

WYBRANE ZAGADNIENIA ENERGETYKI JĄDROWEJ

W ostatnich latach obserwuje się wznowienie zainteresowania rozwojem i zastosowaniem reaktorów jądrowych małej i średniej mocy. Badania w tym zakresie prowadzą min. Japonia, Rosja, Stany Zjednoczone, Indie, Chiny, Argentyna, Korea Południowa. W pracy zaprezentowano kierunki polskiej polityki energetycznej na tle Odnowionej Strategii Lizbońskiej o Odnowionej Strategii Zrównoważonego Rozwoju UE. Omówiono plany wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Przeanalizowano rozwój energetyki jądrowej na świecie z uwzględnieniem kryteriów określających poziom skali INES. Oceniono zalety i bariery rozwoju reaktorów SMR.

WSTĘP

W ostatnich latach na świecie, w szczególności w państwach członkowskich Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA, ang. IAEA – International Atomic Energy Agency), obserwuje się wznowienie zainteresowania rozwojem i zastosowaniem reaktorów jądrowych małej i średniej mocy [1].

Wiele krajów zajmuje się aktualnie badaniami i rozwojem reaktorów małej i średniej mocy. Należą do nich m.in.: Rosja, Japonia, Stany Zjednoczone, Indie, Chiny, Argentyna i Korea Południowa. Istnieje szereg zalet tego typu rozwiązania [2].

Okolo 60 lat temu rozpoczęła pracę pierwsza eksperymentalna cywilna elektrownia jądrowa w Obnińsku koło Moskwy. Był to prototyp, niepodobny do powstałych później elektrowni jądrowych. Pierwszą elektrownią jądrową, w pełni „profesjonalną” była elektrownia Kalder Hall w Wielkiej Brytanii, z czterema blokami o mocy 60 MW_e każdy, włączonymi do sieci w latach 1956-1958. Wszystkie te bloki pracowały do końca marca 2003 roku, czyli pracowały od 45 do 47 lat. Według obecnych szacunków czas życia elektrowni jądrowej może wynosić 60 lat [3].

1. UWARUNKOWANIA I KIERUNKI POLITYKI ENERGETYCZNEJ POLSKI

Polski sektor energetyczny stoi obecnie przed poważnymi wyzwaniami. Wysokie zapotrzebowanie na energię, nieadekwatny poziom rozwoju infrastruktury wytwórczej i transportowej paliw i energii, znaczne uzależnienie od zewnętrznych dostaw gazu ziemnego i niemal pełne od zewnętrznych dostaw ropy naftowej oraz zobowiązania w zakresie ochrony środowiska, w tym dotyczące klimatu, powodują konieczność podjęcia zdecydowanych działań zapobiegających pogorszeniu się sytuacji odbiorców paliw i energii [5].

Jednocześnie w ostatnich latach w gospodarce światowej wystąpił szereg niekorzystnych zjawisk. Istotne wahania cen surowców energetycznych, rosące zapotrzebowanie na energię ze strony krajów rozwijających się, poważne awarie systemów energetycznych oraz wzrastające zanieczyszczenie środowiska wymagają nowego podejścia do prowadzenia polityki energetycznej.

W ramach zobowiązań ekologicznych Unia Europejska wyznaczyła na 2020 rok cele ilościowe, tzw. „3 x 20%”, tj.: zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do roku 1990, zmniejszenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami dla UE na 2020 r., zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do

20% całkowitego zużycia energii w UE, w tym zwiększenie wykorzystania odnawialnych źródeł energii w transporcie do 10%. W grudniu 2008 roku został przyjęty przez UE pakiet klimatyczno-energetyczny, w którym zawarte są konkretne narzędzia prawne realizacji ww. celów. Polityka energetyczna poprzez działania inicjowane na szczeblu krajowym wpisuje się w realizację celów polityki energetycznej określonych na poziomie Wspólnoty [5].

