

# ARTYKUŁ PROBLEMOWY PROF. ANDRZEJA STRUPCZEWSKIEGO - CZY SPRAWA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH JEST ARGUMENTEM PRZECIWIW ENERGETYCE JĄDROWEJ?

Przeciwnicy energetyki jądrowej zdają sobie sprawę z zalet środowiskowych elektrowni jądrowych i ich wartości dla utrzymania bezpieczeństwa energetycznego w skali całej Polski. Aby więc mieć uzasadnienie dla swej negatywnej postawy wobec energii jądrowej, twierdzą oni, że przy pracy atomówek-powstają odpady radiacyjne, rzekomo śmiertelnie niebezpieczne przez setki tysięcy lat. Na przykład w "Gazecie Wyborczej" z dnia 2.12.2019 r. ukazały się trzy artykuły z twierdzeniami, że nie należy budować energetyki jądrowej ze względu na trudności ze składowaniem odpadów jądrowych. Te twierdzenia są mylące czytelnika i tendencyjne.

To właśnie energetyka jądrowa była pierwszą gałęzią przemysłu, która zwróciła uwagę na odpady powstające wskutek jej działań i od początku swego rozwoju wprowadzała w życie zasadę oddzielenia odpadów od środowiska człowieka, tak by nie zagrażały jego zdrowiu i środowisku. I tę praktykę wprowadzono jako obowiązującą w Polsce, określając nawet w rozporządzeniu Rady Ministrów wysokość wpłat, jakie operator elektrowni jądrowej musi dokonywać na fundusz zapewniający unieszkodliwianie odpadów, a w przyszłości bezpieczną likwidację elektrowni jądrowej „do zielonego pola”, tak by można było na jej miejscu budować inne obiekty lub siał zboże. Jest to suma 17PLN/MWh, a więc więcej, niż wpłaty obowiązujące w innych krajach Unii Europejskiej i w USA. Wszelkie analizy finansowe dla energetyki jądrowej wykonuje się uwzględniając te wpłaty. Jako ilustrację strony finansowej można podać, że w Wielkiej Brytanii rząd ocenił koszty unieszkodliwiania odpadów o wysokiej aktywności na 193 GBP/kg uranu, co odpowiada wielkości 230 euro/kg. Tymczasem koszt paliwa to 1390 euro/kg. Dodanie kosztów unieszkodliwiania odpadów daje koszt paliwa wynoszący 1620 euro/kg - a więc nadal bardzo niski w stosunku do kosztu innych paliw w przeliczeniu na uzyskiwaną energię elektryczną, np. 4-krotnie niższy niż koszt węgla importowanego w portach bałtyckich (nie licząc opłat za emisję CO<sub>2</sub> przy spalaniu węgla).

We wspomnianych artykułach użyto mylących informacji, np. podano objętość wszystkich odpadów, nie uwzględniając, że ogromną większość stanowią odpady o niskiej aktywności i krótkim okresie rozpadu, powstające w czasie pracy elektrowni i nie stanowiące zagrożenia po upływie kilkunastu lub kilkudziesięciu lat. Mówiąc o zaniku zagrożenia ze strony odpadów radioaktywnych trzeba uświadomić czytelnikowi fakt, że każda emisja promieniowania z

rozpadającego się atomu oznacza, że ten atom przestaje istnieć, a więc radioaktywność odpadów z każdym dniem i rokiem maleje. Dlatego utrzymywanie odpadów oddzielonych od środowiska człowieka oznacza, że po pewnym czasie odpady te przestają emitować promieniowanie, bo po prostu radioaktywne atomy znikają z czasem. Jest to zasadnicza różnica w stosunku do zatruć środowiska odpadami z elektrowni węglowych lub z zakładów chemicznych, które pozostają truciznami na zawsze i stale muszą być oddzielone od środowiska człowieka.

W Polsce mamy ponad pół wieku doświadczenia z pracy Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie. Nie było w nim żadnego wypadku z uwolnieniem radioaktywności, kontrola jego pracy prowadzona przez trzy niezależne organizacje wykazuje, że nie ma wycieków radioaktywności do otoczenia, a mieszkańcy Różana należą do najzdrowszych w Polsce.

