

Energetyka jądrowa w pigułce

Energetyka jądrowa w pigułce



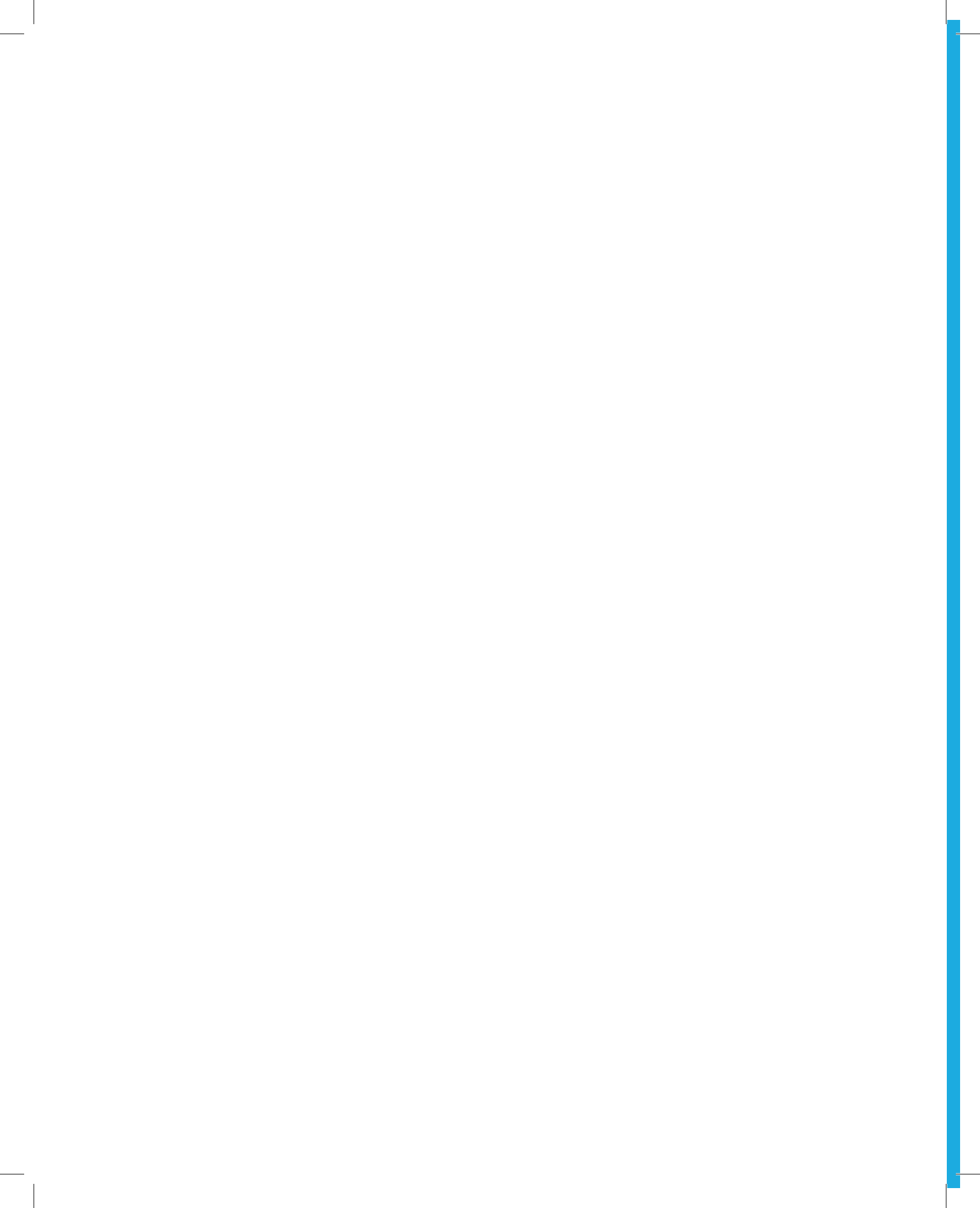
MINISTERSTWO ENERGII

Warszawa 2016

Wstęp

Energia elektryczna w XXI wieku stała się tak samo niezbędna, jak powietrze czy woda. Trudno sobie wyobrazić współczesny świat bez energii elektrycznej – nie funkcjonowałyby wodociągi, produkcja żywności, transport, sklepy, Internet. Sparaliżowany zostałby ruch drogowy, kolejowy, a po pewnym czasie przestałaby działać telefonia komórkowa. Energia elektryczna we współczesnym świecie jest tak oczywistym dobrem, że bardzo często zapominamy, ile trudu wkładają energetycy, aby dostarczyć ją do odbiorców. Aby zapewnić wystarczającą ilość energii gospodarce i każdemu gospodarstwu domowemu, kraj musi dysponować odpowiednim potencjałem wytwórczym i dystrybucyjnym.

Polska stoi obecnie przed wielkim wyzwaniem, jakim jest odbudowa tego potencjału. Stare i wysłużone elektrownie muszą zostać zastąpione nowymi źródłami wytwórczymi. Jednym z nich jest elektrownia jądrowa, która spełnia wszystkie oczekiwania stawiane nowoczesnym elektrowniom – produkuje prąd stale, bezpiecznie, ekologicznie i po racjonalnych cenach.





Jakie korzyści niesie energetyka jądrowa?

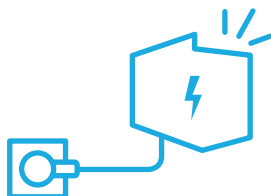
- 4 Przyczyny realizacji Programu polskiej energetyki jądrowej
- 5 Korzyści dla całej gospodarki
- 7 Korzyści dla regionu lokalizacji elektrowni jądrowej

Przyczyny realizacji Programu polskiej energetyki jądrowej



Sprostanie rosnącemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną

W Polsce, wraz z rozwojem gospodarczym, zwiększa się zużycie energii elektrycznej. Dlatego konieczna jest budowa nowych źródeł wytwórczych, ale również zastępowanie starych i wystużonych, które ze względu na wiek muszą zostać zamknięte. Ocenia się, że do 2030 r. konieczna będzie wymiana 12 GW mocy obecnie zainstalowanej w systemie energetycznym.



Poprawa bezpieczeństwa energetycznego kraju

Zróżnicowanie dostępnych źródeł energii elektrycznej pozwoli na poszerzenie kierunków dostaw paliw i zmniejszenie zależności energetyki od bieżącej sytuacji geopolitycznej. Surowiec do produkcji paliwa jądrowego jest pozyskiwany z krajów stabilnych politycznie, a jego ilość potrzebna do pracy elektrowni jest niewielka i łatwa do zmagazynowania na wiele lat (jedna ciężarówka rocznie).



Pewne dostawy energii elektrycznej

Elektrownie jądrowe stanowią bardzo stabilne źródło energii elektrycznej i produkują prąd nawet do 340 dni w roku, bez względu na zmienne warunki pogodowe. Tworzą podstawę systemu elektroenergetycznego kraju i ze względu na swoją rolę nie stanowią konkurencji dla odnawialnych źródeł energii.



Utrzymanie ceny energii na stabilnym poziomie

Koszty paliwa do elektrowni jądrowych są stabilne i nie podlegają większym wahaniom, w przeciwieństwie do węgla czy gazu. Stanowią tylko ok. 10% kosztu wytworzenia energii elektrycznej w elektrowni jądrowej, dlatego cena prądu z elektrowni tego typu jest bardzo przewidywalna. Cena prądu z elektrowni jądrowych jest niska biorąc pod uwagę długi okres jej funkcjonowania.



Ochrona środowiska

Elektrownia jądrowa jest traktowana jako bezemisyjne źródło energii. Nie emituje CO₂ ani szkodliwych produktów spalania, takich jak tlenki azotu, tlenki siarki, pyły i metale ciężkie. Pozwala na zaoszczędzenie przestrzeni, ponieważ zajmuje niewiele miejsca.



Rozwój cywilizacyjny kraju

Energetyka jądrowa to postęp techniczny, a tym samym rozwój polskich przedsiębiorstw, praca dla młodych inżynierów, impuls dla krajowej nauki i ogólna poprawa jakości życia Polaków.

Korzyści dla całej gospodarki

Energetyka jądrowa poprzez zapewnienie stabilnych kosztów wytwarzania energii elektrycznej oraz ograniczenie kosztów środowiskowych poprawi konkurencyjność gospodarki. Jest to istotne, ponieważ wyliczenia Banku Światowego dowodzą, iż wdrożenie przez Polskę dyrektyw pakietu energetyczno-klimatycznego może przełożyć się bezpośrednio na wzrost cen energii elektrycznej o około 20%. Energetyka jest jedną z tych gałęzi gospodarki, która najbardziej oddziałuje na jej konkurencyjność poprzez kształtowanie ceny energii elektrycznej wykorzystywanej w wielu innych gałęziach przemysłu. Wysokie koszty produkcji wynikające z wysokich cen energii elektrycznej, mogą z kolei doprowadzić do ucieczki z Polski przedsiębiorstw z energochłonnych sektorów gospodarki. Zatrudnionych jest w nich obecnie ok. 8,5% ogółu pracujących. W efekcie może to oznaczać pogorszenie konkurencyjności polskich przedsiębiorstw na rynku międzynarodowym.

PODNIESIENIE
KONKURENCYJNOŚCI

Nowy sektor pobudzi rozwój przedsiębiorstw z branży energetycznej oraz podniesie poziom produkcji i świadczonych przez nie usług. Polskie firmy mogą samodzielnie realizować znaczną część planowanych przedsięwzięć związanych z budową elektrowni jądrowej. Według różnych szacunków ich udział może sięgnąć nawet 50% dla pierwszych dwóch elektrowni. Poza tym należy się spodziewać rozwoju handlu: importu i eksportu produktów i usług dla sektora jądrowego.

ROZWÓJ PRZEDSIĘBIORSTW
I NOWE MIEJSCA PRACY

Już dziś mamy w Polsce wiele przedsiębiorstw, które mają doświadczenia międzynarodowe w budowie obiektów jądrowych. Są to firmy z sektora budowlanego, elektrotechnicznego, stoczniowego oraz biura projektowe (usługi inżynierskie). Na budowie jednego z najnowocześniejszych reaktorów na świecie, w fińskiej elektrowni jądrowej Olkiluoto, w szczytowym momencie pracowało 4500 osób, z czego aż 40% stanowili Polacy, zatrudnieni na różnych stanowiskach – od cieśli szalunkowych i spawaczy, aż po kierownika budowy. Polskie firmy dostarczyły również wiele ważnych urządzeń dla elektrowni oraz zajmowały się montażem aparatury.

Olbrzymie korzyści z uruchomienia nowego sektora będzie czerpał również rynek pracy. Wzrost zatrudnienia na lokalnym rynku spowoduje już sama budowa, która potrwa od 6 do 8 lat (dla całej elektrowni) i będzie wymagała zatrudnienia bezpośrednio ok. 6000 osób.

ROZWÓJ SEKTORA
BADAWCZO-ROZWOJOWEGO

Nie bez znaczenia są korzyści, jakie powstanie elektrowni jądrowej niesie szkolnictwu wyższemu oraz sektorowi badawczo-rozwojowemu. Projekt tworzy nowe płaszczyzny kontaktów międzynarodowych dla polskich firm, urzędów, uczelni i placówek naukowych. W długim okresie przemysł jądrowy wpłynie na stymulowanie rozwoju cywilizacyjnego kraju. Nastąpi wzrost ogólnego poziomu kultury technicznej w społeczeństwie. Wdrożenie energetyki jądrowej, prowadzące do wykorzystania wszystkich możliwości, jakie stwarza realizacja takiego programu, wiąże się z intensywną działalnością edukacyjną zarówno na poziomie edukacji szkolnej, jak i szkolnictwa wyższego.

Elektrownia jądrowa jest traktowana jako bezemisyjne źródło energii. Emisje dwutlenku węgla generowane podczas całego okresu jej eksploatacji, łącznie z budową, produkcją paliwa itp. są na poziomie turbin wiatrowych i niższym niż paneli fotowoltaicznych. Dzięki tej technologii możliwe jest spełnienie zobowiązań dotyczących wdrażania pakietu energetyczno-klimatycznego, szczególnie

OCHRONA ŚRODOWISKA

1. JAKIE KORZYŚCI NIESIE ENERGETYKA JĄDROWA?

ograniczenie emisji CO₂. Co więcej, elektrownia jądrowa nie emituje innych szkodliwych produktów spalania (tlenki, pyły, metale ciężkie), które powodują tysiące przedwczesnych zgonów w Polsce i na świecie. Poprawi się więc stan zdrowia polskiego społeczeństwa.

Elektrownia jądrowa to również źródło energii, które bierze pełną odpowiedzialność za odpady, które generuje. Funkcjonowanie elektrowni jądrowej wiąże się z powstawaniem niewielkiej ilości odpadów promieniotwórczych, które mogą być skutecznie odizolowane od środowiska. Współcześnie działalność ta jest finansowana z dedykowanych funduszy zasilanych przez operatorów elektrowni jądrowych. Dzięki temu koszty te nie są przenoszone na społeczeństwo albo kolejne pokolenia.

Te i inne korzyści wykorzystywania elektrowni jądrowych w energetyce dostrzegają liczni przedstawiciele ruchów ekologicznych, tacy jak James Lovelock, Mark Lynas, James Hansen, Steward Brown czy Patrick Moore. Argumentują, że energetyka jądrowa jest jedynym wielkoskalowym źródłem energii, które może w sposób czysty i stabilny wytwarzać duże ilości energii elektrycznej, a sprzeciw wobec niej oparty jest na nieracjonalnych lękach. Ma to szczególne znaczenie dla krajów rozwijających się, w których szybko bogacące się społeczeństwa chcą mieć dostęp do takich podstawowych dóbr jak pralka, lodówka czy komputer.

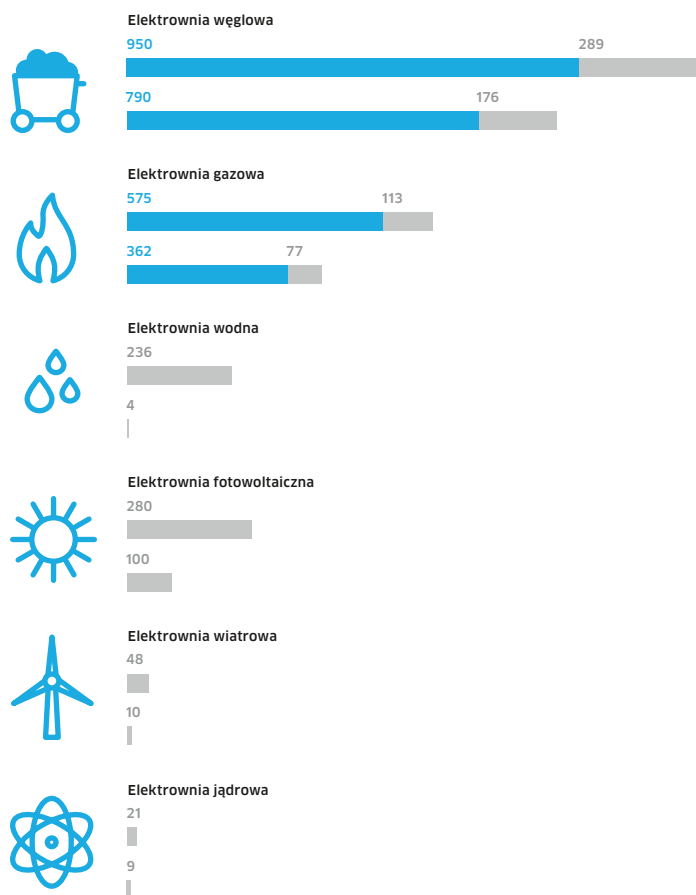
EMISJA CO₂ PRZEZ RÓŻNE ŹRÓDŁA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W g/kWh (max/min) Źródło: MAEA 2000



Bezpośrednia emisja ze spalania



Emisja pośrednia, cykl życiowy



Korzyści dla regionu lokalizacji elektrowni jądrowej

Gmina, w której zostanie zlokalizowana elektrownia jądrowa, zyska szereg korzyści o charakterze ekonomicznym, społecznym i cywilizacyjnym. Najbardziej wymiernym i widocznym profitem dla społeczności gminy i powiatu będą podatki odprowadzane przez operatora elektrowni do lokalnego budżetu. Dobrym przykładem jest gmina Kleszczów, która dzięki podatkom płaconym przez Kopalnię Węgla Brunatnego oraz Elektrownię Bełchatów stała się najbogatszą gminą w kraju.