Podstawowymi kierunkami polskiej polityki energetycznej są:

- poprawa efektywności energetycznej,
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii,
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej,
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Przyjęte kierunki polityki energetycznej są w znacznym stopniu współzależne. Poprawa efektywności energetycznej ogranicza wzrost zapotrzebowania na paliwa i energię, przyczyniając się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego, na skutek zmniejszenia uzależnienia od importu, a także działa na rzecz ograniczenia wpływu energetyki na środowisko poprzez redukcję emisji. Podobne efekty przynosi rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym zastosowanie biopaliw, wykorzystanie czystych technologii węglowych oraz wprowadzenie energetyki jądrowej.

Realizując działania zgodnie z tymi kierunkami, polityka energetyczna będzie dążyła do wzrostu bezpieczeństwa energetycznego kraju przy zachowaniu zasady zrównoważonego rozwoju.

Polityka energetyczna wpisuje się w priorytety „Strategii rozwoju kraju 2007-2015” przyjętej przez Radę Ministrów w dniu 29 listopada 2006 roku. W szczególności cele i działania określone w niniejszym dokumencie przyczynią się do realizacji priorytetu dotyczącego poprawy stanu infrastruktury technicznej. Cele Polityki energetycznej są także zbieżne z celami Odnowionej Strategii Lizbońskiej i Odnowionej Strategii Zrównoważonego Rozwoju UE. Polityka energetyczna będzie zmierzać do realizacji zobowiązania, wyrażonego w powyższych strategiach UE, o przekształceniu Europy w gospodarkę o niskiej emisji dwutlenku węgla oraz pewnym, zrównoważonym i konkurencyjnym zaopatrzeniu w energię [5].

2. PLANY WYKORZYSTYWANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII (OZE)

Główne cele polityki energetycznej Polski w tym obszarze obejmują:

- wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 roku oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych,
- osiągnięcie w 2020 roku 10% udziału biopaliw w rynku paliw transportowych oraz zwiększenie wykorzystania biopaliw II generacji,
- ochronę lasów przed nadmiernym eksploataowaniem, w celu pozyskiwania biomasy oraz zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele OZE, w tym biopaliw, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy energetyką odnawialną i rolnictwem oraz zachować różnorodność biologiczną,
- wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej istniejących urządzeń piętrzących stanowiących własność Skarbu Państwa.
- zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie optymalnych warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie dostępnych surowcach.
Działania w tym obszarze obejmują:
- wypracowanie ścieżki dochodzenia do osiągnięcia 15% udziału OZE w zużyciu energii finalnej w sposób zrównoważony, w podziale na poszczególne rodzaje energii: energię elektryczną, ciepło i chłód oraz energię odnawialną w transporcie,
- utrzymanie mechanizmów wsparcia dla producentów energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, np. poprzez system świadczeń pochodzenia,
- utrzymanie obowiązków stopniowego zwiększania udziału biokomponentów w paliwach transportowych, tak aby osiągnąć zamierzone cele,
- wprowadzenie dodatkowych instrumentów wsparcia zachęcających do szerszego wytwarzania ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii,
- wdrożenie kierunków budowy biogazowni rolniczych, przy założeniu powstania do roku 2020 średnio jednej biogazowni w każdej gminie,
- zorganizowanie warunków ułatwiających podejmowanie decyzji inwestycyjnych dotyczących budowy farm wiatrowych na morzu,
- utrzymanie zasady zwolnienia z akcyzy energii pochodzącej z OZE,
- bezpośrednie wsparcie budowy nowych jednostek OZE i sieci elektroenergetycznych, umożliwiających ich przyłączenie z wykorzystaniem funduszy europejskich oraz środków funduszy ochrony środowiska, w tym środków pochodzących z opłaty zastępczej i z kar,
- stymulowanie rozwoju potencjału polskiego przemysłu, produkującego urządzenia dla energetyki odnawialnej, w tym przy wykorzystaniu funduszy europejskich,
- wsparcie rozwoju technologii oraz budowy instalacji do pozyskiwania energii odnawialnej z odpadów zawierających materiały ulegające biodegradacji (np. odpadów komunalnych zawierających frakcje ulegające biodegradacji),
- ocena możliwości energetycznego wykorzystania istniejących urządzeń piętrzących, stanowiących własność Skarbu Państwa, poprzez ich inwentaryzację, ramowe określenie wpływu na środowisko oraz wypracowanie zasad ich udostępniania [5].

