

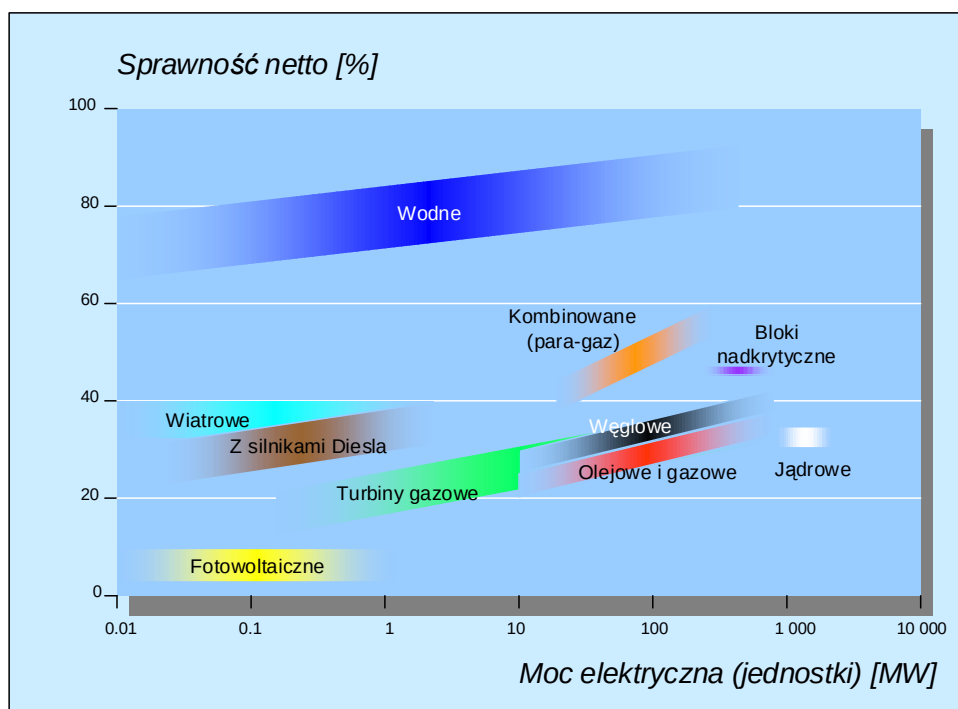
ELEKTROWNIA JĄDROWA A KONWENCJONALNA

Autor: Grzegorz Jezierski

(„Energetyka Ciepła i Zawodowa” – nr 10/2009)

W czasach, kiedy dominującym tematem jest dekarbonizacja sektora energetycznego, warto zestawzić ze sobą elektrownię jądrową i konwencjonalną. Parametry, które warto porównać, to z pewnością sprawność netto wytwarzania energii elektrycznej, powierzchnia niezbędna pod zabudowę, pewność dostaw nośników energii oraz koszty.

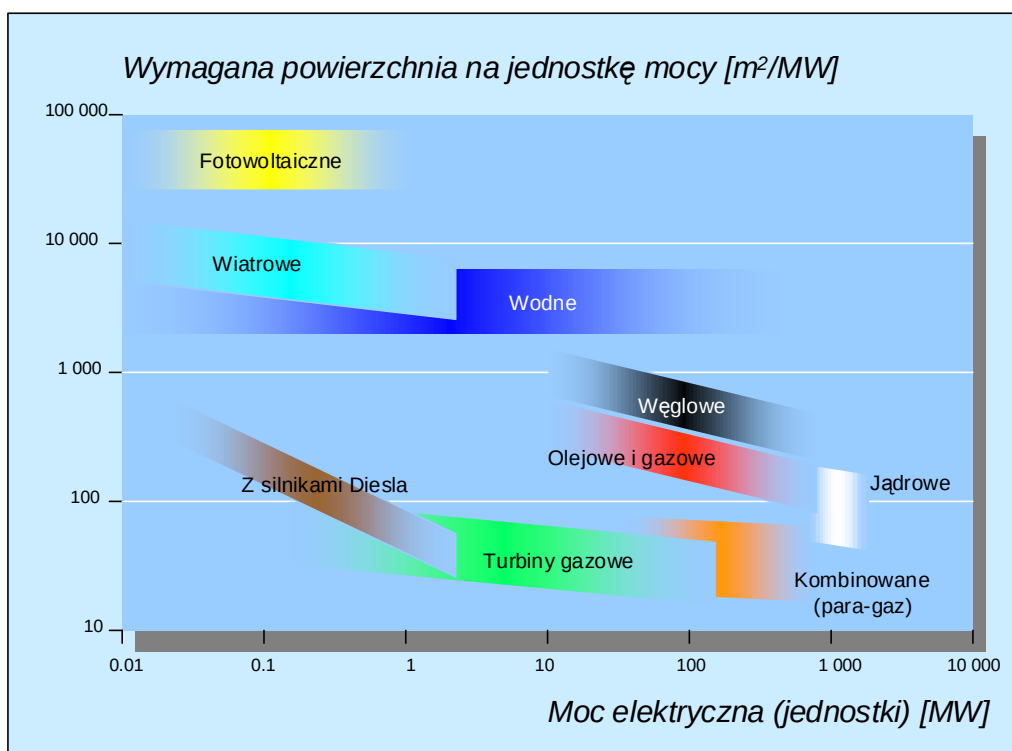
Pozyskaniu energii elektrycznej z każdego źródła energii towarzyszy złożony ciąg przemian energetycznych, obarczony pewnymi stratami – można więc mówić o sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Jak na tle innych źródeł wytwarzania energii elektrycznej ma się energetyka jądrowa w aspekcie sprawności netto, przedstawiono na rys 1. Warto w tym miejscu zauważyć, że standardowa moc jednostkowa bloku jądrowego to obecnie 900-1400 MW_e, a więc jest najwyższa wśród innych dostępnych źródeł energii.