Pierwsza polska elektrownia zatrudniać będzie ok. 1000 osób załogi stałej i co najmniej drugie tyle pracowników ekip remontowych, zatrudnianych sezonowo. Jak pokazują przykłady już działających obiektów, dużą część załogi stanowić mogą okoliczni mieszkańcy. Elektrownia we francuskim Flammanville zatrudnia bezpośrednio 680 osób personelu Électricité de France (operatora obiektu) i około 2000 osób z zewnątrz, zatrudnianych przy okazji remontów i konserwacji elektrowni. W fińskiej elektrowni Olkiluoto ponad połowa spośród 1000-osobowej kadry mieszka na terenie gminy, w której znajduje się elektrownia, natomiast kolejne 28% w dwóch sąsiednich gminach.

Każda elektrownia stwarza na lokalnym rynku popyt na niezbędne do swojego działania towary i usługi oraz popyt generowany przez pracowników elektrowni. Elektrownia we Flammanville co roku składa zamówienia w lokalnych przedsiębiorstwach na kwotę 37 mln euro. Poza tym pracownicy elektrowni, z reguły zarabiający powyżej średniej dla danej miejscowości, tworzą na lokalnym, gminnym rynku dodatkowy popyt na dobra o charakterze konsumpcyjnym.

Na podstawie doświadczeń krajów o dobrze rozwiniętym sektorze jądrowym, można stwierdzić, że na każde 100 osób zatrudnionych przy budowie elektrowni jądrowej powstają 33 nowe miejsca pracy w łańcuchu dostaw. Natomiast na każdym 100 pracowników zakładów wytwarzających materiały i urządzenia powstaje dodatkowych 137 miejsc pracy. Ponadto praktyka pokazała, że każdy ze 100 pracowników zatrudnionych przy budowie generuje 84 nowe miejsca pracy w sektorach niezwiązanych bezpośrednio z inwestycją jądrową (sklepy, usługi gastronomiczne i hotelowe). Przekłada się to na rozwój regionu, w którym zlokalizowany jest projekt jądrowy. Budowa jednej dwublokowej elektrowni może przyczynić się do utworzenia w sumie ponad 25 000 miejsc pracy w różnych gałęziach polskiego przemysłu (przy założeniu udziału naszych firm na poziomie 50% przy budowie pierwszej elektrowni).

Jak każda duża inwestycja, także elektrownia jądrowa wymaga rozbudowy lokalnej infrastruktury, takiej jak drogi i połączenia kolejowe. Jest ona z jednej strony niezbędna dla funkcjonowania obiektu, a z drugiej podnosi poziom życia społeczności lokalnej.

Elektrownia jądrowa nie ma negatywnego wpływu na turystykę. Pokazują to przykłady z innych krajów europejskich, np. Hiszpanii, Francji, Szwecji i Belgii.

Świetnie o tym świadczy elektrownia Vandellos na hiszpańskim wybrzeżu Costa Dorada, które rocznie odwiedza więcej turystów niż znane Costa Brava. Plaże wokół elektrowni jądrowej są bezpieczne radiologicznie i chętnie

MIEJSCA PRACY NA
LOKALNYM RYNKU

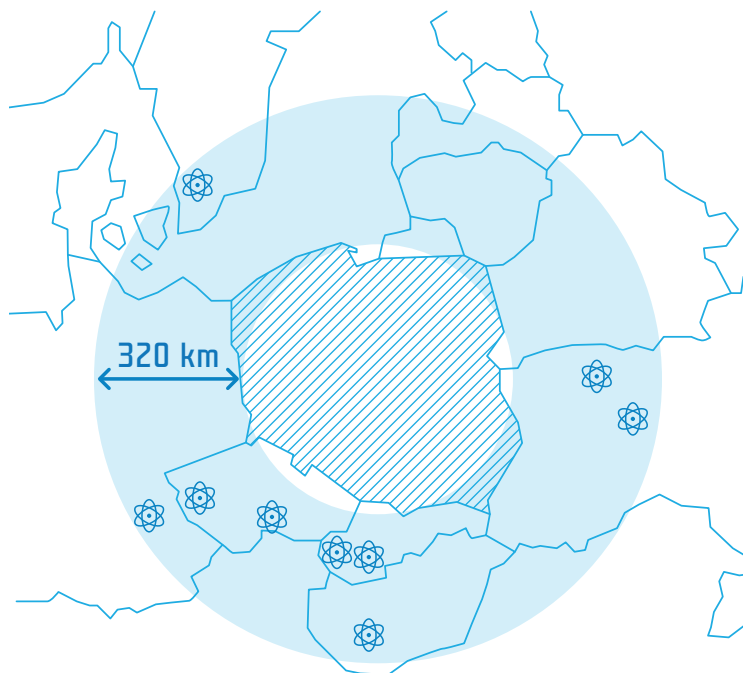
INFRASTRUKTURA

TURYSTYKA

1. JAKIE KORZYŚCI NIESIE ENERGETYKA JĄDROWA?

odwiedzane przez letników. Roczne dawki promieniowania otrzymywane przez ludność zamieszkałą wokół elektrowni są minimalne i wynoszą tyle, ile po zjedzeniu jednego banana lub wypiciu kilku szklanek mleka. Są one wielokrotnie mniejsze od dawek, jakie ludność ta otrzymuje od radionuklidów znajdujących się w glebie.

Dla regionu niezwykle ważna jest wiarygodna i rzetelna polityka informacyjna władz lokalnych i współpraca z operatorem elektrowni. Często jest ona realizowana w doskonale wyposażonych centrach informacji i edukacji o energii, które stają się dodatkową atrakcją turystyczną regionu.



**W odległości około 320 km
od Polski pracuje obecnie
9 elektrowni jądrowych.**



Źródła wytwarzania energii elektrycznej

- 10 Sytuacja elektroenergetyczna Polski
- 12 Zestawienie wad i zalet niektórych sposobów wytwarzania energii elektrycznej

Sytuacja elektroenergetyczna Polski

POTENCJAŁ WYTWÓRCZY

Polski sektor elektroenergetyczny wyprodukował w 2013 r. ok. 165 TWh energii elektrycznej, utrzymując tendencję wzrostową. Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną jest związany z wyższą dynamiką wzrostu gospodarczego. Do wyprodukowania i dostarczenia odbiorcom takiej ilości energii elektrycznej konieczny jest odpowiednio rozwinięty potencjał wytwórczy. Moc zainstalowana (moc nominalna wszystkich elektrowni) w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) wynosiła pod koniec 2014 r. 39,5 GW, przy średnim rocznym zapotrzebowaniu na moc na poziomie 22 GW oraz maksymalnym zapotrzebowaniu na poziomie 25,5 GW. Mogłoby się wydawać, że Polska posiada dużą nadwyżkę mocy zainstalowanej nad zapotrzebowaniem na moc, jednak to tylko pozory. Nie wszystkie jednostki wytwórcze są w stanie pracować w tym samym czasie ze względu na planowane bądź awaryjne remonty oraz inne planowane i nieplanowane wyłączenia elektrowni. W każdej godzinie, minucie, sekundzie musi być zachowana równowaga pomiędzy podażą i popytem na energię elektryczną. Operator Systemu Przesyłowego (OSP – tę funkcję pełni Polskie Sieci Energetyczne S.A. należąca w całości do Skarbu Państwa) musi utrzymać na wymaganym poziomie rezerwę mocy, aby móc na bieżąco bilansować system elektroenergetyczny (udostępniać w sieci moc odpowiadającą bieżącemu zapotrzebowaniu). W skrajnym przypadku niezachowanie tej równowagi prowadzi do awarii systemowej (tzw. blackout, czyli wyłączenia zasilania na dużych obszarach). Biorąc te wszystkie czynniki pod uwagę, mamy obecnie niewielką nadwyżkę mocy zainstalowanej. Ponadto moc zainstalowana w KSE jest większa od mocy osiągalnej (takiej, którą elektrownie są w stanie osiągnąć długotrwale przy dobrym stanie technicznym urządzeń oraz przy przeciętnych warunkach pracy).

Krajowe moce wytwórcze energii elektrycznej skupione są przede wszystkim w elektrowniach systemowych. Największym potencjałem dysponuje kilka z nich: Bełchatów (5,3 GW), Kozienice (2,9 GW), Turów (1,9 GW), Rybnik (1,8 GW). Niestety znaczną część jednostek wytwórczych (bloków energetycznych) w KSE stanowią stare – 40/50-letnie bloki 200 MW i 120 MW, które w najbliższych latach będą stopniowo wyłączone. To właśnie wiek jednostek wytwórczych oraz rosnące zużycie energii elektrycznej są powodami, dla których powinno się budować nowe bloki elektrowni.

STRUKTURA WYTWARZANIA

Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce według poszczególnych grup elektrowni od wielu lat nie ulega większym zmianom. Nadal zdecydowanie największe znaczenie mają dwie grupy: elektrownie opalane węglem kamiennym i brunatnym. W elektrowniach opalanych węglem kamiennym w 2013 r. powstało 49,6% wytwarzanej energii, natomiast w tych opalanych węglem brunatnym 34,1%. Pozostałe odgrywają niewielką rolę. Turbiny wiatrowe oraz inne źródła odnawialne wytwarzają 8,9%, elektrownie gazowe dostarczają do systemu elektroenergetycznego 3,2%, elektrownie przemysłowe (wykorzystujące różne paliwa, najczęściej: węgiel, olej opałowy itd.) 2,4%, a wodne 1,5%.

Na uwagę zasługuje utrzymujący się od kilku lat dynamiczny wzrost produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Energetyka odnawialna, podobnie jak jądrowa, zaliczana jest do bezemisyjnych źródeł wytwórczych. Strategia

energetyczna przyjęta w Polsce promuje je, ponieważ dzięki nim możliwe jest realizowanie europejskich celów klimatycznych oraz obniżanie negatywnego wpływu energetyki na zdrowie Polaków i środowisko naturalne. Warto jednak zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do elektrowni jądrowej, odnawialne źródła energii są dużym wyzwaniem dla systemu elektroenergetycznego, ponieważ nie mogą być centralnie dysponowane. Działają niezależnie od aktualnego zapotrzebowania na moc – w razie konieczności nie ma możliwości zmniejszenia lub zwiększenia ilości energii elektrycznej dostarczanej do sieci z tych źródeł.

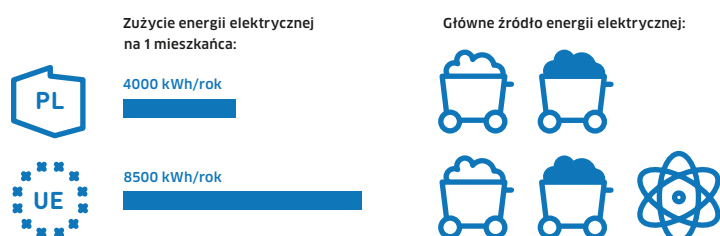
Aby wyprodukowaną energię dostarczyć do odbiorców, konieczna jest odpowiednia infrastruktura elektroenergetyczna. Tworzą ją: sieci najwyższego napięcia (NN) o napięciu 400 kV i 220 kV, wysokiego napięcia (WN) o napięciu 110 kV, średniego napięcia (SN) o napięciu z przedziału 1 kV – 110 kV, m. in.: 6, 10, 15, 20 kV oraz sieci niskiego napięcia (nn) o napięciu niższym do 1 kV (m. in. 400 V). Zdolności importu i eksportu energii elektrycznej przez nasz system elektroenergetyczny są ograniczone możliwościami przesyłowymi połączeń polskiego systemu z innymi krajami. Obecnie wynoszą one ok. 1000-3000 MW (w zależności od aktualnej topologii sieci, temperatury powietrza itp.) oraz są ograniczone zdolnościami przesyłowymi wewnątrz KSE.

Obecnie w Polsce zużycie energii elektrycznej na jednego mieszkańca wynosi ok. 4000 kWh/rok. Średnia dla krajów tzw. starej Unii sięga ok. 8500 kWh/rok. Inna jest też struktura pozyskiwania energii. W Polsce ponad 80% energii elektrycznej pochodzi z elektrowni spalających węgiel kamienny bądź brunatny. Tymczasem w UE głównym źródłem energii elektrycznej są elektrownie zasilane węglem i paliwem jądrowym, po ok. 30%. Zmiany, które zachodzą i będą zachodzić w polskiej elektroenergetyce w najbliższych latach, wynikają z dwóch faktów: wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną (który jest ściśle powiązany ze wzrostem PKB i rozwojem gospodarki) oraz konieczności zastępowania starych elektrowni nowymi przy jednoczesnej zmianie struktury wykorzystywanych paliw. Ministerstwo Gospodarki oszacowało, że do 2030 r. nasze zapotrzebowanie na energię elektryczną wyniesie ok. 161 TWh, natomiast moc zainstalowana w systemie elektroenergetycznym kraju powinna osiągnąć ok. 44,5 GW.

Od 2016 r. planowane są znaczne redukcje ilości wydobywanego węgla brunatnego. Polska elektroenergetyka od 1990 r. cały czas znajduje się w fazie zmian. W ich początkowym etapie zasadniczym celem była eliminacja „brudnych technologii” spalania. Następnym priorytetem była prywatyzacja oraz uporządkowanie systemowe – oddzielenie producentów od dystrybutorów. Ostatnie 10 lat to przede wszystkim zmiany o charakterze systemowym – stworzenie grup energetycznych, prywatyzacja oraz konsolidacja majątku. Proces konsolidacji sektora trwa nadal.