A radioaktywność odpadów składowanych w Różanie, pochodzących zresztą głównie z polskich szpitali, jest porównywalna z aktywnością odpadów eksploatacyjnych z elektrowni jądrowych, składających się głównie z filtrów, pułapek jodowych, koncentratów i żywic z wymienników jonowych i wywożonych do składowisk odpadów średnio aktywnych. Wśród izotopów dominujących w aktywności wywożonej z elektrowni najważniejszym izotopem jest cez Cs-137, o czasie połowicznego rozpadu równym 30,1 lat. Łączna ilość odpadów średnio aktywnych z elektrowni jądrowej np. z reaktorem EPR to 86 m<sup>3</sup>/rok, a z reaktorem ESBWR 170 m<sup>3</sup>/rok.<sup>1)</sup>

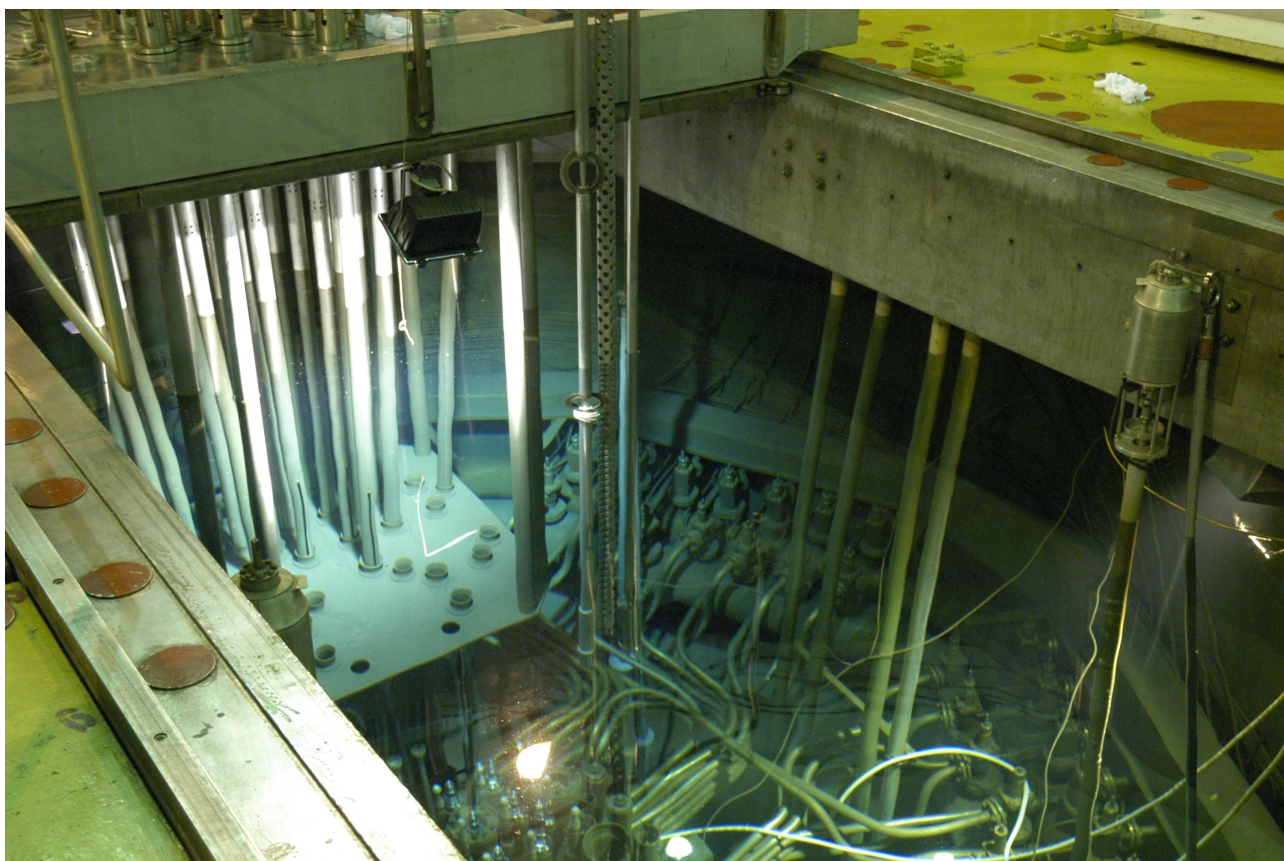
Średnia aktywność odpadów wysyłanych rocznie z elektrowni z reaktorem EPR to około 1000 Ci, to jest  $3.7 \cdot 10^{13}$  Bq = 37 TBq. Tymczasem w Różanie w kategorii źródeł zamkniętych maksymalne zmierzone aktywności wynosiły około 320 TBq cezu Cs-137 i pochodziły z dostaw zagranicznych (Kanada) dla szpitali w Łodzi. Były więc one o rząd wielkości większe od średniej rocznej produkcji radioaktywności odpadów średnio aktywnych powstających w reaktorze EPR.