Rys. 1. Sprawność netto różnych elektrowni (według Siemens Power Journal 4/97)

Drugim ważnym parametrem, mającym wpływ na techniczne możliwości (lokalizacja), ale także i na ekonomię, jest powierzchnia niezbędna pod zabudowę źródła energii o określonej mocy. W tym przypadku energetyka jądrowa plasuje się na dość dobrym miejscu – rys. 2.

Istotnym wyróżnikiem każdego źródła energii elektrycznej jest pewność dostaw nośników energii, a co się z tym wiąże – pewność zasilania. Przy okazji należy zdać sobie sprawę z tego, że tzw. odnawialne źródła energii (energia słoneczna, wiatrowa) nie gwarantują stuprocentowej pewności zasilania, toteż spełniają raczej funkcję źródeł uzupełniających.



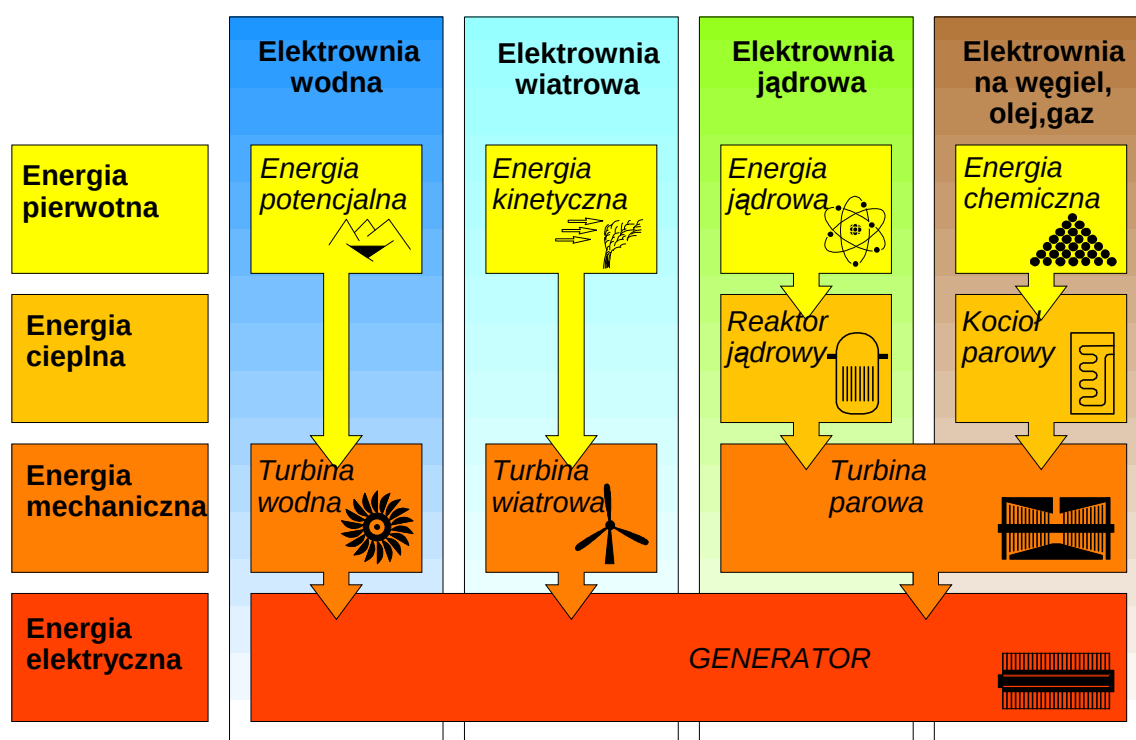
Rys. 2. Wskaźnik powierzchni pod zabudowę dla różnych elektrowni (według Siemens Power Journal 4/97)

