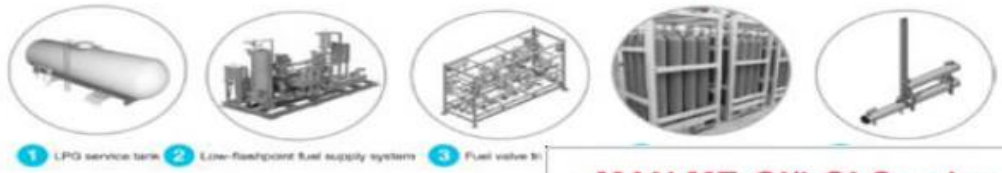
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

The collaboration between Oxford-based Reaction Engines and the UK Science and Technology Facilities Council



MAN fuel supply system

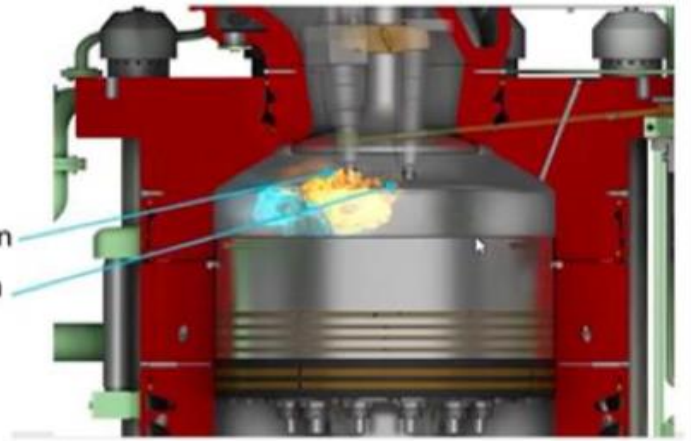




1 LPG service tank 2 Low-flashpoint fuel supply system 3 Fuel valve

MAN ME-GI/LGI Combustion Principle

- A dual fuel engine
- Diesel combustion process
- High efficiency



© 2020 Bureau Veritas Marine & Offshore

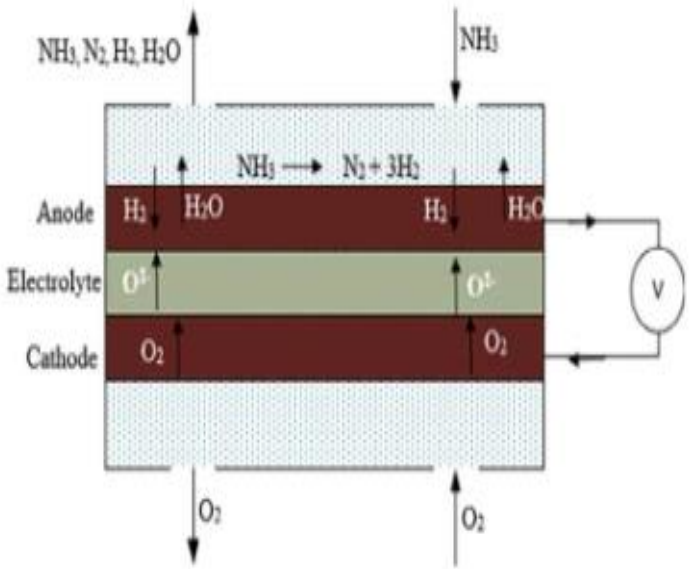
http://nh3car.com/

Forum Innowacyjności

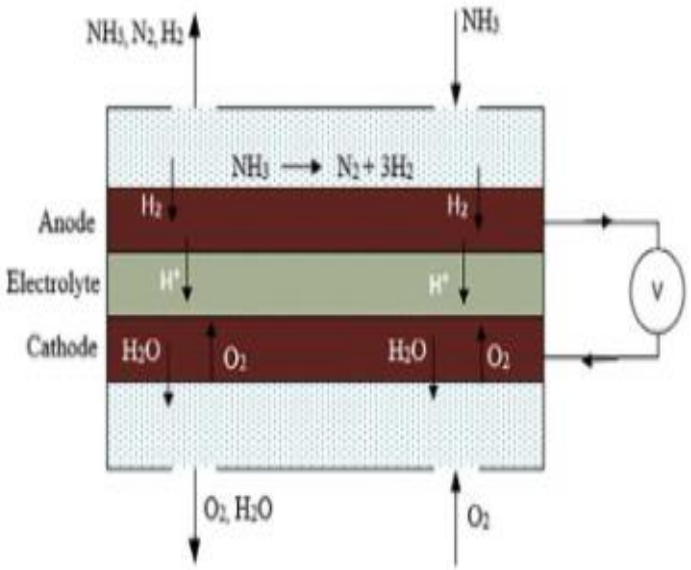
1 zastosowanie NH_3 - II Wojna Światowa, Belgia

