



Politechnika Śląska w Gliwicach
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych

Funkcje nowych technologii, w tym technologii wodorowych, w realizacji scenariuszy Net Zero Emissions.

Tadeusz Chmielniak, Czesława Rosik – Dulewska, Tomasz Chmielniak



Politechnika
Śląska

www.kmiue.polsl.pl

WPROWADZENIE. Cele nadrzędne

■ Polityka klimatyczna

Główny cel: Ograniczenie globalnego ocieplenia do 2°C (1.5°C).
Wymaga to wprowadzenia różnych klas technologii. O ich rodzaju decyduje głównie struktura emisji ditunku węgla do atmosfery (energetyka – ok. 40% globalnych emisji. transport – ok. 25%, pozostałe emisje: przemysł ciężki – hutnictwo, cement, chemia, rolnictwo i budownictwo – emisje rozproszone) oraz przewidywany potencjał techniczno – ekonomiczny możliwych do opracowania technologii paliwowych i konwersji energetycznych.



WPROWADZENIE. Cele nadrzędne, cd

- Transformacja energetyczna

Główny cel transformacji energetycznej (transformacja energetyczna jest ważnym elementem transformacji całej gospodarki) to: bezpieczeństwo energetyczne (w tym akceptowalny poziom kosztów energii), ochrona klimatu i zasobów (w tym realizacja gospodarki obiegu zamkniętego). To złożony i dalej obciążony wieloma niepewnościami proces o różnorodnym charakterze.



WPROWADZENIE. Cele nadrzędne, cd

- Dekarbonizacja transportu i gospodarki

Główny cel: Eliminacja emisji transportowych i najtrudniejszych emisji przemysłowych. Wprowadzenie nowych technologii w budownictwie i miastach (Smart buildings → inteligentne systemy zarządzania energią. Materiały niskoemisyjne, Miasta zeroemisyjne → transport publiczny bez emisji, OZE w infrastrukturze)



WPROWADZENIE. Definicje, wyjaśnienia

- ❑ ***Emisja Net Zero*** = emisje CO₂ oraz innych GHG są redukowane do minimum, a reszta kompensowana (np. poprzez pochłanianie i emisję ujemną). Nie oznacza „zero emisji”, ale równowagę między emisjami a ich pochłanianiem,
- ❑ **Technologie innowacyjne, technologie przełomowe. Brak jednoznacznej definicji**

Technologie redukujące emisje: OZE, SMR, wodór, CCUS.

Technologie wspierające: cyfryzacja, AI, IoT, Big Data.



WYMOGI STAWIANE TECHNOLOGIOM ENERGETYCZNYM

A. Kryteria efektywności ekonomicznej i technicznej B. Kryteria jakości ekologicznej C. Kryteria o charakterze społecznym

A.

- Sprawność
- Koszty produkcji
- Niezawodność i dyspozycyjność
- Elastyczność eksploatacyjna
(rozumiana m.in. jako zdolność do odpowiednio szybkiego podążania za zmianą zapotrzebowania)

C.

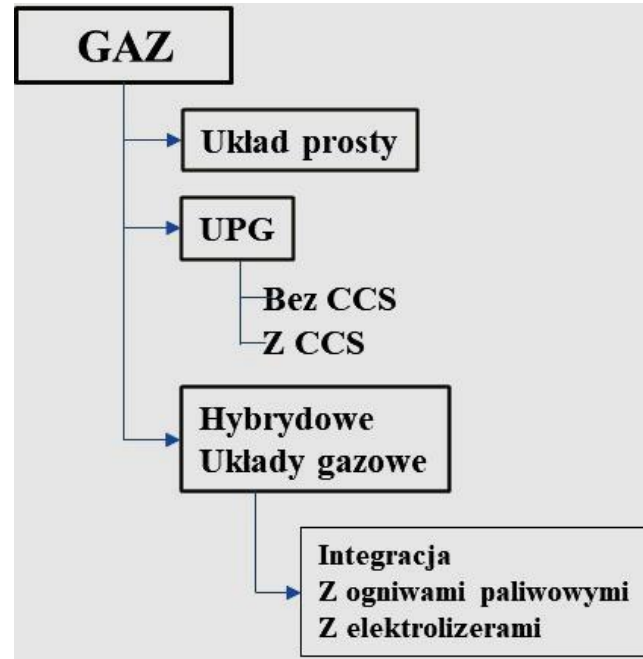
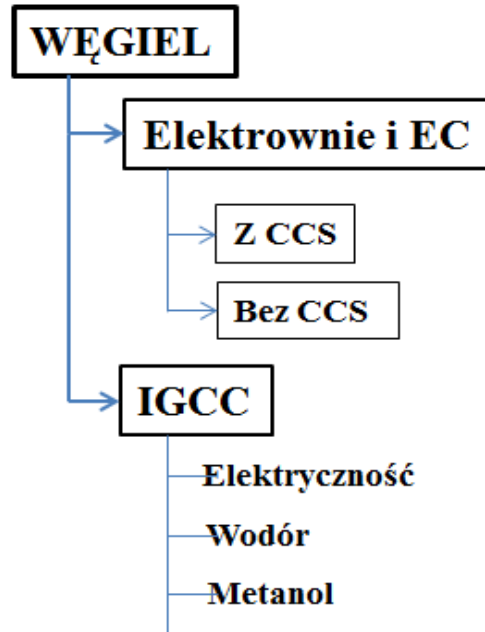
- Wpływ na rynek pracy
- Wpływ na jakość życia i stosunki społeczne
- Inne

B.