Trzeba rozróżnić radioaktywne odpady promieniotwórcze powstające podczas eksploatacji reaktora od wypalonego paliwa, które wyładowuje się z reaktora po 2 czy 3 latach pracy w rdzeniu. Jest w nim jeszcze blisko 96% materiałów rozszczepialnych pierwotnie zawartych w paliwie, a wyładowuje się je z reaktora głównie dlatego, że nagromadzone w toku pracy produkty rozszczepienia stanowią zatrucie, pochłaniające neutrony i utrudniające efektywną pracę reaktora. Po usunięciu tych zatruć można ponownie wykorzystywać materiały rozszczepialne zawarte nadal w wyładowanym z reaktora paliwie.

Dlatego wypalone paliwo można traktować dwojako - albo jako odpad promieniotwórczy, który przechowuje się w oddzieleniu od środowiska człowieka albo jako cenny materiał potrzebny do ponownego wykorzystania jako materiał rozszczepialny w nowych elementach paliwowych.

Obecnie w większości krajów przewiduje się w budżetach energetyki jądrowej środki wystarczające na bezpieczne długotrwałe składowanie wypalonego paliwa, trwające dopóki zawarte w nim produkty rozszczepienia nie ulegną naturalnemu rozpadowi i przestaną być niebezpieczne dla organizmów żywych.

Z wypalonym paliwem mamy do czynienia np. w reaktorach w Świerku, które już ponad 60 lat eksploatuje Narodowe Centrum Badań Jądrowych, dawniej Instytut Badań Jądrowych, zwany potem Instytutem Energii Atomowej. Świerk znajduje się w odległości 20 km od Warszawy, a obecnie pracujący tam reaktor MARIA należy do pięciu najlepszych na świecie reaktorów badawczych. Wytwarza on radiofarmaceutyki na potrzeby medycyny nuklearnej, w tym molibden 99 do produkcji technetu 99m służącego do diagnostyk i terapii nowotworowej. Na całym świecie wykonuje się 25 milionów takich procedur medycznych rocznie, a MARIA zapewnia 20% potrzebnego do tego molibdenu (w Polsce wykonuje się około 215 tys. takich zabiegów). Paliwo wyładowywane z reaktora MARIA ma aktywność porównywalną z aktywnością paliwa z elektrowni jądrowej, a przecież przez wszystkie lata pracy reaktorów w Świerku paliwo wypalone nie spowodowało zagrożenia radiacyjnego ludzi lub środowiska. Przechowywane jest zaś w basenie wodnym pod osłoną zaledwie 4 metrów wody - i ta warstwa wody wystarcza, by ludzie mogli nad basenem przechowawczym bezpiecznie przebywać.



*Rys. 1. Warstwa 4 m wody wystarcza, by zapewnić osłonę przed promieniowaniem z wypalonego paliwa w reaktorze MARIA*

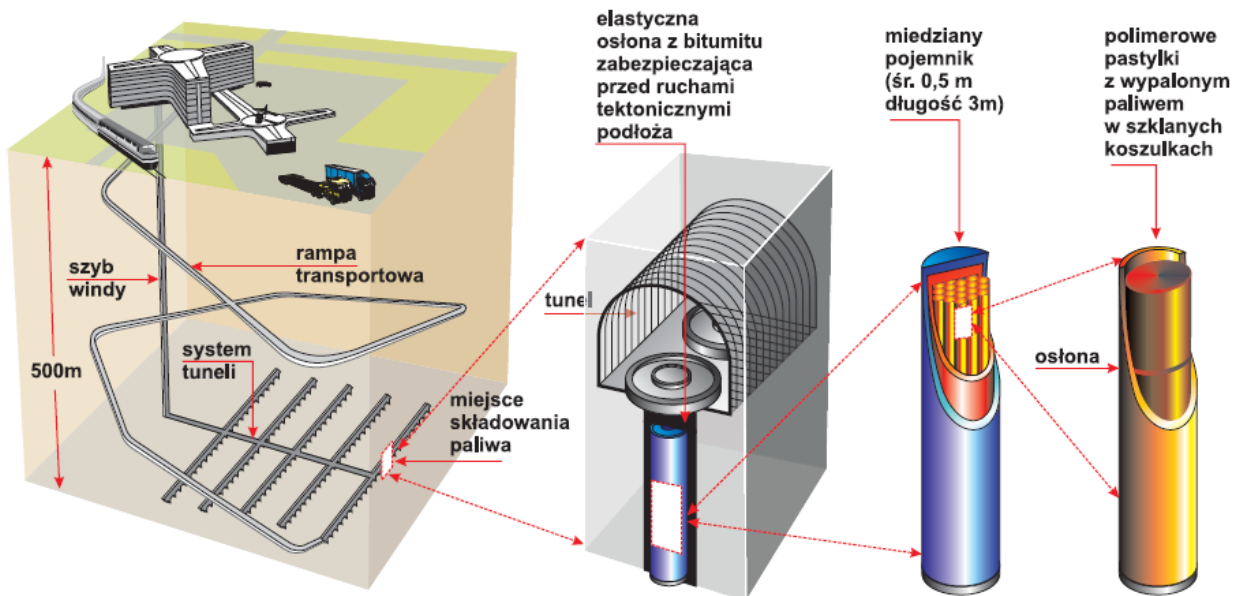
Promieniowanie wypalonego paliwa nie wymaga więc grubych osłon, natomiast zanik aktywności paliwa przebiega powoli, przez dziesiątki tysięcy lat. To, przed czym się chronimy, to perspektywa, że za kilka lub kilkanaście tysięcy lat pojemniki, w których przechowywane jest paliwo, ulegną korozji i zniszczeniu, a paliwo zostanie z nich

wypłukane przez wodę. Aby się przed tym zabezpieczyć, stosuje się dwie różne metody ochrony.

Pierwsza to umieszczenie wypalonego paliwa w szczelnych pojemnikach i składowanie ich głęboko pod ziemią. Najpierw odpady wysokoaktywne są mieszane z proszkiem szklanym i i podgrzewane do stopienia się szkła, co zapewnia produkt tak wytrzymały mechanicznie jak bazalt i tak odporny na wmywanie jak szkło . Odporność tę potwierdziło wiele doświadczeń, w których wykazano, że przez tysiąc lat zaledwie mały ułamek procenta odpadów przenika do wody, nawet jeśli zeszkłone odpady są nią omywane. W rzeczywistości nie dopuszczamy do tego, bo zeszkłone odpady zamyka się w pojemniki z miedzi lub stali nierdzewnej, niedopuszczające do kontaktu wody ze szkłem. Jak długo pojemnik miedziany jest szczelny, żadne radioizotopy nie mogą wydostać się na zewnątrz. Główne zagrożenie stanowi korozja (powodowana przez tlen i związki siarki rozpuszczone w wodach podziemnych) i ruchy górotworu, które mogą spowodować pęknięcie pojemnika. Miedź jest materiałem bardzo odpornym na działanie agresywnych substancji w wodzie podziemnej. Wkładka stalowa lub żeliwna pozwala pojemnikowi znieść ogromne obciążenia mechaniczne bez uszkodzenia. Pojemnik jest otoczony warstwą gliny bentonitowej, zwanej buforową, która zabezpiecza pojemnik przed małymi ruchami skały i utrzymuje go na miejscu. Ta warstwa buforowa pełni dwie dodatkowe funkcje. Bentonit puchnie w zetknięciu z wodą, co znakomicie zabezpiecza przed przeniknięciem wody do wnętrza pojemnika. Jednocześnie glina bentonitowa działa jako filtr. Radionuklidy przylegają do powierzchni cząstek gliny. W mało prawdopodobnym przypadku pęknięcia pojemnika ogromna większość radionuklidów pozostanie wewnątrz pojemnika. Większość z tych, które się z niego wydostaną, zostanie schwytana przez cząstki gliny bentonitowej. Transport radionuklidów na powierzchnię będzie w ten sposób skutecznie opóźniony, co zapewni dalszy rozpad radioaktywny i zmniejszenie aktywności odpadów, zanim wydostaną się na powierzchnię.

Takie wielowarstwowe i wysoce odporne pojemniki składa się głęboko pod ziemią, w pokładach geologicznych stabilnych przez miliony lat, a więc gwarantujących, że aktywność wypalonego paliwa spadnie poniżej pierwotnej aktywności rudy uranowej i przestanie zagrażać otoczeniu na długo wcześniej niż mogą zmienić się warunki geologiczne. Takie składowiska powstają w Szwecji i Finlandii, a przygotowywane są w USA, we Francji i w innych krajach. Są one w pełni akceptowane przez ludność, a w Finlandii parlament w specjalnej uchwale podkreślił, że energia jądrowa służy zdrowiu człowieka i budowa składowisk odpadów promieniotwórczych jest działaniem dla dobra społeczeństwa.

## Składowanie wypalonego paliwa



Rys. 2 System barier przy przechowywaniu wypalonego paliwa w Szwecji

Druga metoda to odzyskanie materiałów rozszczepialnych (uran, pluton) z wyładowywanego paliwa i usunięcie z nich produktów rozszczepienia, które wychwytyją neutrony i pogarszają bilans neutronów w rdzeniu. Po usunięciu produktów rozszczepienia i aktywności paliwa jest znacznie mniejsza, a okres zaniku promieniotwórczości paliwa skraca się znacznie. Poł upływie około 400 lat jego aktywność jest mniejsza niż aktywność uranu będącego pierwotnie w ziemi, a potrzebnego pierwotnie do wyprodukowania paliwa. Materiały rozszczepialne są wykorzystywane ponownie do produkcji nowego paliwa jądrowego. Ta metoda, zwana recykлизacją, zapewnia wielokrotne wykorzystywanie materiałów rozszczepialnych paliwa. Jest ona już stosowana na wielką skalę i stanowi najbardziej perspektywiczną metodę unieszkodliwiania paliwa.