3. ROZWÓJ ENERGETYKI JĄDROWEJ NA ŚWIECIE

Zdecydowana większość z 440 aktualnie pracujących reaktorów energetycznych to reaktory II generacji. W Europie działa blisko 180 reaktorów. Na całym świecie budowanych jest 40 reaktorów. Są

to reaktory generacji III. Łączna moc nowych reaktorów wynosi 38 tys. MW. Najwięcej inwestycji realizowanych jest w Chinach (11 reaktorów), Rosji (8), Indiach (6), Korei Płd. (5) i na Bliskim Wschodzie (4). W Europie kończy się budowę 2 reaktorów (Flamanville – Francja, Olkiluoto – Finlandia, obydwu typu EPR-Areva). W 2012 roku rozpoczęto przygotowania do budowy EJ w Obwodzie Kaliningradzkim. Elektrownia ma mieć 2 reaktory typu VVER-1200 (rosyjska odmiana PWR). U uruchomienie pierwszego bloku planowane jest na 2017 rok.

Istnieje kilkanaście typów reaktorów energetycznych: BWR, CANDU, FBR, GCFR, GCR, HTGR, HTR, HWR, LMFBR, MSBR, OMR, PHWR, PWR, RBMK, THTR [7]. Blisko 95% energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach jądrowych pochodzi z dwóch typów reaktorów: PWR (65%) i BWR (30%). Są to reaktory chłodzone zwykłą wodą (H₂O), BWR – Boiling Water Reactor (reaktor z wrzącą wodą), PWR – Pressurized Water Reactor (ciśnieniowy reaktor wodny). Nowe elektrownie jądrowe (III generacji) są wyposażone w reaktory typu PWR lub BWR, np. EPR-Areva-Francja, AP-1000-Westinghouse-USA, ABWR-General Electric-Hitachi /Toshiba-USA-Japonia [6].

Najważniejsze cechy EJ z reaktorami III generacji są następujące:

- duża „głębokość” wypalenia paliwa: 60–65 GWd/t; w II generacji do 45 GWd/t,
- długi czas eksploatacji: 60 lat; w II generacji: 40 lat,
- wyższa sprawność energetyczna: 35%; II generacja maksymalnie 33%,
- krótszy projektowy czas budowy: 5 lat, II generacja 7 lat,
- prostsza, bardziej niezawodna konstrukcja (np. AP-1000 ma o 35% mniej pomp, 60% mniej rurociągów związanych z bezpieczeństwem, 50% mniej zaworów w układzie bezpieczeństwa),
- możliwość pracy przy zmiennym obciążeniu: 20–100% mocy nominalnej,
- od początku projektowana z myślą o przyszłej likwidacji,
- pasywne systemy w układzie bezpieczeństwa (systemy pasywne nie wymagają zasilania energią z zewnątrz, wykorzystują naturalne zjawiska fizyczne),
- wyposażona w chwytacz rdzenia (MHA, „chiński syndrom”),
- obudowa bezpieczeństwa odporna na upadek dużego samolotu pasażerskiego (wymóg wprowadzony po 11.09.2001),
- obudowa bezpieczeństwa wyposażona w układ katalitycznej rekombinacji wodoru (wodór powstaje w wysokiej temperaturze w wyniku reakcji cyrkonu z wodą i w obecności powietrza tworzy mieszaninę wybuchową) [6].

