

XXXII KONFERECJA:

SEKTOR PALIW I ENERGII WOBEC NOWYCH WYZWAŃ

**INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIA
PAN**

**STRUKTURA PALIWOWA POTRZEB
ENERGETYCZNYCH GLOBU WEDŁUG
RÓŻNYCH SCENARIUSZY ROZWOJU**

Tadeusz Chmielniak

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

Politechnika Śląska

Zakopane 14 – 17 10 2018

MOTYWACJE

- 1. Brak jednoznaczności w prognozach opracowywanych przez różne instytucje i organizacje**
- 2. Stosunkowo niski wpływ zmian miksu energetycznego na obniżenie emisji dwutlenku węgla w ostatniej dekadzie**
- 3. Wolne tempo zmian technologicznych (nie wszystkie założenia polityki energetycznej UE są realizowane w założonej dynamice)**
- 4. Brak jasnych sygnałów politycznych i gospodarczych odnoszących się do rozwoju technologii energetycznych w Polsce**

Ostatnia dekada

Zmiany w zużyciu energii pierwotnej i w wytwarzaniu elektryczności w Polsce. Okres 2006 – 2015 (2016),

Źródła: Key World Energy Statistics, International Energy Agency (IEA); Key World Energy Statistics, IEA, 2008 ; Wyzwania paliwowe, technologiczne i ekologiczne dla polskiej energetyki. Praca zbiorowa pod Redakcją T. Chmielniaka, M. Pawlika, J. Malko, J. Lewandowskiego. Opracowanie Komitetu Problemów Energetyki PAN, Wyd. Pol. Śl., Gliwice

Energia pierwotna 2006/2015

Łączne zużycie 97.8 / 94.9 Mtoe

Nośniki energii, %

Węgiel 57/55.66

Gaz 12/14.21

Ropa i produkty naftowe 25/25.03

OZE i inne 6.1/5.1

Paliwowa struktura wytwarzania elektryczności 2006/2016

Wytwarzanie 147.7/166.6 TWh

Struktura paliwowa, %

Węgiel 92/84.2

Gaz 3/3.5

OZE 3.5/12.3

Nie uwzględniono produktów naftowych

Kraj, region	Zużycie energii pierwotnej, Mtoe (per capita, toe)		Zużycie energii elektrycznej ¹⁾ , TWh (per capita, kWh)		Emisja CO ₂ , Mt (t CO ₂ /toe)		Emisja CO ₂ / PKB - USD, (kg CO ₂ /PKB-SNP)	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Świat	11740 (1. 8)	13647 (1. 86)	17377 (2659)	22386 (3052)	28003 (2. 39)	32294 (2. 37)	0. 74 (0. 49)	0. 43 (0. 31)
OECD	5537 (4. 7)	5259 (4. 12)	9 872 (8381)	10234 (8016)	12874 (2. 32)	11720 (2. 23)	0. 44 (0. 41)	0. 24 (0. 25)
USA	2320.7 (7.74)	2188.3 (6. 8)	4052.24 (13315)	4128. 5 (12833. 25)	5696.77 (2. 45)	4997. 5 (2. 28)	0. 51 (0. 51)	0. 3 (0. 3)
Chiny	1897 (1. 44)	2987 (2. 17)	2716 (2060)	5593 (4057)	5 648 (2. 98)	9085 (3. 04)	2. 44 (0. 63)	0. 99 (0. 49)
Niemcy	348. 56 (4. 23)	307. 8 (3. 77)	590. 98 (7175)	579 (7015)	823. 46 (2. 36)	729. 8 (2. 37)	0. 41 (0. 37)	0. 20 (0. 21)
Czechy	46. 05 (4. 49)	42. 1 (4. 0)	66. 85 (6511)	67. 3 (6384)	120. 97 (2. 63)	99. 6 (2. 36)	1. 67 (0. 62)	0. 44 (0. 32)
Polska	97. 72 (2. 56)	94. 9 (2. 47)	136. 74 (3586)	154. 1 (4007)	503. 96 (3. 13)	282. 4 (2. 97)	1. 45 (0. 61)	0. 51 (0. 3)

1) Produkcja brutto + import – eksport – straty (Gross production + imports – exports – losses)

Wybrane dane dotyczące zmian w zużyciu energii i produkcji elektryczności w okresie 2006 – 2015

(Key World Energy Statistics, International Energy Agency (IEA); Key World Energy Statistics, IEA, 2008)

Wnioski:

1. Nie nastąpiły żadne istotne zmiany w strukturze zużycia pierwotnych nośników energii w polskiej gospodarce. Nastąpił jedynie nieznaczny względny spadek zużycia węgla (o 1,34%) i wzrost wykorzystania gazu (o 2.21%). Biorąc dodatkowo pod uwagę niewielki spadek całkowitego zużycia energii pierwotnej (o 2.9 Mtoe, 3%), to także zmiany bezwzględnych wartości poszczególnych nośników energii nie są istotne.

Wnioski

Kraj, region	Zużycie energii pierwotnej, Mtoe (per capita, toe)		Zużycie energii elektrycznej ¹⁾ , TWh (per capita, kWh)		Emisja CO ₂ , Mt (t CO ₂ /toe)		Emisja CO ₂ / PKB - USD, (kg CO ₂ /PKB-SNP)	
	2006	2015	2006	2015	2006	2015	2006	2015
Świat	11740 (1. 8)	13647 (1. 86)	17377 (2659)	22386 (3052)	28003 (2. 39)	32294 (2. 37)	0. 74 (0. 49)	0. 43 (0. 31)
OECD	5537 (4. 7)	5259 (4. 12)	9 872 (8381)	10234 (8016)	12874 (2. 32)	11720 (2. 23)	0. 44 (0. 41)	0. 24 (0. 25)
USA	2320.7 (7.74)	2188.3 (6. 8)	4052.24 (13315)	4128. 5 (12833. 25)	5696.77 (2. 45)	4997. 5 (2. 28)	0. 51 (0. 51)	0. 3 (0. 3)
Chiny	1897 (1. 44)	2987 (2. 17)	2716 (2060)	5593 (4057)	5 648 (2. 98)	9085 (3. 04)	2. 44 (0. 63)	0. 99 (0. 49)
Niemcy	348. 56 (4. 23)	307. 8 (3. 77)	590. 98 (7175)	579 (7015)	823. 46 (2. 36)	729. 8 (2. 37)	0. 41 (0. 37)	0. 20 (0. 21)
Czechy	46. 05 (4. 49)	42. 1 (4. 0)	66. 85 (6511)	67. 3 (6384)	120. 97 (2. 63)	99. 6 (2. 36)	1. 67 (0. 62)	0. 44 (0. 32)
Polska	97. 72 (2. 56)	94. 9 (2. 47)	136. 74 (3586)	154. 1 (4007)	503. 96 (3. 13)	282. 4 (2. 97)	1. 45 (0. 61)	0. 51 (0. 3)