POŁĄCZENIA SIECIOWE

KONSUMPCJA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE



Zestawienie wad i zalet różnych sposobów wytwarzania energii elektrycznej

ZALETY

WADY

duży potencjał tworzenia miejsc pracy



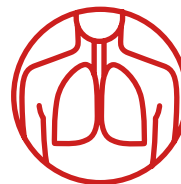
duża emisja gazów cieplarnianych



specjalizacja polskich firm w sektorze węglowym



emisja szkodliwych dla zdrowia pyłów, tlenków siarki i azotu



zasoby paliwa w Polsce



wypadkowość (zwłaszcza w górnictwie)



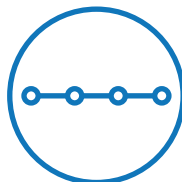
możliwość jednoczesnej produkcji energii elektrycznej i ciepła



brak możliwości magazynowania paliwa na dłuższy okres czasu



stabilizuje pracę systemu energetycznego



rosnące koszty paliwa wynikające z rosnących kosztów wydobycia węgla lub importu paliwa z zagranicy



ZALETY

WADY

technologia niskoemisyjna



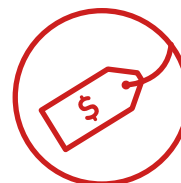
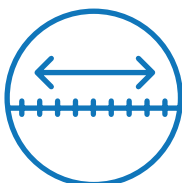
wysokie koszty budowy

silny impuls dla rozwoju regionalnego, nauki i rynku pracy



długi czas budowy

bardzo długi okres eksploatacji (min. 60 lat)



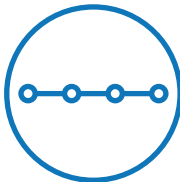
konieczność zakupu głównej technologii za granicą

postępowanie z odpadami promieniotwórczymi i likwidacja obiektu są uwzględnione w kosztach wytwarzania energii

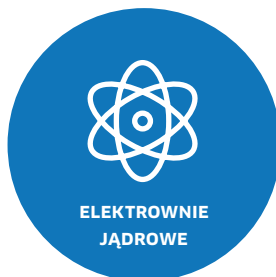


powstają niewielkie ilości odpadów promieniotwórczych

niskie i przewidywalne koszty wytwarzania energii elektrycznej



stabilizuje pracę systemu elektroenergetycznego



Zestawienie wad i zalet różnych sposobów wytwarzania energii elektrycznej

ZALETY

WADY

technologia niskoemisyjna



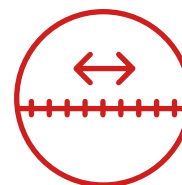
niestabilna praca zależna od pogody, destabilizująca pracę sieci elektroenergetycznej

niskie koszty eksploatacji



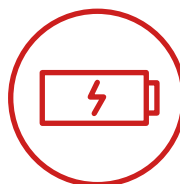
konieczność dotowania

brak odpadów



krótki okres eksploatacji

krótki czas budowy



konieczność rezerwowania mocy

brak konieczności stosowania paliwa



konieczność zakupu głównej technologii za granicą

ZALETY

WADY

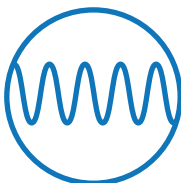
krótki czas
budowy



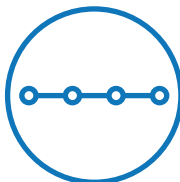
relatywnie niskie
koszty budowy



elastyczność
pracy



stabilizuje pracę systemu
elektroenergetycznego



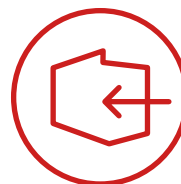
możliwość jednoczesnej
produkcji energii
elektrycznej i ciepła



niestabilne i wysokie
koszty paliwa



uzależnienie
od importu paliwa



niska
rentowność



emisja gazów
cieplarnianych



spalanie „szlachetnego” paliwa,
które jest potrzebne branży
chemicznej i gospodarstwom
domowym



ELEKTROWNIE
GAZOWE





Czy elektrownia jądrowa jest bezpieczna?

- 18 Jak promieniowanie jonizujące oddziałuje na organizm człowieka?
- 22 Bezpieczeństwo w elektrowniach jądrowych
- 25 Zabezpieczenia przed atakiem z zewnątrz
- 25 Zabezpieczenia regulacyjno-personalne
- 26 Międzynarodowe i krajowe ramy prawne
- 27 Międzynarodowa Skala Zdarzeń Jądrowych i Radiologicznych INES
- 29 Wypadki w przemyśle jądrowym – przyczyny i skutki

Jak promieniowanie jonizujące oddziałuje na organizm człowieka?

CZYM JEST PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

Promieniowanie, podobnie jak grawitacja, jest zjawiskiem wszechobecnym na Ziemi. Zapominamy o tym, ponieważ tylko niektóre jego rodzaje są zauważalne przez zmysły człowieka. Są to między innymi światło (promieniowanie świetlne) czy ciepło (promieniowanie cieplne). Inne rodzaje promieniowania są odczuwane pośrednio, np. ultrafioletowe, wysyłane przez słońce może wywołać oparzenie słoneczne. Istnieją też takie jego rodzaje, których nie odczuwamy: promieniowanie fal elektromagnetycznych wykorzystywanych w systemach łączności, radiu i telewizji, czy promieniowanie rentgenowskie wykorzystywane w medycynie i przemyśle.

Mówiąc o promieniowaniu, zapomina się również, że jest ono jedną z postaci energii, która może wywoływać różne zjawiska fizyczne. W wykorzystaniu technik jądrowych szczególną uwagę zwraca się na promieniowanie o takiej energii, która może wywołać zjawisko jonizacji. Jest ono istotne, ponieważ bez zastosowania odpowiednich zabezpieczeń może być groźne dla organizmów żywych.

Jonizacja zachodzi wówczas, gdy energia promieniowania jest wystarczająco wysoka, by przenikając przez materię (ciała stałe, ciecze, gazy lub tkankę żywą) spowodować oderwanie elektronu od atomu. W wyniku tego procesu powstają ujemne elektrony i dodatnie jony. Promieniowanie tego typu nazywane jest promieniowaniem jonizującym. Jego naturalnym źródłem jest kosmos, w tym Słońce, jak również sama Ziemia. W otaczającym nas środowisku znajduje się znaczna ilość pierwiastków, których niektóre odmiany (izotopy), samorzutnie wysyłają promieniowanie jonizujące. Są one nazywane pierwiastkami promieniotwórczymi. Innym źródłem pierwiastków promieniotwórczych są izotopy powstające w procesie wywołanych przez człowieka rozpadów promieniotwórczych.

Promieniowanie jonizujące o bardzo dużej intensywności może stanowić duże zagrożenie. We wszystkich działaniach, podczas których ma się do czynienia z promieniowaniem jonizującym o dużym natężeniu, takich jak procedury medyczne, badania naukowe, przemysł i energetyka, konieczne jest stosowanie odpowiednich barier zabezpieczających przed jego oddziaływaniem.

Promieniowanie jonizujące jest naturalnym elementem środowiska.

Mało kto wie, że sama natura potrafiła stworzyć reaktory jądrowe, w których odbywały się procesy rozszczepiania jąder uranu – ich pozostałości odkryto w miejscowości Oklo w afrykańskim Gabonie. Odpady promieniotwórcze, które powstały w rezultacie ich pracy, znajdowały się zaledwie kilkanaście metrów pod ziemią, bez żadnej osłony. Pomimo tego, nie przeniknęły do środowiska. Podobnie bezpieczne są wyposażone w system przetestowanych barier środowiska budowane przez człowieka.

SKUTKI DZIAŁANIA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Oddziaływanie promieniowania jonizującego na organizmy żywe może prowadzić do powstania chemicznie agresywnych cząsteczek, zwanych rodnikami. Mogą one uszkadzać ważne dla życia komórki duże molekuly, takie jak DNA czy np. ściany komórkowe. Jednak uszkodzenia takiego typu powstają w organizmach cały czas z wielu różnych przyczyn, również bez udziału promieniowania. Według Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w każdej komórce człowieka tworzy się dziennie nawet dziesięć milionów uszkodzeń DNA, które są powodowane spontanicznie. Rodniki natomiast mogą dostawać się do organizmu innymi drogami – w jednym zaciągnięciu się dymem papierosowym znajduje się około 1.000.000.000.000.000 (biliard) tych cząsteczek.

Organizmy żywe posiadają umiejętność obrony przed dużą ilością uszkodzeń, poprzez uruchamianie produkcji enzymów i innych procesów naprawczych. Aby przyniosły one skutki zdrowotne, uszkodzeń musi być odpowiednio dużo (znacznie więcej ponad wspomniane dziesięć milionów). Nawet w takim wypadku organizm może uruchomić mechanizm eliminujący uszkodzoną komórkę z tkanki.

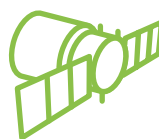
Przy przekroczeniu bardzo dużej dawki, gdy uszkodzenia molekuł są rozległe, a niemożność ich naprawienia skutkuje śmiercią bardzo dużej liczby komórek, mogą wystąpić zmiany w funkcjonowaniu tkanek bądź narządów. Objawiają się one najczęściej zespołem schorzeń składających się na tzw. chorobę popromienną: silnym zapaleniem jelit i skóry, krwotokami tkankowymi, zaburzeniami koordynacji ruchowej lub nawet śmiercią.

Organizmy żywe nabyły umiejętność radzenia sobie z uszkodzeniami powodowanymi przez rodniki tworzące się w wyniku promieniowania jonizującego, przystosowując się do ciągłego z nim obcowania. Pochodzi ono z naturalnych źródeł, np.: gleby, skał, kosmosu, a nawet własnego organizmu. W ciele człowieka znajdują się m.in. promieniotwórcze izotopy potasu, uranu i toru. Dzieląc łóżko z inną osobą, powodujemy wzrost dawki promieniowania jonizującego na nasze ciało nawet o 8% względem normalnego poziomu. A mieszkając rok w pobliżu

Przeprowadzone badania wskazują, że u potomstwa osób, które przeżyły bombardowania w Hiroszynie i Nagasaki nie stwierdzono zwiększonych zaburzeń genetycznych.

Jednocześnie zaobserwowano, że śmiertelność niemowląt czy mutacje białych krwinek występują rzadziej niż wynosi statystyczna norma wynikająca z wieloletnich obserwacji dużych populacji ludzkich. Te obserwacje nie są odosobnione. Już od lat 30. XX wieku publikowano wyniki badań wskazujące na pozytywny wpływ małych dawek promieniowania na organizmy żywe. Co więcej, w wyniku eksperymentów przeprowadzonych w połowie XX wieku na bakteriach, roślinach i zwierzętach stwierdzono, że promieniowanie jonizujące jest niezbędne do życia – organizmy odcięte od wszelkich źródeł promieniowania naturalnego przestawały się rozwijać, rozmnażać, chorowały i ostatecznie umierały.

Przykładowe dawki promieniowania jonizującego



400-700 mSv

- średnia roczna dawka w przestrzeni kosmicznej

50-100 mSv

- dawka otrzymana przy tomografii komputerowej całego ciała

200 mSv

- średnia roczna dawka ze źródeł naturalnych w miejscowości Ramsar w Iranie

0,9 mSv

- średnia skumulowana dawka życiowa, jaką otrzymał statystyczny Polak po awarii w Czarnobylu

2-4 mSv

- dawka otrzymana przy badaniu mammograficznym

3,4 mSv

- roczna dawka dla ogółu ludności ze źródeł naturalnych i sztucznych

1 mSv/rok

- dopuszczona w polskim prawie dawka ze źródeł innych niż naturalne



0,00007 mSv

- przejście przez bramkę na lotnisku



0,002 mSv

- mieszkanie przez rok w pobliżu elektrowni jądrowej



0,0037 mSv

- przelot z Los Angeles do Nowego Jorku

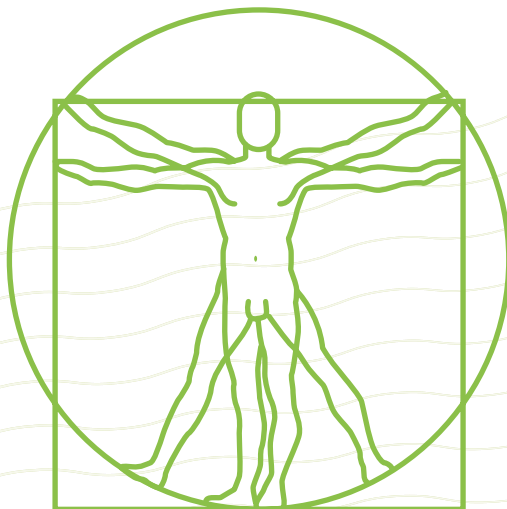


0,14 mSv

- prześwietlenie klatki piersiowej

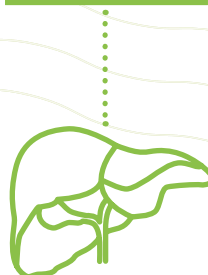
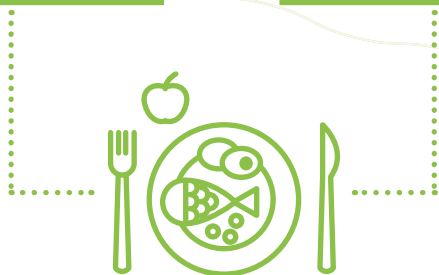
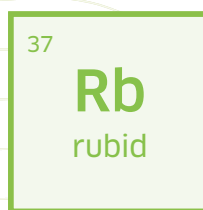
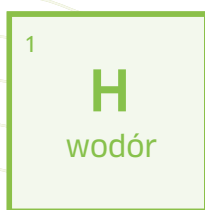
4000-9000 mSv

- LD50 dla osób, które otrzymają pomoc medyczną (dawka mogąca prowadzić do śmierci)



W naszym ciele są stale obecne promieniotwórcze izotopy - między innymi izotopy potasu-40, węgla-14, rubidu-87 i wodoru-3. Izotopów wodoru i węgla dostarcza nam pożywienie, izotopy potasu są stale w naszych mięśniach i płynach ustrojowych, a izotop rubidu mamy w wątrobie.

Łączne promieniowanie tych „ludzkich” izotopów jest w Polsce odpowiedzialne za ok. 10% dawki rocznej.



3. CZY ELEKTROWNIA JĄDROWA JEST BEZPIECZNA?

elektrowni jądrowej, człowiek otrzyma taką samą dawkę promieniowania, jak po zjedzeniu jednego banana. Izotopy znajdujące się w przyrodzie nieożywionej sprawiają, że mieszkaniec murowanego domu w ciągu roku otrzymuje dawkę równoważną czterem prześwietleniom klatki piersiowej.

Zdolność przystosowania się do promieniowania często zadziwia - w obszarach o podwyższonym poziomie promieniowania w USA, Japonii i Chinach zaobserwowano zdecydowanie mniejszą zapadalność na raka niż w innych rejonach.

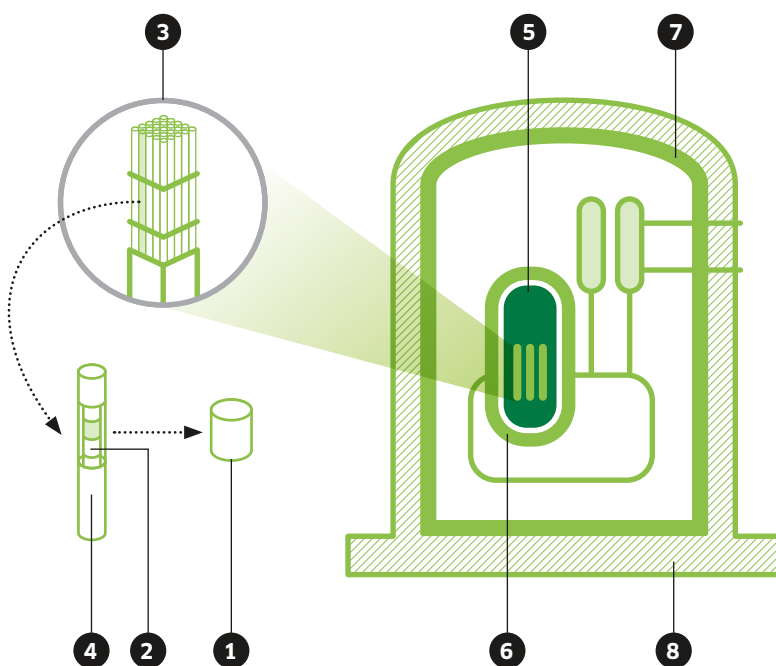
Bezpieczeństwo w elektrowniach jądrowych

FILOZOFIA BEZPIECZEŃSTWA

Podstawową regułą, jaką przyjmuje się już na etapie projektowania elektrowni jądrowej, jest zasada, że bezpieczeństwo jest ważniejsze niż pozostałe aspekty, z samym przeznaczeniem siłowni - produkcją energii elektrycznej włącznie. W projekcie elektrowni stosuje się tylko rozwiązania sprawdzone w praktyce lub w wyniku wiarygodnych doświadczeń lub symulacji. Na właściciela elektrowni nałożony jest obowiązek, aby przed rozpoczęciem budowy obiektu, jego projekt przeszedł pełną analizę pod kątem bezpieczeństwa i został zweryfikowany przez niezależny, kompetentny organ kontrolny. Podczas całego cyklu życia siłowni jądrowej - począwszy od założeń projektowych poprzez jej budowę, eksploatację, na likwidacji kończąc - zapewnia się, aby narażenie na promieniowanie było jak najmniejsze.

