

Analiza roli węgla w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju a polityka energetyczna Polski do roku 2050

The role of hard coal in national energy security with regard to the energy policy in Poland until 2050



Dr inż. Anna Manowska^{*)}



Dr inż. Aurelia Rybak^{*)}

Treść: W artykule omówiono rolę węgla kamiennego w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju. Przeanalizowano dyrektywy Unii Europejskiej wpływające na możliwość rozwoju lub zahamowanie sektora górniczego. Głównie skupiono się na analizie dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie efektywności energetycznej i przejściu na gospodarkę niskoemisyjną. Przeanalizowano również dostępne prognozy polityki energetycznej Polski, aby pokazać rolę i miejsce węgla w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju. Autorzy zaprezentowali również utworzone przez siebie prognozy i dokonali ich porównania z prognozami polityki energetycznej kraju.

Abstract: This paper presents the role of hard coal in national energy security. European Union directives, which influence development possibilities and mining sector inhibitions were analyzed. The emphasis was placed on directives of the European Parliament and the Council with regard to energy effectiveness and transition to low-emission industry. Available prognoses of Polish energy policy were analyzed to demonstrate the place and role of hard coal in national energy security. The authors presented their prognoses and compared them with the prognoses of the national energy policy.

Słowa kluczowe:

bezpieczeństwo energetyczne, polityka energetyczna, model ARIMA, węgiel kamienny

Keywords:

energy security, energy policy, ARIMA model, hard coal

1. Wprowadzenie

Polska posiada rozbudowany rynek węgla kamiennego, na co wpływa duża liczba kopalni i bogate zasoby węgla. Zapewnia to przynajmniej częściowe bezpieczeństwo energetyczne kraju. Jednakże spalanie węgla powoduje emisję CO₂ do atmosfery, a ograniczenia tej emisji domaga się Komisja Europejska. Może to spowodować zmniejszenie produkcji energii z węgla. Komisja Europejska poszukuje racjonalnych pod względem kosztów sposobów uczynienia gospodarki europejskiej bardziej przyjazną dla klimatu i energooszczędną. W unijnym planie działania dotyczącym przejścia na gospodarkę niskoemisyjną wskazano, że:

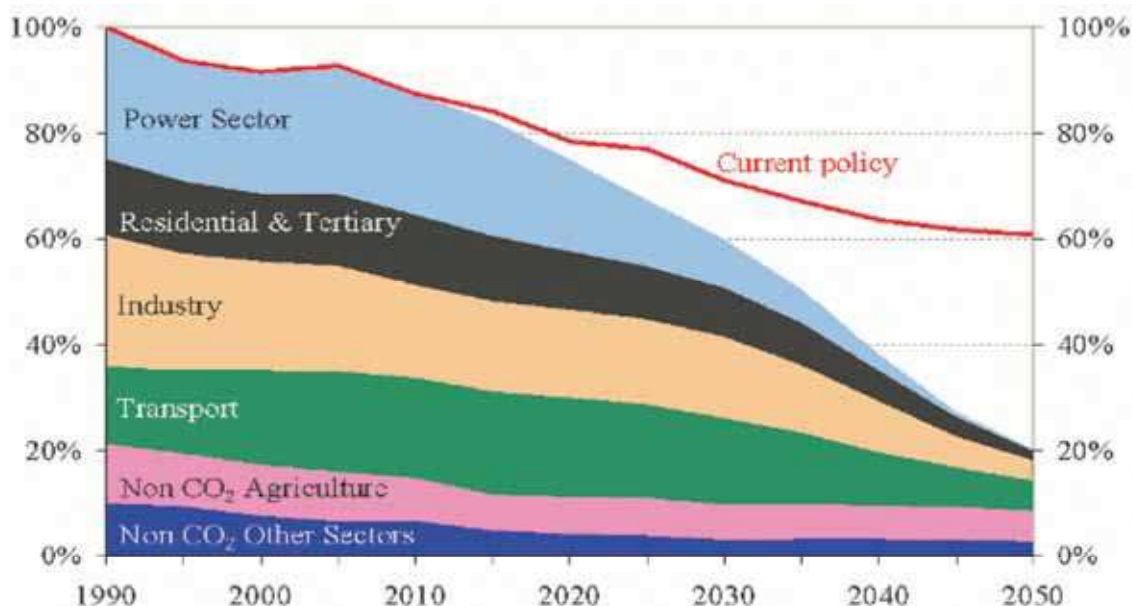
– do 2050 r. UE powinna zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych o 80% w stosunku do poziomu z 1990 r.,

- kluczowymi etapami w realizacji tego celu byłoby osiągnięcie 40% redukcji emisji do 2030 r. i 60% – do 2040 r.
- wszystkie sektory muszą mieć w tym swój udział,
- przejście na gospodarkę niskoemisyjną jest możliwe do wykonania i racjonalne pod względem kosztów.

Wszystkie sektory powinny przyczynić się do przechodzenia na gospodarkę niskoemisyjną odpowiednio do swych możliwości technologiczno-gospodarczych. Konieczne będą działania we wszystkich głównych sektorach odpowiedzialnych za europejskie emisje, a więc w sektorze produkcji energii oraz w sektorach: przemysłowym, transportu, budynków, budowlanym i rolniczym. Między sektorami istnieją jednak różnice pod względem wielkości redukcji możliwych do osiągnięcia, co pokazano na rys. 1.