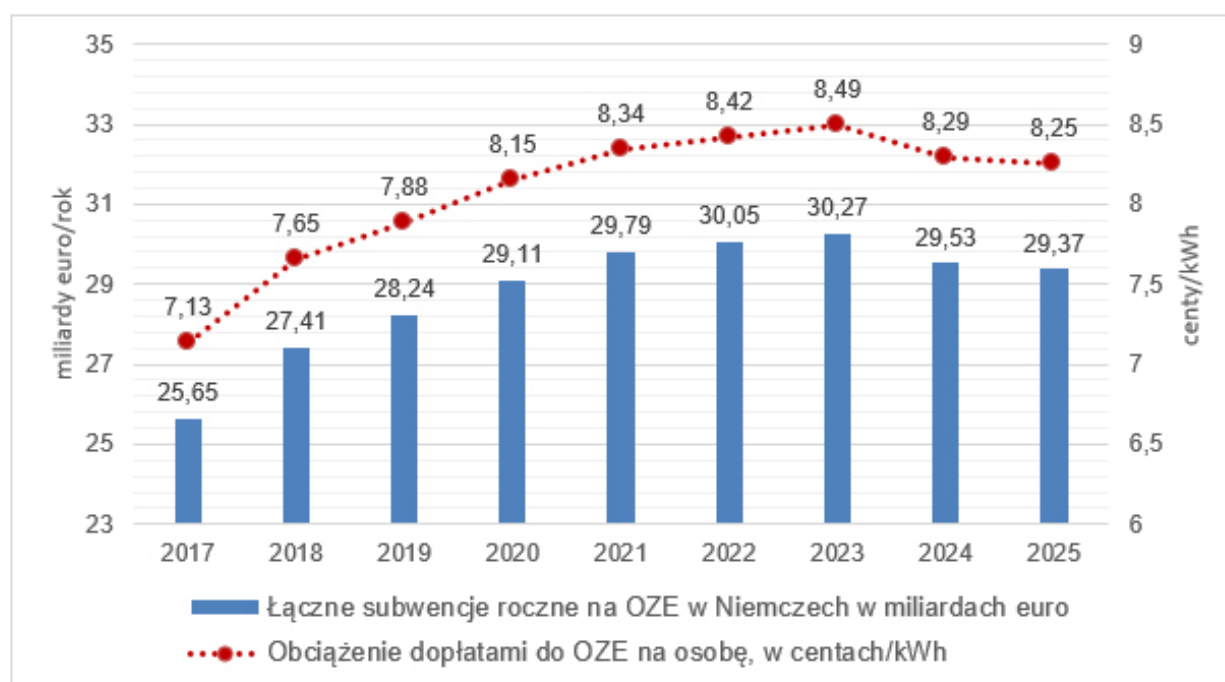
W obu przypadkach problemy techniczne są rozwiązane i można zapewnić, że ani odpady średnio i nisko aktywne, które stanowią 96% objętości odpadów promieniotwórczych, ani usunięte z reaktora paliwo nie stanowią zagrożenia dla ludności lub personelu.

Naprawdę nie ma powodów by obawiać się odpadów radioaktywnych, ani z punktu widzenia zdrowia ani ze względów finansowych.

Autorzy wspomnianych artykułów użyli więc informacji o odpadach albo nie znając stanu faktycznego, albo chcąc przestraszyć czytelników rzekomymi zagrożeniami. Nie jest to przypadek wyjątkowy - organizacje antynuklearne z upodobaniem powtarzają tezy o rzekomo „nierozwiązalnym” problemie odpadów chcąc wykluczyć energię jądrową z pośród „czystych” technologii wytwarzania energii. A gdy skutek ich działań budowa elektrowni jądrowej jest opóźniona lub zaniechana, twierdzą, że energetyka

jądrowa nie umie się uczyć i jest technologią „przestarzałą”.