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

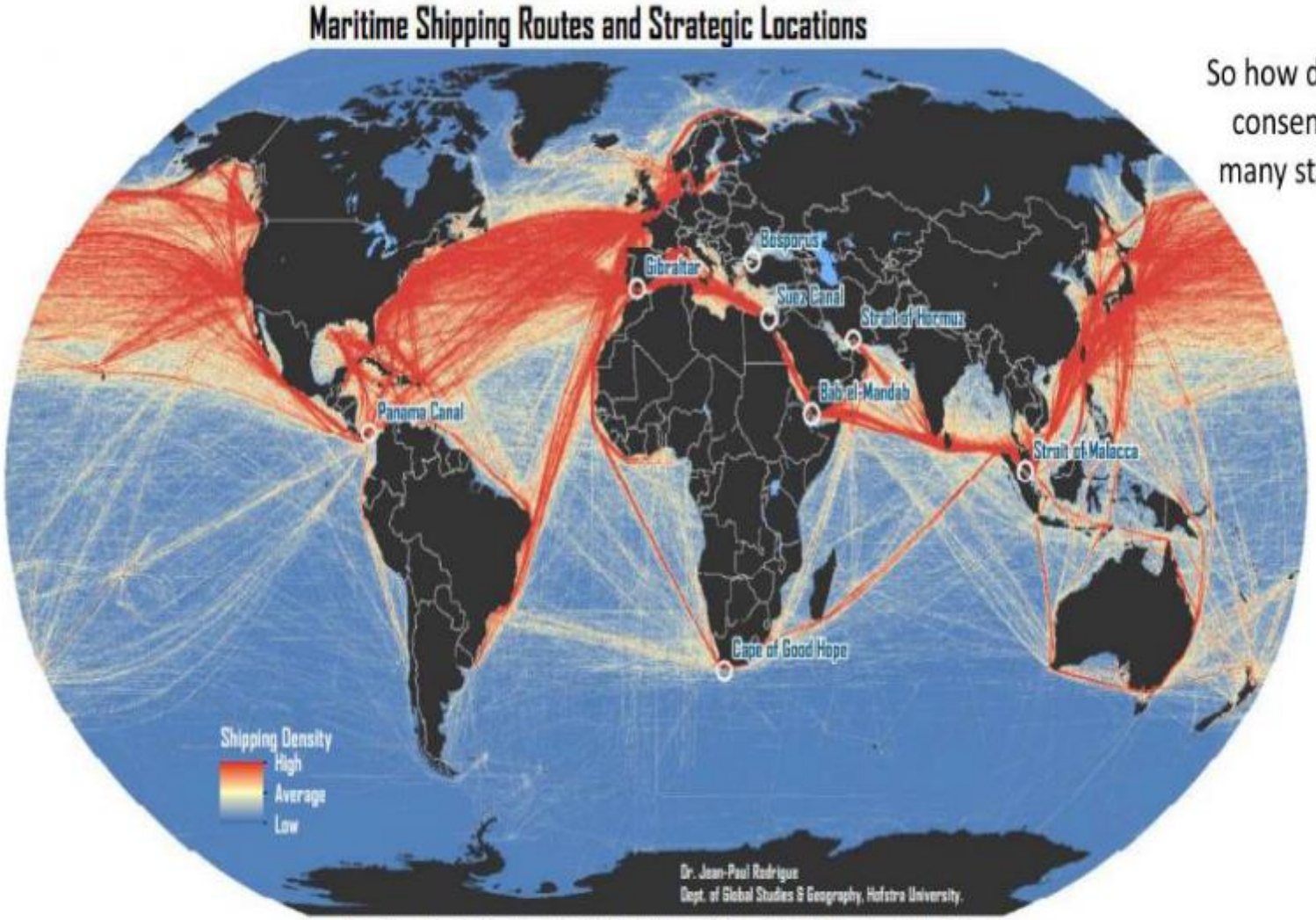

NH3, N2, H2, H2O
NH3
NH3 → N2 + 3H2
Anode
Electrolyte
Cathode
H2
H2O
O2-
O2
V

SOFC-O


NH3, N2, H2
NH3
NH3 → N2 + 3H2
Anode
Electrolyte
Cathode
H2
H+
H2O
O2
V
O2, H2O

SOFC-H

The potential market for “green” ammonia is inherently global



Source: Shipping density data adapted from National Center for Ecological Analysis and Synthesis, A Global Map of Human Impacts to Marine Ecosystems.

So how do we reach consensus with so many stakeholders?

Forum Innowacyjności
Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Storage and Transportation of NH_3







Forum Innowacyjności

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Polska

Forum Innowacyjności

Zalety:

1. Grypa „Azoty”(Police, Puławy, Tarnów, Kędzierzyn) – Instalacje produkcji taniego amoniaku amoniaku (ok. 5 PLN/kg NH_3 99.98 % ,nadwyżki zdolności)
2. Istnieje system transportu amoniaku – dodatkowe nabrzeże w ZCh „Police”
3. Specjalistyczne firmy obsługujące produkcję i transport amoniaku
4. Grupy badawcze zajmujące się amoniakiem
5. Stocznie, porty i dostęp do morza, aby uczestniczyć w „wyścigu technologicznym”
6. Magazynowane wodoru w amoniaku bardziej „gotowe” niż inne magazyny H_2

Słabe strony:

1) TRL - Badania spalania bezpośredniego w silnikach
2) TRL - Badania krakingu i produkcji energii w ogniwach paliwowych
3) TRL – Badania bezpośredniego rozkładu z produkcją energii w ogniwach paliwowych
4) Integracja + decyzja na jedno z w/w rozwiązań i przyśpieszenie prac (lub równolegle kupić ogniwa, aby zacząć prace)
5) Rozwijać CCS CO_2 w przemyśle azotowym
6) Skąd wodór w przyszłości? Energetyka jądrowa – reaktory HTGR *(High Temperature Gas Cooled Reactor)* + elektroliza wody

Forum Innowacyjności

DZIĘKUJĘ

Antoni.Morawski@zut.edu.pl

Motto z webinar Hydrogen Europe:

„ We have to be quick”

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej