

Przykłady pozytywnych rozwiązań w szwedzkiej energetyce atomowej

Budowa elektrowni atomowych na całym świecie spotyka się z negatywnymi reakcjami społeczeństwa. Nauczeni smutnymi doświadczeniami ludzie po prostu boją się mieszkać w pobliżu elektrowni. Przy tym to pobliże rozumiane jest bardzo szeroko, w tym wypadku jako region lub nawet cały kraj. Szwecja to kraj, w którym prowadzona jest naprawdę proekologiczna polityka, a społeczeństwo odznacza się wysokim poziomem świadomości ekologicznej. Tymczasem zbudowano tam w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych cztery elektrownie atomowe. Powstaje pytanie: jak w takich warunkach do tego doszło? Na pytanie to można dać odpowiedź na podstawie bogatych materiałów, jakie zebrałem w Szwecji, oraz własnych wrażeń z pobytu w elektrowni na półwyspie Simpevarp w pobliżu Oskarshamn.

Górskie rzeki Szwecji mają znaczny potencjał energetyczny. Produkuje się na nich 49% z ogólnej liczby 141 TWh energii rocznie. Tak zwany biały węgiel, czyli siła spadku wód, uznawany jest za najbardziej przyjazny dla środowiska sposób pozyskiwania energii. Jednak koszt przesyłu tej energii do południowej, nizinnej części kraju jest nieopłacalny. Dlatego też wybudowano tu cztery elektrownie atomowe: Ringhals, Forsmark, Oskarshamn i Barseback. Dwanaście reaktorów produkuje 40% szwedzkiej energii. Pozostałe 6% wytwarzane jest w elektrowniach ciepłych opalanych olejem i węglem, a 5% pochodzi z importu. Budowa nowych elektrowni była konieczna. Przed wojną produkcja energii elektrycznej wynosiła 8, a w latach sześćdziesiątych już 45 TWh, ale nawet ta wartość nie zaspokajała potrzeb. Przed uruchomieniem elektrowni atomowych produkcja energii opierała się w 78,5% na energetyce wodnej, natomiast resztę stanowiły elektrownie ciepłe.

Przy projektowaniu i budowie elektrowni atomowych przestrzega się zasady „obrony w głąb” działającej na trzech poziomach. Na pierwszym z nich wymagany jest projekt zapewniający maksymalne bezpieczeństwo pracy, użycie najlepszych materiałów, odpowiadających bardzo wysokim wymogom i normom międzynarodowym. Poza tym musi istnieć możliwość dokonywania inspekcji w czasie pracy elektrowni i przed jej rozruchem. Na drugim poziomie zakłada się, że pomimo wszystko wystąpią pewne awarie, łącznie z maksymalną awarią projektowaną. Dlatego też wprowadza się systemy pozwalające przeciwdziałać skutkom wystąpienia tych awarii. Trzeci poziom zakłada, że zawiodą także systemy bezpieczeństwa wprowadzone na drugim poziomie, tworzy się więc dodatkowe systemy lokalizacji i przeciwdziałania awarii. Dzięki temu elektrownie jądrowe są najlepiej chronionymi obiektami przemysłowymi, chociaż nie tylko one stwarzają duże zagrożenie dla środowiska i społeczeństwa.

Reaktory, jakich używa się w Szwecji, określane są jako BWR (Boiling Water Reactor). Zasada działania takiego reaktora jest prosta. Elementy paliwowe w kształcie prętów zawierają pastylki uranowe. Pręty omywane są wodą, która doprowadzana jest do wrzenia. Para wodna, jaka powstaje, utrzymywana jest pod ciśnieniem 7 Mpa. Porusza ona turbinę, a ta generator elektryczny. Następnie para wodna trafia do kondensatora, gdzie jest skraplana, po czym pompowana jest na powrót do reaktora. Na świecie najczęściej używa się jednak reaktorów PWR (Pressurized Water Reactor). Ten typ reaktora jest nieco bardziej skomplikowany niż reaktory BWR. W reaktorze PWR elementy paliwowe podgrzewają wodę do temperatury 301°C, jednak woda nie ulega wrzeniu, ponieważ utrzymywana jest pod ciśnieniem 12,5 MPa. Tworzy ona zamknięty obieg pierwotny. Woda z tego obiegu przepływa przez wytwornicę pary, która należy do obiegu wtórnego. On także jest zamknięty. Para wodna porusza turbinę, a ta generator elektryczny. Zasada działania jest więc podobna do reaktorów BWR. Zaletą jest tu skażenie radiologiczne tylko pierwszego obiegu, w związku z czym elementy turbiny nie są skażone, tak jak ma to miejsce w reaktorach używanych w Szwecji. Zaletą tych ostatnich, w porównaniu z typem PWR, jest niższe ciśnienie wody w obiegu pierwotnym. Obydwa opisane powyżej typy reaktorów są dużo prostsze, a więc i bardziej niezawodne niż reaktory z moderatorem grafitowym typu RBMK (Reaktor Bolszoi Moszcznosti, Kanalnyj). Taki właśnie reaktor uległ awarii w Czarnobylu. W tych reaktorach elementy paliwowe znajdują się w kanałach wykonanych ze stopu zawierającego duży procent cyrkonu. Tworzy to spore niebezpieczeństwo, cyrkon bowiem w temperaturze 900°C silnie reaguje z wodą, generując wodór i duże ilości ciepła. Spalanie wodoru powoduje dalsze wydzielanie ciepła. Reakcja ta, wraz ze wzrostem temperatury, staje się coraz bardziej gwałtowna i przy temperaturze 1200°C jest już bardzo trudna do zahamowania. Rury cyrkonowe znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie pary wodnej o temperaturze 284°C i grafitu o temperaturze dochodzącej do 750°C. W razie nieszczelności instalacji z parą wodną powstaje naprawdę duże ryzyko awarii. Grafit, jak widać, ma temperaturę znacznie przekraczającą jego temperaturę zapłonu w powietrzu. Powstaje więc dodatkowo konieczność niedopuszczenia do kontaktu grafitu z powietrzem.

Do chłodzenia pary wodnej w reaktorach stosowanych w Szwecji używa się wody morskiej. Trzy reaktory elektrowni w Oskarshamn potrzebują 90 tysięcy Kirów wody na sekundę. Odpowiada to przepływowi przeciętnej skandynawskiej rzeki. W procesie tym woda morska nie jest zanieczyszczana radiologicznie ani chemicznie, jednak jej temperatura wzrasta o około 10°C. Pozostaje to nie bez ustępstw

dla ekosystemów morskich w pobliżu elektrowni. Zrzut podgrzanej wody powoduje zmianę prądów morskich w sąsiedztwie źródła zrzutu i erozję dna morskiego. Ma także wpływ na chemizm wody, ponieważ w wyższej temperaturze woda ma mniejszą zdolność rozpuszczania tlenu i azotu. Największym zagrożeniem jest jednak zmiana, a nawet zniszczenie ekosystemu morskiego. W początkowej fazie wzrost temperatury powoduje wzrost ilości planktonu i w konsekwencji biomasy ryb. Wzrasta zapotrzebowanie na pokarm ryb, co prowadzi do wyniszczenia fito- i zooplanktonu. Po tym ryby zaczną głodować i masowo wymierać. Naukowcy obawiają się takiego scenariusza, dlatego już od 15 lat prowadzone są wnikliwe badania na ten temat. Do tego celu w pobliżu Forsmark zbudowano sztuczny zbiornik o pojemności 2250 m³. Jest on połączony z morzem, całkowita wymiana wody w zbiorniku zajmuje około 10 godzin. Mogą tu wpływać i wypływać ryby nie przekraczające 10 cm długości. Woda do zbiornika trafia z elektrowni poprzez tunel o długości 2400 m. Obszar dotknięty skażeniem termicznym osiagającym 1°C ponad stan naturalny zajmuje powierzchnię 5-10 km². Prowadzone badania poziomu radionuklidów w ciałach ryb nie stwierdzają podwyższonych stężeń tych pierwiastków. W związku z tym istnieje możliwość odłowu ryb do celów konsumpcyjnych, co zapobiegnie katastrofalnym zmianom ekosystemu.

W Szwecji jest jedna firma, która zajmuje się gospodarką paliwem dla elektrowni atomowych i odpadami radioaktywnymi. Firma ta to SKB (Svensk Kambransiehantering AB). Według specjalnych aktów prawnych, wprowadzonych wraz z uruchomieniem elektrowni jądrowych, SKB zobligowana jest do informowania i edukowania społeczeństwa w zakresie pracy elektrowni i gospodarki odpadami. Przed budową jakichkolwiek nowych inwestycji SKB musi zdobyć zaufanie i akceptację lokalnej społeczności. Z jednej strony musi więc zachowywać najwyższą światową jakość materiałów i technologii, a z drugiej trafić z informacjami o zagrożeniach i sposobach przeciwdziałania do społeczeństwa. W tym celu SKB drukuje i rozprowadza bezpłatnie broszury. Plik takich broszur można także dostać bezpłatnie pocztą, i to obojętnie, z jakiego zakątka kuli ziemskiej się o nie poprosi. Uruchomiono także bezpłatny telefon informacyjny. Rozprowadzane są do szkół i różnych instytucji kasety audio i video. SKB ma ruchomy kontener z wystawą na temat energetyki atomowej i gospodarki odpadami. Kontener wożony jest do szwedzkich szkół. W 1993 roku przeszło 13 tysięcy uczniów odwiedziło tę wystawę. Specjalny statek M/S Sigyn, przystosowany do przewozu nowego i zużytego paliwa, w czasie lata jest także wykorzystywany jako pływająca sala wystawowa. Rocznie zawiąza do około piętnastu szwedzkich portów. SKB wydaje także magazyn, który ma 27 tysięcy subskrybentów. W końcu same elektrownie atomowe udostępnia się zwiedzającym, podobnie jak i Hard Rock Laboratory na wyspie Aspö. Jest to tunel o długości 4 km wydrążony w krystalicznych skałach podłoża. Osiągnie on 460 m głębokości. Ma służyć jako składowisko odpadów jądrowych, ale jest to także ogromny eksperyment geologiczny. Wielu specjalistów z różnych dziedzin nauki i techniki z 7 krajów prowadzi tu bardzo szczegółowe badania nad rozpoznaniem geologicznym i hydrogeologicznym terenu. Jest to także okazja do sprawdzenia sprzętu i metod stosowanych dotychczas w górnictwie oraz stworzenia nowych. W 1993 roku odwiedziło tę budowę prawie 30 tysięcy ludzi. Przytoczone liczby wskazują na ogromne zainteresowanie społeczeństwa tą problematyką.

