

Energetyka jądrowa – najlepsza droga do czystego powietrza i bezpieczeństwa energetycznego.

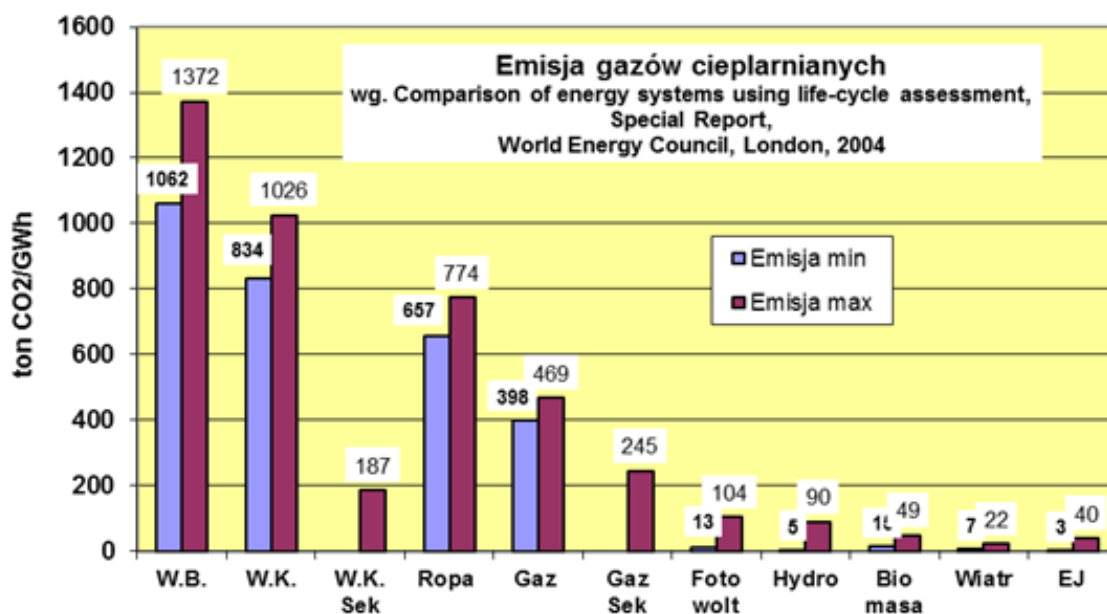
Andrzej Strupczewski¹, Jerzy Lipka²

1. Zmiany klimatu i postanowienia Konferencji COP 21 w Paryżu.

Konferencja COP 21 w Paryżu ustaliła, że wspólnym celem dla wszystkich krajów jest jak najszybsze osiągnięcie szczytu emisji gazów cieplarnianych oraz osiągnięcie równowagi pomiędzy źródłami i pochłaniaczami gazów cieplarnianych w drugiej połowie tego wieku. Oznacza to, że od 2050 r. światowa gospodarka powinna być zeroemisyjna.

Ma to na celu utrzymanie wzrostu temperatury na świecie „znacznie poniżej” 2 st. C oraz podjęcie wysiłków w celu ograniczenia go do 1,5 st. C.

Głównym organem ONZ do spraw zmian klimatu jest Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu, (w skrócie IPCC) – naukowe i międzyrządowe ciało doradcze opracowujące kolejne raporty o stanie i przewidywanych zmianach klimatu. IPCC stwierdziło, że energetyka jądrowa jest głównym niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej na świecie i jest niezbędna dla realizacji postanowień dotyczących redukcji emisji CO₂. Potwierdza to rys. 1 opublikowany przez Światową Radę Energetyki.



Rys. 1 Emisje gazów cieplarnianych w całym cyklu paliwowym dla różnych źródeł energii.

2. Rosnące zapotrzebowanie energii elektrycznej w Polsce i rola węgla.

Zużycie energii elektrycznej w Polsce wzrosło ze 135,3 TWh w roku 1990 do poziomu 168,1 TWh w roku 2017. Zapotrzebowanie w szczycie również ma tendencję wzrostową i wyniosło w 2017 roku 26,3 GW. W roku 2040 według przewidywań będzie to już 38,5 GW. Energii brakuje głównie latem

¹ Dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ, wiceprezes Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN,

² mgr inż. Jerzy Lipka, Prezes Stowarzyszenia Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej

(klimatyzacja, wysychanie rzek) i w czasie ostrzejszych mrozów, bezwietrznych dni zimą, gdy energetyka wiatrowa a także słoneczna są w dużej mierze bezużyteczne.

Zużycie energii elektrycznej rosnąć musi, jeśli nasz kraj ma się cywilizacyjnie rozwijać. Dziś jej udział w Polsce jest i tak znacznie mniejszy niż w krajach wyżej rozwiniętych. W przeliczeniu na mieszkańca zużywamy 4 razy mniej energii niż Skandynawowie, dwa razy mniej niż Niemcy i o 1/3 mniej niż Czesi. I ma to swoje cywilizacyjne i środowiskowe konsekwencje.

Prognoza wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w roku 2040 mówi o 240 TWh na rok. Jak możemy to zapotrzebowanie zaspokoić?

Ogółem zasoby zagospodarowane węgla kamiennego wynoszą w Polsce 60 miliardów 496 mln ton. Z tego jednak zdecydowana większość z różnych względów nie nadaje się do wydobycia. Te nadające się do wydobycia zwane zasobami przemysłowymi wynoszą łącznie 3 miliardy 200 milionów ton a po odliczeniu różnego rodzaju strat przy wydobyciu, zasoby operatywne węgla w naszym kraju wynoszą 2 miliardy 240 mln ton. Tyle realnie z polskich złóż możemy uzyskać.