Sektor energetyczny ma największy potencjał w zakresie redukcji emisji. Może niemalże całkowicie wyeliminować emisję dwutlenku węgla do roku 2050 za pomocą wytwarzania energii z innych niskoemisyjnych źródeł energii, takich jak

^{*)} Politechnika Śląska w Gliwicach



Rys. 1. Redukcja emisji według branż, opracowanie ME

Fig. 1. Reduction of emissions by industry, source ME

elektrownie opalane stałym paliwem kopalnym wyposażone w technologię wychwytywania i składowania dwutlenku węgla. Będzie to też wymagać znacznych inwestycji w inteligentną sieć energetyczną.

2. Dostępne prognozy

Ministerstwo Energii opracowało Projekt polityki energetycznej Polski do roku 2050 (2017) na podstawie następujących prognoz:

1. *Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2050 roku*, Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., 2013.
2. *Uaktualnienie prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do roku 2030*, Agencja Rynku Energii S.A., 2013.
3. *Poland: Reference Scenario 2013*, National Technical University of Athens dla Komisji Europejskiej, 2013.
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, 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, 2014.

Z analizy tych opracowań wynika, że w gospodarce narodowej będzie następował wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną i energię elektryczną. Opracowane prognozy różnią się skalą i tempem wzrostu. Założono, że w horyzoncie do 2050 r., pomimo znacznego przewidywanego postępu w zakresie efektywności energetycznej zapotrzebowanie będzie nadal rosło. Autorzy publikacji również utworzyli prognozę produkcji energii elektrycznej w Polsce do roku 2020 stosując model ARIMA (Grudkowska, Paśnicka 2007; Grudkowska, Nehrebecka 2009, Cieślak 2001, Kot i in. 2007).

Pod uwagę wzięto 11 modeli. Ostatecznie wybrano model charakteryzujący się:

- istotnością wszystkich parametrów modelu,
- najniższą wartością kryteriów informacyjnych: Akaike'a 169,57, bayesowskiego Schwarz 172,31, Hannana-Quinna 170,43 (Grudkowska, Paśnicka 2007)

Posłużono się modelem ARIMA(1,2,0), czyli modelem zawierającym parametr autoregresyjny. Szereg czasowy został sprowadzony do postaci stacjonarnej poprzez różnicowanie.

Miary dokładności prognoz ex post:

Średni błąd predykcji ME = -0,49307

Błąd średniokwadratowy MSE = 21,249

Pierwiastek błędu średniokwadratowy RMSE = 4,6096

Średni błąd absolutny AE = 3,4963

Średni błąd procentowy MPE = -0,31104

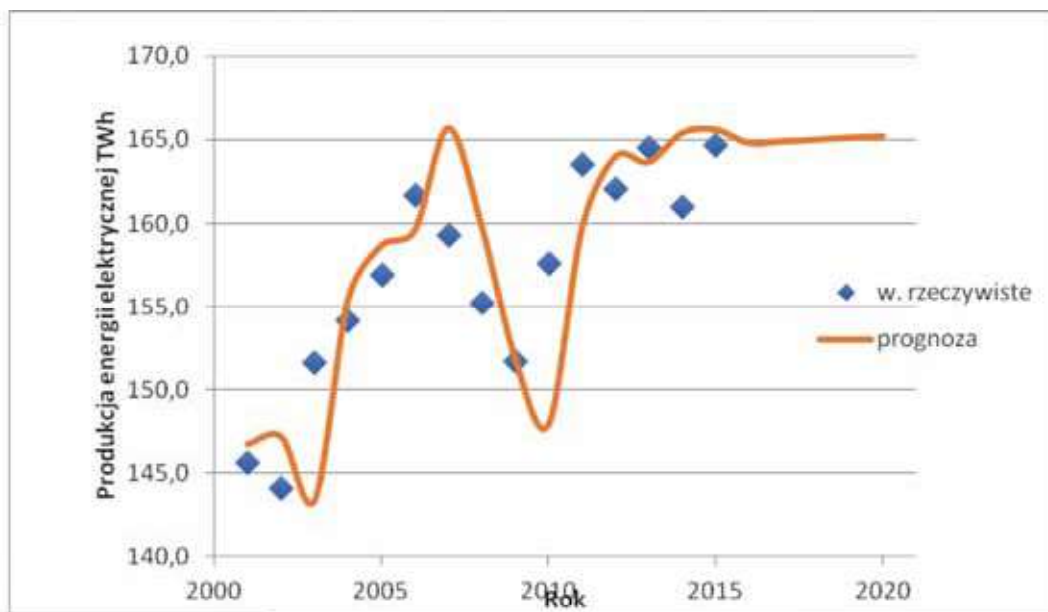
Średni błąd procentowy MAPE = 2,1897

Na podstawie wartości powyższych błędów można stwierdzić, iż model obciążony jest niewielkim błędem. Średni błąd procentowy MAPE wynosi zaledwie około 2%. Prognoza wskazuje na dalszy wzrost produkcji energii elektrycznej. W stosunku do roku 2010 w roku 2020 produkcja ta wzrośnie o 20%. Sytuację taką wywołują głównie sektor usług oraz gospodarstwa domowe. Ten pierwszy bardzo szybko się rozrasta, co jest charakterystyczne dla krajów rozwiniętych. Gospodarstwa domowe z kolei stymulują popyt na energię, stosując rosnącą liczbę urządzeń napędzanych energią elektryczną.