4. MIĘDZYKRAJOWA SKALA ZDARZEŃ JĄDROWYCH (INES)

Katastrofa czarnobylska zahamowała na około 15 lat rozbudowę energetyki jądrowej. Pobudziła ona jednak konstruktorów do doskonalenia konstrukcji reaktorów i systemów bezpieczeństwa. Katastrofa w Fukushima zdarzyła się w kraju o bardzo zaawansowanej technice, o szczególnie dużej wrażliwości na zagrożenia radiologiczne uwarunkowanej doświadczeniem historycznym [8]. Spowodowała jednak dzięki znacznie solidniejszemu zabezpieczeniu reaktorów japońskich w porównaniu z reaktorami RBMK kilka razy mniejsze skażenia niż w Czarnobylu.

W celu klasyfikacji zdarzeń powiązanych z awarią elektrowni jądrowej, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej – organizacja, działająca w ramach ONZ, której celem jest praca na rzecz bezpieczeństwa użytkowania energii atomowej opracowała Międzynarodową Skalę Zdarzeń Jądrowych (INES - International Nuclear

Event Scale), która służy ocenie skutków awarii (tabela 1). Skala ta jest powszechnie stosowana w ponad 60 krajach. Obejmuje ona 8 poziomów, które pozwalają na szybką i łatwą klasyfikację zdarzeń zarówno przez ekspertów, jak też media i społeczeństwa [10].

Tab. 1. Kryteria określające poziom skali INES [9]

Poziom	Nazwa	Kryteria
7	Wielka awaria	Uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych nagromadzonych w dużym obiekcie (np. w rdzeniu reaktora energetycznego). Będzie to zazwyczaj mieszanina krótko- i długożyciowych produktów rozszczepienia (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia co najmniej dziesiątków tysięcy terabekereli jodu 131). W wyniku takiego uwolnienia należy oczekiwać ostrych skutków zdrowotnych, skutków późnych na dużym obszarze (być może wykraczających poza granice kraju), długotrwałych skutków środowiskowych.
6	Poważna awaria	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od tysięcy do dziesiątek tysięcy terabekereli jodu 131). Prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w lokalnych planach postępowania awaryjnego, w celu ograniczenia poważnych skutków zdrowotnych.
5	Awaria z zagrożeniem poza obiektem	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od setek do tysięcy terabekereli jodu 131). Przepuszczalnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w planach postępowania awaryjnego, w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia skutków zdrowotnych Poważne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być: częściowe uszkodzenie rdzenia reaktora, awaria spowodowana nieprzewidzianym osiągnięciem przez reaktor stanu nadkrytycznego, poważny pożar lub eksplozja, w wyniku których nastąpi uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych wewnątrz obiektu.
4	Awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych, przy czym największa dawka, jaką może otrzymać osoba znajdująca się poza obiektem wyniesie ok. kilku mSv. Przy takim uwolnieniu konieczność podjęcia działań zaradczych poza obiektem jest mało prawdopodobna, z wyjątkiem ewentualnej kontroli żywności. Znaczne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być awaria, która spowoduje uszkodzenie elektrowni trudne do naprawienia (np. częściowe stopienie rdzenia reaktora) lub porównywalne zdarzenie w instalacjach niereaktorowych. Prawdopodobieństwo napromieniowania jednego lub kilku pracowników dawką śmiertelną.
3	Poważny incydent	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych przekraczające ustalone limity, przy czym największa dawka, jaką otrzyma osoba znajdująca się poza obiektem, nie przekroczy 1 mSv. Przy takich uwolnieniach podejmowanie środków zaradczych prawdopodobnie nie będzie potrzebne. Zdarzenie na terenie obiektu, które może spowodować ostre skutki zdrowotne u pracowników i / lub rozległe skażenie, np. uwolnienie do obudowy bezpieczeństwa substancji promieniotwórczych o aktywności kilku tysięcy terabekereli, przy czym substancje te mogą być zawrócone do odpowiednich stref przechowywania. Zdarzenie, w wyniku którego jakkolwiek dalsza niesprawność systemów zabezpieczeń może doprowadzić do awarii lub sytuacji, w której systemy te nie byłyby w stanie zapobiec awarii, gdyby pojawiły się dodatkowe czynniki inicjujące.
2	Incydent	Zdarzenie, w wyniku którego zostały znaczenie naruszone niektóre bariery bezpieczeństwa, ale pozostałe elementy wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. "obrony w głąb") skutecznie chronią przed ewentualnymi dalszymi uszkodzeniami. Zdarzenie, w wyniku którego pracownik otrzyma dawkę przekraczającą ustaloną roczną dawkę graniczną i / lub zdarzenie prowadzące do znacznego skażenia w miejscach, w których nie powinno się ono pojawić, a co wymaga podjęcia działań naprawczych
1	Anomalia	Zdarzenie naruszające zatwierdzony reżim eksploatacyjny, ale z zachowaniem znaczącego stopnia sprawności systemów zabezpieczeń. Może to być spowodowane niesprawnością urządzenia, błędem ludzkim lub niedoskonałością procedur i może powstać w dowolnym obszarze objętym Skalą, tzn. podczas eksploatacji obiektu, transportu materiałów promieniotwórczych, przeładowania paliwa lub postępowania z odpadami. Przykłady obejmują: naruszenia specyfikacji technicznych lub przepisów transportowych nie powodujące bezpośrednich skutków dla bezpieczeństwa; incydenty ujawniające niedociągnięcia w systemie organizacyjnym lub kulturze bezpieczeństwa; drobne uszkodzenia rurociągów wykraczające poza zjawiska przewidywane w ramach programu nadzoru.
0	Poniżej skali	Odstępstwa, które nie wykraczają poza ograniczenia i dopuszczalne parametry eksploatacyjne i są prawidłowo zarządzane zgodnie z odpowiednimi procedurami. Przykłady obejmują: pojedynczą losową usterkę w systemach redundacyjnych, wykrytą podczas okresowej kontroli lub testu; planowane, normalnie przebiegające wyłączenie reaktora; zbędne i nie powodujące znaczących konsekwencji uruchomienie układów bezpieczeństwa; wycieki w granicach limitów eksploatacyjnych, niewielkie rozprzestrzenianie skażeń w granicach obszarów kontrolowanych nie mające większego znaczenia dla kultury bezpieczeństwa.

PODSUMOWANIE

Ostatnie lata przyniosły wzrost zainteresowania reaktorami jądrowymi IV generacji małej i średniej mocy (SMR – ang. Small and Medium Reactors), których moce nie przekraczają 700 MW, jako rozwiązania alternatywnego dla dużych skomercjalizowanych bloków jądrowych. Obecnie rozwijane reaktory SMR mogą skutecznie konkurować z dużymi reaktorami z uwagi na zalety w postaci:

- mniejszej konstrukcji pozwalającej na produkcję elementów reaktora w nadzorowanych fabrykach;
- mniejszej ilości ciepła do wyprowadzenia z obiegu wtórnego, ułatwiającej wybór lokalizacji;
- mniejszego ryzyka inwestycyjnego i finansowego;

- poprawy stabilności systemu elektroenergetycznego;
- niezawodność i odporność na wykorzystanie materiałów i urządzeń jądrowych do produkcji broni jądrowej.

Najbardziej zaawansowanymi projektami małych reaktorów jądrowych IV generacji wydają się lekkowodne reaktory o zintegrowanej budowie obiegu pierwotnego, do których należą projekty Westinghouse IRIS i NuScale oraz reaktor Toshiba 4S na neutrony prężkie, chłodzony sodem. Ten ostatni jest przewidywany do instalacji w Galenie na Alasce. Podstawowymi barierami (tabela 2) rozwoju technologii małych reaktorów są: zbyt duża liczba konkurujących ze sobą projektów, obawa przed nowymi technologiami reaktorów oraz postrzeganie małych jednostek przez pryzmat ekonomii skali [4].