Uwzględniając wspomniane wyżej przemiany energetyczne, elektrownię jądrową najlepiej jest porównywać z elektrownią konwencjonalną na paliwa kopalne (węgiel, olej czy gaz), gdyż charakteryzuje się podobnymi przemianami energetycznymi, co przedstawiono na rys. 3.

Można zauważyć, że zasadnicza różnica będzie dotyczyć źródła wytwarzania ciepła, czyli w jednym przypadku będzie to reaktor jądrowy, w drugim kocioł energetyczny. W klasycznym układzie elektrowni konwencjonalnej ciepło spalania węgla, mazutu czy gazu, jest

przekazywane wodzie i parze w kotle, w którym obszar spalania (palenisko) oraz elementy ogrzewane wypełnione wodą lub parą tworzą całość konstrukcyjną. W układzie elektrowni jądrowej funkcję paleniska spełnia reaktor, natomiast spalin – czynnik chłodzący rdzeń reaktora, w którym zachodzi kontrolowana reakcja jądrowa. W elektrowniach jądrowych są stosowane dwa podstawowe układy wytwarzania pary do napędzania turbiny parowej:

- bezpośrednio w reaktorze (czynnikiem chłodzącym jest wówczas zwykła woda); są to reaktory typu BWR¹ oraz RBMK;
 - za pośrednictwem dodatkowego wymiennika ciepła, który stanowi osobne urządzenie zwane wytwornicą pary (czynnikiem chłodzącym może być zwykła woda lub ciężka woda, dwutlenek węgla, hel albo ciekły sód); są to reaktory typu PWR, CANDU, GCR, HTR.
- Porównanie parametrów technicznych wybranych typów reaktorów stosowanych w elektrowniach jądrowych przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 3. Przemiany energii w wybranych rodzajach elektrowni

¹ BWR – *Boiling Water Reactor*, RBMK – *Reaktor Bolszoy Moszczynosti Kanalnyj*, PWR – *Pressurized Heavy Water Reactor*, CANDU – *Canadian Deuterium Uranium Reactor*, GCR – *Gas Cooled Reactor*, HTR – *High Temperature Reactor*, AGR – *Advanced Gas-cooled Reactor*.

TABELA 1. Porównanie parametrów technicznych różnych typów reaktorów energetycznych

	PWR	BWR	AGR	Candu	RBMK	HTR
Moc [MW]	1200	600	600	600	1000	1300
Paliwo [% ^{235}U]	3,2	2,6	2,3	0,7	2	10
Wymiary rdzenia [m]	Ø3,0×3,7	Ø3,7×3,7	Ø9,1×8,5	Ø7,1×5,9	Ø11,8×7	Ø9,8×6
Ciśnienie [MPa]	150	70	40	86	67	48
Temperatura na wyjściu [°C]	324	288	650	305	284	720
Ciśnienie pary [MPa]	4,0-6,0	7,0	16,0	4,7	6,5	17,5
Temperatura pary [°C]	270-290	280	565	260	280	530
Sprawność termiczna [%]	35	34	42	30	31	40

W dalszej części rozważania ograniczę się jedynie do reaktorów typu PWR i BWR, gdyż stanowią one około 80% wszystkich reaktorów energetycznych stosowanych na świecie.

Para w elektrowniach jądrowych ma stosunkowo niskie parametry (głównie temperatura) jest to więc para nasycona (tj. para zawierająca do 0,25% wilgoci), a nie para przegrzana jak w przypadku elektrowni konwencjonalnych. Jest to zasadnicza różnica między tymi elektrowniami, powodująca zresztą dalsze tego konsekwencje. Wprawdzie prowadzono próby zastosowania przegrzewu pary w elektrowniach jądrowych², jednak nie przyjęły się one w praktyce.

Istotną różnicę pomiędzy elektrownią jądrową a konwencjonalną stanowi sposób dostarczania do niej paliwa. Paliwo jądrowe jest wprowadzane do reaktora w stanie stałym, umieszczone w tzw. elementach (prętach) paliwowych. Najczęściej stosowanym obecnie paliwem jądrowym jest dwutlenek uranu UO_2 . W elektrowni jądrowej cała ilość paliwa załadowana jest jednorazowo do reaktora – odbywa się to przy okazji rocznego przeglądu – po czym następuje roczna (bądź dłuższa w niektórych elektrowniach nawet do 18 miesięcy) normalna eksploatacja. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na przebieg reakcji łańcuchowej w ograniczonej objętości, jaką stanowi rdzeń reaktora, paliwo w reaktorze nie wypala się równomiernie na przekroju poprzecznym jak i po wysokości rdzenia – najintensywniej reakcja łańcuchowa, a więc i wypalanie paliwa przebiegają w środku rdzenia. Wymaga to

² Istnieją trzy możliwe sposoby przegrzewu pary w elektrowniach jądrowych:

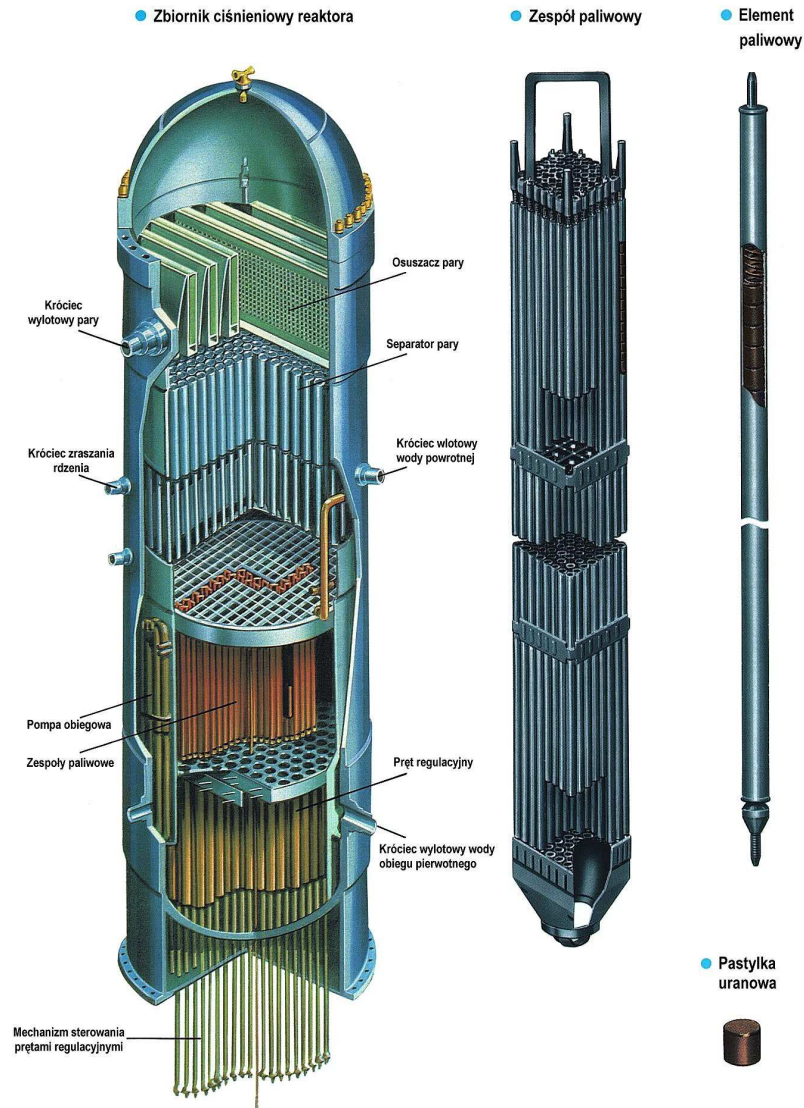
a) zastosowanie konwencjonalnych przegrzewaczy pary opalanych olejem opałowym (np. w Indian Point – USA),
b) przegrzew pary w reaktorach wrzących (np. Pathfinder w USA czy Biełojarsk w Rosji),
c) zastosowanie specjalnych reaktorów tylko do przegrzewu pary (na etapie badań – zastosowano w EVESR – USA)

