



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Platforma PGEDU+: Rozwój kwalifikacji i kompetencji osób dorosłych

Otrzymywanie i zastosowanie paliw alternatywnych: metanol, e-metanol, DME

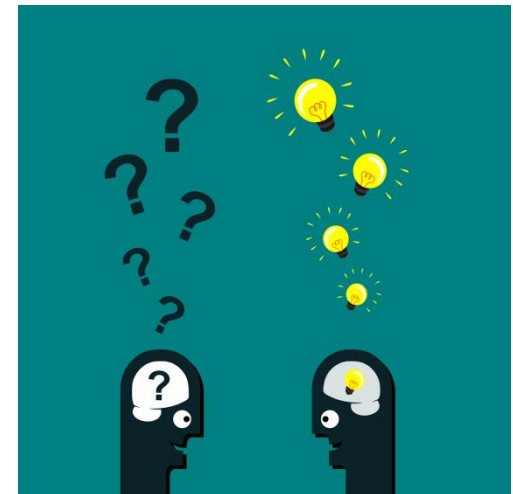
dr inż. Natalia Łukasik, Wydział Chemiczny

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021 - 2027



Paliwa alternatywne

- **Substancje energetyczne, które mogą zastępować paliwa kopalne, takie jak ropa naftowa, węgiel czy gaz ziemny, w różnych sektorach gospodarki.**
- **Metanol (MeOH)**
- **e-metanol (e-MeOH, zielony metanol)**
- **DME (eter dimetylowy, dimetyloeter)**
- **Biopaliwa (bioetanol, biodiesel)**
- **Wodór**

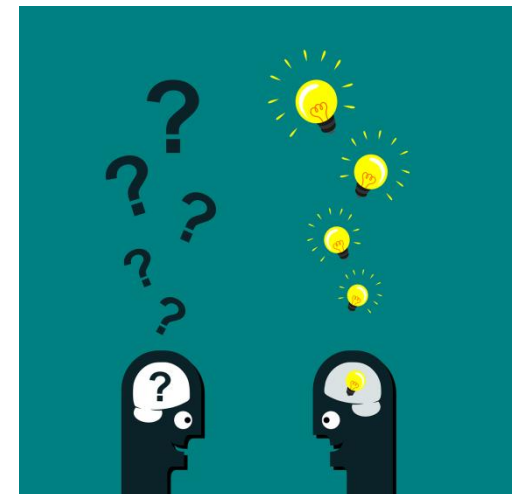




Paliwa alternatywne - cel

Cel:

- Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych (GHG)
- Uniezależnienie się od dostępu do surowców kopalnych
- Transformacja energetyczna w kierunku gospodarki niskoemisyjnej

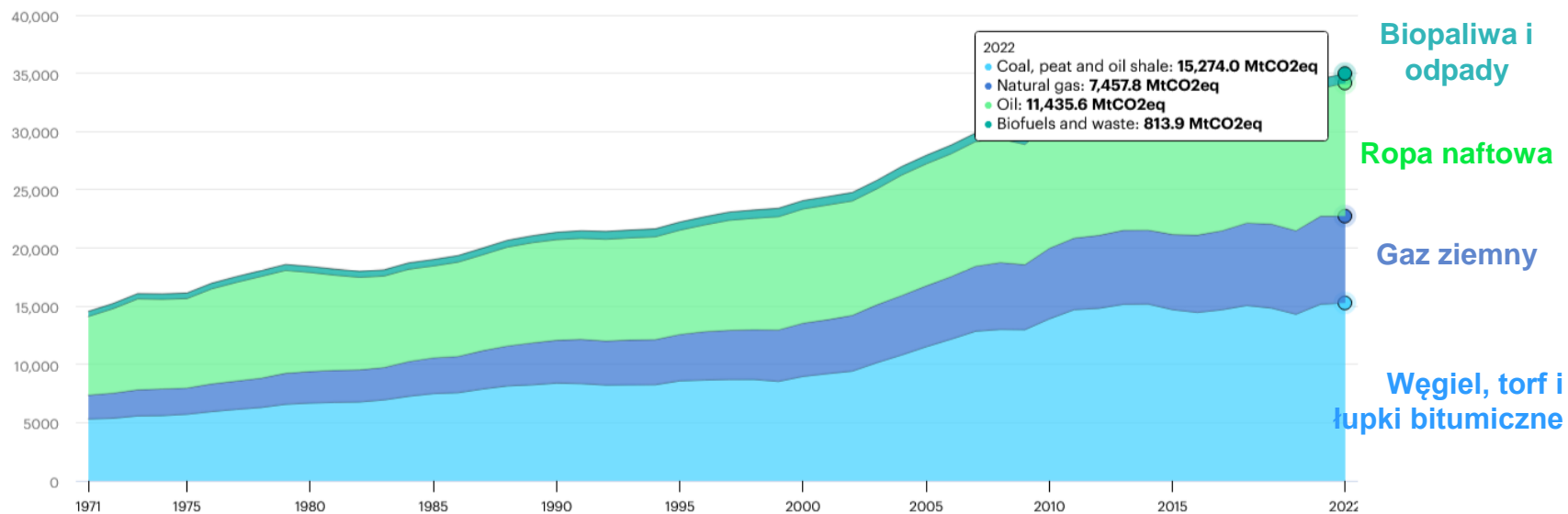




Paliwa alternatywne

Światowe emisje ze spalania paliw kopalnych

Mt CO₂

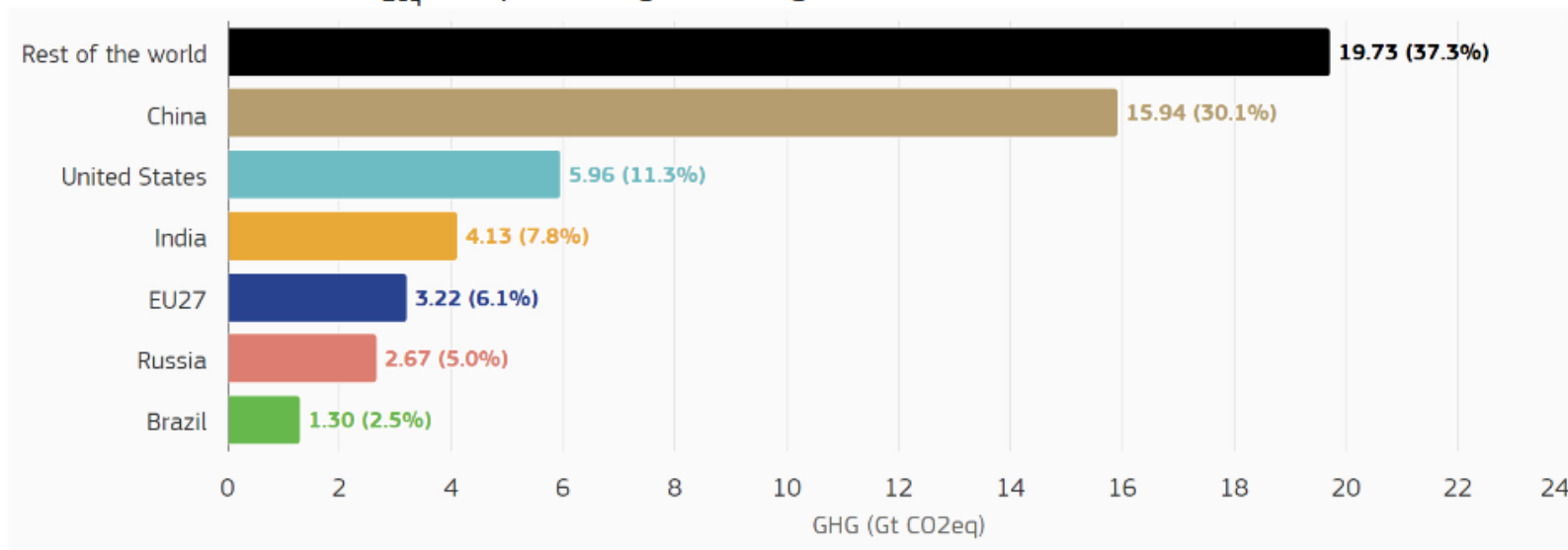


IEA. Licence: CC BY 4.0

Paliwa alternatywne

- **Protokół z Kioto (1997 r.), Porozumienia Paryskie (2015 r.), Zielony Ład (2019 r.), Polska strategia wodorowa (2021 r.), Fit for 55**

Figure 1. GHG emissions and contribution of the six largest emitting economies and the rest of the world in 2023 (in Gt CO_{2eq} and percentage of the global total)

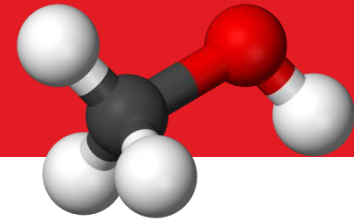


Source: JRC, 2024

https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024



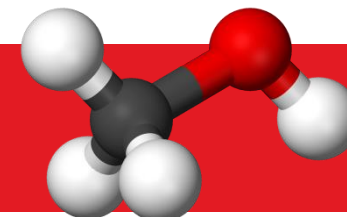
Metanol



- Ciecz w warunkach standardowych
- Łatwy w transporcie i magazynowaniu, rozwinięta infrastruktura (statki, rurociągi, transport kolejowy i drogowy),
- Wysoki poziom zaawansowania technologicznego procesu otrzymywania i dehydrogenacji MeOH
- Produkowany na skalę przemysłową z surowców zawierających węgiel: gaz ziemny, węgiel (wdrożone technologie), biomasa, odpady (tworzywa sztuczne, odpadowy CO₂) (rozwijane technologie),
- Warunki syntezy: 220-230°C, p= 50-100 bar

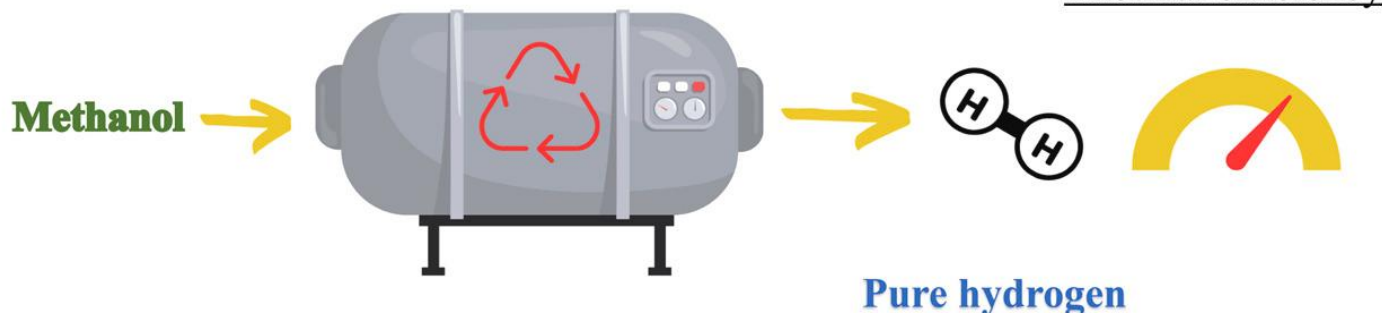


Metanol - zalety



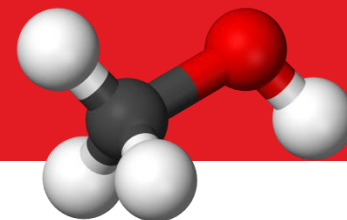
- Ciecz – możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury dla paliw ciekłych (po niedużej modyfikacji),
- Uniwersalne paliwo (silniki spalinowe, turbinowe, systemy hybrydowe, ogniwa paliwowe)
- Chemiczny magazyn wodoru: teoretyczna pojemność magazynowania H_2 - 12,5% mas.
- Biodegradowalny.

On-board, thermally balanced,
membrane reactor with internal recycle





Metanol - wady



- **Palny**
- **Toksyczny**
- **Może powodować korozję**
- **Objętościowa gęstość energii ok. o połowę niższa niż dla benzyny i oleju napędowego**
- **Uwalnianie wodoru – generowanie CO₂**



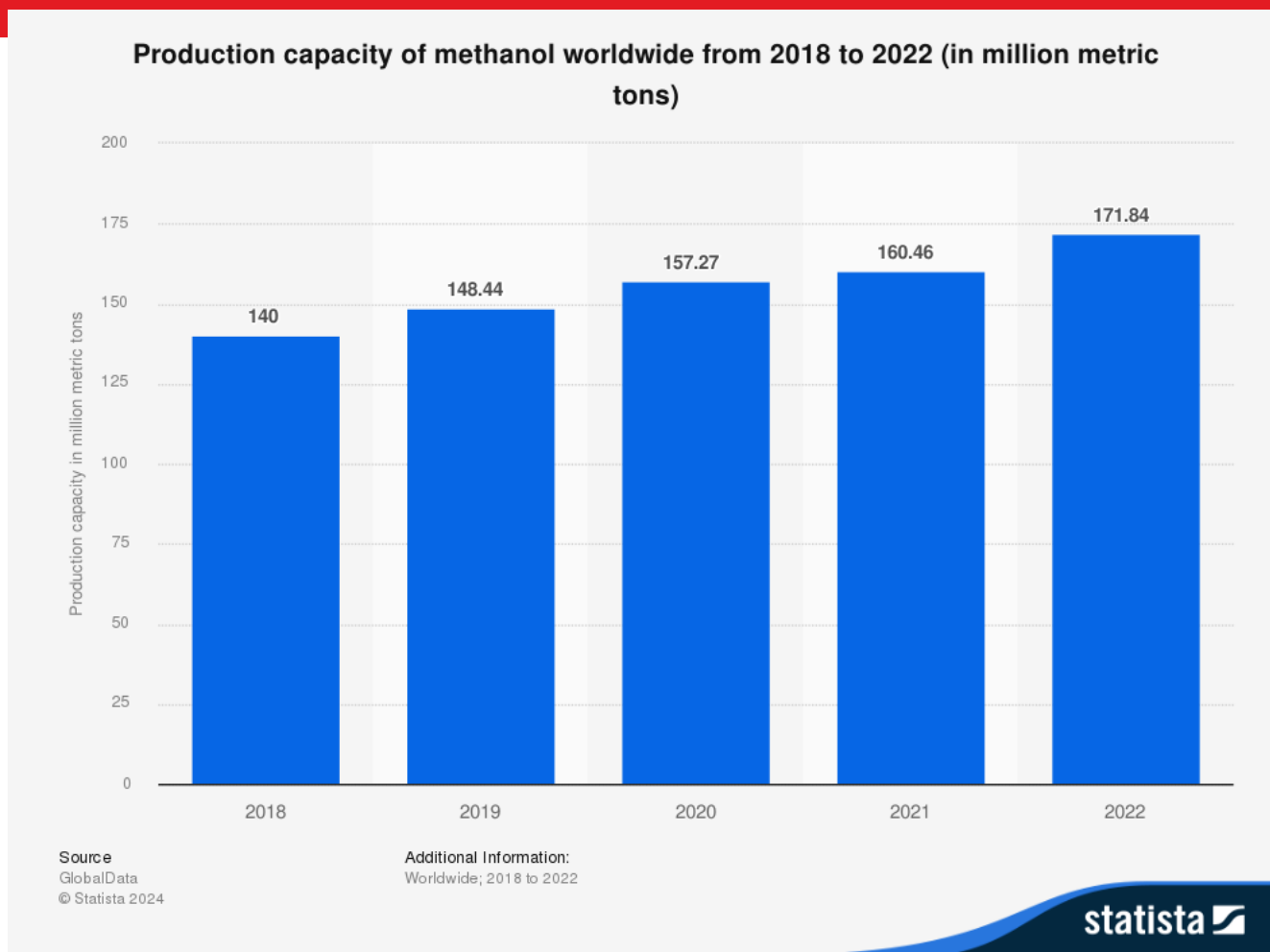
toksyczny
stanowiący
zagrożenie dla
zdrowia



skrajnie
łatwopalny



Metanol - otrzymywanie





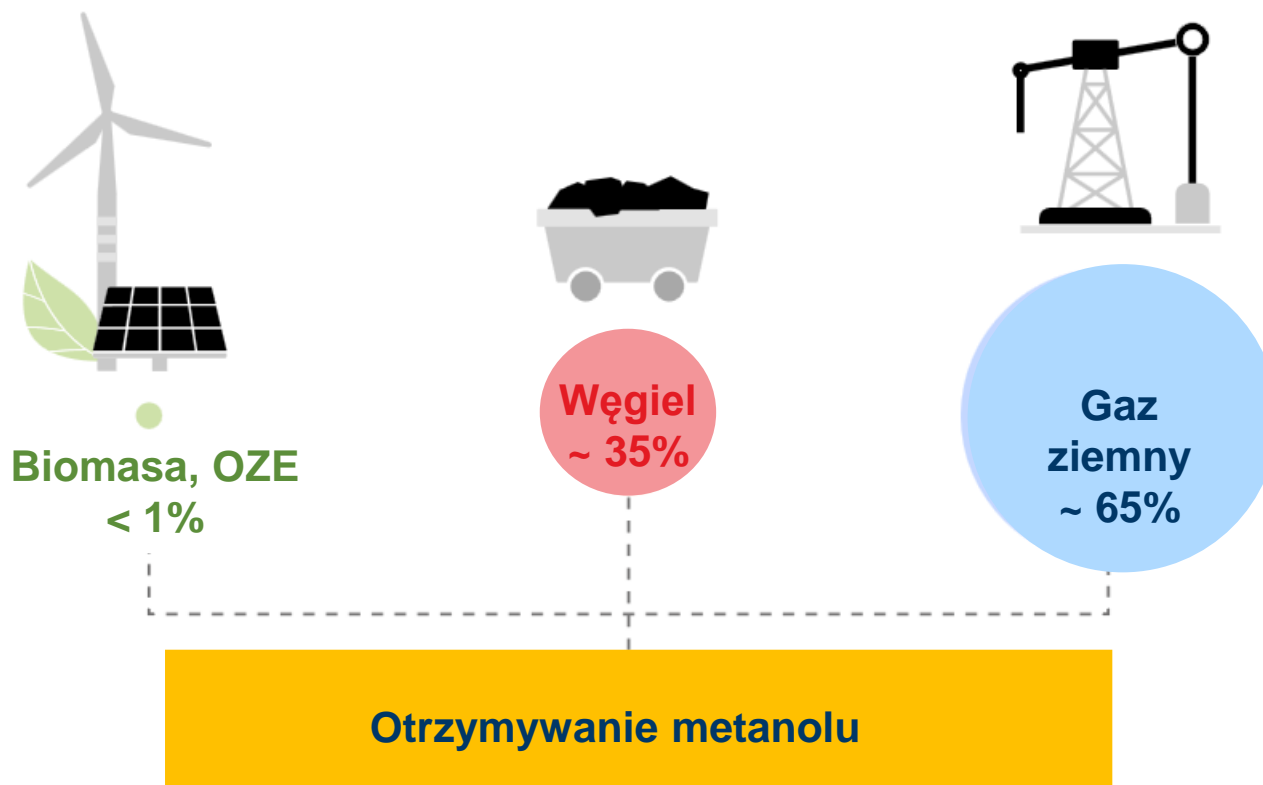
Metanol - otrzymywanie

Obecnie:

- ok. 98 mln ton/rok – Europa odpowiada za ok. 10% produkcji
- największy producent i konsument: Chiny
- Prognoza na 2050 r.: 500 mln ton/rok, potencjalna emisja CO₂ 1,5 Gt/rok przy produkcji z paliw kopalnych.

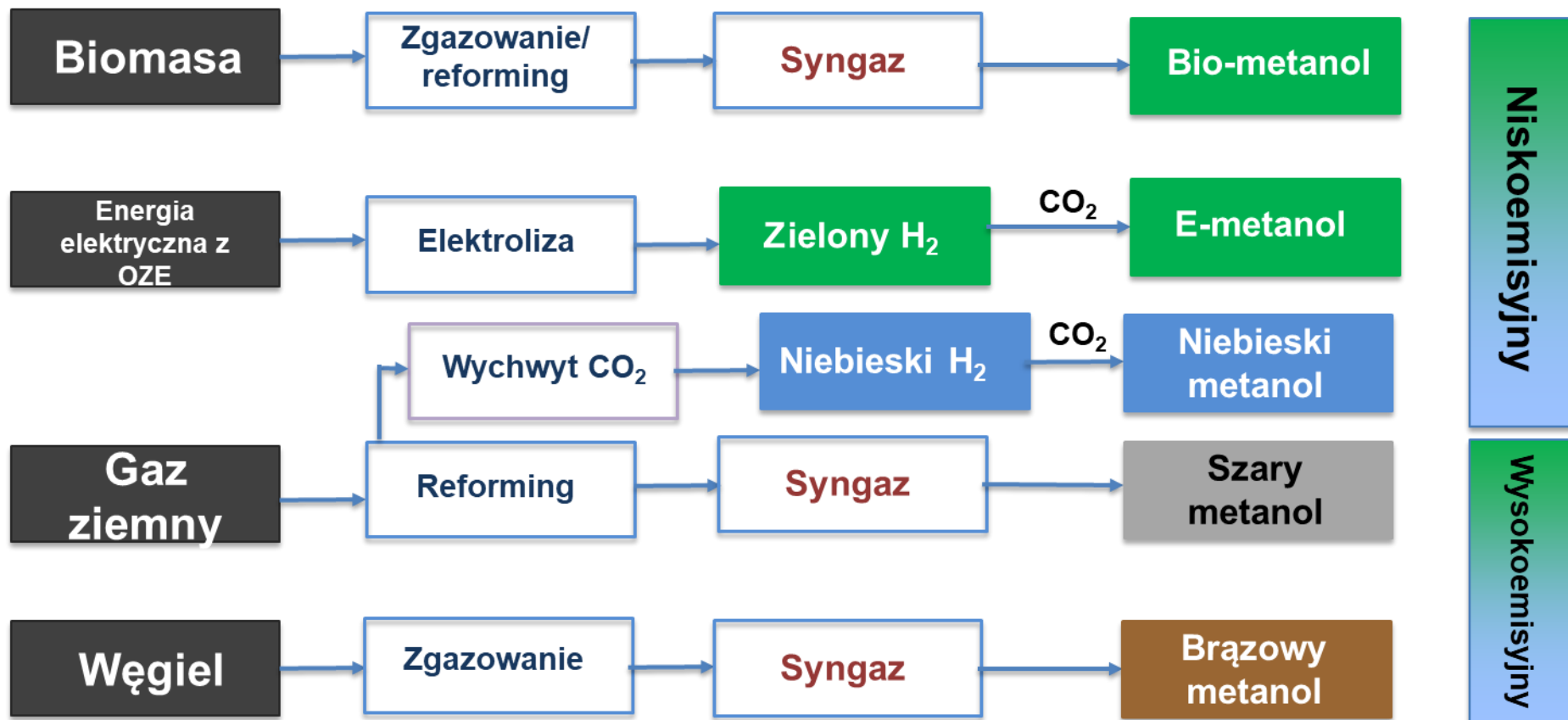


Metanol - otrzymywanie





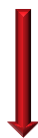
Metanol - otrzymywanie





Bio- vs. e-metanol

- Metanol pochodzący ze źródeł odnawialnych
- Odnawialne surowce: biomasa (odpady rolnicze, komunalne)



Biometanol





Bio- vs. e-metanol

- Odnawialna energia: wiatrowa, słoneczna, geotermalna, itp.
- Wykorzystanie odpadowego CO₂ (z procesów technologicznych, CCS, CCU), biogenego CO₂ (z przerobu biomasy) lub CO₂ wychwyconego bezpośrednio z atmosfery (DAC)
- Oraz zielonego H₂ (z elektrolizy zasilanej energią z OZE)