U podstaw wszelkich systemów bezpieczeństwa nowoczesnej elektrowni jądrowej leży zasada głębokiej obrony (inaczej: „obrony w głąb”). Stosowanie tej zasady polega na zaprojektowaniu szeregu fizycznych barier na drodze między wysokoaktywnym paliwem umieszczonym w rdzeniu reaktora, a otoczeniem. Bariery dobrane są w taki sposób, aby minimalizować ryzyko wystąpienia poważnych konsekwencji w wyniku zaistnienia uszkodzeń. Przypomina to budowę rosyjskiej matroszki - nawet w przypadku awarii jednego z elementów, cały układ będzie spełniał swoją rolę.

Rozwijane i doskonalone przez dziesiątki lat, systemy bezpieczeństwa w nowoczesnych elektrowniach jądrowych mają trojaki charakter: technologiczny, zagrożenia zewnętrznego oraz regulacyjno-personalny. Najważniejsze zabezpieczenia dotyczą reaktora, jego rdzenia, bloku energetycznego mieszczącego reaktor oraz urządzeń bezpośrednio z nim współpracujących. Współcześnie budowane elektrownie jądrowe zaliczają się do nowej, trzeciej generacji takich konstrukcji. Rozwijając od połowy lat dziewięćdziesiątych „nowe pokolenie” siłowni, postanowiono skupić się w dużej mierze na rozwijaniu systemów zabezpieczeń i zwiększaniu ich niezawodności. Z danych technicznych jednego z typów reaktorów wynika, że w przypadku reaktora III generacji szanse wystąpienia poważnej awarii są prawie jak 1:400 000 000 (dla porównania, prawdopodobieństwo rażenia człowieka piorunem wynosi 1:3 000). Jednakże gdyby doszło do takiej sytuacji w wyniku niewyobrażalnego zbiegu uszkodzeń i błędów ludzkich, skutki awarii sięgną nie dalej niż w promieniu 800 m od obiektu - czyli mówiąc obrazowo - nie wyjdą poza ogrodzenie elektrowni. Ryzyko jest więc na tyle niskie, że w najmniejszym stopniu nie przesłania korzyści z eksploatacji elektrowni jądrowych.



BARIERY OCHRONNE

1. Pastyłka paliwowa
2. Pręt paliwowy
3. Kaseta paliwowa
4. Metalowa koszulka
5. Ściany zbiornika reaktora
6. Systemy bezpieczeństwa
7. Metalowy płaszcz
8. Żelbetonowa obudowa

Zgodnie z zasadą „obrony w głąb”, wszystkie cechy i systemy stanowiące o bezpieczeństwie elektrowni muszą układać się w formie kolejnych barier – swoistych warstw stojących na drodze między szkodliwym promieniowaniem i materiałami promieniotwórczymi, a ludźmi i środowiskiem:

- Pierwszą barierą jest mocna, ceramiczna pastylka paliwowa, która utrzymuje szkodliwe substancje wewnątrz swojej struktury.
- Kolejną to cylindryczna, metalowa koszulka elementu przechowującego pastylki paliwowe we wnętrzu reaktora (ma ona postać długiej cienkiej rurki).
- Trzecią barierę stanowią ściany zbiornika reaktora i rurociągów bezpośrednio do niego podłączonych. Zazwyczaj mają one grubość 20 centymetrów i są niewiarygodnie wytrzymałe – nacisk, który wytrzymują podczas normalnej pracy odpowiada takiemu, jaki wywrze 230 czołgów Rudy 102 (radzieckie czołgi T-34) ustawionych jeden na drugim!
- Następną barierą są systemy bezpieczeństwa otaczające reaktor i elementy budujące obieg, w którym krąży woda omywająca rdzeń reaktora.
- Piątą barierę stanowi wewnętrzny, metalowy płaszcz stanowiący pierwszą warstwę obudowy bezpieczeństwa – hermetycznego budynku pełniącego rolę bunkra, którego konstrukcja jest w stanie wytrzymać nadciśnienie kilku atmosfer i w przypadku awarii stanowi skuteczną osłonę przed wydostaniem się substancji promieniotwórczych na zewnątrz.
- Szóstą – żelbetonowa obudowa bezpieczeństwa o grubości około 1,3 metra (ta bariera zatrzymała ponad 99% promieniowania w czasie awarii w Three Mile Island oraz wytrzymała wybuch wodoru. Tego typu obudowy zabrakło w Fukushima).

OBRONA W GŁĄB

WYKORZYSTANIE SIŁ NATURY

3. CZY ELEKTROWNIA JĄDROWA JEST BEZPIECZNA?

Głównym celem projektantów trzeciej generacji reaktorów jądrowych było wyposażenie nowego typu urządzeń w szereg cech i układów zabezpieczeń, które spełniają swoje funkcje bez doprowadzania energii z zewnątrz, opierając się na podstawowych prawach natury, na przykład grawitacji (tzw. pasywne układy bezpieczeństwa).

Jedną z podstawowych cech, świadczących o bezpieczeństwie reaktorów, jest *wykorzystywanie w nich zwykłej wody* pod postacią cieczy, jako substancji zapewniającej ciągłość reakcji łańcuchowej i będącej źródłem energii cieplnej reaktora. Gdyby temperatura wewnątrz reaktora podniosła się na tyle, że spowodowałaby zmianę cieczy w parę, reakcja łańcuchowa samoczynnie zaczęłaby się wygaszać, bez czynnika, który powodował jej utrzymanie – wody pod postacią cieczy.

Innym wykorzystaniem podstawowych praw fizyki w zapewnieniu bezpieczeństwa reaktora jest *wykorzystanie siły ciężenia* do awaryjnego wyłączenia reaktora za pomocą prętów bezpieczeństwa zawierających substancję wygaszającą reakcję łańcuchową. W reaktorach wodnych ciśnieniowych, pręty zawieszono są nad zbiornikiem reaktora na elektromagnesach – w razie wystąpienia braku zasilania w elektrowni, elektromagnesy przestają działać i niczym nie utrzymywane pręty spadają pod własnym ciężarem do wnętrza reaktora, zatrzymując reakcję rozszczepienia i tym samym wyłączając reaktor.

Ponieważ reaktor musi być chłodzony także po wyłączeniu (temperatura nie spada natychmiast, tylko stopniowo, jak w piecu do którego zapomniano dorzucić węgla), siłownie III generacji wyposażone są także w układy, które *zapewnią chłodzenie wyłączonego reaktora*. Wykorzystują one proces konwekcji, który sprawia, że czynnik chłodzący – woda – krąży w układzie chłodzenia jedynie w wyniku różnicy temperatur, odbierając ciepło z reaktora. Gdyby jednak zaczynało brakować wody w układzie chłodzącym, zostanie ona dostarczona z dodatkowych zbiorników, skąd wypłynie pod własnym ciężarem, wykorzystując siłę grawitacji. Hermetyczność budynku reaktora sprawi, że gdy ciecz w wyniku wysokiej temperatury odparuje, to nie uleci ona do atmosfery, a po skropleniu się spłynie do odpowiednich zbiorników i może zostać ponownie użyta, gdyby zaszła taka konieczność. Projekty reaktorów III generacji zakładają, że w wypadku wystąpienia maksymalnej możliwej awarii uwzględnionej w projekcie, nie będą wymagać one interwencji operatora przez 72 godziny. Inaczej mówiąc, reaktor taki będzie mógł być pozostawiony sam sobie przez trzy dni, aby układy bezpieczeństwa mogły bez ingerencji z zewnątrz doprowadzić go do bezpiecznego, ustabilizowanego stanu.

ZWIELOKROTNIONE SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA

Oczywiście, aby zapewnić bezpieczeństwo w każdej sytuacji, systemy awaryjne w elektrowniach III generacji korzystają z różnych źródeł energii. Na przykład, oprócz zjawiska konwekcji w układach chłodzenia, stosuje się także pompy napędzane parą wodną oraz pompy napędzane silnikami elektrycznymi – w zależności od tego, jaki sposób rozprowadzania czynnika chłodzącego w układach okaże się najbardziej odpowiedni w danej chwili.

Każdy z takich różnorodnych układów jest jeszcze dodatkowo wielokrotniany – musi występować co najmniej trzykrotnie i to w różnych miejscach, aby przyczyna uszkodzenia jednego z układów nie wpływała w żaden sposób na działanie jego zamiennika. Każdy z układów podlega też zasadzie, w myśl której będzie on spełniał swoją rolę, nawet jeśli jeden z jego elementów nie będzie działał.

Siłownie jądrowe III generacji zabezpieczone są także na wypadek stopienia się rdzenia reaktora. Pierwsze z zabezpieczeń polega na zalaniu wodą wnętrza obudowy bezpieczeństwa, dzięki czemu rdzeń jest stale chłodzony i utrzymywany w stalowym, grubościennym zbiorniku reaktora.

Zastosowana w elektrowniach III generacji technologia uwzględnia nawet zbieg wydarzeń, podczas którego stopiony rdzeń wydostaje się ze zbiornika reaktora – sytuację tak mało prawdopodobną, że konstruktorzy poprzednich generacji siłowni opartych na reaktorach wodnych nie uwzględniali jej w swoich planach. W takim wypadku rdzeń pozostanie całkowicie wewnątrz obudowy bezpieczeństwa i zostanie wychłodzony, zastygając na dnie specjalnego pojemnika. *Gdyby elektrownia w Fukushima była elektrownią III generacji, nie doszłoby do awarii z marca 2011 r. lub w najgorszym przypadku miałyby ona skutki wyłącznie wewnątrz samej elektrowni i nie byłoby potrzeby ewakuowania ludności.*

Zabezpieczenia przed atakiem z zewnątrz

Każda z instalacji jądrowych jest wyposażona w zabezpieczenia na wypadek ataku z zewnątrz. Do najważniejszych zaliczamy bariery fizyczne: betonowo-stalowy budynek reaktora, ogrodzenia, czujniki elektroniczne, punkty kontrolne i strażnice. Wyniki testów przeprowadzonych, np. przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych, mówią, że obudowy bezpieczeństwa współczesnych reaktorów chronią przed bezpośrednim uderzeniem naddźwiękowego samolotu odrzutowego. Inne badania potwierdzają też całkowitą odporność na uderzenie dużego samolotu pasażerskiego, z maksymalną prędkością, jaką można uzyskać w przypadku poruszania się na tak niewielkiej wysokości, jaką ma budynek elektrowni.

Ponieważ zwielokrotnione układy dodatkowe, nieznajdujące się wewnątrz obudowy bezpieczeństwa, instaluje się w różnych, odległych od siebie budynkach, należałoby użyć wielu samolotów, rozbijając te budynki, aby unieszkodliwić całkowicie jeden tylko system. Nawet gdyby nastąpił ten nieprawdopodobny scenariusz, pozostałe systemy, szczególnie te znajdujące się wewnątrz obudowy i niezależne od zasilania zewnętrznego, pozostaną nienaruszone i sprawne. Istnieją również zabezpieczenia o charakterze wojskowym, które pozostają ściśle tajne.

Zabezpieczenia takie funkcjonują we wszystkich krajach UE, w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Japonii i Korei Południowej, ale również w innych krajach posiadających elektrownie jądrowe.

Zabezpieczenia regulacyjno-personalne

Regulacje Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej zobowiązują personel zarządzający elektrownią jądrową do krzewienia wśród pracowników kultury bezpieczeństwa, czyli przekonania, że sprawy bezpieczeństwa ludzi i środowiska są ważniejsze niż wytwarzanie energii elektrycznej. Pracownicy są motywowani do zwracania bacznej uwagi na wszystkie słabe punkty w systemach zabezpieczeń – w wielu działających obecnie elektrowniach przyjmuje się zasadę premiowania

3. CZY ELEKTROWNIA JĄDROWA JEST BEZPIECZNA?

za wskazywanie elementów, które można poprawić, aby zwiększyć bezpieczeństwo. Dobrowolne kontrole elektrowni przez niezależnych ekspertów z innych siłowni w danym kraju i całego świata także wpływają na przedkładanie troski o bezpieczeństwo nad pozostałe aspekty pracy w elektrowni jądrowej.

W utrzymaniu wysokiej kultury bezpieczeństwa pomagają też wprowadzenie ujednoliconego standardu zarządzania jakością, który dostarcza odpowiednich procedur służących utrzymaniu najwyższego możliwego poziomu bezpieczeństwa. Postępując ściśle według określonego, sprawdzonego schematu, istnieją znacznie mniejsze szanse, że pracownik popełni błąd.

Zawczasu wdraża się też rozwiązania przygotowujące na nieprzewidziane zdarzenia, w których może nastąpić emisja promieniowania jonizującego oraz przygotowuje się odpowiednie scenariusze reagowania na nie w taki sposób, aby jak najbardziej złagodzić wpływ na środowisko oraz zdrowie i życie ludzi.

Nabór pracowników nowoczesnej siłowni jądrowej opiera się o ustalone procedury. Przyszli pracownicy elektrowni objęci są skrupulatną weryfikacją zdrowotną, psychologiczną oraz kontrwywiadową, mającą na celu wykrycie ewentualnych chorób oraz powiązań z osobami bądź organizacjami mogącymi stanowić potencjalne zagrożenie dla bezpiecznej pracy elektrowni. Kontrola taka odbywa się także podczas pracy, już na etapie budowy obiektu. Zabezpieczenia tego typu okazały się skuteczne – w prawie 60-letniej historii energetyki jądrowej nie doszło do skutecznego ataku na elektrownię.

Międzynarodowe i krajowe ramy prawne

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) jest organizacją określającą zasady i wytyczne w zakresie bezpieczeństwa jądrowego dla 165 krajów członkowskich. Na ich podstawie powstaje prawo krajowe. W związku z tym energetyka jądrowa podlega jednym z najbardziej rygorystycznych systemów prawnych obowiązujących na świecie.

W Polsce instytucją nadzorującą przestrzeganie Prawa atomowego przez każdego użytkownika instalacji jądrowych jest *Państwowa Agencja Atomistyki (PAA)*, która jest urzędem państwowego dozoru jądrowego. *Agencja określa wymogi bezpieczeństwa, weryfikuje ich spełnianie, wydaje stosowne zezwolenia, a następnie prowadzi kontrolę obiektów i działalności związanej z wykorzystywaniem promieniowania jonizującego.* PAA posiada ustawowe prawo stosowania sankcji w przypadku naruszeń przepisów bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, włącznie z nakazaniem wyłączenia obiektu.

Przy PAA działa Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR), dysponujące siecią stacji monitoringu krajowego, która pozwala na ocenę bieżącej sytuacji radiologicznej. Jest też podstawową komórką reagującą na zdarzenia, w wyniku których istnieje ryzyko narażenia na promieniowanie.

Obecnie PAA nadzoruje reaktor badawczy użytkowany w Świerku pod Warszawą i Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różaniu (gdzie składowane są np. odpady powstające w szpitalach [strzykawki, fiolki, odzież ochronna], czujki dymu stosowane w biurach, elementy sprzętu diagnostycznego stosowanego w medycynie i przemyśle itp.). Inspektorzy Agencji przeprowadzają

rocznie kilkaset kontroli w 2700 obiektach przemysłowych, medycznych czy naukowych, których pracownicy mają do czynienia z promieniowaniem jonizującym.

W przyszłości PAA będzie brała udział w procesie decyzyjnym dotyczącym lokalizacji pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, przygotowania projektu elektrowni, wydawania zezwolenia na jej budowę i eksploatację oraz określaniu wymagań dotyczących dostaw urządzeń i wyposażenia.

