Transformacja systemu elektroenergetycznego w Niemczech: Energiewende – *quo vadis*?

Transformation of the power system in Germany: Energiewende – *quo vadis*?

Zbigniew Styczyński
Przemysław Komarnicki
Martin Stoetzer

Abstract

This article aims to answer the question on how proceeded and proceeds the transformation of the power system in Germany, and whether it will end with the expected success. The authors for many years have been actively participating in the work on the energy system transformation in Germany (some of them for more than 25 years) and share here their personal observations made on the background of the development of regional and global (Germany-wide) transformation known as Energiewende. As such, this study does not pretend, however, to be recognized as a comprehensive study of the Energiewende issues.

Keywords – *Energiewende, power system in Germany, the transformation of energy, energy flows*

Prolog

Zmierzch energii jądrowej

W latach 80. zeszłego wieku zachodnia Europa posiadała stabilne, w zasadzie narodowe rynki energii elektrycznej. Zużycie energii elektrycznej wzrastało proporcjonalnie do wzrostu produktu krajowego brutto prawie we wszystkich krajach zachodniej Europy. Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych, w kombinacji z wytwarza-

niem energii w elektrowniach węglowych, była gwarantem stabilności wytwarzania energii elektrycznej na wiele lat. Natomiast w Chinach, Indiach i innych krajach rozwijających się rynki energii znajdowały się w fazie rozwoju i emisja gazów cieplarnianych nie była w centrum uwagi tych społeczności.

Istotny sygnał zakłócenia tego porządku pojawił się 26 kwietnia 1986 roku i związany był z incydentem w elektrowni jądrowej w Czarnobylu. Ten tragiczny w skutkach zarówno dla ludności jak i środowiska incydent uwidocznił niezwykłe ryzyko jakie niesie ze sobą stosowanie energii jądrowej. Również problemy z przechowywaniem odpadów radioaktywnych a następnie wypadek w Fukushimie 12 marca 2011 roku umocniły negatywne nastawienie znacznej części społeczeństwa (szczególnie w Niemczech) do energii jądrowej niezależnie od faktu, że ta technologia wytwarzania energii elektrycznej jest bezemisyjna.

Zmiana struktury systemu elektroenergetycznego

Już we wczesnych latach 80. poprzedniego wieku można było zaobserwować trend w kierunku modernizacji struktur systemów elektroenergetycznych. Takie kraje jak np. Dania zdecydowały się na rozwój systemu energetycznego bazującego na energii wiatrowej. Rozpoczęto prowadzenie rozległych badań nad rozwojem technologii ogniw fotowoltaicznych (PV), biomasy, geotermii, energii fal morskich czy innych, ale pierwsze wyniki były zniechęcające – nowe technologie wytwarzania energii okazały się bardzo drogie, ich niezawodność działania była dyskusyjna, a współczynnik sprawności niski w porównaniu do innych powszechnie stosowanych technologii, przez co zapotrzebowanie na nie było znikome. Wymagały one dalszego rozwoju i przy braku odpowiednich mechanizmów wsparcia tylko pionierzy tego ruchu byli gotowi inwestować i wykorzystywać te technologie.

Równolegle zajęto się również tematem możliwości integracyjnych nowych źródeł wytwarzania energii z siecią elektroenergetyczną. Sieć elektryczna była bowiem planowana i budowana zawsze w koncepcji jednokierunkowego przepływu energii (*top-down*) od elektrowni jako źródeł energii do użytkowników czyli odbiorców energii. Należało zmienić tę zasadę w planowaniu nowych sieci elektroenergetycznych by umożliwić optymalną integrację nowych zlokalizowanych głównie w sieci rozdzielczej.

Pierwsze praktyczne próby budowy zoptymalizowanych sieci rozpoczęły się we wczesnych latach 90. XX wieku. Do pewnej, nieznacznej, części sieci były już podłączone ogniwa fotowoltaiczne, małe generatory wiatrowe jak również zasobniki energii

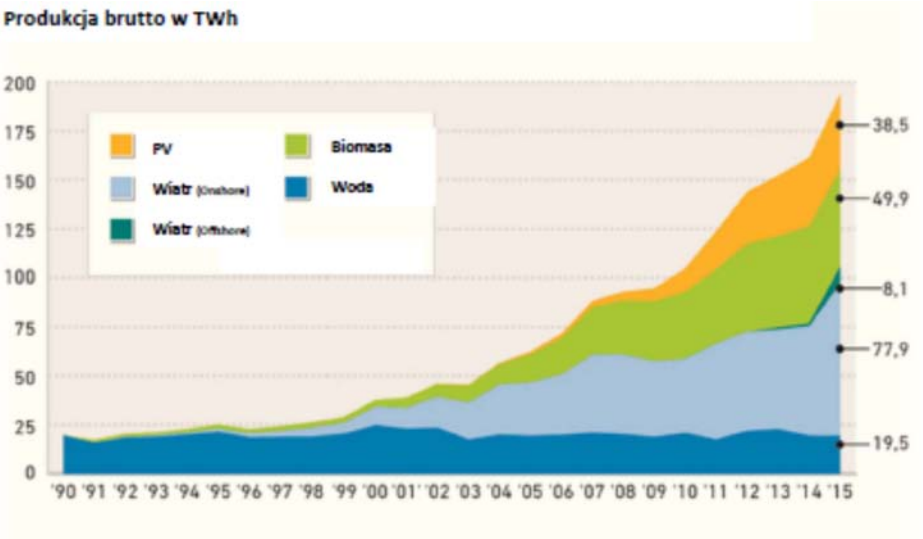
(w tym wypadku baterie typu NAS). Jednak technika owych czasów była niestety dalej zawodna. Pierwsze praktyczne eksperymenty zakończyły się fiaskiem, a niektóre przedsiębiorstwa poniosły nawet znaczne straty finansowe. Te negatywne wyniki utwierdziły konserwatywnie nastawione do zmian operatorów sieciowych w potrzebie kontynuacji kursu rozwoju zcentralizowanego systemu energetycznego.

Właściwego rozpędu nabrały zmiany w systemie energetycznym dopiero po uchwaleniu odpowiednich ustaw. W roku 1991 w Niemczech uchwalono obowiązkowy odbiór energii elektrycznej wyprodukowanej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Zgodnie z tym prawem zakłady energetyczne zostały zobligowane do przyłączenia źródeł energii i pokrycia kosztów tego przyłączenia. Nieznaczna stała subwencja była też przewidziana i wypłacana w ramach tego rozporządzenia wytwórcom energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Energiewende od lat 90. na przykładzie kraju związkowego Saksonia-Anhalt

W roku 1997 Uniwersytet w Magdeburgu imienia Ottona-von-Guericke utworzył nową katedrę Integracji sieciowej odnawialnych źródeł energii. Była to jedna z pierwszych dedykowana temu tematowi badawczemu katedra w Niemczech. Katedra została obsadzona i rozpoczęła prace od roku 1999. Wtedy jeszcze przyszłość OZE nie była ostatecznie jasna.

Sytuacja ta uległa drastycznej zmianie wraz z ustanowieniem w roku 2001 prawa o odnawialnych źródłach energii, zwanego w skrócie EEG (Erneuerbaren Energie Gesetz). W prawie tym i jego kolejnych nowelach zawarty został mechanizm transferu kosztów opłat za energię na wsparcie rozwoju odnawialnych źródeł energii. Przewidziane kwoty wsparcia pozwalały na pokrycie rzeczywistych kosztów drogiej wówczas energii odnawialnej i wynosiły 50,6 €cent/kWh dla PV i pomiędzy 6,19 a 10,23 €cent/kWh dla energii wiatrowej, biomasy i energii wodnej. Wprowadzenie tej ustawy spowodowało gwałtowny rozwój ujętych ustawą technologii co odbiło się w następnych latach w miksie energetycznym Niemiec (rys. 1). Widzimy na nim, że od roku 1999 energia wiatrowa (oznaczona na rys. 1 kolorem jasno niebieskim) a od roku 2009 również energia słoneczna (oznaczona kolorem żółtym) mają widoczny, rosnący w kolejnych latach udział w tym miksie.

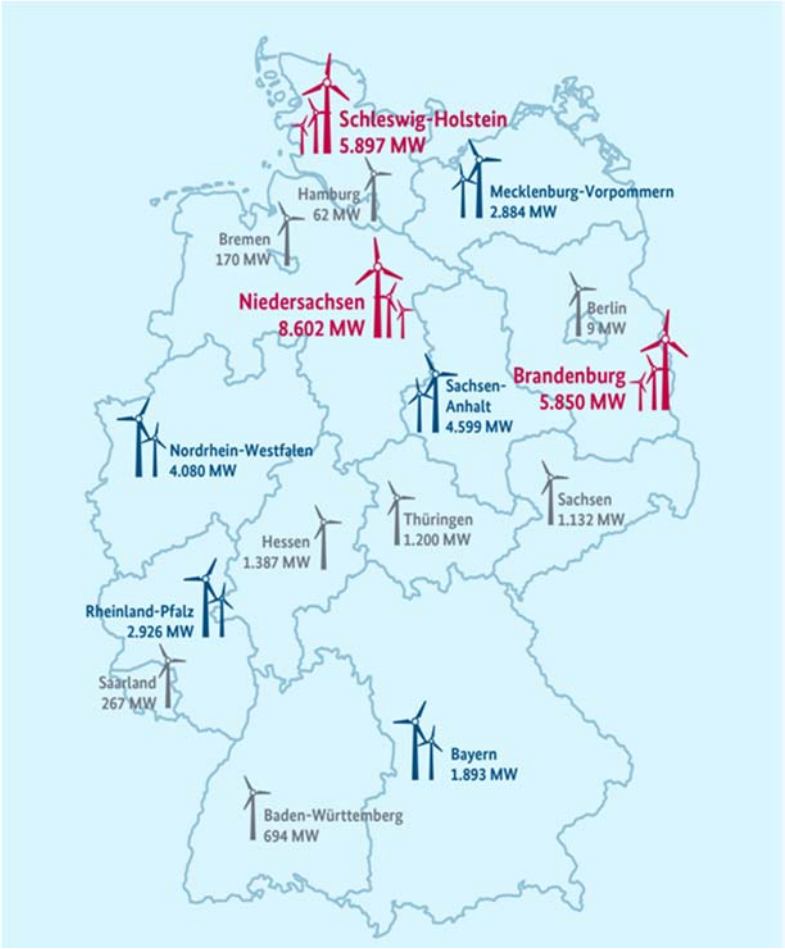


Rys. 1. Generacja OZE w Niemczech

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych dostępnych na oficjalnych stronach internetowych Ministerstwa Gospodarki i Energetyki Niemiec – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE).

Zmiany w niemieckiej ustawie o odnawialnych źródłach energii (EEG) w latach 2004, 2009 i 2012 spowodowane były głównie potrzebami zmniejszenia kwot finansowania rozwoju tych technologii, ze względu na widoczne postępy w technologiach generacji odnawialnej, których stały przyrost doprowadził do obecnego ponad 25% udziału w miksie energii elektrycznej w Niemczech. Szczególnie energia wiatrowa i PV zajęły dominującą pozycję w miksie odnawialnych źródeł energii w szczególności ze względu na znaczną obniżkę kosztów tych technologii.

W innych technologiach, a w szczególności stosowanie procesów skojarzonych, dokonał się też znaczący postęp, który szczególnie uwidocznił się poprzez znaczne zwiększenie współczynnika sprawności tych procesów. Rozwój generacji z biomasy uległ w ostatnich latach jednak ograniczeniu po pierwsze ze względu na wysokie koszty tej technologii w porównaniu do technologii PV i energii wiatrowej, ale również dlatego, że pojawił się problem konkurencji przy produkcji biomasy z wytwarzaniem roślin dla potrzeb wyżywienia. Chodzi tu o uprawę roślin energetycznych (przeznaczenie biomasa, biogaz), które nadmiernie zajmują tereny przeznaczone pod uprawę żywności.



Rys. 2. Zainstalowana w 2015 r moc w elektrowniach wiatrowych w Niemczech

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych dostępnych na oficjalnych stronach internetowych Ministerstwa Gospodarki i Energetyki Niemiec – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE).

Wspomniane inicjatywy prawne, głównie ustawa o odnawialnych źródłach energii, jak i samodzielne działania różnych firm na terenie Niemiec takich jak Enercon, która usprawniła generatory i turbiny dla elektrowni wiatrowych (Aurich, Magdeburg) czy SMA (Kassel), która opracowała przetworniki AC/DC o wysokiej sprawności były

wspierane przez szereg narodowych programów badawczych przewidzianych do powstania i rozwoju sieci *smart grid* i zintegrowanych w prace przemysłu i instytutów badawczych uczelnianych i poza uczelnianych.

Jako przykłady tego typu programów mogą służyć:

- Projekt EdisON – pierwszy na terenie Niemiec projekt, w ramach którego odnawialne źródła energii i elementy inteligentnych technik sterowania były kompleksowo zaimplementowane w części systemu dystrybucyjnego w południowo-zachodniej części Niemiec (1998-2003).
- Inicjatywa E-Energy. Rządowy program ramowy w którym w sześciu modelowych regionach prowadzone były badania praktyczne nad wykorzystaniem technik *smart grid*. Dodatkowo w siedmiu regionach prowadzono również badania nad wykorzystaniem samochodów elektrycznych do komunikacji ale również do wspomagania działania sieci elektrycznej (2006-2012).
- Okna wystawowe elektromobilności (*e-mobility lighthouse projects*). Cztery wieloregionalne projekty dla opracowania koncepcji infrastruktury dla samochodów elektrycznych (2013-2016).
- Rządowy program węzłowy w zakresie magazynów energii. Ponad 200 projektów (2012-2016).
- Pilotażowe wieloregionalne projekty inteligentnych rozwiązań energetycznych – cyfrowa agenda dla transformacji energetycznej „Energiewende". Pięć kluczowych projektów, w ramach których badana będzie praktycznie integracja komponentów *smart grid* (2016-2020).

Wymienione wyżej inicjatywy i projekty zajmowały się lub zajmują badaniami nie tylko nad rozwojem technologii generacji odnawialnej, ale również w wielu przypadkach przede wszystkim nad testowaniem metod planowania i implementacji ich wyników oraz optymalnego prowadzenia sieci *smart grid* dla rozmaitego stopnia nasycenia tych sieci generacją odnawialną.

W tym kontekście rozumienie potrzeby wykorzystania technologii przetwarzania informacji i jej bezpiecznego udostępniania nabrało również szczególnego znaczenia. Powstało szereg nowych wcześniej nieznanych wyrobów (jak np. stacje ładowania samochodów elektrycznych, rozdzielnie danych (gatewaye teleinformacyjne) w budynkach, które zostały opracowane i praktycznie zastosowane w rzeczywistym środowisku. Powstały nowe standardy (np. wtyczka Mennekesa), a inne standardy podlegały rozszerzeniu lub udoskonaleniu (np. IEC61850 lub IEC61970). Giełda energii zapoczątkowała swoją działalność w roku 2000.

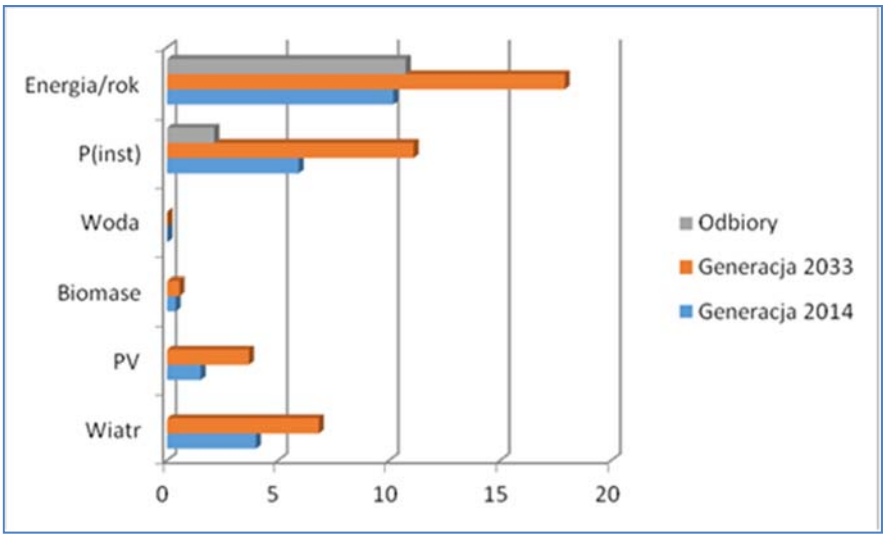
Rozliczne firmy na terenie Niemiec były szczególnie aktywne w zakresie badań w tym okresie. Instytuty Fraunhofera Institut fur Solare Energiesysteme w Freibergu i Institut fur Windenergie und Energiesystemtechnik w Kassel odegrały rolę inicjującą. Również uniwersytety, jak Oldenburg, Dortmund czy Stuttgart, były bardzo aktywne w pierwszej fazie transformacji. Światowe koncerny, jak Siemens czy ABB, rozpoczęły intensywne działania w celu opracowania optymalnych komponentów dla sieci *smart grid* i dla szerokiego wykorzystania dla ich sterowania sieci telekomunikacyjnych, w tym Internetu. W tym zakresie wymienione koncerny miały wiele zasług na polu usprawnienia wspomnianych już standardów IEC61850 i IEC61970.

Opisane badania nie były nigdy czystymi pracami naukowo-badawczymi. W pracach tych dążono zawsze do wdrażania ich i testowania w warunkach rzeczywistych. Przesunięcie się zadań generacji w systemie energetycznym z dużych elektrowni na źródła odnawialne zapoczątkowało proces fundamentalnych zmian w planowaniu i prowadzeniu ruchu systemu elektroenergetycznego.

Jakie były cele i co osiągnięto?

Kraj związkowy Saksonia-Anhalt jest jedną z przodujących części Niemiec w procesie transformacji energetycznej, a w szczególności w integracji energii wiatrowej (miejsce nr 4 – porównaj również rysunek 2). Moc zainstalowana w odnawialnych źródłach energii wynosiła w roku 2000 zaledwie 250 MW, a dziś wynosi już ok. 6 GW. Główne źródła odnawialne to energia wiatrowa (4 GW), PV (1,5 GW) i biomasa. Ponad 90% energii elektrycznej zużywanej (statystycznie) w Saksonii-Anhalt wytwarzane jest z lokalnych źródeł odnawialnych.

Na rysunku 3 pokazano rozwój odnawialnej generacji do roku 2033 w porównaniu z rokiem 2014. W roku 2033 oczekiwany jest prawie dwukrotny wzrost mocy zainstalowanej w generacji odnawialnej dla zachowawczego scenariusza wzrostu (wyniki pokazane są na rysunku 3) co spowoduje prawie 5-krotną statystyczną, roczną nadwyżkę energii wyprodukowanej z OZE w porównaniu do lokalnego zapotrzebowania. Zapewni to pokrycie 80% chwilowego zapotrzebowania na energię elektryczną tej części Niemiec przez generację odnawialną. W tej sytuacji Saksonia-Anhalt wyprzedzi osiągnięcie celów energetycznych całych Niemiec o 15 lat i przez to pozostanie w awangardzie transformacji energetycznej.



Rys. 3. Rozwój generacji OZE w Saksonii-Anhalt. Dane odpowiednio w GW lub GWh

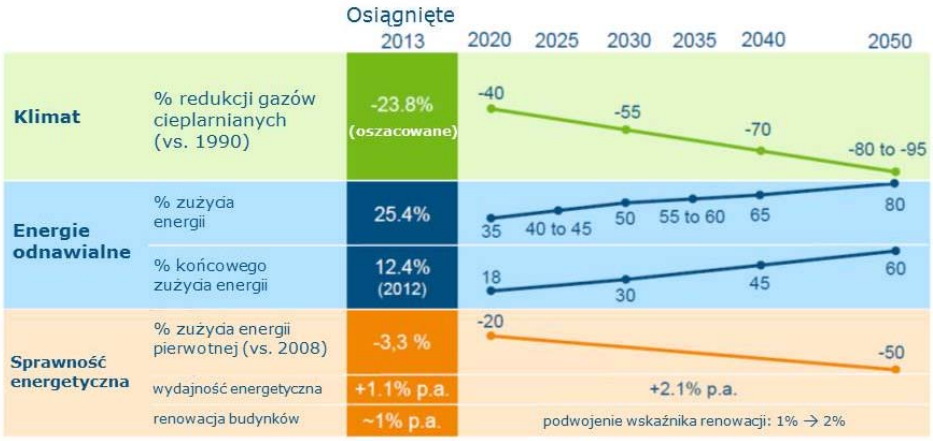
Źródło: ZERE e.V. – prognoza opracowana na zlecenie kraju związkowego.

Powiązanie celów transformacji energetycznej Energiewende. Miks energetyczny 2050

Niemcy osiągnęły obecnie ponad 25% udział OZE w konsumpcji energii elektrycznej i podążają za oficjalnym celem Unii Europejskiej przewidującym redukcję emisji CO_2 o 80% do roku 2050. To wymaga również 80% udziału OZE w produkcji energii elektrycznej a co za tym idzie spowoduje, że OZE będą miały 60% udział w ogólnej konsumpcji energii.

Rysunek 4 przedstawia poglądowo cele Energiewende do roku 2050.

Jednym z zasadniczych pytań wynikających z przyjętych celów rozwoju systemu energetycznego jest: jaki będzie miks energetyczny pozwalający z jednej strony osiągnąć udział OZE na poziomie 80% lub więcej, a z drugiej strony zapewnić pełną integrację OZE i stabilną pracę systemu energetycznego? Czy w ogóle jest możliwe tego rodzaju rozwiązanie?

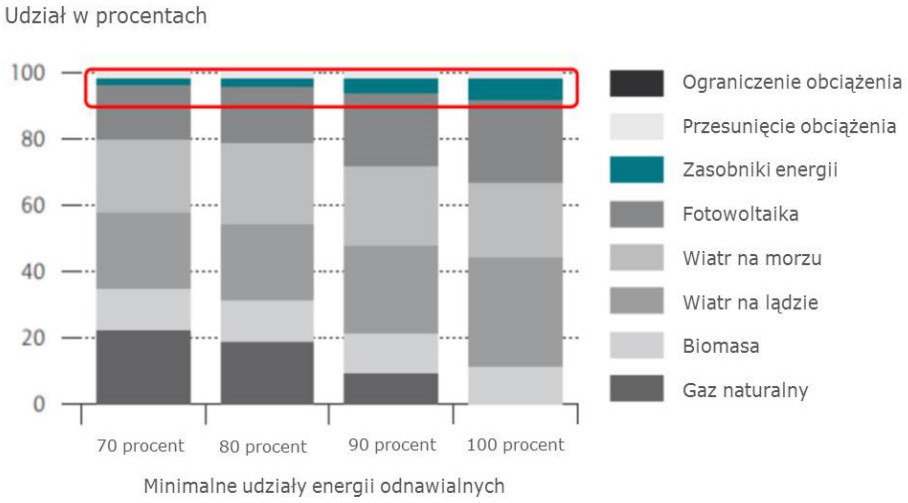


Rys. 4. Energiewende – *state-of-the-art* i cele

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych dostępnych na oficjalnych stronach internetowych Ministerstwa Gospodarki i Energetyki Niemiec – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE).

Istnieje szereg opracowań studyjnych dotyczących przewidywanego miksu energii w Niemczech. Rysunek 5 prezentuje wyniki badań instytutu Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) z Berlina z roku 2015. System z 100% OZE bazować będzie na energii wiatrowej z dużym udziałem PV i stabilizującym udziałem biomasy, magazynów energii i systemów sterowania zapotrzebowaniem mocy (Demand Side Management – DSM). Przy 80% udziale OZE gaz naturalny odgrywać będzie znaczącą rolę w tym miksie.

Podobne rezultaty odnośnie miksu energii zostały opublikowane przez Niemiecką Akademię Nauk Acatech. W Niemczech istnieje szereg Akademii Nauk i trzy z nich: Acatech, Union i Leopoldina właśnie połączyły swoje siły, by opracować konkretną wizję systemu elektrycznego w Niemczech w roku 2050.



Rys. 5. Miks energii elektrycznej w Niemczech przy różnym procentowym udziale OZE. Wyniki pracy badawczej DIW 2015

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych dostępnych na oficjalnych stronach internetowych Ministerstwa Gospodarki i Energetyki Niemiec – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE).

W pracy przy analizie kilkuset wariantów scenariuszy postawiono sobie następujące podstawowe pytania:

- Jaki wpływ na optymalny miks ma ograniczenie emisji CO_2?
- Jak mógłby wyglądać system przy założeniu 100% wytwarzania energii z wykorzystaniem OZE?
- Jaką rolę odgrywać będą w przyszłym systemie zasobniki energii?
- Jakie będą systemy generacji w przyszłości: centralne czy rozproszone?
- Jak mogą być wykorzystywane nadwyżki produkowanej energii z OZE?
- Jakie są skutki tendencji uniezależnienia się od importów energii?

Pytania te pokazują rozległość badań, jakie zostały wykonane w ramach tego projektu.

W grudniu 2015 roku wyniki badań niemieckich Akademii w wyżej wymienionym zakresie zostały opublikowane w postaci raportu i szeregu załączników – tzw. listów uzupełniających.

Dalszy opis wyników badań ma na celu krótkie omówienie opracowania końcowego i powinien zachęcić do jego całościowego przestudiowania. Pełne materiały dostępne

są na stronie internetowej Acatech. Zespół powołany do wykonania tego opracowania składał się z ponad 100 ekspertów (10 podzespołów) reprezentowanych głównie przez przedstawicieli spoza uczelnianych instytucji badawczych (np. instytuty Fraunhofera), przemysłu (np. producenci, zakłady energetyczne) oraz specjalistów z zakresu nauk społecznych (akceptacja społeczna rozwiązań).

Dane wejściowe do obliczeń modelowych zostały opracowane w zespołach roboczych, które analizowały poszczególne technologie wytwarzania energii elektrycznej głównie z punktu widzenia kosztów i możliwości „elastycznego" ich zastosowania, gdyż założono, że przyszły system będzie charakteryzował się dużym udziałem „niespokojnych", odnawialnych źródeł energii. To założenie wydaje się być słuszne w perspektywie roku 2050 w przypadku Niemiec. Nie wykluczono z rozważań żadnej technologii wytwarzania poza elektrowniami jądrowymi, których to czas w Niemczech wydaje się minął bezpowrotnie.

Jako wielkości sterujące przyjęto tylko i wyłącznie koszty związane z technologiami wytwarzania, które zostały wyznaczone z uwzględnieniem ich dotychczasowego rozwoju technologicznego i wynikającej z niego aproksymacji przewidywanych kosztów wytwarzania energii na rok 2050. Ze względu na udział szerokiej bazy ekspertów wydaje się, że wielkości te można przyjąć za wiarygodne. Także inne ekonomiczne wielkości sterujące jak na przykład koszty certyfikatów CO_2 zostały odpowiednio zaproksymowane.

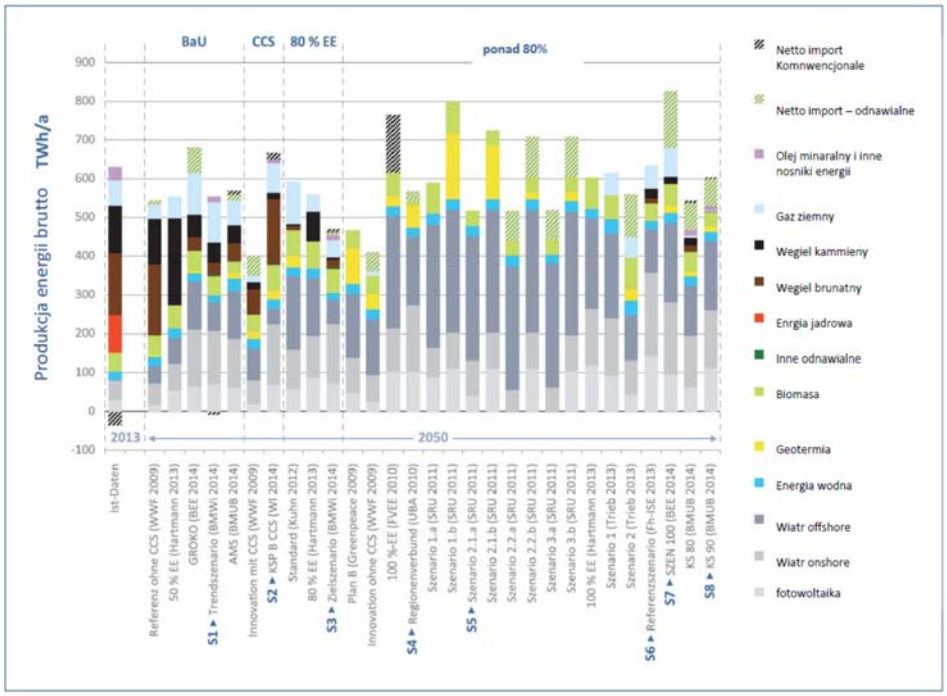
Niepewności w modelowaniu zostały uwzględnione poprzez dużą liczbę wariantów (scenariuszy), które zostały przeanalizowane w ramach przeprowadzonych obliczeń. Jako metodologię w obliczeniach przyjęto metodę kosztów całkowitych co, z jednej strony, w pewnym stopniu ogranicza reprezentatywność wyników, z drugiej strony, pozwala jednak na uniezależnienie się od ścieżki dojścia do rozwiązania optymalnego (planowanie *„green field")*.

Wyniki tego projektu przyniosły szereg interesujących, częściowo nieoczekiwanych rozwiązań, które zgodnie z raportem projektu można podsumować w następujący sposób:

1. Prawie każda analizowana technologia może z uwzględnieniem dodatkowych kosztów znaleźć zastosowanie w końcowym miksie, o ile wcześniej podjęte zostaną np. odpowiednie decyzje o preferowanych kierunkach rozwoju.
2. Ze względu na możliwą różnorodność w stosowaniu paliwa (bio gaz, gaz ziemny, H_2 itd.) elektrownie gazowe stanowić będą kręgosłup przyszłego systemu energetycznego i gwarantować będą ciągłość zasilania nawet w wielotygodniowych okresach tzw. ciemnej ciszy (pogoda bezwietrzna przy zachmurzonym niebie).

3. Operatywne i elastyczne sterowanie zapotrzebowaniem i zasobnikami energii w gospodarstwach domowych i przemyśle stanowią najdogodniejszą i najtańszą możliwość wyrównywania chwilowych wahań zasilania (kilka minut do godziny).
4. Zasobniki energii dla dłuższego okresu czasu są atrakcyjne dopiero, gdy system powinien oszczędzać więcej niż 80% CO_2. W przypadku większych dopuszczalnych emisji gromadzenie energii w postaci zamiany jej w ciepło lub ograniczenie produkcji energii z OZE wydaje się być bardziej opłacalne.

Poniżej przedstawiono dwie wybrane grafiki z raportu opracowania niemieckich akademii nauk, które w sposób syntetyczny prezentują wynik obliczeń modelowych wykonanych przy wcześniej opisanych założeniach. Pierwsza z nich (rys. 6) przedstawia optymalne miksy generacji przy wspomnianych założeniach brzegowych dla wybranych 29 scenariuszy z czego osiem z nich nosi charakter scenariuszy głównych (bazowych).



Rys. 6. Rezultaty pracy badawczej Akademii Nauk Acatech. Miks energetyczny (wytwarzania energii elektrycznej) w Niemczech 2050

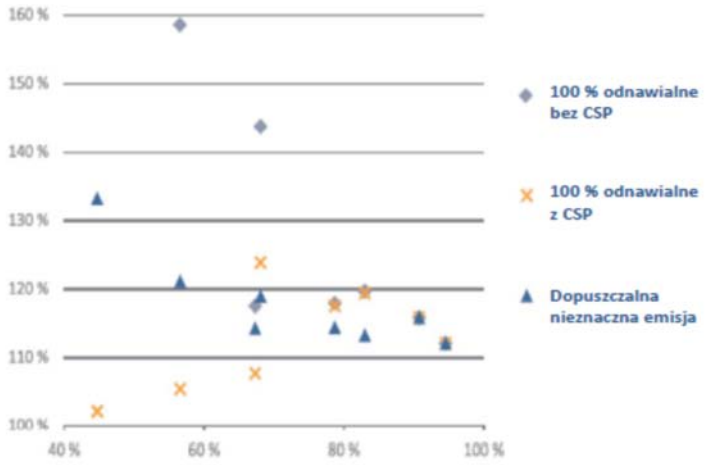
Źródło: Achatech.

Nie wdając się w szczegółowe analizy diagramu (rys. 6) można stwierdzić, że produkcja energii elektrycznej w Niemczech w roku 2050 przewidywana jest średnio na poziomie 600-650 TWh/rok co odpowiada w przybliżeniu produkcji energii elektrycznej w roku odniesienia (2013).

W scenariuszach charakteryzujących się dużą ilością OZE dominuje jako źródło energii elektrycznej w miksie energia wiatrowa, co wynika ze znacznie większej sprawności jej wytwarzania i większej „użyteczności" wyrażonej poprzez dwu, a nawet czterokrotnie wyższą liczbę godzin użytkowania mocy szczytowej w roku w odniesieniu do technologii PV.

Fakt, że dominującą pozycję w przyszłym miksie generacji zajmie energia wiatrowa jest też głównym ogólnym wynikiem badań tego projektu.

Koszty wytwarzania energii są różne dla różnych warunków wstępnych obliczeń (np. stopień redukcja Co_2, koszty poszczególnych technologii itp.), ale generalnie ich wzrost przy zmianie scenariusza z 80% na 100% OZE wynosi ok. 20%, patrz rysunek 7.



Rys. 7. Rezultaty pracy badawczej Acatech. Niemiecki miks energetyczny. Koszty rozwiązania przy założeniu 100% OZE

Źródło: Acatech.

Jest to raczej nieoczekiwanie mały wzrost kosztów, który daje się uzasadnić tym, iż koszty technologii OZE ulegać będą prawdopodobnie w perspektywie 20-30 lat dal-

szemu zmniejszeniu. Jak już wspomniano, metodologia badań i dokładne wyniki obliczeń mogą być prześledzone na podstawie raportów, które zawarte są na stronie domowej Acatech.

Fakty i mity transformacji energetycznej

Transformacja energetyczna w Niemczech jest subwencjonowana przez państwo

Istnieją dwie metody subwencjonowania przez Państwo – bezpośrednia i pośrednia. Bezpośrednia subwencja jest dokonywana wtedy, gdy obywatele są poinformowani o celu, na który zostaje zbierany odpowiedni podatek i gdy państwo z tej części podatku się rokrocznie rozlicza. Subwencja pośrednia oznacza, że rząd decyduje sam lub przez ustawy sejmu o przeznaczeniu części generalnego podatku na jakiś cel.

Transformacja energetyczna w Niemczech jest finansowana przez subwencję bezpośrednią na podstawie transferu należności wynikającej z prawa EEG pomiędzy operatorem systemu (w sytuacji niemieckiej mamy czterech niezależnych operatorów systemu) a producentami energii. Ciężar odpowiednich opłat jest ponoszony przez wszystkich użytkowników energii elektrycznej w postaci odpowiedniego opodatkowania zakupu energii. W dużej części przemysłowi odbiorcy energii są zwolnieni z tego podatku. Można więc powiedzieć, że transformacja energetyczna w Niemczech nie jest subwencjonowana przez państwo a jej koszty ponoszą bezpośrednio obywatele, którzy się na to zgadzają. Należy podkreślić, że rozwiązanie to jest też często silnie krytykowane w Niemczech.

Koszty transformacji energetycznej można podzielić na koszty rozwoju nowych technologii (b. wysokie) i koszty transformacji systemu elektroenergetycznego w celu pełnej integracji OZE

Do dziś Energiewende kosztowała około 200 mld € (ok. 900 mld zł), a oczekiwane przyszłe koszty wynoszą ok. 550 mld €[1]. Są to znaczne sumy, rozpatrywane jednak w czasie pozwalają na zrównoważoną ocenę wydatków i zysków. Rozpatrując konieczność odnowienia systemu wytwórczego o mocy 90-100 GW w Niemczech w najbliższych latach, należy się liczyć z kosztami, które z uwzględnieniem również kosztów paliwa są zbliżone lub nawet przekraczają koszty transformacji energetycznej.

[1] Szacunek autorów na podstawie wiedzy eksperckiej.

Bezpieczne prowadzenie systemu elektroenergetycznego z 80%, a w szczególności 100% OZE, jest niemożliwe

Ten argument był używany we wczesnej fazie transformacji energetycznej, początek lat 2000 w postaci pytania: jaki maksymalny procent OZE można zintegrować z siecią bez szkody dla bezpiecznego prowadzenia ruchu systemu elektroenergetycznego?

Oczekiwana odpowiedź była 10-15%. Dzisiaj udział OZE w miksie energetycznym wynosi w Niemczech średnio 30%, a czasami w niedziele przy słonecznej i wietrznej pogodzie zdarza się i 80 % udziału OZE. Jak to jest możliwe, można by się zapytać, ponieważ do dziś nie wydarzył się żaden blackout?

Okazuje się, że potrzeba jest matką wynalazku: poprawiono więc techniki prognozowania generacji z odnawialnych źródeł energii, „elastyczność" konwencjonalnych elektrowni i wzmocniono połączenia sieciowe.

Transformacja energetyczna jest dokonywana w Niemczech, koszt jej ponosi jednak cała Europa

Niemcy postawiły sobie bardziej ambitne plany klimatyczne niż niektóre inne kraje. Niemcy i Dania zdecydowały się na transformację systemów energetycznych z różnych powodów (głównie w wyniku protestów społeczeństwa), ale w sumie to te właśnie kraje poniosły największe koszty pionierskiego rozwoju technologii odnawialnych generacji. Inne gospodarki profitują dziś z tego, że koszty generacji odnawialnej są konkurencyjne a czasami nawet mniejsze niż koszty generacji konwencjonalnej. Można więc skonstatować, że Europa korzysta z transformacji energetycznej, w szczególności jeżeli chodzi o osiąganie celów zmniejszenia emisji poprzez redukcję kosztów OZE i ich niezawodność. Rozwój OZE wymaga jednak dalszych starań w kierunku wzmocnienia sieci przesyłowych i odpowiedniego wyważenia mechanizmów rynkowych, które to jest możliwe tylko w europejskim wymiarze.

Transport z południa na północ energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii na terenie Niemiec, głównie elektrowniach wiatrowych, odbywa się częściowo przez polskie sieci i przeciąża polski system przesyłowy

Połączone systemy elektryczne, do których należy również system polski od roku 1993, działają według praw fizyki. Jako żart mówi się, że wszystkie prawa mogą być zmienione

przez parlament. Niestety nie dotyczy to praw fizyki, dlatego też znaczące przepływy mocy między północą i południem Niemiec powodują przepływy mocy w równoległych sieciach polskich z północy na południe. Nie wdając się w szczegóły, sieci polskie są w takiej sytuacji przeciążone. Jedyną możliwością zmiany tej sytuacji jest zastosowanie specjalnych technicznych urządzeń pozwalających nie na zmianę praw fizyki tylko na kontrolę przepływów.

Jedną z tych metod jest przesyłanie energii za pomocą prądu stałego. Takie rozwiązania są obecnie w stadium realizacji na terenie Niemiec (patrz rys. 8). Innym rozwiązaniem jest również zastosowanie specjalnych transformatorów tzw. przesuwników fazowych. To rozwiązanie znajduje się obecnie również w stanie realizacji. Ostateczną możliwością jest rozcięcie połączeń elektrycznych między Polską i Niemcami. To niekorzystne dla wymiany energii rozwiązanie także jest brane pod uwagę w analizach[2]. Podane możliwości podkreślają, że tylko rzeczowa analiza sytuacji może prowadzić do jej rozwiązania i podkreślają, że prawa elektrotechniki w Polsce i w Niemczech są takie same.

Rys. 8. Narodowy plan rozbudowy sieci przesyłowej NEP. Jeden ze scenariuszy
Źródło: [2].

[2] W ostatnich dniach ogłoszono, że połączenie systemów elektroenergetycznych niemieckiego z polskim na sprzęgle Krajnik-Vierraden zostanie – ze względu na prace sieciowe – otwarte do roku 2018 [1].

Na marginesie sprawy, by uzmysłowić sobie skalę problemu, należy podkreślić, że sytuacje stresowe w sieci występowały przez około 131 godzin w ciągu 4 miesięcy badań (od stycznia do kwietnia 2013) (ok. 7% czasu) i dotyczyły przesyłów o średniej mocy ok. 700 MW, co w skali polskiego systemu energetycznego wynosi mniej niż 5%.

W każdym jednak przypadku, jeżeli wystąpią te przepływy w niekorzystnym dla polskiego systemu czasie, wynikające z nich zagrożenie może być znacznie większe niż pokazują to wyżej podane liczby. Również rzeczywista sytuacja uległa w ostatnich latach zaostrzeniu.

Podsumowanie

Energiewende oznacza transformację systemu energetycznego w Niemczech od stanu dzisiejszego (lub lepiej stanu z XX wieku) do takiego, w którym nie będą używane technologie węglowe i gazowe. Ten proces transformacji rozpoczął się w 80. latach ostatniego stulecia. Jednak dopiero około roku 2000 okazało się, iż takowe przekształcenie systemu jest możliwe biorąc pod uwagę warunki technologiczne, ekonomiczne i w szczególności utrzymanie wysokiego bezpieczeństwa pracy systemu energetycznego.

Proces transformacji można podzielić na trzy okresy:

- rozwój technologii;
- integracja systemowa;
- nowy system.

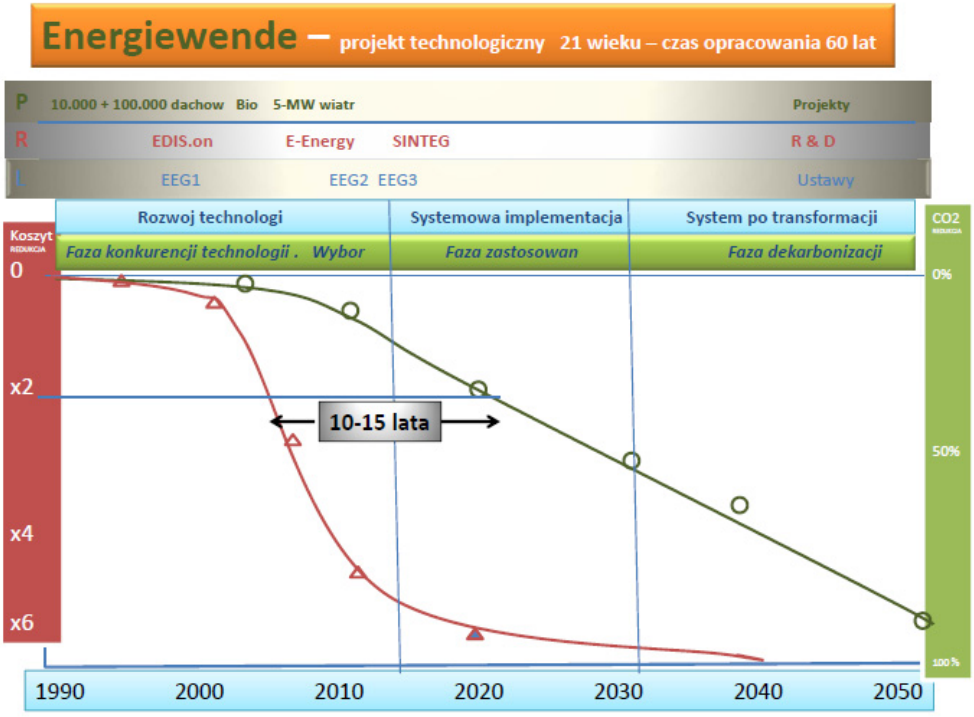
Z każdym z tych procesów związane są rozległe ryzyka i możliwości niepowodzeń wynikające z przeróżnych czynników jak np. technicznych (zawodność rozwiązań), ekonomicznych (za wysokie koszty) czy socjologicznych (brak akceptacji społecznej), które stale jeszcze muszą być uwzględniane w odpowiednich działaniach.

W Niemczech ryzyko niepowodzenia transformacji energetycznej jest stale minimalizowane poprzez rozliczne dodatkowe działania rządu w zakresie współpracy ze społeczeństwem, monitorowanie opinii publicznej i projekty badawcze. Ważne jest przy tym, że system federalny w Niemczech daje krajom związkowym dużą swobodę w zakresie planowania rozwoju OZE i kształtowania mechanizmów wsparcia. Przykładowo w Bawarii rozwinęły się małe biogazownie, w Dolnej Saksonii, Brandenburgii duże.

Dzisiaj Energiewende znajduje się definitywnie w drugiej fazie rozwoju (patrz rysunek 9), w której po wyborze głównych wiążących technologii przyszłego systemu, do których to należą energia wiatru i ogniwa fotowoltaiczne, są testowane możliwości pełnej integracji w ramach pięciu wiodących projektów. Również Polska jest włączona

w jeden z nich o nazwie WindNODE (Węzeł Wiatr w północnych Niemczech). Ten projekt obejmuje całą strefę działania operatora systemowego 50 Hz Transmission (ok. 17 GW). Wyniki badań w tych projektach oczekiwane są w latach 2020-2022 i będą miały one decydujący wpływ na dokładniejsze wymiarowanie przyszłego systemu energetycznego, miksu energetycznego, nowych definicji marginesów bezpiecznej pracy i standardów technik komunikacyjnych łącznie ze zdefiniowaniem niezbędnego poziomu bezpieczeństwa przesyłu informacji (*cyber security level*).

W tym zakresie kraj związkowy Saksonia-Anhalt odgrywa i będzie dalej odgrywać ważną rolę jako poligon doświadczalny przyszłych rozwiązań systemowych.



Rys. 9. Fazy transformacji energetycznej – „Energiewende". Rysunek poglądowy

Źródło: ZERE 2016.

Przyglądając się rysunkowi 9 można zauważyć, że różnica czasowa pomiędzy wprowadzeniem wielu nowych rozwiązań prawnych i technicznych a ich wpływem na kształtowanie systemu opisane poprzez rozliczne czynniki, w tym przypadku emisję CO_2, wynosi od 10 do 20 lat. **I przez minimum tyle czasu potrzeba entuzjazmu i konsekwencji, by zainicjować i doprowadzić do końca takie przedsięwzięcie jak Energiewende**.

Literatura

[1] *Ważny krok w kierunku uregulowania przepływów mocy pomiędzy systemami elektroenergetycznymi Polski i Niemiec*, http://www.pse.pl/index.php?dzid=14&did=2909

[2] http://www.netzentwicklugsplan.de

Literatura polecana przez autorów dla pogłębienia wiedzy o transformacji energetycznej Energiewende

A. Stanowiska polskie

Jan Popczyk, *Praca i wiedza zamiast gigantycznych inwestycji*, Centrum Strategii Energetycznych, http://cse.ibngr.pl/praca-i-wiedza-zamiast-gigantycznych-inwestycji/

Grzegorz Wiśniewski, *Dylematy strategiczne sektora odnawialnych źródeł energii*, „Energetyka – Społeczeństwo – Polityka" 2015, nr 1, http://energetyka-collegium.pl/wp-content/uploads/2015/09/ESP_2015_01_str_37.pdf

B. Problemy techniczne

Bernd M. Buchholz, Zbigniew A. Styczyński, *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*, Springer Verlag, 2014, http://www.springer.com/gp/book/9783642451195

Virtual Phase Shifter vPST. Wirtualny przesuwnik fazowy. Raport z doświadczeń, 2013, https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwiKidD3_tHLAhWEThQKHQYIBtEQFgg1MAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.50hertz.com%2FPortals%2F3%2FContent%2FDokumente%2FAnschluss-Zugang%2FEngpassmanagement%2FvPST-pilot-phase-report-2014.pdf&usg=AFQjCNGsTcChQrp1WvYRAZObVRAH7Def_g

Wtyczka Mennekes – standard dla aut elektrycznych, http://www.mennekes.de/en/stecker_gmbh0.html

C. Aktualne dane

Acatech: Miks energetyczny w Niemczech w 2050, opracowanie Akademii Nauk Niemiec 2015

a. Wersja angielska: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/Stellungnahme_Flexibility_concepts.pdf
b. Wersja niemiecka (pełna): http://www.acatech.de/de/publikationen/studie.html

50 Hz Transmission: Aktualne dane o sytuacji sieciowej. Obciążenie sieci w skali godzinowej na mapie sieciowej, http://www.50hertz.com/Netzlast/Karte/index.html

Generacja w strefie operatora sieciowego 50Hz, http://www.50hertz.com/de/Kennzahlen/Netzeinspeisung

Energiewende: Strona monitorująca Ministerstwa Gospodarki i Energetyki Niemiec, (BMWE), http://www.bmwi.de/EN/root.html

Koszty Energiewende, Fraunhofer 2015, https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-was-kostet-die-energiewende.pdf

Koszty Energiewende, BMWE, https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Statische-Seiten/Breg/Energiekonzept/0-Buehne/kosten-nutzen-energiewende.html