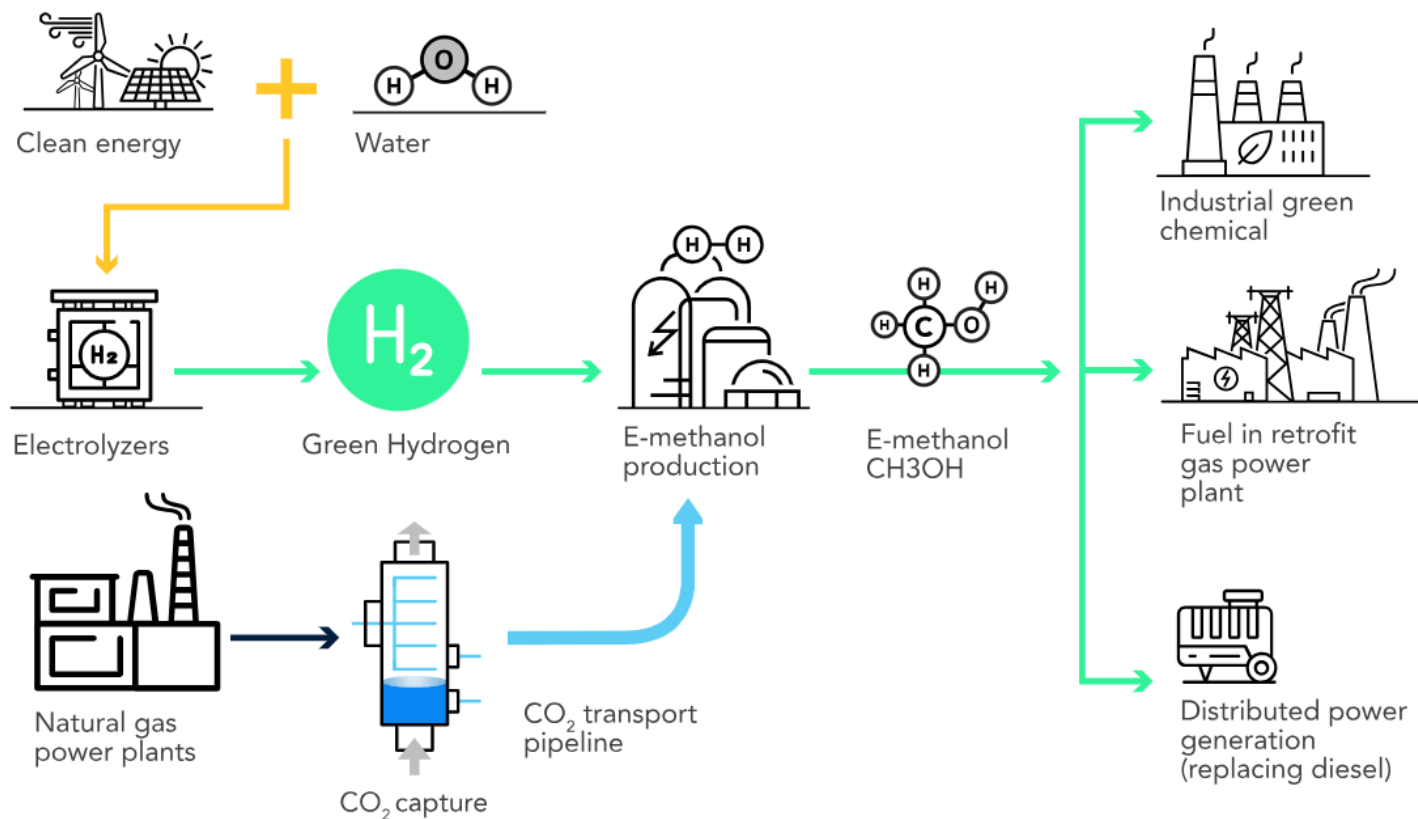


E-metanol

Efektywność konwersji Power-to-MeOH ~48%



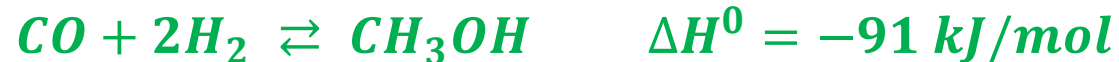
Bio- vs. e-matanol





Produkcja MeOH z syngazu

- Źródło syngazu: procesy termochemiczne paliw kopalnych (reforming parowy gazu ziemnego, zgazowanie węgla, zgazowanie biomasy, zgazowanie odpadów komunalnych)



*Water-gas shift
reaction*





Skład syngazu

- Atom C w MeOH pochodzi od CO₂
- Jednak wysokie stężenie CO₂ w strumieniu wlotowym – sprzyjanie reakcji RWGS – wzrost stężenia CO i H₂O,
- Stosunek CO:CO₂ – wpływ na potencjał utleniająco-redukujący gazu wlotowego; wpływ na efektywność powstawania metanolu



Skład syngazu

- Synteza metanolu: $H_2:CO = 2:1$

Technologia	H_2 (% v/v)	CO (% v/v)	CO_2 (% v/v)	$H_2:CO$
Reforming parowy metanu	70-75	15-20	5-10	~3
Zgazowanie węgla	25-30	30-40	5-15	<1
Zgazowanie biomasy	10-30	20-40	20-35	<1,5



Skład syngazu

- Synteza e-metanolu: $H_2:CO_2 = 3:1$



*Reverse Water-gas
shift reaction*



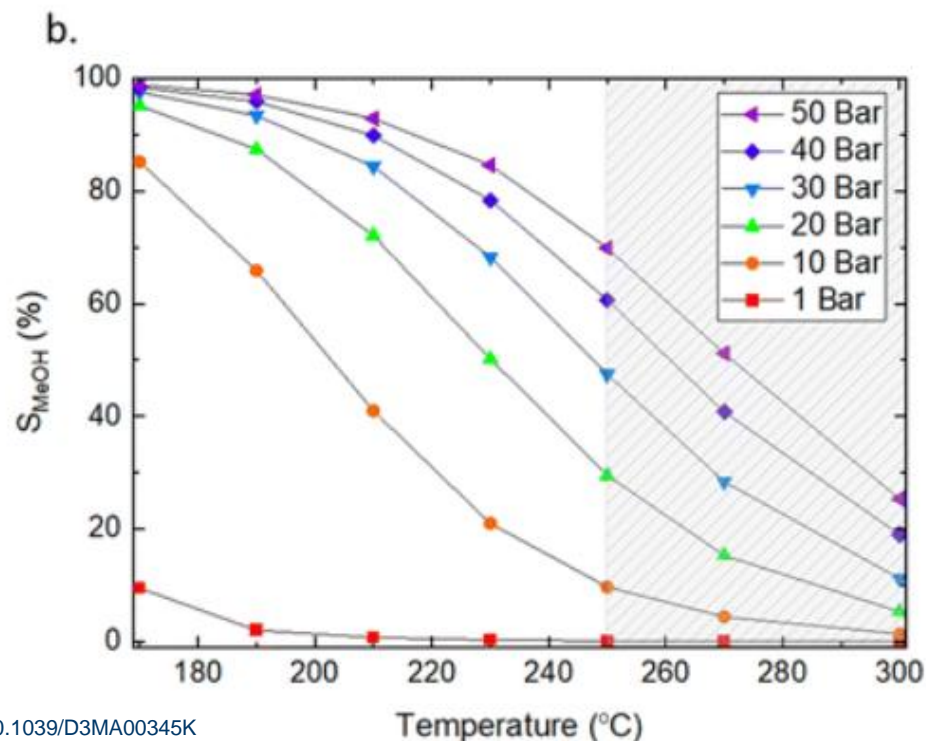
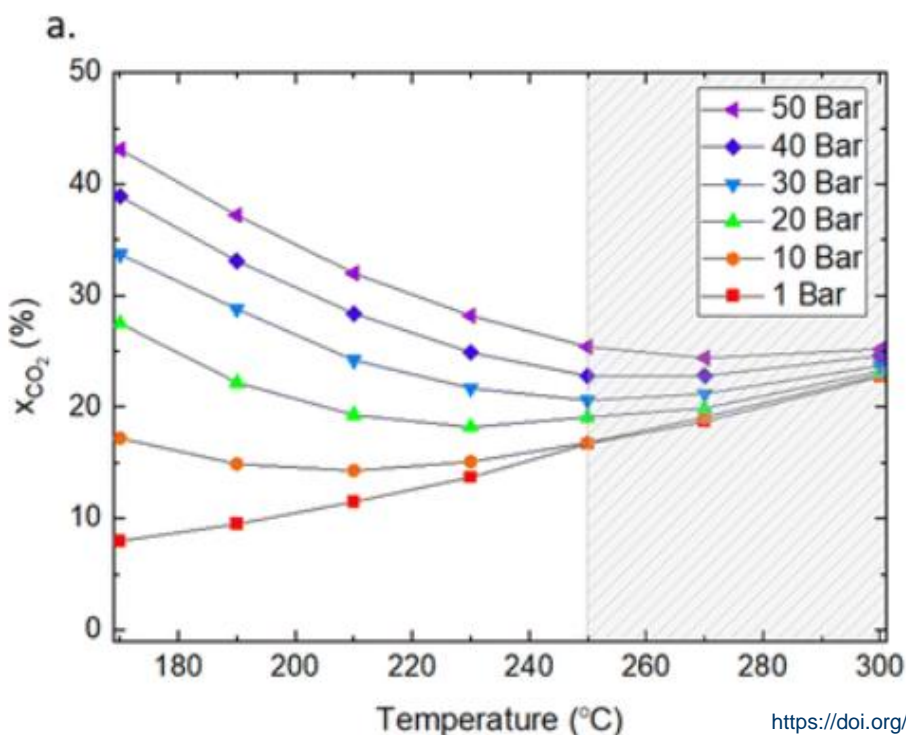
*Metanizacja (reakcja
Sabatiera)*





Skład syngazu

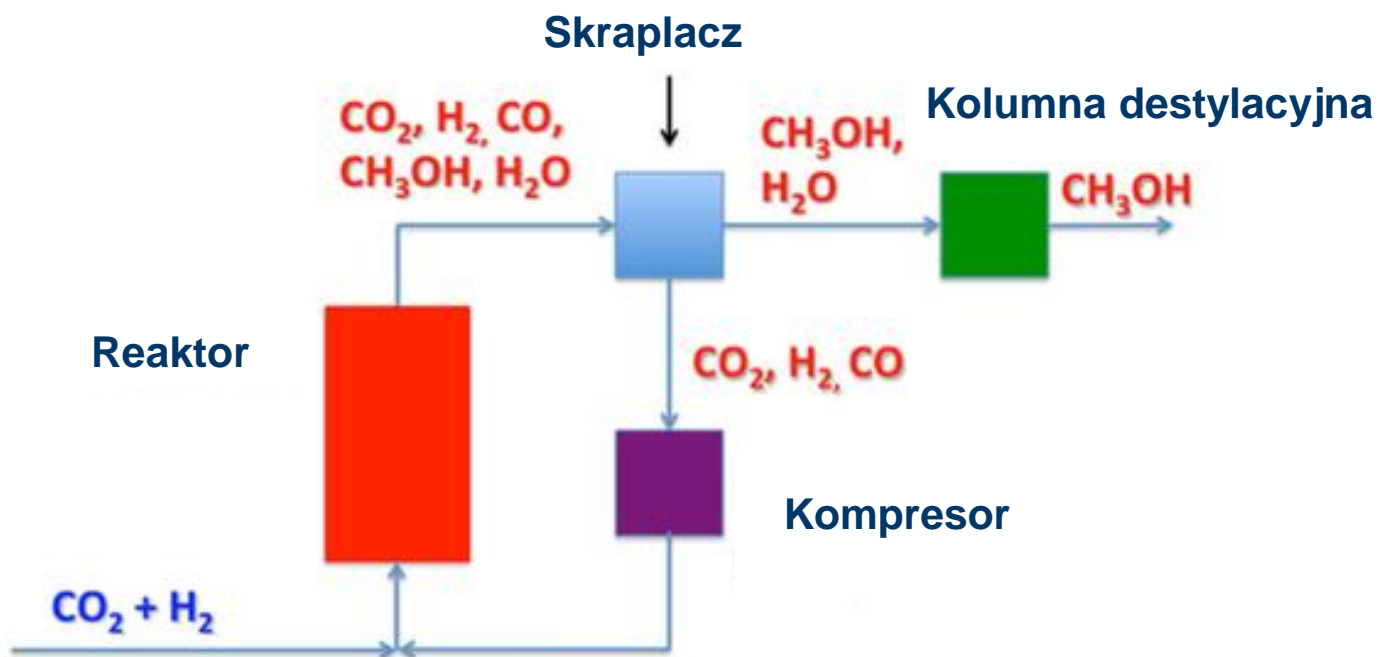
- Względy termodynamiczne: metanizacja vs. tworzenie metanolu
- Potrzeba selektywnego katalizatora





Skład syngazu

- Synteza e-metanolu: $H_2:CO_2 = 3:1$





Substraty: CO vs. CO₂

- **Termodynamika i równowaga procesu:**



- **Ścieżka z CO₂ – mniej egzotermiczny charakter**
- **Obecność H₂O – przesunięcie równowagi w stronę substratów**



Substraty: CO vs. CO₂

- **Kinetyka i aktywacja CO₂:**
 - Cząsteczka CO₂ bardziej stabilna niż CO, trudniejsza aktywacja
 - Reakcje konkurencyjne: RWGS i metanizacja
 - Wysokie stężenie CO₂ w gazie wlotowym – adsorpcja na powierzchni katalizatora, spowolnienie procesu
- **Produkt uboczny – H₂O:**
 - Spowolnienie reakcji – adsorpcja na miejscach aktywnych
 - Przesunięcie stanu równowagi w kierunku substratów
 - Dezaktywacja katalizatora – wypłukiwanie, hydroliza



Warunki procesowe



Temperatura:

200 - 260°C



Ciśnienie:

5-10 MPa



Katalizator:

**CZA -
Cu/ZnO/Al₂O₃**

- **Reakcja silnie egzotermiczna – konieczność odprowadzania ciepła**



Produkcja MeOH z syngazu

Katalizatory:



Cu:

- faza aktywna, katalizuje hydrogenację CO i CO₂

Al₂O₃:

- pełni funkcję nośnika,
- ułatwia dyspersję Cu na powierzchni katalizatora,
- odpowiada za wytrzymałość termiczną i mechaniczną



Produkcja MeOH z syngazu

ZnO:

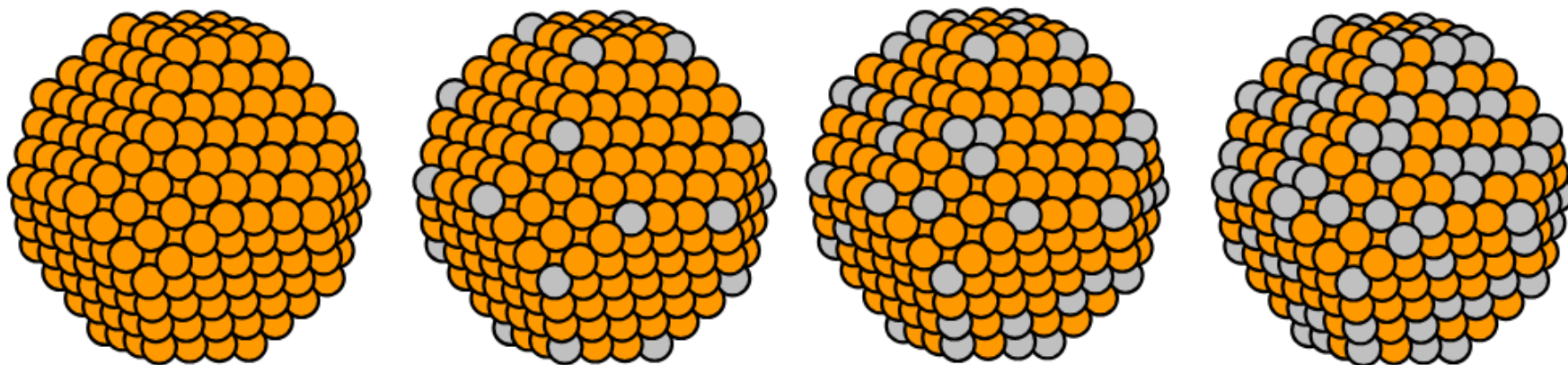
- pełni funkcję promotora,
- inhibituje spiekanie cząstek Cu, zwiększa aktywność Cu (efekt synergii Cu-Zn),
- wychwytuje trucizny (związki siarki, chloru) – zmniejsza zatrucia Cu
- Oddziaływania Cu-Zn – częściowe tworzenie ZnO_x , które pokrywa Cu w warunkach redukcyjnych



ZnO

- Cu
- Zn

Wzrost stosunku CO/CO₂ w strumieniu wlotowym

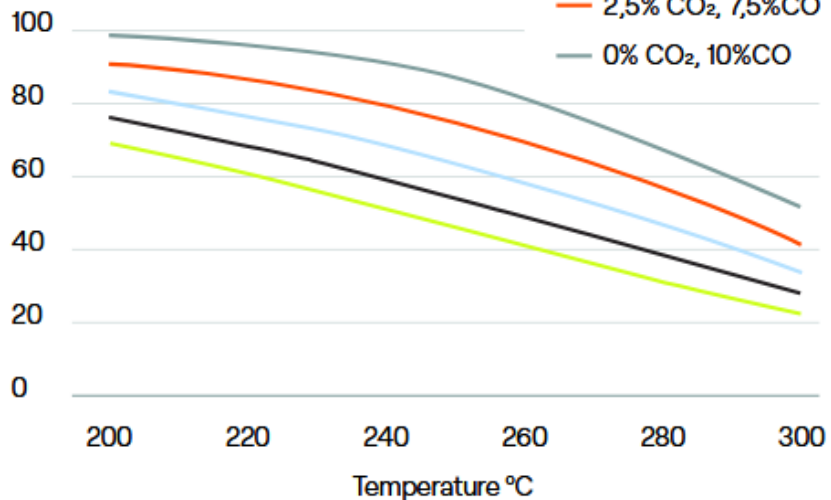




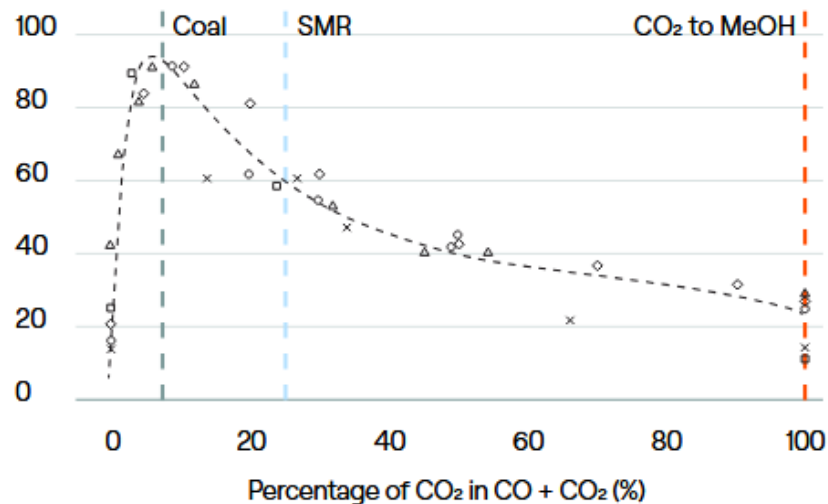
ZnO

10% CO_x, 80% H₂,
10% INERT, 75 KG/CM² G

Equilibrium carbon conversion %



Relative CH₃OH formation rate (%)





Mechanizm

Hydrogenacja CO₂

Ścieżka 1:

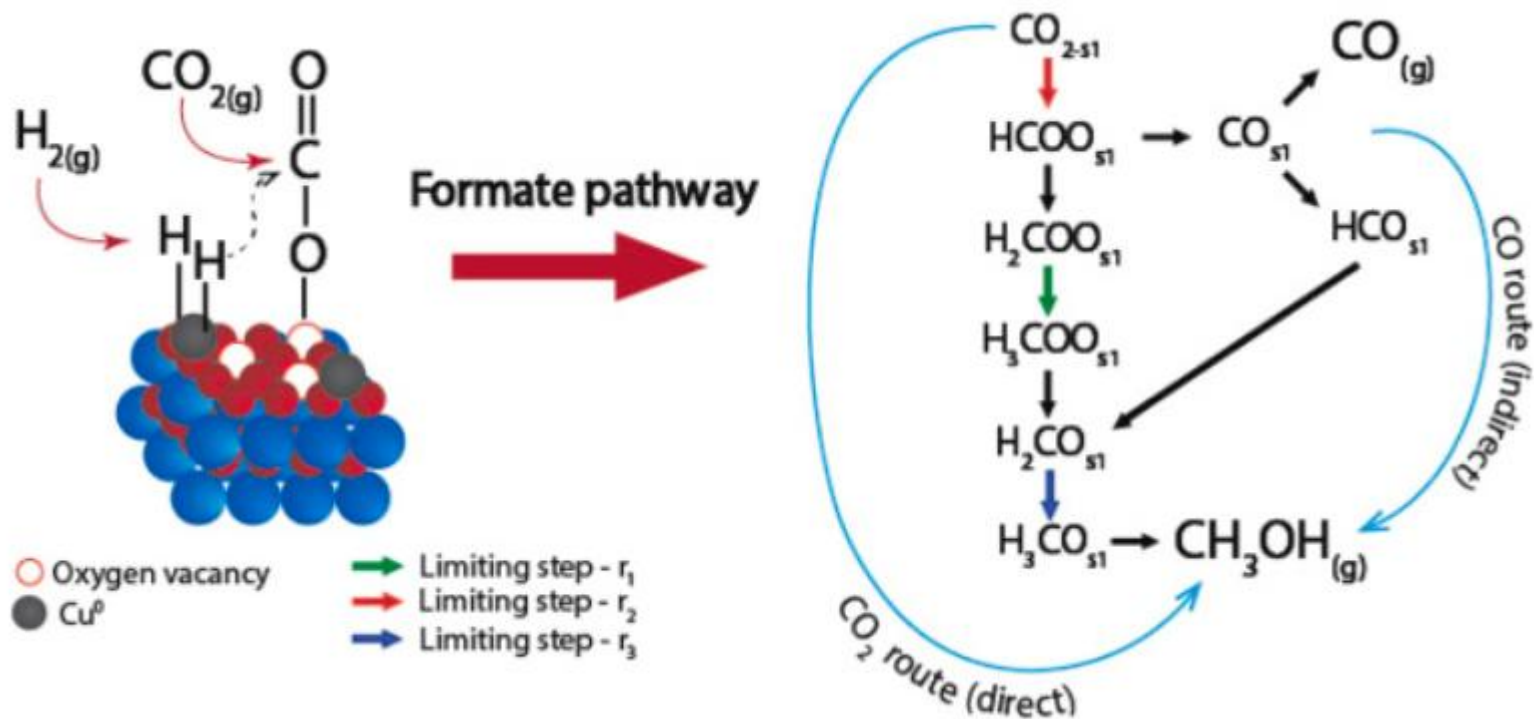
- Uwodornienie powierzchniowego CO utworzonego przez bezpośrednie rozerwanie wiązania C-O w CO₂
- Dominuje dla katalizatorów Cu/ZrO₂, Cu/TiO₂, Cu/CeO₂,

Ścieżka 2:

- Uwodornienie zaadsorbowanego CO₂ – utworzenie mrówczanu
- Dominuje dla katalizatorów Cu/ZnO

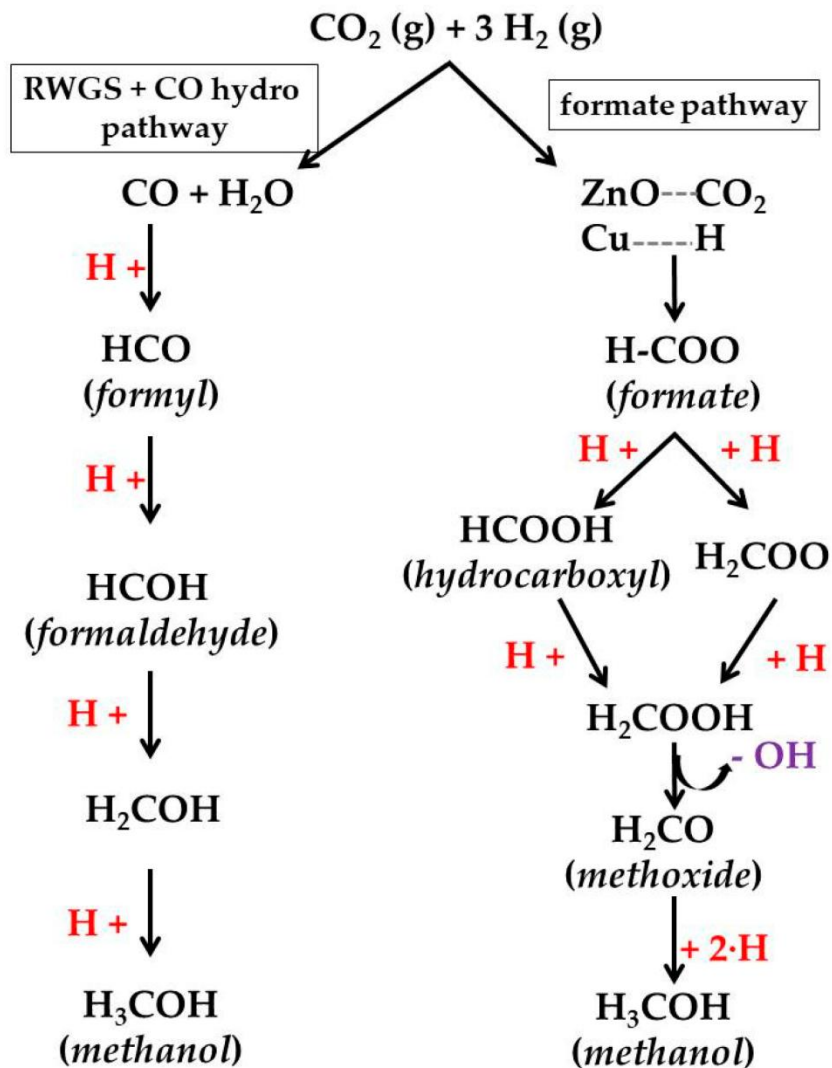


Mechanizm





Mechanizm





Efektywność otrzymywania bio- i e-metanolu

Biometanol : Biomasa – biogaz – biometanol ~ 69%

e-metanol : zgazowanie odpadów ~ 55%

Vs.

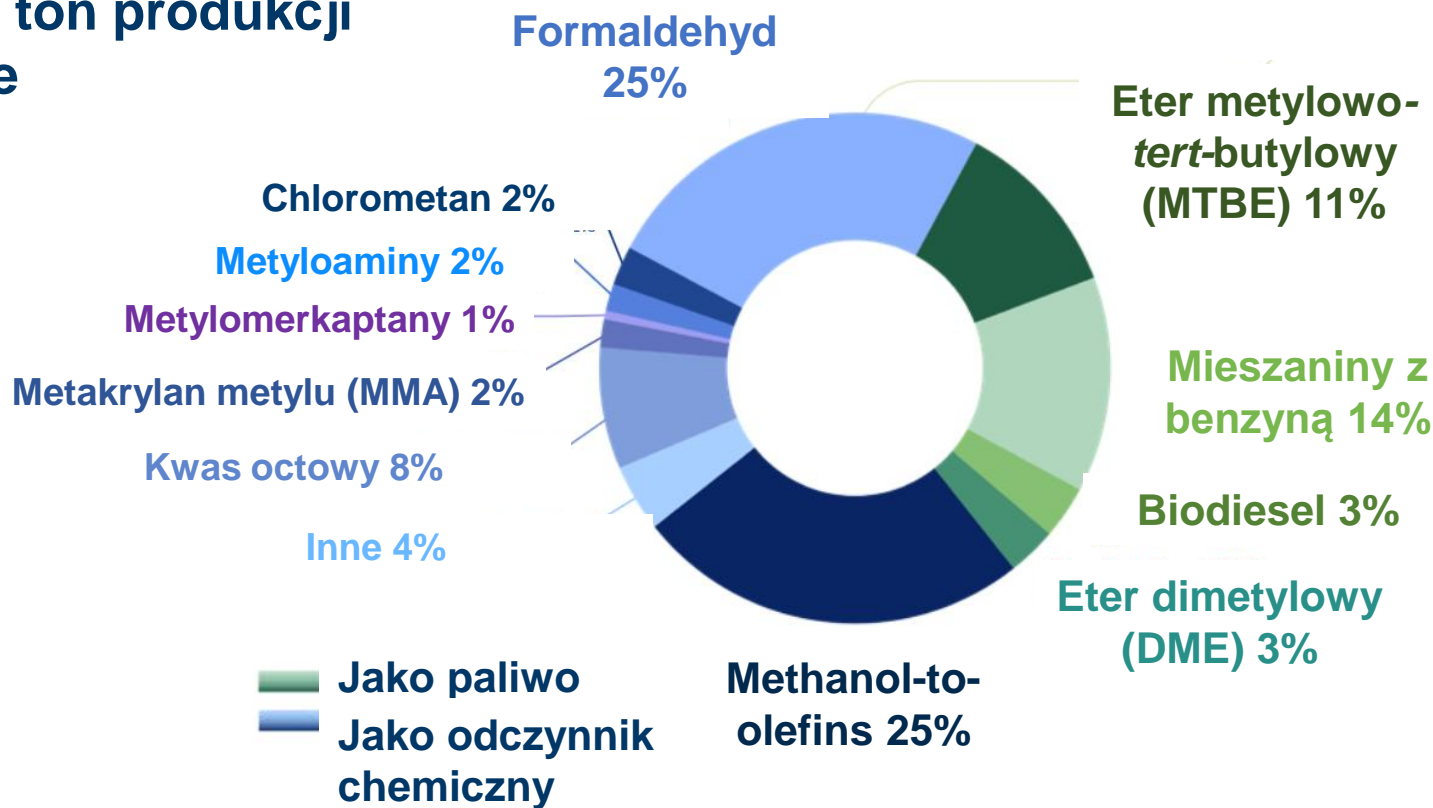
Reforming parowy gazu ziemnego – metanol ~ 65% – 75 %

Zgazowanie węgla – metanol ~ 45% – 55 %



Metanol - zastosowanie

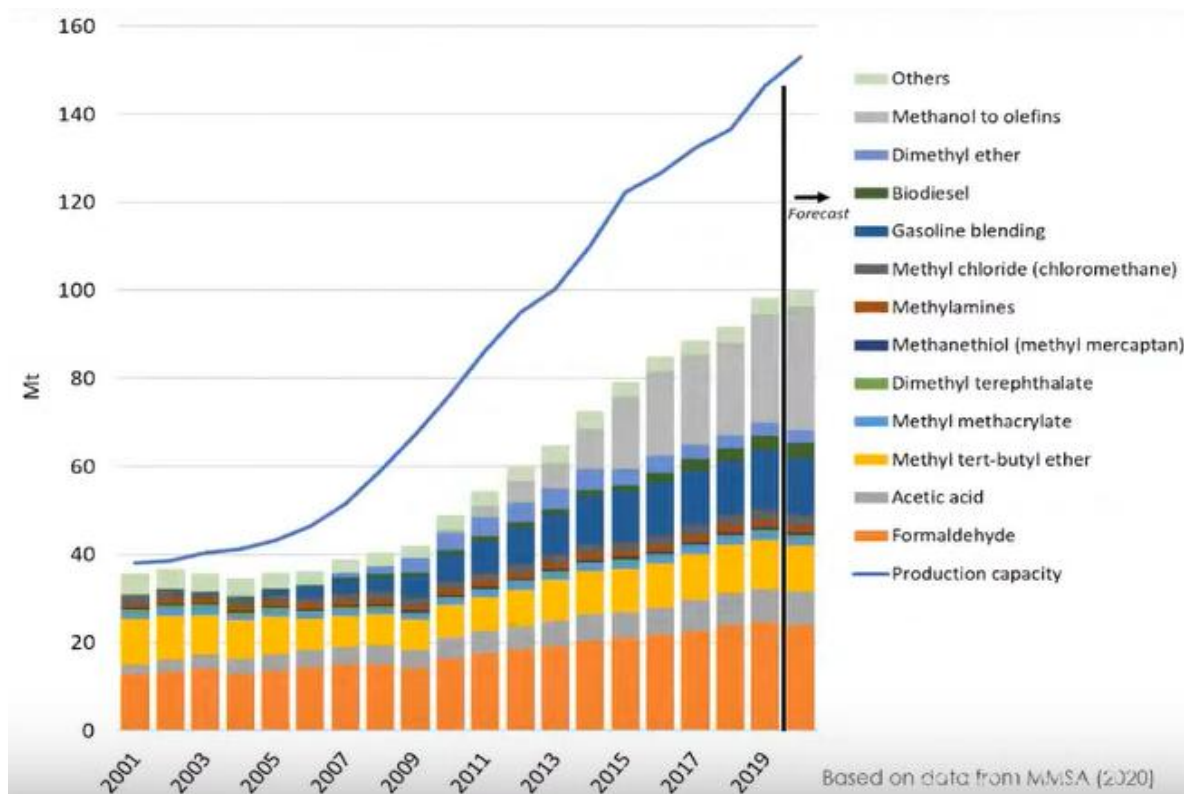
98 mln ton produkcji
rocznie





Metanol - zastosowanie

- Rozpuszczalnik organiczny,
- Substrat w syntezach organicznych
- Methanol-to-Olefins



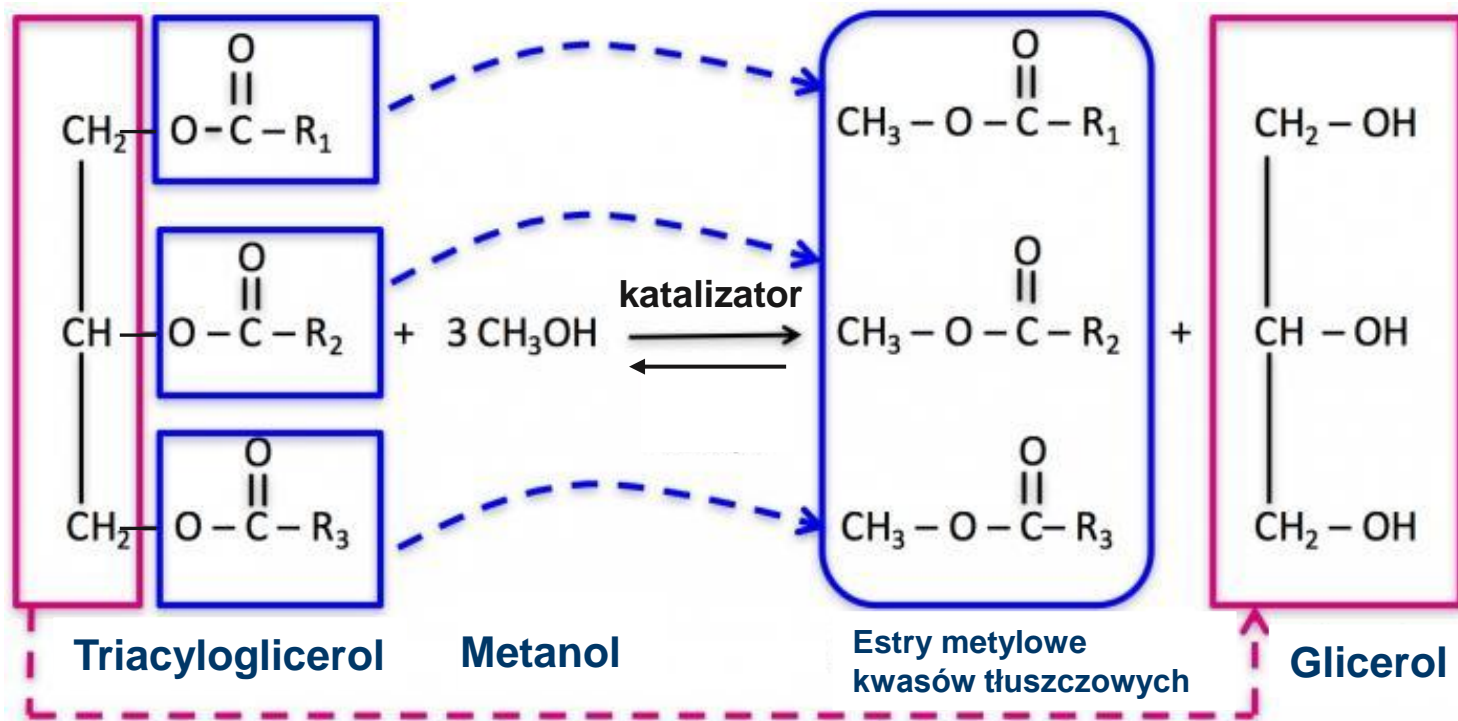


Biodiesel

- **Estry metylowe kwasów tłuszczowych (EMKT)**
- **Reakcja transestryfikacji triglicerydów pochodzących z olejów roślinnych, zwierzęcych, również oleju posmażalniczego (możliwość wykorzystania odpadów)**