Międzynarodowa Skala Zdarzeń Jądrowych i Radiologicznych INES

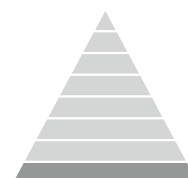
Międzynarodowa Skala Zdarzeń Jądrowych i Radiologicznych (The International Nuclear and Radiological Event Scale - INES) służy do szybkiego i jednoznacznego informowania społeczeństwa o zdarzeniach istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

SKALA INES OBEJMUJE POZIOMY OD ZERA DO SIĘDMIU, OZNACZAJĄCE:

Poziom 0

ODSTĘPSTWO OD NORM

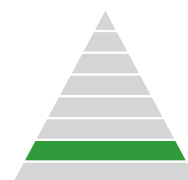
- bez znaczenia dla bezpieczeństwa



Poziom 1

ANOMALIA

- zdarzenie zakłócające pracę, bez większego wpływu na bezpieczeństwo



Poziom 2

INCYDENT

- zdarzenie naruszające niektóre bariery „ochrony w głąb”, jednak zostaje zatrzymane przez pozostałe systemy zabezpieczeń. Pracownik mógł otrzymać dawkę promieniowania przekraczającą ustaloną roczną dawkę graniczną



Poziom 3

POWAŻNY INCYDENT

- zdarzenie na terenie obiektu powodujące napromieniowanie personelu powyżej ustalonych limitów (bez konieczności podejmowania środków zaradczych) lub takie zdarzenie, w wyniku którego dalsza niesprawność systemów zabezpieczeń może doprowadzić do awarii (zatrzymanie się zdarzenia awaryjnego na ostatniej barierze bezpieczeństwa)



3. CZY ELEKTROWNIA JĄDROWA JEST BEZPIECZNA?



Poziom 4

AWARIA Z LOKALNYMI SKUTKAMI

- powodująca trudne do naprawienia szkody w obiekcie jądrowym (np. częściowe stopienie rdzenia reaktora), możliwe napromieniowanie kilku pracowników teoretyczną dawką śmiertelną



Poziom 5

AWARIA Z ROZLEGŁYMI SKUTKAMI

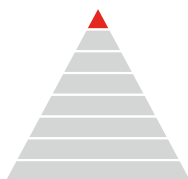
- uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych w takiej ilości, że prawdopodobnie będzie konieczne podjęcie środków zaradczych, poważne uszkodzenie obiektu jądrowego (np. całkowite stopienie rdzenia reaktora)



Poziom 6

POWAŻNA AWARIA

- nastąpiło uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych w takich ilościach, że konieczne będzie pełne podjęcie środków zaradczych w celu ograniczenia poważnych skutków zdrowotnych



Poziom 7

WIELKA AWARIA

- uwolnienie znacznej ilości mieszaniny krótko- i długożyciowych produktów rozszczepienia powodujących długotrwałe skutki środowiskowe, mogące wykraczać poza granice kraju.

Stosowanie jednolitych kryteriów do oceny zdarzeń jądrowych i radiologicznych, jest istotne ze względu na złożoność zagadnień technicznych w dziedzinie energetyki jądrowej i w innych dziedzinach wykorzystujących promieniowanie jonizujące. Wprowadzenie skali INES usprawniło proces wymiany informacji, jednocześnie zmniejszając liczbę nieporozumień, a tym samym przekłamań na temat przyczyn, zakresu i skutków danego zdarzenia. Za klasyfikację zdarzenia jądrowego odpowiada krajowy organ dozoru jądrowego (w Polsce - PAA). Wszystkie zdarzenia jądrowe są zgłaszane do międzynarodowej sieci powiadamiania IRS (Incident Reporting System) prowadzonej przez MAEA oraz do analogicznego systemu ECURIE prowadzonego przez Komisję Europejską. Informacje o zdarzeniach są publicznie dostępne.

Wypadki w przemyśle jądrowym – przyczyny i skutki

Mitem, który towarzyszy energetyce jądrowej jest jej awaryjność i zagrożenie, jakie stwarza dla ludzi i środowiska. Fakty jednak temu przeczą.

Elektrownie jądrowe należą do najbezpieczniejszych miejsc pracy w przemyśle. Według danych Światowego Stowarzyszenia Operatorów Jądrowych (WANO - World Association of Nuclear Operators), liczba wypadków skutkujących przerwami w pracy elektrowni wynosi 0,85 wypadków na 1 milion osobo-godzin w 2010 r.

Energetyka jądrowa jest również najbezpieczniejszym z dostępnych źródeł energii, biorąc pod uwagę liczbę poważnych wypadków i ofiar po stronie ludności.

Do tej pory, w całej historii energetyki jądrowej, doszło do tylko trzech poważnych awarii w reaktorach energetycznych:

28 marca 1979 r. doszło do awarii w elektrowni Three Mile Island w USA, na poziomie 5 w skali INES. Zbiegnięcie się w czasie uszkodzenia jednego z układów bloku energetycznego II generacji oraz błędów ludzkich, spowodowało ucieczkę chłodziwa, niedostateczne chłodzenie reaktora, a w konsekwencji stopienie się około 1/3 rdzenia. Jednak sam rdzeń nie wydostał się poza zbiornik ciśnieniowy. W wyniku awarii nastąpiło przedostanie się do otoczenia bardzo niewielkiej ilości promieniotwórczych izotopów (głównie gazowych produktów rozszczepienia jąder uranu) co spowodowało, że okoliczni mieszkańcy przyjęli dawkę 100 razy niższą niż ta, jaką przyjmuje organizm ludzki podczas badania z użyciem tomografu.

THREE MILE ISLAND

26 kwietnia 1986 r. doszło do najpoważniejszej awarii w historii energetyki jądrowej (7 w skali INES) w siłowni w Czarnobylu na Ukrainie. Elektrownia ta wykorzystywała reaktory, w których elementem utrzymującym reakcję łańcuchową rozszczepienia był rdzeń z moderatorem grafitowym. Konstrukcja taka charakteryzowała się jedną niebezpieczną cechą - reakcja łańcuchowa nie wygaszała się samoistnie w wyniku podnoszenia się temperatury rdzenia reaktora ponad określoną wartość, tak jak ma to miejsce w reaktorach wodnych III generacji. Do awarii doszło, gdy obsługa w ramach eksperymentu wyłączyła systemy zabezpieczające. Lawinowy przyrost mocy spowodowany inną, nieznaną wówczas wadą konstrukcyjną reaktora spowodował nagły wzrost temperatury, stukrotnie przewyższając dopuszczalny jej poziom, który rozerwał przewody z wodą chłodzącą, powodując jej wrzenie i eksplozję pary. Elementy wykonane z cyrkonu zaczęły reagować z wodą, tworząc mieszaninę wybuchową wodoru i tlenu, która eksplodowała niedługo potem. W wyniku wybuchów zniszczeniu uległ budynek reaktora. Do atmosfery wydostała się mieszanina izotopów promieniotwórczych, które skażyły środowisko w znacznej części Europy. Na skutek eksplozji zginęły 2 osoby, a 31 zmarło na chorobę popromienną (głównie strażacy, którzy bez odpowiednich kombinezonów gasili pożar w budynku reaktora). W promieniu 20-30 km od siłowni ewakuowano około 116 tys. mieszkańców, część niepotrzebnie. Uszkodzony reaktor zabudowano betonowym sarkofagiem.

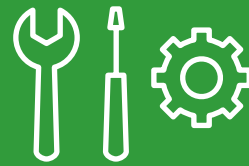
CZARNOBYL

11 marca 2011 r. w elektrowni Fukushima Dai-Ichi w Japonii na skutek trzęsienia ziemi i odcięcia zasilania zainstalowane tam reaktory II generacji typu BWR zostały

FUKUSHIMA

3. CZY ELEKTROWNIA JĄDROWA JEST BEZPIECZNA?

automatycznie wyłączone i rozpoczęła się procedura ich schładzania za pomocą systemów awaryjnych. Czynność ta została przerwana przez fale tsunami, które uszkodziły instalacje generatorów elektrycznych zasilających systemy chłodzenia. Skutkowało to stopieniem rdzeni trzech reaktorów, w wyniku czego powstała duża ilość wodoru, która mieszając się z tlenem, eksplodowała. Nikt nie zginął. Władze ewakuowały ludność w promieniu 30 km od elektrowni. Typowa dawka promieniowania przyjęta przez czasowo wysiedlonych mieszkańców (z których znaczna część już wróciła do domów) nie różniła się od dawek otrzymywanych podczas badań medycznych. Z uwagi na to, że awaria w różnym stopniu dotknęła aż cztery bloki energetyczne elektrowni (z sześciu jakie się tam znajdują), a usuwanie skutków trwa do tej pory, awarię oceniono na 7 w skali INES (tyle wyszło po zsumowaniu łącznych emisji radioizotopów z czterech reaktorów). Wykonane po awarii trzy niezależne analizy ekonomiczne wykazały, że elektrownie jądrowe w Japonii są nadal najtańszymi źródłami energii, nawet po doliczeniu kosztów awarii w Fukushima. W 2015 roku Japonia powróciła do wykorzystywania elektrowni jądrowych w produkcji elektryczności.



Technologia

- 32 Zasada działania elektrowni konwencjonalnej i jądrowej
- 33 Technologie reaktorów jądrowych
- 36 Perspektywy dalszego rozwoju energetyki jądrowej

Zasada działania elektrowni konwencjonalnej i jądrowej

ELEKTROWNIA KONWENCJONALNA A ELEKTROWNIA JĄDROWA

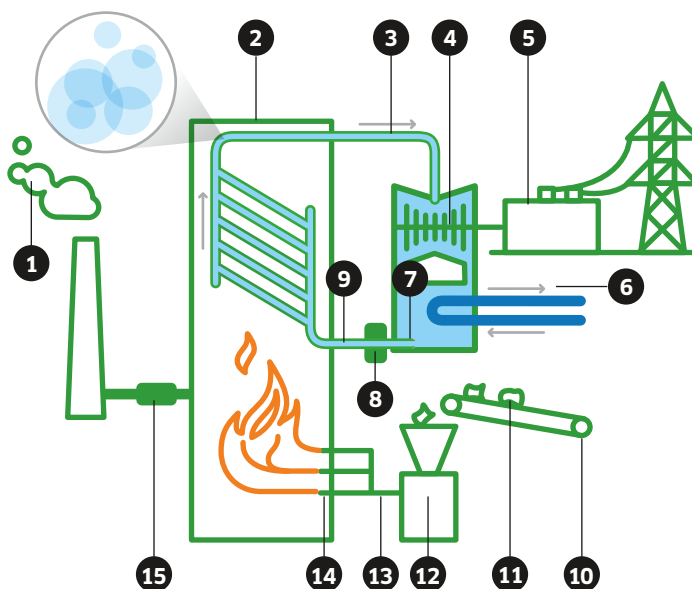
Po prawie 60 latach funkcjonowania komercyjnej energetyki jądrowej udało się osiągnąć tak zaawansowaną technologię oraz poziom bezpieczeństwa sektora, jakiego nie ma w energetyce konwencjonalnej, czy w innych gałęziach przemysłu. Obecnie znajdują się w trakcie budowy lub są planowane elektrownie jądrowe generacji III, najnowocześniejsze z dostępnych. W Polsce dopuszcza się budowę wyłącznie takich reaktorów.

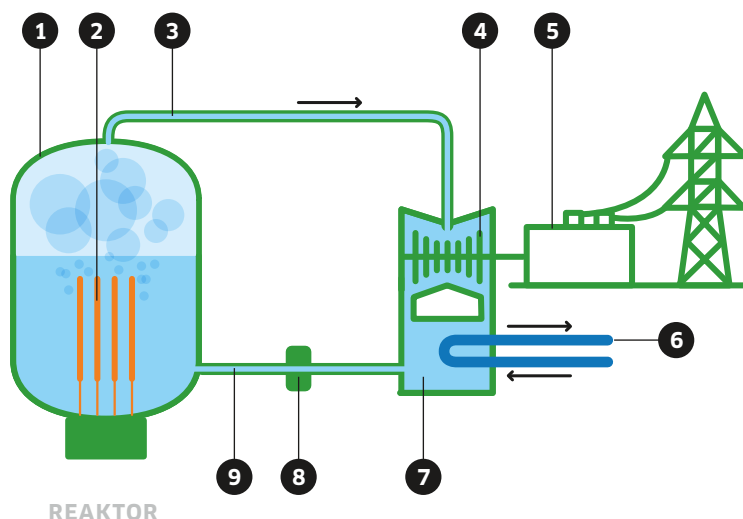
Zasada działania elektrowni jądrowej jest bardzo podobna do zasady działania elektrowni konwencjonalnej. Zasadniczo różnią się jedynie źródłem ciepła wykorzystywanego do wytwarzania pary – w elektrowni konwencjonalnej – jest to ciepło powstające w wyniku spalania węgla (lub innych węglowodorów), a w jądrowej rozszczepienia izotopów promieniotwórczych.

Wytworzone ciepło przekazywane jest czynnikowi roboczymu (wodzie), która odparowuje. Powstała para wodna kierowana jest do turbiny parowej (maszyna energetyczna zamieniająca energię cieplną na mechaniczną), w której podczas procesu rozprężania energia cieplna pary jest zamieniana na energię mechaniczną na wale turbiny (obracanie się wału). Turbina napędza turbogenerator (prądnicę prądu przemiennego), który oddaje energię elektryczną do systemu elektroenergetycznego. Rozprężona para za turbiną jest skraplana w skraplaczu (wymienniku ciepła, który jest chłodzony wodą czerpaną z rzeki, jeziora, morza lub wodą ochładzaną w chłodni kominowej), następnie woda z kondensatora trafia do pompy, która pompuje wodę do źródła ciepła. Następnie cały cykl się powtarza.

ELEKTROWNIA KONWENCJONALNA

1. Spaliny
2. Kocioł
3. Para wodna
4. Turbina
5. Generator
6. Woda chłodząca
7. Kondensator(skrapalacz)
8. Pompa
9. Woda
10. Przenośnik taśmowy
11. Węgiel
12. Młyn węglowy
13. Pył węglowy
14. Palnik
15. Filtry





- Zbiornik reaktora 1.
- Paliwo jądrowe (pręty z uranem) 2.
- Para wodna 3.
- Turbina 4.
- Generator 5.
- Woda chłodząca 6.
- Kondensator (skraplacz) 7.
- Pompa 8.
- Woda 9.

Technologie reaktorów jądrowych

Na świecie występuje wiele typów elektrowni jądrowych, które są oparte na różnych konstrukcjach reaktorów. Jednak około 80% z nich opiera się na reaktorach wodnych wrzących i reaktorach wodnych ciśnieniowych.

Reaktor wodny wrzący charakteryzuje się dwoma obiegami czynnika roboczego (obiegami wody):

- Obieg pierwotny (obieg parowo-wodny)
- Obieg wtórny (układ chłodzenia skraplacza)

Reaktor jądrowy składa się ze zbiornika ciśnieniowego reaktora z umieszczonym w nim koszem rdzenia, do którego są włożone kasetki paliwowe. Kasetki paliwowe składają się z kilkuset prętów paliwowych (z paliwem jądrowym) oraz regulacyjnych (z materiałem silnie pochłaniającym neutrony). Pręty regulacyjne są ruchome i pozwalają na sterowanie pracą reaktora. Umieszczone są w dolnej części zbiornika reaktora. Podczas pracy reaktora z prętów paliwowych wydzielają się duże ilości ciepła, które jest odbierane przez wodę krążącą w obiegu pierwotnym. W przypadku reaktora BWR podgrzana w zbiorniku reaktora woda paruje, po czym jest bezpośrednio kierowana do turbiny parowej. Para napędza turbinę parową. Rozprężona w turbinie para jest skraplana w skraplaczu i kierowana ponownie do podgrzania w reaktorze. W ten sposób cały obieg się zamyka.

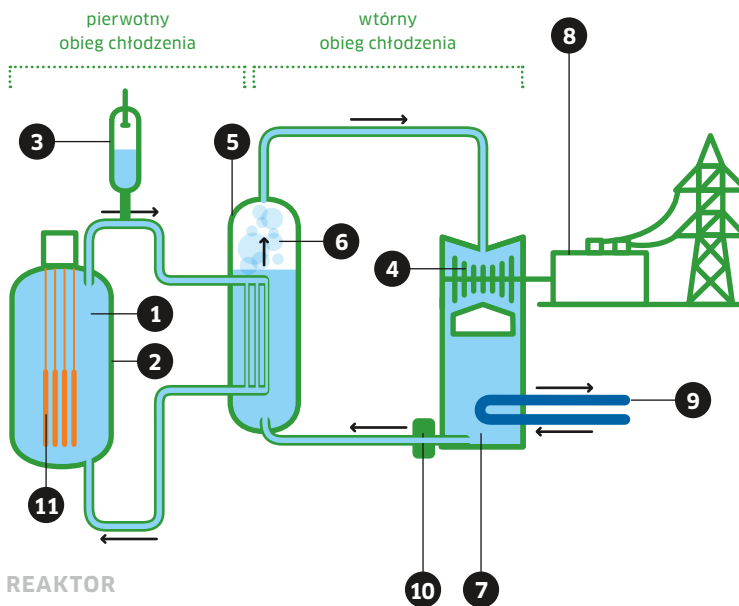
Do technologii typu BWR zaliczają się m. in. reaktory typu: ABWR, ESBWR, Kerena (SWR-1000).

Reaktor wodny ciśnieniowy charakteryzuje się trzema obiegami czynnika roboczego (obiegami wody):

- Obieg pierwotny (obieg reaktora)
- Obieg wtórny (obieg parowo-wodny)
- Obieg trójny (układ chłodzenia skraplacza)

REAKTOR WODNY CIŚNIENIOWY (PRESSURIZED WATER REACTOR - PWR)

1. Woda
2. Zbiornik reaktora
3. Stabilizator ciśnienia
4. Turbina
5. Wytwornica pary
6. Para wodna
7. Kondensator (skraplacz)
8. Generator
9. Woda chłodząca
(chłodnica kominowa, rzeka, jezioro)
10. Pompa
11. Paliwo jądrowe



REAKTOR

Zasadniczą różnicą pomiędzy elektrownią z reaktorem BWR i PWR jest to, że zastosowano w nim dodatkowy obieg wtórny. Ogrzana w reaktorze woda z obiegu pierwotnego trafia do wytwornicy pary, gdzie przepływa przez system rurek z powrotem do reaktora, jednocześnie zamieniając opływającą ją wodę obiegu wtórnego w parę pod wysokim ciśnieniem (wody z obu obiegów nie mieszają się ze sobą, zachodzi tylko wymiana ciepła). Dopiero para wytworzona w ten sposób napędza turbinę generatora prądu. Kolejną różnicą jest to, że pręty regulacyjne nie są wsuwane od dołu reaktora, ale od góry.

Do technologii typu PWR zaliczają się m. in. reaktory typu: EPR, AP1000, APR1400, ATMEA1, APWR, WWER-1200.

Obieg trójny (układ chłodzenia skraplacza) można zrealizować w zależności od lokalizacji elektrowni, czy dostępności wody, poprzez system otwarty lub zamknięty.

UKŁAD CHŁODZENIA OTWARTY

Układ chłodzenia otwarty to układ, w którym do chłodzenia skraplacza wykorzystuje się wodę z jeziora, rzeki lub morza. W przypadku układu chłodzącego z wykorzystaniem rzeki woda jest pobierana, przetaczana przez skraplacz i oddawana z powrotem do rzeki za ujęciem wody. W przypadku wykorzystania jeziora, woda jest pobierana z jednego końca, po czym jest przetaczana przez skraplacz i zrzucana na drugim jego końcu. W ten sposób w jeziorze wymuszana jest cyrkulacja wody, podczas której jest ona schładzana. Analogicznie wygląda układ chłodzenia z wykorzystaniem wody morskiej, przy czym zrzut wody ma miejsce kilkaset metrów od brzegu (przez specjalny tunel pod dnem morskim), aby ciepła woda nie wywierała negatywnego wpływu na ekosystem. Ciepło jest szybko rozpraszane, a podgrzew wody przy brzegu nie przekracza 0,5°C.

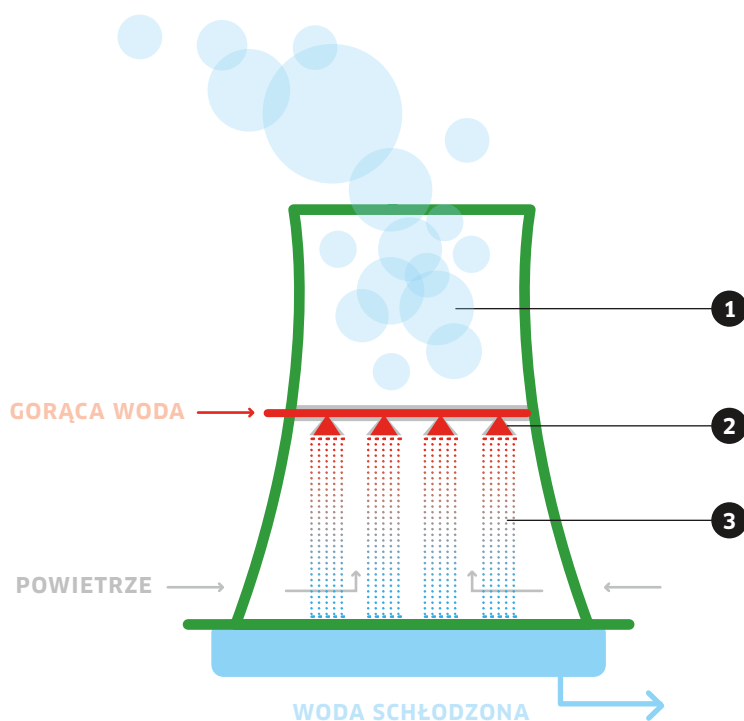
Układ chłodzenia zamknięty odbywa się przez chłodnię kominową. Woda chłodząca skraplacz pompowana jest do zraszalnika chłodni kominowej. Zraszalnik jest umieszczony na wysokości ok. 10 m. Powstający w ten sposób deszcz jest chłodzony przez powietrze, którego ruch wymuszany jest przez ciąg kominowy. Część wody, która odparuje, jest uzupełniana (wystarczy do tego niewielka rzeka lub jezioro w pobliżu), natomiast pozostała wraca do obiegu chłodzenia skraplacza. Warto pamiętać, że to właśnie para, a nie spaliny wydobywa się z chłodni kominowych. Główną zaletą tego typu chłodzenia jest to, że nie wymaga dużych źródeł wody chłodzącej.

UKŁAD CHŁODZENIA ZAMKNIĘTY

Para wodna 1.

Zraszalnik 2.

Krople wody 3.



Perspektywy dalszego rozwoju energetyki jądrowej

PRZYCZYNY ROZWOJU

Energetyka jądrowa jest dziedziną rozwijającą się. Kolejne generacje elektrowni jądrowych świadczą o nieustannym postępie wykorzystywanych już technologii. Jednocześnie badane są alternatywne sposoby wykorzystania energii jądrowej i różne koncepcje reaktorów.

Nadzieje wiązane z energetyką jądrową wynikają ze względów gospodarczych i demograficznych: rosnąca liczba ludności na świecie i poprawa jakości życia, pociągają za sobą coraz większe zapotrzebowanie na energię. Ważnymi czynnikami pozostają też dążenie do ciągłego ograniczania emisji gazów cieplarnianych, wyczerpujące się, łatwo dostępne zasoby paliw kopalnych oraz niepewność polityczna w krajach-dysponentach nośników energii. Energetyka jądrowa, oprócz produkcji energii elektrycznej, może służyć do wytwarzania wodoru i konwersji węgla na paliwa ciekłe i gazowe. Może to mieć niebagatelne znaczenie dla Polski zainteresowanej jak największą dywersyfikacją źródeł paliw oraz posiadającej wciąż duże zasoby węgla. Innymi ważnymi produktami elektrowni jądrowych są: ciepło użytkowe i para technologiczna, radioizotopy dla przemysłu, medycyny i nauki oraz odsalanie wody morskiej (co będzie miało szczególne znaczenie w najbliższych dekadach, ze względu na kurczące się zasoby wody pitnej).

Z szacunków MAEA wynika, że do 2030 r. liczba krajów eksploatujących elektrownie jądrowe wzrośnie z obecnych 30 do 46.

Zgodnie z wszelkimi przewidywaniami w najbliższych latach liderami rozwoju tego sektora energetyki będą kraje azjatyckie, gdzie zużycie energii elektrycznej na jednego mieszkańca wciąż jest kilkunastokrotnie mniejsze niż w państwach rozwiniętych. Z jednej strony, niezwykle dynamicznie rozwijające się gospodarki np. Chin czy Indii, potrzebują energii w niespotykanych dotąd ilościach. Z drugiej strony, wzrasta w tych krajach świadomość ekologiczna.

Kraje Azji i Europy w rozwoju cywilnych programów jądrowych widzą szansę na osiągnięcie kilku celów jednocześnie: zapewnienia gospodarce i mieszkańcom wystarczającej ilości energii, zwiększenia swojej niezależności energetycznej, ochronę środowiska i klimatu oraz szansę na rozwój naukowo-techniczny i cywilizacyjny.

**Zapotrzebowanie na energię na świecie do 2030 r. może wzrosnąć nawet o 57%.
Rozwój energetyki jądrowej nie będzie w stanie go w pełni zaspokoić, ale będzie jednym z ważnych działań w tym kierunku.**

KIERUNKI ROZWOJU

W celu rozwoju zupełnie nowych technologii, międzynarodowa społeczność naukowa zajmująca się atomistyką stworzyła platformę współpracy w postaci Międzynarodowego Forum Generacji IV, która poświęcona jest przyszłościowym reaktorom jądrowymi IV generacji. W tej chwili rozważanych jest kilka nowych projektów pozyskiwania i wykorzystywania energii jądrowej. Najważniejsze to:

- reaktor prędko chłodzony gazem (GFR – Gas Cooled Fast Reactor)
- reaktor wysokotemperaturowy (HTR – High Temperature Reactor)
- nadkrytyczny reaktor wodny (SCWR – Supercritical Water Cooled Reactor).

Pod uwagę – jako alternatywa dla reaktorów III generacji – brane są też reaktory w których czynnikiem chłodzącym są:

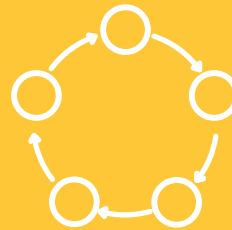
- ciekły sód (SFR – Sodium Cooled Fast Reactor)
- ciekły ołów (LFR – Lead Cooled Fast Reactor),
- stopione sole (MSR – Molten Salt Reactor).

Pierwsze z reaktorów IV generacji mogłyby być budowane już od 2030 r. W nieco dalszej perspektywie pod uwagę brane są reaktory sterowane akceleratorami (ADS/ADR – Accelerator Driven System/Accelerator Driven Reactor), wykorzystujące materiał paliworodny w postaci toru. Kolejną badaną alternatywą są reaktory, w których realizowana będzie fuzja termojądrowa. Zasadniczą różnicą pomiędzy reaktorami termojądrowymi, a tymi stosowanymi obecnie jest to, że w tych pierwszych nie będzie dochodzić do rozszczepiania jąder atomowych ciężkich pierwiastków, ale przebiegać będzie reakcja łączenia – czyli fuzji – jąder atomowych pierwiastków lekkich pod wpływem bardzo wysokich temperatur (stąd nazwa). W fuzji termojądrowej wykorzystywany może być wodór i jego izotopy – deuter i tryt.

Zaletami tej technologii przetwarzania energii są m.in.:

- wysoka wydajność energetyczna
- powszechność występowania surowców niezbędnych do przeprowadzania fuzji (nieograniczone zasoby paliwa)
- brak potrzeby dostarczania jakichkolwiek materiałów promieniotwórczych
- niemal brak odpadów promieniotwórczych
- wysoki poziom bezpieczeństwa procesu – reakcje fuzji nie mogą stać się niekontrolowane, jak miało to miejsce w przypadku np. reakcji rozszczepienia w reaktorze w Czarnobylu





Cykl paliwowy – od wydobycia uranu do składowania odpadów

- 40 Produkcja paliwa jądrowego
- 42 Transport materiałów promieniotwórczych
- 43 Składowanie odpadów promieniotwórczych
- 47 Likwidacja elektrowni jądrowej

Produkcja paliwa jądrowego

ZASOBY PALIWA

Surowcami, z których wytwarzane jest paliwo jądrowe są pierwiastki uran i pluton. Inny pierwiastek – tor może w przyszłości być wykorzystywany jako materiał paliworodny, czyli taki z którego można otrzymać paliwo jądrowe w czasie pracy reaktora. Najczęściej stosowany jest uran, występujący powszechnie na Ziemi w postaci związków chemicznych. Jest on około 500 razy bardziej rozpowszechniony niż złoto. Wydobywa się go w kopalniach odkrywkowych i podziemnych, a także metodą trawienia podziemnego (rozpuszczanie skały i wypompowywanie jej na powierzchnię). Według różnych szacunków, udokumentowane zasoby konwencjonalne tego pierwiastka wystarczą na najbliższe 100 do 300 lat. Także po tym czasie nie powinno być kłopotów z surowcem, ponieważ ciągle mają miejsce odkrycia nowych złóż, rosną też zdolności odzyskiwania paliwa z odpadów (surowiec wtórny) oraz możliwości pozyskiwania uranu rozszczepialnego U-233 z toru. Eksperymentuje się także z możliwością odzyskiwania uranu rozpuszczonego w wodzie morskiej.

Czołowymi producentami uranu na świecie są: Kazachstan, Kanada, Australia, Niger, Namibia, Rosja, Uzbekistan i Stany Zjednoczone. Nisko wydajne złoża uranu występują również w Polsce w Rudawach Janowickich w Sudetach, Górach Świętokrzyskich na Podlasiu oraz na obszarze między Krynica Morską a Pasłękiem. W latach 1947-1967 prowadzono wydobywanie złóż w Sudetach i Górach Świętokrzyskich, jednak obecnie znane złoża traktowane są jako rezerwy strategiczne.

WZBOGACANIE URANU

Po wydobyciu rudy uranowej dokonuje się jej wstępnego przerobu polegającego na kruszeniu, mieleniu i oczyszczaniu. Produktem tego procesu jest uraninit (U_2O_3) składający się w 99,3% z izotopu U-238 oraz z 0,7% izotopu U-235 (izotopy uranu).

Popularne reaktory jądrowe wymagają, aby zawartość uranu-235 wynosiła od 3 do 5%, dlatego należy przeprowadzić wzbogacanie (np. za pomocą wirówek do wzbogacania uranu).

Wzbogacanie składa się z dwóch podstawowych etapów:

- Konwersji tlenku uranu do sześciofluorku uranu (UF_6), który jest gazem,
- Zwiększania do 3 - 5% zawartości U-235 w gazie UF_6 (np. za pomocą wirówek lub innych metod)

Następnym krokiem jest wytworzenie elementów i zestawów paliwowych. Proces ten polega na konwersji wzbogaconego UF_6 do dwutlenku uranu UO_2 w formie proszku.