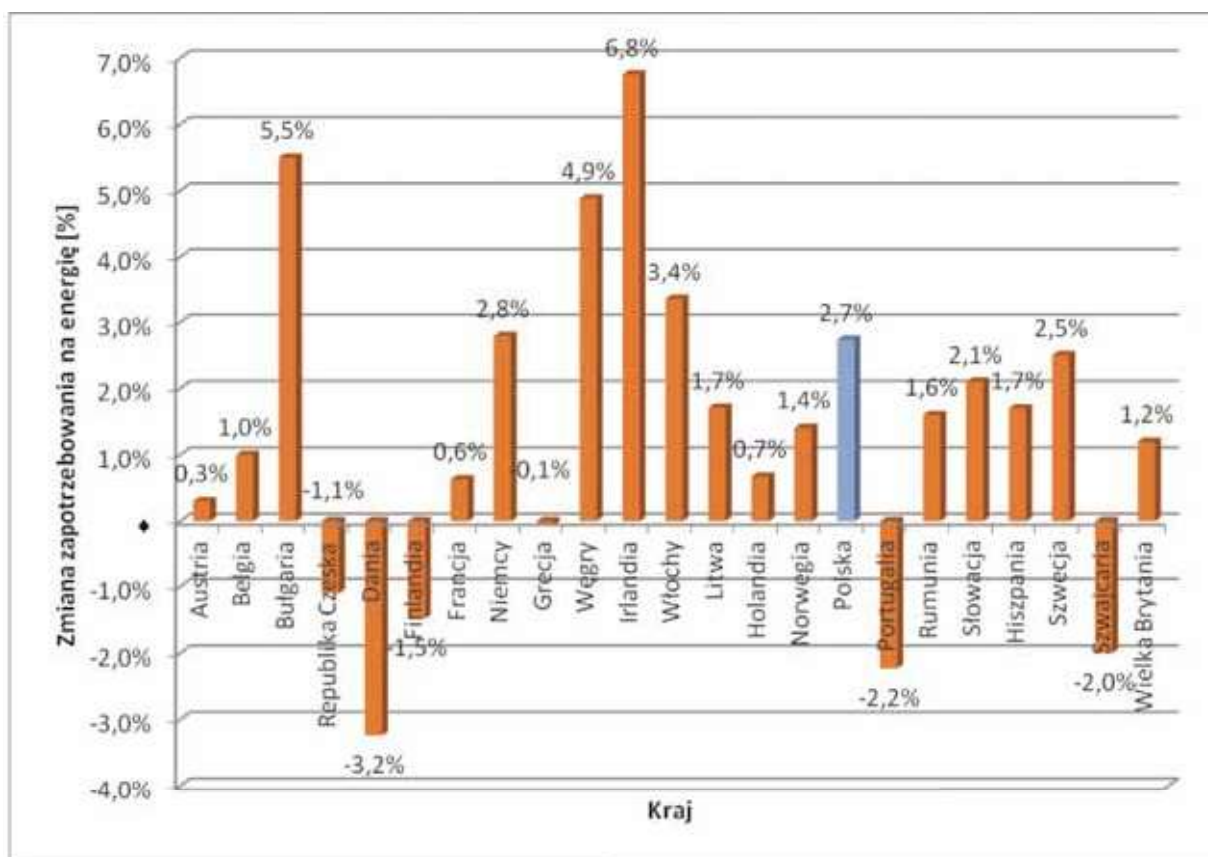
Trend wzrostowy produkcji i zużycia energii pierwotnej jest charakterystyczny dla całej Unii. Jedyne w pięciu krajach zanotowano w stosunku do roku poprzedniego spadek zużycia energii. W Polsce wzrost popytu na energię wynosi niecałe 3% (rys. 3).

Ważnym czynnikiem kształtującym bilans energetyczny kraju jest wysokość cen uprawnień do emisji CO₂. Zaostrzająca się polityka klimatyczna będzie prowadzić do konieczności inwestycji w źródła mniej emisyjne, co z kolei przekłada się na zmniejszenie emisji i wywołuje konieczność ponoszenia wyższych kosztów inwestycyjnych (ME).

Przyjęte w grudniu 2015 r. w Paryżu porozumienie klimatyczne oraz decyzja Rady Europejskiej z października 2014 r. w sprawie poziomu redukcji emisji CO₂ do roku 2030 stawiają przed polską energetyką poważne wyzwanie. Obecne tempo spadku emisji CO₂ w naszym kraju jest ponad dwukrotnie wolniejsze niż w całej Unii Europejskiej. W ostatniej dekadzie emisja spadła w Polsce o 11%, a w Unii o 24%. Na rys. 4 przedstawiono emisję CO₂. Jak można zauważyć, jej poziom w Polsce spadał gwałtownie od roku 1989, od roku 1996 mamy do czynienia ze stabilizacją trendu tego zjawiska.