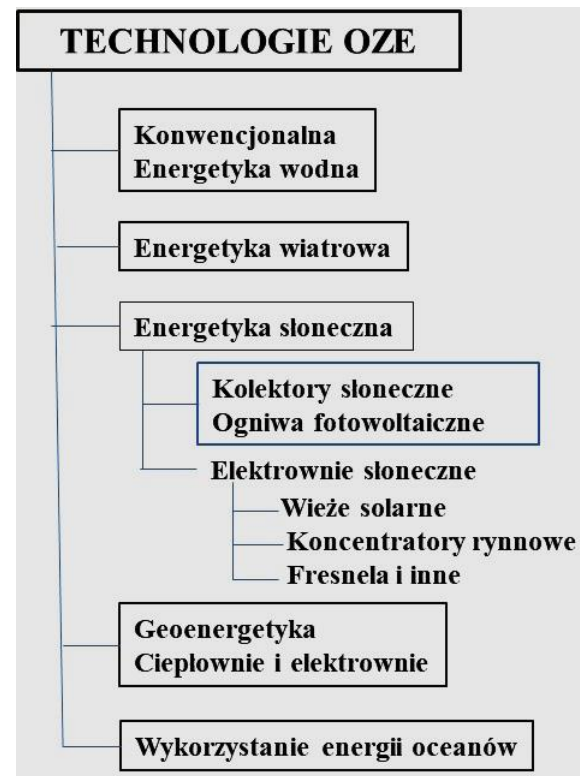
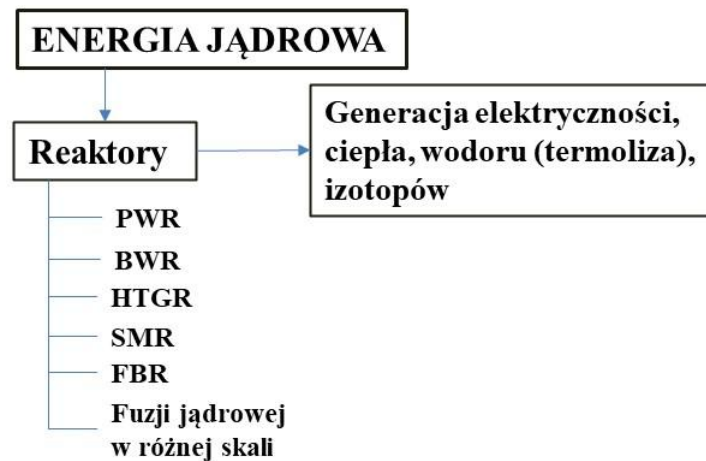
- Emisja CO₂
- Pozostałe emisje
- Oddziaływanie na stan zdrowotności
- Generacja odpadów
- Materiałochłonność i energochłonność
- Zmiany krajobrazowe i skala obciążenia terenu
- Wpływ na stopień wyczerpywania się zasobów surowcowych



DOSTĘPNOŚĆ TECHNOLOGII



TECHNOLOGIE, c.d.



TECHNOLOGIE, c.d.

TECHNOLOGIE WODOROWE I MAGAZYNOWANIE ENERGII

- ☐ **Wodór w transporcie** (Samochody ciężarowe, autobusy, transport morski, lotnictwo → ogniwa paliwowe H_2 . Przewaga nad bateriami: większy zasięg, krótsze tankowanie. Lotnictwo: wodór jako paliwo syntetyczne (e-fuels), Przykłady: Toyota Mirai, Airbus ZEROe, H2 Ships).
- ☐ **Wodór w przemyśle ciężkim** (Redukcja rudy żelaza wodorem zamiast węgla koksowego → stal bezemisyjna. Zastąpienie wodoru szarego w produkcji nawozów → zielony wodór. Projekty: H2 Green Steel (Szwecja), Hybrit)
- ☐ **Technologie hybrydowe wytwarzania paliw z wodoru** (SNG, amoniak, metanol, .
- ☐ **Technologie w energetyce i ciepłownictwie**



CYFRYZACJA I SZTUCZNA INTELIGENCJA

- **AI → optymalizacja sieci energetycznych (smart grids).**
- **IoT → monitorowanie emisji i zużycia energii w czasie rzeczywistym.**
- **Big data → prognozowanie popytu i podaży OZE.**
- **Efekt: większa efektywność i redukcja strat.**

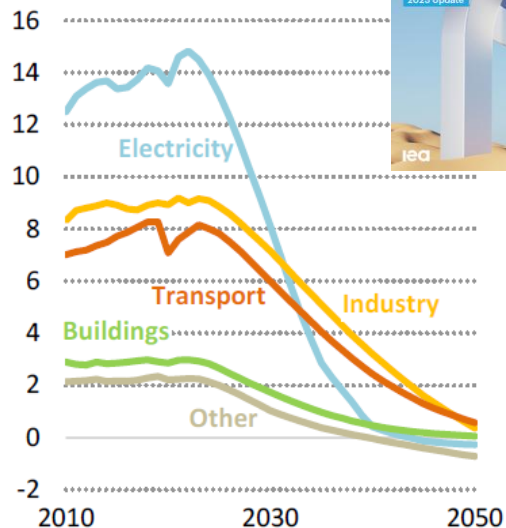


SCENARIUSZE GLOBALNE

Opracowano wiele normatywnych scenariuszy osiągnięcia założonych celów. Różnią się one rodzajem przyjętych technologii, skalą rozwoju gospodarczego oraz kształtowaniem się sytuacji demograficznej. Warto tu wymienić: *Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach, IEA 2023 Update, Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA Special Report 2021.* Wymienione opracowania i wiele innych stanowią podstawę do analiz rozwoju i oceny wagi różnych technologii. Podstawowe rodzaje branych pod uwagę technologii energetycznych to: OZE (energetyka wiatrowa i słoneczna), technologie jądrowe, w tym SMRy, technologie wodorowe, geotermia, technologie paliw kopalnych z CCS). Szczególną rolę przypisuje się technologiom „ujemnych emisji” (Negative Emissions Technologies –NET. Pod tym pojęciem rozumie się zazwyczaj celowe działanie człowieka na rzecz usunięcia emisji CO₂ z atmosfery. Wyróżniamy tu głównie działania obejmujące: konwersję biosurowców z wychwytywaniem i składowaniem ditlenku węgla (BECCS- BioEnergy with Carbon Capture and Storage).