więc ładowania rdzenia reaktora paliwem o odpowiednio dobranej koncentracji pierwiastka rozszczepialnego U-235 w paliwie, jak i późniejszego przetasowywania paliwa w czasie jego przeładunków. Po pierwszej kampanii uzupełnienie świeżym paliwem odbywa się w ilości 1/3 wsadu, reszta ulega przetasowaniu. Można więc powiedzieć, że całe paliwo jest wymieniane średnio co 3 lata lub dłużej. Praktycznie nie jest możliwe całkowite wykorzystanie paliwa, tj. rozszczepienie wszystkich jąder uranu U-235 znajdujących się w paliwie. Jest to spowodowane m. in. zatruciem reaktora przez produkty rozszczepienia o dużym przekroju czynnym na absorpcję neutronów oraz uszkodzenia radiacyjne materiału paliwowego. Miara efektywności wykorzystania paliwa jądrowego jest tzw. wypalenie, czyli ilość uzyskanej energii z jednostki masy paliwa, liczonej w megawatodniach na 1 kg paliwa (MWd/kg). Osiągane w obecnie eksploatowanych reaktorach typu PWR wartości wypalenia wynoszą około 55 MWd/kg, natomiast w reaktorach typu BWR są one mniejsze i wynoszą około 45 MWd/kg.

W elektrowni konwencjonalnej paliwo jest dostarczane do paleniska w sposób ciągły, co wymaga rozbudowanych układów technologicznych do transportu dużych ilości paliwa, jego składowania, mielenia, podawania do kotła. W ślad za tym w sposób ciągły musi być odbierany żużel oraz popiół jak również spaliny, a to także wymaga rozbudowanych układów technologicznych. Do tego dochodzą niezbędne ostatnio instalacje odsiarczania spalin, które tak naprawdę są fabrykami chemicznymi o ciągłym procesie produkcji. Elektrownia konwencjonalna spalająca w sposób ciągły duże ilości paliwa, wraz ze swymi rozbudowanymi pomocniczymi ciągami technologicznymi wymaga więc znacznie większego terenu pod zabudowę.

Jak wspomniano powyżej, elektrownia węglowa zużywa duże ilości paliwa, które trzeba wydobyć, przetransportować, poddać przeróbce (mielenie w młynach). Szacuje się, że dla elektrowni o mocy 1000 MW potrzeba rocznie ok. 2,5 mln t węgla kamiennego, czyli średnio 3÷5 pociągów na dobę. Dla porównania elektrownia jądrowa o tej samej mocy potrzebuje zaledwie 40 t paliwa rocznie, do transportu którego wystarczy kilka samochodów ciężarowych.

Poważny problem ekologiczny stanowią odpady, zarówno z elektrowni węglowych jak i jądrowych. Jednak odpady z elektrowni jądrowej, choć bardzo „kłopotliwe”, mają objętość do 10 000 razy mniejszą w porównaniu z odpadami z elektrowni węglowej.



Rys. 4. Przekrój reaktora typu BWR, zespołu paliwowego oraz elementu paliwowego dla tego typu reaktora

Dla przykładu porównajmy odpady z dwóch elektrowni o podobnych mocach; jeden blok 360 MW w elektrowni Opolo wytwarza rocznie około 190 000 t popiołu i żużla (obecnie odpady te są zagospodarowane jako surowce w budownictwie, bądź jako podsypka w kopalniach) oraz 45 500 t gipsu (również wykorzystany do produkcji płyt kartonowo-gipsowych), natomiast w elektrowni jądrowej Beznau (Szwajcaria) o mocy 350 MW netto powstaje około 1,5 m³ odpadów wysokoaktywnych (wypalone paliwo przechowywane w specjalnych pojemnikach) oraz 50 beczek po 200 l odpadów średnioaktywnych i 100 beczek odpadów niskoaktywnych – co zajmuje objętość magazynową około 50 m³.

Odpady powstające z węgla, rozpraszane na całym obszarze wraz ze spalinami lub zasypywane płytko pod powierzchnią ziemi, pozostają toksyczne na zawsze. Jądrowe odpady promieniotwórcze ulegają ciągłemu rozpadowi, tracąc 99% toksyczności (w tym przypadku promieniotwórczości) po 600 latach – a taki czas mieści się w zakresie ludzkich doświadczeń w dziedzinie nadzorowania i konserwacji, czego dowodem są takie budowle jak rzymski Panteon czy katedra Notre Dame.

Elektrownie opalane węglem nie tylko emitują szkodliwe związki chemiczne w postaci gazów lub trujących cząstek (tlenki siarki i azotu – składniki kwaśnego deszczu i smogu), ale są również istotnym światowym źródłem wprowadzania substancji promieniotwórczych do środowiska. Podczas spalania węgla dochodzi bowiem do uwolnienia uranu oraz toru, a podczas jego wydobywania – promieniotwórczego gazu jakim jest radon (który powstaje w czasie rozpadu uranu znajdującego się w skorupie ziemskiej i normalnie pozostającego pod ziemią).