Proces produkcji zestawów paliwowych wygląda następująco:

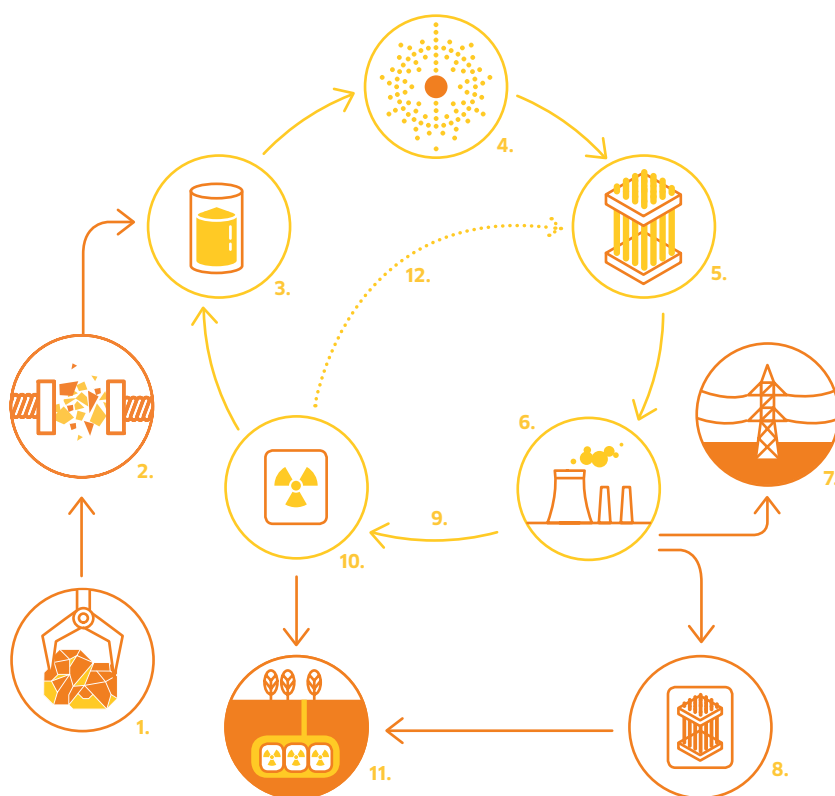
- Ze sproszkowanego materiału paliwowego, poprzez spiekanie są wytwarzane cylindryczne pastylki o średnicy 7-8 mm i długości ok. 15 mm,
- Pastylki są umieszczane w cyrkonowych koszulkach (rurkach) i w ten sposób powstają pręty paliwowe,
- Pręty paliwowe są łączone w zestawy paliwowe, zwane też kasetami. W kasetach umieszczone są również ruchome pręty regulacyjne.

Wyprodukowane w ten sposób kasety paliwowe są gotowe do użycia w reaktorze jądrowym.

Polska, rozważając zakup paliwa do przyszłej elektrowni jądrowej, może wybierać z szerokiego grona producentów rozszaniach po całym świecie – Francji, Belgii, Niemiec, Wielkiej Brytanii, Szwecji, USA, Brazylii, Rosji, Japonii, Chin i Korei Płd.

Koszt surowca uranowego, będącego przedmiotem międzynarodowego handlu i dostaw stanowi około 3-5% kosztu produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych.

Dzięki dużej koncentracji energii, jedna pastylka uranowa o masie 7g jest odpowiednikiem jednej tony węgla. Elektrownia jądrowa o mocy 1000 MW potrzebuje ok. 30 ton paliwa jądrowego rocznie, natomiast elektrownia opalana węglem kamiennym o takiej samej mocy potrzebuje rocznie ok. 4 mln ton węgla. Należy zwrócić uwagę, że w węglu również są zawarte pierwiastki promieniotwórcze takie, jak uran, tor, rad, potas. Powoduje to, że pod postacią pyłu, żużlu oraz popiołu elektrownia opalana węglem kamiennym o mocy 1000 MW emituje rocznie do środowiska ok. 30 ton toru oraz ok. 2 tony uranu. Zawartość uranu w popiołach węglowych jest tak duża, że są one klasyfikowane jako „niekonwencjonalne zasoby” uranu, a pilotażowe programy pozyskiwania surowca z tego źródła już są prowadzone.



CYKL PALIWOWY

- Wydobycie rudy 1.
- Rozdrabnianie 2.
- Konwersja 3.
- Wzbogacenie 4.
- Produkcja paliwa 5.
- Elektrownia 6.
- Wytwarzanie energii 7.
- Magazynowanie wypalonego paliwa 8.
- Przeróbka wypalonego paliwa 9.
- Magazynowanie odpadów wysokoaktywnych 10.
- Ostateczne składowisko odpadów wysokoaktywnych 11.
- Recykling paliwa jądrowego 12.

Transport materiałów promieniotwórczych

Powszechne wykorzystanie materiałów promieniotwórczych w energetyce, przemyśle, rolnictwie, ochronie środowiska, medycynie czy nauce wiąże się z potrzebą ich transportowania. Transport ten odbywa się koleją, samochodami, statkami bądź samolotami. Pomimo tego, że większość transportowanych ładunków zawiera bardzo niewielkie ilości substancji promieniotwórczych, każdy transport musi być skrupulatnie zabezpieczony.

Przemieszczanie świeżego paliwa jądrowego nie przedstawia trudności – jego aktywność promieniotwórcza jest tak niska, że nie wymaga żadnych osłon i można go dotknąć dłonią. W tym przypadku najistotniejsze jest zapewnienie odpowiednio wysokiego stopnia ochrony przed ingerencją osób z zewnątrz oraz wybranie najbardziej optymalnej trasy, środka transportu i terminu, tak by zminimalizować możliwość wypadku czy pożaru. Rozmieszczenie i dopuszczalna ilość transportowanego paliwa są tak dobrane, aby uniemożliwić rozpoczęcie reakcji łańcuchowej.

Transport wypalonego paliwa jądrowego oraz odpadów promieniotwórczych wymaga większych zabezpieczeń, ze względu na ich wyższą aktywność promieniotwórczą. Są one przewożone w pojemnikach gwarantujących integralność przesyłki w czasie transportu (również podczas wypadków czy katastrof) oraz ochronę przed promieniowaniem.

Wyróżniamy kilka typów opakowań przeznaczonych do transportu materiałów promieniotwórczych. Jednym z nich jest pojemnik typu B przeznaczony do transportu lądowego lub morskiego materiałów promieniotwórczych mogących stanowić duże zagrożenie dla otoczenia. Pojemniki tej kategorii służą m.in. do transportowania wypalonego paliwa jądrowego. Bez utraty integralności mogą przetrwać najpoważniejsze katastrofy, takie jak:

- zderzenie z pociągiem rozpędzonym do prędkości 130 km/h
- zderzenie czołowe dwóch pociągów z prędkością 120 km/h każdy
- uderzenie pociągu z pojemnikiem w betonową ścianę z prędkością 120 km/h
- uderzenie ciężarówki z pojemnikiem w betonową ścianę z prędkością 100 km/h
- upadek na beton z wysokości 9 m
- upadek na pręt stalowy: próba nadziania pojemnika
- pożar w otoczeniu pojemnika przez 90 minut w temperaturze 750°C
- zatopienie pojemnika w wodzie na głębokości 17 m przez 8 godzin.

Spośród wszystkich ładunków promieniotwórczych transportowanych na świecie tylko 1% to ładunki z materiałami wysokoaktywnymi. Materiały promieniotwórcze przewozi się już ponad 50 lat, co roku jest to 300 milionów ładunków. Do tej pory nikt nie stracił życia ani zdrowia wskutek uwolnień lub promieniowania przewożonych materiałów.

Składowanie materiałów promieniotwórczych

Ostatnim etapem cyklu paliwowego jest składowanie odpadów promieniotwórczych w specjalnie do tego przystosowanych składowiskach.

Składowanie odpadów finansowane jest ze specjalnych funduszy gromadzonych przez właścicieli elektrowni na oddzielnych, dedykowanych rachunkach.

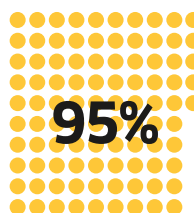
KLASYFIKACJA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH



Odpady wysokoaktywne

do tej grupy jest zaliczane przede wszystkim wypalone paliwo z reaktorów jądrowych oraz pozostałości po jego przerobie

3%
objętości



95%
aktywności
promieniotwórczej



Odpady średnioaktywne

np. filtry wykorzystywane w elektrowni jądrowej

7%
objętości



4%
aktywności
promieniotwórczej



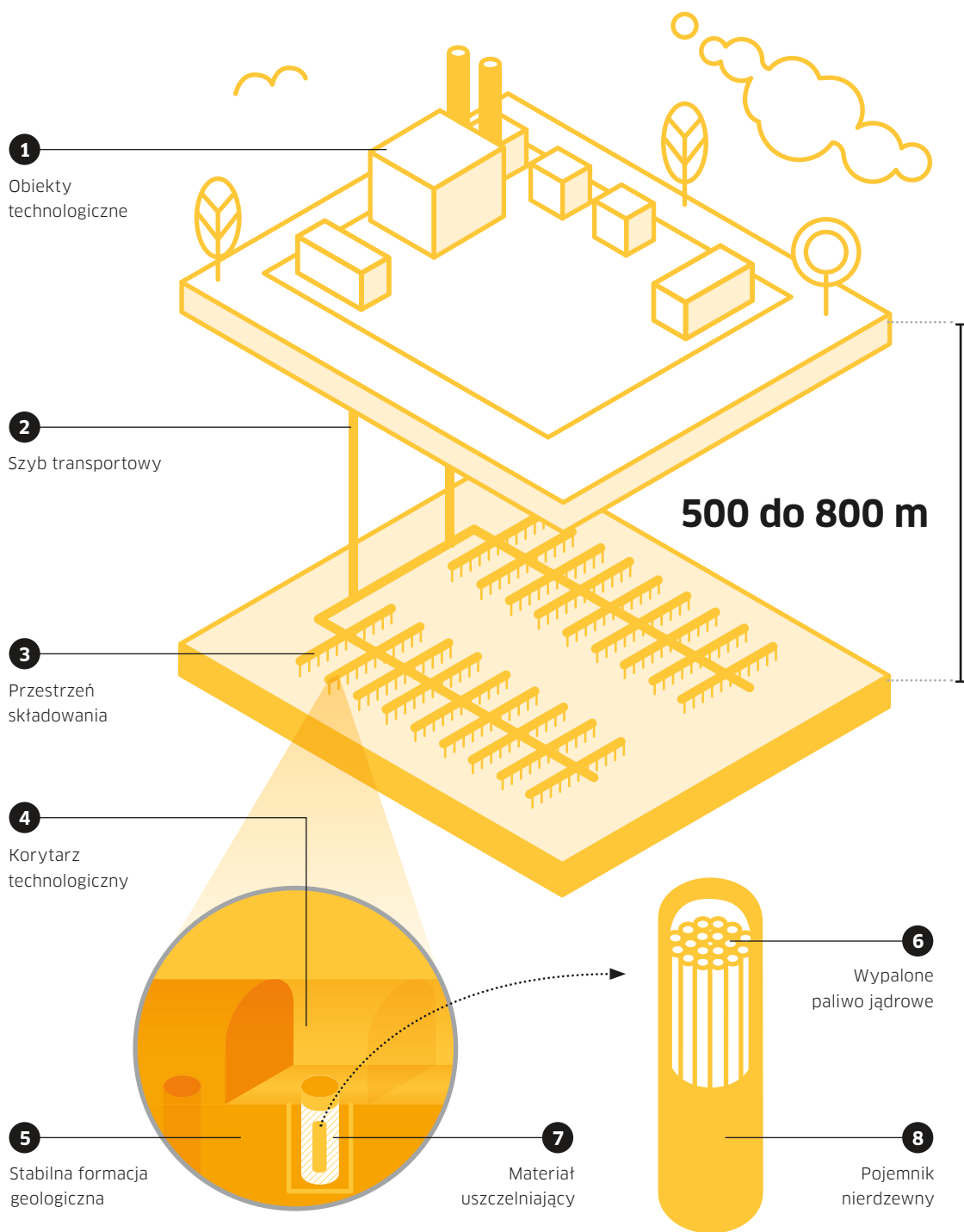
Odpady niskoaktywne

np. fartuchy, rękawiczki, materiały czyszczące

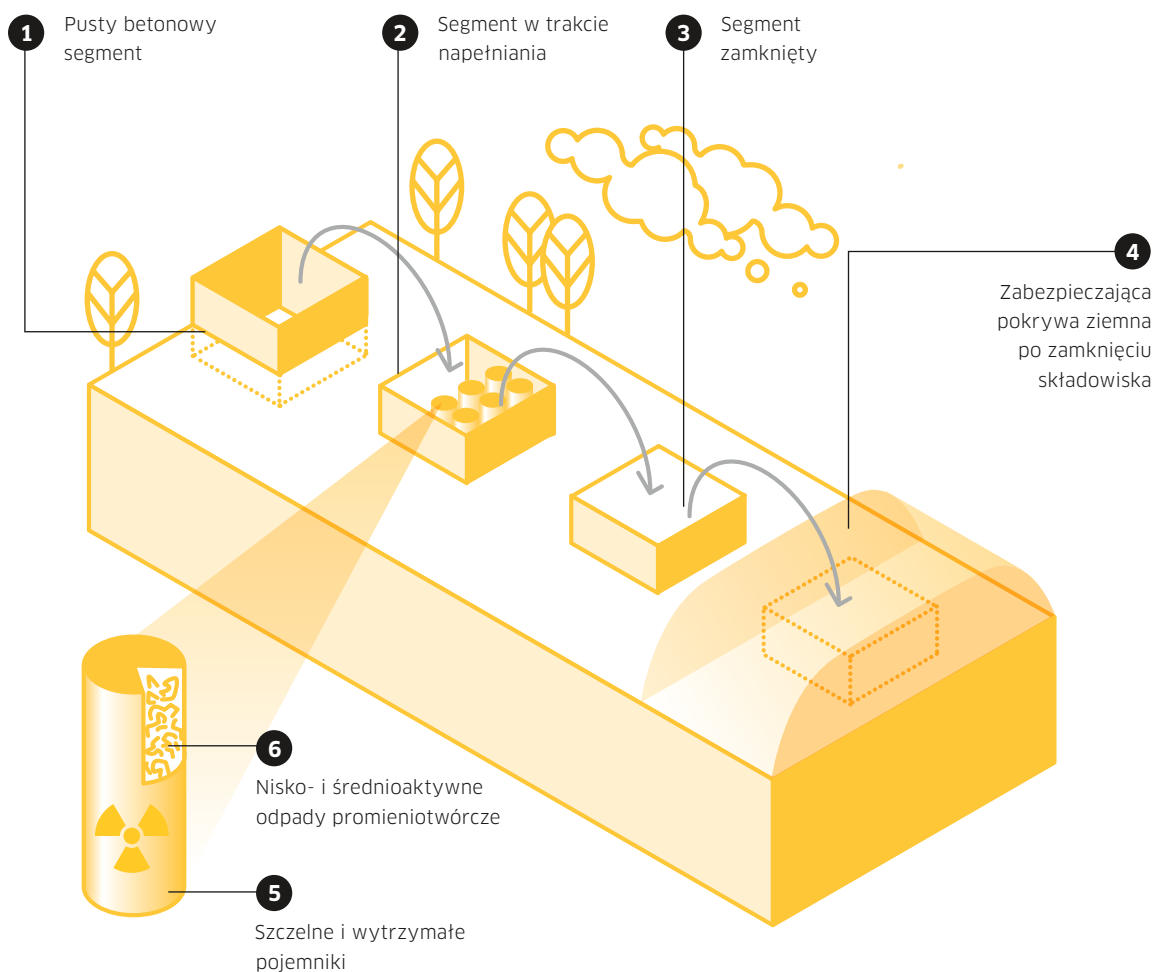
90%
objętości

1%
aktywności
promieniotwórczej

Składowiska głębokie



Składowiska powierzchniowe



Źródła nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych w Polsce:



badania naukowe



badawczy reaktor jądrowy Maria w Świerku k. Otwocka



medycyna (terapia onkologiczna i diagnostyka)



przemysł (badania materiałowe)

SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

5. CYKL PALIOWY – OD WYDOBYCIA URANU DO SKŁADOWANIA ODPADÓW

Składowiska odpadów promieniotwórczych muszą być zlokalizowane w miejscach, gdzie istnieją odpowiednie warunki geologiczne i hydrologiczne, a ludność musi mieć zagwarantowaną ochronę przed uwolnieniem odpadów promieniotwórczych do środowiska. Aby to zapewnić, stosuje się system barier zapobiegających przedostaniu się izotopów promieniotwórczych do środowiska oraz pochłaniających promieniowanie:

- trudno rozpuszczalne związki chemiczne wiążące izotopy promieniotwórcze
- zastalanie odpadów (przy użyciu betonu, asfaltu, masy ceramicznej, szkła), dzięki czemu stają się odporne na oddziaływanie wody oraz nie są podatne na rozpraszanie, rozpylanie czy rozsypanie
- pakowanie odpadów w specjalne pojemniki ze stali nierdzewnej lub miedzi, które zabezpieczają przed uszkodzeniami mechanicznymi i czynnikami atmosferycznymi
- odpowiednią konstrukcję składowiska, która zapobiega korozji opakowań, migracji z miejsca składowania do wód gruntowych lub na powierzchnię
- lokalizację składowiska w odpowiednich strukturach geologicznych (odpowiednia stabilność i oddzielenie od wód gruntowych)

**Gdyby każdy z nas przez całe swoje życie
korzystał tylko z energii produkowanej
w elektrowniach jądrowych, to ilość odpadów
przypadających na jedną osobę miałyby wiel-
kość jabłka mieszczącego się w dłoni.**

SKŁADOWISKO POWIERZCHNIOWE

Odpady nisko- i średnioaktywne składowane w składowiskach powierzchniowych lub płytkich. Są to obiekty, które funkcjonują na terenie większości krajów europejskich, również w Polsce. Składowiska tego typu służą do składowania odpadów nie tylko z energetyki, ale również z zastosowań medycznych (leczenie nowotworów, diagnostyka), naukowych (reaktory badawcze) czy przemysłowych (pomiar, defektoskopia).