Biodiesel – reakcja



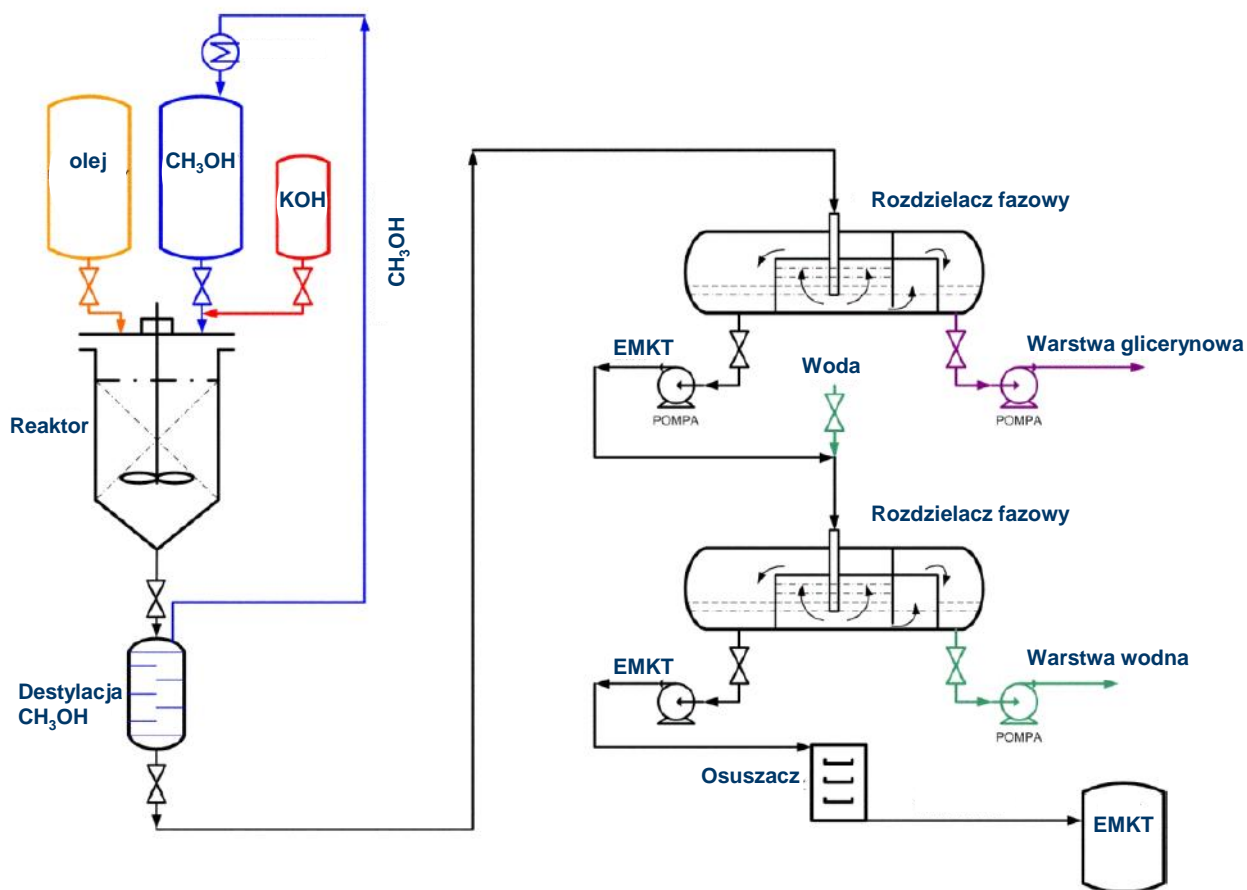


Biodiesel – warunki procesu

- **Katalizator: najczęściej zasadowy: KOH, NaOH, katalizator kwaśny – wyższa temperatura procesu**
- **Temperatura w obecności zasady: 60-70°C**
- **Nadmiar metanolu w stosunku do oleju (reguła przekory)**
- **Produkt główny: EMKT, ale też: nieprzereagowane mono- i diacyloglicerole, kwasy tłuszczowe, woda, katalizator, metanol, produkt uboczny - glicerol**



Biodiesel – warunki procesu





Biodiesel vs diesel

Paliwo (źródło)	Gęstość (kg/m ³)	ν (mm ² /s)	Liczba cetanowa	Temperatura zapłonu (°C)	Wartość opałowa (MJ/kg)
Diesel	850	2,44-2,60	47-50	68-75	42-44,3
Olej migdałowy	881	4,90	59	145	41,76
Olej rzepakowy	879	4,40	48,25	169,5	35,8-41,1
Olej słonecznikowy	869	4,26	45,7	180,3	34,7-40,6
Olej kokosowy	867	3,20	64,6	113,8	35,2-38,2



Metanol jako paliwo

Paliwo do silników z zapłonem iskrowym:

- **jako samodzielne paliwo lub w postaci mieszanin**
- **wysoka liczba oktanowa**
- **wysokie ciepło parowania – skuteczne chłodzenie mieszanki paliwowo-powietrznej**
- **czyste spalanie: wysoki stosunek C:H, brak wiązań C-C – brak sadzy, brak emisji węglowodorów, obecność atomu O w cząsteczce – większy udział spalania całkowitego, mniejsze emisje CO₂ niż w przypadku tradycyjnej benzyny (15-20% mniej), bardzo małe emisje SO_x, NO_x, cząstek stałych**
- **biodegradowalny**



POLITECHNIKA
GDAŃSKA

Otrzymywanie i zastosowanie paliw alternatywnych

Metanol jako paliwo

Methanol Institute



Metanol jako paliwo

Ograniczenia

- Niższa wartość opałowa niż klasycznych paliw – większe zużycie paliwa na jednostkę mocy
- Korozyjny
- Palny i toksyczny (podobnie jak paliwa konwencjonalne)
- Mieszalny z wodą – obecność wody w paliwie



Metanol vs paliwa konwencjonalne

Parametr	Metanol	Benzyna	Diesel
Gęstość (kg/m ³)	796	787	850
Liczba cetanowa	< 5	-	> 40
Liczba oktanowa (MON)	86	> 79	-
Wartość opałowa (LHV) (MJ/kg)	20	42	42-44,3
Stosunek powietrza do paliwa	6,4	~14,5	~14,5



Metanol jako paliwo w żegludze morskiej

- Zgodność z regulacjami IMO (Międzynarodowej Organizacji Morskiej): metanol redukuje emisję NO_x , SO_x , cząstek stałych (PM) i CO_2
- niska emisja sadzy i brak siarki – metanol nie zawiera zanieczyszczeń siarkowych
- Płynny stan w warunkach otoczenia – łatwiejszy w magazynowaniu i tankowaniu niż LNG lub wodór





Metanol jako paliwo w żegludze morskiej

- Kompatybilność z silnikami – może być stosowany w zmodyfikowanych silnikach diesla (np. dual-fuel)
- Produkcja z CO₂ i zielonego H₂ – możliwe uzyskanie zielonego metanolu, wspierającego dekarbonizację
- Paliwo „przejściowe” – pozwala spełnić normy emisyjne do czasu komercjalizacji np. amoniaku czy wodoru





Metanol – ogniwa paliwowe

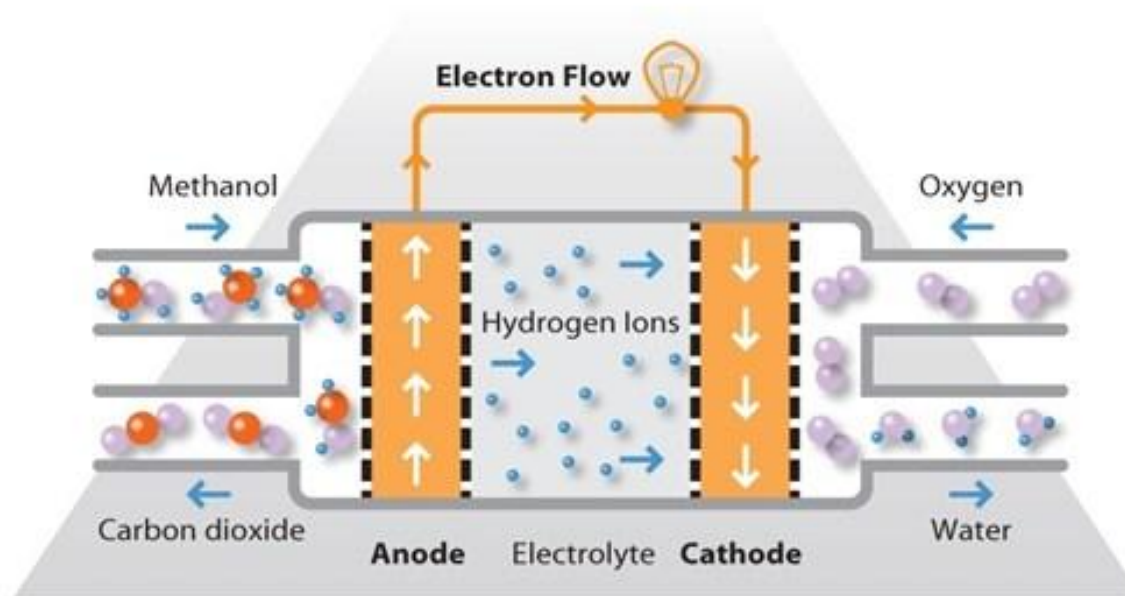
Metanol może być wykorzystywany w ogniwach paliwowych w dwóch podstawowych konfiguracjach:

- **bezpośrednio (Direct Methanol Fuel Cells – DMFCs),**
- **pośrednio, jako źródło wodoru do ogniw wodorowych.**



DMFCs

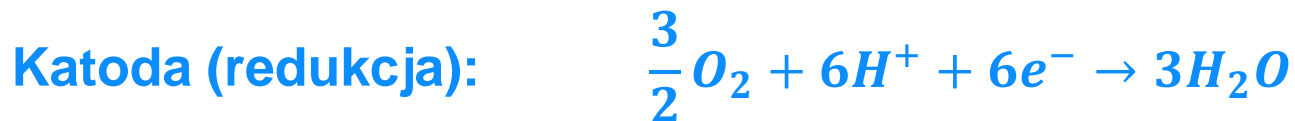
Metanol bezpośrednio wykorzystywany do produkowania energii elektrycznej.





DMFCs

Reakcje elektrodowe:





DMFCs

Wodór nie jest oddzielnie produkowany ani magazynowany

Zalety:

- **prosta budowa (brak potrzeby reformera)**
- **płynny metanol łatwo się przechowuje i transportuje**
- **nadaje się do zastosowań przenośnych (np. ładowarki, drony, małe systemy energetyczne).**



DMFCs

Ograniczenia:

- Niższa gęstość mocy w porównaniu z klasycznymi ogniwami paliwowymi (wykorzystujących H_2)
- większa ilość katalizatora niż w konwencjonalnych ogniwach (nawet o rząd wielkości)
- wykorzystanie metali szlachetnych jako katalizatorów (np. Pt-Ru)
- degradacja elementów ogniwa w czasie (aglomeracja cząstek katalizatora, korozja elektrod)
- przenikanie metanolu przez membranę (methanol crossover) obniża sprawność

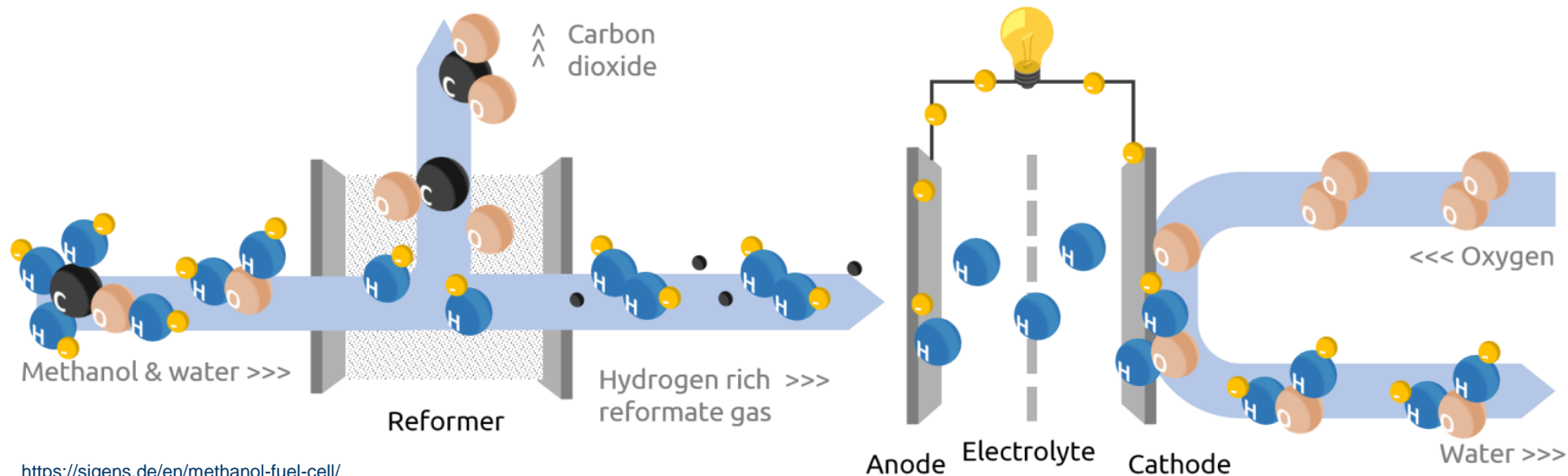
Sprawność konwersji chemicznej na energię elektryczną wynosi typowo 30–40% (temp. 50-100°C)



Pośrednie ogniwa paliwowe

Zasada działania:

- metanol jest najpierw reformowany do wodoru i CO_2 (np. w reformerze parowym)
- następnie wodór zasila klasyczne ogniwo PEM





Pośrednie ogniwa paliwowe

Zasada działania:

- reforming parowy: temperatura 200-220°C
- Temperatura pracy ogniwa zależy od rodzaju ogniwa:
 - PEM: 60-80°C, ale wymagana wysoka czystość wodoru, mała tolerancja na obecność CO
 - SOFC: 700-900°C, wysoka sprawność, większa tolerancja na CO



Pośrednie ogniwa paliwowe

Zalety:

- wyższa sprawność niż DMFC (nawet 50% przy SOFC)
- wydajne wykorzystanie wodoru (lepszą charakterystyką elektrochemiczną)
- metanol łatwiejszy w transporcie niż wodór.