Tab. 2. Podsumowanie zalet i barier dla rozwoju reaktorów SMR

(wg. „Global Trends, Prospects and Challenges for Innovative SMRs Deployment”, M. Hadid Subkki, MAEA) [14]

	Zalety	Barier
Zagadnienia technologiczne	<ul style="list-style-type: none"> - skrócenie czasu budowy reaktora (modularyzacja); - potencjał dla zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności; - uproszczenia projektowe; - możliwość wykorzystania do celów związanych nie tylko z produkcją energii elektrycznej; - zastąpienie starzejących się elektrowni konwencjonalnych, ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. 	<ul style="list-style-type: none"> - licencjonowanie (ze względu na zastosowane nowych rozwiązań jeszcze niestosowanych); - nowe rozwiązania nieoparte na technologii reaktorów lekkowodnych; - efektywność pracy reaktora. - znaczenie czynnika ludzkiego przy kontrolowaniu elektrowni złożonych z wielu reaktorów SMR; - implementacja wniosków wyciągniętych z awarii w Fukushima w projekcie i bezpieczeństwie reaktorów.
Aspekty nie technologiczne	<ul style="list-style-type: none"> - dopasowanie do małych systemów elektroenergetycznych; - dopasowanie do rosnącego zapotrzebowania na energię przez dostawianie kolejnych modułów; - elastyczność lokalizacyjna; - zmniejszenie strefy wyłączenia; - obniżenie potrzebnego kapitału; - łatwiejsze finansowanie. 	<ul style="list-style-type: none"> - konkurencyjność ekonomiczna; - oszacowanie kosztów pierwszego SMR; - wymagania i infrastruktura regulacyjna (w krajach, które posiadają już elektrownie jądrowe, jak i w krajach, które dopiero zaczynają program jądrowy); - dostępność projektów dla krajów, które zaczynają program jądrowy; - implementacja wniosków wyciągniętych z awarii w Fukushima dotyczących kwestii instytucjonalnych i akceptacji opinii publicznej.

Reaktory prężkie IV generacji w niedalekiej przyszłości stanowiąc będą doskonałe uzupełnienie dotychczas eksploatowanej sieci reaktorów II i III generacji. Ich ważną zaletą jest zwiększona wydajność energetyczna (dochodząca do prawie 50 %, obecnie wskaźnik ten wynosi 35-37 %). Co więcej, są one przyjazne środowisku naturalnemu, nie tylko ze względu na brak szkodliwych emisji, ale również poprzez wydłużenie cyklu paliwowego oraz możliwość spalania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych z obecnie eksploatowanych elektrowni atomowych. Reaktory prężkie IV generacji pozwalają na poprawę wykorzystywania zasobów dostępnego na świecie uranu. Obecnie jest on stosunkowo tani, jednakże w miarę wyczerpywania się jego złóż ceny mogą wzrosnąć. Reaktory prężkie są więc technologią perspektywiczną, która może być ekonomicznie opłacalna w przeciągu najbliższych dziesięcioleci. Do IV generacji zalicza się również inne typy reaktorów, w tym tzw. reaktory wysokotemperaturowe. Mogą one służyć za źródło pary o temperaturze dostatecznie wysokiej (do 600°C a niektóre projekty nawet do 900°C) by mogła ona być wykorzystana jako źródło ciepła w przemyśle chemicznym, pozwalając tym samym ograniczyć zużycie kosztownego gazu ziemnego [13].

Ze względu na swoją elastyczną charakterystykę pracy reaktory małej i średniej mocy mogą znaleźć zastosowanie w sieciach

elektroenergetycznych o ograniczonej mocy zainstalowanej źródeł wytwórczych, w których odchylenia bilansu mocy czynnej przekraczające 10% mocy zainstalowanej źródeł przyłączonych do sieci mogą zagrozić pracy i stabilności systemu elektroenergetycznego [2]. Za perspektywą ich zastosowania przemawia również fakt, że wiele z działających obecnie podsystemów elektroenergetycznych nie jest jeszcze przystosowanych do przyłączenia bloków energetycznych o mocy przekraczającej 1000 MW. Mniejsze reaktory jądrowe mogą zostać ponadto wykorzystane w systemach opartych na OZE, w których konieczne będzie nadążanie za zmianami obciążenia w systemie elektroenergetycznym.