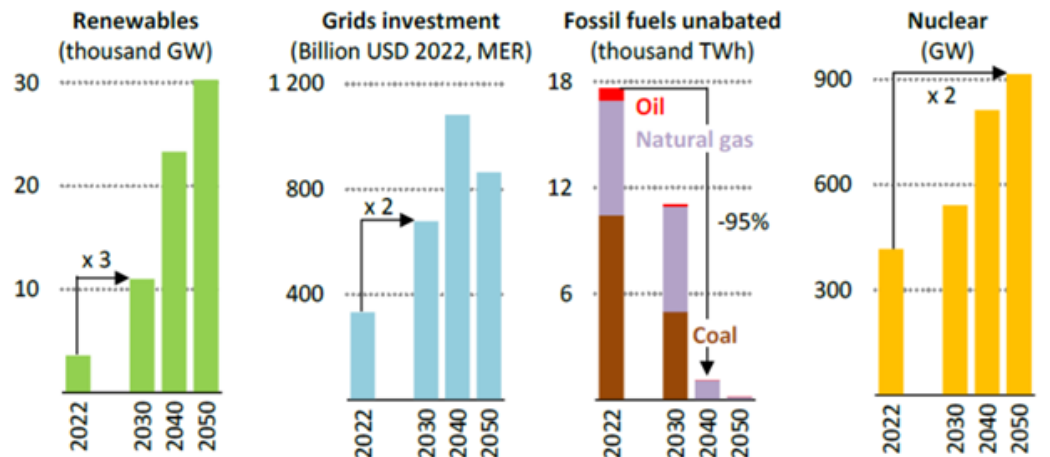


DANE SCENARIUSZOWE. Przykłady



IEA. CC BY 4.0.

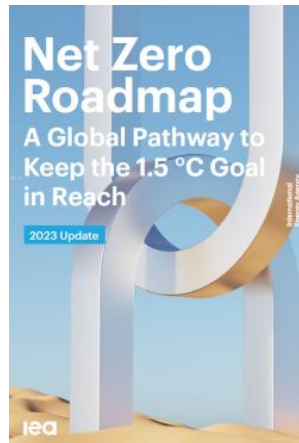
Technologie wytwarzania elektryczności, 2022 - 2050



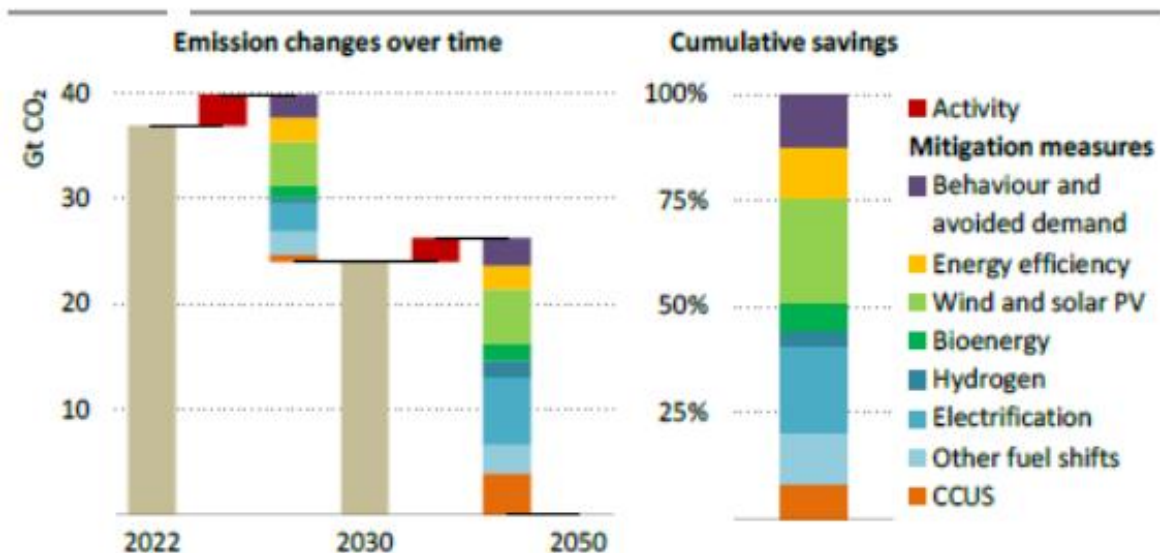
IEA. CC BY 4.0.



DANE SCENARIUSZOWE CD



CO₂ emissions reductions by mitigation measure in the NZE Scenario, 2022-2050

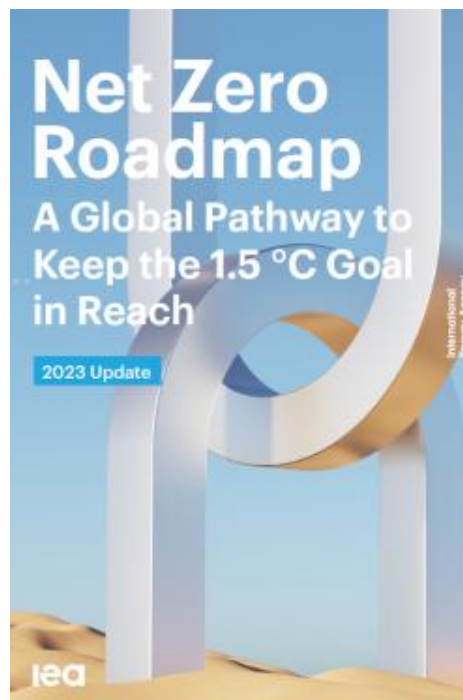


IEA. CC BY 4.0.

Expansion of solar PV, wind and other renewables, energy intensity improvements and direct electrification of end-uses combined contribute 80% of emission reductions by 2030