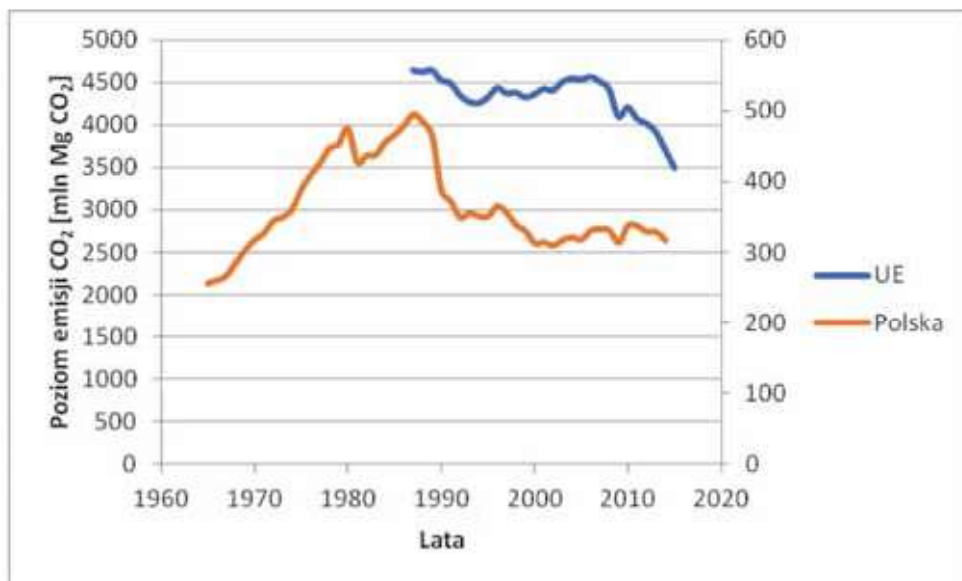
Rys. 2. Prognoza produkcji energii elektrycznej do roku 2020, model ARIMA(1,2,0)
 Fig. 2. Forecast of electricity production up to 2020, ARIMA model (1,2,0)



Rys. 3. Zmiany zapotrzebowania na energię pierwotną w krajach członkowskich UE w ostatnich dwóch latach
 Fig. 3. Changes in primary energy demand in EU Member States in the last two years

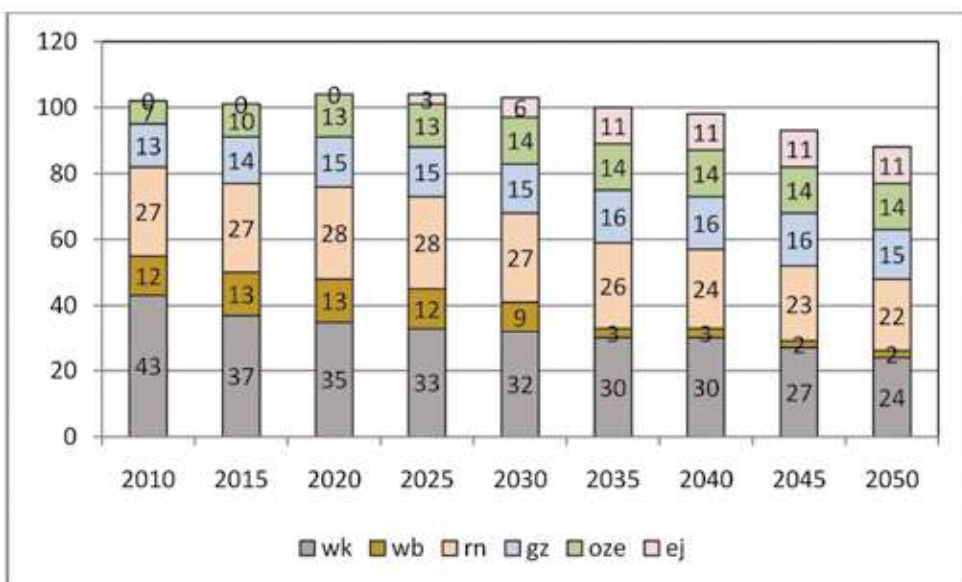
Wyzwanie związane z redukcją emisji dotyczy przede wszystkim wdrożenia energetycznych technologii wytwórczych, które doprowadzą do istotnej redukcji emisji CO₂ (Malko i in. 2015). Polska, która w dniu 27.04.2016 r. w siedzibie ONZ w Nowym Jorku, podpisała najważniejsze zadania, wynikające z tych porozumień, musi dokonać modernizacji sektora wytwórczego elektroenergetyki. W odniesieniu do zrównoważonego rozwoju systemu elektroenergetycznego

powinien on zapewniać ekonomiczny rozwój kraju, chroniąc równowagę ekosystemu i powinno to być zapewnione poprzez bezpieczną pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), zapewnienie dostępności taniej (wytworzonej przy niskich kosztach) energii elektrycznej, sprzyjającej ekonomicznemu rozwojowi kraju, zapewnieniu optymalnego wykorzystania zasobów energii pierwotnej oraz zapewnieniu ochrony środowiska i niedopuszczeniu do zmian klimatycz-



Rys. 4. Emisja CO₂ w Unii Europejskiej oraz Polsce w latach 1965-2015 [mln Mg CO₂]

Fig. 4. CO₂ emissions in the European Union and Poland in 1965-2015 [million Mg CO₂]



Rys. 5. Prognoza wielkości i struktury krajowego zapotrzebowania na energię pierwotną wg paliwa (Mtoe), opracowanie na podstawie danych Ministerstwa Energii

Fig. 5. Forecast of the level and structure of the national demand for primary energy by fuel (Mtoe), elaborated on the basis of data from the Ministry of Energy



Rys. 6. Planowane nowe podmioty systemu elektroenergetycznego, opracowanie Ministerstwo Energii

Fig. 6. The planned power system entities, source: Ministry of Energy

nych (Zaporowski., 2016). Na rys. 5 pokazano strukturę energii pierwotnej według paliwa do roku 2050.

Założono, że węgiel nadal pozostanie podstawą bezpieczeństwa energetycznego Polski w przewidywanym okresie (rys. 6), niemniej jego udział będzie się zmniejszał na rzecz odnawialnych źródeł energii oraz gazu (rys. 5).

Rola odnawialnych źródeł energii będzie uzależniona od osiągnięcia przez OZE ekonomicznej konkurencyjności w porównaniu z innymi technologiami wytwarzania energii. Należy jednak stwierdzić, że udział OZE w bilansie energetycznym będzie wzrastał, także ze względu na realizację polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Tę hipotezę autorzy potwierdzili za pomocą utworzonego modelu matematycznego.

Na rys. 7 zaprezentowano wartości rzeczywiste zapotrzebowania na energię odnawialną oraz prognozę do roku 2030. Model ARIMA ponownie charakteryzuje się odpowiednio wysoką dokładnością, o czym świadczą wyznaczone błędy prognoz ex post:

Średni błąd predykcji ME = 0,69111
 Błąd średniokwadratowy MSE = 62,849
 Pierwiastek błędzi średniokwadratowy RMSE = 7,9277
 Średni błąd absolutny MAE = 6,456
 Średni błąd procentowy MPE = 0,087366
 Średni absolutny błąd procentowy MAPE = 3,6499

Jeżeli nie ulegną zmianie czynniki kształtujące popyt na OZE, to do roku 2025 możemy spodziewać się około 80-procentowego wzrostu wykorzystania odnawialnej energii (w stosunku do roku 2014).

W obecnym stanie wiedzy należy przyjąć, że do znacznego zwiększenia udziału gazu ziemnego w bilansie energetycznym konieczne będzie wspólne zaistnienie dwóch czynników – obniżenia cen tego paliwa (np.: poprzez zwiększenie podaży wynikające ze wzrostu wydobycia krajowego) oraz wzrostu cen uprawnień do emisji CO₂. Energetyka jądrowa jest uzasadnionym ekonomicznie źródłem wytwarzania energii w większości rozpatrywanych scenariuszy i analiz, w szczególności w przypadku znacznego wzrostu cen uprawnień do emisji CO₂. Ze względu na zaawansowaną wiekowo infrastrukturę wytwórczą w horyzoncie prognozy będzie następować wy-

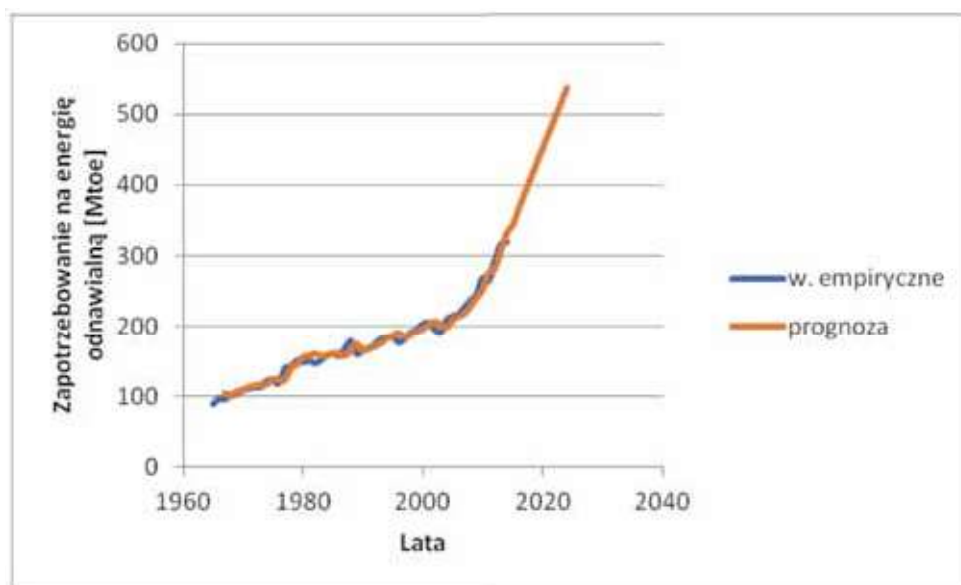
miana źródeł wytwórczych energii elektrycznej. Ponadto, także ze względu na wzrastający udział energii ze źródeł odnawialnych, będzie konieczna rozbudowa infrastruktury przesyłowej i dystrybucyjnej (ME).