Istotne różnice w elektrowni jądrowej i konwencjonalnej na węgiel dotyczą sposobu przekazywania ciepła. Wydzielające się bezpośrednio w paliwie ciepło jest przekazywane poprzez koszulkę osłaniającą paliwo do otaczającego je chłodziwa, więc gęstości mocy w elektrowniach jądrowych są znacznie większe niż w paleniskach elektrowni węglowych. O ile średnia gęstość mocy w paleniskach węglowych wynosi około 10 MW/m^3 , to w reaktorach typu BWR wynosi ona około 50 MW/m^3 , a w reaktorach typu PWR aż 100 MW/m^3 . Z tym wiążą się m. in. znacznie mniejsze gabaryty bloku elektrowni jądrowej w stosunku do elektrowni konwencjonalnej.

Charakterystyczną cechą przekazywania ciepła w reaktorze jądrowym jest także niewielki podgrzew chłodziwa. O ile np. w Elektrowni Opolo temperatura wody na wejściu do kotła ma około 255°C , a para na wyjściu z kotła 545°C (podgrzew wynosi prawie 300°C), to w elektrowni jądrowej Beznau (typu PWR) woda na wejściu do reaktora ma temperaturę 285°C , a na wyjściu z reaktora 315°C – podgrzew wynosi więc tylko 30°C . Znacznie wyższy podgrzew uzyskuje się w reaktorach prędkich, gdzie chłodziwem jest ciekły sód – ponad 100°C . Ten stosunkowo niewielki podgrzew wody w elektrowniach jądrowych wymusza znacznie większy przepływ chłodziwa. Dla przykładu pompa wody zasilającej w Elektrowni Opolo ma wydajność 1300 t/h , podczas gdy w elektrowni jądrowej Beznau pracują dwie pompy obiegowe o wydajności $12\,000 \text{ t/h}$ każda (moce bloków są porównywalne).

Ważnym urządzeniem w elektrowni jądrowej typu PWR jest wytwornica pary, stanowiąca bardzo duży pionowy wymiennik ciepła typu U-rurki. Reaktory tego typu budowane przez Rosję posiadają natomiast poziome wytwornice pary. Z reaktorem współpracują najczęściej dwie takie wytwornice (lub więcej), które wraz z układem rurociągów oraz pompami obiegowymi stanowią tzw. układ pierwotny reaktora. W układzie rurek krąży pod wysokim ciśnieniem podgrzewana w reaktorze woda, a w przestrzeni międzyrurkowej wytwarzana jest para, która już w obiegu wtórnym podawana jest do turbiny. Na ogół wytwornica pary jest gabarytowo znacznie większa od samego zbiornika ciśnieniowego reaktora, co stwarza określone trudności technologiczne przy jej wytwarzaniu, transporcie i montażu w budynku głównym reaktora (masa wytwornicy wynosi np. 430 t, grubość dna sitowego przekracza niekiedy 600 mm przy średnicy 3800 mm).

W reaktorach typu BWR wytwornicą pary jest reaktor; woda doprowadzona w reaktorze do stanu wrzenia jest w nim zamieniana w parę, wykorzystywaną bezpośrednio w turbinie. Obieg jest więc tylko jeden i to znacznie uproszczony, problemem jednak staje się nieco promieniotwórcza para wskutek realnych nieszczelności (w technice nie ma bowiem stuprocentowej szczelności). To z kolei wymusza umieszczenie całego układu pary, turbiny i kondensatora za osłonami biologicznymi i stwarza większe problemy przy obsłudze i remontach maszynowni.

Podstawowymi cechami odróżniającymi turbiny w elektrowniach jądrowych od turbin na parę przegrzaną, stosowanych w energetyce konwencjonalnej, są: brak części średnioprężnej turbiny, do której doprowadzana jest tzw. para wtórnie przegrzana (brak bowiem przegrzewu w reaktorach energetycznych, o czym wcześniej wspomiano), duże przepływy pary oraz wzrastające zawilgocenie pary podczas jej rozprężania, występujące nie tylko w części niskoprężnej, ale i w wysokoprężnej. Wilgotność pary prowadzi do zmniejszenia współczynnika wewnętrznej sprawności termodynamicznej turbiny, a ponadto powoduje erozję łopatek. W zależności od różnych czynników największa dopuszczalna wilgotność pary w turbinie nie może z reguły przekraczać $8\div 13\%$. W celu zmniejszenia wilgotności pary stosuje się wiele metod, przede wszystkim oddzielenie wilgoci w tzw. separatorach zewnętrznych, instalowanych między kadłubami turbiny. Oprócz tego łopatki turbin wykonuje się z materiałów o zwiększonej odporności na erozję i korozję, a także czasami stosuje się niższe obroty wirnika – 1500 obr/min (lub odpowiednio 1800 obr/min w Stanach Zjednoczonych), co umożliwia zwiększenie średnicy końcowych łopatek wirnika.



Rys. 5. Elektrownia jądrowa Beznau z dwoma blokami po 350 MW_e zlokalizowana na wyspie. Widoczna w górnej części zdjęcia druga elektrownia jądrowa Leibstadt odległa od Beznau zaledwie o 18 km

Turbiny na parę nasyconą cechuje dwukrotnie większe jednostkowe zapotrzebowanie na parę niż w przypadku turbin z międzystopniowym przegrzewem pary, co wyraźnie widać na przykładzie elektrowni konwencjonalnej Opolo oraz elektrowni jądrowej Beznau – obie o porównywalnych mocach (tab. 2). Parę nasyconą doprowadza się rurociągami parowymi do części wysokoprężnej turbiny. Z części wysokoprężnej para kierowana jest do separatora pary – podgrzewacza, skąd jest doprowadzana do niskoprężnej części turbiny w celu wykonania dalszej pracy mechanicznej. Ponieważ objętość właściwa pary nasyconej przy rozprężaniu do ciśnienia około 5 kPa, panującego zwykle w skraplaczach, wzrasta około 1000 razy, więc przyjmuje się rozwiązanie, w którym jeden kadłub wysokoprężny współpracuje z trzema kadłubami niskoprężnymi. Oznacza to, że w typowej elektrowni o mocy elektrycznej

1000 MW są potrzebne trzy skraplacze, po jednym pod każdym z trzech kadłubów części niskoprężnej turbiny. Także strumień masy wody chłodzącej w elektrowni jądrowej (a więc i wydajność oraz moc odpowiednich pomp wody chłodzącej) jest o około 50% większy niż w elektrowni konwencjonalnej o tej samej mocy. Wynika to z gorszej sprawności cieplnej elektrowni jądrowej, a także częściowego (około 6÷8%) unoszenia ciepła przez komin w elektrowni konwencjonalnej. Na przykład do chłodzenia jednego bloku 360 MW w elektrowni Opole zużywa się około 40 000 t/h wody chłodzącej, podczas gdy w elektrowni jądrowej Beznau odpowiednio 72 000 t/h (pracują dwie pompy wody chłodzącej). W blokach jądrowych dużej mocy np. 1300 MW (Francja) pracują pompy wody chłodzącej o wydajności aż 77 000 t/h.

Duże ilości przepływającej wody chłodzącej reaktor, kondensatu oraz wody chłodzącej kondensat w elektrowni jądrowej powodują konieczność instalowania pomp o dużej wydajności, a co za tym idzie – silników zasilających o dużych mocach 4÷13 MW. Pomimo braku w elektrowni jądrowej wielu napędów związanych z gospodarką paliwową, odpopielaniem, czy układem powietrze-spaliny, potrzeby własne są również znaczne i wynoszą średnio 4,5÷6%, a więc niewiele mniej niż w elektrowni konwencjonalnej. Istotniejsze różnice w porównaniu z elektrownią konwencjonalną występują w układzie zasilania potrzeb własnych.

TABELA 2. Porównanie elektrowni konwencjonalnej Opole z jądrową Bezanu o tej samej mocy netto

Elektrownia Parametry	Opole	Beznau
Typ bloku	BP-1150	PWR
Moc elektryczna	360 MW (brutto)	350 MW (netto)
Moc termiczna	925 MW	1130 MW
Woda zasilająca T/p	255 °C/21,0 MPa	285 °C/15,5 MPa
Para/woda na wyjściu z kotła/reaktora T/pP	540 °C/18,3 MPa	315 °C/15,5 MPa 270 °C/5,5 MPa
Ilość pary na turbinę	1150 t/h	2 x 1152 t/h
Ilość wytwornic pary	-----	2 pionowe
Wysokość bloku	102 m	67,5 m
Powierzchnia zabudowy	96 ha (6 bloków)	6 ha (2 bloki)
Roczna ilość surowców*	~1 000 000 t (węgiel) 32 500 t (mączka wap.)	39,5 t (wsad) 13,0 t (zużycie)
Roczna ilość odpadów*	• 190 000 t popiołu i żużla • 45 500 t gipsu ~2 mln t CO₂ ~200 t CO	• ~0,8 m³ odpadów wysokoaktywnych • 50 beczek odpadów średnioaktywnych • 100 beczek odpadów niskoaktywnych