Wydobycie węgla kamiennego w Polsce na przestrzeni lat systematycznie spadało i w ciągu 2017 roku wyniosło 65,5 mln ton. Import węgla już dla roku 2018 spodziewany jest na poziomie 18 mln ton. Każde bowiem dodatkowe 1000 MW mocy na węgiel kamienny w systemie energetycznym, pracujące w podstawie tegoż systemu, to dodatkowe 2,5 mln ton węgla zużytego rocznie.

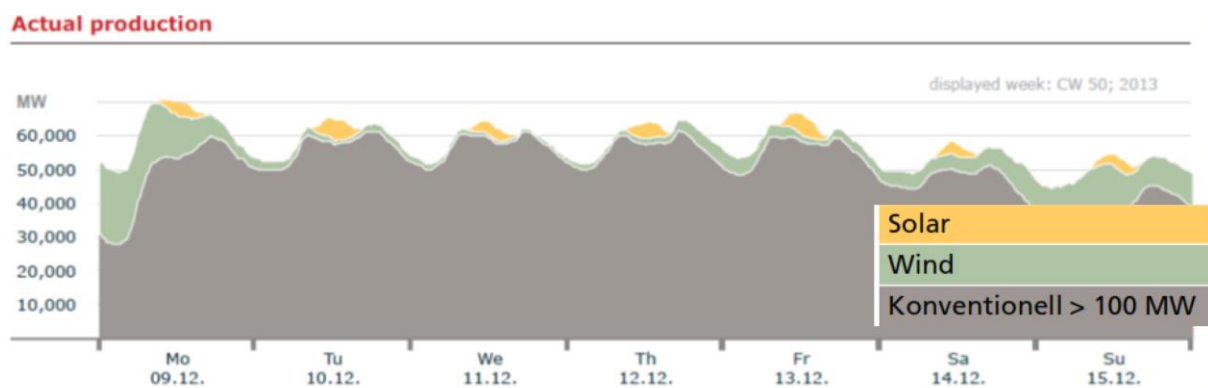
Z uwagi na niemożność zaspokojenia krajowego zapotrzebowania na węgiel z własnego wydobycia rośnie import tego surowca, głównie z Rosji. W 2017 roku nasz kraj był importerem węgla netto, z tendencją do pogłębiania się tego stanu rzeczy. Biorąc pod uwagę tylko dzisiejszy stan wydobycia węgla kamiennego i wielkość zasobów operatywnych wystarczy go na ok 35 lat.

Łączne zasoby geologiczne węgla brunatnego w Polsce to 23,5 mld ton. Zasoby przemysłowe natomiast to 1 miliard 129 mln ton. Roczne wydobycie węgla brunatnego wyniosło w 2015 roku 63,13 mln ton. Z tego 48 mln ton przypada na Bełchatów i Turów. Węgiel w Bełchatowie wyczerpie się w zależności od zapotrzebowania w latach 2032 - 2040. W Turowie maksimum za 30 lat (roczne wydobycie 8 mln ton). Możliwe jest budowanie nowych odkrywek w rejonie Legnicy, Gubina czy Żłoczewa. Ale w samym Żłoczewie budowa odkrywki wymagałaby zlikwidowania 33 wsi i wysiedlenia 3000 osób. Według oficjalnych informacji istnienie odkrywki spowoduje lej depresyjny, czyli odwodnienie terenu, znaczne obniżenie się lustra wody na obszarze o powierzchni 30 tysięcy hektarów. Wobec silnych protestów społecznych, a także z uwagi na konieczność dekarbonizacji energetyki w całej Unii Europejskiej, budowa nowych kopalni węgla jest mało prawdopodobna.

Trzeba więc nastawić się na rozwój źródeł nisko emisyjnych. Takimi źródłami są energetyka jądrowa i Odnawialne Źródła Energii (OZE).

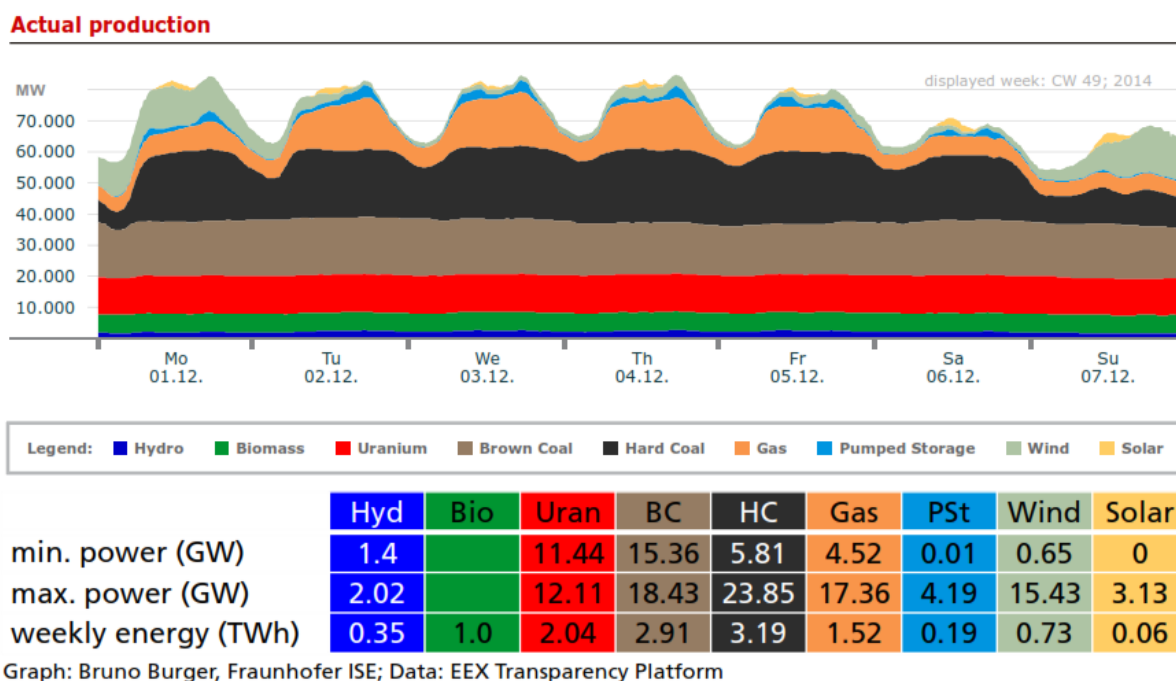
3. Ograniczone możliwości zaspokojenia zapotrzebowania na energię elektryczną przez wiatr i słońce

Wobec dążenia Unii Europejskiej do wprowadzenia do 2050 r. energetyki całkowicie bez emisyjnej, energia jądrowa jest konieczna jako stabilne i dyspozycyjne źródło energii. Energetyka wiatrowa nie wystarcza, bo niestety okresy ciszy wiatrowej mogą trwać przez kilka kolejnych dni i nocy, a przerwy w dostawach energii słonecznej z ogniw fotowoltaicznych występują co noc – a więc 365 razy w roku. Widać to na wykresie przedstawiającym jeden z wielu okresów ciszy wiatrowej w Niemczech. Konieczne jest wówczas uruchamianie elektrowni systemowych spalających węgiel lub gaz, albo elektrowni jądrowych.



Rys. 2 Produkcja energii elektrycznej z instalacji słonecznych i wiatrowych w ciągu tygodnia ciszy wiatrowej w 2013 r. w Niemczech.

Niemieckie czasopismo Die Welt, skomentowało dane z rys. 2 następująco: „Na początku grudnia 2013 r. produkcja energii z elektrowni wiatrowych i słonecznych niemal kompletnie stanęła. Nie obracało się ponad 23 000 wiatraków. Milion układów fotowoltaicznych niemal całkowicie przerwało wytwarzanie prądu. Przez cały tydzień EW, EJ i gazowe musiały zaspokajać około 95% zapotrzebowania Niemiec.”



Rys. 3 Spadek produkcji energii elektrycznej z instalacji OZE w Niemczech w grudniu 2014 r.

Wykres z rys. 2 nie jest bynajmniej wyjątkiem. Taki sam okres ciszy wystąpił w 2014 roku jak widać na rys. 3, a także w latach następnych.

Szereg ekspertów niemieckich podkreśla, że dalsza rozbudowa elektrowni wiatrowych i słonecznych nie jest rozwiązaniem problemu ciszy wiatrowej, bo choćby wiatraków było dwa razy więcej, to bez wiatru i tak nie będą wytwarzać energii elektrycznej.

Niemożliwe też jest magazynowanie energii tak, by gromadzić ją w okresie silnych wiatrów i oddawać do sieci w okresach ciszy.

Gdyby udział energii wiatrowej w rocznej produkcji energii elektrycznej w Polsce wynosił 9% i liczylibyśmy na tę produkcję, to przy średniej mocy wiatraków 1720 MWe w okresie ciszy wiatrowej trzeba byłoby dysponować zmagazynowaną energią pozwalającą wytworzyć taką moc przez około 100 godzin. Najtańszym sposobem magazynowania energii na dużą skalę jest stosowanie elektrowni pompowo/szczytowych, które pompują wodę do górnego zbiornika w okresie, gdy wieje wiatr, a oddają energię do sieci, gdy wiatru brakuje. Ale ich pojemność jest ograniczona. W Polsce mamy elektrownie pompowo-szczytowe, które mogą dać moc 1,75 GWe. Ale tylko przez krótki czas.

Maksymalna energia zgromadzona w polskich elektrowniach szczytowo- pompowych to 7,8 GWh - czas ich pracy do całkowitego opróżnienia to 4,5 h.

A co potem?

A czy rozwiązaniem jest magazynowanie energii w akumulatorach elektrycznych?

Założmy że w Polsce będzie milion aut z napędem elektrycznym, każde z akumulatorem o pojemności 74 kWh. Układy EcoBlade mają kosztować 500 USD/kWh. Podobnie przyszłe akumulatory w autach. Milion ich to **37 miliardów USD**. Nie jest to rozwiązanie tanie. Ale czy wystarczające?

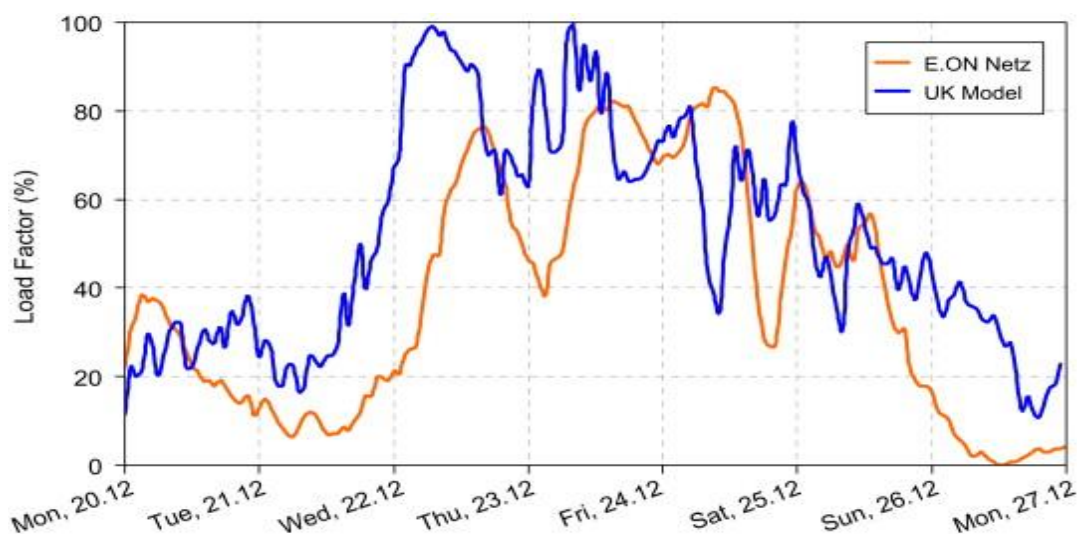
Założmy, że w godzinach szczytu 10% tych samochodów będzie dostarczało prąd do sieci. Mamy więc w skali kraju rezerwę energetyczną 7,4 GWh. Moc odbiorników krajowych w Polsce wynosi średnio 18 GW. Gdyby wiatr miał pokrywać 10% tej mocy, to rezerwa z akumulatorów samochodowych wystarczyłaby na 4 h.

A co potem?

Import energii elektrycznej z innych krajów też nie jest rozwiązaniem. Zwolennicy energetyki wiatrowej twierdzą, że jeśli brak jest wiatru w jednym kraju, to można elektryczność importować z innego kraju, bo przecież „gdzieś wiatr wieje”. Ale nie jest to prawdą.

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

Zmiany mocy wiatru występują na dużych obszarach jednocześnie. Przykład – to zmiany mocy wiatru w Wielkiej Brytanii i w Niemczech. Widać, że wzrosty i spadki mocy od 100% do 10% i od 85% do 0% występują jednocześnie w obu tych obszarach



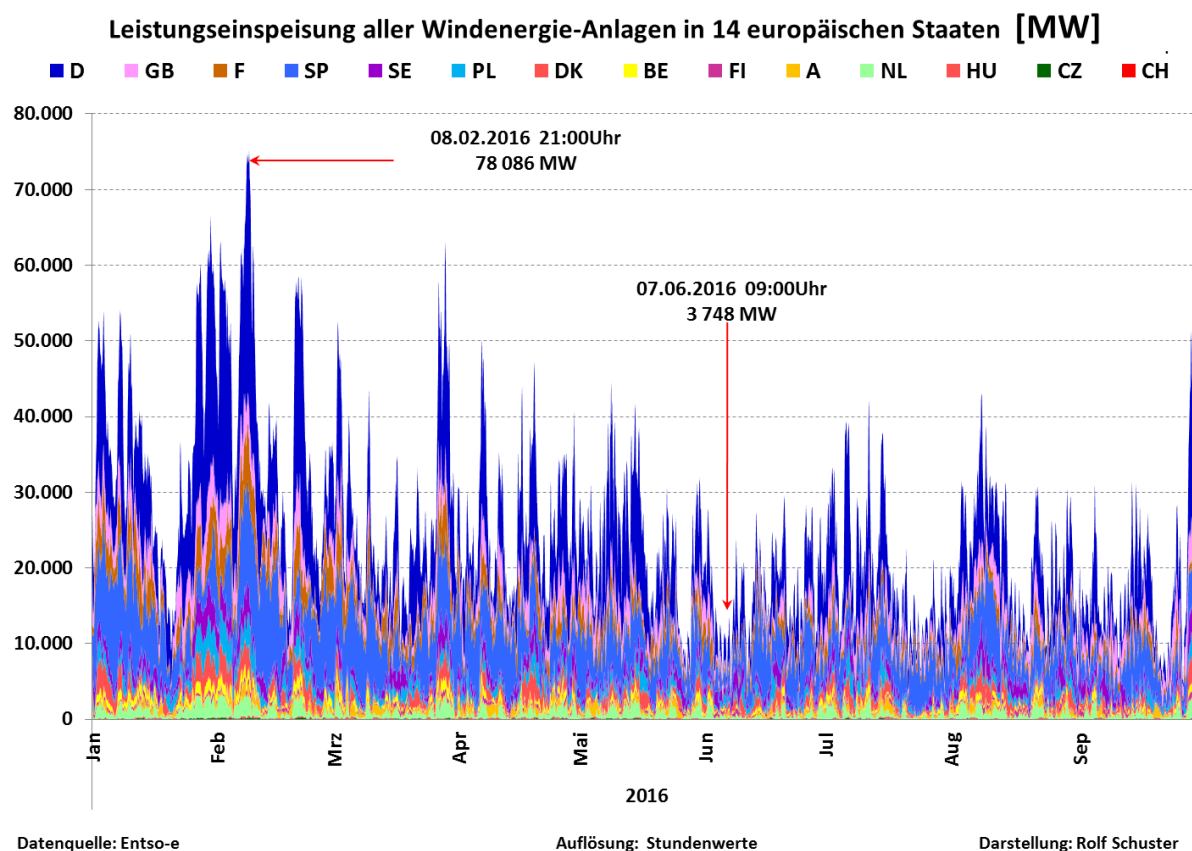
Rys. 4 Zmiany mocy wiatru w Niemczech i w Wielkiej Brytanii. [<http://docs.wind-watch.org/oswald-energy-policy-2008.pdf>]

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

Zmiany mocy wiatru występują na dużych obszarach jednocześnie. Przykład – moc wiatru w Wielkiej Brytanii i w Niemczech. (Oswald 2008) **Wzrost i spadki mocy od 100% do 10% i od 85% do 0% występują jednocześnie w obu obszarach**

Uwzględnienie wielu krajów też nie poprawia sytuacji. Rzeczywistą sytuację dla 14 krajów europejskich okazuje wykres 5, zaczerpnięty z prezentacji dr Ahlborna z niemieckiej organizacji pozarządowej Vernunftkraft i cytowany za zezwoleniem.

Jak widać, maksymalne wiatry występują jednocześnie w wielu krajach, a okresy ciszy wiatrowej – też jednocześnie na całym obszarze Europy.



Rys. 5 Łączna moc wszystkich elektrowni wiatrowych w 14 krajach Europy...

Doprowadzanie w okresie ciszy wiatrowej energii z innych krajów nie jest rozwiązaniem, bo okresy ciszy występują jednocześnie na dużych obszarach. Na wykresie na rys. 5 widać dane dla 14 krajów Unii Europejskiej. Widać, że silne wiatry i braki wiatru występują jednocześnie w całej Europie, a ich łączna moc instalacji wiatrowych waha się od 78 GW do zaledwie 3,7 GW.

Przy rozpatrywaniu wad i zalet energetyki wiatrowej i słonecznej należy pamiętać, że współczynniki wykorzystania mocy instalacji wiatrowych w Niemczech – gdzie warunki wiatrowe są podobne jak w Polsce – wynoszą około 20% w skali kraju, a dla najlepszych lokalizacji o silnych wiatrach sięgają 25%. Dla instalacji słonecznych współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wynosi zaledwie 10-11%.

Dlatego oceny wkładu OZE w bilans elektroenergetyczny nie można opierać na mocach maksymalnych, dostępnych chwilowo przy optymalnych warunkach pogodowych, ale uwzględniać trzeba realną ilość energii dostarczaną przez te instalacje. W sumie - niestabilny charakter pracy, konieczność utrzymywania źródeł rezerwowych gdy wiatru i słońca brak a także wielkie zużycie materiałów na jednostkę wytwarzanej energii powodują, że koszty tych elektrowni są wysokie zarówno w fazie budowy jak i i później przez cały okres eksploatacji.

Z punktu widzenia ekologii trzeba też podkreślić szkodliwy wpływ wiatraków na środowisko – masowe zgony przelatujących ptaków i nietoperzy (w samych USA wiatraki zabijają od 140 000 do 320 000 ptaków rocznie), a także szkody zdrowotne wśród ludzi mieszkających blisko farm wiatrowych. Dlatego setki organizacji lokalnych protestują przeciwko budowaniu wiatraków w rejonach zamieszkałych przez ludzi, a także w obszarach chronionych kompleksów leśnych i przyrodniczych. Co więcej, wbrew pozorom, że wiatraki są lekkie i małe, wobec tego że ich moce średnie są 4- do 5 razy mniejsze od mocy nominalnej, ilość materiałów przypadająca na 1 MW mocy średniej jest wielokrotnie większa niż dla elektrowni jądrowych. Na przykład dla farmy wiatrakowej o średniej mocy 500 MWe pracującej przy najwyższym możliwym współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej równym 43% (w Polsce maksimum to 25%) połączonej z elektrownią szczytową pompową dla magazynowania energii – potrzeba łącznie 220 tysięcy ton stali (dla równoważnej elektrowni jądrowej 29 tys. ton) i 627 tys. ton betonu (dla elektrowni jądrowej 46 tys. ton). Po zakończeniu pracy przez wiatrak to jest po 20-25 latach te setki tysięcy ton złomu żelazobetonowego pozostają do usunięcia – ale tego do tej pory deweloperzy wiatraków nie uwzględniają w swych planach.

4. Rola i udział energetyki jądrowej w zmniejszaniu oddziaływania energetyki na środowisko

Gdy jako źródła systemowe i rezerwowe wykluczmy elektrownie węglowe, pozostaną tylko elektrownie gazowe i jądrowe. Polska jest importerem gazu, a koszt energii z elektrowni gazowych jest w Europie znacznie wyższy od kosztu z innych źródeł. Natomiast energetyka jądrowa daje najtańszy prąd, co pokazują jasno dane statystyczne Unii Europejskiej.

Energetyka jądrowa jest największym bez emisyjnym źródłem energii. Praca reaktorów oczywiście nie powoduje emisji CO₂, bo energia pochodzi z rozszczepienia jąder uranu, a nie ze spalania węgla.

Wprowadzenie bez emisyjnych elektrowni jądrowych pozwala na obniżenie całkowitej krajowej emisji z energetyki. Obecnie w Polsce elektrownie węglowe emitują około 770 g CO₂ na każdą MWh. Elektrownie jądrowe są szansą na uzyskanie średnich emisji określonych w celach dla krajów Unii Europejskiej. Bez elektrowni jądrowych nie będzie to możliwe. Ilustruje to przykład Niemiec, które rozwijają intensywnie OZE, płacąc obecnie subsydia w wysokości 24 miliardów euro rocznie i doprowadziły moce wiatru i słońca do 56 i 45 GW, a mimo to emitują więcej CO₂ niż w 2009 roku, to jest przed „*transformacją energetyczną*”. Państwa bazujące swą energetykę na energii jądrowej mają dużo mniejsze emisje CO₂, np. Francja 4,57 ton/mieszkańca, gdy w Niemczech to 8,89 ton/mieszkańca. Również ceny energii elektrycznej są dużo wyższe w krajach intensywnie rozwijających OZE, np. w Niemczech wynoszą około 30 eurocentów, a we Francji około 16 eurocentów za kWh. Polska może wybrać mix energetyczny w którym źródła OZE będą dostarczały energię elektryczną w okresach optymalnych warunków pogodowych, a elektrownie jądrowe będą elektrowniami systemowymi, zapewniającymi stabilność dostaw, gdy brak wiatru i słońca oraz redukującymi średnie emisje CO₂ ze wszystkich elektrowni. Umożliwi to utrzymanie w ruchu elektrowni węglowych.

5. Możliwości rozwoju energetyki jądrowej

Energetyka jądrowa na świecie przeżywa renesans. Uruchomienie elektrowni jądrowych z reaktorami III generacji, które już zaczęło się w czerwcu 2018 r., oznacza przewyższenie trudności związanych z

wprowadzeniem nowych technologii reaktorowych. W połowie 2018 r., w 30 krajach pracowało około 450 reaktorów o łącznej mocy 400 GW, więcej niż kiedykolwiek przedtem. W 2017 roku dostarczyły one do sieci 2506 mld kWh, to jest około 11% całej produkcji energii elektrycznej na świecie. Obecnie budowane jest 50 reaktorów w 15 krajach. Przewidywany jest wzrost mocy elektrowni jądrowych w stosunku do 2015 r. o około 25 % do 516 GWe w 2040r.

W stosunku do stanu przed awarią w Fukushima (marzec 2011) łączna liczba pracujących reaktorów jądrowych wzrosła z 444 do 451 (uwzględniając wyłączenia reaktorów w Japonii, w Niemczech i inne), a łączna moc wzrosła o 23 GW do 401 GW. Moc reaktorów PWR wzrosła o 41 GW (z 248 do 285 GW), a dodatkowa moc budowanych obecnie bloków wynosi 84 GW.

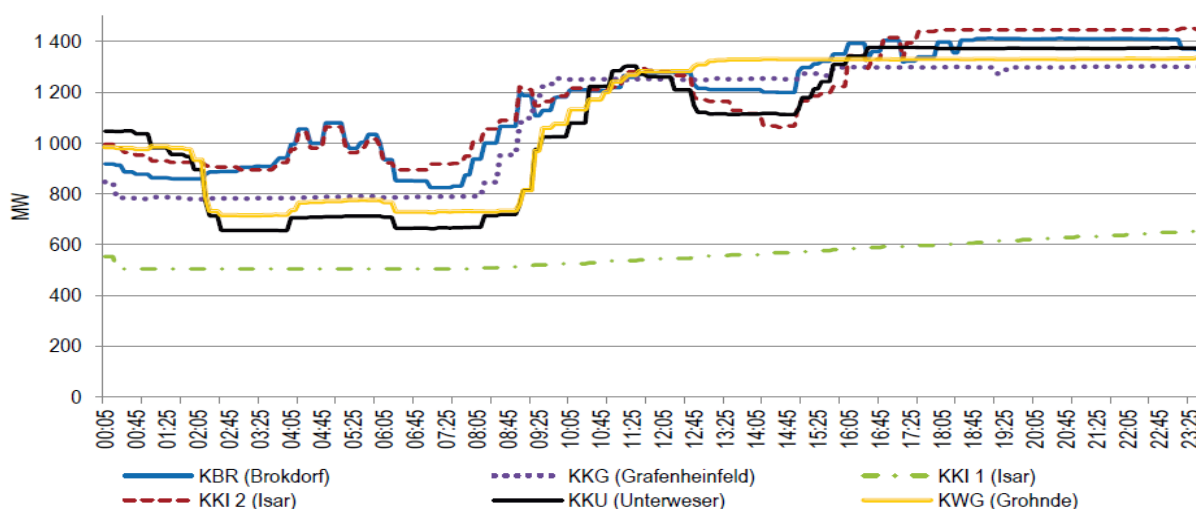
W Polsce planowane jest zbudowanie dwóch elektrowni jądrowych z reaktorami III generacji o łącznej mocy około 6000 MWe. Będą one dostarczały około 44 TWh rocznie, to jest około 20% przewidywanej produkcji energii elektrycznej w 2040 roku. Dzięki temu, że elektrownie jądrowe nie emitują CO₂ podczas swojej pracy, wprowadzenie ich do polskiego mixu energetycznego zapewni znaczne obniżenie średniej emisji CO₂ na MWh generowanej polskiej elektroenergetyce. Rząd polski uzgodnił z Komisją Europejską, że taki wskaźnik – średnia w skali kraju emisja CO₂//MWh - może być przyjęty do oceny wykonania zaleceń Komisji. Umożliwi to dalszą pracę elektrowni węglowych, co jest niezbędne dla utrzymania zasilania elektroenergetycznego w Polsce.

5. Miejsce energetyki jądrowej w mikście energetycznym (stabilność, niekonfliktowość z OZE).

Wielką zaletą elektrowni jądrowych jest ich niezawodność i dyspozycyjność. Współczynniki wykorzystania elektrowni jądrowych z reaktorami III generacji, a takie będą budowane w Polsce, wyniosą powyżej 90%, a więc od 4 do 9 razy więcej niż dla elektrowni wiatrowych lub słonecznych.

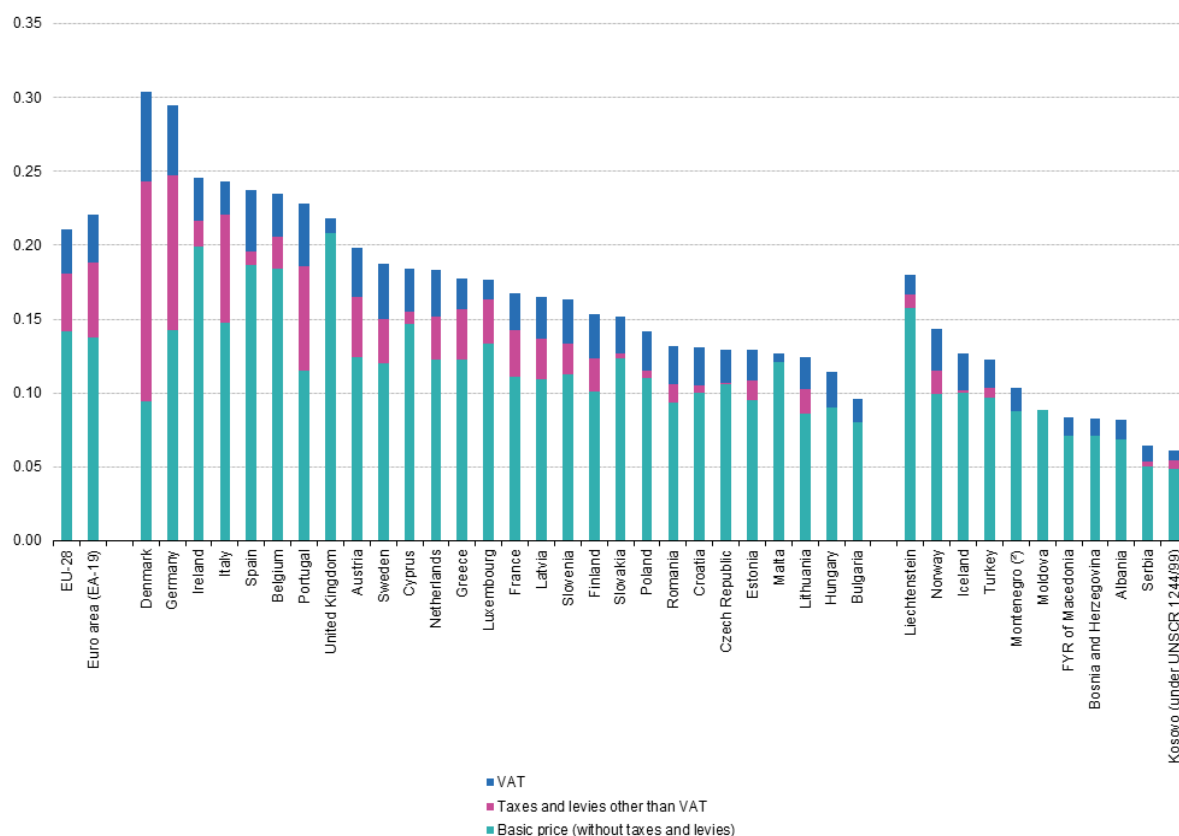
Z uwagi na niestabilny charakter pracy OZE cenną cechą elektrowni jądrowych jest możliwość regulacji ich mocy w systemie nadążania za obciążeniem. Jest to wbudowana cecha nowych elektrowni, a już w elektrowniach II generacji pracujących w Niemczech i we Francji elektrownie jądrowe pracowały i pracują nadążając za obciążeniem. Ilustruje to wykres z niemieckich elektrowni jądrowych pokazany poniżej.

Rys. 6 Zmiany mocy w funkcji obciążenia w niemieckich EJ w ciągu 24 h.



Podobnie jak na rys. 6 pracują reaktory we Francji. A reaktory EPR (budowane w czterech krajach i proponowane dla Polski zaprojektowano do cyklicznych zmian mocy w granicach 25%- 100%. Dzięki takiej skutecznej regulacji mocy możliwe jest wspieranie instalacji OZE przez energetykę jądrową w przypadku dłuższych zaników siły wiatru i słońca.

Nakłady inwestycyjne są wysokie, ale niższe niż na wiatraki lub fotowoltaikę w przeliczeniu na moc średnią, a koszt energii elektrycznej jest niższy niż dla innych źródeł. Budując elektrownie jądrowe zapewniamy tanią energię przez 4 pokolenia– to dobra inwestycja dla nas i prezent dla naszych wnuków.



(*) Annual consumption: 2 500 kWh < consumption < 5 000 kWh.

(*) Taxes and levies other than VAT are slightly negative and therefore the overall price is marginally lower than that shown by the bar.

Rys. 7. Ceny płacone przez odbiorców indywidualnych za prąd w krajach UE

6. Mity i fakty o energetyce jądrowej

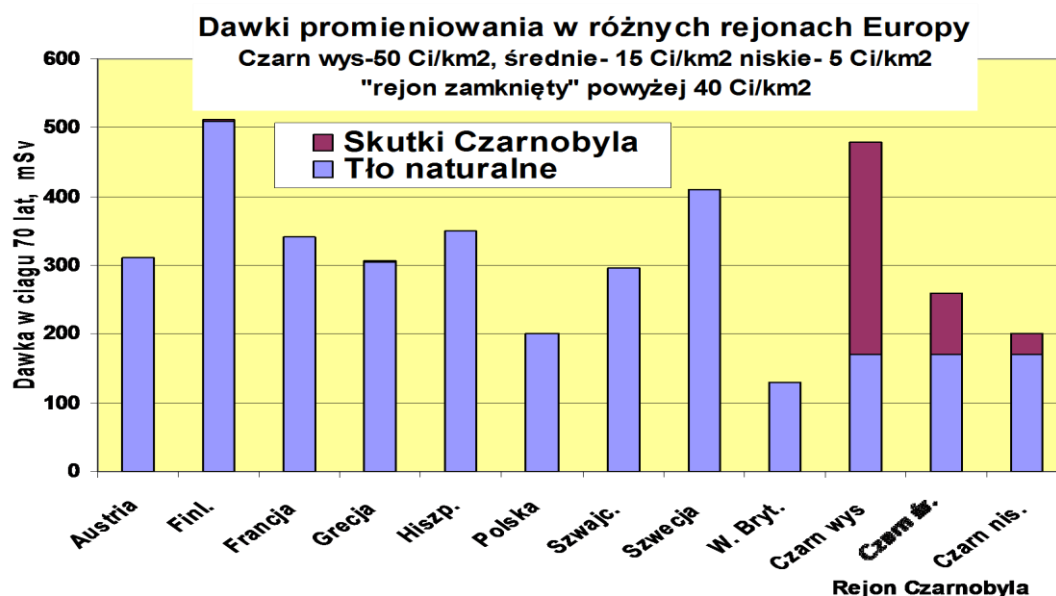
Energetyka jądrowa jest pierwszą gałęzią przemysłu, która od początku istnienia zapewnia kontrolę i unieszkodliwianie swych odpadów. Polskie Prawo Atomowe wyraźnie wymaga zapewnienia funduszy i technologii dla bezpiecznego oddzielenia odpadów promieniotwórczych od środowiska człowieka, a także zapewnienia technologii i sfinansowania likwidacji elektrowni jądrowej po jej okresie pracy.

Zasoby uranu wystarczają na kilkaset lat eksploatacji przy obecnych technologiach reaktorów i metodach wydobycia uranu, a według ocen międzynarodowych, np. Parlamentu Europejskiego, po wprowadzeniu rozwijanych obecnie nowych typów reaktorów paliwa jądrowego wystarczy na dziesiątki tysięcy lat.

Energetyka jądrowa jest bezpieczna. Wbrew alarmistycznym doniesieniom przeciwników energetyki jądrowej, awarie w elektrowniach jądrowych zdarzają się bardzo rzadko. Awaria w Czarnobylu

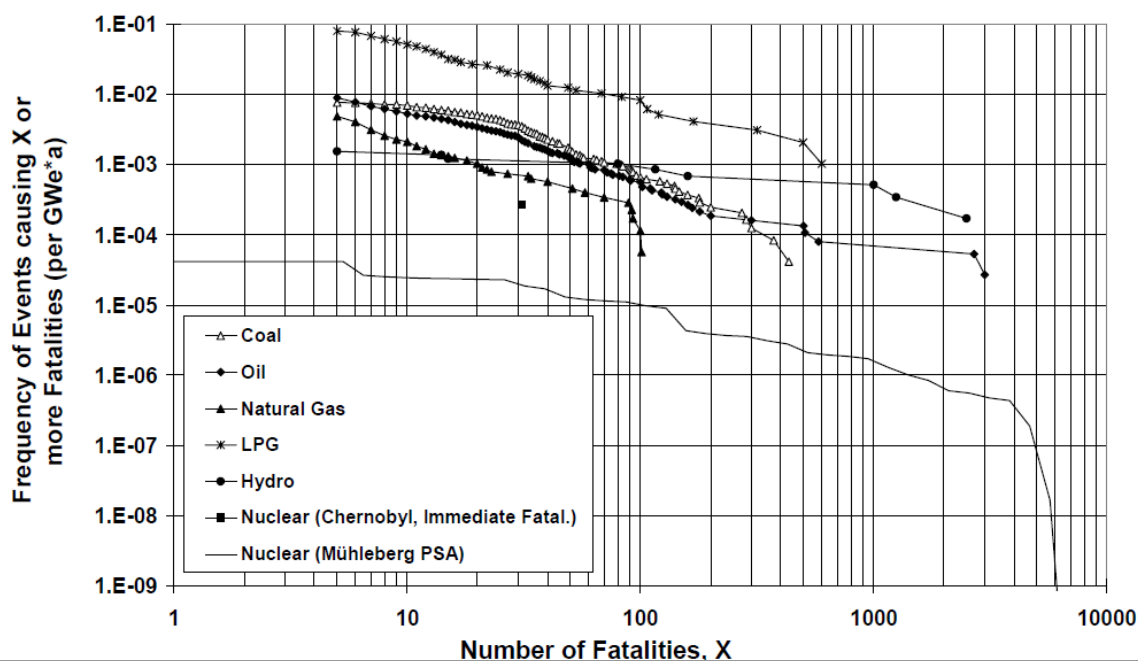
zdarzyła się w reaktorze o wadliwej konstrukcji opartej na rozwiązaniach reaktorów wojskowych do produkcji plutonu do broni jądrowej. Takich reaktorów nie wolno byłoby budować w żadnym kraju

poza ówczesnym Związkiem Sowieckim. I mimo, że awaria spowodowała całkowite zniszczenie reaktora i uwolnienie większości substancji promieniotwórczych, spowodowane przez nią skażenia terenu oznaczają dawki promieniowania otrzymywane w ciągu życia przez mieszkańców porównywalne z dawkami otrzymywanymi w Finlandii lub Szwecji gdzie nikt nie proponuje ewakuować ludności. .



Rys, 8 . Dawki promieniowania na terenach wokół Czarnobyla i w innych krajach

Porównanie bezpieczeństwa elektrowni różnych typów pokazuje rys. 9 opracowany dla rządu Szwajcarii. Widać, że elektrownie jądrowe są znacznie bezpieczniejsze od innych źródeł energii.



Rys, 9 Ilość zgonów na jednostkę produkowanej energii elektrycznej wg ocen szwajcarskich.

Elektrownie jądrowe z reaktorami III generacji proponowane dla Polski są odporne na awarie wewnętrzne, na zagrożenia zewnętrzne i ataki terrorystyczne (np. uderzenia największych samolotów). A mimo to dostarczać będą energię elektryczną niezawodnie i tanio.