3. Rola polskiego węgla kamiennego w Unii Europejskiej

Polska jest największym producentem węgla kamiennego w Unii Europejskiej, stanowi ponad 50% produkcji unijnej, przy czym w przypadku węgla energetycznego jest to około 59%, natomiast węgla koksowego około 39%. Rola polskiego węgla kamiennego w Unii Europejskiej zależeć będzie od polskich producentów. Jedynie utrzymanie odpowiedniego poziomu kosztów pozwoli na konkurowanie na wspólnym rynku Unii Europejskiej z węglem importowanym przez kraje UE z innych kierunków oraz konkurowanie z innymi nośnikami energii. Powstaje zatem poważny dla polskiego górnictwa problem eksportu energii. Zużycie energii pierwotnej w 27 krajach Unii Europejskiej kształtuje się na poziomie 2,4 mld ton jednostek paliwa umownego, z czego:

- 37% energii pierwotnej pochodzi z ropy naftowej,
- 24% z gazu ziemnego,
- 18% z węgla (kamiennego i brunatnego),
- 14% to energia jądrowa,
- 7% z odnawialnych źródeł energii.

Przy utrzymujących się na wysokim poziomie cenach nośników energii pierwotnej, a szczególnie ropy i gazu, rola węgla jako nośnika energii jest bardzo istotna dla bezpieczeństwa energetycznego. Istnieją znaczne rezerwy dotyczące możliwości opracowania i wdrożenia nowych efektywnych technologii spalania, nowych technologii przerobu węgla na paliwa płynne oraz produkcji ekologicznych sortymentów węgla o wysokiej jakości (Gawlik i in., 2007, Thomas 2017). Wobec powyższego węgiel powinien zacząć być postrzegany inaczej niż dotychczas, a więc nie tylko jako paliwo nadające się do spalania. Czyste technologie węglowe oraz promocja innowacyjnych rozwiązań, których celem jest zmniejszenie zanieczyszczeń środowiskowych to kluczowe zagadnienia w kontekście unijnego pakietu zimowego, jak i utrzymaniu roli węgla w energetyce (Wnukowski 2014).



Rys. 7. Prognoza zapotrzebowania na energię odnawialną w Europie do roku 2030, model ARIMA(1,2,2)

Fig. 7. Forecast of the renewable energy demand in Europe until 2030, ARIMA model (1,2,2)

4. Węgiel kamienny w energetyce

Węgiel kamienny jako szeroko dostępne źródło energii, odgrywa ważną rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego świata i Polski. Obecnie dzięki zastosowaniu nowych technologii staje się również stopniowo coraz czystszy źródłem energii. Do innych, równie ważnych atutów węgla, które w znakomity sposób przemawiają za utrzymaniem jego konkurencyjności jako priorytetowego paliwa na świecie i w Polsce należy zaliczyć (Paszczka, 2012):

- możliwość udostępniania nowych złóż węgla kamiennego,
- lokalizację zasobów węgla kamiennego na terytoriach wolnych od konfliktów politycznych i zbrojnych,
- dostępność wysoko rozwiniętych technologii wydobycia węgla, jego produkcji oraz przetwarzania na całym świecie,
- wysoką skuteczność międzynarodowej sieci logistycznej, co umożliwia i usprawnia handel węglem drogą morską, zgodnie z zapotrzebowaniem rynków międzynarodowych.

Dostępne informacje o stanie zasobów węgla na świecie są optymistyczne. Przy obecnym poziomie wydobycia węgla powinny wystarczyć na około 200 lat. W Polsce pozycja węgla kamiennego wśród pierwotnych nośników energii zużywanych do produkcji energii elektrycznej, zapewniającej bezpieczeństwo energetyczne, wydaje się zagwarantowana na przynajmniej kilkadziesiąt lat (Paszczka, 2012). Ma to również istotne znaczenie w zapewnieniu niezależności energetycznej kraju.

Śśród niemal 4,7 tys. elektrowni przyłączonych do sieci energetycznych w Polsce ponad połowa to elektrownie fotowoltaiczne. Ich łączna moc jest znikoma w porównaniu do innych technologii, a produkcja energii jeszcze mniejsza, ale sytuacja dynamicznie się zmienia.