W Polsce od ponad 50 lat funkcjonuje Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie, gdzie składowane są powstające w Polsce nisko- i średnioaktywne odpady promieniotwórcze pochodzące z medycyny, przemysłu i nauki.

SKŁADOWISKO GŁĘBOKIE

Odpady wysokoaktywne i wypalone paliwo jądrowe najczęściej składowane w głębokich składowiskach wydrążonych w pokładach solnych, gliny albo skałach granitowych. Budowa tego typu składowisk wymaga wielu lat badań i przygotowań. Pierwsze z nich powstaną w Finlandii, Szwecji i Francji.

Paliwo jądrowe po wykorzystaniu w reaktorze zostaje przeniesione do basenu na wypalone paliwo, w którym przez kolejne kilka lat jest schładzane z ok. 60°C do temperatury poniżej 30°C. W przypadku stosowania otwartego cyklu paliwowego, zdemontowane, odpowiednio zabezpieczone elementy kaset paliwowych trafią bezpośrednio na składowisko głębokie. Natomiast, w przypadku cyklu zamkniętego zużyte kasyety paliwowe są demontowane, pręty zostają rozpuszczone

w kwasie, po czym poszczególne substancje zostają odseparowane. Obecnie 96% masy wypalonego paliwa można odzyskać jako surowiec wtórny i przerobić na nowe paliwo jądrowe. Pozostałe 4% masy to odpady promieniotwórcze, które trafią do składowiska głębokiego.

Likwidacja elektrowni jądrowej

W energetyce jądrowej mamy do czynienia nie tylko z budową nowych siłowni, ale również z likwidacją starych. W przypadku elektrowni opartej o reaktory wodne ciśnieniowe, likwidacja nie przedstawia większych trudności. Możliwe jest przeprowadzenie tej operacji z takim skutkiem, że obszary zajmowane wcześniej przez siłownię można wykorzystywać jako pola uprawne, a promieniowanie jonizujące nie jest intensywniejsze niż przed wybudowaniem elektrowni. Oznacza to, że po likwidacji obiektu poziom promieniowania w tym miejscu wraca do poziomu sprzed rozpoczęcia budowy, choć i tak sama elektrownia w czasie pracy podnosiła ten poziom w znikomym stopniu. Przykładem likwidacji mogą być pola uprawne w niemieckiej gminie Niederaichbach, na których obszarze jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku działała siłownia jądrowa.

Nowoczesne elektrownie jądrowe III generacji, które zostaną wybudowane w Polsce, już na etapie projektu uwzględniają konieczność przyszłej likwidacji, dlatego proces będzie łatwiejszy i tańszy niż w przypadku już przeprowadzonych likwidacji starszych siłowni. Również środki na rozbiórkę elektrowni będą gromadzone przez operatora w ramach specjalnego funduszu. To ten fundusz posłuży do sfinansowania zamknięcia elektrowni jądrowej i doprowadzenia środowiska naturalnego do stanu wyjściowego.





Mity i fakty dotyczące energetyki jądrowej

**Mit****Reaktor jądrowy wybuchu jak bomba jądrowa.****Fakt**

Co prawda bomba jądrowa i reaktor jądrowy wykorzystują to samo zjawisko fizyczne (reakcja rozszczepienia jąder atomowych), ale dokonują tego w odmienne sposoby: reakcja łańcuchowa w bombie przebiega w sposób nagły i niekontrolowany, natomiast w reaktorze jest ona powolna, kontrolowana i ograniczona, zarówno stopniem wzbogacenia materiału rozszczepialnego, jak i konstrukcją reaktora. Materiał rozszczepialny używany w reaktorach energetycznych jest nieporównywalnie mniej wzbogacony niż ten używany w broni jądrowej (4% U-235 vs. 95% U-235). Dotychczas obserwowane eksplozje w elektrowniach jądrowych były eksplozjami chemikaliów, które można znaleźć w każdej złożonej instalacji przemysłowej. Były one powodowane na przykład przez parę wodną pod dużym ciśnieniem, bądź wodór w postaci gazowej, który zmieszany z tlenem wybuchu (tak jak to miało miejsce w przypadku pożaru sterowca Hindenburg). Wybuch jądrowy w reaktorze jest niemożliwy.

**Mit****Elektrownia jądrowa nie jest bezpieczna.****Fakt**

Biorąc pod uwagę zagrożenia generowane przez różne źródła energii oraz statystykę wypadkowości w elektrowniach wszystkich typów, elektrownie jądrowe należą do najbezpieczniejszych źródeł energii. W elektrowniach jądrowych zaprojektowanych i eksploatowanych w państwach zachodnich nigdy nie było ofiar spowodowanych promieniowaniem (również w Fukushima). Udało się to osiągnąć dzięki niezwykle rygorystycznym normom bezpieczeństwa, które nie występują w innych gałęziach energetyki. Badania amerykańskiego Nuclear Energy Institute wykazały, że praca w elektrowni jądrowej jest bezpieczniejsza nawet od pracy biurowej.

**Mit****Elektrownia jądrowa szkodzi środowisku.****Fakt**

Siłownia jądrowa nie zanieczyszcza powietrza oraz nie emituje gazów cieplarnianych podczas pracy. Podczas całego cyklu życia, z budową i likwidacją, emisje gazów są porównywalne do tych, jakie powstają przy budowie elektrowni wykorzystujących energię odnawialną o porównywalnej mocy. Elektrownia jądrowa zajmuje mniejszy obszar niż większość innych źródeł energii o podobnej mocy. Oprócz tego dba o zagospodarowanie odpadów powstających w procesie eksploatacji.

Mit

Elektrownia jądrowa produkuje duże ilości niebezpiecznych odpadów, dla których nie ma zastosowania.

**Fakt**

Jeśli zebraliby się całe paliwo wypalone w ciągu ostatnich 50 lat przez wszystkie elektrownie jądrowe, to wypełniłoby ono obszar wielkości boiska do piłki nożnej na głębokość 10 metrów. Niemal w całości nadaje się ono do recyklingu. Pozostałe 4% odpadów jest zatapiane w szkło, zamykane w specjalnie zaprojektowanych i przetestowanych pojemnikach, a następnie zabezpieczone w składowiskach na głębokości 800 m pod ziemią. Szacuje się, że elektrownia jądrowa produkuje około 100 000 razy mniej odpadów promieniotwórczych niż elektrownia węglowa o dwukrotnie mniejszej mocy, z której odpady nie są zabezpieczane. Gdyby każdy z nas korzystał przez całe życie wyłącznie z „atomowego” prądu, ilość odpadów wygenerowanych podczas jego produkcji przeliczona na jednego odbiorcę zmieściłaby się w jego dłoni.

Mit

Awaria polskiej elektrowni jądrowej może być podobna w skutkach do awarii w Czarnobylu lub Fukushima.

**Fakt**

Przyszła polska elektrownia będzie wyposażona w nowoczesne reaktory III generacji, przy projektowaniu których skupiono się na zapewnieniu bezpieczeństwa. Reaktory używane w Czarnobylu były całkowicie innej konstrukcji, opartej na zastosowaniach militarnych, pozwalającej na uzyskiwanie plutonu do wyrobu bomb jądrowych. Nie posiadały podstawowych cech bezpieczeństwa, jakimi charakteryzują się reaktory i elektrownie III generacji. Z kolei awaria taka, jak w Fukushima, jest w praktyce wykluczona w reaktorach III generacji z elementami pasywnego bezpieczeństwa (chodzi tu głównie o wyeliminowanie zagrożenia detonacją wodoru, a nawet w przypadku detonacji o zatrzymanie fali wybuchu wewnątrz obudowy bezpieczeństwa).

Mit

Elektrownia jądrowa emituje szkodliwe promieniowanie.

**Fakt**

Praktycznie wszystko, co nas otacza emituje promieniowanie, łącznie z samymi ludźmi. Wpływ zamieszkania w pobliżu elektrowni jądrowej na nasze zdrowie przez rok będzie taki sam, jak zjedzenie jednego banana – jedno i drugie emituje tę samą dawkę promieniowania.

**Mit**

Posiadanie elektrowni jądrowych nie zmieni sytuacji energetycznej Polski.

Fakt

Energia uzyskiwana z siłowni jądrowych pozwoli nam zdywersyfikować źródła pozyskiwania energii. Da szansę na względną stabilizację cen energii, ponieważ wahania cen paliwa jądrowego są znacznie mniejsze niż ropy, gazu czy nawet węgla. Wzrost cen uranu o 10% spowodowałby wzrost cen energii elektrycznej z elektrowni jądrowej o 0,2%. Podobna zmiana cen gazu i węgla wygeneruje odpowiednio 8- i 4-procentowy wzrost cen energii elektrycznej. Ważny jest także aspekt czysto ekonomiczny udziału energetyki jądrowej. Istnieje również realne ryzyko, że wymagane przez Unię Europejską opłaty za emisję CO₂, mogą sprawić że produkcja energii w technologiach węglowych przestanie być opłacalna. Z punktu widzenia korzyści ekonomicznych w skali całego kraju, biorąc pod uwagę nakłady inwestycyjne, koszty paliwa i koszty eksploatacji oraz remontów, a także emisję gazów cieplarnianych energetyka jądrowa jest najkorzystniejszą opcją energetyczną.

**Mit**

Elektrownia jądrowa będzie łatwym celem dla terrorystów.

Fakt

Obudowa bezpieczeństwa reaktora III generacji, którego budowa jest w Polsce planowana, jest odporna na uderzenie dużego samolotu pasażerskiego. Nawet w przypadku zderzenia samolotu z ładunkiem wybuchowym umieszczonym wewnątrz maszyny nie istnieje ryzyko uszkodzenia bądź zniszczenia reaktora i innych układów koniecznych do zapewnienia bezpieczeństwa siłowni.

**Mit**

Elektrownia jądrowa jest za droga.

Fakt

Elektrownia jądrowa wymaga dużych nakładów inwestycyjnych, to fakt. Zapomina się jednak o tym, że jest to koszt budowy nowoczesnych elektrowni, które później funkcjonują przez co najmniej 60 do 80 lat. To bardzo długo, kilkakrotnie dłużej niż inne źródła energii. W tym okresie koszty jej funkcjonowania są bardzo niskie, o czym świadczą przykłady z branży jądrowej we Francji czy Stanach Zjednoczonych. Sprawia to, że elektrownia jądrowa jest jednym z najtańszych źródeł energii w przeliczeniu na ilość wyprodukowanej energii elektrycznej.

Warto również pamiętać, że inwestując w elektrownię jądrową, Polska uzyskuje nie tylko wirtualną moc zainstalowaną, ale również jej dostępność. Produkcja energii w elektrowni jądrowej może podlegać regulacji, co jest kluczowe dla utrzymania niezbędnej równowagi w Krajowym Systemie Energetycznym.

Często wskazywanym problemem energetyki jądrowej jest to, że pozostawia po sobie odpady promieniotwórcze, a finansowanie gospodarki nimi musi być opłacone z budżetu państwa. To również mit, ponieważ obecnie wszystkie

nowoczesne systemy prawne, również ten w Polsce, przewidują, że to „zanieczyszczający płaci”. W związku z tym tworzone są fundusze dedykowane finansowaniu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i likwidowaniu elektrowni jądrowej po zakończeniu jej eksploatacji. Operatorzy zasilają je środkami od chwili rozpoczęcia wytwarzania energii elektrycznej.

Mit

Polacy nie potrafią zbudować elektrowni jądrowej



Fakt

Nie kto inny jak polscy inżynierowie i budowniczcy wznosili elektrownię jądrową w Żarnowcu. Również Polacy pracowali na wielu budowach elektrowni jądrowych w Europie i na świecie, a polskie firmy dostarczały komponenty i usługi. Krajowe kompetencje są oceniane bardzo wysoko, wystarczy wspomnieć o tym, że kierownikiem budowy trzeciego reaktora w elektrowni jądrowej w Olkiluoto (Finlandia) był Polak.

Budowa pierwszej polskiej elektrowni jądrowej to nie tylko możliwość wykorzystania już istniejących w kraju kompetencji. To również niepowtarzalna szansa, by rozwinąć całą gałąź przemysłu i nauki. Polskie firmy i jednostki badawcze wraz z inwestycją uzyskują dostęp do nowych zamówień i zadań, co pozwoli na wzmocnienie fundamentów tego sektora i da impuls do dalszego rozwoju.

Ogromną rolę w trakcie budowy elektrowni jądrowej odgrywa nowoczesny dozór jądrowy, który dba o to by wszystkie działania związane z wykorzystaniem promieniowania jonizującego na terenie kraju były prowadzone w sposób bezpieczny i rzetelny. Państwowa Agencja Atomistyki (PAA) została przygotowana do tego, aby w Polsce pełnić kompetentnie funkcję skutecznej „policji jądrowej”, gwarantując, że powstający obiekt będzie zgodny z najlepszymi krajowymi i międzynarodowymi standardami.

Mit

Świat odchodzi od energetyki jądrowej



Fakt

Obecnie na świecie w trakcie budowy znajduje się ok. 60 nowych reaktorów jądrowych a kolejne ok. 160 jest w fazie planowania. W Unii Europejskiej budowy trwają w Finlandii, Francji i Słowacji. Zaawansowane plany budowy w bliskiej przyszłości są deklarowane, oprócz Polski, przez Bułgarię, Litwę, Rumunię, Węgry i Wielką Brytanię. Jednocześnie łatwo zaobserwować, że dynamiczny wzrost w branży jądrowej ma miejsce w krajach, gdzie gospodarka rozwija się najdynamiczniej, szczególnie w Azji (Chiny, Indie, Południowa Korea). Dzieje się tak, ponieważ to właśnie ta technologia może zapewnić stabilnie, bezemisyjnie i po racjonalnych kosztach wielkie ilości energii elektrycznej, które konieczne są dla szybko rozwijających się gospodarek i społeczeństw.

Elektrownie jądrowe w Europie



	Liczba reaktorów na świecie	Liczba reaktorów w Unii Europejskiej
Funkcjonuje	436	130
Budowane	67	4
Planowane	166	14

Źródło: world-nuclear.org, listopad 2015

● bloki pracujące