Polska stoi obecnie przed zasadniczym wyzwaniem, co poza modernizacją kotłów w elektrowniach węglowych zrobić dla unowocześnienia i rozbudowy potencjału energetycznego kraju. Możliwości budowy elektrowni wodnych ze względów środowiskowych są bardzo ograniczone. Obecny stan zaawansowania technologii pozyskiwania energii z wiatru czy słońca nie daje podstaw do konkurencyjności zarówno z energetyką konwencjonalną jak i jądrową. Biorąc to pod uwagę przyszłością Polskiej energetyki wydaje się być synergia węglowo-jądrowa.

BIBLIOGRAFIA

1. Kuznetsov V.: „IAEA activities for innovative Small and Medium sized Reactors (SMRs)”, Progress in Nuclear Energy, 47, no. 1–4, 2005, pp. 61–73.
2. Jaskólski M.: „Reaktory jądrowe małej i średniej mocy przyszłością energetyki?”, www.innowrota.pl (21.09.2015).
3. Nowak S., Kaczor T.: „Sześćdziesiąt lat energetyki jądrowej”, Polski Kongres Energii Odnawialnej. Energia Jutra, X Seminarium „Odnawialne Źródła Energii”, str. 7-14, Radom 2014, ISBN 978-83-7789-267-1.
4. Jaskólski M.: „Reaktory jądrowe małej i średniej mocy”, Acta Energetica 4/2011, Kwartalnik Naukowy Energetyków, str. 39–44, ISSN 2080-7570.
5. Ministerstwo Gospodarki „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów, Warszawa, 10.11.2009.
6. Wojtkowiak J.: „Energetyka jądrowa – za i przeciw w warunkach polskich”, Instytut Inżynierii Środowiska, Biuletyn Inauguracyjny Politechniki Poznańskiej, str. 61-88, Poznań 2012.
7. Murray R. L.: „Nuclear Energy. Systems, and Applications of Nuclear Processes”. (6th Ed.), Elsevier BH, Amsterdam, 2009.
8. Nowak S.: „Fukushima i co dalej?”, Polski Kongres Energii Odnawialnej. Energia Jutra VIII Seminarium „Odnawialne źródła energii”, str. 41-46, Radom 2012, ISBN 978-93-7789-081-3.
9. Jezierski G.: „Energia Jądrowa wczoraj i dziś”, WNT Warszawa 2005.
10. Baran M.: „Ocena zagrożenia bezpieczeństwa elektrowniami jądrowymi”, Praca magisterska, Politechnika Radomska, WTiE, Radom 2012.
11. Luks A.: „Zalety i wady energetyki jądrowej”, Energia i my, 2014.
12. <http://energiaimy.pl/2014/08/zalety-i-wady-energetyki-jadrowej/>, (21.09.2015).
13. <http://www.elektrownia-jadrowa.pl/polacy-beda-pracowac-nad-reaktorami-jadrowymi-iv-generacji-wnp-pl.html> (23.09.2015).
14. Samul K., Strupczewski A., Wrochna G.: „Małe reaktory jądrowe SMR”, Monografia, Narodowe Centrum Badań Jądrowych Świerk, 18.03.2013.

Some aspects of nuclear power

In recent years there has been renewed interest in the development and application of nuclear reactors of small and medium power. Research in this area leads min. Japan, Russia, the United States, India, China, Argentina, South Korea. The paper presents the directions of the Polish energy policy against the background of the renewed Lisbon Strategy for the renewed EU Sustainable Development Strategy. They discussed plans for the use of renewable energy sources. Analyzed the development of nuclear energy in the world of the criteria determining the level INES scale. Rated advantages and barriers to the development of SMR reactors.

Autorzy:

dr hab. inż. **Stanisław Cieślakowski**, prof. ndzw UTH Rad – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki

mgr inż. **Przemysław Rudzki** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki