



# ENERGETYKA JĄDROWA

## KONIECZNYM ELEMENTEM ELEKTROENERGETYKI POLSKIEJ

Wobec konieczności przekształcenia energetyki polskiej z węglowej na niskoemisyjną warto się zastanowić, jaką drogą mamy iść: czy budować elektrownie wiatrowe i słoneczne, czy też elektrownie jądrowe?



## Andrzej Strupczewski

Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku

**E**lektrowni jądrowych w Polsce potrzebujemy – przy racjonalnych kosztach – by pokryć rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, ponieważ:

- dalszy rozwój gospodarczy kraju wymaga zwiększenia podaży energii elektrycznej, której zużycie w Polsce należy do najniższych w Unii Europejskiej,
- konieczne jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla,

- wyczerpują się zasoby paliw kopalnych, w szczególności w Polsce operatywne zasoby węgla wystarczą na 20–30 lat,
- rosną koszty pozyskania i ceny paliw kopalnych:
  - wydobycie węgla kamiennego z roku na rok spada przy rosnących kosztach,
  - polski węgiel jest obecnie niekonkurencyjny z powodu wysokich kosztów wydobycia i transportu,
  - rośnie import węgla kamiennego, głównie z Rosji;
- polskie elektrownie węglowe są już stare i w ciągu najbliższych 10–20 lat będą wycofywane z eksploatacji,
- zanieczyszczenia powietrza powodowane przez spalanie węgla skutkują szkodami zdrowotnymi i skróceniem życia Polaków,
- zaostrzane przez UE normy emisji: dwutlenku siarki, tlenków azotu i pyłów, a także rtęci, powodują konieczność kosztownych modernizacji lub wycofywania z ruchu starych elektrowni węglowych,
- elektrownie jądrowe wytwarzają energię elektryczną taniej niż inne źródła niskoemisyjne.

A przede wszystkim dlatego, że wobec perspektywy wprowadzenia dużych mocy generowanych w niestabilnych i niesterowalnych źródłach energii, tj. w elektrowniach wiatrowych i słonecznych, konieczne jest posiadanie elektrowni jądrowych, zapewniających niezawodne wytwarzanie energii elektrycznej przez 24 godziny na dobę i przez siedem dni w tygodniu.

Energia elektryczna jest najbardziej nietrwałym towarem, musi zostać wytworzona dokładnie w tym momencie, gdy jest potrzebna. Podstawą bezpiecznej pracy systemu elektroenergetycznego jest więc zapewnienie równowagi między zapotrzebowaniem na moc elektryczną a dostępną mocą źródeł wytwórczych. Podstawowe znaczenie dla zapewnienia bezpiecznej i stabilnej pracy systemu mają moc i stan techniczny jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych. Tymczasem znaczna ich liczba, o łącznej mocy około 10 GW, pracuje w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) już ponad 40 lat, a czas ich pracy przekroczył 200 tys. godzin na jednostkę. Dlatego w najbliższych latach należy się spodziewać wycofywania znacznej ich liczby z ruchu lub odstawiania do modernizacji.

Jednocześnie stale rośnie moc rozproszonych źródeł wytwórczych, szczególnie wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE), których praca (moc) jest zależna od warunków meteorologicznych.

Co więcej, przy projektowaniu systemu elektroenergetycznego nie można liczyć ani na moc maksymalną, ani nawet na moc średnią OZE. Żeby zapewnić pokrycie potrzeb odbiorców w Polsce, będą potrzebne źródła gwarantujące stabilną pracę, których



### dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ

Jest przewodniczącym Komisji Bezpieczeństwa Jądrowego w Narodowym Centrum Badań Jądrowych, ekspertem ds. bezpieczeństwa jądrowego Komisji Europejskiej i Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA).  
andrzej.strupczewski@ncbj.gov.pl

moc można regulować tak, by mimo wahań pogody odbiorcy otrzymywali zawsze potrzebną im energię elektryczną.

## Efekt cieplarniany

W ciągu ostatnich 100 lat średnia temperatura przy powierzchni Ziemi wzrosła o prawie 0,8 st. C. Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) twierdzi, że temperatura wzrasta na skutek koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze. IPCC zaleca zmniejszenie ilości tych emisji lub zapobieganie im, a rządy niemal wszystkich krajów zgadzają się z tym stanowiskiem.

Parlament Europejski przyjął rezolucję, która stwierdza, że wszystkie technologie – w tym energetyka jądrowa – są potrzebne dla zwalczania zmian klimatycznych, które zostały określone jako stan zagrożenia światowego. Parlament Europejski „wierzy, że energia jądrowa może odegrać ważną rolę w osiągnięciu celów klimatycznych, ponieważ nie powoduje ona emisji gazów cieplarnianych i może zapewnić znaczącą część produkcji energii elektrycznej w Europie”. UE do 2050 roku zamierza obniżyć emisje gazów cieplarnianych o 80–95 proc. w porównaniu z poziomem z 1990 roku.

Polska zamierza przebudować swój system elektroenergetycznych tak, by osiągnąć neutralność klimatyczną do 2040 roku. System ten będzie opierał się na dwóch filarach. Pierwszym będzie energia nuklearna, pochodząca z sześciu reaktorów o mocy 6–9 GW, które miałyby być uruchamiane od 2033 roku. Drugim filarem miałyby być odnawialne źródła energii. Kluczowe miejsce w tym obszarze ma zająć morska energetyka wiatrowa.

### Czy dobrym rozwiązaniem byłoby zmniejszenie wytwarzania energii elektrycznej?

Taką drogę proponowały nam organizacje antynuklearne podczas konsultacji transgranicznych polskiego programu energetyki jądrowej w latach 2014–2015. Ale okazało się, że w krajach, w których działały te organizacje, zużycie energii elektrycznej na mieszkańca jest dużo większe niż w Polsce. W Niemczech wynosi 6290 kWh/os./rok, w Austrii 8006, w Danii 5720, a w Polsce 4330 kWh/os./rok.

Zużycie energii elektrycznej na osobę w gospodarstwach domowych w Polsce należy do najniższych w UE – za nami jest tylko Rumunia, a we wszystkich pozostałych 24 krajach UE ludzie mają do dyspozycji więcej energii elektrycznej niż my. Widać to z danych Eurostatu, a więc organu statystycznego, niekierującego się w swojej pracy sympatiami lub niechęcią do poszczególnych krajów.