W Polsce krytycy energetyki jądrowej mówią, że gdyby pierwszą elektrownię jądrową zbudowano przed 10 laty, to teraz dostarczałaby energię elektryczną taniej niż inne źródła - i wtedy byłoby za rozwojem energetyki jądrowej, a dziś jest już za późno. Oczywiście szkoda, że nie zbudowaliśmy elektrowni jądrowej już przed wielu laty. Elektrownie zbudowane w sąsiednich krajach - jak np. w Słowacji - są najtańszym źródłem energii elektrycznej, a porównanie kosztów ponoszonych przez indywidualnych odbiorców jednoznacznie wskazuje, że energetyka jądrowa zapewnia dużo tańsze wytwarzanie energii elektrycznej niż OZE. Wystarczy zajrzeć do danych publikowanych przez Eurostat<sup>2)</sup> by przekonać się, że Francuzi - opierający swą energetykę na elektrowniach jądrowych - płacą około 17 eurocentów za kWh, a Niemcy i Duńczycy, stawiający na rozwój OZE, płacą około 30 eurocentów/kWh. W skali całego państwa Niemcy dopłacają do OZE około 26 miliardów euro-rocznie. ROCZNIE! Rok po roku, i wcale nie widać końca tych dopłat. Przy ludności Niemiec liczącej 80 milionów oznacza to, że każdy mieszkaniec Niemiec ponosi rocznie koszty w wysokości 350 euro. Czy czytelnicy pięknych twierdzeń, że wiatr wieje za darmo, zdają sobie sprawę, że za nimi kryje się perspektywa, że każda polska 4-osobowa rodzina będzie dopłacać rocznie 1400 euro x 4,28 PLN/euro= 6000 PLN? I czy Polacy są gotowi na takie wydatki by móc szcycić się, że popieramy rozwój OZE?

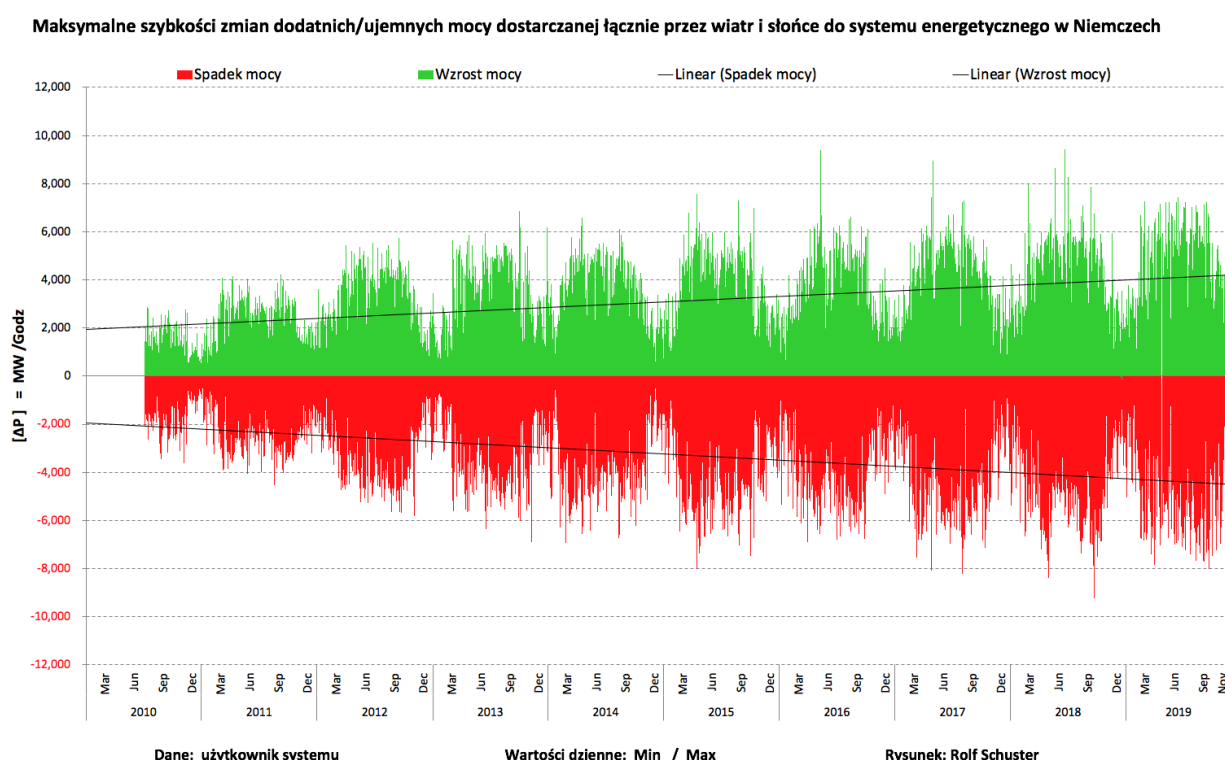


Rys.3 Dodatkowe koszty transformacji energetycznej w Niemczech w latach 2017-2025

Wezwania, by nie budować elektrowni jądrowych, a dać pieniądze na rozwój OZE, są przedłużeniem trwających od wielu lat ataków na energetykę jądrową. Przed 30 laty twierdzono, że Francja zbankrutuje wskutek wydatków na elektrownie jądrowe. Dziś widać, że rozbudowa energetyki jądrowej we Francji zapewniła jej nie tylko niezależność

energetyczną, ale i najtańszą energią elektryczną. A OZE – które według twierdzeń swych aktywistów mają być konkurencyjne ekonomicznie – wciąż potrzebują subsydiów! Ilekroć parlament USA lub parlamenty innych państw zawieszają wypłaty subsydiów na OZE na następny rok, tylekroć inwestycje na OZE zanikają i wznowiane są dopiero, gdy rządy podejmują się dalszych wypłat subsydiów.