	~3 600 t NO _x ~3 000 t SO ₂ i SO	
Obiekty i urządzenia specyficzne dla danego typu bloku	• rozbudowany układ transportu kolejowego • obiekty nawęglania • obiekty odpopielania • instalacja powietrza • instalacja spalin • instalacja odsiarczania • komin (250 m)	• szczelny budynek reaktora • basen do przechowywania wypalonego paliwa • magazyn odpadów nisko- i średnioaktywnych • wytwornice pary
Zatrudnienie	• 1500 osób (4 bloki)	• 460 osób (2 bloki)

* Średni czas pracy bloku w konwencjonalnej elektrowni ciepłej wynosi 6500 godz. rocznie.

Cechą charakterystyczną elektrowni jądrowej, mającą wpływ na rozwiązanie tego układu, jest występowanie tzw. ciepła powyłączeniowego w reaktorze, w wyniku rozpadu promieniotwórczego nowopowstałych pierwiastków z reakcji rozszczepień. Ciepło to musi być odprowadzane także po odstawieniu reaktora w warunkach normalnych, jak i w warunkach całkowitego zaniku napięcia zasilania podstawowego i rezerwowego urządzeń potrzeb własnych oraz przerwaniu współpracy elektrowni jądrowej z systemem elektroenergetycznym. Wbrew temu, co się sądzi, odprowadzanie ciepła powyłączeniowego to poważny problem dotyczący bezpieczeństwa w energetyce jądrowej.

Elektrownie jądrowe z powodu wykorzystania do produkcji ciepła reakcji łańcuchowej, pracują najlepiej przy stałym obciążeniu. Wyjątek stanowi tutaj Francja, gdzie bardzo duży udział elektrowni jądrowych w systemie elektroenergetycznym kraju doprowadził do konieczności pracy elektrowni przy zmiennym obciążeniu już od 1983 r. Wprowadzono zmiany w systemie sterowania reaktorem i przystosowano je do automatycznej zmiany mocy reaktora wraz ze zmianą częstotliwości sieci. System nadążania za obciążeniem pozwala na automatyczną zmianę mocy reaktora w zakresie 30÷100%, z prędkością około 5% mocy nominalnej na minutę. Biorąc pod uwagę, że wymagania te dotyczą bloków o mocy 900 MW lub 1300 MW, zmiany te są dość znaczne i wynoszą odpowiednio 45 MW/min oraz 65 MW/min.

Zgodnie z obecnymi europejskimi wymaganiami dla nowobudowanych elektrowni jądrowych, współczynnik dyspozycyjności winien być nie mniejszy niż 87%, planowane odstawienia poniżej 25 dni/rok, wyłączenia awaryjne poniżej jednego na 7000 h pracy. Przy

okazji warto wspomnieć, że planowany okres eksploatacji bloku jądrowego wynosi obecnie 60 lat, a czas budowy nie powinien przekraczać 54 miesięcy.

Istotne różnice występują również w kosztach. Otóż wiadomo, że głównym składnikiem kosztów elektrowni konwencjonalnych jest paliwo i jego udział wynosi 40÷50% dla elektrowni węglowych i około 70÷80% dla elektrowni gazowych, podczas gdy dla elektrowni jądrowych koszty paliwa stanowią 15÷25% (we współczesnych elektrowniach jądrowych koszt uranu naturalnego stanowi około 1% ogólnych kosztów wytwarzania energii). W konsekwencji tego koszty wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach konwencjonalnych są bardziej wrażliwe na trendy zmian cen paliwa niż w przypadku elektrowni jądrowych. Uważa się, że nawet stukrotny wzrost ceny uranu mógłby zaledwie podwoić cenę energii. Jakkolwiek same koszty inwestycyjne dla elektrowni jądrowych są dość wysokie – powyżej 1600 \$ za 1 kW, to w przypadku elektrowni konwencjonalnych na węgiel koszty te (rzędu 1000 \$ za 1 kW) mają ostatnio tendencję zwyżkową ze względu na coraz ostrzejsze wymagania dotyczące ochrony środowiska naturalnego.

Źródła:

1. Sprawozdanie z wyjazdu służbowego do elektrowni jądrowej w Bezanu oraz Leibstadt (Szwajcaria) – 1994 r.
2. „Siemens Power Journal” 4/97
3. G. Jezierski, *Energia jądrowa wczoraj i dziś*, WNT, Warszawa 2005 r.