Gdy rozpatrujemy zużycie energii nie tylko w gospodarstwach domowych, ale całkowite dla danego kraju (włącznie z przemysłem, transportem

itd.), to okazuje się, że w grupie państw o wysokim całkowitym krajowym zużyciu energii elektrycznej długość życia ich mieszkańców wynosi od 81,8 (Finlandia 14 732 kWh/os./rok) do 83 lat (Szwajcaria 7091 kWh/os./rok). Z kolei w krajach europejskich o małym zużyciu energii elektrycznej oczekiwana długość życia (tj. statystyczna miara średniego oczekiwanego czasu życia organizmu) wynosi od 74,3 (Litwa 3468 kWh/os./rok) do 75 lat (Rumunia 2222 kWh/os./rok). W Polsce średnia oczekiwana długość życia wynosi 77,5 roku. Widać, że dla zrównania poziomu życia Polaków z wiodącymi krajami UE – a nawet ze średnią UE – musimy zdecydowanie zwiększyć dostępność energii elektrycznej w Polsce.

### Czy możemy obniżyć energochłonność naszego przemysłu?

Zużycie energii elektrycznej na jednostkę DNB mierzonego standardem siły nabywczej (w skrócie PPS, to jest sztuczną jednostką walutową, teoretycznie za jeden PPS można kupić tę samą ilość dóbr i usług w każdym kraju) w Polsce nie odbiega bynajmniej od średniej UE. Jest ono mniejsze niż w Czechach, Austrii, Belgii, Francji czy Słowacji, a nieco większe niż w Niemczech czy Holandii. Tak więc dużego zanieczyszczenia powietrza nad Polską nie można przypisywać niskiej efektywności przemysłu – główną przyczyną wysokiej emisji dwutlenku węgla jest stosowanie węgla jako głównego paliwa w elektrowniach i gospodarstwach domowych.

## Ślady węglowe dla paliw organicznych i technologii niskoemisyjnych

Ślady węglowe paliw organicznych są zdominowane przez emisje wytwarzane bezpośrednio przy spalaniu paliw w czasie eksploatacji elektrowni. Z kolei w przypadku wykorzystania energii słońca i wiatru trzeba uwzględnić emisje pośrednie, powstające we wszystkich stadiach cyklu życiowego „od kulebki do grobu”, a więc nie tylko przy budowie i eksploatacji elektrowni, lecz także podczas wydobywania materiałów konstrukcyjnych i paliw, ich przerobu i transportu oraz podczas ostatecznej likwidacji elektrowni i jej odpadów.

W przypadku wiatru główne emisje wiążą się z produkcją materiałów konstrukcyjnych i betonu na podstawy wiatraków. Chociaż rysunki pokazują wiatraki jako lekkie, ażurowe konstrukcje, to ze względu na ich małą moc jednostkową ilości stali i betonu przypadające na jednostkę produkowanej energii są duże.

Obrazy prezentowane przez przemysł wiatrowy pokazują smukłe wieże lśniące jasno na tle krajobrazu lub prześwitujące w odległych mgłach, pięknie otoczone białymi obłokami. Ale typowa turbina wiatrowa o mocy 1,5 MW pracująca w USA ma wieżę



JAGRAV/SHUTTERSTOCK.COM

o wysokości 80 m, waga wirnika ze skrzydłami i osią wynosi 22 t, gondola z generatorem waży 52 t, a w betonie zbrojonym użytym na budowę wieży jest dalsze 26 t stali zbrojonej i 190 m<sup>3</sup> betonu. Razem potrzeba 100 t stali, by wytworzyć moc nominalną 1,5 MW, a przy współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej 0,34 (osiągalnym tylko w wyjątkowo korzystnych lokalizacjach) rzeczywista moc średnia w ciągu roku to 0,5 MW. Oznacza to 200 t stali na 1 MW mocy średniej. W elektrowni jądrowej z reaktorem EPR o mocy 1600 MWe potrzeba 71 tys. t stali i żelaza, a więc przy współczynniku wykorzystania mocy 0,9 potrzeba 49,3 t/MW mocy średniej w ciągu roku. Cztery razy mniej niż na wiatraki!

Obiektywne porównania charakterystyk elektrowni wiatrowych i jądrowych przeprowadził Instytut Racjonalnego Użytkowania Energii na Uniwersytecie w Stuttgarcie w Niemczech, a w Polsce Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny. Wnioski, które wyciągnięto z badań, są następujące:

- Emisja dwutlenku węgla przy uwzględnieniu całego cyklu budowy i likwidacji elektrowni jest dwukrotnie większa dla energii wiatrowej niż dla elektrowni jądrowej.
- Zapotrzebowanie materiałowe odniesione do całkowitej ilości energii wytworzonej w trakcie cyklu życia w elektrowni jest ponaddwukrotnie większe dla energii wiatrowej niż dla elektrowni jądrowej! Zaskakujący wynik: choć uważa się, że elektrownia jądrowa jest „ogromna i ciężka”, potrzebuje na jednostkę wytworzonej energii elektrycznej niecałą połowę masy materiałów zużywanych na „lekkie” i „przyjazne środowisku” elektrownie wiatrowe.
- Stosunek skumulowanych nakładów energetycznych poniesionych w fazie budowy farmy wiatrowej do całkowitej ilości energii wytworzonej w ciągu całego cyklu życia elektrowni jest 4,5 razy większy dla elektrowni wiatrowej niż dla elektrowni jądrowej.

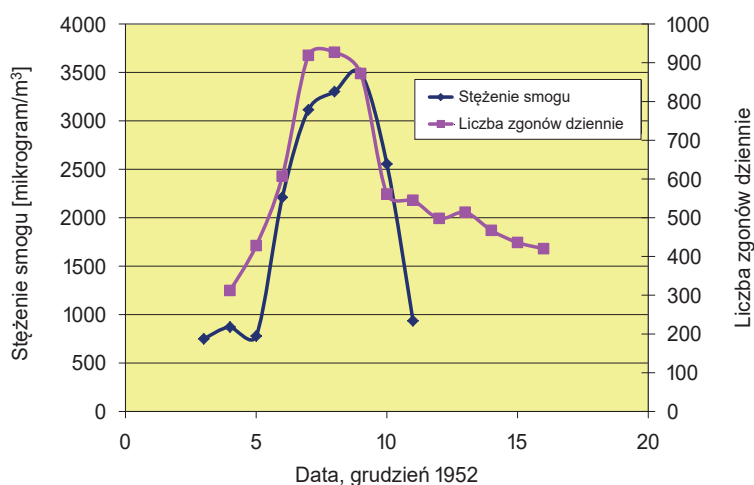
– Zapotrzebowanie na aluminium odniesione do całkowitej mocy zainstalowanej elektrowni jest 75 razy większe dla elektrowni wiatrowej niż dla elektrowni jądrowej.

Takich porównań jest więcej, a wszystkie podobnie niekorzystne dla energii z wiatru. Aluminium zaś warto zapamiętać, bo z jego produkcją wiąże się znaczne emisje zanieczyszczeń powietrza – przed laty w Polsce doprowadziły one do zamknięcia huty aluminium Skawina, bo mieszkańcy Krakowa nie mogli już dłużej znieść zanieczyszczeń powietrza. Jest to dobra ilustracja znaczenia emisji występujących jeszcze przed rozpoczęciem pracy przez elektrownię wiatrową.

## Wpływ metody wzbogacania uranu na emisje dwutlenku węgla

W ocenach emisji dwutlenku węgla dla energetyki jądrowej uwzględnia się emisje przy stosowaniu metody dyfuzyjnej do wzbogacania uranu. Metoda ta była wynaleziona do produkcji uranu wzbogaconego podczas II wojny światowej i używano jej przez 70 lat mimo opracowania nowszych i wydajniejszych metod wzbogacania. Wzbogacanie dyfuzyjne wymaga bardzo dużych zakładów i wielkiego nakładu energii, a z tym wiąże się duża emisja gazów cieplarnianych. Metoda wirówkowa jest znacznie efektywniejsza i emisje gazów cieplarnianych są przy jej stosowaniu około 20 razy mniejsze. Jest już szeroko używana i oczekuje się, że w najbliższych latach stare zakłady dyfuzji gazowej przestaną pracować, a na ich miejsce wejdą nowe metody wzbogacania – wirówkowa, laserowa i inne.

Smog nad Krakowem,  
styczeń 2017 rok



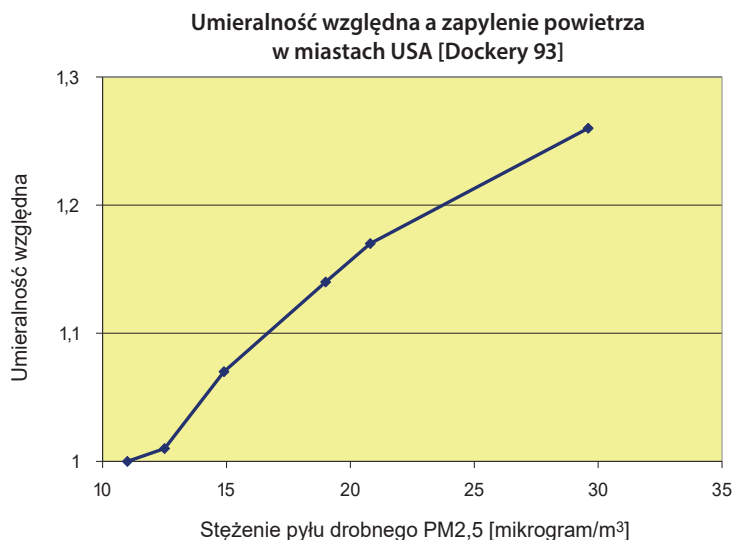
Rys. 1  
Zanieczyszczenie powietrza i liczba zgonów, Londyn, grudzień 1952 roku. Dane z Lipfert 1994, rysunek własny

Jak widać, energetyka jądrowa jest niewątpliwie najlepszą drogą do redukcji emisji dwutlenku węgla. Ale te emisje – obecnie będące w centrum uwagi – nie są jedynym powodem do zmartwienia przy ocenie zanieczyszczenia atmosfery w Polsce.

## Zanieczyszczenia atmosfery w Polsce i ich wpływ na zdrowie

Niezależnie od problemu redukcji emisji dwutlenku węgla Polacy muszą zdawać sobie sprawę, że zanieczyszczenia powietrza pyłem, dwutlenkiem siarki, tlenkami azotu i benzo[a]pirenem są bezpośrednim zagrożeniem dla ich zdrowia. Pył zawieszony składa się z mieszaniny substancji organicznych i nieorganicznych. Może zawierać substancje toksyczne, takie jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (np. rakotwórczy benzo[a]piren), metale przejściowe i ciężkie oraz ich związki, a także dioksyny i furany. Pył PM10 to cząstki o średnicy mniejszej niż 10 mi-

Rys. 2  
Umieralność względna w funkcji stężenia pyłu drobnego PM2,5. Dane z Dockery 93, rysunek własny



krometrów (około jednej piątej grubości ludzkiego włosa), które mogą docierać do górnych dróg oddechowych i płuc.

Jeszcze bardziej niepokojącą sytuacją można zaobserwować, jeśli chodzi o drobniejszą frakcję pyłu, PM2,5. Jest szczególnie szkodliwy dla zdrowia, gdyż ze względu na mały rozmiar jego cząstki mogą docierać do pęcherzyków płucnych, skąd mogą dalej przenikać do krwiobiegu. W pierwszej połowie XX wieku nie zwracano uwagi na zanieczyszczenie powietrza, ale po „epizodzie” w Londynie w 1952 roku, kiedy to wraz z rosnącym zanieczyszczeniem powietrza rosła liczba zgonów – co przedstawiono na rys. 1 – podniesiono alarm.

W okresie zaledwie tygodnia wzrost stężenia pyłu, sadzy i dymu w wilgotnym powietrzu, nazwanych łącznie smogiem (*smoke + fog*), spowodował śmierć 4000 osób, a ciężkie powikłania zdrowotne wśród wielu tysięcy. Późniejsze badania wykazały, że choroby dróg oddechowych i zgony są powodowane nie tylko przez sporadyczne wysokie stężenia zanieczyszczeń, lecz także przez niższe stężenia występujące w sposób ciągły.

Badania w miastach na równinach amerykańskich, przeprowadzonych przez Douglasa Dockery’ego, wykazały zaskakująco duży wpływ na zdrowie nawet takich stężeń zanieczyszczeń, które leżały poniżej progów ustalonych przez Światową Organizację Zdrowia jako dozwolone.

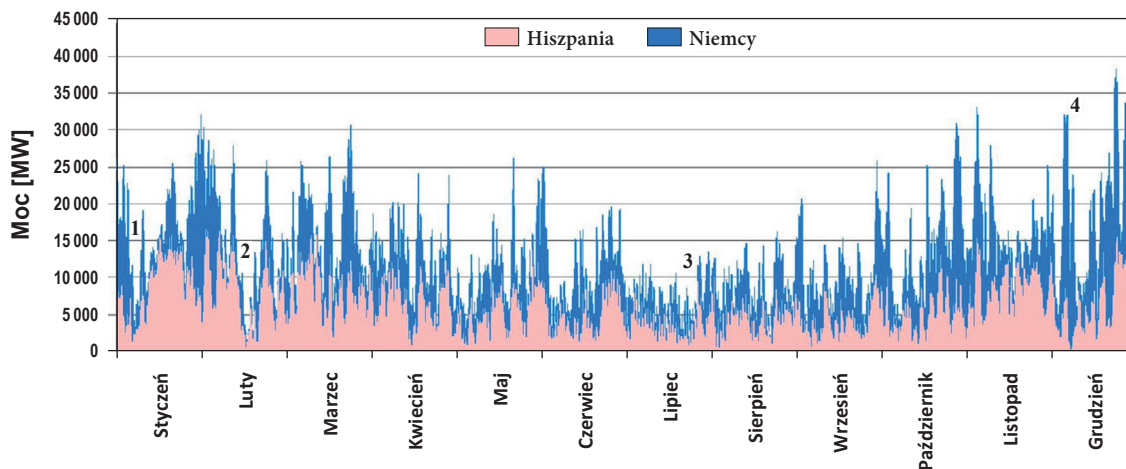
Jak widać na rys. 2, już przy stężeniu drobnego pyłu PM2,5 wynoszącym 20–30 µg/m<sup>3</sup>, występuje wyraźny wzrost umieralności wśród ludzi. W Polsce wartość średnia PM2,5 w ciągu roku nie może przekraczać 25 µg/m<sup>3</sup>. Niestety, w praktyce wartość ta jest przekraczana w wielu rejonach Polski.

## Czy budowa wiatraków i paneli słonecznych wystarczy?

**Konieczność zapewnienia stabilnego zasilania odbiorców niezależnie od pogody.** Stabilne i dyspozycyjne elektrownie jądrowe powinny być w miksie energetycznym, by zapewnić ciągłość zasilania odbiorców, gdy nie wieje wiatr ani nie ma słońca. Doświadczenie z Niemiec i dane pomiarowe z 14 krajów Europy wskazują, że przerwy w generacji energii elektrycznej mogą trwać przez ponad 100 godzin i występują jednocześnie w całej Europie.

**Wahania mocy wiatru.** Wiatr jest bardzo niestabilnym i niesterowalnym źródłem energii. Moc wiatraków rośnie z szybkością wiatru podniesioną do trzeciej potęgi. I tak przy szybkości wiatru 4 m/s otrzymujemy moc 39 W/m<sup>2</sup>, przy szybkości 6 m/s moc rośnie do 132 W/m<sup>2</sup>, a przy szybkości 12 m/s moc wynosi 1058 W/m<sup>2</sup>. Oznacza to, że wszelkie zmiany szybkości wiatru powodują gwałtowne zmiany wielkości mocy przekazywanej z wiatraka do sieci. Stwarza to trudno-

Godzinowa moc wiatru, Hiszpania, Niemcy, 2013



Rys. 3  
Generacja energii elektrycznej w ciągu roku z wiatraków w Hiszpanii i Niemczech w 2013 roku (oprac. R. Schuster, cytowany za pozwoleniem)

ści w zapewnieniu stałego zasilania odbiorców, czyli nie tylko przemysłu, metra czy szpitali, lecz także nas wszystkich, oczekujących, że prąd jest w gniazdku zawsze, gdy chcemy z niego skorzystać.

Niestety, gdy nie ma wiatru w Polsce, nie możemy liczyć na import energii wiatrowej od sąsiadów. Pomiary prowadzone przez niezależne organizacje wykazują, że rejonu małej i dużej siły wiatru występują jednocześnie na dużych obszarach.

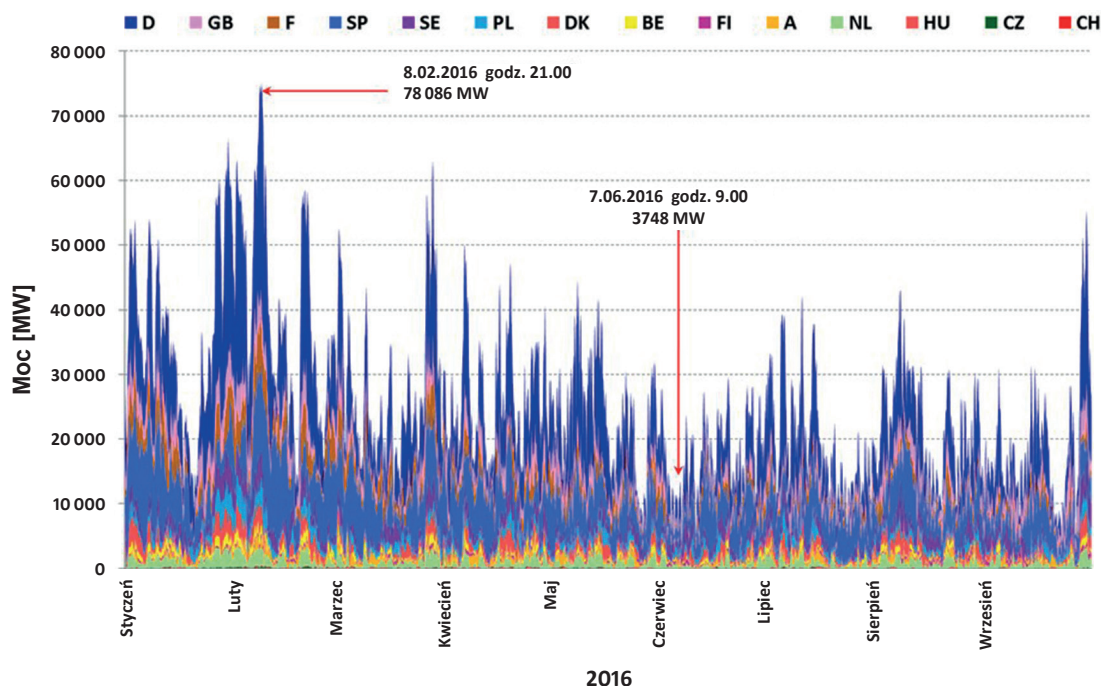
A oto porównanie zmian siły wiatru w ciągu roku w 2 i 14 krajach Europy (rys. 3 i 4), zaczerpnięte z materiałów niemieckiej organizacji pozarządowej Die Bundesinitiative Vernunftkraft e.V.

Jak widać, zwiększanie liczby krajów, z których miałyby być importowana elektryczność, nie wyrównuje zmian generacji energii z wiatru. Moce farm w 14 krajach UE zmieniają się od 3,7 GW do 78 GW! A zmiany występują jednocześnie w całej Europie, od Finlandii do Hiszpanii.

Twierdzenie, że zawsze gdzieś wieje wiatr, jest nieprawdziwe. A gdy we wszystkich 14 krajach łącznie brakuje ponad 74 tys. MW w stosunku do mocy nominalnej – skąd brać energię?

Z rys. 5 widać, że współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej dla wiatru i słońca jest mały. Nie sięga 100 proc. w żadnym momencie, a moc równą

Moc wiatru we wszystkich elektrowniach wiatrowych w 14 krajach europejskich, MW

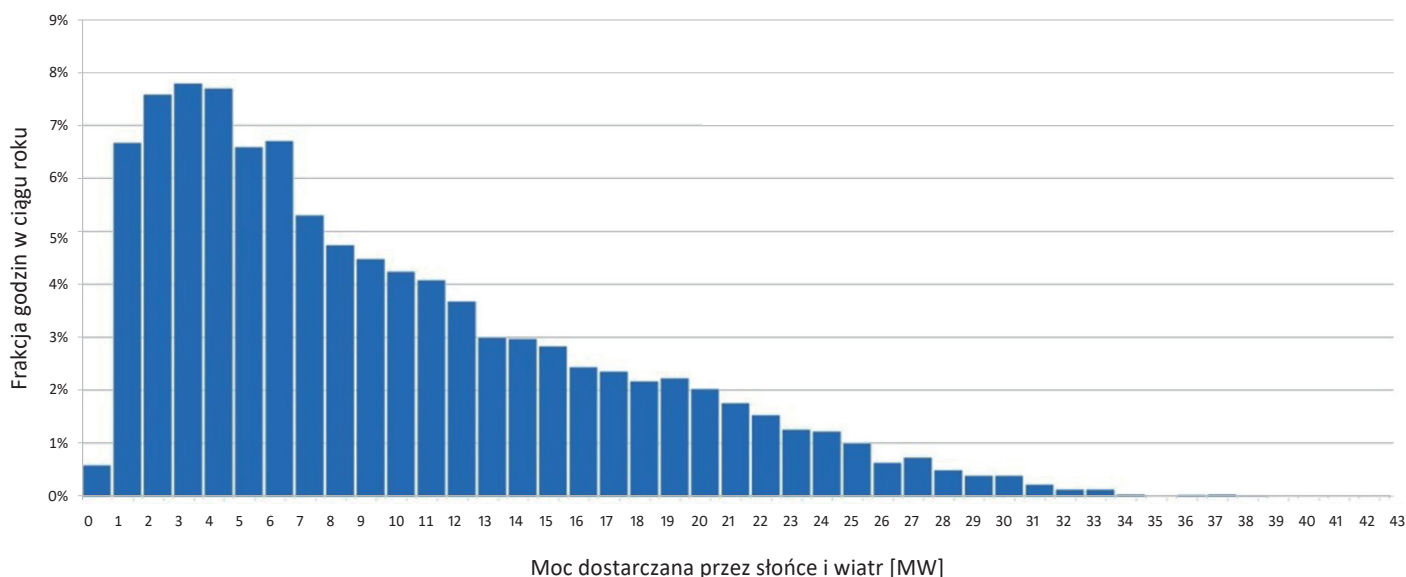


Rys. 4  
Generacja energii elektrycznej w ciągu roku z wiatraków w 14 krajach europejskich (oprac. R. Schuster, cytowany za pozwoleniem)

źródło danych: ENTSOE

dokładność: dane godzinowe

rysunek: Rolf Schuster



Rys. 5  
Czas wykorzystania mocy zainstalowanej w farmach wiatrowych i panelach słonecznych w Niemczech (dane z Instytutu Fraunhofera, rysunek własny)

42 proc. mocy znamionowej (35 GW) osiągnęły wiatraki i panele fotowoltaiczne (pV) w Niemczech w 2014 roku przez jedną godzinę, czyli 0,000114 czasu.

Trzeba więc zapewnić zasilanie rezerwowe ze źródeł o mocy regulowanej, czyli elektrowni systemowych. Wśród nich i węgiel, i gaz powodują emisje dwutlenku węgla. Jedynym źródłem bezemisyjnym są elektrownie jądrowe.

## Elektrownie szczytowo-pompowe

Niewątpliwie magazynowanie energii w elektrowniach pompowo-szczytowych (EPS) jest najtańszym sposobem wyrównania wahań siły wiatru. Oceny ekonomiczne wskazują, że magazynowanie energii w EPS jest od 20 do 50 razy tańsze niż inne działania. Ale możliwości magazynowania energii w polskich EPS to zaledwie około 8 GWh, a budowa nowych jest trudna ze względu na ograniczenia geograficzne i ekologiczne.

### Na ile starczą zapasy energii w hydroelektrowniach w razie ciszy wiatrowej w Polsce?

Przy udziale energii z OZE 18,2 proc., w tym 50 proc. z wiatru, moc wiatraków średnio wyniesie 1,72 GW.

W razie zupełnej ciszy wiatrowej tej mocy zabraknie. Elektrownie pompowo-szczytowe mogą dać 1,75 GW. Ale tylko przez krótki czas.

Łączna moc EPS wynosząca 1,76 GW wystarczy do pokrycia braku wiatru na lądzie przez 4,5 godziny. Potem wszystkie zbiorniki górne w polskich EPS będą puste. I co dalej, przez następne cztery doby?

Budowa wielkich sieci przesyłowych jest kosztowna i sprzeczna z ideałem energetyki rozproszonej, gdzie każdy wytwarza sam potrzebną mu energię elektryczną.

Co więcej, jak widać z rys. 3, 4 i 5 nie jest to wystarczające, bo zmiany mocy wiatru występują na dużych obszarach jednocześnie.

### Koszty zapewnienia ciągłości zasilania odbiorców – ponoszone przez system elektroenergetyczny

Koszty współpracy elektrowni z systemem energetycznym zależą od wielu parametrów, w tym od rozmieszczenia źródeł energii i odbiorców, kosztów budowy linii przesyłowych, oczekiwanych przerw w pracy elektrowni i wymaganego stopnia niezawodności zasilania, a w przypadku OZE – przede wszystkim od ich udziału w bilansie energetycznym danego systemu. Im udział OZE jest większy, tym koszty utrzymania bezpieczeństwa dostaw energii z systemu energetycznego są większe.

Widać to dobrze na przykładzie Niemiec. Zestawienie danych dla tego kraju opracowała komisja Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). Pokazała ona składowe koszty współpracy OZE z systemem energetycznym dla dwóch poziomów udziału w produkcji energii: dla energii jądrowej, węgla, gazu, wiatru na lądzie, wiatru na morzu i energii słonecznej zasilającej ogniwa fotowoltaiczne. Przy przejściu z 10 proc. do 30 proc. OZE koszty współpracy z systemem elektroenergetycznym wzrastają ponad dwukrotnie. Najwyższe koszty stwierdzono dla energii słonecznej – ponad 82 USD/MWh, a niższe dla wiatru na lądzie i morzu – około 43 USD/MWh.

Oczywiście koszty współpracy elektrowni z systemem energetycznym występują także w przypadku elektrowni systemowych, ale są znacznie mniejsze – dla energii jądrowej 2,25, dla węgla 0,97, a dla gazu 0,54 USD/MWh.

### Czy Polska powinna pójść drogą transformacji energetycznej wybraną przez Niemcy?

Zasadniczym problemem, którego nie rozwiążą nawet duże obniżki kosztów budowy wiatraków (a bynajmniej one nie maleją, tak jak to przedstawiają agitato-ry OZE), są przerwy w produkcji energii elektrycznej. Panele fotowoltaiczne przerywają swoją pracę co wieczór, a więc 365 razy w roku, a i w ciągu dnia ich wydajność zmienia się zależnie od zachmurzenia i pory roku. Problemem są też przerwy w pracy wiatraków.

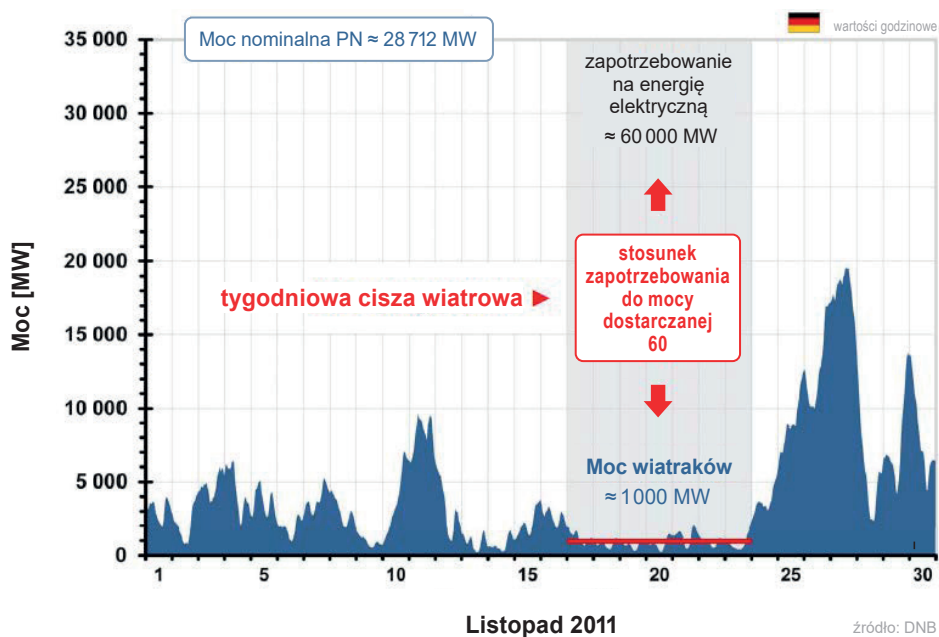
Przerwy w generacji energii elektrycznej z lądowych farm wiatrowych ilustruje rys. 6.

Przy mocy nominalnej wiatraków 28 712 MW (w 2011 roku) moc w ciągu siedmiu dni wynosiła 1000 MW, tj. 3,5 proc. mocy nominalnej.

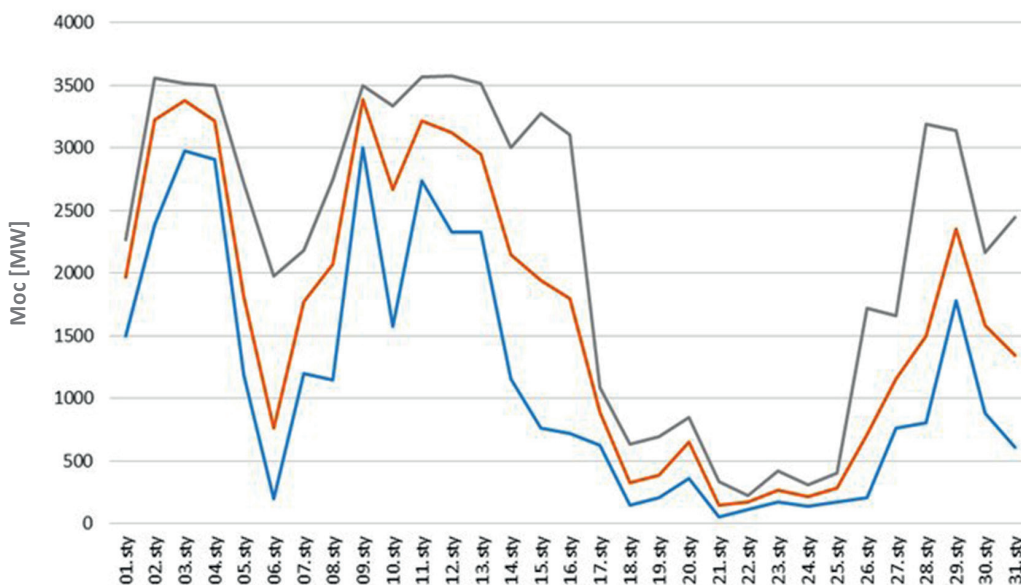
Gdyby udział lądowych farm wiatrowych w wytwarzaniu energii w Polsce wyniósł 16 TWh, to w przypadku przerwy w generacji energii wynoszącej 100 godzin trzeba byłoby dysponować zapasem energii elektrycznej równym  $16\ 000\ \text{GWh} \times 100/8760 = 182\ \text{GWh}$ .

A podobnie jak Niemczech długości ciszy wiatrowej występują oczywiście i w Polsce. Przykład takiego okresu ciszy wiatrowej w Polsce pokazuje rys. 7.

Rozważmy przypadek udziału morskich farm wiatrowych (MFW) w generacji energii elektrycznej wynoszącego 40 TWh rocznie, z przerwą w pracy MFW przez 130 godzin, jak zdarzyło się 4 maja 2018 roku od godz. 9.00 do 9 maja 2018 roku do godz. 19.00, gdy średnia moc spadła do 0,3 proc. mocy nominalnej, jak widać na rys. 8.

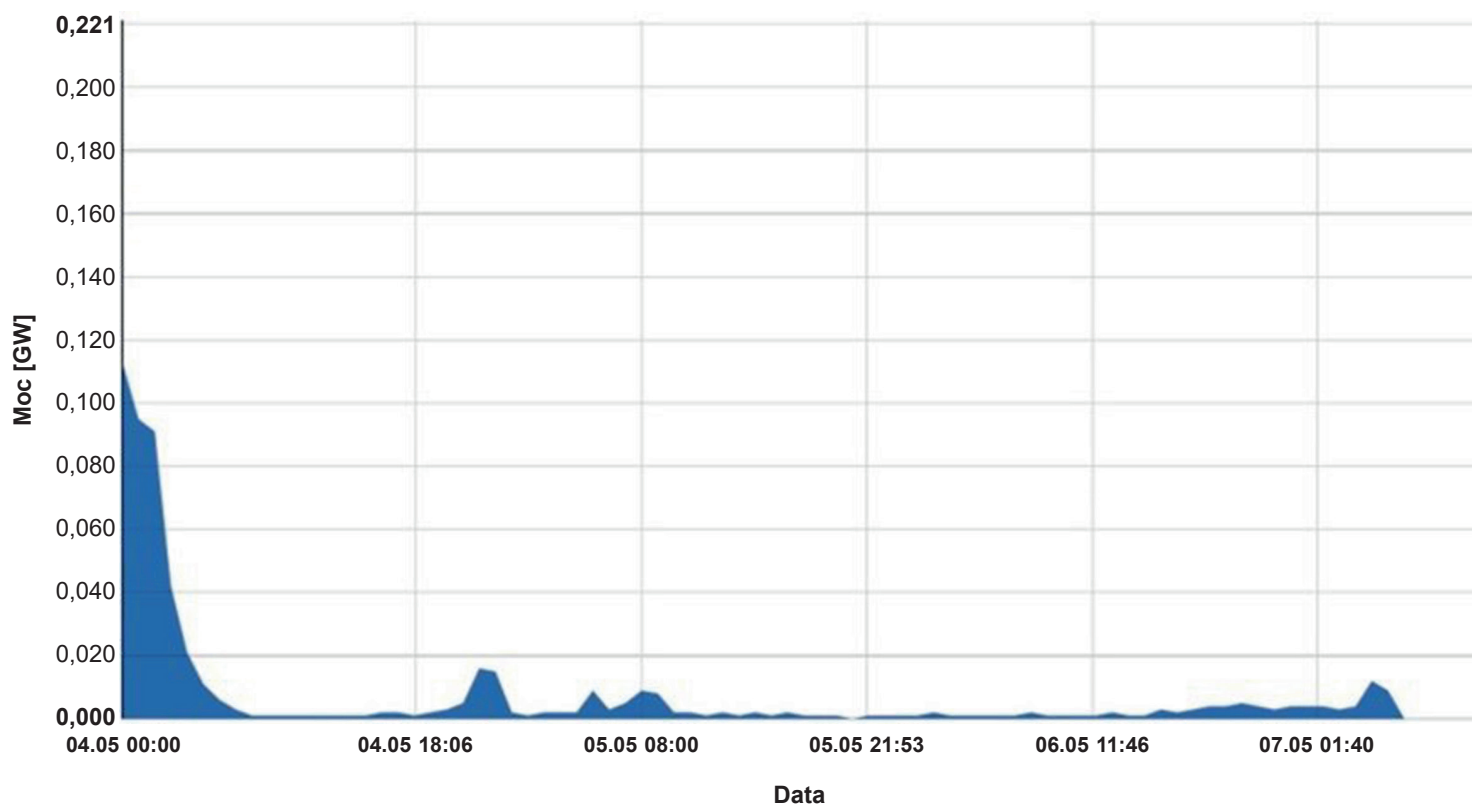


Rys. 6  
Przerwa przez siedem dni i nocy w wytwarzaniu energii z wiatraków na lądzie w Niemczech



Rys. 7  
Przykład okresu ciszy wiatrowej w Polsce





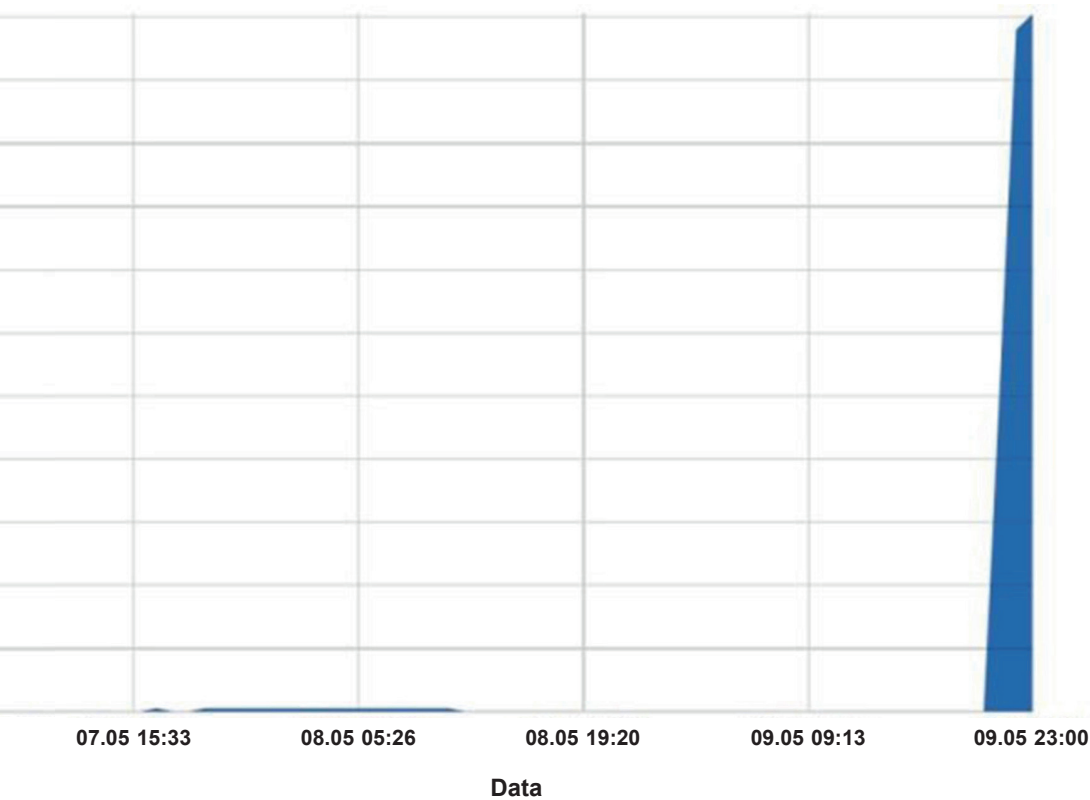
Załóżmy, że średnia moc MFW wyniesie 1 proc. mocy nominalnej przez 130 godzin. Zabraknie wtedy energii  $40\,000/8760 \times 130 \text{ h} \times 0,99 = 587 \text{ GWh}$ . Oznacza to konieczność posiadania zmagazynowanej energii 587 GWh. Tymczasem możliwości magazynowania energii w elektrowniach pompowo-szczytowych w Polsce to około 8 GWh.

Równoważenie wahań mocy wiatru jest kosztowne. A koszty wyrównywania luk w zasilaniu energią musi pokrywać system energetyczny. Oznacza to konieczność utrzymywania w ruchu lub w gotowości do pracy elektrowni rezerwowych, które można szybko uruchomić, by wyrównać brak wiatru. Jednocześnie sieć przesyłowa musi być rozbudowana tak, by mogła przyjąć maksymalną moc źródeł niesterowalnych. W sumie utrzymywanie drugiego systemu energetycznego o mocy wystarczającej na pokrycie potrzeb całego kraju jest kosztowne, a wobec tego, że te elektrownie rezerwowe pracują na małej mocy lub są na biegu luzem, ich sprawność jest mała, a emisje przypadające na jednostkę energii większe, niż byłyby przy pracy na pełnej mocy.

Przykładem w wielkiej skali jest doświadczenie Niemiec. Na początku transformacji w 1998 roku koszty systemu wynosiły tylko 2,3 mld euro, a lider Partii Zielonych, Jürgen Trittin, obiecywał, że koszt subwencji na OZE wyniesie tyle, ile kosztuje porcja lodów na osobę – 1 euro miesięcznie. W rzeczywistości to obciążenie szybko rosło. Gdy operator sieci energetycznej w Niemczech oznajmił 23 paździer-

nika 2012 roku, że na subsydia dla zielonej energii w 2013 roku potrzeba ponad 20 mld euro, dla społeczeństwa był to szok. Oburzone organizacje przemysłowe oświadczyły, że ciężar subsydiów dla zielonej energii „osiągnął poziom trudny do zaakceptowania, grożący ucieczką przemysłu z Niemiec”. Politycy, przemysłowcy i zieloni lobbyści dyskutowali, kogo winić za tę sytuację. A tymczasem zaniżone prognozy są publikowane nadal. Prognozy opracowane przez państwowe instytuty są przedstawione na rys. 9. Według nich w 2020 roku, 22 lata po pięknych obietnicach Partii Zielonych, Niemcy mieli dopłacać do OZE około 29 mld euro rocznie. Ale i te prognozy okazały się mylne. Według najnowszych danych ze stycznia 2021 roku niemieccy operatorzy sieci podali, że w zeszłym roku dopłacono do produkcji mocy z OZE nie 29,11 mld, lecz rekordowe 30,9 mld euro.

Dzisiaj wystarczy zajrzeć do danych publikowanych przez Eurostat, by przekonać się, że Francuzi – opierający swoją energetykę na elektrowniach jądrowych – płacą około 17 eurocentów za 1 kWh, a Niemcy i Duńczycy, stawiający na rozwój OZE, płacą około 30 eurocentów/kWh. W skali całego państwa Niemcy dopłacają do OZE około 30 mld euro rocznie i wcale nie widać końca tych dopłat. Przy ludności Niemiec liczącej 80 mln osób oznacza to, że każdy mieszkaniec Niemiec ponosi rocznie koszty w wysokości 375 euro. Czy czytelnicy pięknych twierdzeń, że wiatr wieje za darmo, zdają sobie sprawę, że za nimi kryje



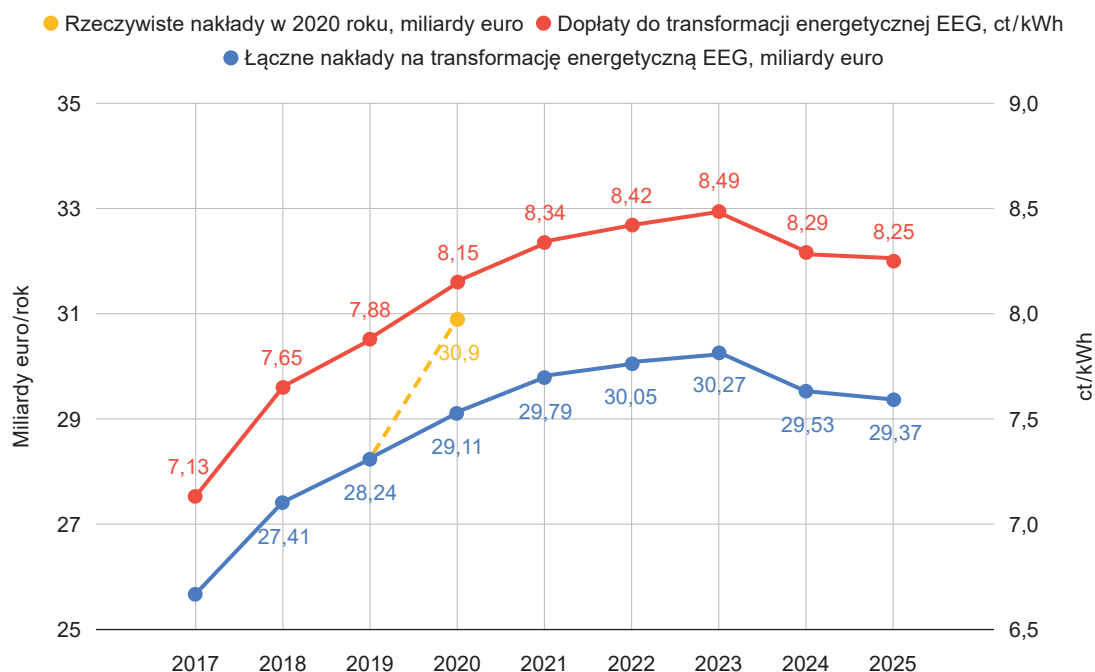
Rys. 8  
Moc morskich farm wiatrowych MFW na Bałtyku.  
Rysunek własny,  
źródło: dane dla MFW Baltic 1 i 2

[https://energy-charts.info/charts/power/chart.html?l=de&c=DE&year=2017&interval=week&week=18&source=wind\\_offshore\\_unit](https://energy-charts.info/charts/power/chart.html?l=de&c=DE&year=2017&interval=week&week=18&source=wind_offshore_unit)

się perspektywa, że każda polska czteroosobowa rodzina będzie dopłacać rocznie 1500 euro  $\times$  4,4 zł/euro = 6600 zł? I czy Polacy są gotowi na takie wydatki, by móc szczerzyć się, że popierają rozwój OZE?

Specjaliści nie mają wątpliwości, że do końca dekady na użytkową skalę nie pojawi się technologia pozwalająca magazynować prąd uzyskany z OZE.

Dopóki jej nie ma, należy utrzymywać, unowocześniać i rozwijać energetykę sterowalną, opartą na węglu, gazie i atomie. Polska potrzebuje taniej i czystej energii jądrowej. Najwyższa pora, by nie kierować się uprzedzeniami i fałszywymi twierdzeniami przeciwników energii jądrowej, lecz opierać swoje decyzje na faktach. ■



Rys. 9  
Przewidywane przez instytuty niemieckie łączne subwencje dla OZE i indywidualne dopłaty do ceny energii a rzeczywiste łączne subwencje w 2020 roku