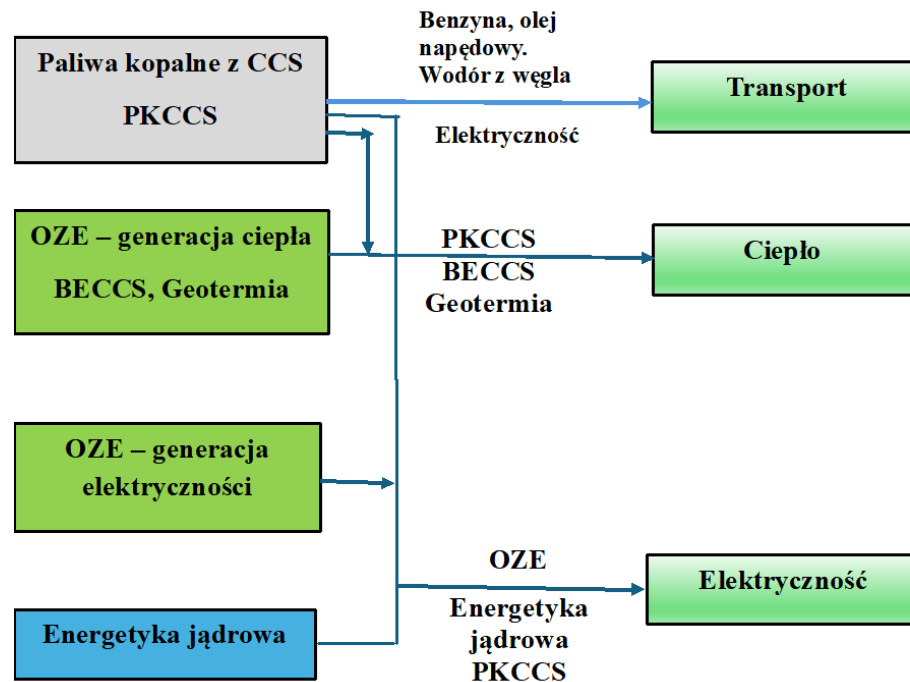


Wodór

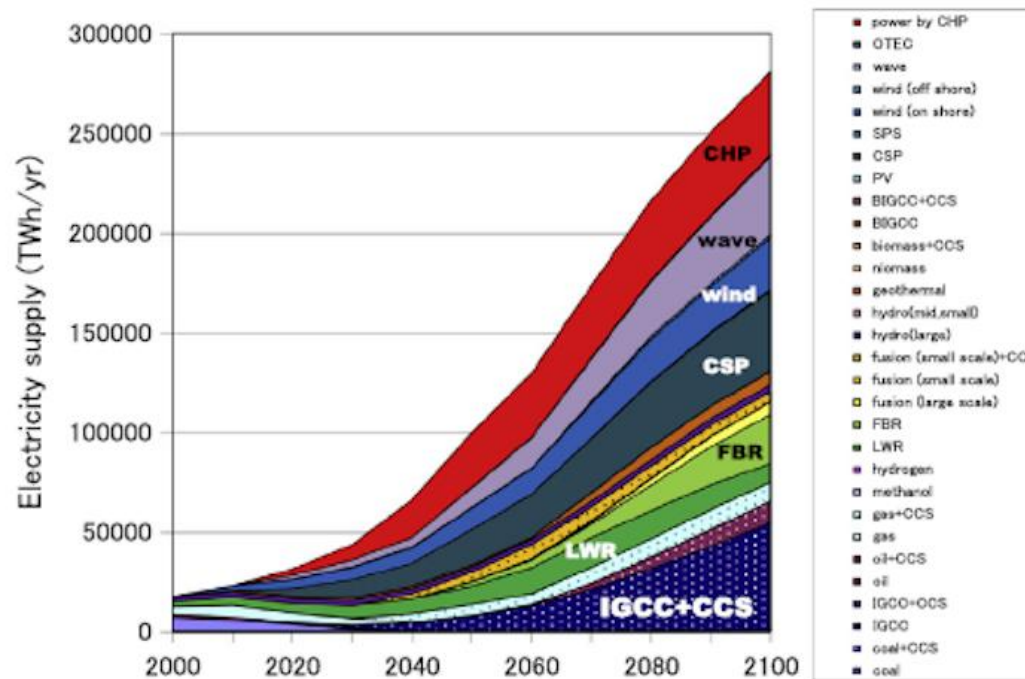
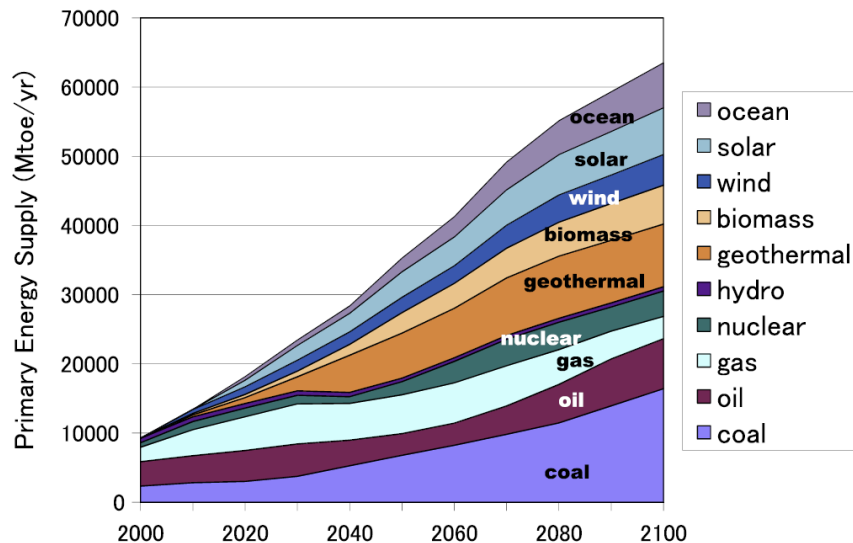


Założone cele (kamienie milowe)	2022	2030	2035	2050
Zapotrzebowanie całkowite (Mt H2)	95	150	215	430
Procesy rafinacji	42	35	26	10
Przemysł	53	71	92	139
Transport (z uwzględnieniem paliw z wodoru)	0	16	40	193
Generacja elektr. (z uwzględnieniem paliw z wodoru)	0	22	48	74
Inne	0	6	10	14
Udział w produkcji elektryczności, %	0	1	1	1
Niskoemisyjna produkcja wodoru (Mt H2)	1	70	150	420
Z wykorzystaniem niskoemisyjnej elektr.	0	51	116	327
Z paliw kopalnych + CCS	1	18	34	89
Moc zainstalowanych elektrolizerów, GW	1	590	1340	3300
Ilość składowanego CO2 w produkcji H2, Mt	11	215	420	1050
Długość rurociągów dla transportu H2, km	5000	19000	44000	209000
Potencjał do podziemnego składowania H2, TWh	0.5	70	240	1200

ZAŁOŻENIA



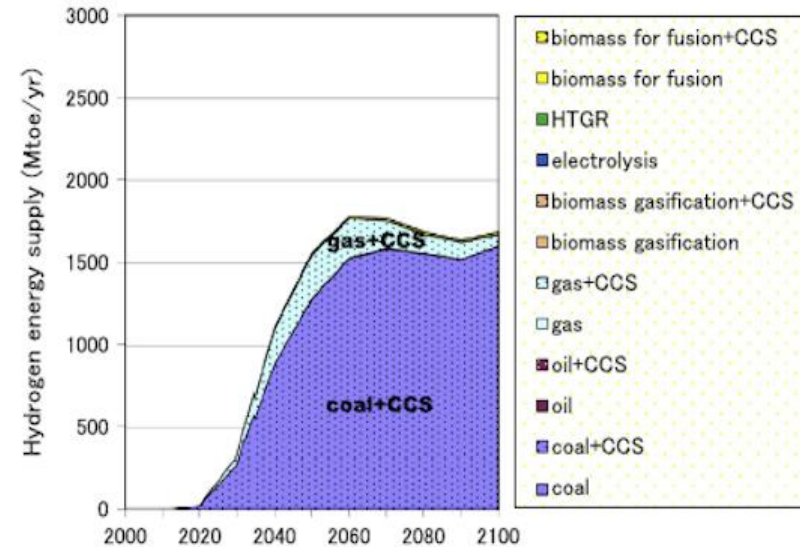
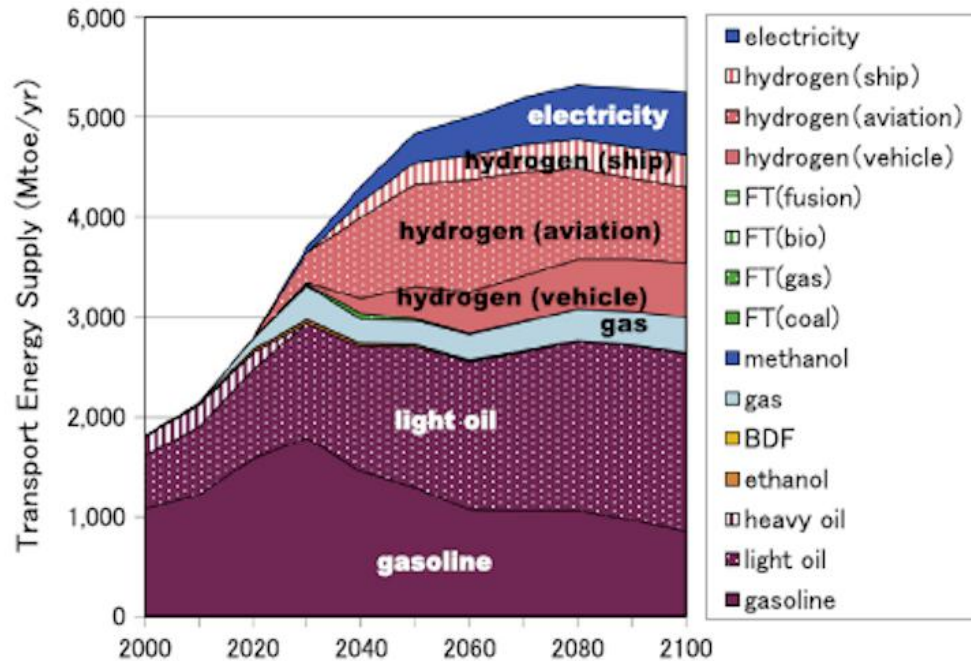
PRZYKŁADY SCENARIUSZY GLOBALNYCH, c.d.



Koji Tokimatsu, et al., Role of innovative technologies under the global zero emissions scenarios , Appl Energy (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.051>



PRZYKŁADY SCENARIUSZY GLOBALNYCH, c.d.

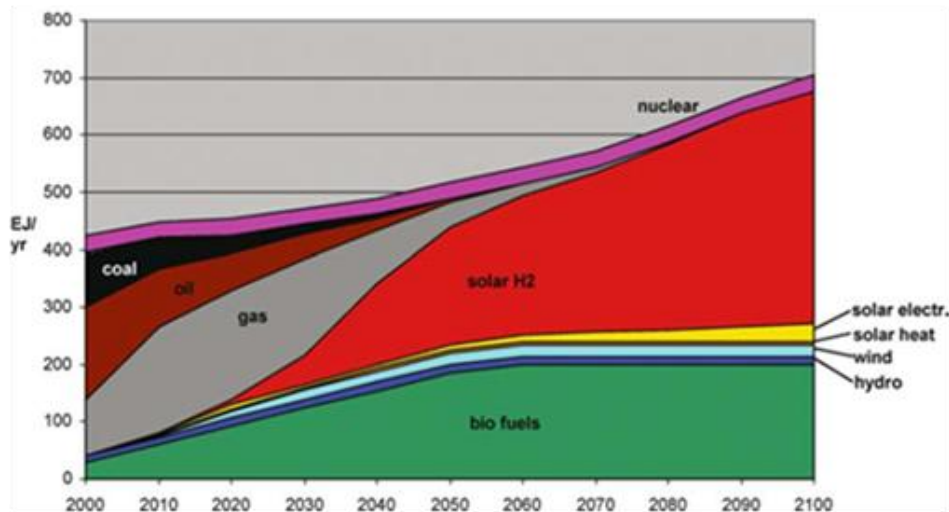


Koji Tokimatsu, et al., Role of innovative technologies under the global zero emissions scenarios , Appl Energy (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.051>



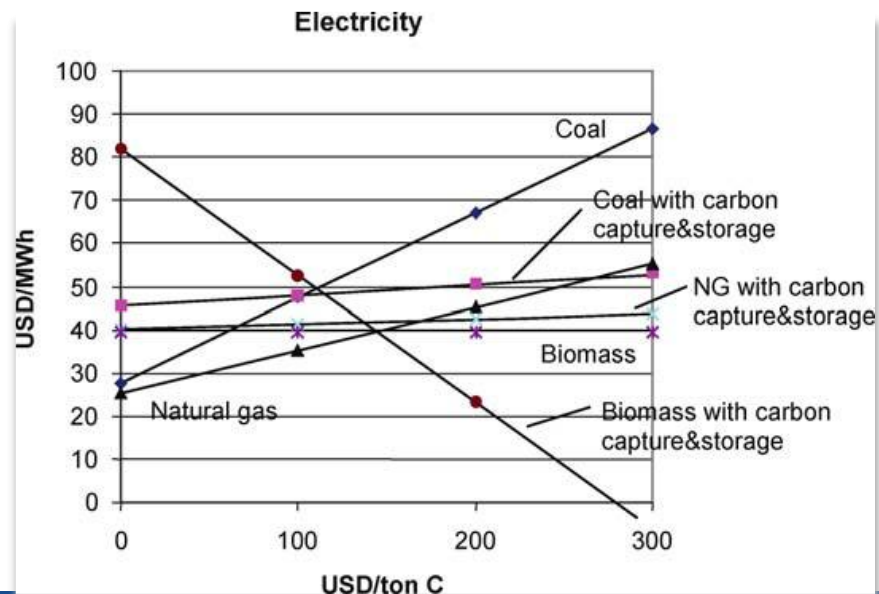
DANE SCENARIUSZOWE CD

CARBON CAPTURE AND STORAGE FROM FOSSIL FUELS AND BIOMASS – COSTS AND POTENTIAL ROLE IN STABILIZING THE ATMOSPHERE, CHRISTIAN AZAR, KRISTIAN LINDGREN, ERIC LARSON, and KENNETH MOELLERSTEN, Climatic Change (2006) 74: 47–79, 2006