Pośrednie ogniwa paliwowe

Ograniczenia:

- złożony system (konieczność reformera, oczyszczania H₂)
- emisja CO₂ podczas reformingu.
- większe straty ciepła.

Zastosowanie:

- średnie i duże systemy energetyczne (np. zasilanie awaryjne, stacjonarne mikrosieci).
- transport: autobusy, ciężarówki (gdzie wodór jest generowany z metanolu na pokładzie pojazdu).



Metanol – nośnik wodoru

- Teoretyczna pojemność magazynowania H_2 - 12,5% mas.
- Ciecz w warunkach standardowych – łatwiejsze magazynowanie w porównaniu z H_2 gazowym i ciekłym



Warunki dehydrogenacji MeOH

Najczęściej – reforming parowy metanolu:



Temperatura:
200 - 300°C



Ciśnienie:
atmosferyczne



Katalizator:
Cu/ZnO/Al₂O₃

Produkty dehydrogenacji:

- Mieszanina gazowa – H₂, CO₂, ślady CO, CH₄
- Konieczność oczyszczania wodoru



Instalacje

Instalacje otrzymywania zielonego metanolu

- **George Olah Plant – pierwsza na świecie instalacja produkcji zielonego MeOH**
 - Od 2012 r.
 - Technologia EtL
 - CO₂ – z elektrowni geotermalnej
 - H₂ – z elektrolizy wody
 - Wychwyt: 5500 ton CO₂/rocznie
 - Produkcja: 4 tys. ton MeOH/rocznie





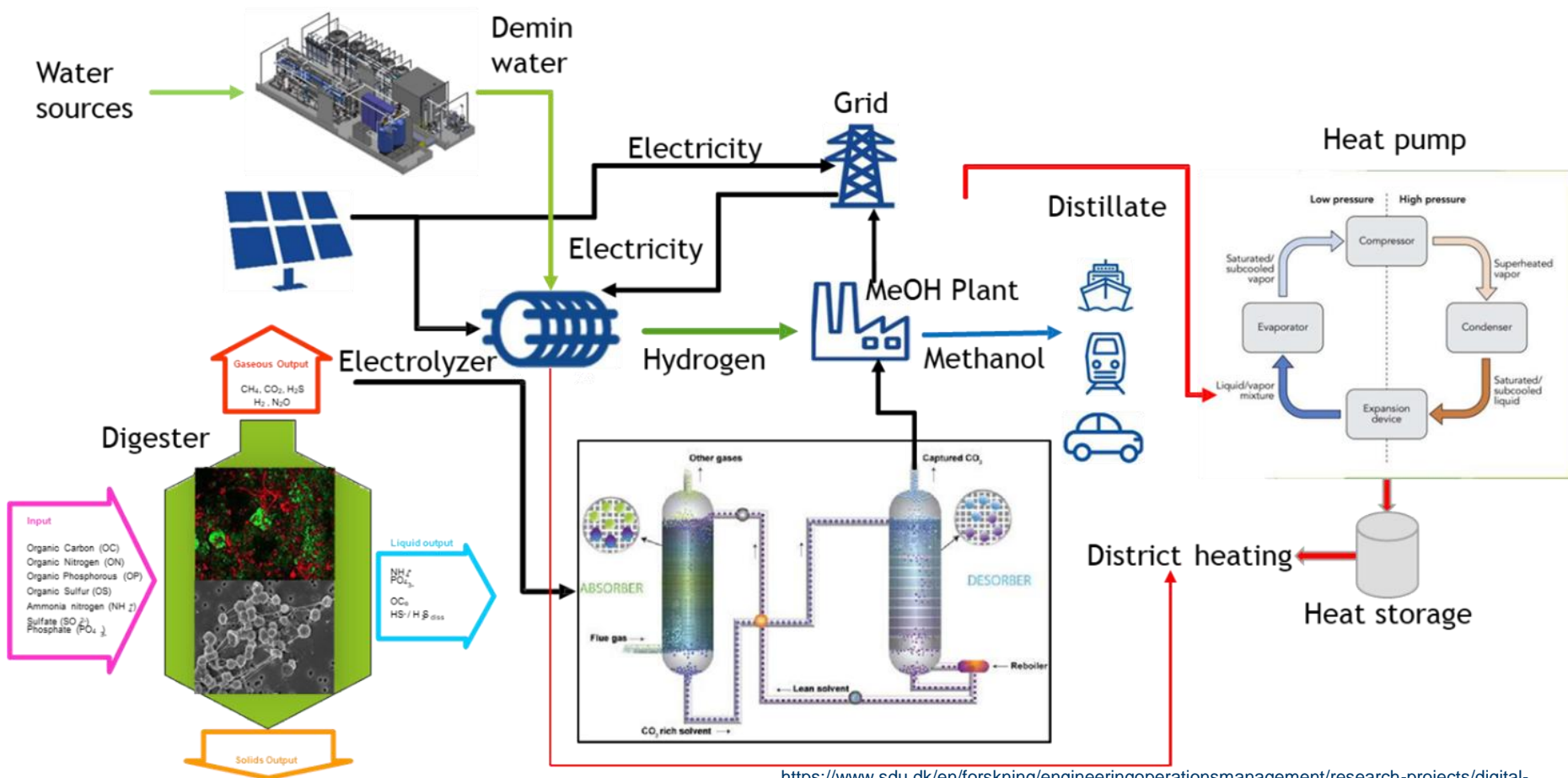
Instalacje

Instalacje otrzymywania e-metanolu

- **Dania Kassø**
- Wykorzystanie CO₂ z wychwytu przy produkcji biogazu lub spalania odpadów komunalnych i zielonego wodoru
- Produkcja: 42 tys. ton MeOH/rocznie
- Nadmiarowe ciepło z produkcji – do ogrzewania 3 300 domostw w okolicy
- Główni kontrahenci: Maersk (metanol jako paliwo w transporcie morskim), LEGO (e-metanol jako zamiennik szarego metanolu w produkcji komponentów)



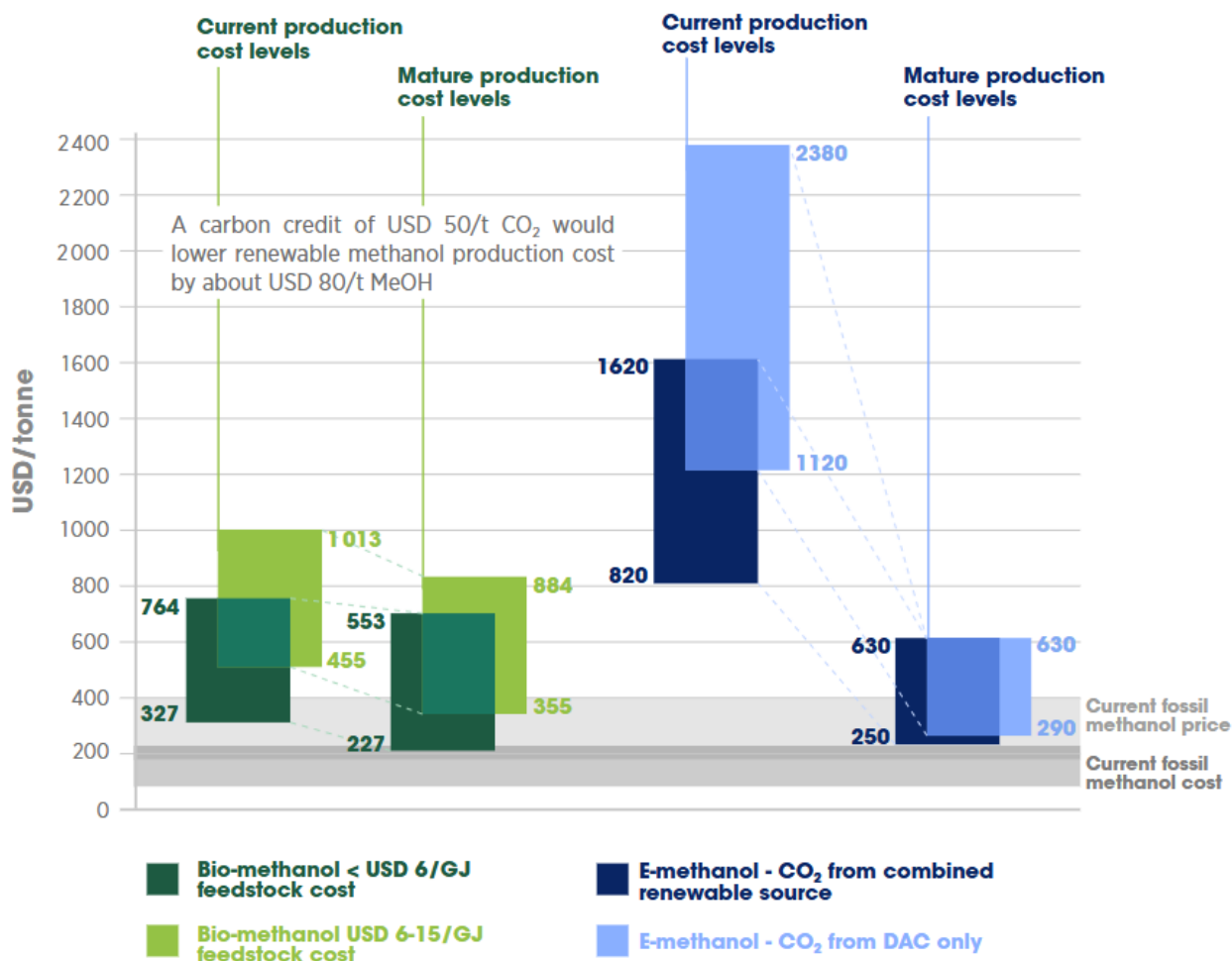
Instalacja w Kassø





Koszty

- MeOH ze źródeł kopalnych – 100 – 200 USD/t

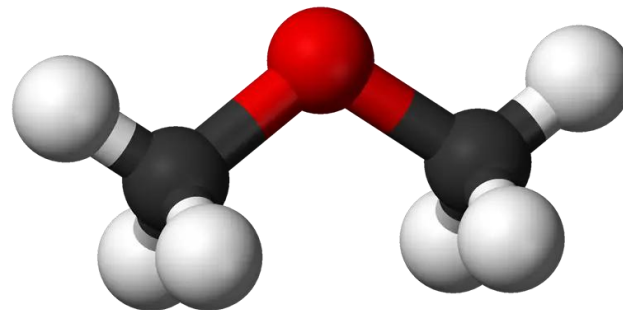


Notes: MeOH = methanol. Costs do not incorporate any carbon credit that might be available. Current fossil methanol cost and price are from coal and natural gas feedstock in 2020. Exchange rate used in this figure is USD 1 = EUR 0.9.