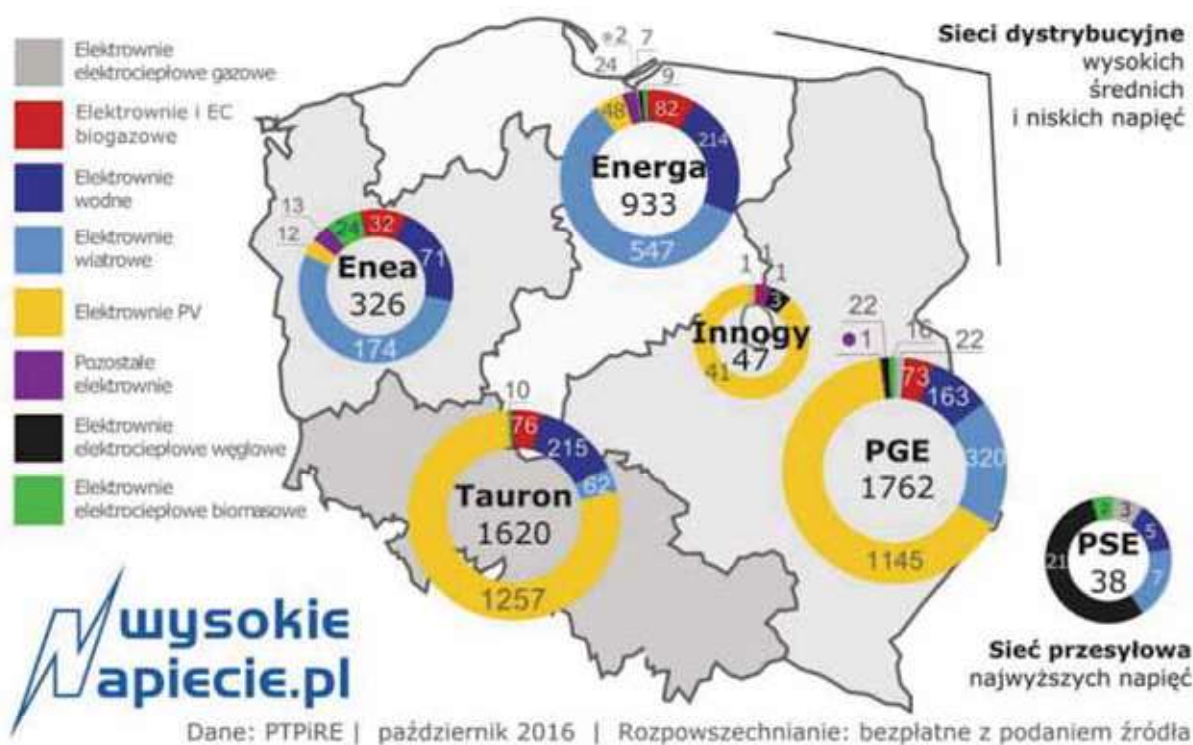
Do sieci pięciu największych dystrybutorów energii (PGE, Tauron, Energi, Enei i Innogy) na koniec 2015 roku przyłączonych było już ponad 2,5 tys. elektrowni słonecznych.

Większość z nich powstała w tym samym roku — wynika z danych Polskiego Towarzystwa Przesyłu i Rozdziału Energii Elektrycznej (PTPiRE). Przede wszystkim były to małe instalacje przydomowe (tzw. prosumenckie) o mocach kilku-kilkunastu kilowatów każda. Dlatego ich udział w krajowej produkcji energii wyniósł zaledwie trzy dziesiąte promila.

Jednak pod względem liczby instalacji fotowoltaika pozostawiła daleko w tyle lidera poprzedniego zestawienia — elektrownie wiatrowe, których na koniec 2015 roku było 1,1 tys. (ok. 2,7 tys. turbin) z produkcją 11 TWh (7% krajowego wytwarzania). Te z kolei przed kilkoma laty pokonały, utrzymując się na pozycji lidera od zawsze, elektrownie wodne.

Na drugim końcu zestawienia są elektrownie i elektrociepłownie węglowe, których jest zaledwie 53, z czego niemal połowę przyłączono do linii najwyższych napięć, należących do Polskich Sieci Elektroenergetycznych. Są to ogromne instalacje odpowiadające aż za 86% krajowego wytwarzania. Co drugą kilowatogodzinę wyprodukowaną w Polsce dostarczyło zaledwie pięć największych z nich. Rzadkością są natomiast elektrownie i elektrociepłownie opalane gazem ziemnym. W 2015 roku niespełna 30 takich jednostek dostarczyło ok. 6 TWh energii, czyli 3,5% krajowej produkcji.

Prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną netto [TWh] pokazują, że nadal jest miejsce dla węgla (głównie kamiennego). Udział węgla kamiennego w całkowitym zapotrzebowaniu na nośniki energii wynosi w roku 2015 - 46%, węgla brunatnego 37%. Wartości prognozowane w roku 2020 wskazują odpowiednio na udział 43% i 30%. W roku 2050 ma to być 33-procentowy udział w przypadku węgla kamiennego i jedynie 5-procentowy węgla brunatnego. Należy natomiast spodziewać się znacznego wzrostu udziału OZE w zaspokajaniu zapotrzebowania na energię elektryczną. Wzrasta on z 13% w roku 2015 do 33% w roku 2050. Jest to zgodne z przewidywaniami autorów. Na rozwój odnawialnych źródeł do poziomu umożliwiającego zajęcie miejsca węgla trzeba będzie poczekać w Polsce jeszcze kilkadziesiąt lat.



Rys. 8. Liczba i rodzaj przyłączonych do sieci energetycznych elektrowni w roku 2015

Fig. 8. Number and type of power plants connected to the energy network in 2015

Tabela 1. Prognozy zapotrzebowania na nośniki energii do roku 2050
Table 1. Forecasts of energy carriers demand until 2050

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
węgiel kamienny	87,9	72,5	76,9	75,9	79,0	84,4	88,8	82,3	74,5
węgiel brunatny	48,6	58,4	53,8	49,6	38,1	11,1	11,3	10,7	10,3
gaz ziemny	6,8	5,8	11,8	11,9	13,0	18,4	17,5	23,3	20,4
OZE	11,6	20,6	34,0	36,9	51,9	61,1	65,1	67,5	73,2
energia jądrowa	0,0	0,0	0,0	11,8	23,3	45,1	45,4	44,2	43,2
inne	2,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
razem	157,7	158,8	177,9	187,5	206,8	221,4	229,7	229,5	222,9

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonej analizy prognoz dostarczanych zarówno przez państwo, Unię Europejską, prywatne agencje analityczne, jak i prognoz utworzonych przez autorów publikacji można wyciągnąć jednoznaczne wnioski. Bezpieczeństwo energetyczne kraju w najbliższych latach może zostać zapewnione jedynie w oparciu o węgiel kamienny i brunatny. Ograniczone zasoby rodzime pozostałych paliw kopalnych uniemożliwiają zapewnienie tegoż bezpieczeństwa w oparciu o gaz ziemny oraz ropę naftową, także ze względu na znikomy poziom dywersyfikacji źródeł ich importu. Odnawialne źródła energii pomimo ich ogromnego tempa rozwoju w naszym kraju jeszcze przez wiele lat nie będą mogły konkurować z węglem. Ich wkład w produkcję energii jest bowiem nadal znikomy. Z uwagi na wysokie koszty inwestycji w obecnym czasie, gdy ceny paliw kopalnych drastycznie spadły, źródła odnawialne stają się jeszcze mniej atrakcyjne ekonomicznie. Energia nuklearna szeroko stosowana na świecie oraz w Unii Europejskiej nigdy nie była wykorzystywana w Polsce, pomimo nieustannych planów wprowadzenia do miks energetycznego tego źródła pozyskania energii. Jest ona niezwykle opłacalna pod względem ekonomicznym, jednakże w świetle katastrof, które miały miejsce w ostatnich kilkudziesięciu latach niektóre kraje ją stosujące wycofują się z jej wykorzystywania. Ciągłe rosnące zapotrzebowanie na energię pierwotną, wymogi Unii Europejskiej w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych powinny skłonić Polskę do poszukiwania optymalnych technologii czystego węgla (Thomas 2017). Technologie takie bowiem umożliwią dalsze korzystanie z dobrodziejstw węgla kamiennego oraz brunatnego z równoczesnym wyeliminowaniem negatywnych aspektów spalania tych paliw.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych 06/030 / BK_17 / 0017.

Literatura

- CIEŚLAK M. 2001 - Prognozowanie gospodarcze: metody i zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- GAWLIK L., MOKRZYCKI E., NEY R. 2007 - Możliwości poprawy akceptowalności węgla jako nośnika energii. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, 23(3).
- GRUDKOWSKA S., NEHREBECKA N. 2009 - Materiały i studia, z. 237. Wydawnictwo NBP, Warszawa.
- GRUDKOWSKA S., PAŚNICKA E. 2007 - Materiały i studia, z. 220. Wydawnictwo NBP, Warszawa.
- <http://forsal.pl/artykuly/988582,wiekszosc-elektrowni-w-polsce-produkuje-prad-z-nie-nie-z-wegla.html>, dostęp dnia 2017-06-10
- https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_pl, dostęp dnia 2017-06-10
- KOT S., JAKUBOWSKI J., SOKOŁOWSKI A. 2007 - Statystyka. Difin, Warszawa.
- MALKO J., WILCZYŃSKI A.I., WOJCIECHOWSKI H. 2015 - Bezpieczeństwo energetyczne, dostępność energii i zrównoważony rozwój a strategia Unii Europejskiej. „Rynek Energii” nr 2, s. 10–17.
- PASZCZA H. 2012 - Ocena stanu zasobów węgla kamiennego w Polsce z uwzględnieniem parametrów jakościowych i warunków załęgania w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju, „Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk” nr 83, s. 147 - 162
- PIŁATOWSKA M. 2010 - Kryteria informacyjne w wyborze modelu ekonometrycznego. „Studia i Prace Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie” nr 10.
- Projekt polityki energetycznej Polski do roku 2050 (me.gov.pl/Energetyka/Polityka+energetyczna, dostęp 2.08.2017)
- THOMAS D. 2017 - Finding a future for clean coal and CO₂ storage technology. Fuel, 195.
- WNUKOWSKI D. 2014 - Czyste technologie węglowe: zielony impuls dla polskiego sektora energetycznego. Polski Instytut Spraw Międzynarodowych, Biuletyn Nr 32 (1144).
- ZAPOROWSKI B. 2016 - Zrównoważony rozwój źródeł wytwórczych energii elektrycznej. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, t. 19, z. 3, s. 35–48.

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2017
 Artykuł akceptowano do druku 7.08.2017