2. W przeciwieństwie do tendencji charakterystycznych dla zmian zużycia pierwotnych nośników energii, w przypadku wytwarzania elektryczności nastąpiło zauważalne zmniejszenie zużycie węgla oraz istotny wzrost produkcji ze źródeł odnawialnych (energetyka wiatrowa).

3. W skali globu zużycie energii pierwotnej w 2015 r. wyniosło 13 647 Mtoe (Polska – 94.9 Mtoe, czyli 0.7%, w 2006 roku odpowiednie dane to; 97.8 Mtoe, 0.832%). W stosunku do 2006 r. nastąpił światowy wzrost o 16.2% (w Polsce zmniejszyliśmy zużycie o 2.9%). **Udział paliw kopalnych (węgiel, ropa, gaz) wyniósł 80.9% (2006) i 81.4% (2015).** Pokazane dane wskazują na umiarkowane zmiany w strukturze paliw pierwotnych w rozpatrywanym okresie czasu.

4. **Polską gospodarkę charakteryzuje stosunkowo wysoka emisja ditlenku węgla, zarówno na jednostkowe zużycie energii pierwotnej jak i na jednostkę PKB**

5. Wyraźne zmiany nastąpiły dla poszczególnych regionów geograficznych i krajów. Są one szczególnie widoczne dla krajów skupionych w OECD i Chin. Udział OECD w światowym zużyciu energii pierwotnej w 2006 wynosił 47.2 %, w 2016 r. spadł do poziomu 38.5%. W okresie 2006 – 2015 nastąpiło zmniejszenie zużycia o 5% (z 5537 do 5259 Mtoe). **Gospodarka krajów OECD rozwijała się bez zwiększenia zapotrzebowania na energię pierwotną. Względny udział węgla zmniejszył się z 20.8 (2007) do 17.1% (2016), ropy z 39.2 do 36%, gazu wzrósł z 22.6 do 26.9%, a źródeł odnawialnych (biomasa + słońce i wiatr, bez klasycznej energetyki wodnej) z 4.8 do 7.9%.** Istotnie zmienił się udział Chin w światowym zużyciu energii. I tak w 2006 ich udział w zużyciu energii pierwotnej wynosił – 16.2%, co stanowiło 1902 Mtoe, a 2015 r. już 21.9% , czyli 2989 Mtoe. W ciągu rozpatrywanego okresu Chiny zwiększyły zapotrzebowanie na energię pierwotną o 57%. Wydobycie węgla w Chinach w 2006 r. stanowiło 46% wydobycia światowego (2549Mt). Mimo, że w 2015 r. względny udział w światowym wydobyciu niewiele się zmienił (wynosił 44.6%), to w liczbach bezwzględnych wydobycie osiągnęło wartość 3242 Mt, co oznacza wzrost o 27%. Istotnie zmienił się w bilansie energetycznym udział energetyki jądrowej (o 203%)

EMISJA CO₂

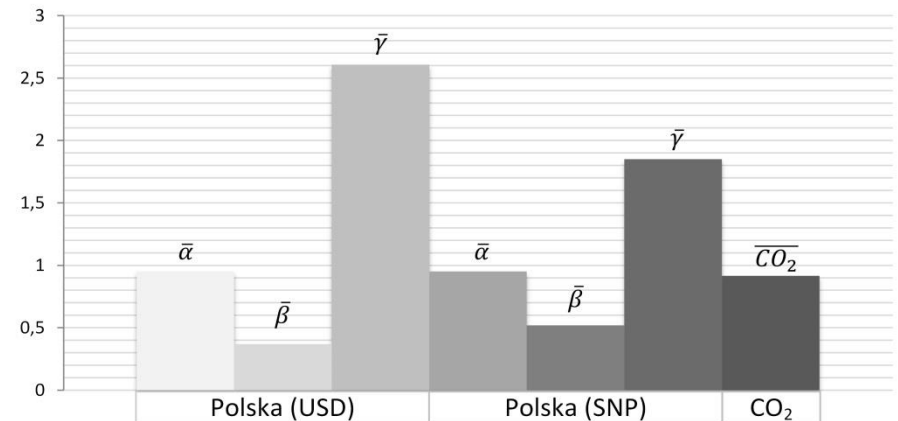
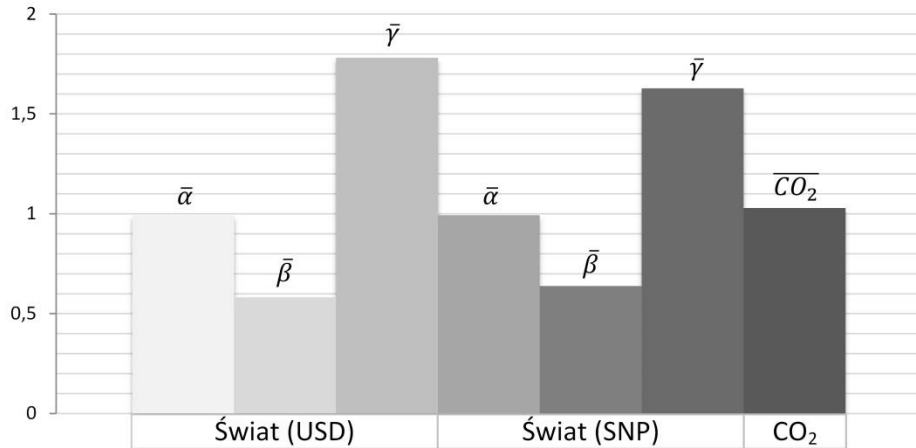
Dla lepszej interpretacji wpływu poszczególnych wielkości na emisję CO₂ ($E_{CO_2}(Gt)$) zapiszemy wykorzystując wskaźniki Kaya

$$E_{CO_2}(Gt) = \alpha \beta \gamma PP$$

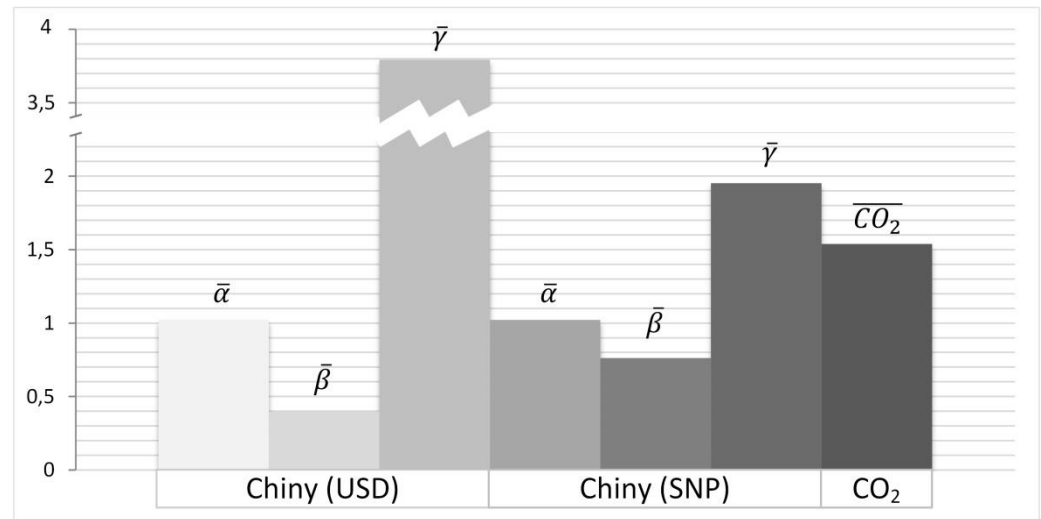
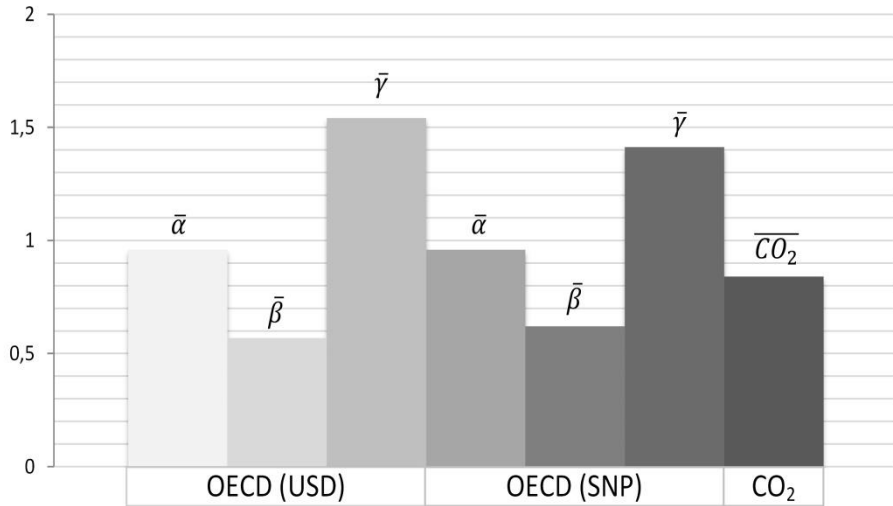
$$\bar{E}_{CO_2} = \frac{E_{CO_2}}{PP} = \alpha \beta \gamma$$

Gdzie: $\alpha = \frac{E_{CO_2}}{TPES} \left[\frac{GtCO_2}{EJ} \right]$ – emisyjność zużycia energii pierwotnej, $\beta = \frac{TPES}{PKB} \left[\frac{MJ}{USD} \right]$ – energochłonność dochodu narodowego brutto, $\gamma = \frac{PKB}{PP} [1000 USD]$ – dochód narodowy *per capita*, PP – liczba ludności [mld], TPES – Total Primary Energy Supply – całkowite zużycie energii pierwotnej.

$$\bar{CO}_2 = \frac{\bar{E}_{CO_2}(2015)}{\bar{E}_{CO_2}(2006)} = \bar{\alpha} \bar{\beta} \bar{\gamma}$$



EMISJA CO₂



OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SCENARIUSZY ZMIAN MIKSU PALIWOWEGO DO 2060 R.

W literaturze publikuje się wiele scenariuszy rozwoju dotyczących struktury zużycie energii pierwotnej, wytwarzania elektryczności i wielkości emisji ditlenku węgla (WEC 2016, IEA 2017b, EFDA 2017, EIA 2017, Shell 2017, BP 2017, IEA 2015). W dalszym ciągu skupimy uwagę głównie na scenariuszach zawartych w (WEC 2016). W opracowaniu rozpatruje się trzy podstawowe scenariusze:

1. **MODERN JAZZ** (*Wysoki wzrost gospodarczy, gospodarka innowacyjna – wysoki wpływ cyfryzacji na warunki życia, dominacja mechanizmów wolnego rynku, duży wpływ mediów na decyzje polityczne, dynamiczne zmiany elit rządzących, ogólny dostęp do energii*);
2. **2.UNFINISHED SYMPHONY** (*Dominacja mechanizmów regulacyjnych – podatki konsumpcyjne, zachęty proekologiczne, umiarkowany rozwój gospodarczy, międzynarodowe struktury organizacyjne w zakresie bezpieczeństwa, środowiska i energetyki, silnie rozwinięta, innowacyjna energetyka scentralizowana*);
3. **3.HARD ROCK** (*Niestabilny wzrost gospodarczy – ubóstwo i wzrost nierówności społecznych, nieefektywna polityka międzynarodowa – konflikty polityczne oraz sporadyczne konflikty zbrojne, energetyka scentralizowana oparta na własnych, stabilnych zasobach energetycznych, niestabilne ceny surowców, z okresami niedoboru oraz szczytowych cen*).

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SCENARIUSZY ZMIAN MIKSU PALIWOWEGO DO 2060 R.

Scenariusze	MODERN JAZZ (1)	UNFINISHED SYMPHONY(2)	HARD ROCK (3)	Uwagi
Średnioroczny wzrost PKB 2014 – 2060, %	3.3	2.9	1.7	PKB 2014 – 70 bilionów (70 10 ¹²) USD 2010
Średnioroczny wzrost zużycia energii pierwotnej, 2014 – 2060, %	0.5	0.2	0.6	Energia pierwotna 2014 r. – 13 652 Mtoe
Średnioroczny wzrost produkcji elektryczności, 2014 – 2060, %	1.6	1.4	1.4	Produkcja 2014 r. – 23 816 TWh
Średnioroczny wzrost udziału elektryczności w zużyciu energii końcowej, 2014 – 2060, %	1.7	1.5	1.5	Elektryczność w zużyciu końcowym w 2014 r. – 1 701 Mtoe
Średnioroczny wzrost emisji CO ₂ , 2014 – 2060, %	-0.7	-2.0	0.1	Emisja 2014 r. - 32.38 Gt

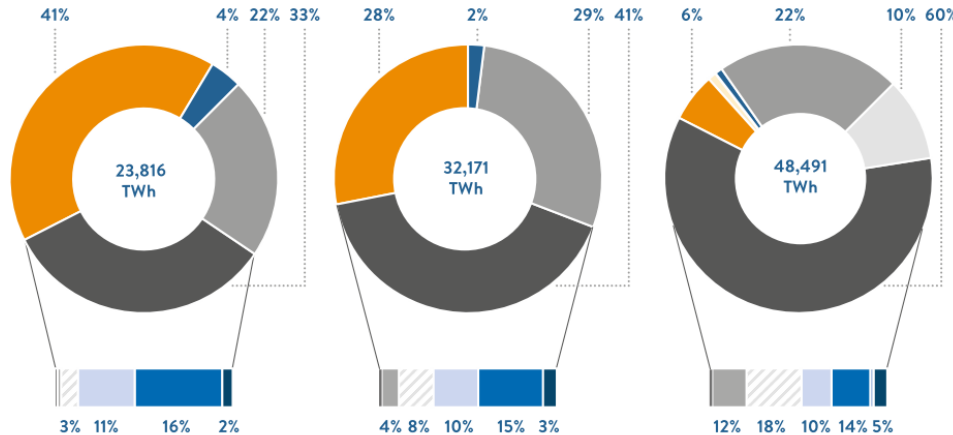
Dwa pierwsze scenariusze zakładają podobne średnie tempo wzrostu gospodarki światowej, natomiast trzeci charakteryzuje się istotnie mniejszym wzrostem PKB. **Żaden ze scenariuszy nie zakłada rozwoju bez zwiększenia zużycia energii pierwotnej do 2060 r.** We wszystkich wypadkach wzrost zużycia energii końcowej jest wyższy od zużycia energii pierwotnej. **Dane dotyczące produkcji elektryczności wskazują, że dynamika zmian jest podobna dla wszystkich scenariuszy.** Największą produkcję przewiduje scenariusz 1 (*Modern Jazz*). **Udział elektryczności w końcowym zużyciu jest podobny dla wszystkich scenariuszy, średnioroczny wzrost wynosi 1.5 (scenariusze 2 i 3) – 1.7 (scenariusz 1).** **Istotne zróżnicowanie** natomiast występuje w przewidywanej emisji ditlenku węgla. W dwóch pierwszych następuje redukcja (szczególnie istotna dla scenariusza drugiego), natomiast w trzecim prognozuje się wzrost emisji.

PERSPEKTYWY ROZWOJU - PROGNOZY

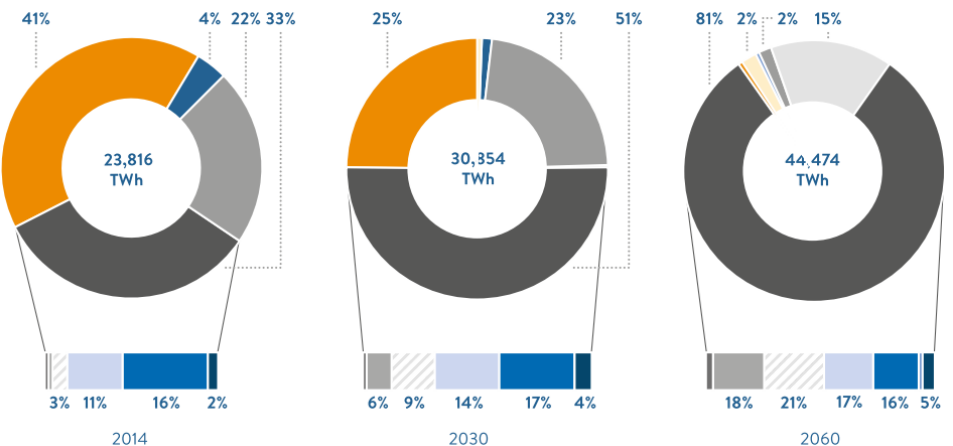
Udziały źródeł pierwotnych w produkcji energii elektrycznej