A przecież w skali całego kraju liczą się nie tylko koszty produkcji energii elektrycznej w samej elektrowni wiatrowej czy fotowoltaicznej, ale i koszty jakie musi ponosić system elektroenergetyczny by zapewnić ciągłość zasilania odbiorców. Nie możemy przecież pogodzić się z tym, że z braku prądu wyłączą się zamrażarki i lodówki, zgasną światła w naszych domach i w szpitalach, staną pociągi i metro, nie będzie ogrzewania elektrycznego lub klimatyzacji, a fabryki przerwą produkcję ! A tymczasem wahania siły wiatru występują wiele razy w roku, co pociąga za sobą przerwy w wytwarzaniu energii elektrycznej.



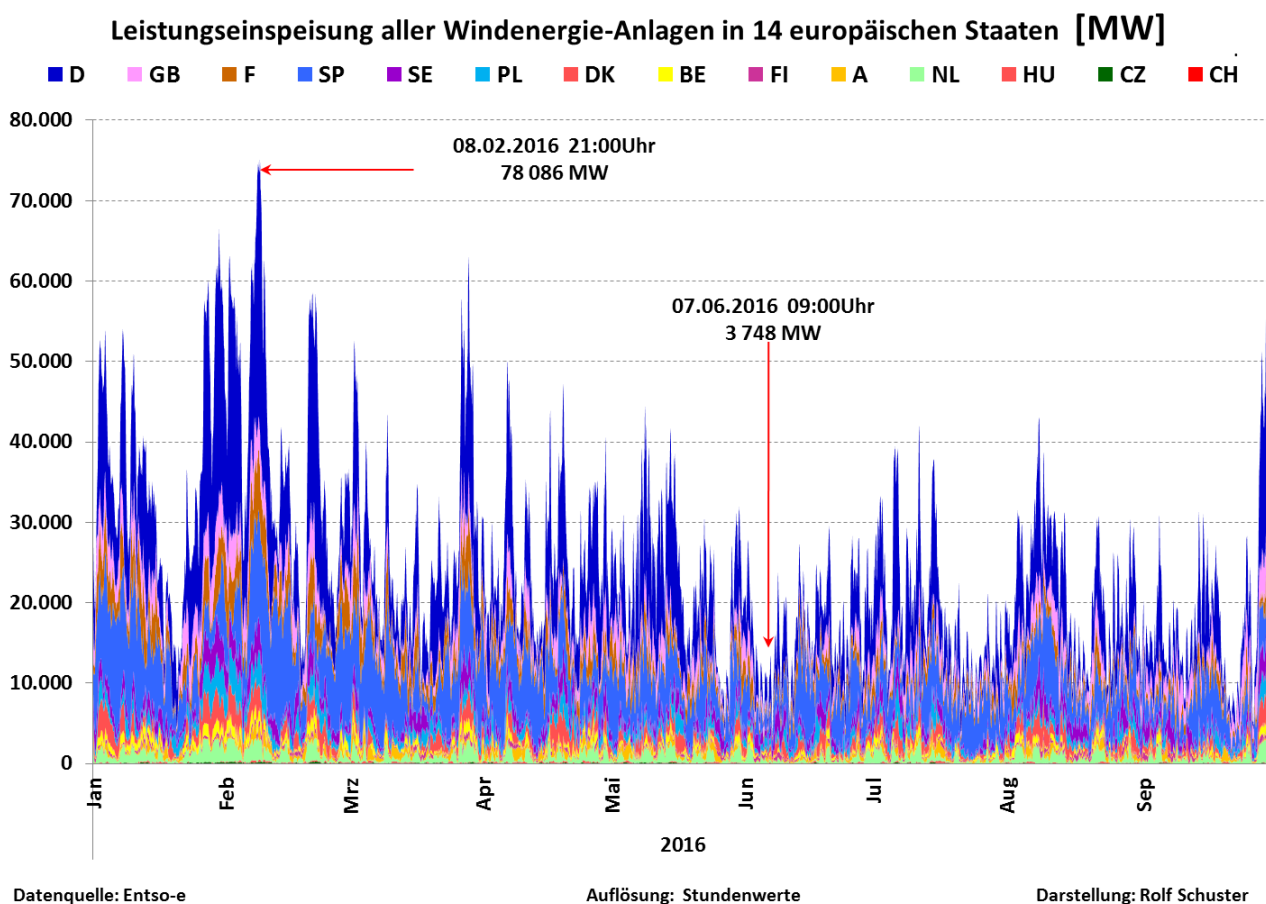
*Rys. 4. Maksymalne szybkości zmian prędkości wiatru w ciągu roku w Niemczech. W każdym kwartale wykres jest efektem pomiarów ponad 40 000 chwilowych prędkości wiatru. Moc jest proporcjonalna do 3 potęgi prędkości wiatru. Zrównoważenie tych zmian przez system elektroenergetyczny jest bardzo trudne i kosztowne. Dane przedstawione przez Rolfa Schustera z NGO Vernunftkraft, cytowane za zezwoleniem*

I nie jest prawdą twierdzenie, że „wiatr zawsze gdzieś wieje” i jeśli w Polsce brak wiatru, to można importować taną energię elektryczną z innych krajów w Europie. W rzeczywistości, gdy w Polsce brak wiatru, to brak go także w innych krajach. Dane statystyczne wykazują, że maksima i minima siły wiatru występują jednocześnie w całej Europie, od Finlandii do Hiszpanii. I to nie przez jedną czy dwie godziny, ale znacznie

dłużej, przez ponad 100 godzin na lądzie lub na Bałtyku, bez przerwy dniem i nocą. Wykorzystując całą energię zgromadzoną w zbiornikach polskich elektrowni pompowo-szczytowych można pokryć brak wiatru przez 5 godzin-ale co potem?

Średnie wykorzystanie mocy zainstalowanej w elektrownie wiatrowe w Niemczech w latach 2012-2016 wyniosło 20%<sup>3)</sup> A więc z każdego jednego megawata [MW] mocy nominalnej wiatraka dostaje się w ciągu roku średnio jedną piątą zainstalowanej mocy!

A chociaż co pewien czas prasa publikuje triumfalne doniesienia o wysokiej produkcji energii elektrycznej z OZE, obiektywne spojrzenie na liczby może otępić zwolenników wiatru. Doświadczenie Niemiec pokazuje, że w okresie gdy występuje maksymalna produkcja z OZE, inne kraje też mają nadmiar produkcji energii elektrycznej i Niemcy muszą dopłacać do eksportu elektryczności, by sąsiedzi zgodzili się ją przyjąć. A dopłaty dla producentów energii trzeba utrzymywać, czy energia z wiatru jest potrzebna czy nie... W ciągu 6 miesięcy 2019 roku Niemcy straciły w ten sposób ponad 2 miliardy MILIARDY! Euro...<sup>4)</sup>



Rys. 5. Produkcja energii elektrycznej z farm wiatrowych 14 krajów EU w 2016 r. Zwiększania liczby krajów nie prowadzi do wyrównania wykresu zmian generacji energii z wiatru. Moce farm w 14 krajach UE sięgają od 3,7 GW do 78 GW. Jak wyrównać różnicę 74 GW? Dane przedstawione przez Rolfa Schustera z NGO Vernunftkraft, cytowane za zezwoleniem

Te wahania mocy wiatraków sprawiają, że wiatr jest dobrym dodatkiem do systemu



energetycznego, ale nie zapewnia ciągłego zaspokojenia potrzeb energii elektrycznej. Jedynym czystym źródłem ciągłego zasilania w energię elektryczną są elektrownie jądrowe, które zresztą dają ponad połowę „czystej” energii elektrycznej w Unii Europejskiej. A choć nakłady inwestycyjne na elektrownie jądrowe są wyższe niż na elektrownie węglowe, to dzięki niskim kosztom paliwa elektrownie jądrowe zapewniają wytwarzanie energii elektrycznej taniej niż inne źródła energii. Przy okazji trzeba zaznaczyć, że nakłady inwestycyjne na jeden megawat mocy średniej w ciągu życia elektrowni wiatrowej lub fotowoltaicznej są znacznie WYŻSZE niż na elektrownie jądrowe!

Polska potrzebuje taniej i czystej energii jądrowej. Najwyższa pora, by nie kierować się uprzedzeniami i fałszywymi twierdzeniami przeciwników energii jądrowej, a opierać swe decyzje na faktach.

Dr inż. Andrzej Strupczewski, profesor NCBJ

#### PRZYPISY:

- 1) UK EPR Fundamental Safety Overview Volume 2: Design And Safety Chapter K: Discharges And Waste Sub-Chapter : K.3, Section/Page : 2 / 25
- 2) [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics)
- 3) <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html>,
- 4) <http://www.vernunftkraft-hessen.de/wordpress/2019/07/03/grafiken-juni-2019-und-zahlen-der-strom-boerse-eex/>