Bardzo duży nacisk kładzie się w Szwecji na bezpieczeństwo ludzi pracujących w elektrowniach i mieszkających w pobliżu oraz na zapewnienie bezawaryjnej pracy elektrowni. Nad niezawodną pracą czuwa centrum operacyjne. Dwa niezależne systemy komputerowe nieustannie mierzą natężenie promieniowania, temperaturę wody, pod którą przechowuje się zużyte paliwo, i w ogóle czuwają nad prawidłową pracą wszystkich jednostek. Jeśli jeden z systemów zawiedzie, zawsze jest jeszcze drugi, ale nawet on może być zastąpiony przez lokalne systemy w poszczególnych jednostkach elektrowni. Poziomą radiację w budynkach elektrowni jest ciągle monitorowany i zapisywany. Utrzymuje się go na bardzo niskim poziomie. Pracownicy elektrowni narażeni są na 10% maksymalnej dopuszczalnej dawki promieniowania, którą wyznaczyła Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (International Commission on Radiological Protection). Roczna dawka promieniowania, jakie przyjmują pracownicy elektrowni, to 2 do 3 mSv (milisievertów). Dla porównania: z atmosfery nasze ciała uzyskują 0,3 mSv ze skał podłoża 0,5 mSv. Urządzenia medyczne emitują około 1 mSv, budynki mieszkalne do 3 mSv. Jako ciekawostkę należy podać, że w pewnych rejonach Brazylii i Indii naturalne promieniowanie sięga 20 mSv. Naczelna zasada bezpieczeństwa polega na dublowaniu wszelkich ważnych urządzeń. Oprócz własnych niezależnych generatorów dieselskich, elektrownie wyposażone są w baterie. Wszystkie systemy bezpieczeństwa są buforowane. Na przykład: istnieją dwa systemy chłodzenia wody z basenów, gdzie przechowywane jest zużyte paliwo atomowe. Woda w tych basenach stale krąży w systemie zamkniętym. Chłodzi się ją za pomocą wody morskiej. Komputerowy system nie pozwala, aby poziom wody w basenie spadł poniżej dopuszczalnego. Aby uchronić pracowników przed promieniowaniem, potrzebna jest czterometrowa warstwa wody ponad kanistrami z paliwem. Jednakże stale utrzymywany jest ośmiometrowy poziom wody. Jakość wody jest utrzymywana na bardzo wysokim poziomie, aby nie dopuścić do rozpoczęcia procesu korozji metalowych kanistrów. Jak na razie przez 40 lat nie zaobserwowano korodowania metalu. Wszystkie budynki są zbudowane z materiałów niepalnych. Tylko niewiele przedmiotów może ulec pożarowi, ale na wszelki wypadek każdy budynek ma kilka niezależnych dróg ewakuacyjnych. Elektrownie i wszystkie obiekty, gdzie znajdują się materiały rozszczepialne, są

chronione przed klęskami naturalnymi, a także przed aktami sabotażu, terrorystami czy też na wypadek wojny. Nie podaje się jednak do wiadomości szczegółów dotyczących tej ochrony, co zresztą jest naturalne i słuszne.

Duże ryzyko powstaje podczas transportu materiałów rozszczepialnych. Bezpieczeństwo transportu zapewniają przede wszystkim kontenery, w których przechowywane są odpady. W zależności od tego, czy odpady zakwalifikowano do grupy mało, średnio bądź silnie niebezpiecznych, używane są różne kontenery. Zużyte paliwo najpierw składa się przez co najmniej 9 miesięcy w elektrowni. Przez ten czas spada jego temperatura, paliwo traci także gazowe radionuklidy. Ciągłe jednak jest bardzo silnie radioaktywne i gorące. Kontenery muszą wytrzymać temperaturę ładunku około 450°C. Załadunek odbywa się pod wodą. Sam kontener jest dużo większy i cięższy od tego, co zawiera. Jego waga wynosi niemalże 80 ton. Jest zbudowany z warstwy kutej i nierdzewnej stali o grubości 30 cm. Stal pokryta jest z zewnątrz miedzianym płaszczem, który ma za zadanie rozpraszać ciepło. Kontenery te zaprojektowano tak, by wytrzymały upadek z 9 metrów, 30-minutowe przebywanie w ogniu oraz ciśnienie odpowiadające naciskowi 200-metrowego słupa wody. Testy praktyczne wykazały, że kontenery wytrzymują te wymagania z dużym marginesem, np. ciśnienie zewnętrzne, odpowiadające ciśnieniu wody na głębokości 4000 metrów, jeszcze nie czyni im szkody.

W związku z tym, że elektrownie znajdują się na wybrzeżu, do transportu używa się statku. W 1982 roku zwodowano specjalną jednostkę M/S Sigyn. Dziewięćdziesięciometrowy statek posiada podwójny kadłub i dno. Może pływać pomimo zalodzenia. Wyposażono go w nowoczesne urządzenia nawigacyjne. Pomieszczenia, w których przewozi się kontenery, są oddzielone od reszty statku ekranami nie przepuszczającymi promieniowania. Poziom radiacji jest stale mierzony. Pomiarów te wykazują, że załoga statku nie podlega promieniowaniu większemu od naturalnego. Rozwijający prędkość do 12 węzłów statek wykonuje rocznie około 30 rejsów. Oprócz przewozu odpadów radioaktywnych jest czasami wynajmowany do innych celów. Przed rozładunkiem pracownicy laboratorium, znajdującego się na statku, rutynowo sprawdzają, czy poziom promieniowania w ładowni nie przekroczył dopuszczalnego poziomu. Do transportu ładowego używa się także specjalnie zaprojektowanych do tego celu ciężarówek. Ten transport odbywa się tylko pomiędzy portem a elektrownią, jest to więc najwyżej kilka kilometrów. Te dwunastometrowej długości samochody z silnikiem diesla mają 6 osi. Każda niezależnie może być podnoszona lub opuszczana. Każda para kół jest sterowana indywidualnie, co zapewnia niezwykłą zwrotność pojazdu. Przy załadunku ciężarówka zachowuje się jak podnośnik. System hydrauliczny pozwala obniżyć tylną platformę, kierowca podjeżdża pod kontener i ją podnosi. Samochód z maksymalnym obciążeniem może przejechać po rampie o nachyleniu prawie 6°. Maksymalna prędkość pojazdu wynosi 10 km/godz. Odpady składowane są obecnie w tunelach wykutych w krystalniku pod dnem Bałtyku w okolicy Forsmark. Samochody używane w tym składowisku mają jeszcze tę cechę, że oprócz silników spalinowych posiadają elektryczne. Pod ziemią używa się właśnie elektrycznych, co pozwala uniknąć problemu spalin.

Rola elektrowni atomowych nie ogranicza się zatem tylko do produkcji energii. Zatrudnienie znajduje tu przez cały rok prawie 4 tysiące osób, a okresowo dalsze 2 tysiące. Ludzie ci mają przeważnie wyższe wykształcenie, a co najmniej średnie. Około 600 osób zaangażowanych jest zawodowo w składowanie odpadów z elektrowni. Z tej liczby aż 250 osób zajmuje się tylko badaniami nad gospodarką odpadami. Od 5 do 10% czasu pracy pracownicy elektrowni poświęcają na dodatkowe szkolenia i treningi na symulatorach, gdzie sprawdza się ich przygotowanie na wypadek awarii. Dzięki różnym badaniom związanym z energetyką atomową powstają nowe technologie. Energetyka atomowa, przy regulacjach prawnych, jakie obowiązują w Szwecji, wymusza ciągłe badania nad jakością wszystkich komponentów środowiska. Dzięki temu rozwija się nauka i rośnie zapotrzebowanie na kadrę naukowo-techniczną. Oto jak przedstawiały się wydatki SKB w 1993 roku:

Wydatki SKB w 1993 roku (ujęcie procentowe)	
Paliwo	53,9%
Badania naukowe	16,7%
Amortyzacja środków trwałych	12,7%
Koszty utrzymania i pracy CLAB (przejściowe składowisko zużytego paliwa)	7,3%
Koszty utrzymania i pracy SFR (składowisko odpadów średnio i mało radioaktywnych)	2,5%
Kontakty ze społeczeństwem, informacja i propaganda	2,0%
Transport	1,8%
Inne	3,1%

Dyrekcje elektrowni wspierają rozwój struktury przemysłowej okolicy, inwestują duże pieniądze w różne projekty, a także sponsorują imprezy kulturalne i sportowe. Nie jest to wszystko bez znaczenia dla życia kraju. Ciekawe jest, że pomimo zapewnień rządu dotyczących odejścia od energetyki jądrowej, nadal

prowadzi się w tym kierunku intensywne badania i łoży na te cele duże nakłady finansowe. Przykładem jest tunel na wyspie Aspo.

Pomimo tak relatywnie dobrych rozwiązań, jakie zastosowano w Szwecji, w ogólnokrajowym referendum w 1980 roku Szwedzi opowiedzieli się za likwidacją elektrowni jądrowych. Parlament szwedzki ustalił, że kraj ten do 2010 roku zamknie elektrownie. Ostatnio jednak nasiliły się protesty przeciwko temu postanowieniu. Spowodowane to jest ogromnymi kosztami, jakie się z tym wiążą. Energia jądrowa jest bowiem bardzo tania. Zakłady przemysłowe, które w toku produkcji muszą zużywać dużo energii elektrycznej, staną wobec konieczności płacenia nawet dwukrotnie większych rachunków. Aby utrzymać ceny produktów na dotychczasowym poziomie, będą musiały przenieść produkcję za granicę. To pociągnęłoby za sobą straty w gospodarce i wzrost bezrobocia. Najtańszą alternatywą dla energii atomowej jest gaz ziemny. Przesłanie się na ten nośnik energii spowoduje wzrost emisji dwutlenku węgla o 50%. Naruszyłoby to ustawę z 1993 roku, w której zakłada się, że po 2000 roku emisja CO₂ musi spaść poniżej poziomu emisji z 1990 roku. Koszty oczywiście poniosą podatnicy – albo poprzez większe rachunki za prąd, albo płacąc koszty zadłużenia państwa. Według różnych źródeł, koszt przesłania się z energii atomowej na inną wyniesie od 70 do 370 mld koron, czyli od około 10 do 541 mld dolarów USA. Stanowi to odpowiednio 4,25 - 22,5% produktu krajowego brutto. Zachodzi poważna obawa, czy zadłużona na 1,4 bln koron (ponad 207 mld USD) Szwecja będzie w stanie ponieść koszty takiej transformacji. Protestujący domagają się, aby elektrownie działały do końca swoich możliwości. Ostatnia zakończy żywot około 2050 roku. Prawdopodobnie jest to najlepsze rozwiązanie. Pozostaje mieć nadzieję, że rozwój techniki pozwoli w połowie XXI wieku na tańszą i bezpieczniejszą produkcję energii.

LITERATURA

Forsberg Brigitta, Rezygnacja z energetyki jądrowej poważnie nadweryży budżet Szwecji, „Gazeta”, 1996, nr 9 - przedruk z „Wali Street Journal Europe”.

Energetyka jądrowa w Polsce, Problemy naukowe współczesności. Wydawnictwo PAN, Warszawa 1989.

Broszury wydawane przez SKB (Syenska Kambransiehantering AB): Activities 1993, Central Interim Storage Facility for Spent Nuclear Fuel - CLAB SKB's RD&D Programme 92; Transportation of Radioactive Waste; We Provide The Power.

Good solutions in Swedish nuclear energy production

Four nuclear power plants have been built during the 70s and 80s in Sweden. Twelve BWRs (Boiling Water Reactor) generate approximately 40% of all the electrical power produced in Sweden.

The Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company (SKB) is responsible for the management and disposal of Sweden's radioactive waste. According to Swedish law SKB is also obligated to inform the society about the nature of the waste, in what way it can be dangerous, and solutions that have been arrived at. SKB must win society's trust in the methods that have been developed. That is why SKB should conduct its activities at a highest level of scientific and technical quality. Therefore SKB holds exhibitions on a large scale. Even special waste transport ship M/S Sigyn is used to this purpose.

Very important thing is to make the nuclear power plants safe for the environment and people. Working environment in these plants is one of the best controlled in Sweden. Plants have their own large safety organization with a specially educated technicians. To minimize the risk of contamination of environment, special devices have been created for storage and transportation of radioactive waste. Containers, trucks, and even a vessel are designed to withstand conditions much tougher than they can ever face in real life. Also, Sweden has the most secure way of storing spent nuclear fuel in crystalline bedrock, 60 meters beneath the seabed.

Nuclear power plants play a significant role in a life of the country, not only as a producer of energy. About 4000 people work here all year long and 2000 more during few months each year. The presence of such a company means employment and raise in the level of expertise in the region. Most people who work at power plants have high-school or university education. Employees are still being educated. An average employee spends 5 to 10% of her or his work time undergoing training. Owners of nuclear power plants are interested in participating in various development projects. They are also a sponsor of different activities in the community such as sports and culture. The management boards of nuclear power plants are big investors.

Katastrofa Czarnobyla. Społeczne, antropologiczno - ekologiczne oraz medyczne aspekty i prognozy. Wydawnictwo UMCS, Lublin 1998, p. 19-27.