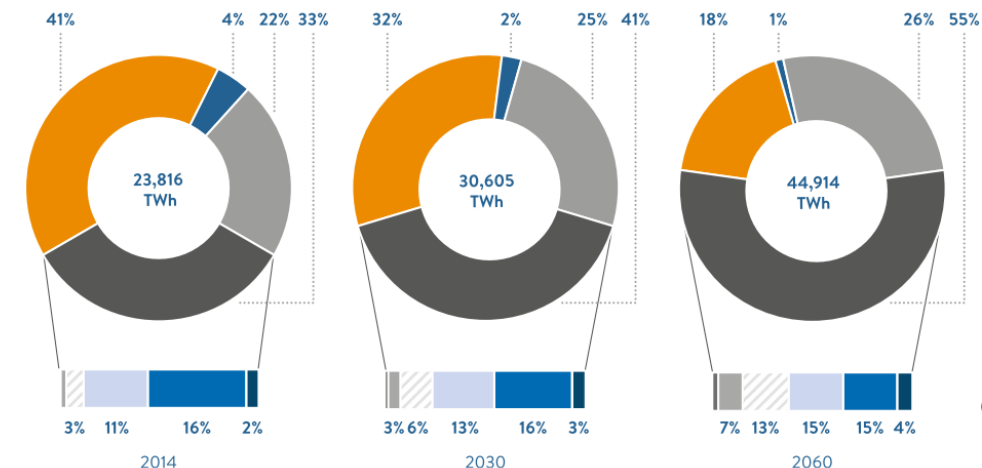
MODERN JAZZ



UNFINISHED SYMPHONY



HARD ROCK



Bartela Ł., Chmielniak T.:

Wodór w motoryzacji – perspektywy rozwoju, szanse, wyzwania

PERSPEKTYWY ROZWOJU - PROGNOZY

Wskaźniki	Scenariusz 1	Scenariusz 2	Scenariusz 3
$\bar{\alpha} = \alpha(2014) / \alpha(2060)$ (Średnioroczna zmiana w okresie 2014 – 2060, %)	0.57 (-1.2)	0.35 (-2.2)	0.78 (-0.54)
$\bar{\beta}$ (Średnioroczna zmiana w okresie 2014 – 2060, %)	0.28 (-2.7)	0.302 (-2.6)	0.62 (-1.0)
$\bar{\gamma}$ (Średnioroczna zmiana w okresie 2014 – 2060, %)	3.18 (+2.5)	2.61 (+2.1)	1.53 (+0.92)
$\overline{CO_2}$ (Średnioroczna zmiana w okresie 2014 – 2060, %)	0.51 (-1.5)	0.28 (-2.8)	0.74 (-0.63)

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SCENARIUSZY ZMIAN MIKSU PALIWOWEGO W POLSCE

W Polsce wykonuje się także różne analizy scenariuszowe. Żadne z nich jednak nie mają wagi oficjalnej. W opracowaniu: Wnioski z analiz prognostycznych na potrzeby *Polityki energetycznej Polski do 2050 roku*. Załącznik 2. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2015- MG 2015 przedstawiono podstawowe dane wynikające z opracowań: 1. *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2050 roku*, Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A. - KAPE 2013.; 2. *Uaktualnienie prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do roku 2030*, Agencja Rynku Energii S.A. Warszawa - ARE 2013.; 3. *Reference Scenario 2013*, National Technical University of Athens for European Commission - NTUA 2013 – Poland; 4. *Prognoza zapotrzebowania gospodarki polskiej na węgiel kamienny i brunatny jako surowca dla energetyki w perspektywie 2050 roku*, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków - IGSMiE 2013 ; 5. *Ekspertyza dotycząca prognozy siedmiu wariantów rozwoju sytuacji w sektorze elektroenergetycznym w horyzoncie do 2050 roku, w tym scenariusz bazowy – business as usual*, Stowarzyszenie Elektryków Polskich - SEP 2014.

Rozpatrzono w nich wiele wariantów różniących się założeniami dotyczącymi dynamiki wzrostu zapotrzebowania na elektryczność, cen uprawnień do emisji ditlenku węgla, polityką wobec energii jądrowej a także wobec udostępniania nowych złóż węgla. Wielość scenariuszy utrudnia ich porównanie. Ogólnie można stwierdzić, że przewidywana produkcja elektryczności w 2050 r. będzie według różnych prognoz mieścić się w przedziale 200 – 250 (275) TWh, co daje średnioroczny wzrost zapotrzebowania w okresie 2015 – 2050 na poziomie 0.8 – 1.0 %. Jest to wartość istotnie mniejsza niż w scenariuszach 1 – 3 WEC. Dla tych samych scenariuszy prognozuje się wzrost zapotrzebowania także na energię pierwotną. Dane charakterystyczne dla scenariuszy analizowanych w opracowaniu (MG 2015) wskazują dla niektórych prognoz niewielki przyrost produkcji energii pierwotnej (0.25%, NTUA 2013), krajowe prognozy cechują się niewielkim spadkiem (0.3%) (np. KAPE 2013). Struktura paliwowa generacji elektryczności jest podobna dla wielu scenariuszy, przy tym najbardziej jest zbliżona do scenariusza 3 WEC. Na przykład prognoza (KAPE 2013) w 2050 wskazuje na następującą strukturę: węgiel 38%, gaz 9.2 %.

Co wynika ze scenariuszy

Wyniki scenariuszowe zależą od przyjętych założeń (demografia, dynamika PKB, sytuacja polityczna, dostępność do zasobów itd.). Jest mało prawdopodobnym by przyjęte założenia oddawały sytuację globu i poszczególnych krajów w całym okresie objętym prognozą. Niepewności utrudniają odpowiedź na

Główne pytanie: W jakim kierunku potoczą się dalsze inwestycje?

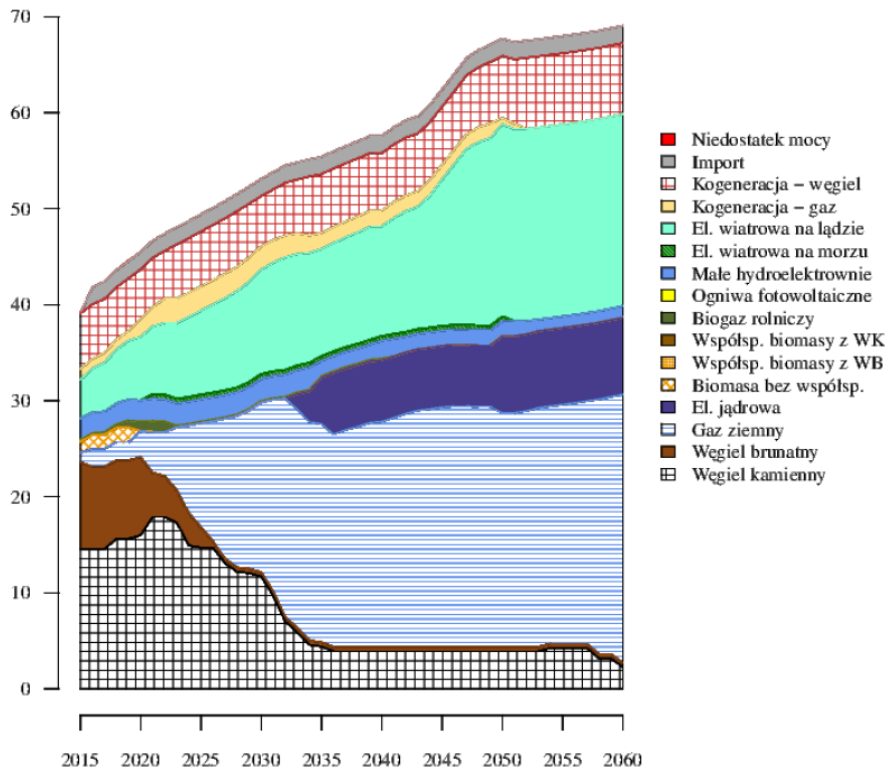
- struktura paliwowa (węgiel, gaz, paliwa jądrowe, źródła odnawialne)
- jakie będzie zróżnicowanie technologiczne (w zakresie wytwarzania, przesyłu, zarządzania popytem i inne)

Odpowiedź na pytanie byłaby prostsza gdyby rozwiązano zadanie dotyczące optymalizacji miksu paliwowego. Zadanie trudne do rozwiązania zarówno w skali globu jak i poszczególnych krajów.

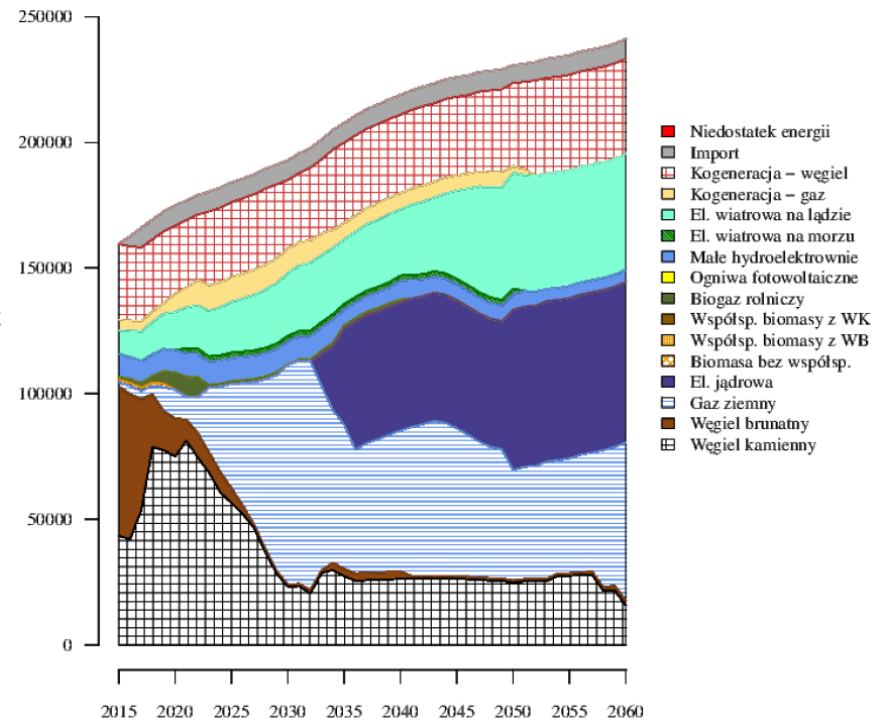
ZRÓŻNICOWANIE

**Wariant radykalnego obniżenia poziomu emisji CO2
scenariusz wysokich kosztów uprawnień do emisji**

Model optymalnego mixu energetycznego dla Polski do roku 2060.
Wersja 2.0. Departament Analiz Strategicznych. Kancelaria Prezesa
RM. Warszawa 2013



Moc zainstalowana [GW]



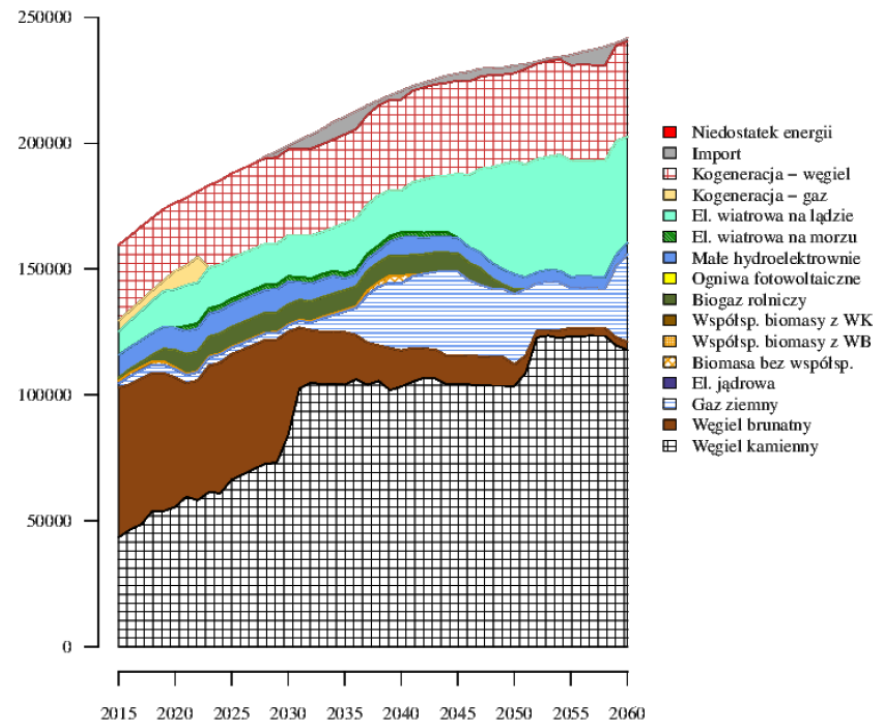
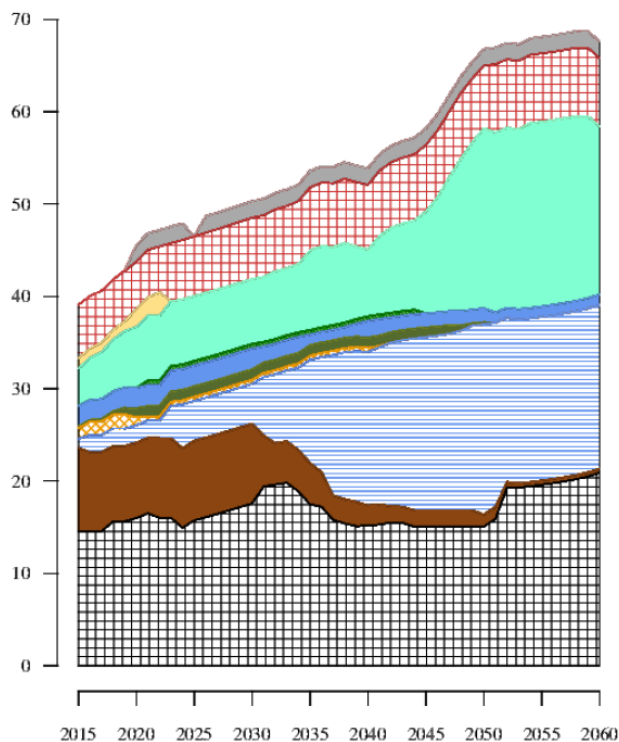
Produkcja [GWh]

T. ChmielniakA.Rusin: STAN OBECNY IPERSPEKTYWY ROZWOJOWE ENERGETYKI. Udział Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w badaniach na potrzeby sektora energetycznego . Gliwice 29 czerwiec 2018

ZRÓŻNICOWANIE

Wariant ekonomiczny scenariusz niskich kosztów uprawnień do emisji

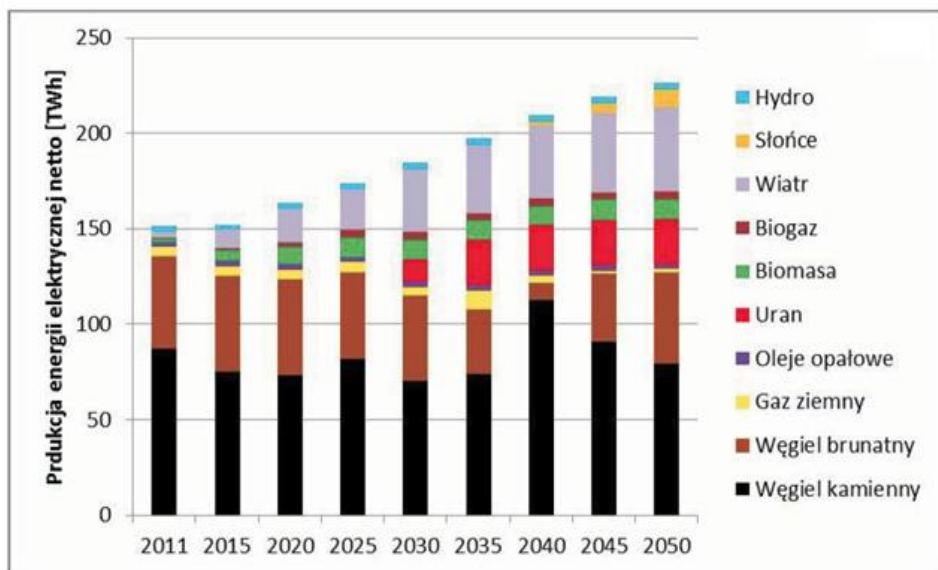
Model optymalnego mixu energetycznego dla Polski do roku 2060.
Wersja 2.0. Departament Analiz Strategicznych. Kancelaria Prezesa
RM. Warszawa 2013



T. ChmielniakA.Rusin: STAN OBECNY IPERSPEKTYWY ROZWOJOWE ENERGETYKI. Udział Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w badaniach na potrzeby sektora energetycznego . Gliwice 29 czerwiec 2018

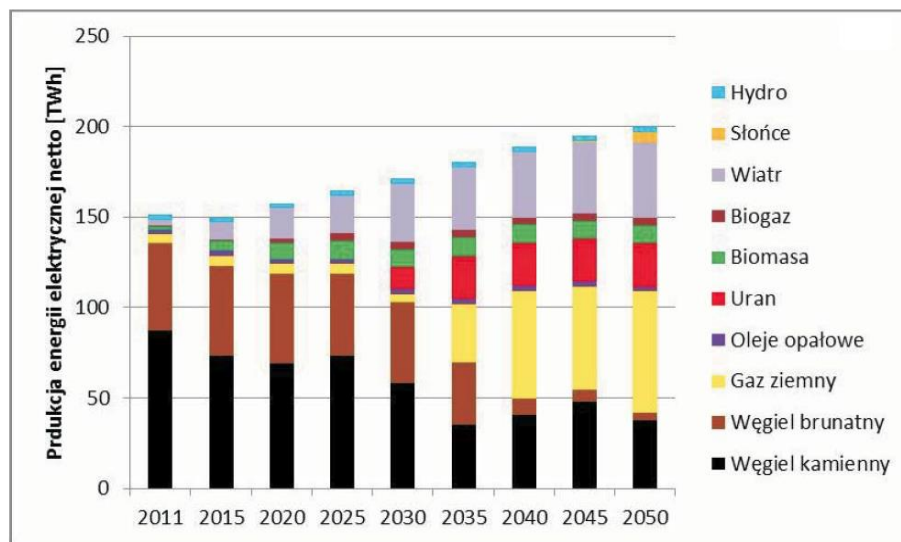
ZRÓŻNICOWANIE

Prognoza zapotrzebowania gospodarki polskiej na węgiel kamienny i brunatny jako surowca dla energetyki w perspektywie 2050 roku, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2013



Udział paliw w produkcji energii elektrycznej netto dla scenariusza wysokich cen za uprawnienia emisyjne ditlenku węgla

Udział paliw w produkcji energii elektrycznej netto dla scenariusza załamania rynku węgla



Przewidywania do 2030

W lata 20 wejdziemy z następującymi blokami dużej mocy:

- ❑ 5(6) bloków na węgiel klasy 900 –1000 MW
- ❑ 3 bloki na węgiel klasy 500
- ❑ 4 –5 bloków na gaz klasy 500

Ponadto PSE zakłada rozwój OZE (poza wodą)

	2020	2025	2030
• Biomasa i Biogaz:	1 100	1 400	1 900
• Wiatr(ląd i morze)	7 100	8 700	11 500
• PV	350	600	2 430

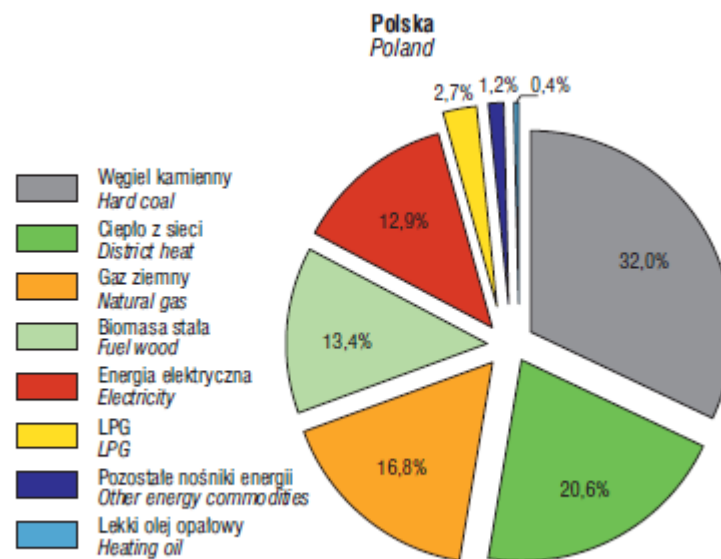
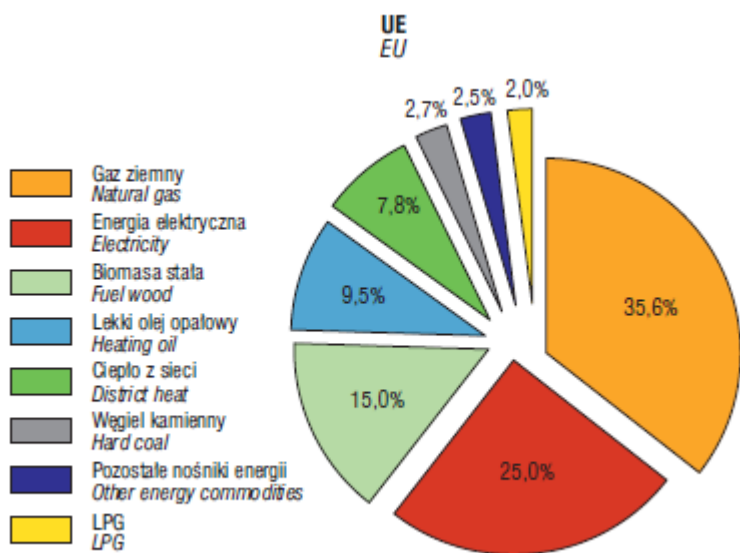
Co daje ok. 85 TWh (2030)

Reszta : Istniejące bloki, autonomiczne układy gazowe, kogeneracja, energetyka jądrowa, energetyka przemysłowa ?

WNIOSKI

- **Nie ma obecnie zasadniczych sprzeczności między poszczególnymi technologiami, w tym sensie, że możliwe jest wykorzystanie ich charakterystyk w budowie racjonalnej struktury paliwowej systemu elektroenergetycznego. Wzrastający udział wytwarzania losowego (źródła o małej gęstości energetycznej) zwiększa wymagania w stosunku do źródeł o dużej gęstości (energetyka paliw kopalnych) - elastyczność cieplna, ekonomia zmiennego obciążenia;**
- **Głównym zadaniem pozostaje poszukiwanie optymalnego *miksu* paliwowego i technologicznego. Zadanie wobec dużej dynamiki zmian technologicznych nie jest proste do rozwiązania. Do rozstrzygnięcia jest np. rola energetyki gazowej i jądrowej;**
- **Ważnym problemem pozostaje rozstrzygnięcie między skalą procesów modernizacyjnych a zakresem inwestycji w nowe moce;**
- **Istnieje wiele technologii umożliwiających rozwój źródeł rozproszonych, w tym wykorzystujących paliwa węglowodorowe. Nie należy wykluczyć dużej dynamiki ograniczenia energetyki wielkoskalowej w dłuższej perspektywie czasowej**

WNIOSKI



WNIOSKI

- **Istotnego znaczenia nabiera poszukiwanie technologii magazynowania energii elektrycznej. W tym kontekście nowego znaczenia nabiera energetyka wodorowa. Nowe możliwości wynikają głównie z faktu wytwarzania wodoru z wykorzystaniem nadmiarowej energii odnawialnej, jej funkcji magazynowej oraz istotnego potencjału zastosowań ogni w transporcie, co znacznie zmniejsza koszty ogni.**
- **Dla kształtowania polskiego miksu energetycznego negatywne znaczenie mają kontynuowane opcje wyczekiwania w zakresie energetyki jądrowej, energetyki gazowej i poligeneracyjnej.**
- **Racjonalne przyspieszenia transformacji systemu energetycznego wymaga ciągłego rozwoju badań naukowych i doskonalenia dydaktyki**

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Tadeusz.chmielniak@polsl.pl