MeOH jako substrat do otrzymywania DME

- DME – eter dimetylowy
- Najprostszy eter, CH_3OCH_3 , brak wiązań C-C,
- Warunki standardowe – bezbarwny gaz
- Skraplanie: $T = -25^\circ\text{C}$, p atmosferyczne lub $T = 25^\circ\text{C}$, $p \sim 5$ bar





DME jako paliwo

- Wysoka liczba cetanowa: 55-60, bardzo dobre właściwości samozapłonowe,
- Wysoka zawartość tlenu w cząsteczce (34,8 % mas.) – łatwe spalanie, przede wszystkim spalanie całkowite, mała zawartość CO,
- Brak wiązań C-C – brak emisji cząstek stałych podczas spalania
- Brak emisji SO_x, mniejsze emisje NO_x niż konwencjonalne paliwa
- Łatwe skraplanie – możliwość transportu w postaci ciekłej w zbiornikach podobnych do tych dla LPG (mieszanina propan – butan)
- Nietoksyczny, niekancerogeny



DME jako paliwo

Możliwość zastąpienia paliw konwencjonalnych:

- **Olej napędowy (diesel):** wysoka liczba cetanowa i czyste spalanie – zastosowanie w silnikach wysokoprężnych, choć wymaga to pewnych modyfikacji układu wtryskowego i materiałów uszczelniających,
- **LPG:** DME może być domieszkowany do LPG (nawet do 20% objętości) i używany w tej samej infrastrukturze, co praktykuje się np. w Chinach czy Indonezji,
- **Benzyna i inne paliwa kopalne:** nie bezpośrednio w silnikach iskrowych, ale DME może pełnić rolę surowca do produkcji benzyny syntetycznej czy olefin



DME jako paliwo

Cecha	DME	Diesel	LPG	Benzyna
Liczba cetanowa / oktanowa	55–60 (wysoka cetanowa)	40–55	ok. 90–110 (oktanowa)	90–100 (oktanowa, RON)
Emisja PM (sadzy)	praktycznie 0	wysoka	niska	średnia
Emisja NO _x	niska	wysoka	średnia	średnia
Emisja CO	niska	średnia	średnia	wysoka
Toksyczność	niska, podobny do LPG	średnia	niska	średnia
Stan skupienia	ciekły pod ciśnieniem (jak LPG)	ciekły	ciekły pod ciśnieniem	ciekły
Wartość opałowa (MJ/kg)	~28–29	~42–43	~46	~43



Zastosowanie DME

- **Jako paliwo i nośnik energii**
 - **Alternatywa dla oleju napędowego**
 - **Alternatywa lub dodatek do LPG**
 - **Paliwo w turbinach gazowych – do wytwarzania energii elektrycznej**
 - **Chemiczny magazyn wodoru**



Zastosowanie DME

- **Przemysł chemiczny**
 - Substrat do otrzymywania np. kwasu octowego, olefin, związków aromatycznych
 - Substrat do otrzymywania benzyny syntetycznej i innych paliw płynnych (tzw. methanol-DME economy)

- **Przemysł kosmetyczny**
 - Jako gaz pędny w aerozolach – zastępuje freony, które odpowiadały za tworzenie tzw. dziury ozonowej



DME – uwalnianie wodoru na żądanie

- Teoretyczna pojemność magazynowania H_2 - 13% mas.
- Gęstość magazynowania H_2 – 86,9 kg H_2/m^3 (MeOH: 99 kg H_2/m^3 , LH_2 : 70,9 kg H_2/m^3 temp.: $-253^\circ C$)
- Łatwe skraplanie ($T = -25^\circ C$, p atmosferyczne lub $T = 25^\circ C$, $p \sim 5$ bar)
- Podobieństwo właściwości do LPG – możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury
- Węższy zakres palności w powietrzu niż wodór (3,4 – 17% vs. 4 – 74%)
- Nietoksyczny



DME – warunki dehydrogenacji

Najczęściej – reforming parowy – największe stężenie wodoru:

1: Hydroliza



2: MSR



Temperatura:
250 - 450°C



Ciśnienie:
atmosferyczne



Katalizatory
bifunkcyjne: miejsca
kwasowe –
hydroliza, miejsca
metaliczne - MSR



DME – warunki dehydrogenacji

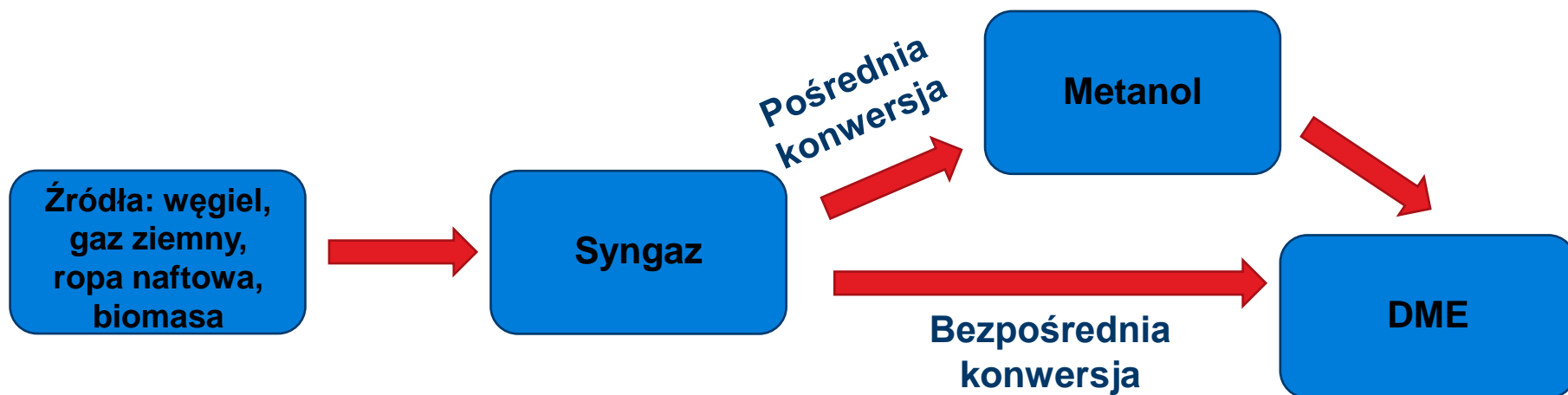
- Katalizatory, np. CZA z kwasowymi zeolitami HZSM-5
- Wysoka temperatura, kwaśny katalizator – dekompozycja DME



- Produkt dehydrogenacji: mieszanina gazowa (H_2 , CO_2 , CO , CH_4) – konieczność oczyszczania wodoru



DME – otrzymywanie





Otrzymywanie – konwersja pośrednia

1. Wytworzenie gazu syntezowego (np. zgazowanie węgla, reforming gazu ziemnego)
2. Otrzymanie metanolu z syngazu
3. Dehydratacja metanolu do DME





Otrzymywanie – konwersja pośrednia

Warunki procesowe

- Katalizatory do syntezy metanolu: CZA

Katalizatory odwodnienia (etap II):

- $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ – najczęściej stosowany w przemyśle; stabilny, ale hamowany przez wodę; kinetyka badana w 290–360 °C przy niskich ciśnieniach.
- Zeolity (np. HZSM-5) – mniej wrażliwe na wodę, ale zbyt „mocne” kwasy sprzyjają tworzeniu węglowodorów (modyfikacje kwasowości poprawiają selektywność).
- Heteropolikwasowe (HPA, np. Keggin) – bardzo aktywne, selektywne do DME już ok. 180 °C, dobrze znoszą wodę.



Otrzymywanie – konwersja pośrednia

Zalety:

- dojrzała technologia,
- łatwe sterowanie ciepłem (osobne reaktory),
- wysoka trwałość katalizatorów kwasowych,
- łatwa modernizacja istniejących instalacji MeOH.

Ograniczenia:

- Potrzeba recyrkulacji w celu zwiększenia konwersji,
- Szybkość etapu odwodnienia spada wraz z tworzącą się wodą



Otrzymywanie – konwersja bezpośrednia

- Większa konwersja równowagowa niż w przypadku metody dwuetapowej (pośredniej) – ze względu na ciągłe usuwanie metanolu – przesunięcie stanu równowagi w kierunku DME
- Szczególnie istotne przy uwodornieniu CO_2 (niższa konwersja do metanolu)
- Większe szybkości reakcji
- Redukcja liczby recyrkulacji reagentów
- Synteza MeOH i odwodnienie do DME – w jednym reaktorze



Otrzymywanie – konwersja bezpośrednia

Warunki procesowe



Temperatura:
220 - 320°C



Ciśnienie:
10-50 bar



Katalizatory
bifunkcyjne: miejsca
metaliczne – synteza
MeOH,
miejsca kwasowe –
odwodnienie



Otrzymywanie – konwersja bezpośrednia

Ograniczenia:

- trudniejsza gospodarka ciepłem (reakcje o różnym cieple),
- podatność układu bifunkcyjnego na dezaktywację ze względu na obecność wody;
- selektywność zależna od precyzyjnego doboru proporcji i architektury katalizatora.



Otrzymywanie – konwersja bezpośrednia

Intensyfikacja metody bezpośredniej:

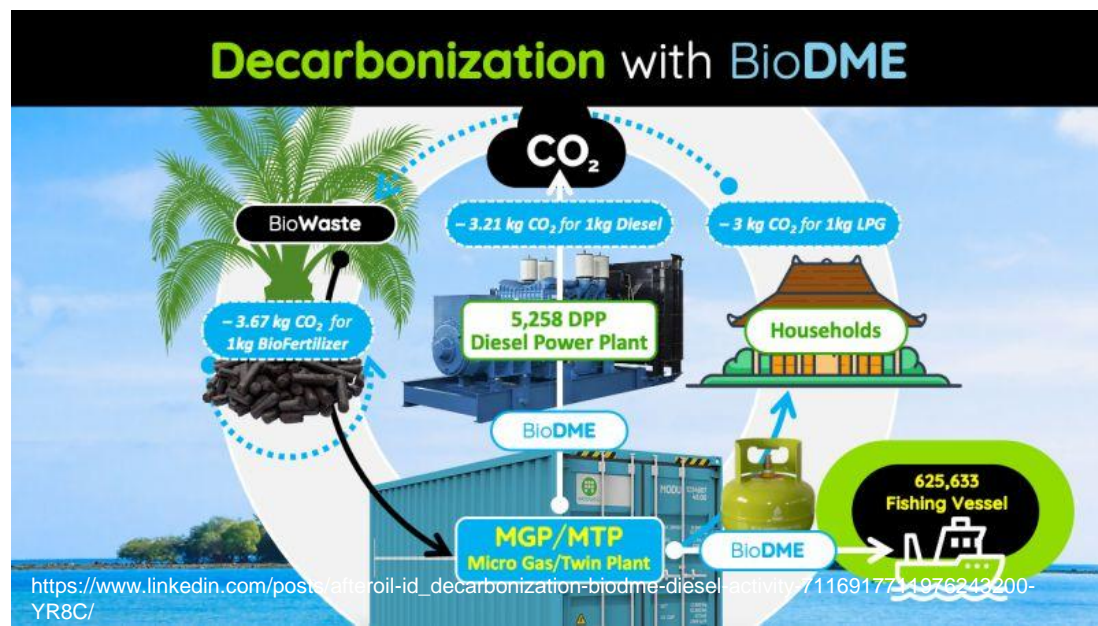
- Reaktory membranowe (odprowadzanie H_2O): węglowe i zeolitowe (LTA/NaA); usunięcie do $\sim 80\%$ $H_2O \rightarrow +27\%$ produkcji DME;
- SEDMES – Sorption-Enhanced DME Synthesis (adsorpcja pary): adsorbenty: zeolit 3A (LTA), FAU-13X – selektywne do H_2O w $200\text{--}350\text{ }^\circ\text{C}$; umożliwiają bardzo wysokie selektywności w cyklach PSA lub TSA



Projekty demonstracyjne

BioDME

- Firma Chemrec wraz z Volvo, Preem, Haldor Topsøe, Total, Delphi, ETC oraz ze szwedzkimi agencjami rządowymi
- DME – gazyfikacja biomasy (odpadów drzewnych)
- Testy z 10 ciężarówkami Volvo (w regularnej eksploatacji) przez rok (2011/2012) pokryły łącznie ok. 400 000 km.





Projekty demonstracyjne

INGA- DME

- Politechnika Gdańska (dr inż. Andrzej Rogala), PGNiG (obecnie Orlen) i Politechnika Warszawska
- Opracowanie ekonomicznie opłacalnej technologii produkcji DME, jako alternatywy do paliw klasycznych (na lądzie i na morzu), wykorzystując małe złoża gazu lub inne surowce węglowodorowe.
- Budowa demonstratora – umożliwiającej eksperymenty całego procesu: od wytworzenia gazu syntezowego (z gazu ziemnego) do syntezy DME, oczyszczenia, sprężenia, etc.
- Opracowanie nowego katalizatora o zwiększonej żywotności i selektywności dla procesu syntezy DME



Projekty demonstracyjne

INGA- DME

- Politechnika Gdańska (dr inż. Andrzej Rogala), PGNiG (obecnie Orlen) i Politechnika Warszawska
- Opracowanie ekonomicznie opłacalnej technologii produkcji DME, jako alternatywy do paliw klasycznych (na lądzie i na morzu), wykorzystując małe złoża gazu lub inne surowce węglowodorowe.
- Budowa demonstratora – umożliwiającej eksperymenty całego procesu: od wytworzenia gazu syntezowego (z gazu ziemnego) do syntezy DME, oczyszczenia, sprężenia, etc.
- Opracowanie nowego katalizatora o zwiększonej żywotności i selektywności dla procesu syntezy DME



Projekty demonstracyjne

TNO Patten

- **Największa instalacja pilotażowa SEDMES – Sorption-Enhanced DME Synthesis**
- **2023 r. w Niemczech**
- **3 kolumny rurowe (150 L każda),**
- **ciągła produkcja ok. 3 kg DME/h z CO₂ + H₂**





Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



HISTORIA MĄDROŚCIĄ
PRZYSZŁOŚĆ WYZWANIEM

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021 - 2027