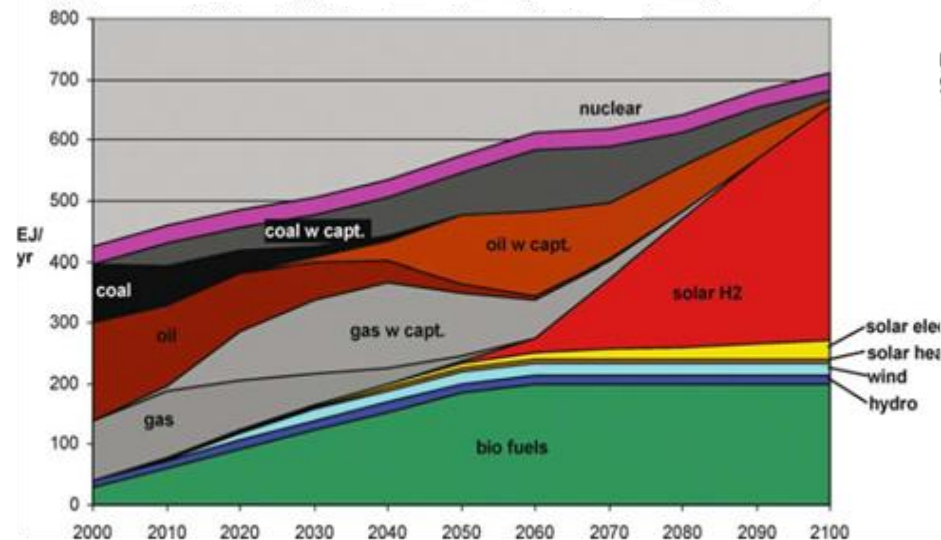
Energia pierwotna. Scenariusz dla osiągnięcia celu 350 ppm, Wychwyt CO₂ nie dozwolony

Koszt wytwarzania elektryczności jako funkcja ceny pozwolenia na emisję CO₂

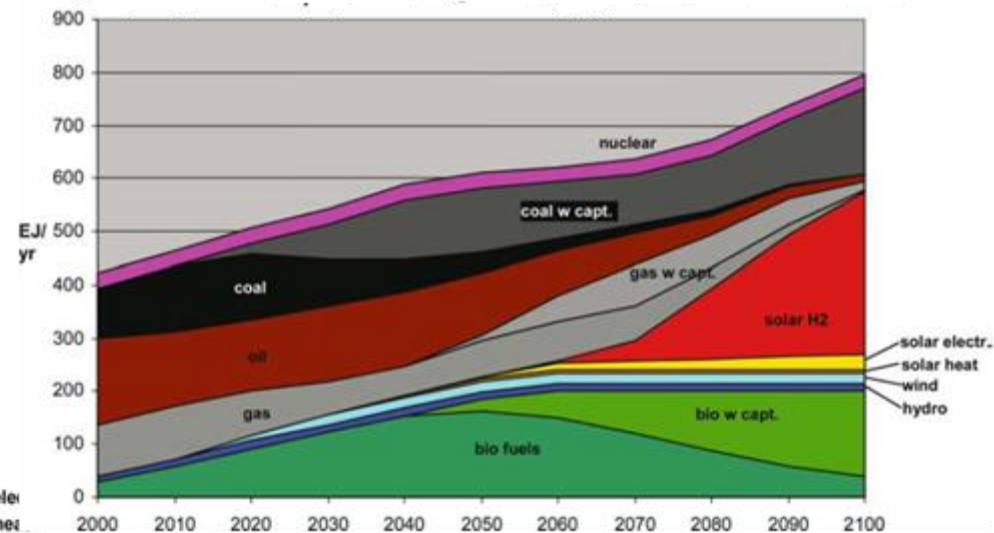


DANE SCENARIUSZOWE CD

CARBON CAPTURE AND STORAGE FROM FOSSIL FUELS AND BIOMASS – COSTS AND POTENTIAL ROLE IN STABILIZING THE ATMOSPHERE, CHRISTIAN AZAR, KRISTIAN LINDGREN, ERIC LARSON, and KENNETH MOLLERSTEN, Climatic Change (2006) 74: 47–79, 2006



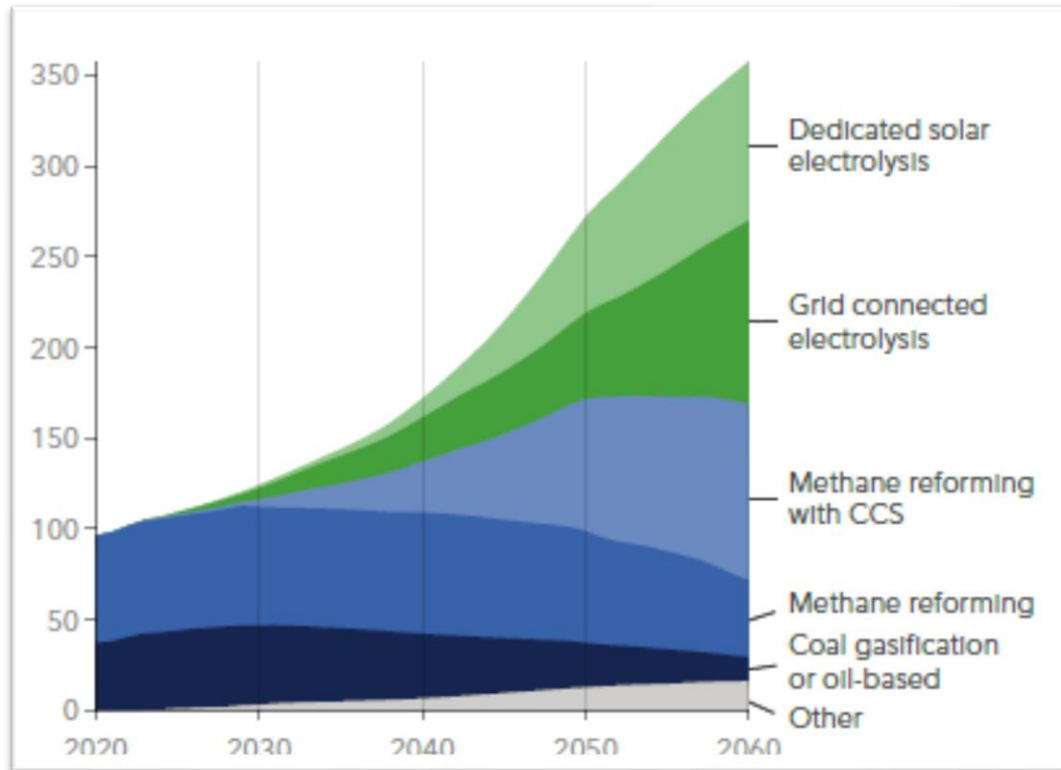
Energia pierwotna. Scenariusz dla osiągnięcia celu 350 ppm, Wychwyt CO₂ z paliw kopalnych



Energia pierwotna. Scenariusz dla osiągnięcia celu 350 ppm, Wychwyt CO₂ z paliw kopalnych BECS



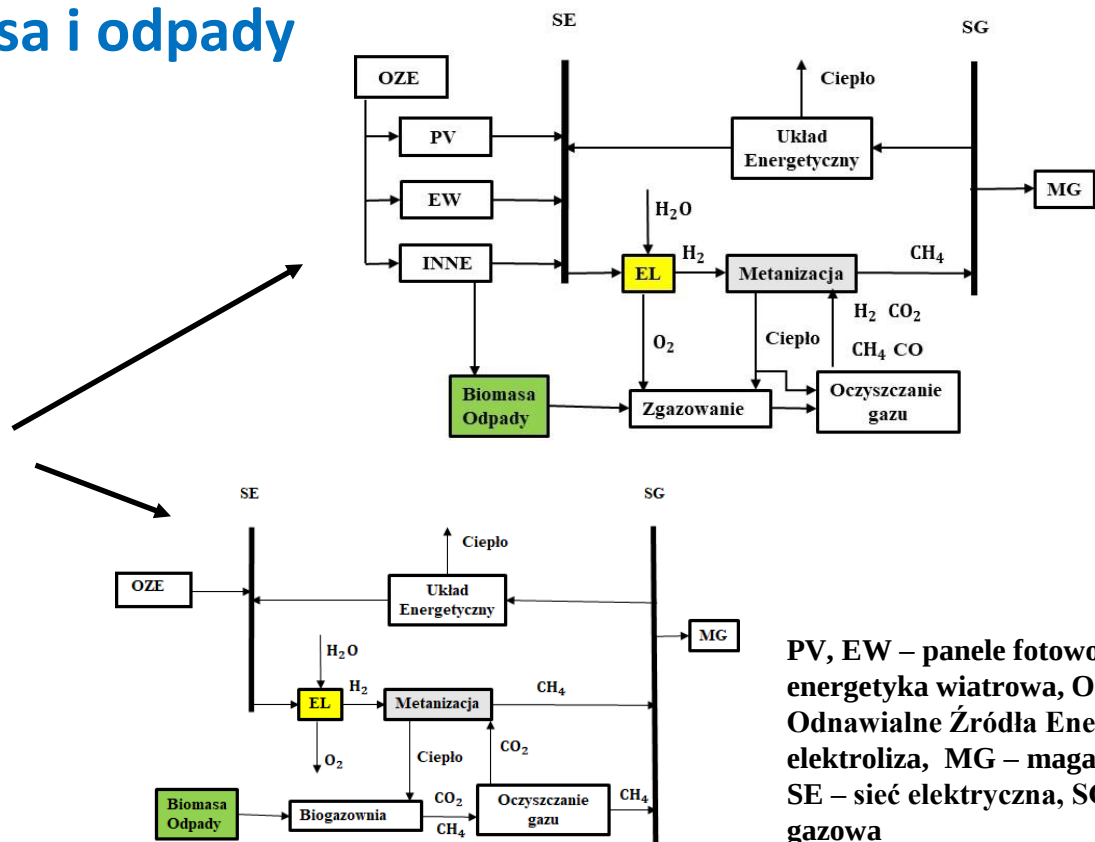
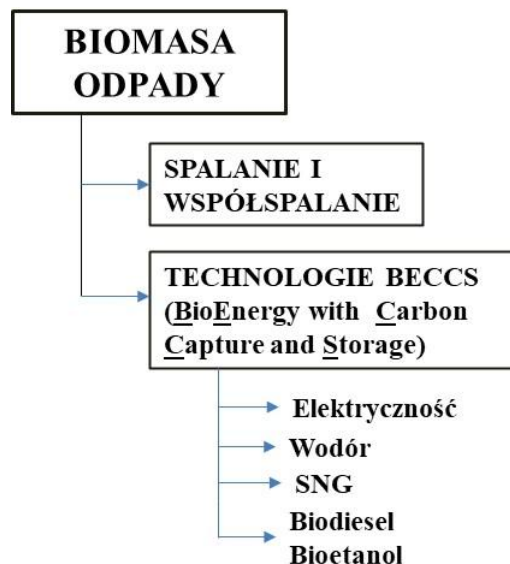
DANE SCENARIUSZOWE CD



Det Norske Veritas (DNV)
ENERGY TRANSITION
OUTLOOK, 2025



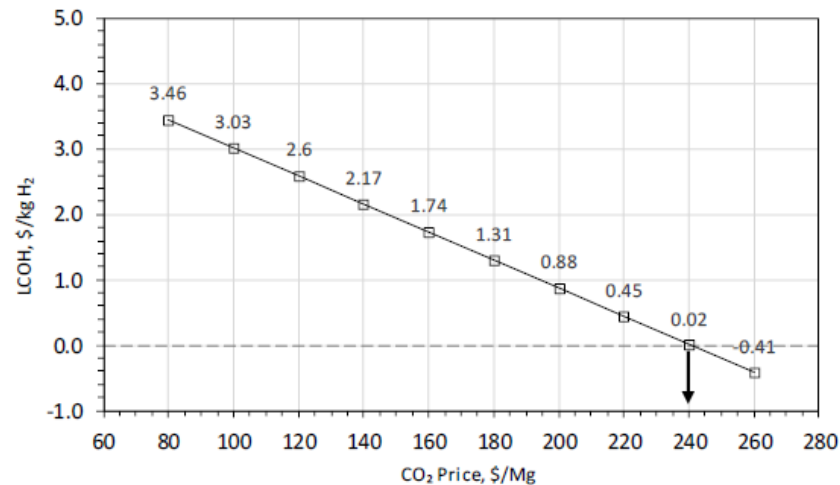
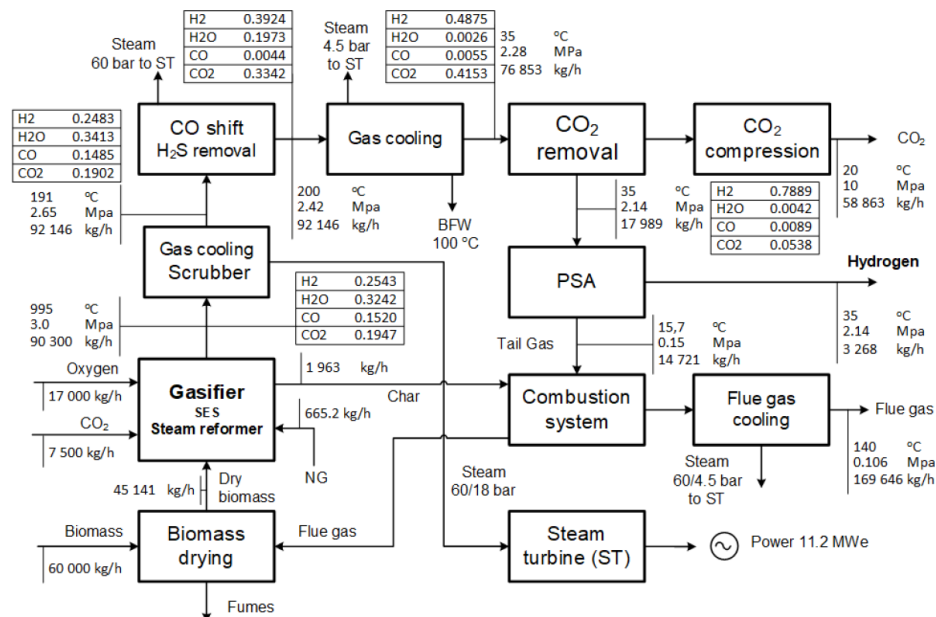
TECHNOLOGIE. Biomasa i odpady



PV, EW – panele fotowoltaiczne, energetyka wiatrowa, OZE – Odnawialne Źródła Energii, EL – elektroliza, MG – magazyn gazu, SE – sieć elektryczna, SG – sieć gazowa



TECHNOLOGIE GENERACJI SYNTETYCZNEGO GAZU NATURALNEGO ZINTEGROWANE Z ZGAZOWANIEM BIOMASY I PRODUKCJĄ ZIELONEGO WODORU



UWAGI KOŃCOWE

Dostępnych jest wiele klas technologii umożliwiających budowę systemów energetycznych zapewniających dekarbonizację gospodarki. Ich optymalizacja ekonomiczna wymaga rozwiązania odpowiedniego zadania z kosztową funkcją celu przy szeregu ograniczeniach. Otrzymane wyniki będą istotnie zależeć od przyjętych założeń dotyczących przewidywanego rozwoju gospodarczego, rozwoju sytuacji demograficznej i innych danych. Rozwiązania w skali globalnej, dotyczące struktury zapotrzebowania na energię pierwotną, struktury wytwarzania elektryczności i ciepła oraz danych emisyjnych, zawierają przedstawiane w literaturze scenariusze, zazwyczaj ujmujące obecne stulecie. Nie zawsze znane są szczegółowe dane, dla których zostały one opracowane (np. dotyczące elastyczności poszczególnych technologii, ich dojrzałości technologicznej itd.).



UWAGI KOŃCOWE

Rozwiązania globalne mogą stanowić pomoc dla ustalenia programów technologicznych dla poszczególnych krajów, nie mogą ich jednak zastąpić. W każdym konkretnym wypadku należy opracować odpowiednie scenariusze nakreślające drogi uzyskania pożądanej skali dekarbonizacji (punkt wyjścia - struktura technologiczna systemu energetycznego, struktura gospodarcza, struktura zapotrzebowania na końcowe postacie energii, zasoby i ich rodzaj, dostępność technologii).

Ogólnie rzecz biorąc rozpatrywane są dwa podejścia metodologiczne. Pierwsze z nich dopuszcza do analizy paliwa kopalne. Wtedy dla uzyskania dekarbonizacji konieczne jest zastosowanie w szerokiej skali CCS. W drugim przypadku rozpatruje się tylko OZE (czasem z udziałem energii jądrowej). Wtedy istotne znaczenie mają technologie BECCS. Skala zastosowania CCS zależy istotnie od struktury dekarbonizowanej gospodarki możliwości wytwarzania wodoru W prezentacji dokonano ogólnej charakterystyki technologii należących lub zbliżonych do klasy BECCS z wykorzystaniem zgazowania oraz biologicznej konwersji biomasy i odpadów .



UWAGI KOŃCOWE

W Polsce w wielu ośrodkach prowadzi się badania różnych modułów wchodzących w instalacje klasy BECCS (elektrolizerów, ogniw paliwowych, zgazowania biomasy i odpadów, składowania ditlenku węgla), a także przeprowadza analizy systemowe układów integrujących te moduły. Brak jest jednak szerszej koordynacji tych badań, koniecznej choćby ze względu na przygotowanie know – how oraz przyśpieszenie aplikacji przemysłowych. Jest celowym sformułowanie odpowiedniego programu strategicznego, którego jednym z celów byłoby przygotowanie i budowa odpowiednich instalacji demonstracyjnych. Ciekawym przykładem jest prowadzony w Katedrze MiUE Pol. Śl. Program *Net-Zero Poland* (z Uni. Princeton i IEn, Kierownik projektu prof. Anna Skorek - Osikowska)





Dziękuję za uwagę

tadeusz.chmielniak@polsl.pl



Politechnika
Śląska



Katedra Maszyn
i Urządzeń Energetycznych

www.kmiue.polsl.pl